

Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen

Schriftenreihe, Heft 14/2014



Erarbeitung von Managementempfehlungen zur Kleingruppenhaltung für Legehennen unter Praxisbedingungen im Vergleich zur Volierenhaltung

Projektteil

Untersuchungen zum Stallklima, zu Emissionen und Keimen bei vier Ställen –
jeweils zwei Haltungen in Kleingruppe und Voliere – über zwei Stallbelegungen

Dr. agr. Jens Lippmann

Die Untersuchungen wurden gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), FKZ 2807UM017.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Planung und Ablauf der Arbeiten	8
2.1	Wissensstand	8
2.2.	Untersuchungsbasis und methodischer Ansatz.....	11
2.2.1	Legehennenhaltungen.....	12
2.2.2	Stallklima und Emission.....	15
2.2.2.1	Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom.....	15
2.2.2.2	Stallstäube und Luftkeime	19
3	Ergebnisse und Diskussion	21
3.1	Kleingruppenhaltung.....	21
3.1.1	Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom.....	21
3.1.2	Luftgetragene Stäube und Keime	28
3.2	Volierenhaltung	33
3.2.1	Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom.....	34
3.2.2	Luftgetragene Stäube und Keime	39
4	Schlussfolgerungen	44
5	Zusammenfassung	47
6	Anhang	50
	Literaturverzeichnis	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Langjährig gemessene mittlere Lufttemperatur in Sachsen im Jahresverlauf	12
Abbildung 2:	Messpunkteplan in der Bodenhaltung VO-2 (> 15.000 Tpl.)	14
Abbildung 3:	Messpunkteplan in der Kleingruppenhaltung KG-2 (> 15.000 Tpl.).....	14
Abbildung 4:	Messpunkteplan für die Bodenhaltung VO-1 und Kleingruppenhaltung KG-1 (< 15.000 Tpl.)	15
Abbildung 5:	Quartile sowie Minimum und Maximum der Außentemperatur innerhalb der Messzeitfenster für die Klimafenster	16
Abbildung 6:	Abluftkamin mit Ventilator (rot) und Messventilator (blau).....	18
Abbildung 7:	Probennahmepunkte für Staub und Keime am Dach- (links) bzw. Wandkamin (rechts).....	20
Abbildung 8:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stalllufttemperatur innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen.....	22
Abbildung 9:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stallluftfeuchte innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen.....	23
Abbildung 10:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Ammoniakkonzentration in der Stallluft innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen	24
Abbildung 11:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Volumenstromes je Tierplatz innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen.....	26
Abbildung 12:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Ammoniakmassenstromes innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen.....	27
Abbildung 13:	Berechneter Ammoniakmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Kleingruppenhaltungen	28
Abbildung 14:	Berechneter Gesamtstaubmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Kleingruppenhaltungen	30
Abbildung 15:	Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der VO-2 (>15.000 Tpl.)	33
Abbildung 16:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stalllufttemperatur innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen	35
Abbildung 17:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stallluftfeuchte innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen	35
Abbildung 18:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Ammoniakkonzentration in der Stallluft innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen	36
Abbildung 19:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Volumenstromes je Tierplatz innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen.....	37
Abbildung 20:	Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Ammoniakmassenstromes innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen.....	38
Abbildung 21:	Berechneter Ammoniakmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Volierehaltungen	39
Abbildung 22:	Berechneter Gesamtstaubmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimabereiche Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Volierehaltungen	41
Abb. A-1:	Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der KG-2 (>15.000 Tpl.)	55
Abb. A-2:	Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der KG-1 (<15.000 Tpl.)	56
Abb. A-3:	Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der VO-1 (<15.000 Tpl.)	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messtechnik zur Bestimmung der Lufttemperatur und -feuchte sowie des Luftdrucks.....	16
Tabelle 2:	Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase	17
Tabelle 3:	Relation zwischen den Maßeinheiten zur Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid	18
Tabelle 4:	Messtechnik zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit.....	19
Tabelle 5:	Mess- und Probennahmetechnik zur Bestimmung der Staubfraktionen	19
Tabelle 6:	Staubkonzentration (mg/m ³) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	29
Tabelle 7:	Staubkonzentration (mg/m ³) – Kleingruppe (KG-1, < 15.000 Tpl.).....	29
Tabelle 8:	Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m ³) und Endotoxine (EU/m ³) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	31
Tabelle 9:	Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m ³) und Endotoxine (EU/m ³) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.).....	31
Tabelle 10:	Staubkonzentration (mg/m ³) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	40
Tabelle 11:	Staubkonzentration (mg/m ³) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	40
Tabelle 12:	Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m ³) und Endotoxine (EU/m ³) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	42
Tabelle 13:	Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m ³) und Endotoxine (EU/m ³) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	42
Tab. A-1:	Außenlufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)	50
Tab. A-2:	Außenlufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)	50
Tab. A-3:	Außenlufttemperatur (°C) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	51
Tab. A-4:	Außenlufttemperatur (°C) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	51
Tab. A-5:	Stalllufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	51
Tab. A-6:	Stalllufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.).....	51
Tab. A-7:	Stallluftfeuchte (%) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	52
Tab. A-8:	Stallluftfeuchte (%) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.).....	52
Tab. A-9:	Ammoniakkonzentration (ppm) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)	52
Tab. A-10:	Ammoniakkonzentration (ppm) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)	52
Tab. A-11:	Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	53
Tab. A-12:	Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.).....	53
Tab. A-13:	Volumenstrom (m ³ /h*Tpl.) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)	53
Tab. A-14:	Volumenstrom (m ³ /h*Tpl.) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)	53
Tab. A-15:	Ammoniakemissionen (g/h) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.).....	54
Tab. A-16:	Ammoniakemissionen (g/h) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.).....	54
Tab. A-17:	Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)	54
Tab. A-18:	Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)	54
Tab. A-19:	Gasemissionen im Jahresverlauf – Kleingruppe	55
Tab. A-20:	Staubemissionen (g/Tpl.) – Kleingruppe	55
Tab. A-21:	Stalllufttemperatur (°C) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	57
Tab. A-22:	Stalllufttemperatur (°C) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	57
Tab. A-23:	Stallluftfeuchte (%) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	57
Tab. A-24:	Stallluftfeuchte (%) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	57
Tab. A-25:	Ammoniakkonzentration (ppm) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)	58
Tab. A-26:	Ammoniakkonzentration (ppm) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)	58
Tab. A-27:	Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	58
Tab. A-28:	Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	58
Tab. A-29:	Volumenstrom (m ³ /h*Tpl.) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)	59
Tab. A-30:	Volumenstrom (m ³ /h*Tpl.) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)	59
Tab. A-31:	Ammoniakemissionen (g/h) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.).....	59
Tab. A-32:	Ammoniakemissionen (g/h) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.).....	59
Tab. A-33:	Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)	60
Tab. A-34:	Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)	60
Tab. A-35:	Gasemissionen im Jahresverlauf – Voliere.....	60
Tab. A-36:	Staubemissionen (g/Tpl.) – Voliere.....	60

Abkürzungsverzeichnis

BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
DLG	Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft
EU	Endotoxinunit
GV	Großvieheinheit (500 kg Lebendmasse)
H ₂ O	Wasser
K	Kelvin, Temperaturdifferenzwert
KAT	Kuratorium artgerechte Tierhaltung
KbE	Koloniebildende Einheit
Lee	dem Wind abgewandte Seite, vom Stall belastete Umfeldluft (Ablufffahne)
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LPS	Lipopolysaccharide
Luv	dem Wind zugewandte Seite, vom Stall unbelastete Umfeldluft
LW	Lebenswoche
MZF	Messzeitfenster für Klimafenster Sommer, Winter, Herbst, Frühling
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
n	Anzahl
PM (10)	Particulate Matter (aerodynamischer Durchmesser < 10 µm)
ppm	parts per million (Teile pro Million)
RL	Richtlinie
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
Tpl.	Tierplatz
TS	Trockensubstanz
VO	Verordnung

1 Einleitung

Mit dem Ziel, die Haltungssysteme für Legehennen den Ansprüchen der Tiere anzupassen, wurden die Käfigsysteme europaweit auf den Prüfstand gestellt. Hierzu wurden gesetzliche Regelungen zur Erreichung dieser Zielstellung angepasst. Infolge dieser Anpassung wurde in einem ersten Schritt das Platzangebot für jede Henne im Käfig erweitert. Europaweit verständigte man sich darauf, dass ab 2012 nur noch ausgestaltete Käfige und Bodenhaltungssysteme die Grundlage der Eierproduktion bilden. Im Gegensatz zu den konventionellen Käfigen sind die angereicherten bzw. ausgestalteten Käfigsysteme mit Sitzstangen, Legenest und Sandbad ausgestattet.

In Deutschland wurde dieser Prozess zeitlich durch die Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung vom 22. August 2006 verkürzt. In deren Folge müssen Ställe mit konventioneller Käfighaltung bis Ende 2008 auf Kleingruppenhaltung oder alternative Haltungsverfahren für Legehennen umgebaut werden.

Die in der Europäischen Gemeinschaft auch weiterhin zugelassenen ausgestalteten Käfige wurden in Deutschland als Produktionsbasis ausgeschlossen. Hierfür wurden Kleingruppenhaltungssysteme erneut als Produktionsbasis diskutiert. Diese Systeme beherbergen je Einheit bis zu 60 Tiere und bieten ebenfalls Sitzstangen, ein Gruppenlegenest und einen Scharrbereich. Initiiert mit der Entschließung des Bundesrates vom 7. April 2006, in der gefordert wurde, dass „... unverzüglich wissenschaftliche Untersuchungen zur Beurteilung der Auswirkungen der unterschiedlichen Haltungssysteme auf die Tiergesundheit und das Tierverhalten von Legehennen und zur Weiterentwicklung der Haltungssysteme insbesondere mit Blick auf Stallneubauten durchzuführen sind“, wurde mit der Evaluierung dieser Systeme begonnen, um festzustellen, inwieweit sie im Kontext mit dem gesellschaftlichen Meinungsbild und insbesondere mit dem Schutz der Tiere die Ansprüche erfüllen. Eine Erweiterung erfuhr die Forschungsaufgabe, indem neben den Kleingruppensystemen auch die Bodenhaltungssysteme in die Untersuchungen integriert wurden.

Im Gesamtprojekt sollen auf der Basis zu erarbeitender Systemdaten der Kleingruppen- und Volierenhaltung von Legehennen bezüglich Tiergesundheit, Verhalten, Wirtschaftlichkeit, Hygienestatus und Umwelteinträgen unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen Kennwerte und Managementhinweise abgeleitet werden. Hierzu wurden in einer Vielzahl von Ställen deutschlandweit Erhebungen und Untersuchungen über drei Jahre durchgeführt. Beteiligt daran waren

- das Friedrich-Löffler-Institut, Institut für Tierschutz und Tierhaltung Celle,
- das Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Betriebswirtschaft, Institut für Agrartechnologie
- die Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie sowie für Biometrie, Epidemiologie und Informationsverarbeitung,
- die Universität Hohenheim, Fachgebiet Nutztierethologie und Kleintierzucht,
- die Universität Kassel, Fachgebiet Nutztierethologie und Tierhaltung,
- das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Tierische Erzeugung Köllitsch,
- die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft.

Der in Sachsen bearbeitete Projektteil umfasst Messungen und Bewertungen zu

- ausgewählten Stallluftgasen und Luftvolumenströmen sowie Lufttemperatur und -feuchte innerhalb außen-temperaturabhängiger Zeitfenster,
- gravimetrischen Bestimmungen ausgewählter Fraktionen des luftgetragenen Stallstaubes im Abluftstrom,
- Abbildungen der Staubkonzentrationen im Tagesverlauf mittels optischem Messsystem,
- Bestimmungen ausgewählter Bestandteile des Bioaerosols (Probennahme mittels Impinger im Abluftstrom)

über verlängerte Zeitfenster im Jahresverlauf. Hieraus soll das Emissionsverhalten der zu untersuchenden Haltungssysteme eingeschätzt werden.

Im Kontext mit den bundesweit gewonnenen Daten zum Stallklima und Emissionsverhalten, die aufgrund der zeitlichen Einschränkungen keine Ableitung des Emissionsverhaltens der Haltungssysteme im Jahresverlauf zulassen, soll eine belastbare Bewertung des Emissionsverhaltens derartiger Legehennenställe erfolgen. Die Ergebnisse sollen der Praxis als Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt werden.

2 Planung und Ablauf der Arbeiten

2.1 Wissensstand

Die Leistung landwirtschaftlicher Nutztiere wird von einem tiergerechten Haltungssystem und primär vom Stallklima bestimmt. Wesentlichen Einfluss auf das Stallklima haben die Lufttemperatur und -feuchte, gasförmige Stallraumlasten wie Ammoniak und Kohlendioxid sowie die organischen und anorganischen Bestandteile des luftgetragenen Staubes.

Eine immissionsschutzrechtliche Bewertung von Tierhaltungsanlagen findet derzeit in der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2002) anhand von Ammoniak, Geruchsstoffen und Staub statt. Ziel ist, Anwohner und sensible Ökosysteme vor erhöhten Belastungen durch diese Substanzen zu schützen. Hieraus resultieren einzuhaltende Mindestabstände der Stallanlagen. Einzuhaltende Obergrenzen (TA Luft) existieren zum Gesamtschwebstaub und Feinstaub (PM₁₀). Der Massenstrom an Gesamtstaub aus Tierhaltungen wird stündlich auf maximal 200 g begrenzt. Der Ammoniakmassenstrom – hier ist die Tierhaltung mit ca. 80 % der Gesamtemission Hauptemittent in Deutschland – soll 150 g je Stunde bzw. eine Konzentration von 30 mg je m³ nicht überschreiten (TA Luft).

Die Steuerung des Stallklimas bestimmt, dass Legehennen nach SCHOBRIES (1986) ab der 12. Lebenswoche zwischen 14 und 20 °C Stalllufttemperatur benötigen. Temperaturen unter 14 °C sollten auch im Winterhalbjahr nicht unterschritten werden (MÜLLER 2003). Der thermisch neutrale Temperaturbereich liegt bei Legehennen zwischen 12,0 °C und 25,5 °C (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999). Eigene Untersuchungen zeigten, dass Legehennen – insbesondere mit Auslaufnutzung – auf Temperaturen um 10 °C mit konstanter Legeleistung und ohne nennenswert erhöhten Futteraufwand reagieren.

Weil u. a. auch die Legeleistung und das Eigewicht vom Stallklima beeinflusst werden (PAYNE 1966) und eine Unter- bzw. Überschreitung Leistungsdepressionen verursacht, wird ein leistungsangepasster Optimalbereich zwischen 15 °C und 22 °C empfohlen (DIN 18910-1). Niedrige Temperaturen werden von den Tieren besser

kompensiert. Die kritische Temperatur für Legehennen ist erreicht, wenn ein erhöhter Energieumsatz zur Wärmeproduktion bzw. zum Schutz vor Überhitzung einsetzt (ACHILLES et al. 2002). Temperaturschwankungen unter praxisnahen Haltungsbedingungen wirken auf die Hennen stimulierend.

Die Legehenne gibt täglich ca. 100 g Wasser über Atemluft ab (SCHOBRIES 1986). Neben der Regulation der Stalllufttemperatur muss die Stalllüftung auch die Abförderung der Stallluftfeuchte sichern, sodass die Luftfeuchte für eine optimale Klimagestaltung und den Schutz der baulichen Einrichtungen nicht über 70–80 % steigt (TÜLLER 1999). Insbesondere im Winter sind hier kurzzeitige Überschreitungen zu erwarten (MÜLLER 2003). Hierfür werden unabhängig vom Lüftungssystem (Überdruck-, Unterdruck-, Gleichdrucklüftung) für Legehennen mit einem Körpergewicht von 2,0 kg unter Winterbedingungen Luftvolumenströme von mindestens 0,7, unter Sommerbedingungen von maximal 5,8 m³ je Tierplatz in der Stunde empfohlen (DIN 18910-1).

Kennwerte aus Legehennenhaltungen in Praxisbetrieben variieren im Minimum zwischen 0,9 und 1,1 m³/h*Tier (SEEDORF et al. 1998). Im Maximum liegen diese zwischen 1,3 und 5,3 m³/h*Tier. Eigene Untersuchungen zeigten, dass in Bodenhaltungssystemen im Winterhalbjahr Luftraten zwischen 1,1 und 2,1 m³/h*Henne (Differenzdruck -1 bis -12 Pa) und im Sommerhalbjahr zwischen 2,9 und 6,2 m³/h*Henne (Differenzdruck -3 bis -15 Pa) realisiert wurden (LIPPMANN 2007, 2011).

Eine zu beachtende Stallraumlast ist Ammoniak. Diese entsteht bei bakterieller Zersetzung der Harnsäure im Kot in Abhängigkeit von der Temperatur (GROOT KOERKAMP 1994). Die Abbaurate ist bei 20 °C gering und steigt bei 30 °C auf das Vierfache. Bei über 35 °C und Feuchtegehalten oberhalb 40 % im Tierexkrement findet ein vermehrtes Bakterienwachstum statt (BESSEI & DAMME 1998). Je Henne fallen jährlich in Bodenhaltung 65 kg Frischkot (20–25 % TS) an. Bei 1,3 % Stickstoff entfallen je Henne ca. 0,8 kg im Jahr (TÜLLER 1999). Tendenziell reagieren Tiere bei erhöhter Ammoniakkonzentration bereits ab 10 ppm mit geringerer Legeleistung und Gewichtsverlust (DEATON et al. 1982; HONGWEI XIN et al. 1987) und ab 13 ppm mit einer erhöhten Anfälligkeit für Lungenerkrankungen (ADAM 1973). Ab 20 ppm wurde eine Schädigung der Schleimhäute im Atemtrakt des Huhnes nachgewiesen (AL-MASHHADANI, BECK 1985). Deshalb schreibt die Hennenhaltungs-VO (2001) für Hennenhaltungssysteme vor, dass 20 ppm Ammoniak dauerhaft und 10 ppm im Aufenthaltsbereich der Tiere nicht überschritten werden dürfen.

In modernen Volieresystemen für Legehennen wurden im Mittel um 6 ppm gemessen (LIPPMANN 2007, 2011). Maximalwerte lagen hier bei 16 ppm. Bodenhaltungssysteme mit stallseitiger Kotlagerung wiesen im Mittel der Messungen ebenfalls 6 ppm auf, jedoch wurden hier auch Maximalwerte bis 55 ppm registriert. Die Konzentration im Stall und Abluftstrom weicht deutlich ab. So ermittelt MÜLLER (2004) bei der Messung von Maximalwerten nur ca. 50 % der Stallinnenraumkonzentration (Tierbereich) im Abluftstrom.

Emissionswirksam werden Stallraumlasten wie Ammoniak über die Stalllüftung. An der Gesamtemission aus Tierhaltungen leisten die Ammoniakemissionen aus der Geflügelhaltung in Deutschland nur einen geringen Beitrag. Mit Bezug auf die spezifische Körpermasse ist das Geflügel mit Abstand jedoch der größte Ammoniakemittent in der Nutztierhaltung (KTBL 2002). In der Literatur ist eine große Varianz an Emissionsraten aus Legehennenhaltungen zu finden. Für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker ermittelten BRUNSCH et al. (2005) 97–389 g, für Volieresysteme 91–136 g und für den ausgestalteten Käfig 31–49 g/Tier im Jahr. Die Bewertungen und Einordnungen erschweren die z. T. hohen Streuungen innerhalb der Randbedingungen. Zusammenfassend werden Ammoniakemissionsfaktoren für Kleingruppensysteme von 150 g je Tierplatz und Jahr (unbelüftetes Kotband, Entmistung einmal pro Woche) und 40 g bei Betrieb einer Kotbandbelüftung angegeben (EURICH-MENDEN 2011). Für Volieren wurden 56 g (unbelüftet, zweimal wöchentlich) und 46 g (belüftet, einmal wöchentlich) je Tierplatz und Jahr festgehalten. Das Ansteigen der Ammoniakemissionen ist deutlich an die

Entmistungsintervalle gekoppelt (HAHNE 2010). Nach STANDKE & BÜCHER (2010) nimmt Ammoniak auch eine Schlüsselrolle bei der Sekundärpartikelbildung ein. Die hier gebildeten Salze durch das luftgetragene Ammoniak können bis zu 40 % des Feinstaubes und bis zu 10 % des Gesamtstaubs betragen. Sie beeinflussen die Staubemissionen im Nahbereich marginal und haben aufgrund ihrer geringen Masse im Fernbereich des Stalls eine größere Rolle.

Die TA Luft weist für die Haltungssysteme Käfig, Voliere und Boden mit Kotlagerung im Stall Ammoniakemissionsfaktoren von 38,9, 91,1 und 315,7 g/Tier im Jahr aus. In eigene Untersuchungen wurden Emissionsfaktoren für Volieresysteme von 56,5 g und für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker von 312 g/Tier im Jahr ermittelt (LIPPMANN 2007). Diese Systeme wurden ohne Kotbandbelüftung bewirtschaftet.

Kohlendioxid entsteht in erster Linie durch die Respiration der Tiere sowie bei Umsatzprozessen im Kotstapel und ist in der Stallluft ein guter Indikator für die Qualität des Lüftungsmanagements. Hierbei folgt der Kohlendioxidgehalt dem Aktivitätsniveau in der Herde und wird durch das Leistungsniveau, die Stalltemperatur sowie im Besonderen durch die Körpermasse bestimmt. Der Grenzwert ist bei 3.000 ppm festgeschrieben (Hennenhaltungs-VO). Insbesondere in den kälteren Wintermonaten wird dieser Wert kurzzeitig überschritten (MÜLLER 2003). Eigene Untersuchungen zeigten, dass eine wesentliche Ursache die Verringerung der Luftwechselrate zur Stabilisierung der Innentemperatur bei niedriger Außentemperatur ist und dabei auch die Ammoniakkonzentration in der Stallluft ansteigt (LIPPMANN 2007). Kohlendioxid gelangt über das Lüftungssystem in die Atmosphäre und wirkt hier als „Treibhausgas“. Dennoch zielen bisherige Grenzsetzungen im landwirtschaftlichen Bereich in erster Linie auf eine Optimierung der Stallluft. In Untersuchungen wurden in Volieren im Mittel 26,5 kg/Tier und in der klassischen Bodenhaltung 34,3 kg/Tier im Jahr ermittelt (NESER 2000).

Durch bakterielle Umsetzungsprozesse von anorganischem Stickstoff und anaerober mikrobieller Abbauprozesse organischer Stoffe insbesondere in der Kot- und Einstreusubstanz entstehen Lachgas und Methan. Eigene Untersuchungen zeigen, dass Lachgas und Methan in Bodenhaltungen für Legehennen in geringen Konzentrationen auftraten und dabei überwiegend mit der Zuluftkonzentration korrespondierten (LIPPMANN 2007, 2011).

Stäube sind disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen (MAK-Liste, DFG 2001, zit. SEEDORF & HARTUNG 2002) und gehören zu den Aerosolen. Stallstaub setzt sich aus verschiedenen Komponenten organischer und anorganischer Herkunft zusammen (SEEDORF & HARTUNG 2002). Als Bioaerosol werden die Bestandteile mit biologischem Ursprung bezeichnet, sie können pflanzlicher, tierischer und mikrobieller Herkunft sein (HOPPENHEIDT 2002). Bereits Partikelgrößen unterhalb 100 µm (Grobstaub) sind zu einem Anteil von über 50 % einatembar (LINSEL 2001, zit. HOPPENHEIDT 2002). Mit abnehmendem aerodynamischem Durchmesser passieren sie Mund- und Nasenraum zunehmend. Unterhalb eines Durchmessers von 30 µm dringen die Partikel zunehmend über den Kehlkopf in die Lunge vor (thorakal). Die Luftwege der Lunge (alveolar) erreichen Partikel unterhalb eines Durchmessers von 10 µm (Feinstaub). Unterhalb von 5 µm setzt die Deposition in der Lunge ein, unterschreitet der aerodynamische Durchmesser 2,5 µm, gelangen bereits ca. 90 % der Partikel in die Lunge. Insbesondere Viren, Bakterien und Pilze besitzen einen aerodynamischen Durchmesser unter 10 µm. In Bodenhaltungssystemen für Legehennen wurden Gesamtstaubgehalte zwischen 15 bis 90 mg je m³ Stallluft gemessen (LfL 2004). Volieren weisen hierbei die höheren Konzentrationen auf. Die Untersuchungen zeigen, dass die Staubgehalte der Stallluft deutlich an das Tierverhalten gekoppelt sind. Untersuchungen in Volieresystemen wiesen nach, dass hier eine Staubkonzentration zwischen 7,1 und 23,8 mg/m³ auftritt (LIPPMANN 2007). Aufgrund der Sedimentationseigenschaft der Staubpartikel im Abluftstrom ist die in der Stallluft gemessene Staubkonzentration nicht für die Ermittlung der Staubemissionen nutzbar (SCHMITT et al. 2004).

Im „Staub“ bilden die belebten Bestandteile – Bakterien, Pilze Viren, Milben und Protozoen – mit den unbelebten Bestandteilen überwiegend Cluster (MÜLLER et al. 1978). Ca. 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen nutzen diese Möglichkeit als Transportmittel und zum Stoffwechsel. Aufgrund dieser Beziehungen hat ein Bioaerosol das Potenzial zur Infektiosität, Allergisierung, Toxizität und pharmakologischen Wirkung (SEEDORF & HARTUNG 2002). Die Zusammenführung von Untersuchungsergebnissen zu Konzentrationen von Staub, Mikroorganismen und Endotoxinen in Tierhaltungssystemen für Rind, Schwein und Geflügel (SEEDORF & HARTUNG 2002) ergab, dass Geflügelhaltungen mit Ausnahme der Pilzfraktion die höchsten Kennwerte aufweisen. Bei inhalierbarem Staub liegt der Medianwert in der Geflügelhaltung bei 2,45 mg/m³, bei alveolengängigem Staub bei 0,38 mg/m³. Hier traten auch mit 36,6 und 1,13 mg/m³ die Maximalwerte auf. Die mittlere Gesamtkeimzahl in Geflügelhaltungen beträgt 2,8 *10⁴ KbE/m³ (Maximum bei 5,8 *10⁶ KbE/m³). Die Gesamtkeimzahl gramnegativer Bakterien erreicht im Mittel 4,6 *10⁴ KbE/m³ (im Maximum mit Faktor 16304 zum Median). Bei der Pilzfraktion werden in den Geflügelhaltungen mit 1,3 *10³ KbE/m³ (Maximum bei 1,45 *10⁶ KbE/m³) die niedrigsten Werte gefunden. Die Endotoxinwerte lagen in der Geflügelhaltung im Mittel bei 75,6 ng/m³. Mit zunehmender Entfernung zum Stall kann nach Untersuchungen von SCHIEK (1998) davon ausgegangen werden, dass sich die Luftgehalte an Keimen und Schimmelpilzen aus Tierhaltungen deutlich reduzieren und überwiegend keine humanpathogenen Keime gefunden werden. Die Messzeiträume lagen innerhalb höchster Tieraktivitäten und sind somit Maximalwerte. Die Gesamtkeimkonzentrationen variierten deutlich. Aerobe Keime wurden zwischen 6,5*10² und 1,4*10⁷ KbE/m³, gramnegative zwischen 1,8 und 1,9*10² und Schimmelpilze zwischen 3,7*10² und 4,7*10⁴ KbE/m³ gemessen (LIPPMANN 2007).

