

Kenndaten zur Legehennenhaltung Natura 60 und High Rise 3

Schriftenreihe, Heft 2/2011



Erarbeitung und Bewertung von Kenndaten zum
Stallklima und Emissionsverhalten
einer Legehennenhaltung vom Typ Natura 60 und
einer Legehennenhaltung vom Typ High Rise 3

Dr. agr. Jens Lippmann

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	10
2	Kenntnisstand	10
2.1	Stallklima	10
2.1.1	Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	11
2.1.2	Stallgase	13
2.1.3	Stallstaub und Luftkeime	14
2.1.4	Geruch	17
2.2	Emissionen aus dem Stall.....	17
2.2.1	Stallgase	18
2.2.2	Stallstaub	19
2.2.3	Geruch	20
2.3	Tiergesundheit	20
2.4	Betriebswirtschaft	23
3	Vorgehensweise und Methodik	23
4	Ergebnisse und Bewertungen	34
4.1	Herdengesundheit	34
4.1.1	Bodenhaltungssystem N 60	34
4.1.2	Bodenhaltungssystem H 3	34
4.2	Lokomotionsverhalten.....	35
4.3	Außen- und Stallklima.....	36
4.3.1	Bodenhaltungssystem N 60	36
4.3.2	Bodenhaltungssystem H 3	40
4.4	Abluftvolumenstrom und Emissionen.....	44
4.4.1	Abluftvolumenstrom	44
4.4.1.1	Bodenhaltungssystem N 60	44
4.4.1.2	Bodenhaltungssystem H 3	45
4.4.2	Emissionen gasförmiger Stallraumlasten.....	46
4.4.2.1	Bodenhaltungssystem N 60	46
4.4.2.2	Bodenhaltungssystem H 3	50
4.4.3	Emissionen von Staub und Geruch	52
4.4.3.1	Bodenhaltungssystem N 60	52
4.4.3.2	Bodenhaltungssystem H 3	55
5	Fazit	58
6	Literaturverzeichnis	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Scharrraum zwischen den Blöcken	24
Abbildung 2:	Kontrollgang zwischen den Blöcken	24
Abbildung 3:	Übersicht zum Haltungssystem High Rise 3	25
Abbildung 4:	Abluffführung für den untersuchten Stall	26
Abbildung 5:	Zuluffführung für den untersuchten Stall	26
Abbildung 6:	Messstellenplan und Luftführung im zu untersuchenden Stallsystem N 60.....	27
Abbildung 7:	Messstellenplan und Luftführung im zu untersuchenden Stallsystem H 3.....	28
Abbildung 8:	Ablufffläche mit Teilflächen und zugeordnetem Messventilator (MV), Flächenbemaßung [mm] und Kalibrierpunkte der Gesamtfläche (gelb)	30
Abbildung 9:	Ablufffläche eines Ventilators, Flächenbemaßung [mm] und Kalibrierpunkte der Gesamtfläche (gelb).....	30
Abbildung 10:	Kamerastandpunkt und Analysebildausschnitt zur Bewertung der vertikalen Lokomotion.....	33
Abbildung 11:	Hennenherde zum Ende der Untersuchungen	35
Abbildung 12:	Konzentrationsverlauf wichtiger Staubfraktionen über zwei Tage mit Kennzeichnung des Messzeitfensters (graues Feld)	52
Abbildung 13:	Kenndaten zum Tagesgang der Staubbildung in der untersuchten Hennenhaltung.....	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Luftraten intensiver Haltungen von Legehennen (Schobries 1986).....	12
Tabelle 2:	Luftvolumenstrom für Legehennen in eingestreuter Bodenhaltung (Temperatur 18 °C)	12
Tabelle 3:	Zusammensetzung von frischem Hennenkot (Scholtyssek 1968).....	13
Tabelle 4:	Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen	15
Tabelle 5:	Sinkgeschwindigkeit von Staubpartikeln zwischen 2,5 - 17,5 µm Durchmesser	15
Tabelle 6:	Tierverluste in Voliersystemen mit Berücksichtigung der Linie, Besatzdichte und Gruppengröße.....	22
Tabelle 7:	Stalltemperatur (Sollwert) zur Steuerung der Abluftventilatoren.....	26
Tabelle 8:	Messtechnik zur Bestimmung der Analyseparameter	29
Tabelle 9:	Kenndaten zum stündlichen Volumenstrom der Lüftungsanlage	29
Tabelle 10:	Messtechnik zur Bestimmung von Konzentration und Emission gasförmiger Stallluftkomponenten	31
Tabelle 11:	Staub- und Geruchsmesstechnik	32
Tabelle 12:	Kenndaten der Lufttemperatur im Stall und Außenumfeld sowie der relativen Luftfeuchte im Stall während der Messzeitfenster	36
Tabelle 13:	Kenndaten der Ammoniakkonzentration im Stall, Abluftstrom und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	37
Tabelle 14:	Kenndaten der Kohlendioxidkonzentration im Stall, Abluftstrom und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	38
Tabelle 15:	Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	39
Tabelle 16:	Kenndaten der Methankonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	39
Tabelle 17:	Kenndaten der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte im Stall und Umfeld der Hennenhaltung während der Messzeitfenster	40
Tabelle 18:	Kenndaten für die gasförmige Stallraumlast Ammoniak während der Messzeitfenster	41
Tabelle 19:	Kenndaten für die gasförmige Stallraumlast Kohlendioxid während der Messzeitfenster	42
Tabelle 20:	Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	43
Tabelle 21:	Kenndaten der Methankonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster.....	43
Tabelle 22:	Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster	44
Tabelle 23:	Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster	45
Tabelle 24:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	47
Tabelle 25:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	47

Tabelle 26:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	48
Tabelle 27:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	48
Tabelle 28:	Kenndaten zur Konzentration und Emission von Ammoniak mit und ohne Betrieb der Kotbandbelüftung.....	49
Tabelle 29:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	50
Tabelle 30:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	50
Tabelle 31:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	51
Tabelle 32:	Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	51
Tabelle 33:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	53
Tabelle 34:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	54
Tabelle 35:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 2,5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	54
Tabelle 36:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	55
Tabelle 37:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	56
Tabelle 38:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für die Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	57
Tabelle 39:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für die Staubfraktion PM 2,5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	57
Tabelle 40:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	58

Abkürzungsverzeichnis

ATI	Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Agrarwissenschaften e. V. an der Universität Leipzig
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioStoffV	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung - BioStoffV)
DBV	Deutscher Bauernverband
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
GIRL	GIRL - Geruchsimmissions-Richtlinie: Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen - Sachsen - 24. Oktober 2008
H 3	Bodenhaltungssystem für Legehennen Highrise 3 (Fa. Salmet)
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
MAK-Liste	Liste der Maximalen Konzentration von Luftschadstoffen am Arbeitsplatz
Max.	Maximum
Min.	Minimum
Mio.	Million
N 60	Bodenhaltungssystem für Legehennen Natura 60 (Fa. Big Dutchman)
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 24.07.2002
Tpl.	Tierplatz
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Chemische Elemente

CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
H ₂ O	Wasser
K ₂ O	Kaliumoxid
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid

Maßeinheiten

Akh/100Tpl.	Arbeitskraftstunden pro 100 Tierplätze
°C	Grad Celsius
d	Tag
EU/m ³	Endotoxin Unit pro Kubikmeter
g	Gramm
g/h	Gramm pro Stunde
g/m ³	Gramm pro Kubikmeter
g/Tier·d	Gramm pro Tier und Tag
g/Tpl.·a	Gramm pro Tierplatz und Jahr
g/Tpl.·KK	Gramm pro Tierplatz und Klimaklasse
kg/Tpl.·KK	Kilogramm pro Tierplatz und Klimaklasse
GE/m ³	Geruchseinheiten pro Kubikmeter
GE/GV·s	Gerucheinheiten pro Großvieheinheit und Sekunde
GV	Großvieheinheit (1 GV = 500 kg Lebendgewicht)
h	Stunde
K	Grad Kelvin
KbE/m ³	Kolonien bildende Einheiten pro Kubikmeter
kg	Kilogramm
kg/h	Kilogramm pro Stunde
kg/ha·a	Kilogramm pro Hektar und Jahr
kg/Tpl.·a	Kilogramm pro Tpl. und Jahr
kg/Tpl.·KK	Kilogramm pro Tierplatz und Klimaklasse
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
m ³ /h	Kubikmeter pro Stunde
m ³ /Tier·h	Kubikmeter pro Tier und Stunde
m ³ /Tpl.·h	Kubikmeter pro Tierplatz und Stunde
m ³ /Tpl.	Kubikmeter pro Tierplatz
mg	Milligramm
mg/Tpl.·h	Milligramm pro Tierplatz und Stunde
mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mm/s	Millimeter pro Sekunde
µm	Mikrometer
ng/m ³	Nanogramm pro Kubikmeter

Pa	Pascal
h Pa	Hektopascal
PM 10	Feinstaub: Durchmesser <10 µm
PM 2,5	Feinstaub: Durchmesser <2,5 µm
ppm	parts per million
%	Prozent
% TS	Prozent Trockensubstanz
R ²	statistisches Bestimmtheitsmaß
s	Sekunde
t	Tonne

1 Zielsetzung

Mit den vom Gesetzgeber geforderten Haltungsformen für Legehennen entfällt zunehmend die bisher in Käfigsystemen umgesetzte strikte Trennung von der Außenwelt. Weiterhin wird den Tieren in den wieder verstärkt eingesetzten Bodenhaltungssystemen ein erweiterter Funktionsraum mit neuen Haltungsqualitäten zur Verfügung gestellt. Hieraus entstehen neue Managementanforderungen bei der Gestaltung des Stallklimas wie z. B. Temperatur, relative Feuchtigkeit, Luftzusammensetzung, Luftgeschwindigkeit und Licht sowie der Auslauffläche bezüglich des Emissionsverhaltens dieser Systeme gegenüber der Umwelt. Das hat grundlegende Bedeutung für die Unternehmen, die entsprechend der gesetzlichen Vorgaben ihre Haltungssysteme auf diese Haltungsformen umstellen. In diesem Kontext werden zunehmend Haltungssysteme für Legehennen in der Praxis etabliert, für die es noch keine belastbaren Kenndaten gibt. Zu diesen Systemen zählen auch Natura 60 (Fa. Big Dutchman) im weiteren Text als N 60 abgekürzt und Salmet High Rise 3 (Fa. Schropper) im weiteren Text als H 3 bezeichnet. Als Voliersystem verfügen diese Systeme über einen eingestreuten Scharrraum. Der Zugang zum Scharrraum ist in beiden Systemen nur aus der untersten Aufenthaltsebene der Voliereblöcke möglich. Durch eine neuartige Anordnung der Ebenen im Volierenblock des Typs N 60 entsteht ein sogenanntes „Treppenhaus“, wodurch mehr Ruhe in die Lokomotion der Tiere gebracht werden soll. Im Typ H 3 sind die oberen Aufenthaltsebenen gegenüber dem offenen Stallraum über dem Scharrbereich mittels Gitter abgetrennt. Hiermit wird unter anderem eine niedrigere Staubbildung im Stall erwartet. Insbesondere diese erzeugt in vergleichbaren Systemen ohne Lokomotionsberuhigung im Vergleich zum Vorsorgewert der TA Luft (200 g/h) oftmals Überschreitungen. Aufgrund der neuen Modifikationen im System existieren derzeit noch keine Kenntnisse zu den Konzentrationsniveaus gas- und staubförmiger Stallraumlasten. Zur Bereitstellung belastbarer Kenndaten und zur fachlichen Bewertung dieses Haltungssystems wurden Stallklima- und Emissionsmessungen durchgeführt.