Das Haltungssystem hat großen Einfluss auf die Staubemission. Aus Bodenhaltungen kann gegenüber Käfighaltungen eine bis zu fünffach höhere Staubfracht aus dem Stall emittiert werden. TAKAI (1998) ermittelte im Mittel umfangreicher Probenahmen 18,95 g/Tier im Jahr an inhalierbarem (PM10) und 2,32 g an alveolengängigem (PM2,5) Staub in Käfighaltungen. Demgegenüber lagen die Werte in der Bodenhaltung bei 91,77 g inhalierbarem bzw. 17,76 g alveolengängigem Staub. HINZ (2005) ermittelte einen Emissionsfaktor von 10,95 g/Tier im Jahr in der Hähnchenmast. Die Jahreszeit hat einen deutlichen Einfluss. So ermitteln MOSTAFA & BÜSCHER (2007) für den Monat Juli 5,57 mg Gesamtstaub je Stunde und Tier in Volieren, im November werden hier 18,25 mg gemessen. Dieser Tendenz folgen auch Käfiganlagen auf niedrigerem Niveau. NANNEN & BÜSCHER (2007) leiten aus ihren Ergebnissen ab, dass die Streuung der Staubkonzentration im Sommer höher als in Übergangs- bzw. Winterklimabereichen ist. Wird bisher das Augenmerk auf die Staubfraktion PM10 gerichtet, so werden künftig die Fraktionen PM2.5 und PM1 mehr Beachtung finden (HINZ 2005).

2.2. Untersuchungsbasis und methodischer Ansatz

Für die Untersuchungen konnten in vier Legehennenställen über einen Zeitraum von zwei Jahren (jeweils zwei Produktionszyklen) Messdaten gesammelt werden. Jeweils zwei Messkampagnen wurden je Klimafenster realisiert. Die Temperaturbereiche wurden für die Klimafenster Herbst und Frühling (lüftungstechnischer Übergangsbereich) mit 6–16 °C, für Sommer mit > 16 °C und für Winter mit < 6 °C Tagesmitteltemperatur definiert. Die Basis der Bereichsdefinitionen bilden die in Sachsen langjährig gemessenen mittleren Tagestemperaturen (Abbildung 1).

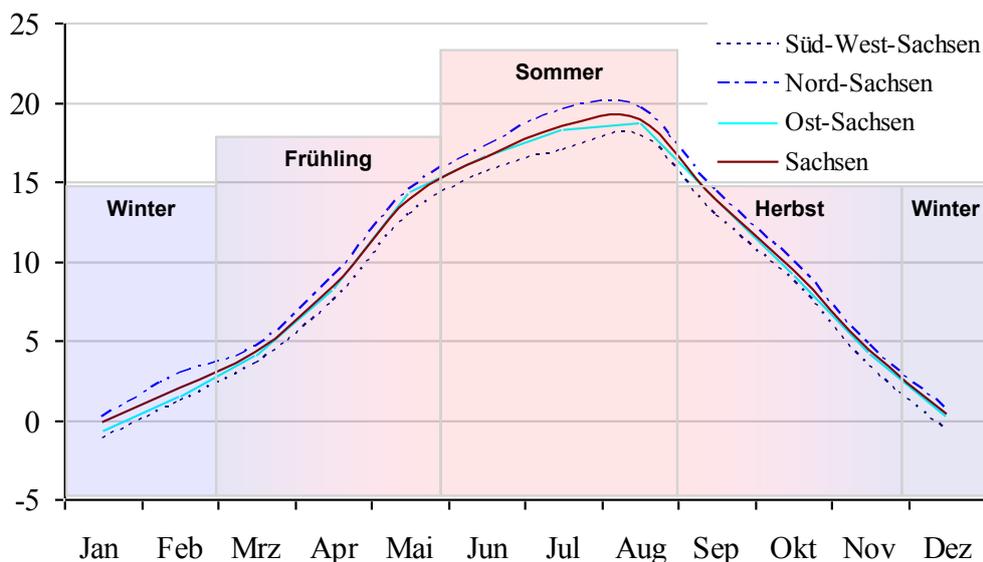


Abbildung 1: Langjährig gemessene mittlere Lufttemperatur in Sachsen im Jahresverlauf

Untersucht wurden dabei in jeweils zwei Ställen die Haltungssysteme Kleingruppe und Voliere für Legehennen.

2.2.1 Legehennenhaltungen

In den Bodenhaltungen VO-1 und VO-2 stehen 8.020 bzw. 20.520 Hennenplätze in doppelreihig angeordneten, zweietagigen Voliereblöcken den Tieren zur Verfügung. Die Besatzdichte beträgt 14 bzw. 13 Hennen je m² Stallgrundfläche und 7 Hennen je m² Nutzfläche. Die gesamte Stallgrundfläche kann von den Tieren als Scharrraum genutzt werden. Jede Etage ist mit Futterketten, Nippeltränken und Sitzstangen mehrreihig ausgerüstet. Die Kotlagerung erfolgt auf nachgeordneten Kotbändern. Zweimal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht. In der Bodenhaltung VO-2 ist eine Kotbandbelüftung kontinuierlich in Betrieb. Die Bodenhaltung

VO-1 ist mit keiner Kotbandbelüftung ausgerüstet. In jedem Block folgen nach einem Nestgang doppelreihige, stufig angeordnete Gruppennester. Die Nester sind mit Austriebsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Vor den Nestern befinden sich Anflugstangen. Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Bänder in den Vorraum. VO-1 ist ein Altbau und hat keinen Tageslichteinfall, VO-2 ist ein umgebauter Altbau und besitzt Tageslichteinfall.

In den Kleingruppenhaltungen KG-1 und KG-2 stehen 8.640 bzw. 30.960 Hennenplätze in mehrreihig angeordneten, mehretagigen Kleingruppenkäfigen den Tieren zur Verfügung. Die Besatzdichte beträgt 14 bzw. 17 Hennen je m² Stallgrundfläche und 11 Hennen je m² Nutzfläche. Die Kleingruppenkäfige sind mit Futterketten, Nippeltränken, Sandbad, Gruppennest und Sitzstangen ausgerüstet. Die Kotlagerung erfolgt auf nachgeordneten Kotbändern. Zweimal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht. In der Kleingruppenhaltung KG-1 ist eine Kotbandbelüftung eingebaut, die diskontinuierlich in Betrieb ist. Die Kleingruppenhaltung KG-2 hatte die Kotbandbelüftung während der Messungen nicht in Betrieb. Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Bänder in den Vorraum. KG-1 ist ein Altbau und hat keinen Tageslichteinfall, KG-2 ist ein Neubau und besitzt Tageslichteinfall.

Die Klimagestaltung erfolgt in allen Ställen über ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Steuerung. Als Regelgröße werden für den Sommer- und Winterbetrieb die Stalllufttemperatur, Minimal- sowie

Maximalluftstraten und Regelbereiche vorgegeben. Das Lüftungssystem in VO-1 und KG-1 ist bei 20 Pa Unterdruck für maximal 10 m³ Abluftvolumen je Hennenplatz konzipiert. Über 4 Abluftkamine im giebelseitigen Wandbereich am hinteren Stallende wird die Abluft aus dem Stall befördert. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftventile traufseitig direkt in den Stallraum. Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass der Luftwechsel nach einem Prinzip der Kombination aus Strahl Lüftung mit Abluftförderung entlang der Längsachse des Stalls erfolgt. Zur Steuerung des Luftwechsels im Stall werden die 4 Ventilatoren temperaturabhängig einzeln nacheinander zugeschaltet. Eine Mindestluftstrate kann hier nicht eingestellt werden.

Das Lüftungssystem in VO-2 ist bei 20 Pa Unterdruck für maximal 10 m³ Abluftvolumen je Hennenplatz konzipiert. Über 10 Abluftkamine mit Steuerklappe im Firstbereich in Stalllängsachse verteilt wird die Abluft aus dem Stall befördert. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftventile traufseitig direkt in den Stallraum. Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass der Luftwechsel nach dem Prinzip der Strahl Lüftung erfolgt. Zusätzliche Zuluft wird über einen Luftmischer und die Kotbandbelüftung in den Stallraum geleitet. Das Mischungsverhältnis zwischen Frisch- und Abluft ist von der Außentemperatur abhängig. Vier über die Stalllängsachse gleich verteilte Abluftkamine sind mit synchron stufenlos geregelten Ventilatoren ausgerüstet. Hierüber kann eine definierte Minilluftstrate realisiert werden. Stalllufttemperaturabhängig werden 4 unregelte Lüftergruppen nacheinander zugeschaltet.

Das Lüftungssystem in KG-2 ist bei 20 Pa Unterdruck für maximal 6,5 m³ Abluftvolumen je Hennenplatz konzipiert. Über 6 Abluftkamine mit Steuerklappe entlang der Stalllängsachse im Firstbereich verteilt und 3 Abluftkamine mit Steuerklappe im Deckenbereich am hinteren Stallende, wird die Abluft aus dem Stall befördert. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftventile traufseitig in den Stall. Zur Steuerung des Luftwechsels im Stall sind drei Kamine am hinteren Stallende mit stufenlos geregelten Ventilatoren (Sicherung der Mindestluftstrate) ausgerüstet. Innerhalb von 4 Lüftergruppen werden 6 Abluftventilatoren einzeln temperaturabhängig unregelt zugesteuert. Ab einer festlegbaren Stalllufttemperatur werden zwei in der Giebelwand platzierte Ventilatoren temperaturabhängig nacheinander zugeschaltet. In diesem Betriebszustand werden Zuluftventile an der gegenüberliegenden Giebelwand zusätzlich geöffnet. Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass der Luftwechsel nach dem Prinzip einer modifizierten Strahl Lüftung mit Abluftförderung entlang der Längsachse des Stalls realisiert wird. Mit der Zuschaltung der Lüftergruppen im Firstbereich verläuft der Luftwechsel verstärkt nach dem Prinzip einer Strahl Lüftung. Mit weiterer Stalllufttemperaturzunahme und dem Zuschalten der Giebellüfter folgt der Luftwechsel zunehmend dem Tunnelprinzip.

In den nachfolgenden Abbildungen 2 bis 4 sind die Messpunktepläne für die Untersuchungsställe wiedergegeben.

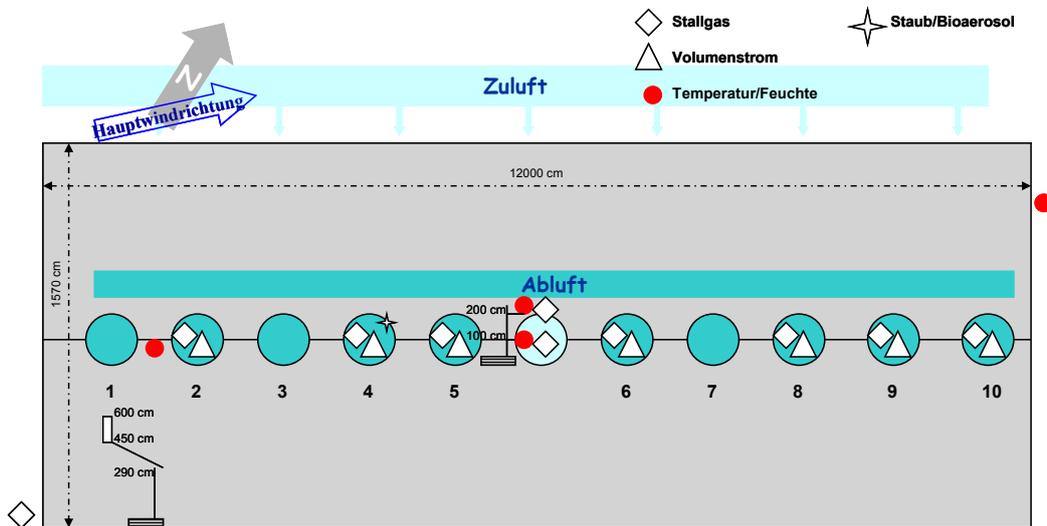


Abbildung 2: Messpunkteplan in der Bodenhaltung VO-2 (> 15.000 Tpl.)

In der Abbildung 2 werden die Messpunkte in der Bodenhaltung VO-2 dargestellt. Die Messpunkte für die Stallgase sowie Lufttemperatur und -feuchte wurden im Zentrum des Stalls ca. 1 m und 2 m über dem Stallboden eingerichtet. Ergänzt wurden Temperaturmesspunkte an der Stallperipherie und im Außenbereich angebracht. Zur Messung des Volumenstroms und der Abluftgaskonzentration wurde je Lüftergruppe mindestens ein Kamin mit Messpunkten ausgerüstet. Das wurde notwendig, weil der Messstellenumschalter nur 12 Kanäle hat. Eine jeweilige Lüftergruppe bilden die Kamine 1 und 10, 3 und 8, 5 und 6. Die Ventilatoren in den Kaminen 2, 4, 7 und 9 sind synchron geregelt. Die punktuellen Staub- und Keimmessungen fanden dachseitig am Kamin 4 statt.

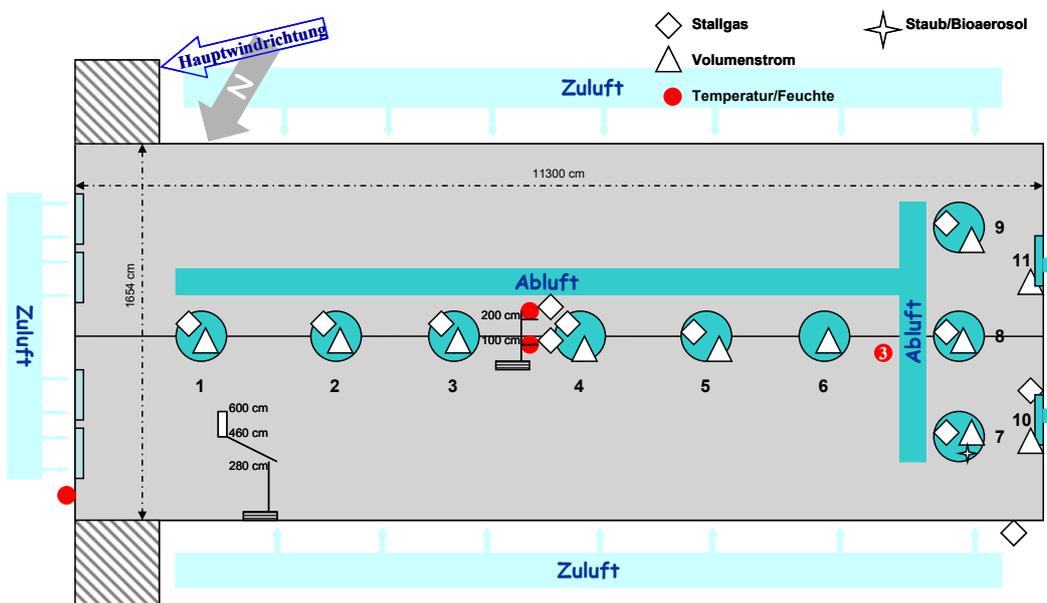


Abbildung 3: Messpunkteplan in der Kleingruppenhaltung KG-2 (> 15.000 Tpl.)

In der Abbildung 3 werden die Messpunkte in der Kleingruppenhaltung KG-2 dargestellt. Die Messpunkte für die Stallgase sowie Lufttemperatur und -feuchte wurden im Zentrum des Stalls ca. 1 m und 2 m über dem Stallboden eingerichtet. Ergänzt wurden Temperaturmesspunkte an der Stallperipherie und im Außenbereich angebracht. Zur Messung des Volumenstroms wurde jeder Kamin und zur Messung der Abluftgaskonzentration jede Lüftergruppe mit mindestens einem Kamin mit Messpunkten ausgerüstet. Eine jeweilige Lüf-

tergruppe bilden die Kamine 1, 2 und 6 sowie 3, 4 und 5 sowie jeweils 11 und 12. Die Ventilatoren in den Kaminen 7, 8 und 9 sind synchron geregelt. Die punktuellen Staub- und Keimmessungen fanden dachseitig am Kamin 7 statt.

In der Abbildung 4 werden die Messpunkte in der Bodenhaltung VO-1 und in der Kleingruppenhaltung KG-1 dargestellt. Die Ställe sind baugleich und haben nur jeweils ein anderes Haltungssystem. Die Messpunkte für die Stallgase sowie Lufttemperatur und -feuchte wurden im Zentrum des Stalls ca. 1 m und 2 m über dem Stallboden eingerichtet. Ergänzend wurden Temperaturmesspunkte an der Stallperipherie und im Außenbereich angebracht. Zur Messung des Volumenstroms und der Abluftgaskonzentration wurde jeder Kamin mit Messpunkten ausgerüstet. Jeder Kamin bildet eine Lüftergruppe. Die punktuellen Staub- und Keimmessungen fanden dachseitig am Kamin 2 statt.

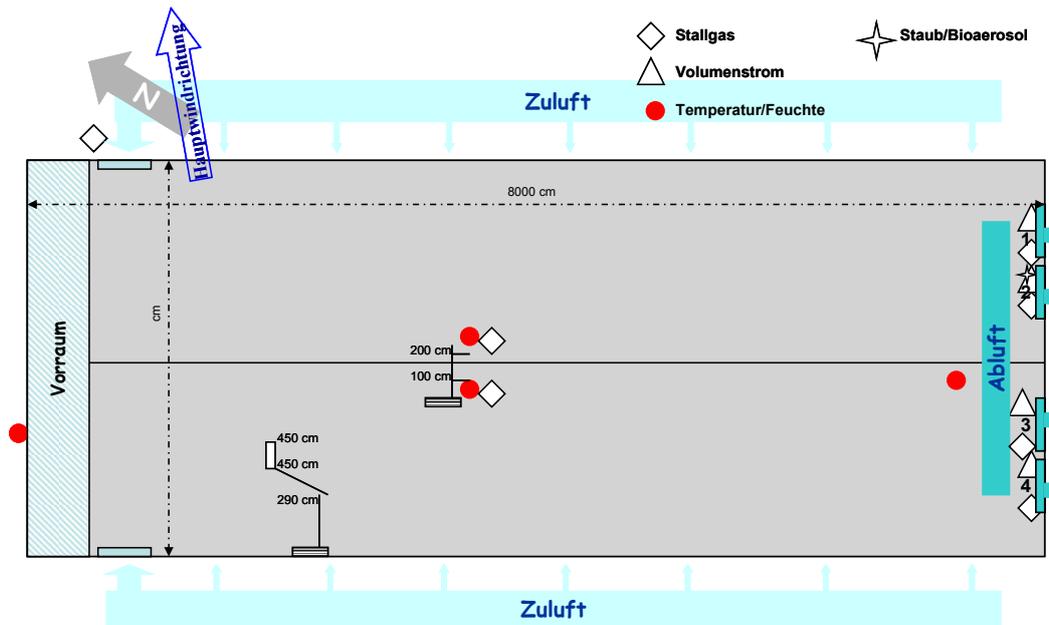


Abbildung 4: Messpunktplan für die Bodenhaltung VO-1 und Kleingruppenhaltung KG-1 (< 15.000 Tpl.)

2.2.2 Stallklima und Emission

Die Untersuchungen wurden über 2 Stallbelegungen durchgeführt. Hierbei wurden Lufttemperatur und -feuchte im Stall und Umfeld des Stalls, die Konzentration der Stallraumlasten Ammoniak, Distickstoffoxid (Lachgas), Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf im Stallraum sowie im Zuluft- und Abluftstrom innerhalb von mindestens 14-tägigen Messzeitfenstern kontinuierlich gemessen. Hierzu wurden kontinuierlich der Abluftvolumenstrom sowie der Differenzluftdruck zwischen Stallumfeld und -raum gemessen. Zur Kalkulation der Staub- und Bioaerosolfrachten wurden Spotmessungen durchgeführt.

2.2.2.1 Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom

Die Lufttemperatur und -feuchte im Stall und Umfeld wurden in 15-minütigen Intervallen für jeweils drei Messpunkte im Stall und einem Messpunkt außerhalb des Stalls aufgezeichnet. In Tabelle 1 sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

Tabelle 1: Messtechnik zur Bestimmung der Lufttemperatur und -feuchte sowie des Luftdrucks

Messgerät	Dosenbarometer (Gerätebau Fischer)	TinyTag Ultra
Messbereich/Genauigkeit	900 – 1.070 hPa +/- 1 hPa	-30 bis 50 °C; 0 bis 95 % +/- 0,2 °C; +/- 4 %
Datenerfassung	Messwerterfassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn; 1-Min.-Intervall; kontinuierlich im Messzeitfenster	15-Min.-Intervall; kontinuierlich im Messzeitfenster

Zur Bereitstellung der Kennwerte für die Stalllufttemperatur und -feuchte wurde ein Mittelwert der Messstellen 1 und 2 m über dem Boden im Zentrum des Stalls errechnet. Es wird unterstellt, dass dieser Temperaturwert dem des Abluftstromes entspricht.

Die innerhalb der Messzeitfenster gemessene Außenlufttemperatur bildet den Referenzwert, inwieweit die Messungen repräsentativ für die vier Klimafenster sind. In Abbildung 5 sind die Quartile sowie Minimum und Maximum der Außenlufttemperatur zusammengestellt.

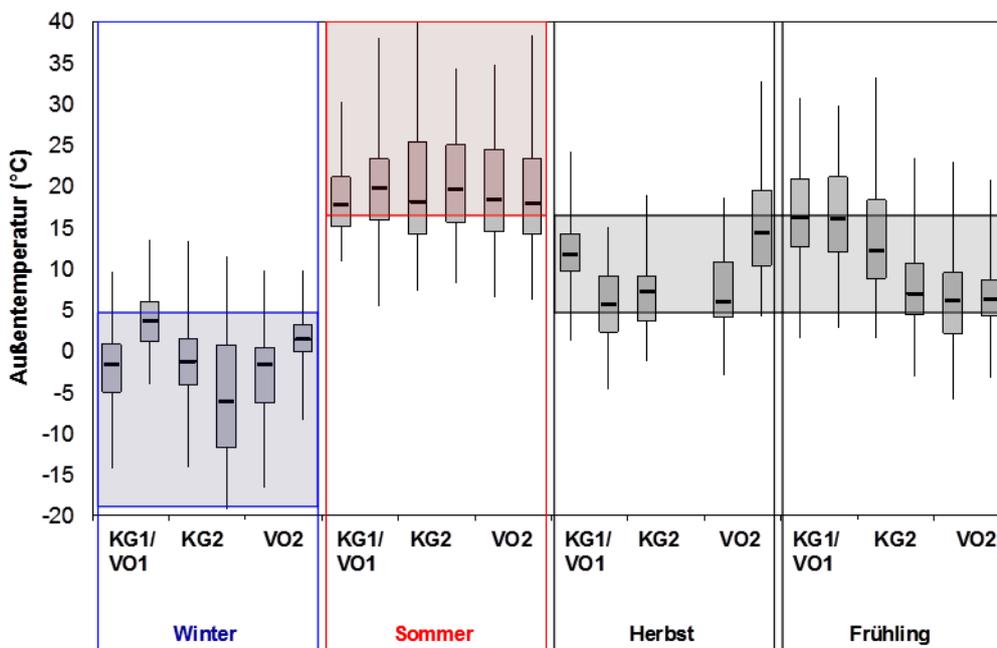


Abbildung 5: Quartile sowie Minimum und Maximum der Außenlufttemperatur innerhalb der Messzeitfenster für die Klimafenster

Die Messungen für das Klimafenster Winter wurden im Mittel (Median) zwischen -6,2 bis 3,6 °C durchgeführt. Hiermit ist der vorgesehene Temperaturbereich hinreichend abgebildet. 75 % der Werte lagen zwischen -11,8 und 5,9 °C. Die Minima lagen zwischen -19,3 und -4,0 °C, die Maxima zwischen 9,6 und 13,4 °C. Die Messungen für das Klimafenster Sommer wurden im Mittel (Median) zwischen 17,7 und 19,7 °C durchgeführt. Damit konnte der vorgesehene Temperaturbereich ebenfalls gut abgebildet werden. 75 % der Werte lagen zwischen 14,1 und 25,3 °C. Die Minima lagen zwischen 5,4 und 10,9 °C, die Maxima zwischen 30,2 und 39,9 °C. Die Messungen für das Klimafenster Frühling und Herbst (Übergangsbereich) wurden im Mittel (Median) zwischen 5,9 bis 16,2 °C durchgeführt. Hiermit wurde der vorgesehene Temperaturbereich ebenfalls erreicht. Die Streuungen der Werte sind in diesen Außenlufttemperaturbereichen aufgrund der Nacht-Tag-

Differenzen deutlich ausgebildet. 75 % der Werte lagen zwischen 2,1 und 21,1 °C. Die Minima lagen zwischen -5,9 und 4,3 °C, die Maxima zwischen 15,1 und 32,7 °C.

Die Messung Stallgaskonzentrationen in der Stall- und Zu- sowie Abluft wurden an den in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellten Messpunkten realisiert. Die Messpunkte wurden so angeordnet, dass unabhängig vom Lüftungsmanagement eine Aussage zur Gaskonzentration im Stallraum, im Zuluftstrom und im Abluftstrom gesichert vorlag. Aufgrund der Anzahl an Abluftstrecken (bis zu 12 in KG-2) in den Legehennenställen und 12 verfügbaren Messkanälen am Messstellenumschalter wurde teilweise je Lüftergruppe (mehrere Abluftkamine parallel geschaltet) nur in einem Abluftkamin die Gaskonzentration gemessen. Bisherige Messergebnisse haben gezeigt, dass die Gaskonzentration im Abluftstrom sich zwischen den Kaminen nur marginal unterscheidet. Diese Messstellen wurden über mit Filter ausgestatteten Messschläuchen mit dem Messstellenumschalter verbunden. Eine Bypasspumpe sicherte, dass trotz relativ langer Messstrecke zum Zeitpunkt der Gasanalyse in der Messkammer zeitaktuelle Gasmischproben zur Verfügung standen.