Ziel des Projektes war es deshalb, die Konzentrationen ausgewählter gas- und staubförmiger Stallraumlasten sowie zum Geruch zu bestimmen und daraus Bewertungen zum Emissionsverhalten insbesondere von Staub, Ammoniak und Geruch dieser Haltungssysteme abzuleiten. Hierfür wurden kontinuierliche Messungen dieser Kenndaten in definierten Zeitfenstern durchgeführt. Zielführend war es, dass die zu gewinnenden neuen Kenntnisse praxisrelevante Ableitungen zum Management und für die Genehmigungspraxis dieses Haltungssystems auf der Basis belastbarer Daten gestatten.

2 Kenntnisstand

2.1 Stallklima

Neben einem verhaltensangepassten Haltungssystem bestimmt das Stallklima primär die Ausnutzung des Leistungspotenzials landwirtschaftlicher Nutztiere. Wesentlichen Einfluss auf das Stallklima haben die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte, gasförmige Stallraumlasten wie Ammoniak, Kohlendioxid, Distickstoffoxid und Methan sowie die organischen und anorganischen Bestandteile des luftgetragenen Staubes. Im Kontext mit den Arbeitsbedingungen für das Stallpersonal und der Lebensqualität der Anlieger an einem Tierhaltungsstandort nimmt die Geruchsstoffkonzentration in ihrer Bedeutung zu. Nachfolgend wird kurz der Wissensstand zu diesen Einflussfaktoren zusammengestellt.

2.1.1 Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Hühnervögel benötigen zur Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels eine relativ konstante Körpertemperatur zwischen 41 °C - 42 °C (WOERNLE & JODAS 2001). Die hierfür benötigte Energie wird insbesondere aus dem Futter gewonnen. Zu Beginn ihres Lebens sind sie auf fremde Wärmequellen angewiesen, weil sich ihr Wärmeregulationsvermögen erst in den ersten 10 Lebenstagen entwickelt. Adulte Tiere haben hier einen deutlich erhöhten Toleranzbereich. Nach SCHOBRIES (1986) liegt der thermische Optimalbereich in der ersten Lebenswoche zwischen 32 °C - 33 °C. Er sinkt mit jeder weiteren Lebenswoche um ca. 3 K ab und liegt in der 8. Lebenswoche zwischen 17 °C - 20 °C. Ab der 12. Lebenswoche tolerieren die Junghennen Temperaturen zwischen 14 °C - 20 °C ohne zusätzlichen Energieeinsatz.

Eine Stalltemperatur unter 14 °C sollte bei Legehennen auch im Winterhalbjahr nicht unterschritten werden (MÜLLER 2003). Bauliche Maßnahmen am Stall müssen eine Stallinnentemperatur zwischen 18 °C - 24 °C bei einer Außentemperatur zwischen -3 °C - 21 °C sichern. Oberhalb dieses Außentemperaturbereiches sollte die Isolation der Stallhülle eine maximal um 3 K höhere Stallinnentemperatur gewährleisten (DIN 18910-1) und sichern, dass der vertikale Temperaturanstieg im Aufenthaltsbereich der Hennen unter 0,5 °C liegt (DAMME & HILDEBRAND 2002). Innerhalb des thermischen Optimalbereiches ist die stalltemperaturabhängige Lüftungssteuerung effizient, darüber hinaus verringert sich diese Effizienz deutlich (WATHES 1998).

Um eine ausgeglichene Wärmebilanz zu erreichen, werden nach BESSEI bei schlechter Wärmedämmung 39 Tiere/m² Stallfläche benötigt (1999, zit. bei DAMME & HILDEBRAND 2002). Selbst bei gut isolierten Ställen sind noch ca. 11 Tiere/m² nötig. Insbesondere mit dem erhöhten Raum- und Flächenangebot für die Legehennen in Bodenhaltungssystemen sind hier thermische Probleme zu erwarten. Eine zusätzliche Heizung ist nach DAMME & HILDEBRAND (2002) insbesondere im Winter unumgänglich, wird aus Kostengründen jedoch überwiegend nicht vorgehalten. Mit Blick auf eine ausgeglichene Wärmebilanz zur Sicherung eines leistungsangepassten Optimalbereiches trifft das vor allem auf die klassische Bodenhaltung mit einer Haltungsebene zu, weil hier nur 7 - 9 Tiere/m² gehalten werden.

Der thermisch neutrale Temperaturbereich liegt bei Legehennen zwischen 12,0 °C - 25,5 °C (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999). Weil u. a. auch die Legeleistung und das Eigewicht vom Stalklima beeinflusst werden (PAYNE 1966) und eine Unter- bzw. Überschreitung Leistungsdepressionen verursacht, wird ein leistungsangepasster Optimalbereich zwischen 15 °C - 22 °C empfohlen (DIN 18910-1). Niedrige Temperaturen werden von den Tieren besser kompensiert. Die Tiere gleichen den erhöhten Energiebedarf für die Wärmeproduktion durch eine erhöhte Futteraufnahme und schlechtere Futtermittelverwertung aus (KOBYLINSKI 1999). In eigenen Untersuchungen wurde festgehalten, dass Legehennen – insbesondere mit Auslaufnutzung – auf Temperaturen um 10 °C mit konstanter Legeleistung und ohne nennenswert erhöhten Futteraufwand reagieren. Die kritische Temperatur für Legehennen ist erreicht, wenn ein erhöhter Energieumsatz zur Wärmeproduktion bzw. zum Schutz vor Überhitzung einsetzt (ACHILLES et al. 2002). Statisch konstante Temperaturen werden unter praxisnahen Haltungsbedingungen nicht erreicht. Für die Hennen ist das förderlich, weil ein Temperaturwechsel im Tagesverlauf auf die Tiere stimulierend wirken kann.

Kontinuierliche Messungen in 17 Herden in Bodenhaltungssystemen zeigten, dass die Stalllufttemperatur und relative Luftfeuchte im Mittel innerhalb des Optimalbereiches rangiert (LFL 2004). Kennzeichnend sind unabhängig von der Aufstallungsform erhebliche Schwankungsbreiten im Tagesverlauf. Die Stallinnenwerte folgen den Außenwerten, dabei wurden im Sommer auch Stalllufttemperaturen >30 °C erreicht.

Die Legehennen gibt täglich ca. 100 g Wasser über Atemluft ab (SCHOBRIES 1986). Über die Stalllüftung ist dabei zu gewährleisten, dass die relative Luftfeuchte für eine optimale Klimagegestaltung und den Schutz der baulichen Einrichtungen nicht über 70 – 80 % steigt (TÜLLER 1999). Insbesondere im Winter sind kurzzeitige Überschreitungen zu erwarten (MÜLLER 2003). Ursache hierfür ist die geringere Wasseraufnahme kalter Luft. Um Stalllufttemperatur und die relative Luftfeuchte im Optimalbereich zu halten, ist ein angepasster Luftaustausch nötig. Hierfür werden unabhängig vom Lüftungssystem (Überdruck-, Unterdruck-, Gleichdrucklüftung) nachfolgende Luftraten empfohlen (vgl. **Tabelle 1**):

Tabelle 1: Luftraten intensiver Haltungen von Legehennen (SCHOBRIES 1986)

Lebendmasse [g]	Sommerluftrate [m ³ /Tier·h]	Winterluftrate [m ³ /Tier·h]
1.000	3,00	0,50
2.000	6,00	0,75
3.000	9,00	0,95

Diese Luftraten bzw. Luftvolumenströme werden für Legehennenhaltungen in der DIN 18910-1 bezüglich des Maximalvolumenstromes (Sommerluftvolumenstrom) nochmals territorial den Außenklimabereichen angepasst. Hierfür werden zwei Sommertemperaturzonen definiert (Zone I <26 °C, Zone II >26 °C). Für Geflügel- und Schweineställe ist festgelegt, dass in Zone I die zulässige Stalltemperatur im Sommer 3 K über der Außentemperatur liegen darf. In Zone II beträgt diese Differenz 2 K. Hieraus leiten sich nachfolgende Kennwerte ab, die für die Berechnung der Leistung der Lüftungsanlage zu verwenden sind (vgl. **Tabelle 2**):

Tabelle 2):

Tabelle 2: Luftvolumenstrom für Legehennen in eingestreuter Bodenhaltung (Temperatur 18 °C)

Lebendmasse	[kg]	1,5	2,0	2,5
Wintervolumenstrom				
Mindestluftvolumenstrom	[m ³ /Tier·h]	0,5	0,7	0,8
Sommerluftvolumenstrom				
maximaler Luftvolumenstrom bei 2 K	[m ³ /Tier·h]	4,7	5,8	6,9
maximaler Luftvolumenstrom bei 3 K	[m ³ /Tier·h]	3,1	3,9	4,6

Das Lüftungssystem sollte dabei so ausgelegt sein, dass die Luftgeschwindigkeit >0,1 m/s ist (SCHOBRIES 1986). Bei optimaler Stalltemperatur ist eine Luftgeschwindigkeit zwischen 0,1 - 0,2 m/s ausreichend (ACHILLES et al. 2002). Eine Luftgeschwindigkeit über 2 m/s sollte auch in Hitzeperioden nicht überschritten werden (DAMME & HILDEBRAND 2002). Kennwerte aus Legehennenhaltungen in Praxisbetrieben variieren im Minimum zwischen 0,9 - 1,1 m³/Tier·h (SEEDORF et al. 1998). Im Maximum liegen diese zwischen 1,3 - 5,3 m³/Tier·h. Eigene Untersuchungen ergaben, dass in untersuchten Bodenhaltungssystemen im Winterhalbjahr Luftraten zwischen 1,1 - 2,1 m³/Tier·h (Differenzdruck: -1 Pa bis -12 Pa) und im Sommerhalbjahr zwischen 2,9 - 6,2 m³/Henne h (Differenzdruck: -3 Pa bis -15 Pa) realisiert wurden (LIPPMANN 2007).

2.1.2 Stallgase

Zu den wichtigsten gasförmigen Stallraumlasten in der Tierhaltung gehören Ammoniak (NH₃), Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

Ammoniak entsteht bei bakterieller Zersetzung der Harnsäure im Kot in Abhängigkeit von der Temperatur (GROOT KOERKAMP 1994). Temperaturen oberhalb des Optimalbereiches fördern bakterielle Aktivität. Die Abbaurrate ist bei 20 °C gering und steigt bei 30 °C auf das Vierfache. Bei >35 °C und Feuchtegehalten >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). Frischer Hennenkot setzt sich wie nachfolgend zusammen (vgl.