Die Analyse der Probenluft erfolgte im Multigasmonitor. Mit steigender Anzahl an Messstellen nimmt die stündlich mögliche Anzahl an Probennahmen ab. Aufgrund der Analysezeit ist bei der maximalen Auslastung des Messnetzes mit 12 Probennahmestellen je Stunde mit ca. 3 Messwerten zu rechnen. In Tabelle 2 sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

Tabelle 2: Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase

Messgerät	Multigasmonitor 1312, Fa. Innova Air Tech Instruments (LumaSense)
Verfahren/Komponenten	Photoakustische IR-Spektroskopie Kohlendioxid (CO ₂), Lachgas (N ₂ O), Methan (CH ₄), Ammoniak (NH ₃), Wasserdampf (H ₂ O)
Messbereich/Genauigkeit	CO ₂ ... 1,5–15.000 ppm, N ₂ O ... 0,03–30 ppm, CH ₄ ... >0,25 ppm, NH ₃ ... 0,8–800 ppm, H ₂ O ... 0,1–100 g/m ³ Berechnung der Abgasdichte aus Luftdichte und Wassergehalt des Abgases
Probennahme	Multiplexer 1309, Fa. Innova Air Tech Instruments Unbeheiztes PA-Rohr bis zum Messstellenumschalter, Filter (DIF BN 50K) am Messeingang
Datenerfassung	< 20-Min.-Intervall; kontinuierlich im Messzeitfenster, Systemsoftware

Das Messsystem hat sich unter den robusten Bedingungen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung bewährt. Es beruht auf der photoakustischen Infrarot-Spektroskopie (PAS). Das Analyseverfahren wird bei RATHMER (2001) und NESER (2001) beschrieben und diskutiert. Nach RATHMER (2001) wird dieses Verfahren zur Messung von Gaskonzentrationen in der Abluft von Ställen europaweit angewandt. Nach NESER (2001) sind insbesondere ein regelmäßiges Kalibrieren zu gewährleisten und die Querempfindlichkeit vor allem zu H₂O und CO₂ zu berücksichtigen. Die Kenndaten zu den Stallgaskonzentrationen wurden in mg bzw. g gemessen und bewertet. Die Angaben in Regelvorschriften wie z. B. der Nutztier-Haltungsverordnung sind in ppm angegeben. Die Gegenüberstellung beider Maßeinheiten ist für Ammoniak und Kohlendioxid in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Relation zwischen den Maßeinheiten zur Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid

Ammoniak mg/m ³	ppm Faktor: 1,3158	Kohlendioxid mg/m ³	ppm Faktor: 0,5092
7,60	10	19.633,73	1.000
15,21	20	3.927,53	2.000
22,81	30	5.891,30	3.000
30,41	40	7.855,06	4.000

Die Grenzwerte der Stallluftkonzentration für Ammoniak und Kohlendioxid (Hennenhaltungs-VO) sind in der Tabelle hervorgehoben.

Zur Bestimmung des Volumenstroms wurde jeder Abluftkamin mit einem Messventilator (Abbildung 6) ausgerüstet. Der Einbau erfolgte im Druckbereich des Ventilators im Kamin. Zur Minderung von Turbulenzen, die im Nahfeld des Ventilators vorhanden sind, erfolgte der Einbau mindestens 2 m über dem Ventilator. Der Messventilator überdeckt mindestens 95 % des Kaminquerschnitts. Weil der Kamin im Stall direkt an der Decke beginnt (mit Einströmdüse und Steuerklappe) und der Ventilator hier montiert ist, wurde die Einbauposition so gewählt. Der zusätzliche Einbau eines Strömungsgleichrichters wurde verworfen, weil der Messzeitraum zwei Stallbelegungen umfasste und Leistungsverlust sowie Wartungsaufwand durch Verschmutzung für diesen Messzeitraum zu hoch sind. Das Vorsetzen eines Strömungskanals mit Messventilator am stalleitigen Kaminende verändert die bisher vorhandene Strömungscharakteristik erheblich. Die Drehrichtung des Messventilators ist gegenüber dem Ventilator gegenläufig.

Die gemessene Anzahl an Impulsen wurde mit einem Messwerteerfassungssystem aufgezeichnet und über eine Kalibrierfunktion der Firma Reventa in eine Strömungsgeschwindigkeit umgerechnet.

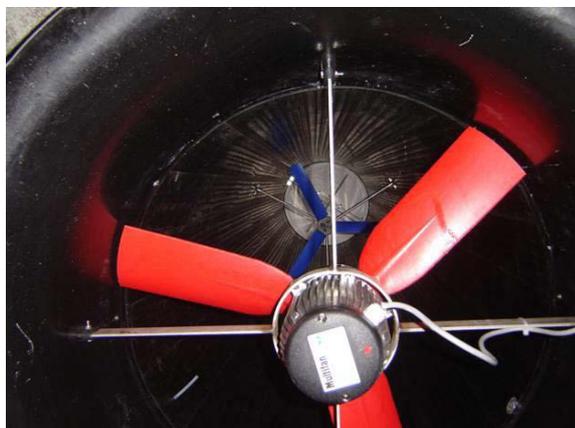


Abbildung 6: Abluftkamin mit Ventilator (rot) und Messventilator (blau)

In praxi wurde mittels Flügelradanemometer mehrmals unter verschiedenen Betriebszuständen nachkalibriert. Im Ergebnis dieses Vorgehens wird der Abluftstrom aus den registrierten Impulsen über die nachfolgenden Kalibrierfunktionen errechnet:

■ für den 82-Abluftkamin

$$\text{Abluftgeschwindigkeit (m/s)} = (\text{Impulse} \times 0,0040 + 0,0842)$$

$$R^2 = 1$$

Mittels dieses Erfassungssystems wurde ebenfalls der Differenzdruck zwischen Stallinnenraum und Umfeld des Stalls erfasst. In Tabelle 4 sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

Tabelle 4: Messtechnik zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit

Messgerät	Messventilator (820 mm), Fa. Reventa
Messbereich/Datenerfassung	> 0,5 m/s; 4 Impulse/Umdrehung
Datenerfassung	Messwerterfassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn; 1-Min.-Intervall; kontinuierlich im Messzeitfenster, Umrechnung Impulse zu Geschwindigkeit mittels Kalibrierfunktion

Das Erfassungssystem speichert die Daten im 1-Minuten-Intervall. Zur Datensicherung wurde die Messtechnik wöchentlich überprüft und mittels Datenfernabfrage der Zugriff auf das Messsystem jederzeit gewährleistet. Die Abgasrandbedingungen wurden nach DIN EN 14790 (2006), DIN ISO 14164 (2002) und den VDI-Richtlinien 3786 (Bl. 16, 1996), 4200 (2000), 2066 (Bl. 1, 2006) bestimmt.

Die Berechnung des Massenstroms erfolgte auf der Basis der Stundenmittelwerte aus dem Produkt der Abluftgeschwindigkeit, der Abluftfläche im Kamin und der Gaskonzentration im Abluftstrom für jeden Kamin und jede Stunde der Messung. Der stündliche Gesamtmassenstrom wurde aus der Summe aller bestimmten stündlichen Teilströme ermittelt. Über die Stundenanzahl der Klimafenster wurde der Massenstrom je Klimafenster errechnet. Der jährliche Massenstrom ergibt sich aus der Summe der Massenströme der 4 Klimafenster.

Die Auswertung aller gewonnenen Daten erfolgte auf Basis des Stundenmittelwertes (Normzustand/trocken). Hierüber ist der direkte Vergleich zu anderen Tieranlagen und zu Regelvorschriften gewährleistet. Die statistische Bearbeitung erfolgte generell deskriptiv.

2.2.2.2 Stallstäube und Luftkeime

Die Referenzmessstelle zur Bestimmung der Konzentration von Gesamtstaub sowie der Fraktionen PM10, PM2.5 und luftgetragener mikrobieller Bestandteile im Abluftstrom lag jeweils an einem Kamin der untersuchten Ställe (Abbildung 2 bis 4). In Zeitfenstern von jeweils ca. 3 Stunden wurde je Klimafenster „Winter“, „Sommer“, „Herbst“ bzw. „Frühling“ mindestens eine Staubbmessung (jeweils 3 Messungen) durchgeführt. Hierbei wurden für die anorganischen Bestandteile der Gesamtstaub und die Fraktionen PM10, PM2,5 gravimetrisch bestimmt. Die Probennahme erfolgte unmittelbar am Abluftkamin im Abluftstrom. Diese Messungen wurden durch ein optisches Messverfahren zur Bestimmung des zeitlichen Konzentrationsverlaufes komplettiert. Über die hierdurch mögliche Ausdehnung des Messzeitraumes auf über 24 h wurde der Verlauf der Staubbkonzentration im Tagesgang quantifiziert. In Tabelle 5 sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

Tabelle 5: Mess- und Probennahmetechnik zur Bestimmung der Staubbfraktionen

Probennahme-/Messgerät	Kaskadenimpaktor Johnas II, Fa. P. Gothe	Planfilterkopf	Staubbmessgerät 1.108 Fa. Grimm
Messbereich/Genauigkeit	PM10, PM2,5 -0,5 %, + 1,2 %	Nach VDI2066	1 bis 2 Mio. Partikel/Liter +/- 3 %
Datenerfassung	isokinetische Probennahme, gravimetrische Bestimmung		Systemsoftware 1-Min.- Intervalle, bis 48 Stunden

Die Probennahmen zur gravimetrischen Bestimmung der Staubfraktionen erfolgten nach DIN EN 23210 (2009) und VDI-Richtlinie 2066 (2004).

Anhand der ermittelten Tagesgänge wurde bestätigt, dass die Konzentration an luftgetragenen Staubpartikeln direkt mit der Aktivität der Herden im Stall korrespondiert. In den Ruhephasen im Stall (über das Lichtregime gesteuert bis zu 8 Stunden) fällt die Staubkonzentration in der Stallluft im Mittel unter 10 % der Konzentration zur Aktivphase in der Herde ab. Die isokinetische Probennahme erfolgte stets innerhalb eines kleinen Zeitfensters zwischen 11 und 14 Uhr. Hier wird die Luftqualität zum Zeitpunkt höchster Herdenaktivität abgebildet. Deshalb wurden die gravimetrisch bestimmten Staubkonzentrationen anhand der Anteile an Aktiv- sowie Ruhephasen im Tagesgang und der mittels optischen Messverfahren hierfür bestimmten Niveaudifferenzen der Staubkonzentration korrigiert. Dieser korrigierte Wert wurde als mittlere Staubkonzentration im Abluftstrom für den jeweiligen Außentemperaturbereich gesetzt. Die Abbildung 7 zeigt die Einrichtung der Probennahmepunkte für Staub und Keime am Dach- bzw. Wandkamin.

Das Bioaerosol in der Luft im Stallumfeld (Hintergrund) und im Abluftstrom wurde mittels der Gesamtkeimzahl bestimmt. Die Messstelle im Stallumfeld wurde in einer Entfernung von mindestens 400 m im Luv des Stalls eingerichtet. Die Beprobung erfolgte mittels modifiziertem Andersonimpaktors (MAS 100) über eine Minute durch Abscheidung der Keime auf Selektivnährboden (Bakterien – Columbia-Agar, gramneg. Bakterien – MacConkey-Nährboden, Pilze/Hefen – Dichloran-Glycerin-[DG18]-Selektivnährboden). Nach anschließender Kultivierung wurden luftgetragene Bakterien, gramnegative Bakterien und Schimmelpilze sowie Hefen bestimmt. Im Abluftstrom wurde die Messstelle am Abluftkamin eingerichtet (Abbildung 7). Die Beprobung (mind. 30 Minuten, 3 Proben je Messung) erfolgte isokinetisch über eine Hakensonde (Dachkamin) bzw. ohne (Wandkamin) mittels Abscheidung nach dem Impingmentverfahren (VDI 4257, Bl. 2).



Abbildung 7: Probennahmepunkte für Staub und Keime am Dach- (links) bzw. Wandkamin (rechts)

Vorabgeschiedene Keime wurden durch Sondenspülung rückgeführt. Die gewonnenen Proben wurden innerhalb von 14 Stunden ins Labor gegeben. Die Kultivierung der mittels Impingmentverfahren abgeschiedenen Keime erfolgte analog der Stallumfeldprobe in mindestens 4 dekadischen Verdünnungsstufen. Hier erfolgte ebenfalls die Bebrütung und Bestimmung. Weiterhin wurden Endotoxine in der wässrigen Lösung bestimmt. Bei den Messungen des Bioaerosols in der Abluft wurden die VDI-Richtlinien 4252 (Bl. 2, 2004; Bl.3, 2008), 4254 und 4257 (Bl.1, 2010; Bl. 2, 2011) berücksichtigt.

Aufgrund enger Korrelationen zwischen den bestimmten Staubfraktionen und den bestimmten Bestandteilen des Bioaerosols wurde analog zum Staub der Messwert korrigiert und als mittlere Keimkonzentration im Abluftstrom für das jeweilige Klimafenster gesetzt. Diese Herangehensweise muss derzeit gewählt werden, weil ein Tagesgang der mikrobiologischen Belastung der Abluft mit der eingesetzten Messmethodik nicht abgebildet

det werden kann. Der Massenstrom der luftgetragenen staubförmigen und mikrobiellen Substanzen wurde aus dem Produkt der mittleren Konzentration und dem mittleren Abluftvolumenstrom für das jeweilige Klimafenster berechnet.

Die technische Umsetzung des Untersuchungskonzeptes und die Bereitstellung der Messdaten erfolgte durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL). Die Abluftvolumenmessung bei der Montage der Messventilatoren realisierte die Firma Schulz Systemtechnik Doberschütz.

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden sollen die Ergebnisse anhand der wichtigsten Kenndaten in den Abschnitten Stallklima und Emissionen zusammengestellt und kurz diskutiert werden.

3.1 Kleingruppenhaltung

Die Hennenherden in der Kleingruppenhaltung haben bei den Herdenbonituren einen insgesamt guten Zustand gezeigt. Mit fortschreitender Haltungsdauer muss ein Federverlust festgestellt werden. Die Halsbereiche der Hennen werden insbesondere auch durch die Käfiggitter vor den Futtertrögen beschädigt. Einen großen Anteil an partiellen Federverlusten haben auch die Hähne in den Tiergruppen. Diese sind bei der reinen Konsumeiproduktion nicht vorhanden. Milben stellen bereits nach kurzer Nutzungsdauer ein zunehmendes Problem dar. Die Bekämpfung während der Stallbelegung ist deutlich eingeschränkt und auch die Serviceperiode brachte nur temporäre Minderungen. Die Herden in der KG-1 (<15.000 Tpl.) erreichten über den Untersuchungszeitraum eine Legeleistung von 85 % im Herdenmittel. Hierbei nahmen die Tiere täglich ca. 190 ml Wasser je Henne auf. Taggenaue Futterdaten konnten hier nicht gewonnen werden. In einer Stallbelegung wurde über einen kurzen Zeitraum in mehreren Käfigen Kannibalismus festgestellt. Durch konsequente Selektion der Tiere wurden in dieser Belegung 20 % Tierverluste registriert. Ohne diesen Vorfall liegen die Tierverluste bei 11 %. Gegenüber der Hennenhaltung KG-2 (>15.000 Tpl.) sind die Verluste in KG-1 deutlich höher. KG-2 verzeichnete im Mittel 5 % Tierverluste. Die Legeleistung lag auf vergleichbarem Niveau bei im Mittel 80 %. In der Legespitze wurden bis zu 96 % Legeleistung erreicht. Die tägliche Wasseraufnahme je Henne in KG-2 lag bei 195 ml, 115 g Futter nahm jedes Tier im Stalldurchschnitt täglich auf.

3.1.1 Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom

Die **Stalllufttemperatur und -feuchte** beeinflusst das Stallklima primär, weil damit auch die Potenziale für die Entstehung von Stallraumlasten wie z. B. Ammoniak und Staub gesteuert werden. In Abbildung 8 und Abbildung 9 werden die wichtigsten Kenndaten zur Stalllufttemperatur und zur Stallluftfeuchte zusammengestellt. (s. Tabellen A-5 bis A-8 im Anhang).

Die Stalllufttemperatur in den Kleingruppenhaltungen wird über die Lüftung direkt von der Außenlufttemperatur beeinflusst. In der Abbildung 8 sind deshalb die für das Klimafenster definierten Außenlufttemperaturbereiche als schraffierte Flächen dargestellt. Im Jahresmittel beider Stallbelegungen variieren die Stalllufttemperaturen um die 20 °C. Die Sollwerttemperatur der Lüftungssteuerung wurde in den beiden untersuchten Kleingruppenhaltungen ganzjährig auf diesem Temperaturniveau gesteuert. Im Winter zeigen sich die geringsten Temperaturvarianzen der Stallluft. In 3 von 4 Messzeitfenstern liegen 50 % der Messwerte zwischen 19 und 20 °C. Das Minimum liegt bei 17 °C und das Maximum bei ca. 22 °C. Somit ist ein sehr enger Temperaturbereich mit

einer Auslenkung von 5 K festzuhalten. Diese Temperaturstabilität kann ohne zusätzliche Heizung nur über einen deutlich geminderten Luftwechsel realisiert werden. Genau das zeigen die gemessenen Volumenströme (vgl. Abbildung 11). Hier wird insbesondere in KG-2 der Luftwechsel auf dem Niveau der Mindestluftfrate von 0,7 m³ je Stunde und Hennenplatz (DIN 18910-1, 2004) geregelt. Die hiervon abweichenden Kenndaten innerhalb des 1. Messzeitfensters in KG-1 wurden durch deutlich niedrigere Außenlufttemperaturen verursacht und bilden sich auch durch die geringe Varianz des Volumenstromes ab (vgl. Abbildung 11).

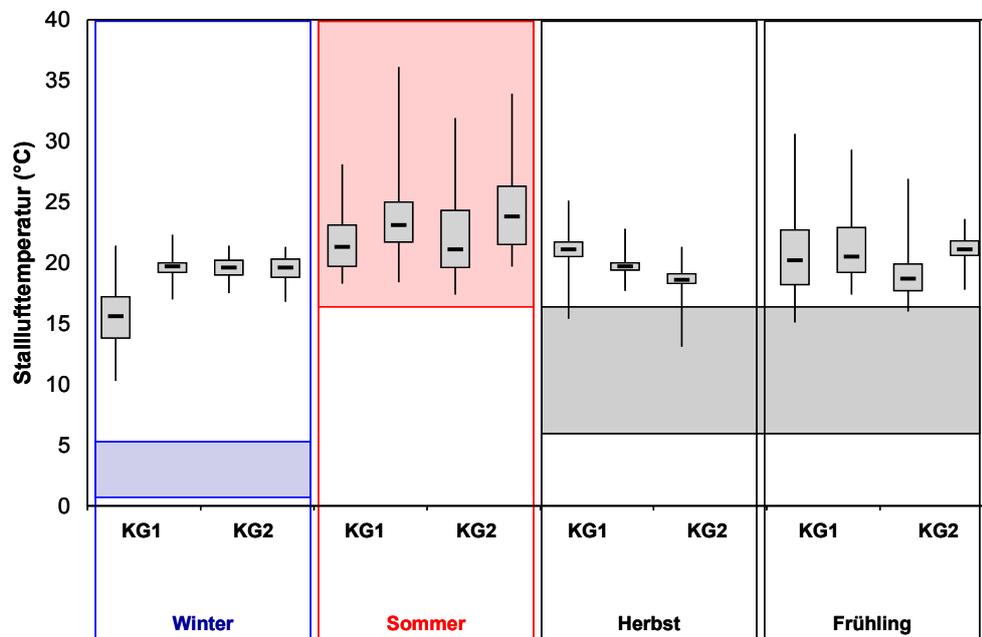


Abbildung 8: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stalllufttemperatur innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen

Innerhalb der Messzeitfenster zur Lüftungstechnischen Übergangssituation (Herbst, Frühling) waren die Außentemperaturschwankungen im MZF Frühling gegenüber Herbst deutlich größer. Im MZF Frühling umfasste der Außentemperaturbereich ca. 28 K, im Herbst ca. 20 K. Das wird mit der geringeren Stalllufttemperaturvarianz im MZF Herbst abgebildet. Die Stalllufttemperatur variiert in KG-1 im Mittel zwischen ca. 16 und 24 °C, in KG-2 zwischen 13 und 21 °C. Während die Stalllufttemperatur auch im MZF Frühling vergleichbare Mindesttemperaturen erreicht, steigt sie im Maximum in KG-1 auf bis zu 30 °C, in KG-2 auf bis zu 25 °C an. Die Differenz wird durch eine im Mittel ca. 6 K niedrigere Außenlufttemperatur bei den Messungen in KG-2 verursacht.

Die Messwerte der Stalllufttemperatur variieren innerhalb der Messungen zum MZF Sommer deutlich. 50 % der Messwerte liegen zwischen 20–22 °C und 23–26 °C. Dabei wurden maximale Stalllufttemperaturen über 30 °C (bis 36 °C) gemessen. Die Stalllufttemperatur wurde mit dem Lüftungsmanagement in den Kleingruppenhaltungen weitgehend innerhalb eines von den Hennen thermisch tolerablen Bereiches von 12–26 °C (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999) gehalten. Insbesondere im Sommer steigen die Stalllufttemperaturen auch darüber hinaus. Bei Außentemperaturen über 25 °C befördern hohe Luftwechselraten keine Abkühlung im Stall. Lediglich die damit verbundenen höheren Luftströmungen im Stall bringen – wenn auch nur deutlich eingeschränkt – den Tieren Entlastung.

In der Abbildung 9 werden die Kennwerte der relativen Stallluftfeuchte für die Messungen in den Kleingruppenhaltungen zusammengestellt (s. Tabellen A-7 und A-8 im Anhang).

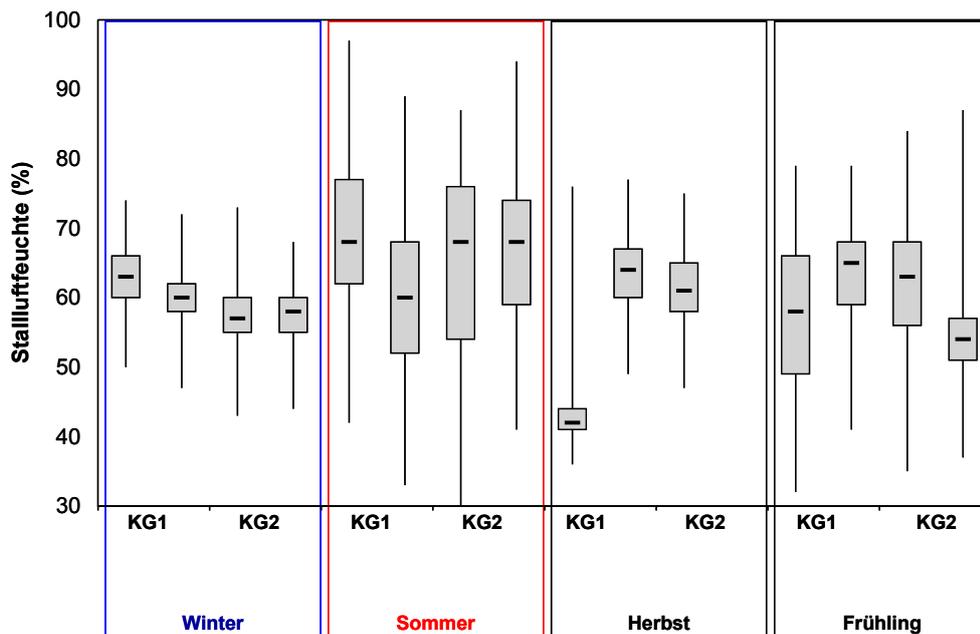


Abbildung 9: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stallluftfeuchte innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen

Die Stallluftfeuchte variiert im Mittel aller Messungen in den Kleingruppenhaltungen gering um 60 %. Innerhalb der MZF Sommer, Herbst und Frühling werden Stallluftfeuchten zwischen 30 und 97 % gemessen. 50 % der Kennwerte liegen unter 80 % relative Stallluftfeuchte, unterschreiten jedoch auch 60 %. Mit steigenden Außen- und Stalllufttemperaturen fällt die Luftfeuchte auf bis zu 30 % ab. Insbesondere im Kontext mit der Staubentwicklung im Stall werden hier Entstehungspotenziale gebildet. Im MZF Winter sind die Kennwerte dichter beieinander. 50 % der Werte liegen zwischen 55 und 65 % Luftfeuchte. Mit der Ausnahme von Maximalwerten über 90 % Luftfeuchte im MZF Sommer variiert die Stallluftfeuchte unter 80 %. Hiermit werden im Lüftungsmanagement Zielwerte erreicht, die für das Stallklima und den Schutz des Stallbaues optimal sind (TÜLLER 2003). In den untersuchten Kleingruppenhaltungen wurden Kenndaten für die Stallluftfeuchte ermittelt, die nicht bestätigen, dass insbesondere im Winter mit Überschreitungen der Stallluftfeuchte zu rechnen ist (MÜLLER 2003).

In der Abbildung 10 sind die ermittelten **Stallluftkonzentrationen an Ammoniak** zusammengestellt (s. Tabellen A-9 und A-10 im Anhang).