Tabelle 3):

Tabelle 3: Zusammensetzung von frischem Hennenkot (SCHOLTYSSEK 1968)

Fraktion	Wasser	OS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
[%]	56	26	1,6	1,5	0,9

OS = Originalsubstanz

Quelle des Ammoniaks sind leicht abbaubare Stickstoffverbindungen im Hühnerkot, die dann die Stallluft anreichern. Frischer Hühnerkot enthält 60 % Harnsäure, 2 % Harnstoff, 6 % Ammoniumstickstoff und 32 % Reststickstoff (Abbauprodukte aus Protein) (PETERSEN 1996). 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 HENNENHALTUNGSVERORDNUNG (2001) für Hennenhaltungssysteme vor, dass 20 ppm Ammoniak dauerhaft und 10 ppm im Aufenthaltsbereich der Tier nicht überschritten werden dürfen.

Eine Belüftung des Kotes soll zur Reduktion des Feuchtegehalts im Kotstapel beitragen und dämpft somit die bakterielle Tätigkeit sowie die Umsatzraten (KROODSMA 1988; GROOT KOERKAMP 1994; PRIESMANN

1991). Ein Trockenkot (>60 % TS) verursacht eine deutlich geringere Ammoniakbildung (ACHILLES et al. 2002). MÜLLER (2003) stellte in seinen Untersuchungen fest, dass bei einer Kotbandbelüftung die Grenzwerte (20 ppm bzw. ca. 15 mg/m³) weitestgehend eingehalten werden. Eine Stalllagerung des Kotes verursacht insbesondere in der Übergangszeit und im Winter Stallluftkonzentrationen bis 50 mg/m³. Vermindert sich der Partialdruck über dem Kotstapel z. B. durch eine erhöhte Luftwechselrate, wird die Nachlieferung von Ammoniak aus dem Stapel befördert. In modernen Volieresystemen für Legehennen wurden im Mittel um 6 ppm gemessen (LIPPMANN 2007). 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.

Die Grenzwerte für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen in der Stallluft wurden in Messungen in 11 Hennenställen mit Bodenhaltung im Mittel nicht überschritten (LFL 2004). Dabei rangieren jedoch ebenfalls die klassischen Bodenhaltungen mit Kotlager im Stall insbesondere im Winter nahe dem oberen Bereich bzw. überschreiten den Grenzwert zum Teil.

Der Kohlendioxidgehalt der Stallluft ist ein guter Indikator für die Qualität des Lüftungsmanagements. Kohlendioxid entsteht in erster Linie durch die Respiration der Tiere und bei Umsatzprozessen im Kotstapel. 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 (HENNENHALTUNGSVERORDNUNG). 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 (LIPPMANN 2007).

Durch bakterielle Umsetzungsprozesse von anorganischem Stickstoff entsteht Lachgas insbesondere in der Kot- und Einstreusubstanz. Hierfür benötigen die Bakterien aerobe Bedingungen und Temperaturen zwischen 5 - 40 °C.

Methan entsteht innerhalb anaerober mikrobieller Abbauprozesse organischer Stoffe (Fette, Kohlehydrate, Eiweiße). Die mikrobiellen Aktivitäten sind im Temperaturbereich von 4 - 60 °C möglich, erreichen ihr Plateau bei 55 - 60 °C. In der Geflügelhaltung entsteht Methan vorrangig im Kotstapel. Eigene Untersuchungen zeigen, dass Lachgas und Methan in Bodenhaltungen für Legehennen in geringen Konzentrationen auftraten und dabei überwiegend mit der Zuluftkonzentration korrespondierten (LIPPMANN 2007).

2.1.3 Stallstaub und Luftkeime

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). Bereits makroskopisch ist Stallstaub

differenzierbar. Bei mikroskopischer Betrachtung setzt er sich aus Futterbestandteilen, Fäkalmaterial, Urinbestandteilen, Pilzkomponenten, Pollen, Insektenteilen und Mineralien zusammen. Chemisch besteht Stallstaub u. a. aus anorganischen und organischen Komponenten, Endotoxinen und Mykotoxinen sowie Allergenen. Staub im engeren Sinne ist also nur der Anteil anorganischer Bestandteile. Als Bioaerosol werden die Bestandteile mit biologischem Ursprung bezeichnet, sie können pflanzlicher, tierischer und mikrobieller Herkunft sein (HOPPENHEIDT 2002).

Staubpartikel besitzen in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser eine Sinkgeschwindigkeit. Nach MEHLHORN (1979) werden diese Partikel nachfolgend differenziert (vgl. **Tabelle 4**).

Tabelle 4: Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen

Staubfraktion	Durchmesser [μm]	Sinkgeschwindigkeit [mm/s]
Grobstaub	500 – 50	3.000 – 150
Mittelstaub	50 – 10	150 – 6
Feinstaub	10 – 0,5	6 – 0,02
Feinststaub	0,5 – 0,1	0,02 – 0,002

Im Feinstaubbereich unterscheidet WALLENFANG (2005) Partikel in Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser und ordnet ihnen nachfolgende Sinkgeschwindigkeiten zu (vgl. **Tabelle 5**).

Tabelle 5: Sinkgeschwindigkeit von Staubpartikeln zwischen 2,5 - 17,5 μm Durchmesser

Durchmesser [μm]	Sinkgeschwindigkeit [mm/s]
2,5	2
3,5	2
4,5	2,2
6,25	2,5
8,75	4

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 .

Die Fraktion PM 10 und die thorakale Staubfraktion unterscheiden sich bezüglich der Teilchenzuordnung nach ihrem aerodynamischen Durchmesser (thorakal berücksichtigt bis 40 µm, PM 10 endet bei 15 µm (HINZ 2005)).

Die belebten Bestandteile – Bakterien, Pilze Viren, Milben und Protozoen – bilden mit den unbelebten Bestandteilen überwiegend Cluster (MÜLLER et al. 1978). Circa 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen nutzen diese Möglichkeit als Transportmittel und zum Stoffwechsel. Aufgrund dieser Beziehungen hat ein Bioaerosol das Potenzial zur Infektiösität, Allergisierung, Toxizität und pharmakologischer Wirkung (SEEDORF & HARTUNG 2002). Unter Tierhaltern werden Atemwegserkrankungen zwischen 12 – 20 % aufgrund einer Staubexpositionen geschätzt (HARTUNG 2005). Bei der Hennenhaltung haben insbesondere die Voliersysteme ein hohes Potenzial zur Staubbildung.

Allergische Reaktionen werden in Nutztierhaltungen insbesondere beim Rind und Huhn seltener beschrieben (WALLENSTEIN 1998). Für Menschen sind Entzündungen der Nasenschleimhäute und der Bindehaut der Augen bekannt, auch Asthma kann Folge einer hohen Staubkonzentration sein (SEEDORF & HARTUNG 2002). Bereits 1 - 2 mg/m³ Luft können zu einer Zunahme der Sensibilisierung führen. So schränken Konzentrationen an Gesamtstaub >2,8 mg/m³ mögliche Expositionszeiten ein (DOWHAM et al. 1995).

In einigen Ländern werden deshalb maximale Arbeitsplatzkonzentrationen vorgeschrieben. Es gelten MAK-Werte für die USA von 4 mg/m³, für Kanada, Schweden, Dänemark von 5 mg/m³ und für Großbritannien von 10 mg/m³. In Deutschland existieren z. Z. keine Grenzwerte. Richt- und Grenzwertempfehlungen liegen für Gesamtstaub (einatembare Staub) im Bereich von 2,4 mg/m³ - 2,8 mg/m³ und für alveolengängigen Staub zwischen 0,16 mg/m³ - 0,23 mg/m³ (SEEDORF & HARTUNG 2002). Die BioStoffV legt einen Maximalwert von 10 mg/m³ einatembaren bzw. 3 mg/m³ alveolarem Staub für Arbeitsplätze zugrunde (TRGS 900). Grenzwerte für anthropogene Staubemissionen werden seit 2005 für Gesamtschwebstaub mit 0,15 mg/m³ im Tagesmittel und 0,30 mg/m³ an 18 Tagen im Jahr (RL89/427/EWG) und für atembaren Staub (PM 10) mit 0,04 mg/m³ im Tagesmittel und 0,05 mg/m³ an 35 Tagen im Jahr (RL1999/30/EG) vorgegeben.

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 mg/m³ und 1,13 mg/m³ die Maximalwerte auf. Die mittlere Gesamtkeimzahl in Geflügelhaltungen beträgt 28·10³ KbE/m³ (Maximum bei 58·10⁶ KbE/m³). Die Gesamtkeimzahl gramnegativer Bakterien erreicht im Mittel 46·10³ KbE/m³ (im Maximum mit Faktor 16.304 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.

In der Luft über Auslaufflächen für Legehennen ermittelte ANGERSBACH-HEGER (2002) $30,4 \cdot 10^3$ KbE/m³ Gesamtkeime und $36,4 \cdot 10^3$ KbE/m³ Pilze. Im Stall fand sie $190 - 7.100 \cdot 10^3$ KbE/m³ Gesamtkeime, $5,2 \cdot 10^3$ KbE/m³ Pilze sowie 63 EU/m³ Endotoxine. 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. HINZ ermittelt 2005 in der Hähnchenmast $1 - 14$ mg/m³ Gesamtstaub (PM 10 bei $0,4$ mg/m³) und ein Konzentrationsverhältnis zwischen Abluft- und Stallkonzentration von $1 : 1,8$ bis $1 : 2,1$.

Gesamtstaubgehalte in der Stallluft zwischen $15 - 90$ mg/m³ wurden in sieben Bodenhaltungssystemen für Legehennen gemessen (LFL 2004). Volieren weisen hierbei die höheren Gehalte auf und überschreiten bei der alveolaren Fraktion auch Grenzwerte von 4 mg/m³ nach BioStoffV. Die Untersuchungen über einen erweiterten Zeitraum zeigen, dass die Staubgehalte der Stallluft deutlich an das Tierverhalten gekoppelt sind. In eigenen Untersuchungen wurde für Volieresysteme eine Staubkonzentration zwischen $7,1$ mg/m³ - $23,8$ mg/m³ nachgewiesen (LIPPMANN 2007). Die Messzeiträume lagen innerhalb höchster Tieraktivitäten und sind somit Maximalwerte. Die hohen Konzentrationen werden in den Sommermonaten gemessen. Demgegenüber lag das Konzentrationsniveau in der klassischen Bodenhaltung mit Kotbunker bei ca. einem Drittel der Vergleichswerte der Voliere im Sommer. Die Gesamtkeimkonzentrationen variierten deutlich. Aerobe Keime wurden zwischen 647 KbE/m³ und $14 \cdot 10^6$ KbE/m³, gramnegative zwischen $1,8$ KbE/m³ und 190 KbE/m³ und Schimmelpilze zwischen 370 KbE/m³ und $47 \cdot 10^3$ KbE/m³ gemessen.

2.1.4 Geruch

Geruchsstoffe sind flüchtige, flüssige und feste Trägersubstanzen. Der Mensch nimmt diese über eine Vielzahl an Chemorezepturen auf, bewertet sie im Gehirn und hat damit eine Geruchswahrnehmung. Damit hat die Geruchswahrnehmung immer einen subjektiven Aspekt. Die Bewertung kann hier nicht an Messwerten erfolgen, sondern wird an der anthropogenen Qualitätsbestimmung (Hedonik) bzw. an dem Wahrnehmen einer minimalen Konzentration (Geruchsschwelle) ausgerichtet. Für die gesamte Geflügelhaltung liegen nur wenige belastbare Angaben zu Geruchsstoffkonzentrationen aus dem Stall vor. Die Untersuchungen im Schrifttum wurden überwiegend unter Frühjahrs- und Sommerbedingungen durchgeführt. Bodenhaltungen wurden im Mittel mit $45 - 48$ GE/m³ bewertet. Der Wertebereich liegt zwischen $25 - 62$ GE/m³. Eigene Untersuchungen ergaben für Volierehaltungen im Mittel zwischen $47 - 81$ GE/m³ (LIPPMANN 2007). Dabei wurden Maximalwerte bis 110 GE/m³ gemessen. Demgegenüber wurden in herkömmlicher Bodenhaltung mit einer Haltungsebene und Kotbunker im Mittel 27 GE/m³ gemessen.

2.2 Emissionen aus dem Stall

Bei der immissionsschutzrechtlichen Bewertung von Tierhaltungsanlagen finden derzeit in der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA LUFT 2002) Ammoniak, Geruchsstoffe und Staub Berücksichtigung. Weiterhin sind im Einzelfall für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Stallanlagen (§ 4 BImSchG) tierhaltungsbedingte Stickstoffdepositionen im Umfeld der Stallung gegenüber differenzierten Ökosystemen zu beurteilen. Das kann auch nicht genehmigungsbedürftige Stallanlagen betreffen, wenn

ein hinreichender Anhaltspunkt – z. B. Standort mit mehr als 2 GV – gegeben ist (TA Luft). Hierbei wird auf ökologische Belastungsgrenzen (Critical Loads) für die Wirkung von Luftinhaltsstoffen auf diese Habitate zurückgegriffen. Diese Belastungsgrenzen wurden für Stickstoff im UNECE-Bericht (BERNER LISTE 2002, zit. LAI-BERICHT 2006) zusammengestellt und betragen z. B. für Waldhabitate 10 – 15 kg/ha-a. Zusätzlich muss im Zusammenhang mit der Geruchsmission die Geruchsmissionsrichtlinie (GIRL 2008) bzw. die Mindestabstandsregelung (VDI 3472) in der landwirtschaftlichen Standortbeurteilung Beachtung finden (GRIMM 2003). Ziel ist es, Anwohner und sensible Ökosysteme vor erhöhten Belastungen durch diese Substanzen zu schützen. Hieraus resultieren einzuhalten Mindestabstände der Stallanlagen. Einzuhalten Obergrenzen (TA Luft) existieren zum Gesamtschwebstaub und Feinstaub (PM 10). Zur Reduzierung negativer Umweltwirkungen werden die Staubemissionen auf maximal 200 g/h Massenstrom bzw. 20 mg/m³ Massenkonzentration begrenzt. Die Grenzwerte für Ammoniak – die Tierhaltung ist mit ca. 80 % der Gesamtemission Hauptemittent in Deutschland – werden mit 150 g/h Massenstrom bzw. einer Konzentration von 30 mg/m³ festgeschrieben (TA Luft). Der Anteil der Geflügelhaltung an den Emissionen aus der Tierhaltung ist minimal (ca. 5 %), kann territorial jedoch an Bedeutung gewinnen. Die Öffnung der Stallsysteme nach außen und die verlängerte Kotlagerung im Stallbereich befördern deutlich die Emissionen aus Bodenhaltungssystemen. Insbesondere die Erweiterung der Fläche je Tier und die erhöhte Bewegungsaktivität in eingestreuten Systemen trägt hier zur erhöhten Gas- und Staubbildung bei.

2.2.1 Stallgase

Der Anteil der Landwirtschaft an der Emission von Treibhausgasen – Kohlendioxid, Methan und Lachgas – lag 2005 bei 7,1 % (ca. 71 Mio. t) an den Gesamtemissionen in Deutschland (DvB 2008). Seit 1990 hat hier die Landwirtschaft den höchsten Rückgang mit 23 % der Gesamtemissionen bereits erreicht. Davon wurden etwas weniger als 7 t Kohlendioxid (0,8 % der Gesamtemission) aus der landwirtschaftlichen Produktion emittiert. Dennoch besteht ein großer Handlungsbedarf, unter praktischen Bedingungen wirtschaftlich relevante Verfahren zur Emissionsminderung zu prüfen.

Emissionswirksam werden Stallraumlasten wie Ammoniak über die Stalllüftung (Lufraten, Volumenströme). 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. Diese rangieren unterhalb der Emissionsrate von 316 g/Tpl.·a (TA Luft, klassische Bodenhaltung). Für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker ermittelte BRUNSCH et al. (2005) 97 – 389 g/Tpl.·a, für Volieresysteme 91 – 136 g/Tpl.·a und für den ausgestalteten Käfig 31 – 49 g/Tpl.·a. Die bisherigen Ergebnisse eigener Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL 2004) bestätigen diese Tendenz. Im Mittel wurden 226 g/Tpl.·a gemessen. Hierbei lagen die Volieresysteme deutlich unter dem Mittel. Die große Schwankungsbreite ist sowohl auf die Komplexität der eingesetzten Verfahrenstechnik und die Fütterung als auch z. T. auf Unterschiede in den Messmethoden zurückzuführen.

Die TA Luft definiert für die Haltungssysteme Käfig und Voliere mit Kotbandbelüftung sowie Boden mit Kottlagerung im Stall Ammoniakemissionsfaktoren von 38,9 g/Tpl.·a, 91,1 g/Tpl.·a und 315,7 g/Tpl.·a. In eigenen Untersuchungen wurden Emissionsfaktoren für Volieresysteme von 56,5 g/Tpl.·a und für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker von 312 g/Tpl.·a ermittelt (LIPPMANN 2007). Diese Systeme wurden überwiegend ohne Kotbandbelüftung bewirtschaftet. Im Kontext mit diesen Kenndaten erweist sich der Faktor 2,3 im Vergleich der Haltungssysteme Käfig und Voliere als zu hoch.

Kohlendioxid gelangt über das Lüftungssystem in die Atmosphäre und wirkt hier als „Treibhausgas“. Dennoch zielen bisherige Grenzsatzungen im landwirtschaftlichen Bereich in erster Linie auf eine Optimierung der Stallluft. Bei Untersuchungen von Bodenhaltungssystemen für Hennen wurden in Volieren im Mittel 26,5 kg/Tpl.·a und in der klassischen Bodenhaltung 34,3 kg/Tpl.·a ermittelt (NESER 2000).

Lachgas wird in Abhängigkeit von Art und Dauer der Kot- und Einstreulagerung im Stall emissionsrelevant. Die bisher vorliegenden Literaturbefunde liegen unterhalb von 17,9 g/Tpl.·a (SNEATH 1996; NESER 2000). Diese Befunde werden durch die eigenen Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL 2004) gestützt. Mit zunehmender Dauer der Lagerung im Stall werden hier die höheren Kennwerte erreicht. In Bodenhaltungen wurden unabhängig vom Aufstallungssystem 20,9 g/Tpl.·a ermittelt. Dabei konnten keine Differenzen zur Zuluftkonzentration nachgewiesen werden (LIPPMANN 2007).

Emissionsfaktoren für Methan lagen bei eigenen Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL 2004) zwischen 29,8 - 235,4 g/Tpl.·a. Mit zunehmender Dauer der Lagerung im Stall werden hier die höheren Kennwerte erreicht. Für Volierehaltungssysteme wurde ein Emissionsfaktor von 20,9 g/Tpl.·a ermittelt (LIPPMANN 2007).

2.2.2 Stallstaub

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/Tpl.·a an inhalierbaren (PM 10) und 2,32 g/Tpl.·a an alveolengängigem (PM 2,5) Staub in Käfighaltungen. Demgegenüber lagen die Werte bei der Bodenhaltung bei 91,77 g/Tpl.·a inhalierbaren bzw. 17,76 g/Tpl.·a alveolengängigem Staub. Angaben des SÄCHSISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002) zu Feinstaubemissionen (PM 6) aus der Bodenhaltung liegen geringfügig höher als die Werte von TAKAI (1998). Demgegenüber ermittelte HINZ (2005) einen Emissionsfaktor von 10,95 g/Tpl.·a in der Hähnchenmast. Einen deutlichen Unterschied verursacht ein differentes Außenklima. So ermitteln MOSTAFA & BÜSCHER (2007) für den Monat Juli 5,57 mg/Tpl.·h Gesamtstaub in Volieren, im November werden hier 18,25 mg/Tpl.·h gemessen. Der 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 PM 10 gerichtet, so werden künftig die Fraktionen PM 2,5 und PM 1 mehr Beachtung finden (HINZ 2005).

Zur Vorsorge wird der Emissionsmassenstrom auf 200 g/h bzw. eine Massenkonzentration von 20 mg/m³ (TA LUFT 2002) begrenzt. Die Bestimmung von Emissionskenngrößen kann der TA Luft entsprechend unterbleiben, wenn der Bagatellmassenstrom von 100 g/h bei diffusen Quellen unterschritten wird. 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).

2.2.3 Geruch

Ein Vergleich der Haltungssysteme Käfighaltung und Bodenhaltung wurde vom LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1996) durchgeführt. Danach emittiert ein Stall mit Käfighaltung (angetrockneten Kot) mit 53 GE/GV-s eine höhere Geruchsstofflast als die Bodenhaltung mit 46 GE/GV-s. Zu beachten ist, dass die Ställe miteinander nicht vergleichbar waren (Lüftung, GV-Besatz) und in der Käfighaltung keine vollständige Kottrocknung vorgenommen wurde. Die für die Käfighaltung mit Kotbandbelüftung vom KTBL (1991) angegebenen 23 GE/GV-s sind daher realistischer. Deutlich höhere Lasten von >90 GE/GV-s werden bei Flüssigkot registriert (KTBL, 1996). In eigenen Untersuchungen (LFL 2004) wurden Geruchsstoffmassenströme zwischen 9,2 GE/GV-s - 18,5 GE/GV-s in Bodenhaltungen ermittelt. Eine deutliche Differenzierung der Kenndaten zwischen Volieren und klassischen Bodenhaltungen ist nicht möglich. Untersuchungen in Volieren und klassischen Bodenhaltungen (LIPPMANN 2007) ergaben für die untersuchte Voliere einen Emissionsfaktor von 13 GE/GV-s. Hierbei wurde ein mittlerer jährlicher Volumenstrom von 50.000 m³/h ermittelt. Für die Bodenhaltung mit Kotbunker wurde ein vergleichbarer Emissionsfaktor ermittelt. Aufgrund des geringen Umfangs sind die Kennwerte noch wenig belastbar.