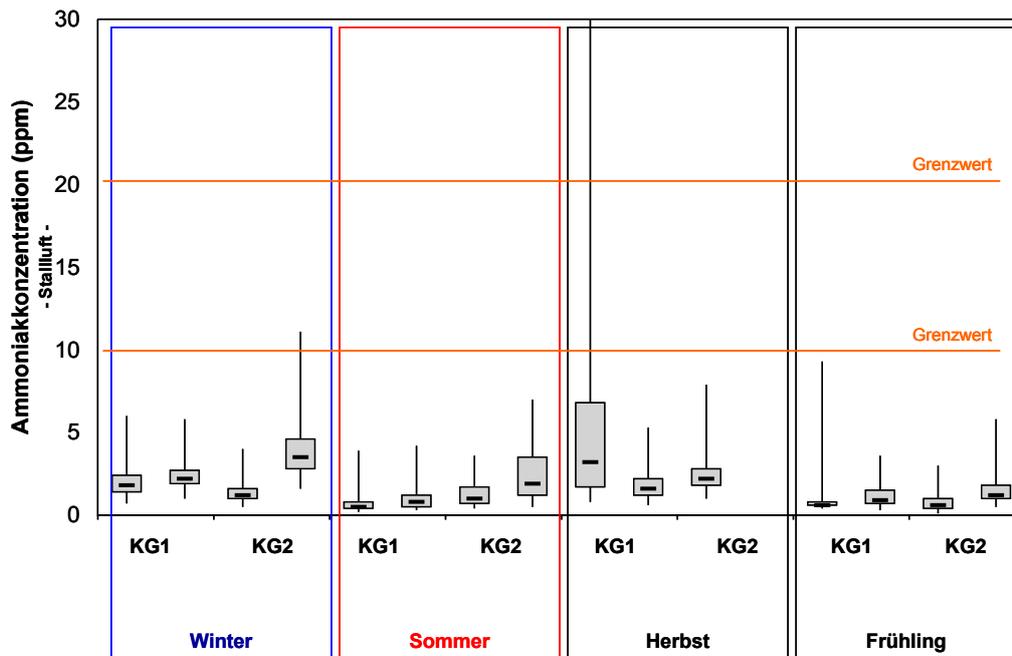


Abbildung 10: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Ammoniakkonzentration in der Stallluft innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen

Ammoniak ist neben Kohlendioxid die primär gebildete Stallraumlast in Legehennenställen. Bisherige Befunde haben gezeigt, dass Lachgas und Methan diese Beachtung nicht benötigen, weil sie nur tendenziell gegenüber der Zuluftkonzentration erhöht auftreten. Insbesondere treten sie bei Einstreusystemen auf und sind an die mikrobiellen Prozesse in der Einstreu gebunden. In der Abbildung 10 sind rot die Grenzwerte von 20 ppm dauerhaft bzw. 10 ppm im Aufenthaltsbereich der Tiere (Hennenhaltungs-VO 2001) hervorgehoben. Die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft liegen im Mittel unabhängig vom MZF unterhalb 3,5 ppm. 75 % aller Kennwerte erreichen höchstens 7 ppm. Auch die Maximalwerte liegen überwiegend unter 10 ppm. Damit ist Ammoniak als Belastung der Stallluft in den hier untersuchten Kleingruppensystemen ein untergeordneter Faktor. Lediglich in KG-2 wurden innerhalb des MZF Winter (eine Messung) 10 ppm und in KG-1 innerhalb des MZF Herbst im Maximum auch 20 ppm überschritten. In KG-2 wurden die Mindestluftraten im Winter ($0,7 \text{ m}^3$ je Stunde und Hennenplatz) mit $0,58 \text{ m}^3$ je Stunde und Hennenplatz unterschritten. Ursache hierfür ist eine mit $20 \text{ }^\circ\text{C}$ für die Wintersteuerung der Lüftungsanlage recht hohe Sollwerttemperatur. Hierdurch regelt bei kaltem Zuluftstrom das System die Luftwechselrate wegen der deutlichen Unterschreitung der vorgegebenen Stalllufttemperatur ab. Die hier einstellbare Mindestluftrate wurde durch Verluste innerhalb der Abluftstrecken nicht erreicht. Wesentlich deutlicher wird die tolerable Ammoniakkonzentration der Stallluft im MZF Herbst in KG-1 überschritten. Es ist bereits mit einer Beeinträchtigung der Tiergesundheit zu rechnen. Obwohl auch hier 75 % der Kenndaten unterhalb von 7 ppm lagen, werden im Maximum bis 38 ppm im Stundenmittel ermittelt. Die Ursachen dafür liegen in der Konzipierung der Lüftungsanlage. Eine Minimalluftrate kann in diesem Fall über die Steuerung nicht erzwungen werden, weil die Abluftventilatoren unregelmäßig stufenweise zugeschaltet werden. Dadurch schalten bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen Zuluftstrom und Sollwerttemperatur alle Ventilatoren aus. Das tritt sehr selten auf, erzeugt jedoch kurzzeitig ein nicht akzeptables Stallklima.

Die Kennwerte der **Kohlendioxidkonzentration in der Stallluft** der untersuchten Kleingruppenhaltungssysteme sind im Anhang in den Tabellen A-11 und A-12 zusammengestellt. Außer im MZF Winter liegen die mittleren Konzentrationen im Bereich von 780 bis 1.760 ppm. Damit ist ersichtlich, dass der Luftwechsel unab-

hängig von der Tierplatzanzahl für eine gute Qualität der Stallluft in diesen MZF ausreicht. 75 % der Kennwerte liegen unterhalb 2.040 ppm. Der Grenzwert für die Kohlendioxidkonzentration in der Stallluft von 3.000 ppm (Hennenhaltungs-VO 2001) wird in den MZF Sommer und Frühling auch im Maximum nicht erreicht. Mit sinkender Zulufttemperatur – insbesondere im MZF Winter – steigt das Risiko, dass es aufgrund der Stabilisierung der Stalllufttemperatur zu sinkenden Luftwechselraten kommt. Hier werden dann im Mittel 1.880–2.610 ppm erreicht. 75 % der Kennwerte liegen deutlich über den Kennwerten der anderen MZF, jedoch noch unterhalb des Grenzwertes von 3.000 ppm. Aufgrund der reduzierten Luftwechselraten wurden im Maximum in KG-2 bis zu 4.340 ppm kurzzeitig erreicht. In der KG-1 wird hier der Grenzwert erreicht.

Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Gaskonzentration in der Stallluft ist die Luftwechselrate bzw. der Abluftvolumenstrom. Dieser ist im Kontext mit der Stallgaskonzentration Hauptursache für die Qualität des Umwelteinflusses der Ställe. Einerseits verbessert er bei hohem Abluftvolumenstrom die Stallluftqualität, andererseits können hierdurch auch Nachlieferung an z. B. Ammoniak und hohe Massenströme verursacht werden. Hierbei ist eine präzise Steuerung des Lüftungsmanagements essentiell.

In der Abbildung 11 sind die Kenndaten für den **Abluftvolumenstrom** der Kleingruppenhaltungen innerhalb der Messungen in den MZF zusammengestellt (s. Tabellen A-13 und A-14 im Anhang).

Der maximale Volumenstrom wurde mit 7,7 m³ je Stunde und Hennenplatz ermittelt. Die Lüftungsanlagen nutzen von ihrem technisch möglichen Volumenstrom ca. 75 % im Maximum aus. Verschmutzungen innerhalb der Abluftstrecken, Strömungswiderstände und auch messtechnische Toleranzen verursachen hierbei einen Teilverlust. Dennoch sind die Lüftungssysteme in Legehennenställen i. d. R. überdimensioniert. Hierdurch wachsen die Anforderungen an das Management.

Im MZF Winter wurde für die KG-1 ein mittlerer Volumenstrom von 1,3 m³ je Stunde und Tierplatz ermittelt. Deutlich niedriger liegt mit ca. 0,7 m³ der stündliche Abluftvolumenstrom für KG-2. Dabei ist hervorzuheben, dass in KG-1 der minimale Abluftvolumenstrom nur unwesentlich unter dem mittleren liegt. Ursache hierfür ist die Konzipierung der Anlage. So läuft während der niedrigen Außen- und Zulufttemperaturen überwiegend nur ein Lüfter unregelt. Fällt die Stalllufttemperatur unter den Sollwert, schaltet dieser kurzzeitig ebenfalls ab. Hierdurch verdichten sich die dargestellten Kennwerte in der Abbildung 11.

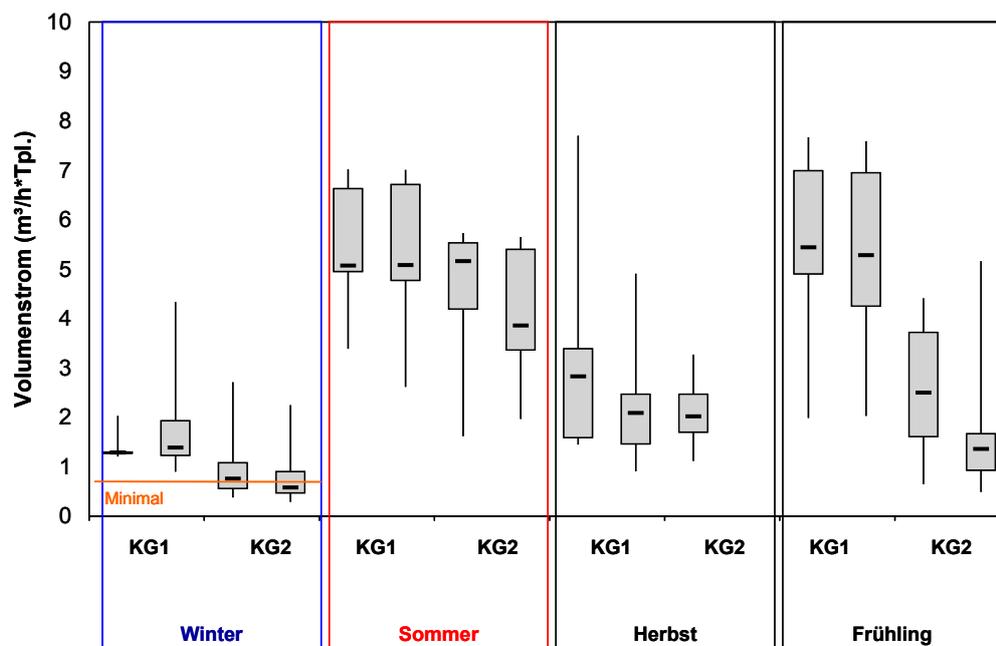


Abbildung 11: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Volumenstromes je Tierplatz innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen

Eine Reaktion auf dieses Regelverhalten wäre eine leichte Absenkung der Sollwerttemperatur in den kalten Jahreszeiten. Weiterhin unterstreichen die Ergebnisse zum Stallklima, dass das Vorhalten einer Minimalluftfrate zum Standard der Lüftungsanlage gehören sollte. Im MZF Sommer werden im Stundenmittel ca. 5 m^3 Abluft je Hennenplatz aus dem Stall gefördert. 50 % der Kennwerte für den Abluftvolumenstrom liegen zwischen 4 und 5 m^3 in KG-2 sowie zwischen 5,0 und 6,7 m^3 in KG-1. Der Differenzdruck zwischen Stallraum und Vorräum variiert in KG-1 zwischen -1 Pa bei geringeren Abluftvolumenstrom und -6 Pa bei maximalen Abluftvolumenstrom. Hier stabilisiert sich der Unterdruck erst bei Zuschaltung mehrerer Ventilatoren. Dagegen variiert der Differenzdruck in KG-2 nur geringfügig zwischen -6 und -9 Pa. Das bedeutet eine stabilere Luftwechselrate unabhängig von Außen- bzw. Zulufttemperatur.

Die **Emissionsmassenströme** aus den untersuchten Legehennenställen mit Kleingruppensystemen werden exemplarisch am **Ammoniak** abgebildet. In der Abbildung 12 sind die Kenndaten für den Massenstrom an Ammoniak gegenübergestellt (s. Tabellen A 15 und A16 im Anhang).

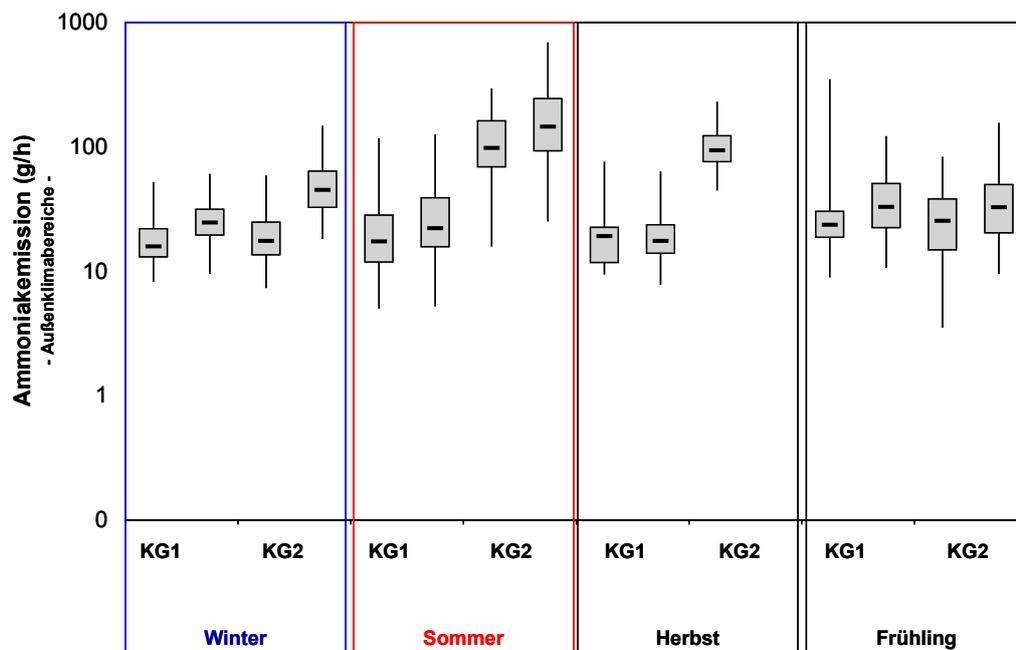


Abbildung 12: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Ammoniakmassenstromes innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Kleingruppenhaltungen

Die Massenströme an Ammoniak steigen mit höherer Luftwechselrate in KG-2 deutlich an. Werden im Winter und Frühling unter 45 g je Stunde emittiert, steigt die stündliche Ammoniakfracht insbesondere im MZF Sommer im Mittel auf bis zu 145 g an. Die Maximallasten treten mit maximalen Abluftvolumenströmen auf und erreichen dabei bis 690 g je Stunde. In der KG-1 werden im Mittel 16 bis 33 g Ammoniak je Stunde emittiert. Hier hat die Jahreszeit keinen primären Einfluss. Ein jahreszeitlicher Einfluss ist beim Emissionsmassenstrom aus KG-2 etwas deutlicher abgebildet.

Der mittlere Massenstrom an Kohlendioxid variiert in Abhängigkeit der jahreszeitlichen MZF bei KG-1 zwischen 33 und 44 g je Stunde deutlich geringer als für KG-2 (69–126 g/h). Die Kenndaten hierfür sind in den Tabellen A-17 und A-18 im Anhang zusammengestellt. Weil es für Kohlendioxid derzeit keine festgelegten Maximalwerte gibt, wird auf eine weitergehende Betrachtung verzichtet.

Zur Bewertung der Standortverträglichkeit der Hennenställe wird innerhalb von Genehmigungsverfahren der jährliche Ammoniakemissionsmassenstrom je Tierplatz betrachtet. In Abbildung 13 sind dieser und die dazugehörigen jahreszeitlichen Teilmassenströme für die untersuchten Kleingruppenhaltungssysteme gegenübergestellt (s. Tabelle A-19 im Anhang).

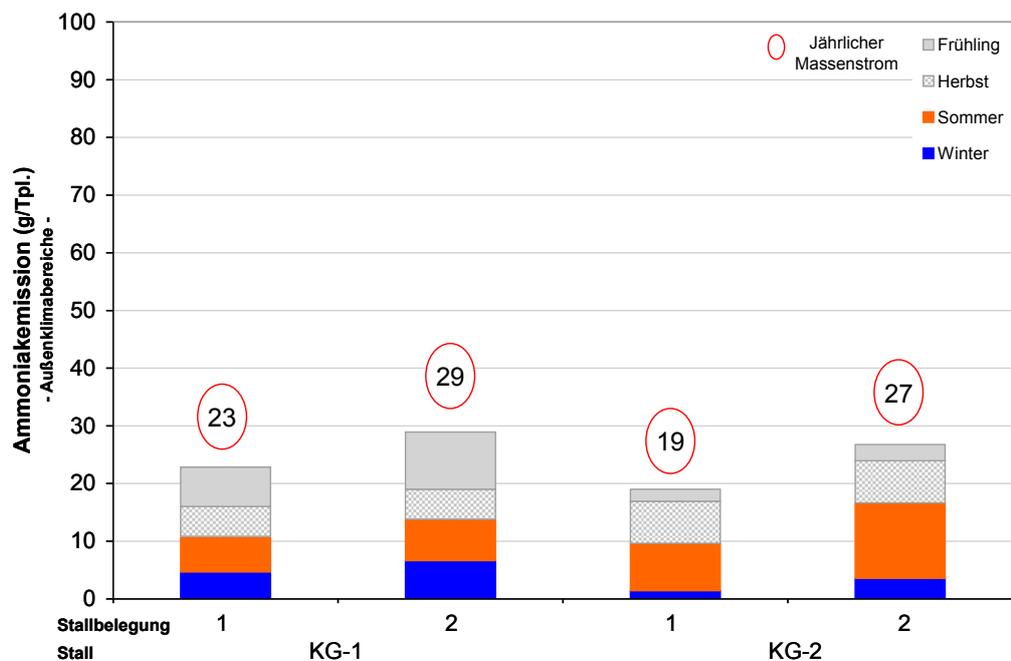


Abbildung 13: Berechneter Ammoniakmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Kleingruppenhaltungen

Mit Ausnahme des Klimafensters Sommer emittiert die KG-2 mit deutlich über 15.000 Tierplätzen je Tierplatz weniger Ammoniak als KG-1 mit deutlich unter 15.000 Tierplätzen. Mit den gegenüber KG-1 deutlich höheren Volumenströmen in KG-2 während der Messungen im Sommer steigt hier auch der Ammoniakmassenstrom an. In der Summe der Teilmassenströme innerhalb der jahreszeitlichen Klimafenster emittiert die KG-1 23 bzw. 29 g je Tierplatz und Jahr. Der jährliche Emissionsfaktor für Ammoniak beträgt für die KG-2 19 bzw. 27 g je Tierplatz. Im Mittel liegen die berechneten Faktoren noch unterhalb des in der TA Luft für Käfigsysteme definierten. Eine Ursache hierfür sind die geringeren Besatzdichten je m² Stallgrundfläche in den Kleingruppenhaltungssystemen. Mit einer Erhöhung ist bei der Funktionsfähigkeit des Sandbades – dieses war generell in den untersuchten Ställen nicht in Betrieb – zu rechnen.

3.1.2 Luftgetragene Stäube und Keime

In den untersuchten Kleingruppenhaltungen wurden der Gesamtstaub im Abluftstrom zur Kalkulation des jährlichen Massenstromes bzw. eines belastbaren Emissionsfaktors bestimmt. Weiterhin wurden die Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} bestimmt, die in die tieferen Bereiche des Atemtraktes vordringen. In Tierhaltungssystemen sind diese Stäube mit mikrobiellen Partikeln wie Bakterien, Schimmelpilzen und Endotoxinen beladen. Diesem Bioaerosol gilt im Kontext mit dem Schutz der Anlieger immer größer werdende Beachtung. In Tabelle 6 und Tabelle 7 werden die gemessenen Konzentrationen von **Staub im Abluftstrom** und die berechneten Tagesmittelwerte für die Ableitung eines jährlichen Massenstromes zusammengestellt.

Tabelle 6: Staubkonzentration (mg/m³) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster		Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF		1	2	1	2	1	2	1	2
Gesamtstaub	Messwert	1,67	3,00	1,70	4,47			1,33	1,93
	Tagesmittelw. (kalkul.)	1,01	1,77	1,25	3,51			1,04	1,51
PM10	Messwert	0,60	1,83	1,30	2,23			0,80	1,40
	Tagesmittelw. (kalkul.)	0,36	1,08	0,96	1,75			0,63	1,09
PM2,5	Messwert	0,00	0,37	0,4	0,77			0,20	0,37
	Tagesmittelw. (kalkul.)	0,00	0,27	0,3	0,60			0,16	0,29
	Messwerte (n)	3	3	3	3			3	3

Tabelle 7: Staubkonzentration (mg/m³) – Kleingruppe (KG-1, < 15.000 Tpl.)

Klimafenster		Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF		1	2	1	2	1	2	1	2
Gesamtstaub	Messwert	2,50	3,07	1,43	1,77		2,23	1,57	1,63
	Tagesmittelw. (kalkul.)	1,72	1,49	0,84	1,24		1,30	0,94	0,98
PM10	Messwert	2,33	1,70	0,70	0,83		1,17	0,87	0,73
	Tagesmittelw. (kalkul.)	1,60	0,82	0,41	0,58		0,68	0,52	0,44
PM2,5	Messwert	0,47	0,23	0,13	0,30		0,13	0,20	0,03
	Tagesmittelw. (kalkul.)	0,32	0,11	0,08	0,21		0,08	0,12	0,02
	Messwerte (n)	3	3	3	3		3	3	3

In KG-1 beträgt die mittlere Staubkonzentration im Abluftstrom über alle MZF 2,0 mg je m³. Für KG- 2 beträgt dieser 2,4 mg je m³. Die gemittelten Messwerte variieren zwischen 1,3 und 4,5 mg je m³. Hierbei ist kein jahreszeitlicher Einfluss zu erkennen. Für KG-1 hat die Staubfraktion PM10 einen gemittelten Anteil über alle Messungen von 56 % am Gesamtstaub, PM2,5 10 %. Vergleichbar ist der Anteil der Fraktionen am Gesamtstaub für KG-2. Für die Fraktion PM10 beträgt er 66 %, für PM2,5 15 %.

Aufgrund der Abbildung eines nur zeitlich limitierten Messfensters ist hier der Einfluss der momentanen Stallluftqualität primär. Das zeigen die parallel und bis zu 48 Stunden erweiterten Messungen mit einem kontinuierlichen, optischen Messverfahren. Hierbei wurden die in der Abluft auftretende Anzahl der Partikel für Klassen mit unterschiedlichem aerodynamischem Durchmesser bestimmt. Eine Masseberechnung erfolgte nicht, weil die Massebestimmung innerhalb dieser Klassen technisch hier nicht möglich war. Dennoch zeigen die Kurven deutlich, dass die Staubkonzentrationen in der Stallluft den Tieraktivitäten unmittelbar folgen. Hierbei fällt die

Konzentration während der Ruhezeit in den Hennenherden gegenüber den Konzentrationen zur Tagesaktivität auf ca. 10 % ab. Wie im methodischen Ansatz beschrieben, wurde dieser Sachverhalt bei der Berechnung eines Tagesmittelwertes berücksichtigt. Für KG-1 beträgt dieser Tagesmittelwert noch 61 % vom Messwert. Mit 72 % des Messwertes ist der Tagesmittelwert für KG-2 nur geringfügig höher.

Mithilfe dieses berechneten Tagesmittelwertes wurden die Massenströme für Gesamtstaub berechnet. In der Abbildung 14 sind diese für die jahreszeitlichen Klimafenster und über die Summe als jährlicher Massenstrom zusammengestellt (s. Tabelle A-20 im Anhang).

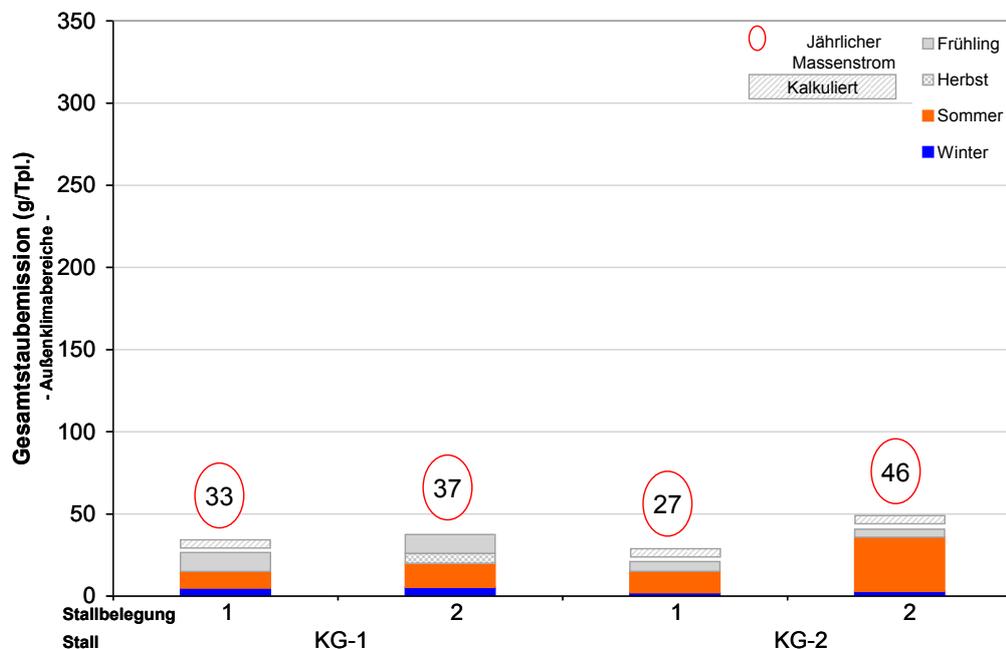


Abbildung 14: Berechneter Gesamtstaubmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Kleingruppenhaltungen

Aufgrund der hohen Abluftvolumenströme im Klimafenster Sommer verursacht dieser Teilmassenstrom auch den höchsten Beitrag jährlichen Gesamtmassenstroms. Für das Klimafenster Herbst konnten in KG-1 nur eine Messung, für KG-2 keine Messung realisiert werden. Hier wurden die Massenströme für diesen Klimabereich auf der Basis der realisierten Messungen kalkuliert.

Mit Berücksichtigung dieses Sachverhaltes wurde für KG-1 ein mittlerer jährlicher Massenstrom von 35 g Gesamtstaub je Tierplatz berechnet. Für KG-2 beträgt dieser 37 g. Daraus kann abgeleitet werden, dass ein stündlicher Massenstrom von 35 g aus KG-1 und 130 g aus KG-2 emittiert. Diese Befunde liegen noch deutlich unter dem Vorsorgewert von 200 g je Stunde (TA-Luft). Auch die gemessenen Konzentrationen an Gesamtstaub im Abluftstrom (Spotmesswerte) liegen noch deutlich unter 20 mg je m³ (TA Luft).

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die Befunde zu den gemessenen Bestandteilen im **Bioaerosol des Abluftstromes** der Kleingruppenhaltungssysteme KG-1 und KG-2 zusammengestellt.

Tabelle 8: Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m³) und Endotoxine (EU/m³) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Abluft								
Bakterien	1,1*10 ⁴	6,3*10 ⁵	6,6*10 ⁴	9,9*10 ⁷				4,9*10 ³
gramneg. Bakterien	<1,0*10 ²	1,8*10 ⁴	5,5*10 ⁴	<1,0*10 ²				<1,0*10 ²
Schimmelpilze	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	7,3*10 ³	<1,0*10 ²				<1,0*10 ²
Hefen	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	4,2*10 ²	<1,0*10 ²				<1,0*10 ²
Endotoxine	1,2*10 ³	1,5*10 ³	9,0*10 ³	1,3*10 ³				8,5*10 ²
Hintergrund								
Bakterien		1,7*10 ²	2,8*10 ³	3,2*10 ²				9,5*10 ¹
gramneg. Bakterien		3,0*10 ¹	1,0*10 ¹	2,0*10 ¹				
Schimmelpilze		2,0*10 ¹	2,9*10 ³	2,2*10 ²				7,2*10 ²
Messwerte (n)	3	3	3	3				3

Tabelle 9: Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m³) und Endotoxine (EU/m³) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Abluft								
Bakterien	4,1*10 ⁵	6,8*10 ⁵	7,0*10 ⁴	6,8*10 ⁵		1,3*10 ⁵	6,0*10 ⁵	3,1*10 ⁴
gramneg. Bakterien	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	2,0*10 ³	3,0*10 ⁴		5,2*10 ³	1,0*10 ⁴	<1,0*10 ²
Schimmelpilze	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²		2,8*10 ³	1,1*10 ⁴	<1,0*10 ²
Hefen	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²		6,0*10 ³	9,5*10 ³	<1,0*10 ²
Endotoxine	1,4*10 ⁵	8,1*10 ⁴	6,7*10 ²	6,2*10 ²		3,1*10 ³	1,1*10 ⁵	3,0*10 ⁴
Hintergrund								
Bakterien		1,5*10 ²	2,9*10 ³	1,0*10 ¹		6,6*10 ²	8,7*10 ²	6,0*10 ¹
gramneg. Bakterien			2,0*10 ¹	2,7*10 ²			3,5*10 ¹	
Schimmelpilze		2,5*10 ²	1,8*10 ³	1,2*10 ³			2,1*10 ³	3,0*10 ²
Messwerte (n)	3	3	3	3		3	3	3

Diese Messungen fanden parallel zu den Staubmessungen statt. Hierdurch sind die zuvor benannten Messausfälle ebenfalls vorhanden. Weiterhin liegen eine größere Anzahl von Befunden unterhalb der Nachweisgrenze vor ($< 1,0 \cdot 10^2$). Insbesondere betrifft das die gramnegativen Bakterien sowie Schimmelpilze und Hefen. Eine Ursache für die negativen Befunde konnte nicht nachgewiesen werden. Es ist jedoch nicht auszu-

schließen, dass hier das Probenahmeverfahren ursächlich Anteil hat. Hierfür wäre eine parallele Bestimmung von z. B. der Gesamtzellzahl erforderlich. Diese konnte nicht durchgeführt werden.