2.3 Tiergesundheit

Die primären Abgangsursachen bei Legehennen in alternativen Haltungsverfahren sind Erkrankungen der Legeorgane, Technopathien und Störungen im Fettstoffwechsel (KRANSWOHL et al. 2003) sowie Infektionskrankheiten, Kannibalismus und Raubwild im Auslauf (PETERMANN 2003; WEBER et al. 2002). Die Tiere sind über den permanenten Kontakt zu Exkrementen durch Infektionskrankheiten gefährdet. Hierbei ist eine rasante Übertragung von Tier zu Tier zu verzeichnen. Freilandhaltungen erhöhen das Risiko zusätzlich (HAFEZ 2004). Bereits erfolgreich beseitigte Krankheiten, die für Legehennen nicht typisch sind, wie Pocken, Rotlauf und Schwarzkopfkrankheit leben in den alternativen Haltungen wieder auf (HAFEZ et al. 2001; HAFEZ 2004; PÖPPEL 2003). Die schlechte Kontrollmöglichkeit dieser offenen Systeme bezüglich Klimamanagement und Umwelteinflüssen fördern das Auftreten von Faktorenkrankheiten (HOOP 2002; NIGHOT et al. 2003). Weil die Behandlung mit Medikamenten wegen u. a. eingeschränkter Zulassung (PÖPPEL 2003) schwierig ist, gilt der Prophylaxe und Hygiene in diesen Haltungen besonderes Augenmerk. Gehäuft treten auch parasitäre Erkrankungen auf (KRANSWOHL et al. 2003). Neben der roten Vogelmilbe (Ektoparasit) müssen sich die Hennen wegen des direkten Kotkontaktes auch mit Endoparasiten auseinandersetzen. Ein immer wieder auftretendes Problem dieser Haltungen ist das Federpicken. Hierfür existieren vielfältige Ursachenkomplexe, eine genaue Kenntnis liegt hierzu nicht vor (KNIERIEM 2003). Der Einfluss der Gruppengröße und Besatzdichte auf das Federpicken wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einerseits wird angenommen, dass in Gruppen ab 120 Hennen keine individuelle Erkennung und damit auch keine Aufrechterhaltung der Rangordnung mehr möglich ist, was in dieser Konfliktsituation zur Minimierung agonisti-

schen Verhaltens führt. Andererseits verursachen höhere Besatzdichten vermehrt Unruhe im Stall. Wenn die Hennenherde „Picker“ enthält, wächst das Risiko der Nachahmung dieser Verhaltensweise durch andere Herdenmitglieder. Die zumeist großen Tiergruppen verhindern eine stabile Rangordnung und erzeugen somit Stress für die Henne (PUPPE 2003). Die Auslaufgestaltung (unabhängig vom Strukturierungsgrad) hat keinen Einfluss auf dort stattfindendes Federpicken und agonistisches Verhalten (BAZER 2005; SCHÜMANN 2008). Beide Verhaltensweisen traten im Kaltscharrraum und Übergangsbereich häufig, im Auslauf hingegen seltener auf. Bei nicht strukturiertem Auslauf beobachtete SCHÜMANN (2008) im Kaltscharrraum häufiger Körper- und Federpicken und einen tendenziell schlechteren Gefiederzustand am Ende der Legeperiode. Die Verluste waren bei dieser Gruppe fast doppelt so hoch. Insbesondere die Auslaufnutzung verursacht einen erhöhten Einsatz an Antibiotika und Antiparasitaria.

LE BRIS (2005) und RAMADAN (2007) weisen auf Unterschiede zwischen verschiedenen Linien im Aggressionsverhalten und Federpicken hin, was sich auch im Gefiederzustand widerspiegelt. Eine Folge des Federpickens kann Kannibalismus sein. Ursache hierfür wird in blutigen Hautstellen vermutet (GEISER 2001; KEPPLER 2003). Quelle sind nur einzelne Tiere, die über den Lerneffekt die Herde infizieren. Als Gegenmaßnahmen werden Lichtreduzierung, Futterergänzungen und eine Anreicherung der Umweltreize (Struktur, Beschäftigung) empfohlen (GEISER 2001; MAHBOUB et al. 2002). Das fast schon obligate Schnabeltouchieren mindert die Folgeschäden (DAMME 2003). Auf zunehmenden Kannibalismus mit steigender Gruppengröße weisen Untersuchungen von NIEBUHR et al. (2006) und KNIERIM et al. (2007). Wegen der größeren Bewegungsfreiheit und Temperaturschwankungen in diesen Haltungen erhöht sich der Futterverbrauch (DAMME 2003). Die Verfügbarkeit und Qualität von Einstreumaterial beeinflusst das Futtersuche- und Sandbadeverhalten der Hennen sowie die Abnutzung der Hornsubstanz an Krallen und Schnäbeln. Nach FITZ (2007) wird Stroh ausgiebiger als Weichholzgranulat, Strohpellets oder Hobelspäne zum Sandbaden genutzt. Es kann jedoch aufgrund seiner Strukturierung dabei das Federkleid mechanisch schädigen. Die Einstreu hat insgesamt geringere Auswirkungen auf das Gefieder als die Besatzdichte. Relativ hohe Verluste ermittelt BAUMGART (2005) bei einer Besatzdichte von 18 Hennen/m². Diese resultierten hauptsächlich aus einem Anstieg des Kannibalismus. Die Hennen in hohen Besatzdichten wiesen auch geringere Immunglobulinwerte auf.

Missslungene Anflugversuche führen zu erhöhten Brustbeinbrüchen (BESSEI et al. 1998). Der Anteil an Brustbeindeformationen in Volierenhaltungen wird mit ca. 50 - 80 % (BAUMGART 2005; BAZER 2005; LICKTEIG 2006; FITZ 2007; WEIGL 2007; NIEBUHR et al. 2008) angegeben. Als Ursachen werden fehlerhaftes Anfliegen von Haltungseinrichtungen sowie die Nutzung der Sitzstangen und die Druckbelastung beim Hocken darauf angenommen. Auch Form und Beschaffenheit der Stangen spielen eine Rolle. Durch eine frühzeitige Gewöhnung an diese Haltungseinrichtungen – bereits während der Aufzucht – kann die Inzidenz (Neuerkrankungsrate) dieser pathologischen Veränderung deutlich verringert werden (VITS et al. 2005). Die Anzahl der negativen Einflüsse in diesen Haltungssystemen führt zu Verlustraten zwischen 12 % - 20 % (KREIENBROCK et al. 2003). Mit Auslauf können die Verluste im Mittel bei 25 % liegen. Die Untersuchungen der Landesanstalten für Landwirtschaft der Länder Bayern, Sachsen und Thüringen (LFL 2004) registrieren im Mittel 15 % Tierverluste. Verlustraten bis über 30 % können vorkommen. Im Auslauf wurden Verluste

zwischen 1 % - 12 % registriert. In Bodenhaltungssystemen in Sachsen wurden Tierverluste im Stall im Mittel um 10 % ermittelt, in großen Volieren lagen diese bei ca. 4 % (LIPPMANN 2007).

In **Tabelle 6** sind im Schrifttum festgehaltene Tierverluste in Voliersystemen zusammengestellt.

Tabelle 6: Tierverluste in Voliersystemen mit Berücksichtigung der Linie, Besatzdichte und Gruppengröße

Auslauf	Tiere/Gruppe [Anzahl]	[Tiere/m ²] *	Linie	Anfangsbestand [Anzahl]	Verluste [%]	Quelle	
ohne	90	13	LSL	170	2,9	WEIGL (2007)	
		17	LB	3600	6,8	LICKTEIG (2006)	
		22	LSL	2300	11,1		
	117	18	Tetra-SL	117	18	BAUMGART (2005)	
	88	13		88	7		
	59	9		59	5		
	29	5		29	3		
		92	14	ISA Brown	364	2,2	FITZ (2007)
		117	18	LSL,LT,LB	351	7,7	LE BRIS (2005)
		58	9	LSL	58	10,3	
	330	7		1320	26,6	LÜKE (2005)	
mit	62		Amberlink	375	2,9	ANDERSSON et al. (2005)	
	455	6,3	ISA Brown	910	10,2	SCHÜMMANN (2008)	
	450	6	Tetra-SL	900	13,5	BAZER (2005)	

* Bezug: Stallgrundfläche

Kammverletzungen und Fußballenverdickungen sind in konventionellen und ausgestalteten Käfigen weniger häufig zu finden als in anderen Haltungssystemen (ELSON & CROXALL 2006).

Mit der Geschlechtsreife der Hennen beginnt ein struktureller Verlust des Knochens, der sich bis zum Ende der Legeperiode fortsetzt. Die höhere Bewegungsaktivität in alternativen Haltungsverfahren soll sich positiv auf die Knochenbruchfestigkeit auswirken, weil die Beanspruchung der Muskeln und des Skeletts zu einer stärkeren Ausbildung der Knochen der Beine und der Flügel führt. In Untersuchungen von WEIGL (2007) war bei Hennen aus Großvolieren ein deutlich höherer Kraftaufwand zum Brechen des Femurs nötig als bei Hennen aus Kleinvolieren. Auch LEYENDECKER et al. (2002) und RÖNCHEN (2007) berichten von einer erhöhten Bruchfestigkeit bei Tieren in Volierenhaltung gegenüber Haltung in Käfigen. Andererseits erhöht aber die stärkere Bewegungsaktivität in Volieren das Risiko von Knochenbrüchen.

In Legehennenherden ist die Leberverfettung eine häufig auftretende Erkrankung und kommt nach KEUTGEN et al. (1999) und RÖNCHEN (2007) in Käfighaltung häufiger vor als in alternativen Haltungssystemen. Der wirtschaftliche Verlust entsteht hauptsächlich über einen Leistungsabfall bei den Hennen. Als eine wesentliche Ursache dieser Erkrankung wird die energetisch hoch konzentrierte Fütterung im Kontext mit eingeschränkter Bewegungsmöglichkeit gesehen. Jedoch waren auch in Volierenhaltung ohne bzw. mit Auslauf bis zu 100 % der Hennen vom Fettlebersyndrom betroffen (LICKTEIG 2006; SCHÜMANN 2008). WEIGL (2007) fand für das Auftreten von Fettlebern keine Unterschiede zwischen Groß- und Kleinvolierenhaltung.

2.4 Betriebswirtschaft

Die betriebswirtschaftliche Bewertung der Legehennenhaltungen basiert auf den Kenndaten zur Naturalleistung wie Legeleistung, Tierverluste, Futtereinsatz, vermarktungsfähige Eier. Die bei der Eierzeugung entstehenden Kosten (Stückkosten) werden heute in modernen Betrieben über eine Vollkostenbewertung ermittelt und nach Kostenblöcken gegliedert. Die Stückkosten beinhalten sämtliche Kostenblöcke (Direkt-, Arbeiterledigungs-, Gebäude- und sonstige Kosten) und nehmen unmittelbaren Bezug auf die Naturalleistungen. Ein direkter Vergleich der im Schrifttum zusammengestellten Kosten ist wegen der verschiedenen Rahmenbedingungen kompliziert. In den Untersuchungen der Bundesländer Bayern, Sachsen und Thüringen (LfL 2004) wurde herausgearbeitet, dass die Legeleistung je Anfangshenne im Mittel bei 80 % in den Bodenhaltungssystemen liegt. Der mittlere Futtermittelverzehr lag bei ca. 130 g/Tier-d, Knick-/Schmutzeier bei 2 % (von <1 % bis 5 %) und es wurden fast 3 % der Eier verlegt (<1 % bis >6 %). Die Stückkosten lagen bei ca. 8 Cent je Ei (Schnittstelle Stalltür). Dabei hatten Volieren ca. 11 % Kostenvorteil gegenüber einfacher Bodenhaltung. Selbst große Volieren haben gegenüber dem Käfig Mehrkosten von mindestens 1 Cent je Ei. Bezüglich des Arbeitszeitaufwandes liegt der Mehraufwand hier bei ca. 20 %. Der Auslauf erhöht den Zeitaufwand um 30 % gegenüber reiner Stallhaltung.

Ähnliche betriebswirtschaftliche Befunde liegen aus mehrjährigen Erhebungen aus Bayern vor (DAMME 2006). Danach rangieren die Stückkosten um die 6,5 Cent je Ei. Für die Käfighaltung kalkulierte Damme (DAMME & HILDEBRAND 2002) Stückkosten von 5,47 Cent. Die Kosten erhöhen sich zu ausgestalteten Käfigen, Volieren, Bodenhaltungen und Auslaufhaltungen um 15 %, 35 %, 57 % und 71 %. Der nötige Jahresarbeitszeitbedarf beträgt nach KLEMM & UHLMANN (zit. bei DAMME 2006) für Boden- und Freilandhaltungen zwischen 15,6 Akh/100 Tpl. bei 15.000 Tierplätzen und 32,4 Akh/100 Tpl. bei 2.500 Tierplätzen. Hiernach betreut eine Arbeitskraft 12.000 - 6.000 Tiere/a. LIPPMANN (2007) ermittelte für Bodenhaltungssysteme (6.000 - 21.000 Tierplätze) Stückkosten 6,5 - 7,5 Cent (ohne Vermarktung). Hierbei variiert der Arbeitsaufwand von 13 - 32 Akh/100 Tpl..

3 Vorgehensweise und Methodik

Die Untersuchungen wurden an zwei Standorten in Sachsen durchgeführt. Die Haltungssysteme sind bezüglich Herdengröße und Tierbesatz für Sachsen repräsentativ.

In der **Bodenhaltung N 60** stehen 15.000 Hennenplätze in vierreihig angeordneten Voliereblöcken den Tieren zur Verfügung. Die gesamte Stallgrundfläche – mit Ausnahme von zwei ca. 0,8 m breiten Kontroll-

gängen – dient den Tieren als Scharrraum. Der Stall hat eine Grundfläche von 81 m Länge und 12 m Breite. Hieraus ist eine Besatzstärke von maximal 18 Tiere/m² Stallgrundfläche abzuleiten. Die Raumhöhe beträgt 2,90 m. Die Reihenvoliereblöcke sind mehrfach durch Zwischengitterwände unterteilt. In der Eingewöhnungsphase der Hennenherde können diese Reihen gegenüber dem erweiterten Scharrraum abgesperrt werden. Hierdurch entstehen eine Art Gruppenkäfige für je 130 - 150 Tiere.

Jeder Block ist mit Futterketten, Nippeltränken und Sitzstangen mehrreihig ausgerüstet. Die Funktionsebenen innerhalb der Voliereblöcke sind derart angeordnet, dass eine Art Treppenhaus entsteht. Durch die Abgrenzung gegenüber dem oberen Stallraum soll die vertikale Lokomotion der Tiere weitgehend ohne „Flattern“ erfolgen. Einen Einblick in den Scharrraum bzw. Kontrollgang geben **Abbildung 1** bzw. **Abbildung 2**. Die Kotlagerung erfolgt auf nachgeordneten Kotbändern mit Kottrocknungssystem. Während der Untersuchungen wurde dieses Trocknungssystem nicht betrieben, da es derzeit wegen der Anordnung der Zuluftbereiche störanfällig ist. Einmal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht.



Abbildung 1: Scharrraum zwischen den Blöcken



Abbildung 2: Kontrollgang zwischen den Blöcken

In jedem Block sind Gruppennester integriert. Die Nester sind mit Austriebsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum.

Zum Klimamanagement dient ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Steuerung. Als Regelgröße wird für den Sommer- und Winterbetrieb die Stalllufttemperatur vorgegeben. Das Lüftungssystem ist bei -20 Pa Unterdruck für eine Luftrate bis 8 m³/Tpl. konzipiert. Minimal- und Maximalluftrate werden individuell vorgegeben. Hierauf wurde während der Untersuchungen kein Einfluss genommen, um das in der Praxis umgesetzte Management unbeeinflusst abzubilden. Die Abluft aus dem Stall wird über drei Abluftschächte im Firstbereich in Stalllängsachse verteilt und über drei Abluftschächte im Deckenbereich am hinteren Stallende sowie einen Seitenwandlüfter in der Giebelwand befördert. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftklappen an den Längswänden des Stalls und im Giebelbereich in den Stallraum. Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass die Hauptlüftung dem Tunnellüftungsprinzip folgend über die

drei Abluftschächte im Deckenbereich am hinteren Stallende und die Zuluftöffnungen in der Giebelwand am gegenüber liegenden Stallende realisiert wird. Nur bei unzureichender Luftwechselrate (Sollwert-Temperatur-Überschreitung) werden die im Firstbereich angeordneten Abluftkamine ergänzend zugeschaltet. Hiermit wird eine Verlagerung des Emissionsschwerpunktes in Richtung Ost und eine Erweiterung der Distanz zur Wohnbebauung erreicht.

Die Untersuchungen wurden am Standort in fünf Messzeitfenstern über mindestens 14 Tage im Verlauf von 18 Monaten (ca. 1,5 Stallbelegungen) durchgeführt.

In der **Bodenhaltung H 3** stehen 12.500 Hennenplätze (42,5 GV) in stufig angeordneten Funktionsebenen den Tieren zur Verfügung (vgl. **Abbildung 3**). Die gesamte Stallgrundfläche dient als Scharrraum. Die Ebenen sind mit Futterketten, Nippeltränken und Sitzstangen ausgerüstet. Die Kotbeseitigung im Stall erfolgt über nachgeordnete Kotbänder ohne Kottrocknung zweimal wöchentlich. Von den Ebenen sind doppelreihig angeordnete Gruppennester erreichbar. Die Nester sind mit Austribsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum. Der Stallraum hat über die Zuluftöffnungen Tageslichteinfall.



Abbildung 3: Übersicht zum Haltungssystem High Rise 3

Die Klimagegestaltung erfolgt über ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Steuerung. Nach Angaben des Betreibers werden drei Lüftergruppen angesteuert. Die Sollwert-Temperaturen für die Stallluft zur Zuschaltung der vier Abluftventilatoren sind in **Tabelle 7** zusammengestellt.

Tabelle 7: Stalltemperatur (Sollwert) zur Steuerung der Abluftventilatoren

Ventilator	Stalllufttemperatur (Sollwert) in [°C]	
	Winterbetrieb	Sommerbetrieb
1	20	18
2	24	19
3 und 4	27	22

Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass die vier giebelseitig angeordneten Abluftventilatoren (ES-140R/S, je ca. 30.000 m³/h) durch temperaturabhängige Zuschaltung Abluft aus dem Stallraum transportieren und Zuluft über die geregelten Zuluftventile nachströmen kann. Aufgrund des Regelverhaltens des Lüftungssystems gibt es im Gegensatz zu vergleichbaren Haltungssystemen im Winter keine kontinuierlichen Mindestluftwechselraten. Demgegenüber ist im Sommerbetrieb zu erwarten, dass bereits ab 20 °C Außentemperatur die maximale Luftwechselrate abgerufen wird. Entsprechend der technischen Vorgaben befördert das Lüftungssystem dabei bei -20 Pa Unterdruck ca. 10 m³/Tpl. Abluftvolumen. Über einen giebelseitig angebauten Ablufschacht (Monoschacht, vgl. **Abbildung 4**) gelangt diese Abluft aus dem Stall. Die Zuluft strömt über gesteuerte Zuluftklappen an den Längsseiten des Stalls in den Stallraum nach (vgl. **Abbildung 5**).



Abbildung 4: Ablufführung für den untersuchten Stall (links – Gesamtansicht; rechts – Innenansicht)



Abbildung 5: Zuluftführung für den untersuchten Stall

Die Zuluftventile werden zwischen 5 % - 100 % geöffnet und regeln somit über die freigegebene Zuluftfläche die Luftwechselrate primär.

Die Untersuchungen wurden am Standort in drei Messzeitfenstern über mindestens 14 Tage im Verlauf von acht Monaten durchgeführt.

Das ATI erarbeitete hierfür das Messstellendesign, koordinierte die Messungen und bewertete die Rohdaten. Die messtechnische Basis wurde durch die BfUL vor Ort eingesetzt und betreut. Die Messungen wurden innerhalb der Messzeitfenster kontinuierlich durchgeführt. Die Messzeitfenster lagen jeweils innerhalb definierter außenklimatischer Lufttemperaturbereiche. Hierbei haben sich folgende Messserien für die Kalkulation der Jahresemissionen bewährt: <8 °C Außenmitteltemperatur (Klimaklasse „Winter“), >18 °C (Klimaklasse „Sommer“), zwischen 8 - 18 °C (Klimaklasse „Übergang - Herbst, Frühling“).

Zur Bestimmung der Konzentration der Stallraumlasten (Ammoniak, Distickstoffoxid (Lachgas), Methan, Kohlendioxid, Wasserdampf) sowie deren Verfrachtung in die Umwelt der Emissionsquelle Stall wurden kontinuierliche Messungen zur Gaskonzentration und zum Volumenstrom im Abluftsystem sowie zum Luftdruck (innerhalb und außerhalb des Stalls) durchgeführt. Als begleitender Referenzwert wurden Stallluftkonzentrationen der gasförmigen Stallraumlasten ermittelt. Weiterhin erfolgte eine Bestimmung der Konzentrationen der im Abluftstrom bestimmten Gase im Zuluftstrom zur Ermittlung einer Vorbelastung. Hierzu wurden im Abluftsystem an allen Luftwechselflächen Messstellen für die gasförmigen Stallraumlasten und zur Ermittlung des Volumenstroms eingebaut. Das Messstellendesign für die Bodenhaltungssysteme N 60 und H 3 ist in der **Abbildung 6** und **Abbildung 7** dargestellt.