Dagegen sind die Befunde zu mesophilen Bakterien und Endotoxinen belastbar vorhanden. Am Standort von KG-1 wurde eine mittlere Hintergrundkonzentration an Bakterien im Jahresverlauf von $7,8 \cdot 10^2$ KbE je m^3 gemessen. Im Abluftstrom wurde eine mittlere Bakterienkonzentration von $4,2 \cdot 10^5$ gemessen. Dabei wurden keine saisonalen Unterschiede festgestellt. Die mittlere Endotoxinkonzentration im Abluftstrom betrug $3,8 \cdot 10^5$ EU je m^3 . Im MZF Sommer waren die nachgewiesenen Konzentrationen gegenüber Winter und Frühling zwei Zehnerpotenzen niedriger. Eine Hintergrundmessung konnte hierfür generell nicht durchgeführt werden. Am Standort von KG-2 wurde eine mittlere Hintergrundkonzentration an Bakterien im Jahresverlauf von $8,5 \cdot 10^2$ KbE je m^3 gemessen. Im Abluftstrom wurde eine mittlere Bakterienkonzentration von $1,6 \cdot 10^7$ gemessen. Dabei lagen die Befunde im MZF Winter 10^2 über den Befunden im MZF Frühling und im MZF Sommer gegenüber Winter wiederum 10^2 darüber. Die mittlere Endotoxinkonzentration im Abluftstrom betrug $2,1 \cdot 10^3$ EU je m^3 . Im MZF Sommer waren die nachgewiesenen Konzentrationen gegenüber Winter auf vergleichbarem Niveau, im MZF Frühling eine Zehnerpotenz niedriger.

Verlaufsmessungen über mindestens 24 Stunden waren hier technisch nicht möglich. Weil es enge Zusammenhänge zwischen den Bioaerosolen und Staub gibt, wurde geprüft, wie eng die Beziehungen in den Abluftproben sind. Hierzu wurden die Messwerte zu Gesamtstaub sowie den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} der Konzentration an Bakterien und Endotoxinen gegenübergestellt. In der Abbildung 15 sind die Befunde exemplarisch an VO-2 zusammengestellt. Analoge Gegenüberstellungen für die weiteren Ställe sind in den Abbildungen A1 bis A-3 im Anhang zu vergleichen.

Die Beziehungen zwischen Gesamtstaub und Bakterien- sowie Endotoxinkonzentration im Abluftstrom sind vorhanden (Korrelationskoeffizient $>0,7$). Auch die Beziehungen zwischen den Messdaten für VO-1 unterstützen die Zusammenhänge ($>0,9$). Mit Ausnahme enger Beziehungen zwischen Staub und Bakterien ($>0,7$) für KG-2 sind die Beziehungen für die Messdaten in KG-1 ($>0,4$) geringer. Der Stichprobenumfang ist allerdings gering. Auch im praktischen Herangehen wird dieser Zusammenhang herangezogen, um eine Aussage zum Massenstrom an Bioaerosolen treffen zu können. Die hier berechneten Zusammenhänge dürften diese Herangehensweise stützen. Sie sind jedoch kein Ersatz für notwendige zeitliche Messreihen.

Wird also zur Ermittlung eines Tagesmittelwertes für Bakterien und Endotoxine die analoge Herangehensweise wie beim Gesamtstaub benutzt, ergeben sich für die KG-1 mittlere Massenströme an Bakterien von $8,8 \cdot 10^8$ KbE (Klimafenster Winter), $2,9 \cdot 10^9$ KbE (Klimafenster Sommer) und $2,3 \cdot 10^9$ KbE (Klimafenster Herbst/Frühling) je Tierplatz. Das entspricht einem jährlichen Massenstrom von $6,4 \cdot 10^9$ KbE mesophiler Bakterien je Tierplatz.

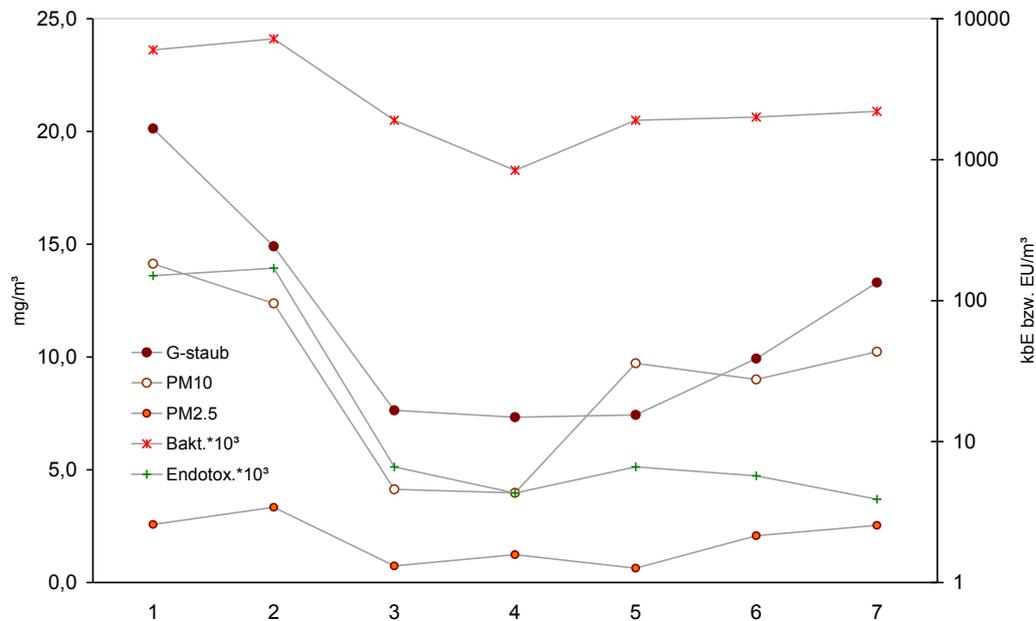


Abbildung 15: Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der VO-2 (>15.000 Tpl.)

Der jährliche Massenstrom an Endotoxinen beträgt $7,3 \cdot 10^8$ EU je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Endotoxin betragen $2,0 \cdot 10^8$ EU (Klimafenster Winter), $4,7 \cdot 10^6$ EU (Klimafenster Sommer) und $3,4 \cdot 10^8$ EU (Klimafenster Herbst/Frühling) je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Bakterien für die KG-2 betragen $2,6 \cdot 10^7$ KbE (Winter), $3,3 \cdot 10^{11}$ KbE (Sommer) und $1,2 \cdot 10^7$ KbE (Herbst/Frühling) je Tierplatz. Das entspricht einem jährlichen Massenstrom von $3,3 \cdot 10^{11}$ KbE mesophiler Bakterien je Tierplatz. Der jährliche Massenstrom an Endotoxinen beträgt $4,8 \cdot 10^7$ EU je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Endotoxin betragen $1,2 \cdot 10^6$ EU (Winter), $4,2 \cdot 10^7$ EU (Sommer) und $2,0 \cdot 10^6$ EU (Herbst/Frühling) je Tierplatz. Diese Massenströme charakterisieren den Abluftstrom unmittelbar bei Verlassen des Stalls. Zusammenhänge mit dem Immissionsgeschehen sind differenziert und teilweise kontrovers im Schrifttum diskutiert. Hier sind weitere Untersuchungen zu Zusammenhang zwischen Vorbelastung am Standort, Emission und Immission unter Berücksichtigung des Abstandes zur Quelle erforderlich. Eine mögliche gesundheitliche Beeinträchtigung ist bisher im Schrifttum nicht belastbar bewertet worden.

3.2 Volierenhaltung

Die Hennenherden in der Volierenhaltung zeigten bei den Herdenbonituren einen guten Zustand. Mit fortschreitender Haltungsdauer treten Gefiederbeschädigungen auf, die jedoch nur kleinere Körperareale betreffen und sich hauptsächlich im Brust- und Bauchbereich befinden.

Milben stellen bereits nach kurzer Nutzungsdauer ein langsam zunehmendes Problem dar. Insgesamt waren sie bei den Stalldurchgängen untergeordnet vorhanden. Dabei schien der sichtbare Milbenbefall in der kleineren Voliere deutlicher als in der größeren zu sein. Die Herden in der VO-1 (8.020 Tpl.) erreichten über den Untersuchungszeitraum eine Legeleistung von 88 % im Herdenmittel. Hierbei nahmen die Tiere täglich ca. 217 ml Wasser je Henne auf. Taggenaue Futterdaten konnten hier nicht gewonnen werden. Die Tierverluste lagen im Mittel bei 9 %. Gegenüber der Hennenhaltung VO-2 (20.520 Tpl.) sind die Verluste in VO-1 auf

vergleichbarem Niveau. VO-2 hatte im Mittel 7 % Tierverluste. Die Legeleistung lag mit 87 % (VO-1) und 85 % (VO-2) auf vergleichbarem Niveau. In der Legespitze wurden bis zu 96 % Legeleistung erreicht. Die Wasseraufnahme je Henne betrug 204 ml täglich. Dabei wurde ein Futtermittelverbrauch von 122 g je Henne am Tag registriert. Die Befunde ordnen sich gut in bereits vorliegende eigene Untersuchungsergebnisse ein (LIPPMANN 2007, 2011).

3.2.1 Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom

Die Kennwerte der **Stalllufttemperatur und -feuchte** in den untersuchten Voliersystemen sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 zusammengestellt; die dazugehörigen Daten sind den Tabellen A-21 bis A-24 im Anhang zu entnehmen.

Zum Vergleich mit der für die Klimafenster definierten Außentemperatur wurde diese in der Abbildung 16 als farbig hinterlegte Fläche abgebildet. Weil in den Voliereställen ein mit den Kleingruppenställen vergleichbares Lüftungsprinzip realisiert wird, korrespondiert auch hier die Stalllufttemperatur mit der Außen- bzw. Zulufttemperatur eng.

Die für die Lüftungssteuerung eingestellte Sollwerttemperatur (um 20 °C) wurde nicht in Abhängigkeit von der Außentemperatur verändert. Im MZF Winter wurden im Mittel in VO-1 etwas unter 16 °C in der Stallluft gemessen. Während in der ersten untersuchten Stallbelegung aufgrund niedriger Außenlufttemperaturen (bis -17 °C) die Stalllufttemperatur bis 7 °C kurzzeitig abfällt, fällt sie in der 2. Stallbelegung bei insgesamt milderer Außentemperaturbedingungen nur auf ein Minimum von 14 °C. Hieran ist deutlich zu erkennen, dass die Isolation des Stallaltbaus im Kontext mit der geringeren Tierzahl bei niedrigen Außenlufttemperaturen keine thermische Stabilität garantiert. Sinken die Außenlufttemperaturen nicht unterhalb -10 °C, bleiben die Stalllufttemperaturen recht stabil um die 16 °C. Die Stalllufttemperatur in der VO-2 ist demgegenüber deutlich stabiler. 50 % der Kennwerte liegen zwischen ca. 18 °C und 19 °C. Dabei unterschreitet die Stalllufttemperatur 15 °C nicht und steigt im Maximum auf um die 23 °C an. Im MZF Sommer kann die Sollwerttemperatur der Lüftungssteuerung im Mittel gut gehalten werden. In VO-1 werden um 21 °C erreicht. Auf vergleichbarem Temperaturniveau ist auch die Stallluft in VO-2. Im Maximum wurden in beiden Volieren auch Lufttemperaturen über 30 °C gemessen. 75 % der Messwerte liegen jedoch unter 25 °C und damit auf einen für Legehennen gut tolerierbarem Niveau. Die MZF Herbst und Frühling zeigen keine so extremen Temperaturschwankungen wie Sommer und Winter. Die Stalllufttemperatur in VO-2 (>15.000 Tpl.) variiert hier zwischen den Extremwerten um 5–7 K. Die Stalllufttemperatur in VO-1 (<15.000 Tpl.) spiegelt hier deutlicher die Außentemperatur wider. Hier wurden Temperaturdifferenzen zwischen den Extremwerten von bis zu 17 K gemessen.

Die Stallluftfeuchte (Abbildung 17) ist in VO-1 etwas höher als in VO-2. Das gilt nicht nur für die mittlere Feuchte, sondern auch für Minimum und Maximum. Eine Ursache hierfür könnte der kontinuierliche Betrieb der Kotbandbelüftung (Kottrocknung) in VO-2 sein. 50 % der Messwerte liegen zwischen 60 und 80 %. Eine Ausnahme hiervon ist die 2. Messung zum Klimafenster Sommer in VO-1. Hier werden zwischen den Extremwerten bis zu 65 % gemessen. Gegenüber eigenen Vorbefunden liegt in beiden Voliereställen die Luftfeuchte über dem bisher in Volieren gemessenen Niveau.

In der Abbildung 18 sind die Stallluftkonzentrationen an Ammoniak gegenübergestellt (s. Tabellen A-25 und A-26 im Anhang).

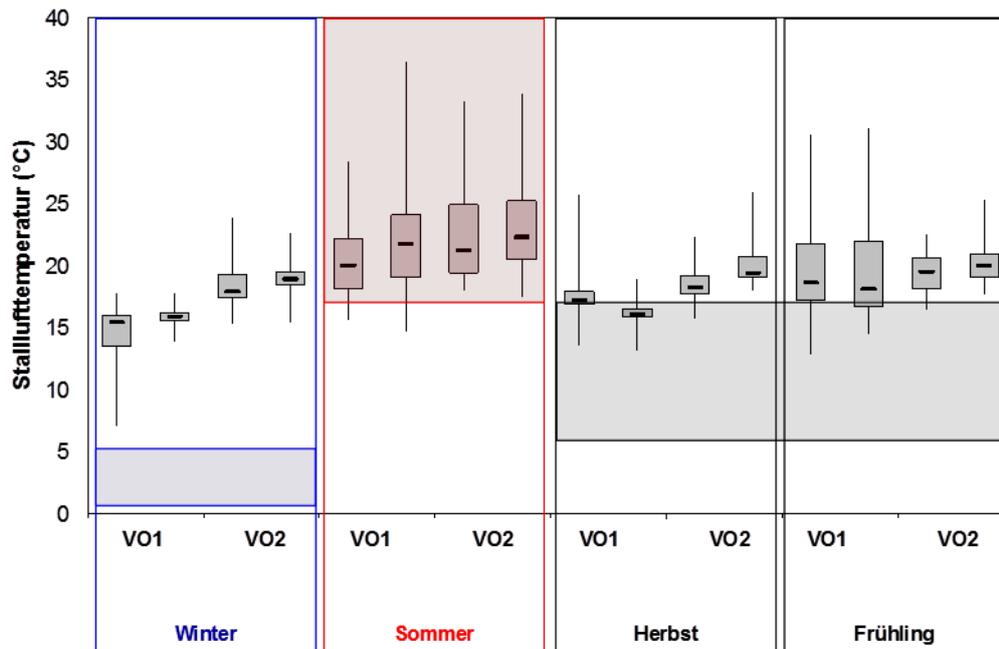


Abbildung 16: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stalllufttemperatur innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen

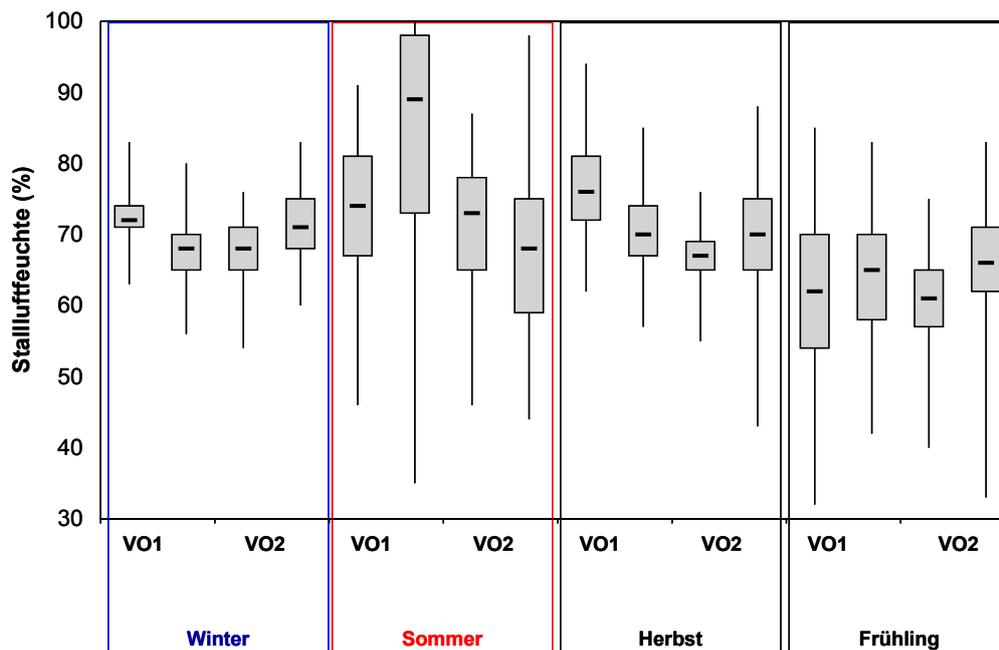


Abbildung 17: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Stallluftfeuchte innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen

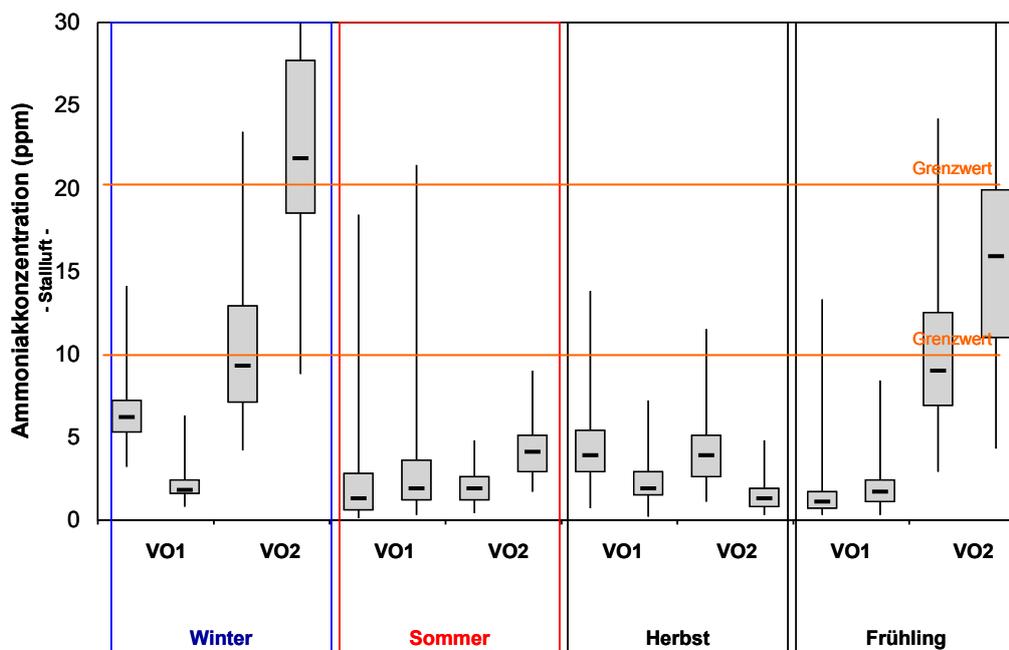


Abbildung 18: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum der Ammoniakkonzentration in der Stallluft innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen

75 % der Stundenmittelwerte für die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft der VO-1 liegen deutlich unter 10 ppm (Grenzwert Hennenhaltungs-VO). Im Maximum werden diese Grenzwerte (10 bzw. 20 ppm) kurzzeitig überschritten. Mit im Mittel unter 6,5 ppm ist die Stallluftqualität bezüglich des Ammoniaks hier sehr gut. Erwartungsgemäß liegen die Kennwerte für das MZF Winter höher als die in den MZF Sommer, Herbst und Frühling. Ein vergleichbares Bild ergibt sich mit Ausnahme der Messungen im MZF Winter und Frühling für die VO-2. Hier liegen bereits die Mittelwerte nahe 10 ppm und darüber. Während der 2. Messung (2. Stallbelegung) sind nahezu alle Stundenmittelwerte über 10 ppm, Mittelwert und 75 % der Kennwerte überschreiten 20 ppm. Die Kennwerte für das MZF Frühling sind auf einem etwas niedrigeren Niveau, jedoch deutlich über 10 ppm. Hier muss mit einer bereits erheblichen und irreversiblen Beeinträchtigung der Gesundheit der Hennen gerechnet werden. Eine Ursache hierfür konnte innerhalb der Messungen nicht belastbar nachgewiesen werden. Diese hohe Ammoniakkonzentration in der Stallluft war jedoch mit deutlich abgesenktem Abluftvolumenstrom verbunden. Weiterhin wurde mehrfach registriert, dass die Zuluftventile nahezu geschlossen waren und die Kotbandbelüftung mit hohen Volumenströmen betrieben wurde. Im Kontext mit den niedrigen Außenlufttemperaturen ist davon auszugehen, dass es hierdurch am Luftmischer zur verminderten Zumischung der kalten Zuluft und zum erhöhten Anteil belasteter Stallluft kommt. Hierdurch könnte eine Situation entstehen, die den Luftaustausch nahezu verhindert. Bei der Steuerung der Lüftungs- und Kotbandbelüftungsanlagen sollte im Betrieb dieser Problemstellung nachgegangen werden. Eine schnelle Abhilfe schafft das Absenken der Sollwerttemperatur für die Stallluft innerhalb der Lüftungsmanagements.

Die Kennwerte der **Kohlendioxidkonzentration in der Stallluft** der untersuchten Volieresysteme sind im Anhang in den Tabellen A-27 und A-28 zusammengestellt. Außer im MZF Winter liegen die Mittleren Konzentrationen im Bereich von 650 bis 1.800 ppm. Der Kohlendioxidgehalt in der Stallluft in VO-1 steigt auch im MZF Winter nicht über diesen Stundenmittelwert an. Hier sind auch die Maximalwerte unterhalb 3.000 ppm (Hennenhaltungs-VO 2001) und somit die Stallluftqualität akzeptabel. In der VO-2 spiegeln sich die bereits beschriebenen Probleme mit der Stallluft bezüglich der Ammoniakkonzentration auch bei der Kohlendioxidkonzentration im MZF Winter und Frühling. Das unterstützt die beschriebene Hypothese zur Steuerung der

Stalllüftung. 3.000 ppm an Kohlendioxid in der Stallluft werden in den MZF Winter und Frühling im Maximum deutlich überschritten. Die Qualität der Stallluft ist für eine optimale Tierhaltung nicht geeignet. Der Versuch, die Stalllufttemperatur mit einer Sollwerttemperatur der Lüftungssteuerung auf einem erhöhten Niveau zu halten, birgt das Risiko einer deutlichen Verschlechterung der Stallluftqualität durch die sinkenden Luftwechselraten.

In der Abbildung 19 sind die Kenndaten für den **Abluftvolumenstrom** der untersuchten Voliersysteme innerhalb der Messungen in den MZF gegenübergestellt (s. Tabellen A-29 und A-30 im Anhang).

Der maximale Volumenstrom wurde mit 9,1 m³ je Stunde und Hennenplatz im MZF Sommer in VO-1 ermittelt. Hier wurde der technisch mögliche Volumenstrom zu ca. 90 % im Maximum ausgenutzt. Für die VO-2 liegt dieser Wert bei 60 %. Die Differenzen zwischen technisch möglichem und realisiertem Abluftvolumenstrom sind auf erwartetem Niveau und ordnen sich gut in die eigenen Vorbefunde ein. Auch in den Voliereställen sind die Lüftungssysteme überdimensioniert. Hierdurch wächst die Gefahr, ein gutes Stallklima über einen umweltrelevanten Massenstrom an Stallraumlasten zu realisieren.

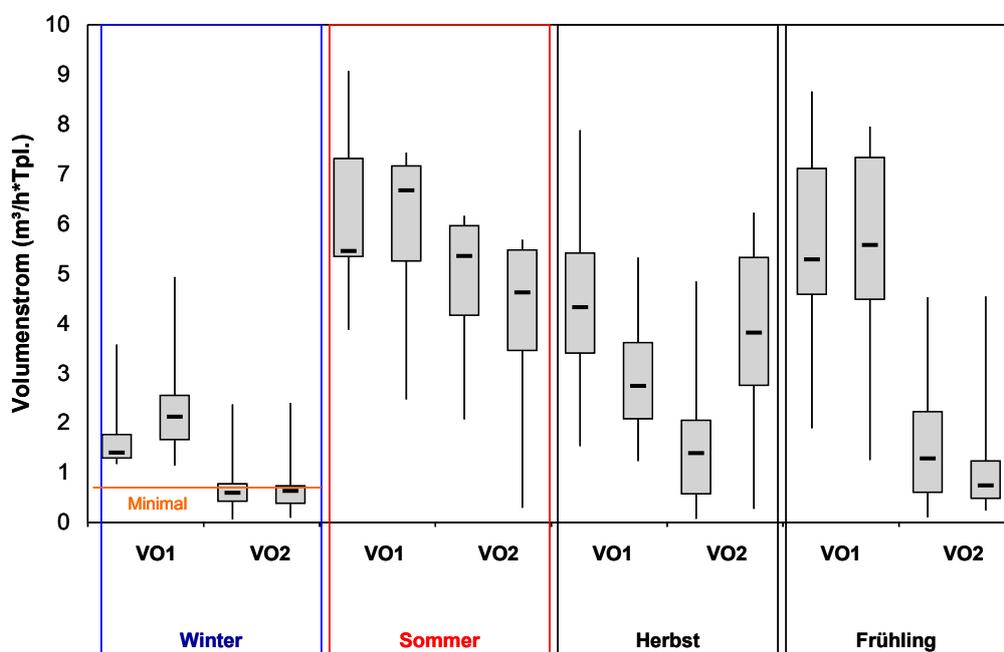


Abbildung 19: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Volumenstromes je Tierplatz innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen

Im MZF Winter wurde für die VO-1 ein mittlerer Abluftvolumenstrom von 1,8 m³ je Stunde und Tierplatz ermittelt. Deutlich niedriger liegt mit ca. 0,6 m³ der stündliche Abluftvolumenstrom für VO-2. Der mittlere Abluftvolumenstrom in VO-1 beträgt für die MZF Sommer und Frühling 5,7 m³ je Stunde und Hennenplatz. 25 % der Stundenmittelwerte liegen oberhalb 7,2 m³ je Stunde und Hennenplatz. Im MZF Herbst beträgt der mittlere Abluftvolumenstrom 3,5 m³. Auf niedrigerem Niveau variieren die stündlichen Abluftvolumenströme in VO-2. Hier ist auffällig, dass keine Maximalwerte über 6,2 m³ je Stunde und Hennenplatz ermittelt wurden. Ein sehr niedriges Niveau erreicht der Volumenstrom in VO-2 mit im Mittel 0,9 m³ im MZF Winter und Frühling. Im MZF Winter liegen 75 % der Kennwerte unter 0,8 m³ je Stunde, im Frühling unter 1,7 m³. Der Differenzdruck liegt dabei zwischen -3 Pa im MZF Winter und -14 Pa im Sommer. Mit steigendem Abluftvolumenstrom steigt auch

der Differenzdruck zwischen Stallraum und Stallumfeld. Der Differenzdruck für VO-1 variiert zwischen -1 und -10 Pa. Hier korrespondiert dieser nicht mit dem Abluftvolumenstrom wie in VO-2.