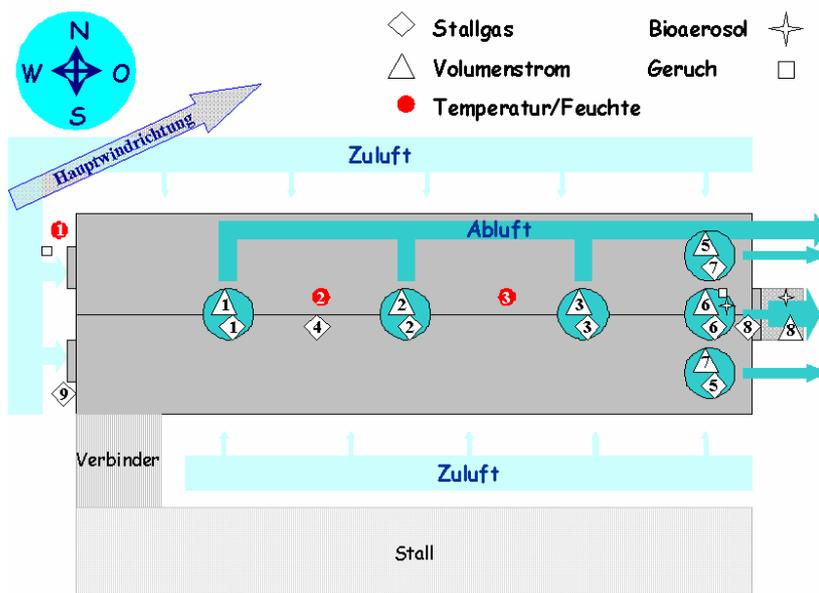


Abbildung 6: Messstellenplan und Luftführung im zu untersuchenden Stallsystem N 60

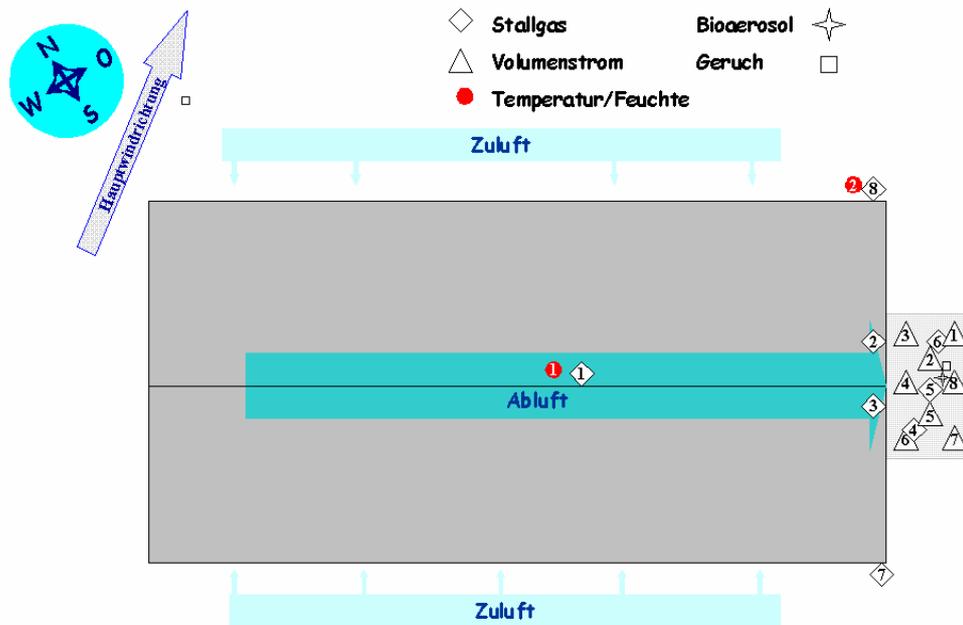


Abbildung 7: Messstellenplan und Luftführung im zu untersuchenden Stallsystem H 3

Zur Kalkulation des Volumenstroms wurde die Anzahl der Impulse im Minutentakt erfasst. Hieraus wurde die Luftgeschwindigkeit für die gemessene Abluftfläche ermittelt. Auf dieser Basis wurde der Volumenstrom über die Luftwechselfläche ermittelt. Die Herleitung der Massenströme erfolgte nicht auf der Basis von charakteristischen Mittelwerten für die Konzentration und den Volumenstrom für die Messzeitfenster, sondern über eine Zeitreihe von Stundenmittelwerten jedes Abluftkamins.

Für das Bodenhaltungssystem N 60 erfolgte der Einbau der Messventilatoren in jeden Abluftkamin (vgl. **Tabelle 8**). Die Kalibrierung der Messventilatoren erfolgte unter Laborbedingungen. Hieraus ergab sich nachfolgende Kalibrierfunktion:

$$\text{Strömungsgeschwindigkeit [m/s]} = \text{Impulsanzahl} \cdot 0,0039 + 0,0974$$

Für das Bodenhaltungssystem H 3 mit einer Abluftführung über einen Monoschacht wurde in diesem ein Messnetz aus acht Messventilatoren (640 mm Durchmesser) eingebaut. In der **Abbildung 7** wird das Messnetz dargestellt. In der **Tabelle 8** sind die Kenndaten der eingesetzten Messtechnik zusammengestellt.

Tabelle 8: Messtechnik zur Bestimmung der Analyseparameter

Abluftgeschwindigkeit	
Messgerät	Messventilator, vier Impulse pro Umdrehung
Datenerfassung	kontinuierlich mit Messwerterfassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn Die Umrechnung der Impulse in eine Abluftgeschwindigkeit erfolgt über eine ermittelte Kalibrierfunktion.

Die Bestimmung des Volumenstromes erfolgte hier zur Festlegung der Herangehensweise im ersten Schritt anhand von Daten aus einem 14-tägigen Messzeitfenster über zwei Kalkulationsansätze.

1. Es wurde aus einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit über alle Messventilatoren – kalibriert mittels Flügelradanemometer über die Gesamtabluftfläche des Monoschachtes – der Volumenstrom mit nachfolgender Formel berechnet (gelbe Messpunkte, vgl. **Abbildung 8**):

$$(0,0034 \text{ Impulse} + 0,2441)^1 \text{ Gesamtfläche } 3.600 \text{ s.}$$

Nachfolgend mit GES(KAL) gekennzeichnet.

$$^1)R^2 = 0,9195$$

2. Es wurde aus der Geschwindigkeit jedes Messventilators – kalibriert nach Werksvorgaben zum Messverhalten im Abluftschacht mit 650 mm Durchmesser – der Volumenstrom mit nachfolgender Formel berechnet:

$$(0,0038 \text{ Impulse} + 0,0551)^2 \text{ Teilfläche } 3.600 \text{ s}$$

und die Summe der Teilvolumenströme gebildet. Nachfolgend mit GES(MV) gekennzeichnet.

$$^2)R^2 = 0,9995$$

In der nachfolgenden **Tabelle 9** sind die Kenndaten für den Volumenstrom je Stunde innerhalb des Messzeitfensters auf der Basis der zuvor benannten Kalkulationsansätze zusammengestellt.

Tabelle 9: Kenndaten zum stündlichen Volumenstrom der Lüftungsanlage

Kennzahl	Luftdruck	Abluftstrom [m³/h]		Abluftstrom [m³/Tpl.·h]	
	Abs. [h Pa]	GES(MV)	GES(KAL)	GES(MV)	GES(KAL)
Maximum	1.023	91.261	80.698	7,3	6,5
75 %-Quantil	1.020	51.955	49.757	4,2	4,0
Median	1.017	39.735	39.014	3,2	3,1
25 %-Quantil	1.013	35.745	35.042	2,9	2,8
Minimum	998	19.231	19.716	1,5	1,6
Mittelwert	1.015	47.342	44.751	3,8	3,6
Stundenwerte	373				

Der Medianwert und die unteren Quantile verlaufen auf fast gleichem Niveau. Aufgrund der etwas höheren Kennwerte oberhalb des Medians bei Verwendung des Kalkulationsansatzes 1 (werksseitige Kalibrierkurven) liegt der hiermit ermittelte Volumenstrom (Mittelwert) um 6 % über dem des Ansatzes 2. Die werksseitige Kurvenbestimmung erfolgte dem Einsatz der Messventilatoren entsprechend im Abluftkamin mit rundem Querschnitt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die durch den Messventilator erfasste Abluffläche mindestens 90 % der Gesamtfläche beträgt. Damit sind die Messbedingungen hier deutlich abweichend. Deshalb und wegen der geringen Differenz der Kennwerte des Volumenstromes zwischen den Ansätzen wurde im Weiteren der Kalkulationsansatz 2 zur Bestimmung des Volumenstroms benutzt. Es wird unterstellt, dass hiermit die tatsächlichen Strömungsverhältnisse besser abgebildet werden.

Der berechnete Abluftvolumenstrom liegt insgesamt deutlich unterhalb vom erwarteten Abluftvolumenstrom. Zur Plausibilitätsprüfung dieser Kennwerte wurden die Abluftgeschwindigkeiten ergänzend an jedem Abluftventilator ermittelt. Zu diesem Zweck wurde nach nachfolgendem Messpunkteraster die Abluftgeschwindigkeit unmittelbar vor jedem Abluftventilator bestimmt und der Volumenstrom an der Abluffläche berechnet (vgl. **Abbildung 8**, **Abbildung 9**).

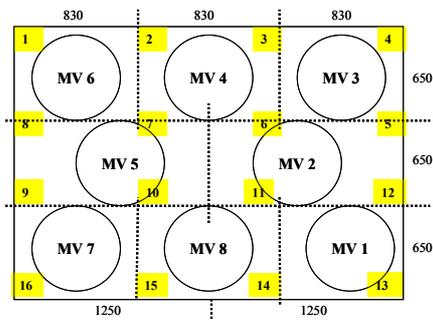


Abbildung 8: Abluffläche mit Teilflächen und zugeordnetem Messventilator (MV), Flächenbe-
maßung [mm] und Kalibrierpunkte der Gesamtfläche (gelb)

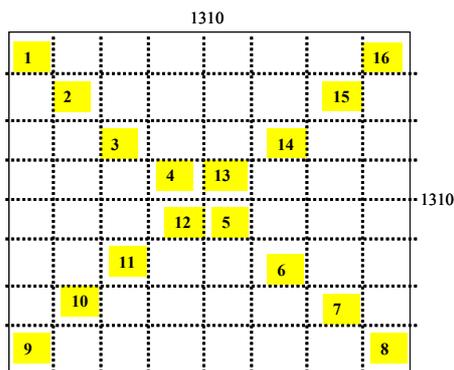


Abbildung 9: Abluffläche eines Ventilators, Flächenbe-
maßung [mm] und Kalibrierpunkte der
Gesamtfläche (gelb)

Die Messungen ergaben, dass die Abluftgeschwindigkeit an jedem Ventilator bei ca. 3 m/s liegt. Da diese Ventilatoren nach Aussage des Betreibers unregelmäßig arbeiten, errechnet sich hieraus ein Volumenstrom von konstant ca. 19.000 m³/h je Ventilator. Bei maximaler Zuschaltung aller vier Ventilatoren ergibt sich ein Volumenstrom von ca. 68.000 m³/h. Dieser deutliche Leistungsverlust erklärt sich über die Strömungswiderstände am Ventilator (Stallinnenseite – Strömungsgitter zur Verhinderung von Lichteffekten im Stallinnenraum, Stallaußenwand – Schwerkraftjalousien). Die Ursache für einen weiteren Strömungsverlust kann in der Umlenkung des Abluftvolumenstromes im Monoschacht vor Erreichen der Messebene gesehen werden. Hiermit erscheinen die aus den Messwerten kalkulierten Abluftvolumenströme plausibel.

Die benutzten Funktionsgleichungen wurden im Verlauf der Messserien an beiden Standorten mit Flügelradanemometer-Spotmessungen unter Praxisbedingungen überprüft.

Die Lufttemperatur- und relative Luftfeuchteverläufe wurden im Stall und im Außenbereich in viertelstündigem Rhythmus festgehalten.

Zur Auswertung der gewonnenen Daten wurden stundenbasierte Mittelungswerte genutzt. Dabei erfolgte eine Rückrechnung der Messdaten zum Volumenstrom und der Gaskonzentration auf den Normzustand (DIN 1343: 0 °C, 1.013,25 h Pa, trocken). Hierüber ist der direkte Vergleich zu anderen Tieranlagen und zu Regelvorschriften gesichert. Aufgrund der Messdatenverteilung wurden die Messreihen an den Quartilen dargestellt.