Die Kenndaten der stündlichen Emissionsmassenströme für Ammoniak werden in der Abbildung 20 für die untersuchten Volierehaltungssysteme gegenübergestellt (s. Tabellen A-31 und A-32 im Anhang).

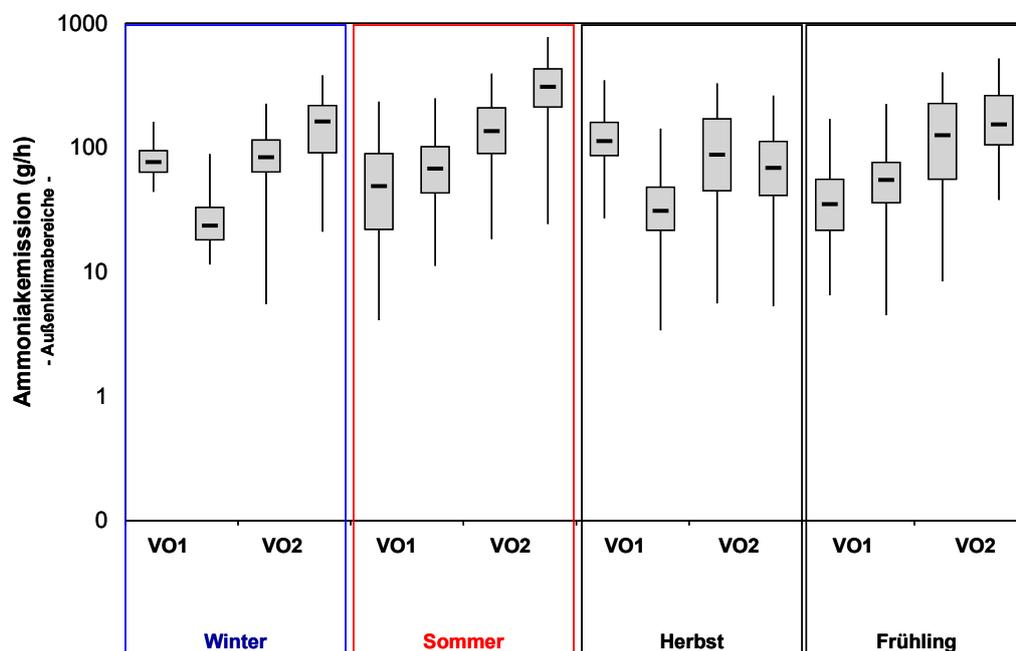


Abbildung 20: Mittelwert (Median), 25 %- und 75 %-Quantil, Minimum sowie Maximum des stündlichen Ammoniakmassenstromes innerhalb des MZF zu den Klimafenstern Winter, Sommer, Herbst und Frühling in den Volierehaltungen

Der Ammoniakmassenstrom für VO-1 beträgt im Mittel 65 g je Stunde und zeigt keinen gerichteten saisonalen Einfluss. 75 % der Stundenmittelwerte liegen unterhalb dem Vorsorgewert der TA-Luft von 150 g je Stunde. Dieser wird im Maximum überwiegend deutlich überschritten. Hier sind nicht hohe Stallluftkonzentrationen ursächlich, vielmehr verursachen hohe Abluftvolumenströme die Überschreitungen. Der Ammoniakmassenstrom für VO-2 beträgt im Mittel 157 g je Stunde. Je Tierplatz ist der Ausstoß vergleichbar mit VO-1. Im MZF Sommer und Frühling sind die ermittelten Massenströme am höchsten. Während im Sommer die hohen Abluftvolumenströme ursächlich sind, verursachen im MZF Frühling die hohen Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft den hohen Massenstrom. Nur in den MZF Herbst und im 1. MZF Winter (1. Stallbelegung) liegen die 75 % der stündlichen Massenströme an Ammoniak unter 150 g. Im Maximum wird dieser Vorsorgewert überwiegend deutlich überschritten. Hieraus muss abgeleitet werden, dass mit steigender Stallplatzkapazität die Managementanforderungen bezüglich des Emissionsverhaltens der Voliereställe ebenfalls steigen. Eigene Vorbefunde zeigten, dass das auch bei größeren Voliereställen gelingen kann.

Der mittlere Massenstrom an Kohlendioxid variiert in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Klimafenster für VO-1 zwischen 38 und 80 g je Stunde und für VO-2 zwischen 43 und 95 g je Stunde. Die Kenndaten hierfür sind in den Tabellen A-33 und A-34 im Anhang zusammengestellt. Die Voliereställe unterscheiden sich hier im Mittel geringfügig. Mit höherer Stallplatzkapazität sind die Maximalmassenströme je Stunde 35 % höher.

In der Abbildung 21 sind die charakterisierenden jahreszeitlichen Massenströme an Ammoniak und der jährliche Massenstrom für die beiden untersuchten Voliereställe gegenübergestellt (s. Tabelle A-35 im Anhang).

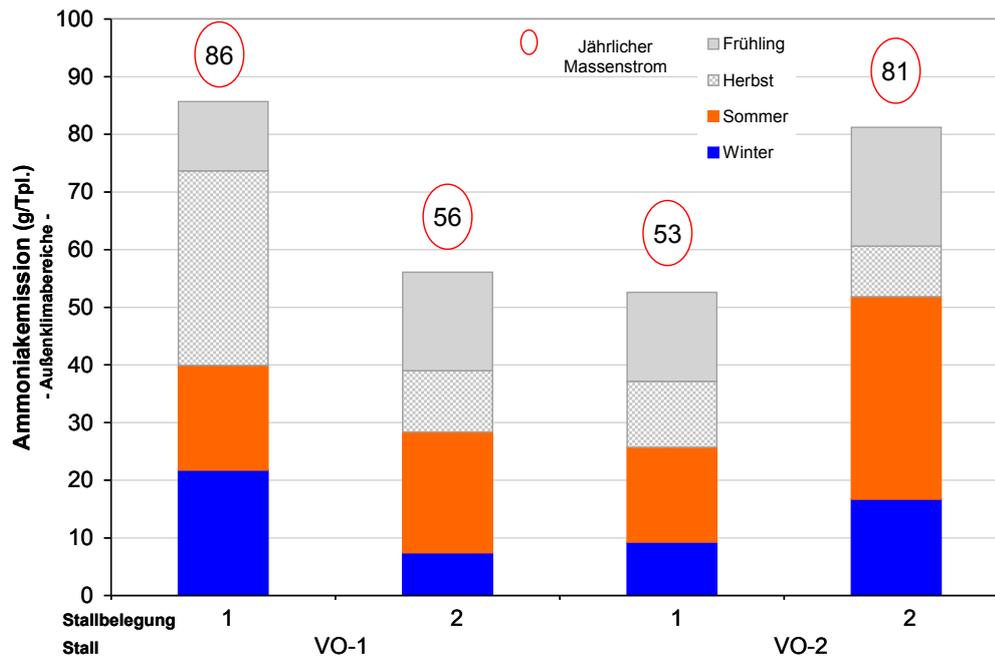


Abbildung 21: Berechneter Ammoniakmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimafenster Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Volierehaltungen

Für die beiden untersuchten Voliereställe differieren die Messergebnisse der 1. und 2. Messung (1. und 2. Stallbelegung) deutlich. Trotz gleicher Bewirtschaftung der Ställe sind die jährlichen Massenströme an Ammoniak zwischen den Untersuchungsjahren verschieden. Ein Einfluss des Jahres kann hieraus nicht abgeleitet werden. Die eigenen Ergebnisse aus Langzeitaufzeichnungen (kontinuierliche Messungen über 2 Jahre) der Massenströme einer Voliere zeigten im Vergleich von Massenströmen aus mehreren Messfenstern keine signifikanten Übereinstimmungen. Das heißt, dass die Wiederholbarkeit des Messergebnisses mit abnehmender Länge der gemessenen Zeitfenster sinkt. Die biologische Dynamik im Stall verhindert belastbare Emissionsprognosen mittels kurzzeitiger Messungen. Der Ammoniakmassenstrom für VO-1 beträgt jährlich 71 g je Tierplatz. Für VO-2 beträgt er 67 g je Tierplatz. Die Befunde wurden aufgrund bereits vorliegender so erwartet. Hervorzuheben ist, dass der kontinuierliche Betrieb der Kotbandbelüftung in VO-2 nur eine um 5 % geringere Ammoniakemission ermöglicht. Ein jahreszeitlicher Einfluss ist ungerichtet, für das Klimafenster Winter ist der Massenstrom aufgrund geringer Volumenströme überwiegend geringer.

3.2.2 Luftgetragene Stäube und Keime

Die Kalkulation von belastbaren Emissionsfaktoren für die untersuchten Voliereställe erfolgte analog zu den Kleingruppensystemen für Gesamtstaub und die Bestandteile des Bioaerosols wie Bakterien, Schimmelpilze und Endotoxine im Abluftstrom. Zur Ableitung eines Tagesmittelwertes wurden die Staubmesswerte über zusätzlich gemessenen Zeitreihen – wie in der Methodik beschrieben – gewichtet. Der Tagesmittelwert für luftgetragene Bakterien und Endotoxine wurde hier analog der in Kap. 3.1.2 dargelegten Zusammenhänge zwischen Staub und mikrobiellen Partikeln im Abluftstrom hergeleitet.

In Tabelle 10 und Tabelle 11 werden die gemessenen Konzentrationen von **Staub im Abluftstrom** und die berechneten Tagesmittelwerte für die Ableitung eines jährlichen Massenstromes zusammengestellt.

Tabelle 10: Staubkonzentration (mg/m³) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster		Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
Messung/MZF		1	2	1	2	1	2	1	2
Gesamtstaub	Messwert	20,13	14,90	7,63	7,33	7,43	9,93	13,30	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	13,34	6,97	5,01	3,60	5,41	7,68	7,58	
PM10	Messwert	14,13	12,37	4,13	3,97	3,77	9,00	10,23	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	9,36	5,79	2,71	1,95	2,74	6,96	5,84	
PM2,5	Messwert	2,57	3,33	0,73	1,23	0,63	2,07	2,53	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	1,70	1,56	0,48	0,61	0,46	1,60	1,44	
Messwerte (n)		3	3	3	3	3	3	3	

Tabelle 11: Staubkonzentration (mg/m³) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster		Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
Messung/MZF		1	2	1	2	1	2	1	2
Gesamtstaub	Messwert	9,13	8,63	12,73	42,93	7,60	4,10	9,27	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	4,70	4,79	6,02	15,11	5,98	2,46	5,03	
PM10	Messwert	5,83	4,37	6,13	26,70	4,53	1,87	5,70	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	3,00	2,42	2,90	9,40	3,57	1,12	3,10	
PM2,5	Messwert	2,00	1,33	1,47	9,50	1,00	0,33	1,00	
	Tagesmittelw. (kalkul.)	1,03	0,74	0,69	3,34	0,79	0,20	0,54	
Messwerte (n)		3	3	3	3	3	3	3	

In VO-1 beträgt die mittlere Staubkonzentration im Abluftstrom über alle MZF 13,5 mg je m³. Für KG-2 beträgt dieser 11,5 mg je m³. Die Messwerte liegen somit primär unterhalb des Vorsorgewertes von 20 mg je m³ (TA Luft). Erwartungsgemäß überschreiten die Gesamtstaubkonzentrationen im Abluftstrom im MZF Sommer situationsbedingt und kurzzeitig (vgl. VO-1, 2. Messung MZF Sommer) diesen Wert. Die gemittelten Messwerte variieren zwischen 4,1 und 42,9 mg je m³. In der VO-1 treten die höchsten Staubkonzentrationen im MZF Sommer auf. Dieser jahreszeitliche Einfluss wurde durch eigene Vorbefunde so erwartet. In der VO-2 sind die höchsten Konzentrationen im MZF Winter und Frühling. Die Kopplung an hohe Ammoniakkonzentrationen hier könnte auf die bei STANDKE & BÜSCHER (2010) beschriebene Sekundärpartikelbildung aus dem luftgetragenen Ammoniak zurückgeführt werden. Für VO-1 hat die Staubfraktion PM10 einen gemittelten Anteil über alle Messungen von 56 % am Gesamtstaub, PM 2,5 15 %. Der Anteil der Fraktion PM10 am Gesamtstaub beträgt für VO-2 69 %. Für die Fraktion PM2,5 beträgt er 16 %. Während der Anteil von PM2,5 in den untersuchten Voliereställen annähernd gleich ist, übersteigt der Anteil PM10 am Gesamtstaub in VO-2 um über 10 % gegenüber VO-1. Eine Ursache für die abweichenden Anteile könnte die eingesetzte Einstreu in VO-2 sein.

Hier wurden Holzspäne eingesetzt, in VO-1 primär Sand. Auf die Gesamtstaubkonzentration im Abluftstrom hat dieser Sachverhalt in den untersuchten Ställen keinen Einfluss.

Aufgrund der deutlichen Schwankungen der Staubkonzentration im Stall und Abluftstrom im Tagesverlauf wurden aus den Messwerten Tagesmittelwerte zur Berechnung des Massenstromes abgeleitet. Für VO-1 beträgt dieser Tagesmittelwert noch 55 % vom Messwert. Mit 62 % des Messwertes für VO-2 ist der Tagesmittelwert nur geringfügig höher. In der Abbildung 22 sind die Kenndaten für die jahreszeitlichen Klimafenster und als Summe hieraus der jährliche Massenstrom für die Volieresysteme gegenübergestellt. Die Daten sind in der Tabelle A-36 im Anhang zusammengefasst.

Die hohen Abluftvolumenströme im Sommer verursachen im Kontext mit den Staubkonzentrationen im Abluftstrom im Vergleich mit Winter, Herbst und Frühling die höchsten Teilmassenströme. Im Winter ist der Massenstrom aufgrund geringer Abluftvolumenströme trotz hoher Staubkonzentrationen in der Stall- und Abluft niedrig. Für das Klimafenster Herbst konnte in beiden Voliereställen keine Messung realisiert werden. Hier wurden die Massenströme für diesen Klimabereich auf der Basis der realisierten Messungen kalkuliert (schraffierte Fläche).

Für VO-1 wurde ein mittlerer jährlicher Massenstrom von 246 g Gesamtstaub je Tierplatz berechnet. Für VO-2 beträgt dieser 128 g. Der stündliche Massenstrom an Gesamtstaub überschreitet in beiden untersuchten Voliereställen den Vorsorgewert von 200 g je Stunde (TA Luft). Für die VO-1 beträgt der Massenstrom an Gesamtstaub 225 g je Stunde. Der stündliche Massenstrom für VO-2 beträgt 300 g. Die Ergebnisse ordnen sich gut in eigene Vorbefunde zu Volieresystemen ein. Die Kombination von z. T. trockener Einstreu und reger Tierbewegung ist die primäre Ursache hierfür. Erste Minderungsansätze mit Erhöhung der Einstreu- und Luftfeuchte bei höheren Lufttemperaturen zeigen Möglichkeiten auf (LIPPMANN 2007). Sie sind jedoch auch mit Risiken für das Stallklima verbunden, wie z. B. die verstärkte Nachlieferung von Ammoniak aus der Einstreu und damit die Konzentrationserhöhung in der Stall- und Abluft.

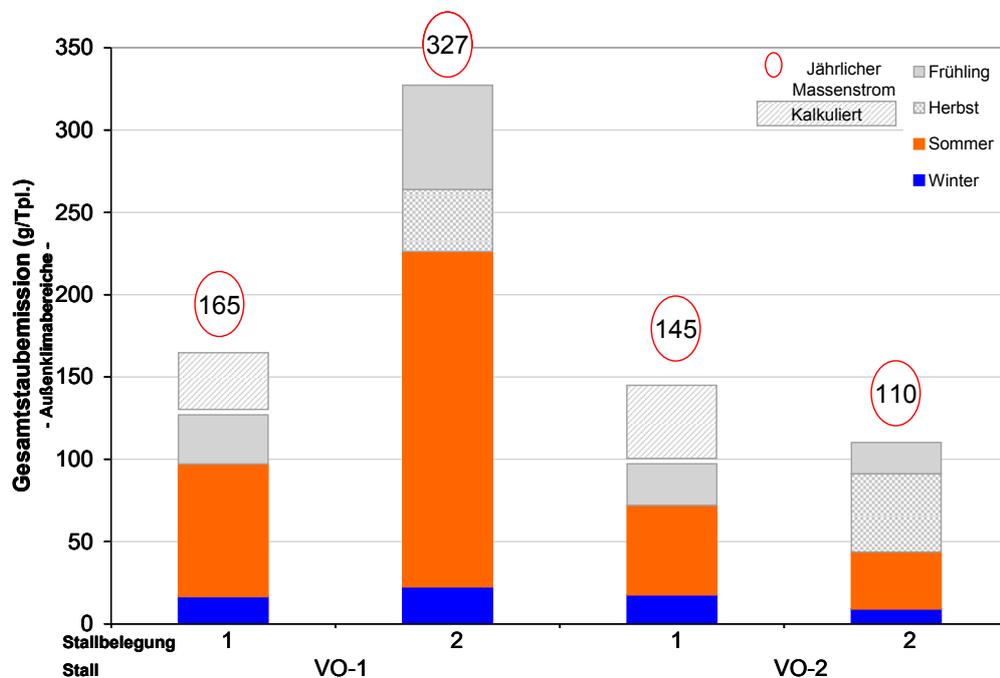


Abbildung 22: Berechneter Gesamtstaubmassenstrom je Tierplatz innerhalb der Klimabereiche Winter, Sommer, Herbst und Frühling sowie über ein Jahr für die Volierehaltungen

Eng mit der Staubkonzentration ist die Bioaerosolkonzentration im Abluftstrom verbunden. In Tabelle 12 und Tabelle 13 sind die Befunde zu den gemessenen Bestandteilen im **Bioaerosol des Abluftstromes** der Volierehaltungssysteme VO-1 und VO-2 zusammengestellt.

Tabelle 12: Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m³) und Endotoxine (EU/m³) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Abluft								
Bakterien	6,0*10 ⁶	7,2*10 ⁶	1,9*10 ⁶	8,4*10 ⁵		1,9*10 ⁵	2,0*10 ⁶	2,2*10 ⁶
gramneg. Bakterien	1,2*10 ⁵	<1,0*10 ²	1,0*10 ⁴	1,7*10 ⁶		1,0*10 ⁴	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²
Schimmelpilze	<1,0*10 ²		<1,0*10 ²	<1,0*10 ²		<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²
Hefen	<1,0*10 ²	1,3*10 ⁴	4,3*10 ³	<1,0*10 ²		4,3*10 ³	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²
Endotoxine	1,5*10 ⁵	1,7*10 ⁵	6,6*10 ³	4,3*10 ³		6,6*10 ³	5,7*10 ³	3,9*10 ³
Hintergrund								
Bakterien		3,0*10 ³	1,3*10 ³	3,0*10 ³		1,3*10 ³		1,0*10 ²
gramneg. Bakterien				1,0*10 ¹				
Schimmelpilze		1,3*10 ²	1,5*10 ³	3,2*10 ²		1,5*10 ³		6,1*10 ²
Messwerte (n)	3	3	3	3		3	3	3

Tabelle 13: Luftgetragene Keimfraktionen (KbE/m³) und Endotoxine (EU/m³) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung/MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Abluft								
Bakterien	5,8*10 ⁵	2,5*10 ⁶	2,3*10 ⁸	1,1*10 ⁹		4,1*10 ⁷	5,1*10 ⁴	1,3*10 ⁸
gramneg. Bakterien	<1,0*10 ²	6,3*10 ³	1,4*10 ⁸	3,1*10 ⁸		1,2*10 ⁴	3,9*10 ³	1,3*10 ⁸
Schimmelpilze	<1,0*10 ²	6,2*10 ³	<1,0*10 ²	1,9*10 ⁶		<1,0*10 ²	6,0*10 ³	<1,0*10 ²
Hefen	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²		<1,0*10 ²		<1,0*10 ²	<1,0*10 ²	<1,0*10 ²
Endotoxine	3,1*10 ⁴	2,3*10 ³	1,3*10 ⁵	6,4*10 ⁵		2,0*10 ⁵	8,4*10 ⁴	1,2*10 ⁵
Hintergrund								
Bakterien		1,0*10 ²	4,1*10 ³	9,6*10 ¹		1,5*10 ²	1,4*10 ²	
gramneg. Bakterien			1,9*10 ³					
Schimmelpilze		2,3*10 ³	5,2*10 ³	9,9*10 ¹		8,5*10 ¹	1,6*10 ³	
Messwerte (n)	3	3	3	3		3	3	3

Auch für die Messungen der Bioaerosolkonzentration im Abluftstrom der beiden Voliereställe liegt eine größere Anzahl von Befunden unterhalb der Nachweisgrenze ($< 1,0 \cdot 10^2$) vor. Das betrifft auch hier primär die gramnegativen Bakterien sowie Schimmelpilze und Hefen. Ursachen wurden im Kap. 2 aufgeführt.

Für die mesophilen Bakterien und Endotoxine konnten belastbare Befunde erarbeitet werden. Am Standort von VO-1 wurde eine mittlere Hintergrundkonzentration an Bakterien im Jahresverlauf von $9,2 \cdot 10^2$ KbE je m^3 , im Abluftstrom eine mittlere Bakterienkonzentration von $2,1 \cdot 10^8$ gemessen. Dabei lagen die Konzentrationen mit steigender Lufttemperatur zwei bis drei Zehnerpotenzen höher. Für VO-1 konnten für jedes Klimafenster Konzentrationen für gramnegative Bakterien gewonnen werden. Für VO-1 betrug diese Konzentration im Abluftstrom $7,4 \cdot 10^7$ KbE je m^3 . Die mittlere Endotoxinkonzentration im Abluftstrom betrug $1,7 \cdot 10^5$ EU je m^3 . Im Sommer waren die nachgewiesenen Konzentrationen gegenüber Winter eine Zehnerpotenz niedriger.

Am Standort von VO-2 wurde eine mittlere Hintergrundkonzentration an Bakterien im Jahresverlauf von $1,7 \cdot 10^3$ KbE je m^3 gemessen. Diese war gegenüber den zwei weiteren Standorten um eine Zehnerpotenz höher. Eine Ursache hierfür ist, dass im Umfeld an diesem Standort weitere Hennenställe standen. Im Abluftstrom wurde eine mittlere Bakterienkonzentration von $3,1 \cdot 10^6$ gemessen. Temperaturabhängige Unterschiede wurden nicht gefunden. Die mittlere Endotoxinkonzentration im Abluftstrom betrug $5,0 \cdot 10^4$ EU je m^3 . Im MZF Winter waren die nachgewiesenen Konzentrationen gegenüber den MZF Sommer, Herbst und Frühling zwei Zehnerpotenzen höher.

Nach der Ableitung eines jeweiligen Tagesmittelwertes für Bakterien und Endotoxine ergeben sich für die VO-1 mittlere Massenströme an Bakterien von $3,7 \cdot 10^9$ KbE (Winter), $3,5 \cdot 10^{12}$ KbE (Sommer) und $3,5 \cdot 10^{11}$ KbE je Tierplatz (Herbst/Frühling). Das entspricht einem jährlichen Massenstrom von $4,0 \cdot 10^{12}$ KbE mesophiler Bakterien je Tierplatz.

Der jährliche Massenstrom an Endotoxinen beträgt $3,6 \cdot 10^9$ EU je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Endotoxin betragen $2,7 \cdot 10^7$ EU (Winter), $2,0 \cdot 10^9$ EU (Sommer) und $7,8 \cdot 10^8$ EU (Herbst/Frühling) je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Bakterien für die VO-2 betragen $4,9 \cdot 10^9$ KbE (Winter), $9,6 \cdot 10^9$ KbE (Sommer) und $6,1 \cdot 10^9$ KbE (Herbst/Frühling) je Tierplatz. Das entspricht einem jährlichen Massenstrom von $2,5 \cdot 10^{10}$ KbE mesophiler Bakterien je Tierplatz. Der jährliche Massenstrom an Endotoxinen beträgt $2,0 \cdot 10^8$ EU je Tierplatz. Die mittleren Massenströme an Endotoxin betragen $1,2 \cdot 10^8$ EU (Winter), $3,7 \cdot 10^7$ EU (Sommer) und $1,9 \cdot 10^7$ EU (Herbst/Frühling) je Tierplatz. Diese Massenströme charakterisieren denn Abluftstrom unmittelbar bei Verlassen des Stalls.

4 Schlussfolgerungen

Kleingruppensysteme

- Der Gesundheitszustand der Hennenherden ist über die gesamte Haltungsperiode gut. Federverluste treten am Hals, Bauch und Rücken auf. Im Halsbereich sind die Gitterstäbe vor dem Futtertrog, auf dem Rücken die Interaktionen Hahn und Henne primäre Ursache.
- Der Befall mit Milben ist ein latentes Problem der untersuchten Kleingruppenhaltungssysteme.
- In den Kleingruppensystemen traten Tierverluste von 5–11 % je Stallbelegung auf. Die Legeleistung betrug 80–85 %.
- Die mittlere Stalllufttemperatur und -feuchte variiert in Abhängigkeit der Umfeldtemperatur primär innerhalb eines thermisch tolerablen Bereiches für Legehennen zwischen 12–26 °C. Im Sommer sind Maximaltemperaturen über 30 °C möglich. Die Extremwerte der Stallluftfeuchte (30 bzw. 96 %) wurden im Sommer gemessen.
- Lachgas und Methan in der Stallluft lagen nur z. T. geringfügig über der Zuluftkonzentration und sind primär an die mikrobiellen Prozesse in der Einstreu gebunden.
- Die Stallluftkonzentration an Ammoniak lag in den Kleingruppensystemen primär unter 10 ppm. Nur kurzzeitig überstiegen die Konzentrationen das Niveau im Maximum.
- Die Stallluftkonzentration an Kohlendioxid war deutlich unter 3.000 ppm. Nur im Winter besteht kurzzeitig die Möglichkeit einer Überschreitung. Damit wurde ein gutes Stallklima nachgewiesen.
- Die Lüftungssysteme sind mit bis zu 10 m³ je Stunde und Tierplatz überdimensioniert. Im Maximum werden hiervon 60–90 % abgerufen.
- Der jährliche Ammoniakemissionsfaktor beträgt für das Kleingruppensystem
 - <15.000 Tpl., KG-1 23 g je Tierplatz,
 - >15.000 Tpl., KG-2 26 g je Tierplatz.Mit dem Betrieb des Sandbades ist mit einer Anhebung des Faktors zu rechnen, er dürfte jedoch nicht den Faktor für Käfigsysteme der TA Luft übersteigen.
- Die Staubkonzentration in der Stall- und Abluft unterliegt einem an das Aktivitätsniveau in der Hennenherde angepassten Tagesgang. 10 % des Niveaus, das während der Aktivität der Herde gemessen wurde, ist in der Ruhephase zu erwarten. Die Gesamtstaubkonzentration während der höchsten Aktivität in der Herde betrug 2,0–2,4 mg je m³ im Abluftstrom. Die höchste Konzentration lag bei 4,5 mg je m³.
- Der Anteil von PM10 und PM2.5 am Gesamtstaub betrug 56 bzw. 66 % und 10 bzw. 15 %.
- Für Gesamtstaub wurde ein Emissionsfaktor für Kleingruppensystem
 - <15.000 Tpl., KG-1 35 g je Tierplatz,
 - >15.000 Tpl., KG-2 37 g je Tierplatzermittelt. Mit 35 bzw. 130 g je Stunde liegen die mittleren Massenströme unterhalb des Vorsorgewertes der TA Luft.
- Gramnegative Bakterien und Schimmelpilze waren in einer hohen Anzahl an Proben nicht kultivierbar. Die Bestimmung z. B. der Gesamtzellzahl sollte künftig parallel erfolgen.

- Luftgetragene mesophile Bakterien und Endotoxine sind mit den angewendeten Probenahmen hinreichend nachweisbar.
- Für Bakterien wurde eine Hintergrundkonzentration von 10^2 KbE je m^3 unabhängig vom Standort ermittelt. Die Konzentration in der Abluft war im Kleingruppensystem

- <15.000 Tpl., KG-1 10^5 KbE je m^3 ,
- >15.000 Tpl., KG-2 10^7 KbE je m^3 .

Es konnte kein saisonaler Einfluss generell nachgewiesen werden. Tendenziell sind die Konzentrationen im Winter um den Faktor 10^2 höher als im Sommer.

- Die Beziehungen zwischen den Messwerten an Staub und Bakterien sowie Endotoxinen sind hinreichend belastbar, um den Tagesmittelwert analog zum Staub auch zu den Bestandteilen des Bioaerosols abzuleiten.
- Die Massenströme an Bakterien betragen 10^8 für Winter, 10^{11} für Sommer und 10^9 für Herbst/Frühling. Der jährliche Massenstrom an Bakterien beträgt 10^{11} KbE je Tierplatz.
- Für Endotoxine konnte keine Hintergrundkonzentration ermittelt werden. Die Konzentration in der Abluft war im Kleingruppensystem

- <15.000 Tpl., KG-1 10^5 EU je m^3 ,
- >15.000 Tpl., KG-2 10^3 EU je m^3 .

Im Winter waren die Konzentrationen um den Faktor 10 bis 10^2 höher gegenüber dem Sommer.

- Die Massenströme an Endotoxinen betragen 10^8 für Winter, 10^7 für Sommer und 10^8 für Herbst/Frühling. Der jährliche Massenstrom an Bakterien beträgt 10^8 EU je Tierplatz.

Volieresysteme

- Der Gesundheitszustand der Hennenherden ist über die gesamte Haltungsperiode gut. Federverluste treten in kleinerem Umfang am Bauch- und Brustbereich auf.
- Der Befall mit Milben ist ein latentes Problem der untersuchten Volierehaltungssysteme.
- In den Volieresystemen traten Tierverluste von 7–9 % je Stallbelegung auf. Die Legeleistung betrug 85–87 %.
- Die mittlere Stalllufttemperatur und -feuchte variiert in Abhängigkeit der Umfeldtemperatur primär innerhalb eines thermisch tolerablen Bereiches für Legehennen zwischen 12–26 °C. Im Sommer sind Maximaltemperaturen über 30 °C möglich. Im Winter wurden in VO-1 Minimalwerte um 7 °C gemessen. Die ermittelte Stallluftfeuchte liegt gegenüber eigener Vorbefunde für Voliereställe höher.
- Lachgas und Methan in der Stallluft lagen nur z. T. geringfügig über der Zuluftkonzentration und sind primär an die mikrobiellen Prozesse in der Einstreu gebunden.
- Die Stallluftkonzentration an Ammoniak war in den Volieresystemen unterschiedlich. Während sie in VO-1 primär unter 10 ppm lag, war sie in VO-2 im Winter und Frühling z. T. deutlich darüber. Eine primäre Ursache wurde innerhalb der Lüftungs- und Kotbandbelüftungssteuerung gefunden.
- Die Stallluftkonzentration an Kohlendioxid war deutlich unter 3.000 ppm. Nur im Winter und Frühling wurden in VO-2 3.000 ppm z. T. deutlich überschritten.

- Die Lüftungssysteme sind mit bis zu 10 m³ je Stunde und Tierplatz überdimensioniert. Im Maximum werden hiervon 60–90 % abgerufen.
- Der jährliche Ammoniakemissionsfaktor beträgt für Volieresystem
 - <15.000 Tpl., VO-1 71 g je Tierplatz,
 - >15.000 Tpl., VO-2 67 g je Tierplatz.

Mit dem Betrieb der Kotbandbelüftung wurde in VO-2 nur eine um 5 % geringere Ammoniakemission realisiert. Während der stündliche Massenstrom für VO-1 im Jahresmittel unterhalb des Vorsorgewertes der TA Luft (150 g/h) liegt, liegt er für VO-2 mit 157 g darüber.

Die Staubkonzentration in der Stall- und Abluft unterliegt einem an das Aktivitätsniveau in der Hennenherde angepassten Tagesgang. Während der Ruhephasen wurden nur 10 % des Niveaus während der Aktivität der Herde gemessen. Die Gesamtstaubkonzentration während der höchsten Aktivität in der Herde betrug 11,5–13,5 mg je m³ im Abluftstrom. Die höchste Konzentration lag bei 42,9 mg je m³.
- Der Anteil von PM10 und PM2.5 am Gesamtstaub betrug 56 bzw. 69 % und 15 bzw. 16 %.
- Für Gesamtstaub wurde ein Emissionsfaktor für Volieresystem
 - <15.000 Tpl., VO-1 246 g je Tierplatz,
 - >15.000 Tpl., VO-2 128 g je Tierplatz

ermittelt. Mit 225 bzw. 300 g je Stunde liegen die mittleren Massenströme für beide Volieren z. T. deutlich über dem Vorsorgewert der TA Luft.
- Gramnegative Bakterien und Schimmelpilze waren in einer hohen Anzahl an Proben nicht kultivierbar. Die Bestimmung z. B. der Gesamtzellzahl sollte künftig parallel erfolgen.
- Luftgetragene mesophile Bakterien und Endotoxine sind mit den angewendeten Probenahmen hinreichend nachweisbar.
- Für Bakterien wurde eine Hintergrundkonzentration von 10²–10³ KbE je m³ abhängig vom Standort ermittelt. Die Konzentration in der Abluft war im Volieresystem
 - <15.000 Tpl., VO-1 10⁸ kbE je m³,
 - >15.000 Tpl., VO-2 10⁶ kbE je m³.

Mit steigender Lufttemperatur wurden Bakterienkonzentrationen gemessen, die um den Faktor 10²–10³ höher waren. Die Messungen in VO-2 bestätigten diese Abhängigkeit nicht.
- Die Beziehungen zwischen den Messwerten an Staub und Bakterien sowie Endotoxinen sind hinreichend belastbar, um den Tagesmittelwert analog zum Staub auch zu den Bestandteilen des Bioaerosols abzuleiten.
- Die Massenströme an Bakterien betragen 10⁹ für Winter, 10¹² für Sommer und 10¹¹ für Herbst/Frühling. Der jährliche Massenstrom an Bakterien beträgt 10¹² KbE je Tierplatz.
- Für Endotoxine konnte keine Hintergrundkonzentration ermittelt werden. Die Konzentration in der Abluft war in Volieresystem
 - <15.000 Tpl., VO-1 10⁵ EU je m³,
 - >15.000 Tpl., VO-2 10⁴ EU je m³.

Im Winter waren die Konzentrationen um den Faktor 10^2 höher gegenüber Sommer, Herbst und Frühling.

- Die Massenströme an Endotoxinen betragen 10^7 für Winter, 10^9 für Sommer und 10^8 für Herbst/Frühling. Der jährliche Massenstrom an Endotoxinen beträgt 10^9 EU je Tierplatz

5 Zusammenfassung

Europaweit wurden die bisher primär für die Haltung von Legehennen eingesetzten Käfigsysteme ab 2012 verboten. Es wird eingeschätzt, dass sich der ausgestaltete Käfig neben den Varianten der Bodenhaltung von Legehennen in Europa zukünftig als Standardverfahren durchsetzen wird. In Deutschland wurde neben diesen Bodenhaltungssystemen kurzzeitig die Kleingruppenhaltung in sogenannten Kleinvolieren favorisiert. Derzeit gehört den Bodenhaltungssystemen die Zukunft.

In diesem Gesamtkontext wurden in jeweils zwei Ställen mit Voliersystem (VO-1, <15.000 Tpl.; VO-2, >15.000 Tpl.) und mit Kleingruppensystem (KG-1, <15.000 Tpl.; KG-2, >15.000 Tpl.) über zwei Stallbelegungen Stallklimadaten zur Bewertung des Emissionsverhaltens dieser Haltungssysteme gewonnen. Die Messungen (MZF, jeweils mindestens 14 Tage) fanden innerhalb von über die Außentemperatur definierten Klimafenstern statt. Für die Klimafenster wurden nachfolgende Temperaturbereiche definiert:

- Winter ... <6 °C,
- Sommer ... >16 °C und
- Herbst/Frühling ... 6–16 °C.

Es wurden die Lufttemperatur und -feuchte in Stall und Stallumfeld, die Konzentrationen von Ammoniak, Lachgas, Methan und Kohlendioxid in der Stall-, Zu- und Abluft sowie der Abluftvolumenstrom kontinuierlich während der Messungen bestimmt. Jeweils eine Probenahme (drei Wiederholungen) wurde während der Messungen für Gesamtstaub, die Fraktionen PM10 und PM2,5 (isokinetisch) sowie mittels Impinger für Bakterien, gramnegative Bakterien, Schimmelpilze und Hefen sowie Endotoxine durchgeführt. Aus den Messdaten wurden Stall- und Abluftkonzentrationen sowie Emissionsmassenströme für Ammoniak, Gesamtstaub, Bakterien und Endotoxine abgeleitet. Staub wurde gravimetrisch bestimmt und mittels optischen Messverfahren der Tagesgang abgebildet. Die Bestandteile des Bioaerosols wurden mittels Spatelverfahren ausgestrichen, kultiviert und bestimmt.

Das allgemeine Erscheinungsbild der Hennenherden war über die gesamte Untersuchungszeit gut. Für die Kleingruppensysteme wurden 5–11 % Tierverluste und eine Legeleistung zwischen 80–85 % festgestellt. Die Tierverluste in den Voliersystemen lagen zwischen 7 und 9 %. Die Legeleistung betrug 85–87 %.

Die Ergebnisse der Stallklima- und Emissionsuntersuchungen zeigen, dass die Außentemperaturen am Haltingsstandort im Mittel der untersuchten MZF innerhalb der definierten Klassengrenzen lagen. Die Stalltemperatur lag im Mittel innerhalb eines für Hennen thermisch tolerablen Bereiches von 12–26 °C. Extremwerte wurden mit 7 °C im Minimum (Voliere) und 36 °C im Maximum gemessen. Die Luftfeuchte liegt im Mittel zwischen 50 und 80 %, erreicht im Minimum 30 % und im Maximum bis 95 %. Es wurden Abluftvolumenströme von unter 0,7 m³ je Stunde und Tierplatz (Winter) bis 9 m³ je Stunde und Tierplatz (Sommer) ermittelt.

Der Kohlendioxidgehalt im Stall liegt bei allen gemessenen Stallsystemen deutlich unterhalb 3.000 ppm. Im Winter steigt er mit der Reduzierung der Luftwechselrate auf 3.000 ppm und z. T. darüber an.

Lachgas und Methan blieben wegen den teilweise geringen Differenzen zur Zuluft und messmethodischen Unsicherheiten unberücksichtigt.

Die Ammoniakkonzentration lag unabhängig vom Haltungssystem primär unter 10 ppm, in den Volieren teilweise kurzzeitig darüber. Für das Stallgas Ammoniak leiten sich nachfolgende Emissionsfaktoren ab:

- Kleingruppensysteme 23 bzw. 26 g je Hennenplatz
- Voliersysteme 71 bzw. 67 g je Hennenplatz

Die Konzentration an Staub im Abluftstrom war für die Kleingruppensysteme mit 2,0 bis 2,4 mg je m³, im Maximum 4,6 mg je m³, gering. Für die Voliersysteme lagen diese Messwerte zwischen 11,5 und 13,5 mg je m³, im Maximum bis 42,9 mg je m³. Für Gesamtstaub leiten sich nachfolgende Emissionsfaktoren ab:

- Kleingruppensysteme 35 bzw. 37 g je Hennenplatz
- Voliersysteme 246 bzw. 128 g je Hennenplatz

Die Hintergrundkonzentration an Bakterien lag bei 10² KbE je m³. Im Abluftstrom der Kleingruppensysteme wurden Bakterienkonzentrationen von 10⁵ bzw. 10⁷ KbE je m³ und Endotoxinkonzentrationen von 10⁵ bzw. 10³ EU je m³ ermittelt. Im Abluftstrom der Voliersysteme wurden Bakterienkonzentrationen von 10⁸ bzw. 10⁶ KbE je m³ und Endotoxinkonzentrationen von 10⁵ bzw. 10⁴ EU je m³ ermittelt. Für Bakterien leiten sich folgende Emissionsfaktoren ab:

- Kleingruppensysteme 10¹¹ KbE je Hennenplatz
- Voliersysteme 10¹² KbE je Hennenplatz

Für Endotoxine leiten sich nachfolgende Emissionsfaktoren ab:

- Kleingruppensysteme 10⁸ EU je Hennenplatz
- Voliersysteme 10⁹ EU je Hennenplatz

Managementempfehlungen

- Die niedrigen Ammoniakkonzentrationen zeigen, dass ein wöchentlich zweimaliges Entfernen des Kotstapels aus dem Stall das Stallklima nachhaltig verbessert.
- Die Kotbandbelüftung zur Senkung des Feuchtegehaltes im Kotstapel senkt in den vorliegenden Untersuchungen die Ammoniakkonzentration in der Stallluft geringfügig. Sie birgt insbesondere im Winter bei geringem Luftwechsel und fehlerhafter Lüftungssteuerung die Gefahr, die Ammoniakkonzentration in der Stallluft zu erhöhen.
- Die generelle Überdimensionierung der Lüftungsanlage (bis zu 10 m³ je Stunde und Hennenplatz) wird im praktischen Betrieb nicht ausgenutzt. Die hiermit erzeugten höheren Luftströmungen im Stall erreichen die Tiere innerhalb der Stallsystemausrüstung nicht bzw. haben nicht die gewünschte Kühlwirkung. Bei der Lüftungsplanung ist verstärkt ein Augenmerk auf zu realisierende Strömungstrecken zu richten.

- Der Lüftungssteuerung wird derzeit innerhalb des Stallmanagements nicht genügend Beachtung geschenkt. Insbesondere sollten Mindestluftstraten einstellbar und angepasst werden. Weiterhin sind im Kontext mit der Außentemperatur die zur Lüftungssteuerung benutzten Sollwerttemperaturen innerhalb der für Hennen thermisch tolerablen Lufttemperaturbereiche zwischen 12 und 26 °C anzupassen. Etwas abgesenkte Steuertemperaturen im Winter erhöhen die Zufuhr von Frischluft, ein Anheben im Sommer ermöglicht der Lüftungssteuerung ein Regelverhalten.
- Die Möglichkeit einer Abkühlung bzw. Erwärmung der Zuluft sollte bei Neubauten geprüft werden. Hierfür ist jedoch eine zentrale Zuluftführung sinnvoll.

6 Anhang

Tab. A-1: Außenlufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	13,3	11,4	39,9	34,3	18,8		33,2	23,4
75 %	1,5	0,7	25,3	25,0	9,1		18,3	10,6
Median	-1,3	-6,2	18,1	19,6	7,2		12,2	6,9
25 %	-4,1	-11,8	14,1	15,6	3,6		8,8	4,4
Min.	-14,0	-19,3	7,3	8,3	-1,2		1,6	-3,0
Mittelwert	-1,3	-5,6	19,9	20,4	6,7		13,6	7,7
Messwerte (n)	2103	1832	2206	2208	1435		2779	2012

Tab. A-2: Außenlufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	9,6	13,4	30,2	38,0	24,1	15,1	30,6	29,8
75 %	0,8	5,9	21,1	23,3	14,2	9,1	20,8	21,1
Median	-1,7	3,6	17,7	19,7	11,7	5,7	16,2	16,0
25 %	-5,0	1,1	15,1	15,9	9,6	2,3	12,6	12,0
Min.	-14,2	-4,0	10,9	5,4	1,3	-4,7	1,6	2,8
Mittelwert	-1,8	3,4	18,5	19,6	12,0	5,5	16,7	16,4
Messwerte (n)	2181	2731	2786	2836	1967	2496	2496	1343

Tab. A-3: Außenlufttemperatur (°C) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	9,7	9,7	34,8	38,2	18,6	32,7	22,9	20,8
75 %	0,4	3,1	24,5	23,3	10,8	19,5	9,5	8,6
Median	-1,6	1,4	18,4	17,9	5,9	14,3	6,1	6,3
25 %	-6,3	-0,1	14,4	14,1	4,1	10,3	2,1	4,2
Min.	-16,6	-8,3	6,6	6,2	-3,0	4,3	-5,9	-3,3
Mittelwert	-3,1	1,2	19,3	18,7	7,3	15,0	5,9	6,8
Messwerte (n)	2876	1538	1443	1809	1972	2496	1536	1442

Tab. A-4: Außenlufttemperatur (°C) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	9,6	13,7	36,6	38,0	27,2	15,4	38,5	38,5
75%	0,1	5,7	21,4	23,3	14,2	8,8	21,8	20,5
Median	-2,7	2,8	17,1	19,7	11,5	5,1	15,7	15,4
25%	-5,2	0,3	14,0	15,9	9,3	1,1	11,5	11,2
Min.	-17,6	-5,5	8,3	5,4	-0,7	-6,5	-04	2,1
Mittelwert	-2,7	2,8	18,3	19,6	11,9	4,8	16,8	16,1
Messwerte (n)	3227	2728	2792	2836	1962	2556	2493	1719

Tab. A-5: Stalllufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	21,4	21,3	31,9	33,9	21,3		26,9	23,6
75%	20,2	20,3	24,3	26,4	19,1		19,9	21,8
Median	19,6	19,6	21,1	23,8	18,6		18,7	21,1
25%	19,0	18,8	19,6	21,5	18,3		17,7	20,6
Min.	17,5	16,8	17,4	19,7	13,1		16,0	17,8
Mittelwert	19,5	19,5	22,3	24,3	18,7		19,3	21,2
Messwerte (n)	2103	1832	2206	2208	1435		2779	2012

Tab. A-6: Stalllufttemperatur (°C) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	21,4	22,3	28,1	36,1	25,1	22,8	30,6	29,3
75 %	17,2	20,0	23,1	25,0	21,7	20,0	22,7	22,9
Median	15,6	19,7	21,3	23,1	21,1	19,7	20,2	20,5
25 %	13,8	19,2	19,7	21,7	20,5	19,4	18,2	19,2
Min.	10,3	17,0	18,3	18,4	15,4	17,7	15,1	17,4
Mittelwert	15,6	19,7	21,6	23,7	21,1	19,7	20,7	21,3
Messwerte (n)	2181	2731	2786	2836	1967	2496	2496	1343

Tab. A-7: Stallluftfeuchte (%) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	73	68	87	94	75		84	87
75 %	60	60	76	74	65		68	57
Median	57	58	68	68	61		63	54
25 %	55	55	54	59	58		56	51
Min.	43	44	29	41	47		35	37
Mittelwert	57	58	65	67	62		61	54
Messwerte (n)	2103	1832	2206	2208	1435		2779	2012

Tab. A-8: Stallluftfeuchte (%) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	74	72	97	89	76	77	79	79
75 %	66	62	77	68	44	67	66	68
Median	63	60	68	60	42	64	58	65
25 %	60	58	62	52	41	60	49	59
Min.	50	47	42	33	36	49	32	41
Mittelwert	63	60	69	60	45	63	57	63
Messwerte (n)	2181	2731	2786	2836	1967	2496	2496	1343

Tab. A-9: Ammoniakkonzentration (ppm) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	4,0	11,1	3,6	7,0	7,9		3,0	5,8
75 %	1,6	4,6	1,7	3,5	2,8		1,0	1,8
Median	1,2	3,5	1,0	1,9	2,2		0,6	1,2
25 %	1,0	2,8	0,7	1,2	1,8		0,4	1,0
Min.	0,5	1,6	0,4	0,5	1,0		0,1	0,5
Mittelwert	1,3	4,0	1,2	2,4	2,5		0,8	1,6
Messwerte (n)	507	457	409	434	332		396	504

Tab. A-10: Ammoniakkonzentration (ppm) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	6,0	5,8	3,9	4,2	37,9	5,3	9,3	3,6
75 %	2,4	2,7	0,8	1,2	6,8	2,2	0,8	1,5
Median	1,8	2,2	0,5	0,8	3,2	1,6	0,6	0,9
25 %	1,4	1,9	0,4	0,5	1,7	1,2	0,6	0,7
Min.	0,7	1,0	0,2	0,3	0,8	0,6	0,4	0,3
Mittelwert	2,0	2,4	0,7	1,0	5,2	1,8	0,7	1,2
Messwerte (n)	529	556	670	486	448	601	625	337

Tab. A-11: Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	35,8	43,4	14,4	14,4	26,2		19,4	27,1
75 %	22,6	32,0	9,3	10,7	18,2		13,9	19,4
Median	19,7	26,1	8,5	9,6	15,9		10,9	17,6
25 %	16,8	20,8	8,0	8,4	14,5		8,3	15,6
Min.	10,8	14,8	6,8	6,4	11,2		6,0	8,2
Mittelwert	20,2	26,6	8,8	9,6	16,5		11,3	17,3
Messwerte (n)	507	457	409	434	332		396	504

Tab. A-12: Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	30,3	30,6	13,2	19,1	33,3	30,7	18,8	19,2
75 %	23,2	21,7	9,2	10,5	18,0	20,4	8,8	11,3
Median	19,7	18,8	8,3	8,7	14,5	16,7	7,8	9,5
25 %	17,4	16,5	6,9	6,9	12,6	12,6	6,4	7,0
Min.	12,5	9,8	5,0	5,1	5,5	7,8	4,6	5,2
Mittelwert	20,2	19,0	8,1	9,1	15,7	16,9	7,9	9,5
Messwerte (n)	529	556	670	486	448	601	625	337

Tab. A-13: Volumenstrom (m³/h*Tpl.) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	2,71	2,25	5,73	5,65	3,27		4,41	5,16
75 %	1,08	0,90	5,53	5,40	2,47		3,72	1,67
Median	0,76	0,58	5,16	3,86	2,02		2,50	1,36
25 %	0,56	0,47	4,19	3,36	1,70		1,61	0,93
Min.	0,38	0,29	1,62	1,97	1,12		0,65	0,49
Mittelwert	0,89	0,73	4,72	3,36	2,10		2,63	1,46
Differenzdruck (Pa)	-7	-6	-9	-7	-6		-7	-7
Messwerte (n)	507	457	409	434	332		396	504

Tab. A-14: Volumenstrom (m³/h*Tpl.) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	2,03	4,34	7,02	7,01	7,70	4,91	7,67	7,59
75 %	1,30	1,93	6,63	6,71	3,39	2,47	6,99	6,95
Median	1,29	1,39	5,07	5,08	2,83	2,09	5,44	5,28
25 %	1,27	1,23	4,95	4,77	1,59	1,46	4,90	4,25
Min.	1,21	0,90	3,39	2,62	1,45	0,91	1,99	2,03
Mittelwert	1,30	1,62	5,45	5,39	2,93	2,11	5,56	5,29
Differenzdruck (Pa)	-1		-2	-6	-1	-1	-3	-1
Messwerte (n)	529	556	670	486	448	601	625	337

Tab. A-15: Ammoniakemissionen (g/h) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	58,7	147,3	294,6	690,7	229,7		83,2	155,5
75 %	24,7	63,6	161,7	243,4	122,6		38,0	49,7
Median	17,5	44,9	97,6	145,0	93,5		25,4	32,6
25 %	13,5	32,5	68,9	92,5	75,8		14,8	20,3
Min.	7,3	18,1	15,8	25,1	44,6		3,5	9,5
Mittelwert	20,2	50,7	115,1	183,7	103,2		29,3	39,6
Messwerte (n)	507	457	409	434	332		396	504

Tab. A-16: Ammoniakemissionen (g/h) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	52,0	60,5	117,2	125,6	75,7	63,1	348,7	121,8
75 %	21,9	31,4	28,2	38,9	22,5	23,6	30,2	50,5
Median	15,8	24,6	17,3	22,1	19,1	17,5	23,6	32,8
25 %	13,0	19,5	11,8	15,7	11,7	13,9	18,7	22,3
Min.	8,2	9,5	5,0	5,2	9,4	7,8	8,9	10,6
Mittelwert	18,6	26,5	24,2	28,1	20,5	20,6	26,7	38,8
Messwerte (n)	529	556	670	486	448	601	625	337

Tab. A-17: Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Kleingruppe (KG-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	141,8	199,6	141,2	150,0	172,1		123,3	132,5
75 %	93,0	94,3	112,4	110,0	140,9		80,4	105,5
Median	78,4	79,3	105,3	98,3	126,3		68,9	85,1
25 %	63,5	66,3	91,4	83,3	109,3		61,3	63,0
Min.	37,6	46,5	62,2	48,9	35,3		17,2	31,5
Mittelwert	79,3	82,8	101,5	98,8	123,6		71,3	84,0
Messwerte (n)	507	457	409	434	332		396	504

Tab. A-18: Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Kleingruppe (KG-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	63,8	52,1	59,9	68,1	73,4	51,8	47,6	57,9
75 %	42,9	41,6	42,9	47,7	50,7	39,5	37,7	48,7
Median	38,8	35,8	38,9	44,1	45,1	34,2	33,2	43,6
25 %	30,5	32,3	32,7	37,7	36,9	30,6	28,6	36,7
Min.	23,4	18,4	24,8	20,2	15,6	25,6	22,1	27,6
Mittelwert	37,1	37,0	38,2	43,0	43,9	35,2	33,4	42,8
Messwerte (n)	529	556	670	486	448	601	625	337

Tab. A-19: Gasemissionen im Jahresverlauf – Kleingruppe

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling		Jahr		
	Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
KG-2, >15.000 Tpl.											
Ammoniak (g/Tpl.)		1,41	3,54	8,21	13,10	7,28		2,09	2,82	18,99	26,74
Kohlendioxid (kg/Tpl.)		5,53	5,78	7,24	7,04	8,72		5,08	5,99	26,57	27,53
KG-1, <15.000 Tpl.											
Ammoniak (g/Tpl.)		4,65	6,63	6,18	7,17	5,18	5,20	6,83	9,92	22,83	28,92
Kohlendioxid (kg/Tpl.)		9,28	9,24	9,77	10,99	11,09	8,89	8,54	10,94	38,67	40,06

Tab. A-20: Staubemissionen (g/Tpl.) – Kleingruppe

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling		Jahr		
	Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
KG-2, >15.000 Tpl.											
Gesamt		1,95	2,79	13,02	32,98			6,04	4,87	27,05	45,51
PM 10		0,69	1,70	10,00	16,44			3,66	3,52	18,01	25,18
PM 2.5		0,00	0,35	2,81	5,64			0,93	0,94	4,67	7,87
KG-1, <15.000 Tpl.											
Gesamt		4,83	5,21	10,10	14,76		6,00	11,53	11,45	32,46	37,42
PM 10		4,50	2,87	4,93	6,90		3,14	6,38	5,14	18,95	18,05
PM 2.5		0,90	0,38	0,96	2,50		0,37	1,47	0,23	3,70	3,48

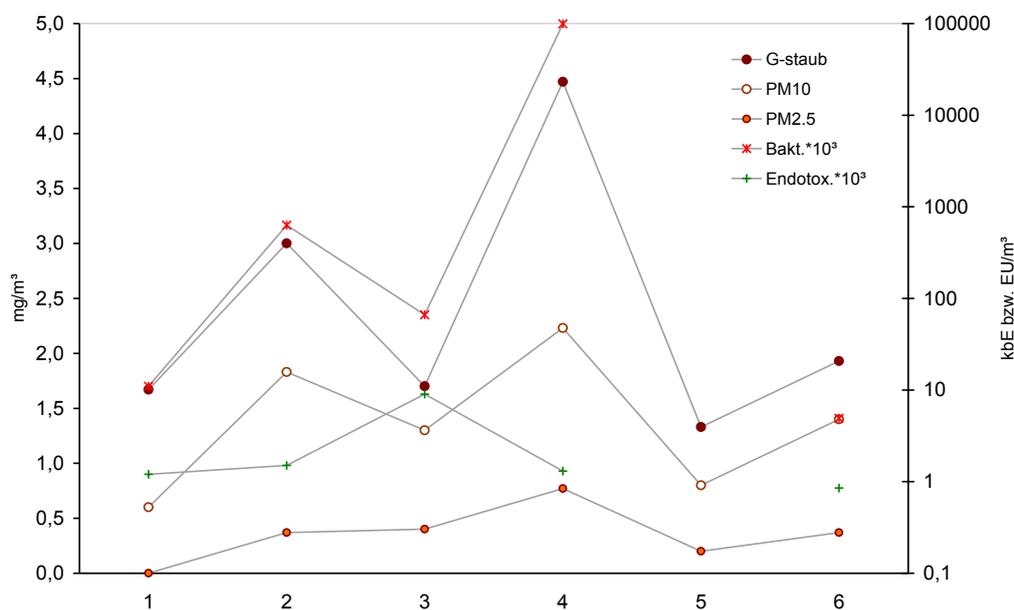


Abb. A-1: Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der KG-2 (>15.000 Tpl.)

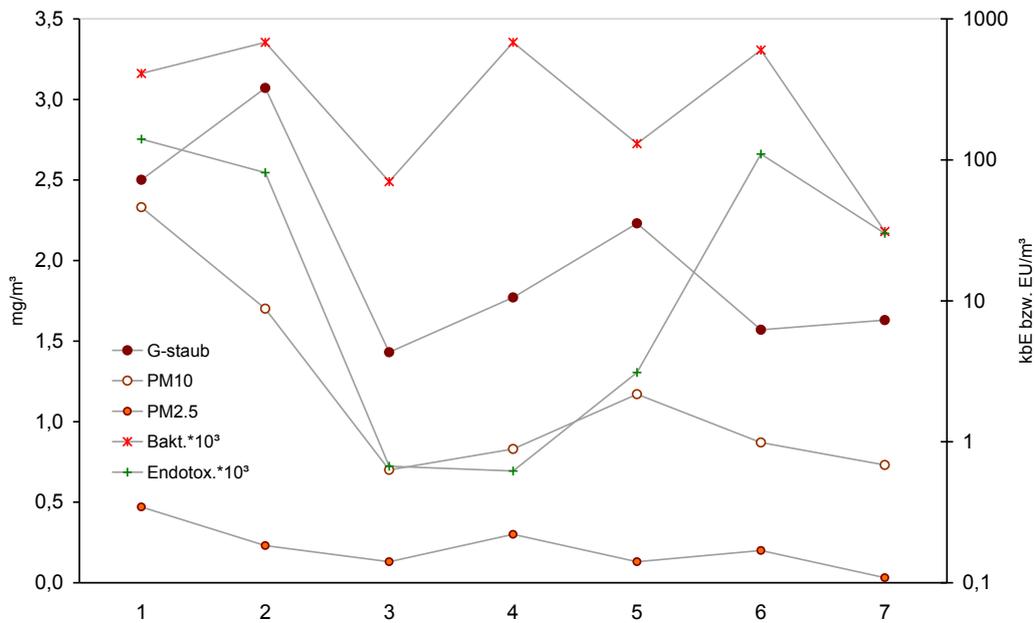


Abb. A-2: Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der KG-1 (<15.000 Tpl.)

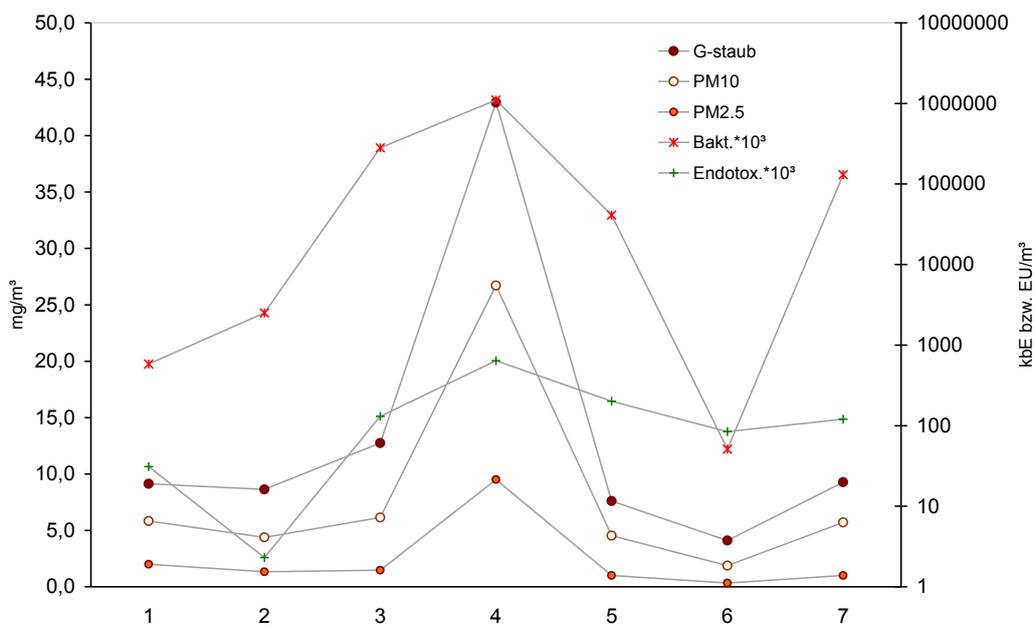


Abb. A-3: Zusammenhänge zwischen den Messwerten Gesamtstaub, Fraktionen PM10 sowie PM2,5 und den luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Abluftstrom am Beispiel der VO-1 (<15.000 Tpl.)

Tab. A-21: Stalllufttemperatur (°C) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	23,8	22,6	33,2	33,8	22,3	25,9	22,5	25,3
75 %	19,3	19,5	24,9	25,2	19,2	20,7	20,6	20,9
Median	17,9	18,9	21,2	22,3	18,2	19,4	19,5	20,0
25 %	17,4	18,4	19,4	20,5	17,7	19,0	18,1	19,1
Min.	15,4	15,5	18,0	17,5	15,7	18,0	16,5	17,7
Mittelwert	18,4	19,0	22,4	23,0	18,5	20,1	19,5	20,1
Messwerte (n)	2876	1538	1443	1809	1972	2496	1536	1442

Tab. A-22: Stalllufttemperatur (°C) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	17,7	17,8	28,3	36,4	25,7	18,9	30,5	31,0
75 %	16,0	16,2	22,2	24,1	17,9	16,5	21,7	22,0
Median	15,4	15,9	20,0	21,7	17,2	16,1	18,6	18,1
25 %	13,5	15,6	18,1	19,0	16,9	15,8	17,2	16,7
Min.	7,1	13,9	15,7	14,7	13,6	13,2	12,9	14,5
Mittelwert	14,6	15,9	20,5	21,9	17,8	16,1	19,7	19,6
Messwerte (n)	3227	2728	2792	2836	1962	2556	2493	1719

Tab. A-23: Stallluftfeuchte (%) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	76	83	87	98	76	88	75	83
75 %	71	75	78	75	69	75	65	71
Median	68	71	73	68	67	70	61	66
25 %	65	68	65	59	65	65	57	62
Min.	54	60	46	44	55	43	40	33
Mittelwert	68	72	71	68	67	69	60	66
Messwerte (n)	2876	1538	1443	1809	1972	2496	1536	1442

Tab. A-24: Stallluftfeuchte (%) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	83	80	91	100	94	85	85	83
75 %	74	70	81	98	81	74	70	70
Median	72	68	74	89	76	70	62	65
25 %	71	65	67	73	72	67	54	58
Min.	63	56	46	35	62	57	32	42
Mittelwert	72	68	73	84	76	70	61	64
Messwerte (n)	3227	2728	2792	2836	1962	2556	2493	1719

Tab. A-25: Ammoniakkonzentration (ppm) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	23,4	54,0	4,8	9,0	11,5	4,8	24,2	52,1
75 %	12,9	27,7	2,6	5,1	5,1	1,9	12,5	19,9
Median	9,3	21,8	1,9	4,1	3,9	1,3	9,0	15,9
25 %	7,1	18,5	1,2	2,9	2,6	0,8	6,9	11,0
Min.	4,2	8,8	0,4	1,7	1,1	0,3	2,9	4,3
Mittelwert	10,1	23,9	1,9	4,1	4,0	1,4	9,4	17,2
Messwerte (n)	440	383	360	436	493	624	384	359

Tab. A-26: Ammoniakkonzentration (ppm) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	14,1	6,3	18,4	21,4	13,8	7,2	13,3	8,4
75 %	7,2	2,4	2,8	3,6	5,4	2,9	1,7	2,4
Median	6,2	1,8	1,3	1,9	3,9	1,9	1,1	1,7
25 %	5,3	1,6	0,6	1,2	2,9	1,5	0,7	1,1
Min.	3,2	0,8	0,1	0,3	0,7	0,2	0,3	0,3
Mittelwert	6,5	2,1	2,2	2,6	4,4	2,3	1,5	2,0
Messwerte (n)	394	695	696	697	455	528	625	430

Tab. A-27: Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	40,1	37,0	16,1	19,0	36,9	18,6	30,2	31,3
75 %	26,2	24,3	8,7	10,5	19,3	11,7	20,0	21,1
Median	22,3	22,0	7,3	8,9	16,7	8,7	15,5	18,0
25 %	19,2	18,6	6,9	7,2	12,3	7,0	11,4	13,9
Min.	10,1	12,8	6,3	5,8	6,8	6,0	7,1	6,9
Mittelwert	22,7	22,0	8,3	9,2	16,5	9,6	16,0	17,8
Messwerte (n)	440	383	360	436	493	624	384	359

Tab. A-28: Kohlendioxidkonzentration (100 ppm) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	26,1	25,1	17,1	15,0	29,0	26,0	18,0	15,2
75 %	20,2	16,9	10,8	7,5	15,1	15,1	8,0	8,2
Median	18,0	14,1	9,4	6,5	12,1	11,9	7,0	7,0
25 %	15,0	12,0	7,7	5,6	9,7	9,1	5,6	6,2
Min.	7,0	6,6	6,0	4,4	6,1	4,6	4,3	4,4
Mittelwert	17,7	14,6	9,4	6,8	12,7	12,4	7,4	7,6
Messwerte (n)	394	695	696	697	455	528	625	430

Tab. A-29: Volumenstrom (m³/h*Tpl.) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	2,37	2,40	6,16	5,68	4,84	6,22	4,52	4,54
75 %	0,77	0,73	5,96	5,47	2,05	5,32	2,22	1,23
Median	0,59	0,63	5,35	4,62	1,39	3,81	1,28	0,74
25 %	0,42	0,38	4,16	3,45	0,57	2,75	0,60	0,48
Min.	0,06	0,09	2,07	0,29	0,07	0,27	0,10	0,24
Mittelwert	0,61	0,60	4,92	4,36	1,50	4,02	1,49	1,14
Differenzdruck (Pa)	-3	-3	-13	-14	-8	-10	-6	-5
Messwerte (n)	440	383	360	436	493	624	384	359

Tab. A-30: Volumenstrom (m³/h*Tpl.) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	3,57	4,93	9,07	7,43	7,88	5,32	8,66	7,95
75 %	1,76	2,55	7,31	7,16	5,41	3,61	7,11	7,33
Median	1,40	2,12	5,45	6,67	4,32	2,74	5,28	5,57
25 %	1,29	1,66	5,34	5,25	3,40	2,08	4,58	4,48
Min.	1,17	1,14	3,87	2,47	1,53	1,23	1,89	1,25
Mittelwert	1,62	2,17	6,07	6,11	4,38	2,89	5,49	5,70
Differenzdruck (Pa)	-8	-3	-3	-10	-2	-2	-1	-2
Messwerte (n)	394	695	696	697	455	528	625	430

Tab. A-31: Ammoniakemissionen (g/h) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	225,4	381,2	393,5	775,5	328,9	262,1	403,0	521,4
75 %	115,1	217,8	208,4	429,5	169,8	112,0	226,6	261,9
Median	83,6	162,0	135,6	307,9	87,8	68,7	125,8	153,7
25 %	63,5	90,9	89,8	211,5	44,9	41,2	55,6	105,1
Min.	5,5	21,1	18,4	24,3	5,6	5,3	8,4	38,0
Mittelwert	87,8	158,6	152,8	326,5	107,8	82,4	143,4	191,6
Messwerte (n)	440	383	360	436	493	624	384	359

Tab. A-32: Ammoniakemissionen (g/h) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	161,6	88,8	234,5	249,1	347,7	142,2	169,8	224,5
75 %	94,3	33,0	89,5	101,6	159,6	48,1	55,6	76,1
Median	76,5	23,6	49,0	67,7	112,8	31,0	35,1	55,0
25 %	63,3	18,1	22,0	43,1	86,4	21,6	21,6	36,0
Min.	44,1	11,5	4,1	11,2	27,0	3,4	6,5	4,5
Mittelwert	80,7	27,4	66,0	76,2	124,0	39,1	43,7	62,0
Messwerte (n)	394	695	696	697	455	528	625	430

Tab. A-33: Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Voliere (VO-2, >15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	108,1	99,8	120,7	104,6	120,2	122,7	99,2	86,1
75 %	57,7	65,0	102,2	74,5	84,4	96,0	72,2	56,1
Median	43,3	44,8	94,8	68,9	61,6	89,9	54,6	45,2
25 %	30,9	24,4	86,2	57,0	38,2	83,4	33,1	31,8
Min.	4,5	5,4	51,5	13,5	4,7	14,4	6,5	13,9
Mittelwert	45,1	44,7	93,5	66,1	60,4	89,5	51,0	45,0
Messwerte (n)	440	383	360	436	493	624	384	359

Tab. A-34: Kohlendioxidemissionen (kg/h) – Voliere (VO-1, <15.000 Tpl.)

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2
Max.	58,1	59,4	107,5	59,3	101,4	57,3	55,2	57,0
75 %	42,5	45,2	84,6	45,7	82,6	47,3	43,7	45,8
Median	37,9	42,0	80,1	42,3	72,6	42,5	39,7	42,2
25 %	30,5	33,0	73,7	36,5	61,3	34,7	35,2	36,1
Min.	27,7	28,8	56,8	27,2	49,0	9,5	26,1	5,9
Mittelwert	37,4	39,7	79,6	41,3	72,2	41,5	39,3	41,0
Messwerte (n)	394	695	696	697	455	528	625	430

Tab. A-35: Gasemissionen im Jahresverlauf – Voliere

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling		Jahr	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
VO-2, >15.000 Tpl.										
Ammoniak (g/Tpl.)	9,24	16,69	16,44	35,13	11,47	8,77	15,43	20,61	52,58	81,20
Kohlendioxid (kg/Tpl.)	4,74	4,70	10,06	7,11	6,43	9,53	5,49	4,84	26,72	26,18
VO-1, <15.000 Tpl.										
Ammoniak (g/Tpl.)	21,73	7,38	18,17	20,97	33,75	10,65	12,02	17,08	85,67	56,07
Kohlendioxid (kg/Tpl.)	10,07	10,69	21,91	11,38	19,66	11,29	10,82	11,29	62,46	44,64

Tab. A-36: Staubemissionen (g/Tpl.) – Voliere

Klimafenster	Winter		Sommer		Herbst		Frühling		Jahr	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Messung / MZF	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
VO-2, >15.000 Tpl.										
Gesamt	17,53	8,99	54,43	34,66	47,49	25,22	19,01	144,67	110,15	
PM 10	12,30	7,47	29,44	18,78	24,05	22,85	14,64	88,64	64,94	
PM 2.5	2,23	2,01	5,22	5,87	4,04	5,25	3,61	16,74	15,53	
VO-1, <15.000 Tpl.										
Gesamt	16,49	22,45	80,66	203,70	37,80	29,80	63,29	164,75	327,24	
PM 10	10,53	11,34	38,86	126,72	22,57	13,57	39,01	85,53	199,64	
PM 2.5	3,61	3,47	9,25	45,03	4,99	2,42	6,80	20,27	60,29	

Literaturverzeichnis

- ACHILLES, W., FÖLSCH, D. W., FREIBERGER, M. et al. (2002): Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 399, Darmstadt
- ADAM, T. (1973): Toleranzgrenzen für gasförmige Umweltfaktoren. Züchtungskunde 45 (3): 162-178
- AL-MASHHADANI, E. H., BECK, M. (1985): Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of lung and trachea of broiler chicks. Poultry Sci. 64: 2056 - 2061
- BESSEI, W.; DAMME, K. (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 378
- BRUNSCH, R., H.J. MÜLLER (2005): Emissionsfaktoren der Geflügelhaltung und deren Dynamik. Landtechnik 60, 164-165
- DEATON, I. W. (1982): Effect of atmospheric ammonia on laying hen performance. Poultry Sci. 61 (9): 1815-1817
- DIN 18910-1 (2004): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlage für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Beuth Verlag Berlin
- DIN EN 481 (1993): Festlegung der Teilchengröße-Verteilung zur Messung luftgetragener Partikel
- DIN EN 14790 (2006): Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung von Wasserdampf in Leitungen.
- DIN ISO 14164 (2002): Bestimmung des Volumenstromes von strömenden Gasen in Leitungen.
- DIN EN 13284-1 (2002): Emissionen aus stationären Quellen; Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen; Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren.
- DIN EN 23210 (2009): Emissionen aus stationären Quellen – Ermittlung der Massenkonzentration von PM 10/2,5 in Abgas – Messung niedriger Konzentrationen mit Impaktoren.
- EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H., VAN DEN WEGHE, H. (2011): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Teil 2: Geflügel und Mastschweine. Landtechnik 66, Nr.1, S. 60 - 63
- FREEMANN, B. M. (1969): Physiological Responses of the adult fowl to environmental temperature. World's poultry science journal 22 (2): 140 – 145
- GROOT KOERKAMP, P. W. G. (1994): Review on emission of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. J. agric. Engng Res. 59, 73-87
- HAHNE, J. (2010): Mehrstufige Abluftreinigung für Geflügelställe. Landtechnik 65, Nr. 5, S. 334 - 337
- Hennenhaltungs-VO, 1. VO zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2001). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 16, Bonn, 12.3.2002
- HINZ, T. (2005): Messungen luftgetragener Partikel in und aus der Geflügelhaltung. Landtechnik 2/2005, 100-101
- HONGWEI, X.; DE SHAZER, J. A.; BECK, M. M. (1987): Post effect of ammonia on energetics of laying hens at high temperatures. Transactins of ASAE 30, 1121 - 1125
- HOPPENHEIDT, K. (2002): Bioaerosole als Bestandteile von Feinstäuben. Tagungsband zur Fachtagung 14.2.2002, München
- KTBL (2002): KTBL-Schrift 399, Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung
- LIPPMANN, J. (2007): Emissionsminderung in der Legehennenhaltung. Schriftenreihe der LfL, Heft 3/2007
- LIPPMANN, J. (2011): Stickstoffdynamik im Umfeld einer Legehennenhaltung. Schriftenreihe des LfULG, Heft 27/2011
- MÜLLER, H.-J. (2003): Stallluftqualität und Emissionen. Landtechnik 58: 198 – 199
- MÜLLER, H.-J. (2004): Gasemissionen aus Geflügelhaltungen. Landtechnik 59: 222 – 223
- MÜLLER, W., WIESER, P., KÜHNE, H. (1978): Zur Frage der Ausbreitung von Luftkeimen aus Tierställen. Zbl. Vet. Mes. B. 25: 216 – 224 (zit. bei SEEDORF & HARTUNG, 2002)
- NANNEN, C. & W. BÜSCHER (2007): Analyse der Zusammensetzung von Staubemissionen aus Ställen verschiedener Nutzertierarten und Bestimmung des Gravimetriefaktors. Univ. Bonn, Agrarw. Fakultät, Schriftenreihe Nr. 144
- NESER, S. (2001): Gasförmige Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen. Diss. Uni München

- PAYNE, C. G. (1966): Practical aspects of environmental temperature for laying hens. World's poultry science journal 22 (2): 126 – 139
- RL89/427/EWG: Gesamtschwebstaub
- RL1099/30/EG (2005): Feinstaub
- RL1999/30/EG: Atembarer Staub
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2004): Alternative Legehennenhaltung. Schriftenreihe Heft 8, 9. Jahrgang
- SCHIEK, W. (1998): Keimmessungen in der Umgebung einer Hühnermastanlage. Dtsch. Tierärztl. Wochenschrift 105, 246
- SCHMITT, G., WALLENFANG, O., BÜSCHER W. & B. DIEKMANN (2004): Partikelkonzentration in der Stallabluft. Landtechnik 29, 334-335
- SCHOBRIES, H., SCHULZE, L., ROTT, M. & REETZ, G.(1986): Geflügelkrankheiten. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- SEEDORF, J. UND HARTUNG, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 393, Münster
- SEEDORF, J. et al. (1998): A survey of ventilation rates in livestock buildings in northern Europe. J. agric. Engng Res. 70, 39 – 47
- STADKE, K. & BÜSCHER, W. (2010): Sekundärpartikelbildung aus Gasemissionen von Tierställen. Landtechnik 65, Nr. 5, S. 325 - 328
- TAKAI, M. (1998): Journal of Agric. Engineering Research, Vol. 70, 1.
- TA Luft (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. GMBI. 2002, Heft 25 – 29, 511 – 605
- TÜLLER, R. (1999): Alternativen in der Geflügelhaltung. Ulmer, Stuttgart
- VDI-Richtlinie 4252, Bl. 2 (2004): Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Abluft – aktive Probenahme von Bioaerosolabscheidern luftgetragener Schimmelpilze auf Gelatine.
- VDI-Richtlinie 4252, Bl. 3 (2008): Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Abluft – Abscheidung luftgetragener Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse.
- VDI-Richtlinie 4257, Bl. 1 (2010): Bioaerosole und biologische Agenzien – Emissionsmessungen – Planung und Durchführung von Emissionsmessungen.
- VDI-Richtlinie 4257, Bl. 2 (2011): Bioaerosole und biologische Agenzien – Emissionsmessungen – Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten.
- VDI-Richtlinie 4254, Bl. 1 (2010): Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Messen von Stoffwechselprodukten von Mikroorganismen – Messen von MVOC in der Außenluft.
- VDI-Richtlinie 2066, Bl. 1 (2004): Messen von Partikeln – Staubmessung in strömenden Gasen – Messung der Emissionen von PM <10> und 2,5 an geführten Quellen nach Impaktionsverfahren
- VDI-Richtlinie 4200, (2000): Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen.
- VDI-Richtlinie 2066, Bl. 1 (2006): Messen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen – Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung.
- VDI-Richtlinie 3786, Bl. 16 (1996): Umweltmeteorologie – Messen des Luftdrucks

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Dr. Jens Lippmann
Albrecht-Daniel-Thaer-Institut an der Universität Leipzig
An den Tierkliniken 29, 04103 Leipzig
Telefon: 0341 9738-482
E-Mail: jens.lippmann@uni-leipzig.de

Redaktion:

Dr. Manfred Golze
Abteilung Landwirtschaft/Referat Tierhaltung, Tierfütterung
Am Park 3, 04886 Köllitsch
Telefon: +49 34222 46-2213
Telefax: +49 34222 46-2099
E-Mail: manfred.golze@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

14.03.2014

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.