Die Kenndaten zur Bewertung des Haltungssystems wurden auf der Basis des Mittelwertes vorgenommen. Der Medianwert ist teilweise bis zu 15 % niedriger als der Mittelwert. Für die Messungen wurden nachfolgende Geräte eingesetzt (vgl. **Tabelle 10**):

Tabelle 10: Messtechnik zur Bestimmung von Konzentration und Emission gasförmiger Stallluftkomponenten

Luftdruck		
Messgerät	Dosenbarometer Gerätebau Fischer im ständigen Vergleich mit einem Stationsbarometer Typ B1	
Messbereich/ Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • 900 – 1.070 h Pa • ± 1 h Pa 	
Datenerfassung	kontinuierlich mit Messwerterfassungssystem	
Außen- und Stalltemperatur bzw. relative Luftfeuchte		
Messgerät	Widerstandsthermometer Pt 100	Tinytag Ultra
Messbereich/ Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • -50 - 150 °C • ± 0,3 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • -30 – 50 °C; 0 – 95 % • ± 0,2 °C; ± 4 %
Datenerfassung	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7.300	15 Min.-Intervall kontinuierlich

Fortsetzung Tabelle 10

Stallluftgase	
Messgerät	Multigasmonitor 1.312, Fa. Innova Air Tech Instruments, Photoakustische IR-Spektroskopie
Komponenten	Kohlendioxid (CO ₂), Lachgas (N ₂ O), Methan (CH ₄), Ammoniak (NH ₃), Wasserdampf (H ₂ O)
Messbereich/ Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 1,5 - 15.000 ppm, N₂O 0,03 - 30 ppm, NH₃ 0,8 - 800 ppm, CH₄ >0,25 ppm • H₂O...0,1 - 100 g/m³ • Die Abgasdichte wird berechnet aus der Dichte der Luft und dem tatsächlichen Wassergehalt des Abgases.
Probenahme	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplexer 1.309, Fa. Innova Air Tech Instruments • unbeheiztes PET-Rohr bis zum Messstellenumschalter, Staubfilter (DIF BN 50K-10) am Messgaseingang
Datenerfassung	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7.300, ca. 3 Messwerte je Stunde

In Zeitfenstern von jeweils ca. drei Stunden wurden je Klimaklasse „Winter“ (<8 °C), „Sommer“ (>18 °C) und „Übergang“ (8 - 18 °C) Staubmessungen durchgeführt. Hierbei wurde der Gesamtstaub (einatembar) und die Fraktionen PM 10 sowie PM 2,5 gravimetrisch bestimmt. Diese Messungen erfolgen isokinetisch durch die BfUL. Die Beprobungsdauer lag in Abhängigkeit vom Staubgehalt zwischen 0,5 h und 1 h. Parallel hierzu wurden Verlaufsmessungen über einen Zeitraum von mindestens 24 h durchgeführt. Hierdurch kann das Niveau der Staubkonzentration, welches zur Kalkulation der jährlichen Massenströme nötig ist, im Tagesgang abgebildet werden.

Die Geruchstoffmessungen fanden im Umfeld der Stallanlage und im Abluftstrom eines Abluftkamins bzw. des Monoschachtes statt. Die Probennahmen und Bestimmung der Geruchstoffkonzentration erfolgte nach VDI-Richtlinie 3881 Blatt 1-4. Es wurden je Messtag mindestens zwei 30-minütige Stichproben der Abluft und eine aus der Zuluft gezogen und am Olfaktometer bewertet. Die verwendete Messtechnik zur Staub- und Geruchsmessung ist in **Tabelle 11** zusammengestellt.

Tabelle 11: Staub- und Geruchsmesstechnik

Staubkonzentration	
Messgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Staubmessgerät 1.105, Fa. GRIMM, 90° Streulichtmessung • GMU Kaskadenimpaktor Johnas II/Planfilterkopfsonde
Messbereich/ Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Kanäle: PM 10, Betrieb: 4 – 40 °C, <95 % relative Luftfeuchte • Impaktorverfahren: VDI 2066/10, Kaskaden (dae >10 µm, 2 µm,5 - 10 µm, <2,5 µm), • Filterkopf: DIN EN 13284-1 • Abscheidegrad 99,999 %

Fortsetzung Tabelle 11

Geruchsstoffkonzentration	
Messgerät	Olfaktometer T 07,
Probenahme	Probenehmer, 30 Minuten

Tiergesundheit und Stallhygiene wurden durch eine Stallbegehung und Tierbonitur innerhalb der Messzeitfenster bewertet. Hierbei wurden der Gefiederzustand sowie die Einstreu nach Federgehalt und Konsistenz beurteilt. Dieses Monitoring soll Backgrounddaten für das Haltungssystem liefern, um die erhobenen Umweltdaten betrieblich werten zu können.

Aufgrund der neuen Umweltgestaltung im Volierenblock des Bodenhaltungssystems N 60 interessiert hier beim Tierverhalten insbesondere, wie die Tiere sich zwischen Voliereblock und Scharrraum fortbewegen. Es wurden exemplarische Bildsequenzen erstellt und bewertet, um ansatzweise eine Aussage treffen zu können. Eine detaillierte verhaltenskundliche Untersuchung war im vorgegebenen Zeitrahmen nicht möglich. In **Abbildung 10** sind der Kamerastandpunkt und das Bewertungsbild exemplarisch dargestellt.



Abbildung 10: Kamerastandpunkt und Analysebildausschnitt zur Bewertung der vertikalen Lokomotion

Vergleichsbildsequenzen wurden an einem Standort mit einer Reihenvoliere vom Typ Natura Nova gewonnen und gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Teilgebiete wurden gesondert und, wo erforderlich, in den Beziehungen zueinander bewertet. Es erfolgte eine deskriptive statistische Aufbereitung der Praxisdaten. Die Kalkulation der Jahresemission erfolgte durch zeitliche Hochrechnung der Emissionsfaktoren aus den Messzeitfenstern innerhalb der Klimaklassen. Aufgrund eigener Untersuchungen (Bericht zur Stickstoffdynamik, Juli 2009) bestehen zur bisher zusätzlich angewendeten Kalkulation der Massenströme auf der Basis der Außenlufttemperatur zu geringe Beziehungen zwischen den Kenngrößen.

4 Ergebnisse und Bewertungen

4.1 Herdengesundheit

4.1.1 Bodenhaltungssystem N 60

Aufgrund der Produktionsausrichtung in der Bodenhaltung N 60 wurden in der ersten Stallbelegung 2008/2009 neben 13.600 Hennen auch 1.400 Hähne gehalten. Zur zweiten Einstallung wurden 2009 nur Legehennen eingestallt. Somit konnten in den Kenndaten für die Klimaklassen „Übergang“ und „Sommer“ beide Produktionsrichtungen berücksichtigt werden.

Die Hennen wurden mit 17 Lebenswochen bzw. 18 Lebenswochen in das Haltungssystem aus eigener Aufzucht eingestallt. Das Einstallgewicht lag bei 1,3 kg/Tier. Die Hennen erreichten zwischen der 23. Lebenswoche und 25. Lebenswoche die Legereife. Die Tierverluste lagen bei 6 %. Der tägliche Futterverbrauch lag im Mittel bei 115 g/Tier. Dieser Kennwert lag auf erwartetem Niveau für Haltungen ohne Außenklimabereich. Der tägliche Wasserverbrauch von 220 ml/Tier korrespondiert gut mit dem Futterverbrauch. Die Legeleistung betrug 89 % im Herdenmittel. Hiermit wurden die Züchtervorgaben für Weißleger weitgehend erreicht.

Die äußere Eiqualität ist aufgrund eines unmittelbaren Verbringens aus dem Tierbereich und geringer Anzahl verlegter Eier gut. Circa 98 % der Eier konnten als A-Ware vermarktet werden.

Während die Herde 2008/2009 ein ausgeglichenes Verhalten und einen guten Gefiederzustand bis in das letzte Haltungsdrittel zeigte, war die nachfolgend eingestellte Herde deutlich unruhiger und wies bereits nach dem ersten Haltungsdrittel deutliche Beschädigungen am Gefieder auf. Eine primäre Ursache hierfür kann aus den Untersuchungsdaten nicht hergeleitet werden. Entsprechend der Literaturbefunde nimmt die Anwesenheit von Hähnen in Hennenherden einen gerichteten Einfluss auf das Sozialverhalten in der Herde. Ein direkter Kannibalismus wurde nicht beobachtet. Einen positiven Einfluss hierauf nimmt das generelle Schnabeltouchieren.

Eine Schädnerbekämpfung erfolgte regelmäßig. Mit Ende der Stallbelegungszeit trat die rote Vogelmilbe z. T. deutlich in Erscheinung. Hierin werden keine Unterschiede zu den bereits untersuchten Bodenhaltungen gesehen.

4.1.2 Bodenhaltungssystem H 3

Die Hennen im Bodenhaltungssystem H 3 wurden mit der 18. Lebenswochen in das Haltungssystem eingestallt. Die Hennen erreichten zwischen der 23. Lebenswoche und 25. Lebenswoche die Legereife. Die Tierverluste lagen unter 3 %. Die Legeleistung betrug 93 % im Herdenmittel. Hiermit wurden die Züchtervorgaben erreicht. Die äußere Eiqualität ist hier ebenfalls gut. Die Hennen in der Herde zeigten ein weitgehend ausgeglichenes Verhalten. Der Gefiederzustand war gut. In **Abbildung 11** ist der Herdenzustand kurz vor Abschluss der Messungen dokumentiert.



Abbildung 11: Hennenherde zum Ende der Untersuchungen

Ein direkter Kannibalismus wurde auch hier nicht beobachtet. Eine Schädnerbekämpfung erfolgte regelmäßig. Mit Ende der Stallbelegungszeit trat die rote Vogelmilbe in Erscheinung.

4.2 Lokomotionsverhalten

Das Lokomotionsverhalten der Hennen im Bodenhaltungssystem N 60 sollte sich aufgrund der am Voliereblock in den oberen Haltungsebenen angebrachten Absperrgitter gegenüber klassischer Reihenvolieren ändern. Rein konstruktiv verhindern diese Gitter einen direkten Ortswechsel zwischen Voliereblock und Scharrraum. Die Tiere müssen etagenweise innerhalb der Blöcke die Höhendifferenzen überwinden. Aufgrund des hierfür zugemessenen Raumes erfolgt das ausschließlich „hüpfend“ und ohne Flügelschlag. Hierdurch werden Luftturbulenzen, die Ursache einer erhöhten luftgetragenen Staubkonzentration sein können, weitgehend unterbunden. Es ist im Vergleich zu einer Reihenvoliere ohne diese Abgrenzung von Bedeutung, ob und wenn, wie häufig, ein direkter Ortswechsel zwischen den oberen Ebenen im Voliereblock und dem Scharrraum erfolgt. Die Auswertungen dieser Bildsequenzen zeigen, dass auf einer Auswertungslänge von ca. 10 m bis zu zwei direkte Ortswechsel je Minute vom Voliereblock in den Scharrraum erfolgen. Die Distanz von ca. 3 m müssen die Hennen mit Unterstützung der Flügel überwinden. In entgegengesetzter Richtung wurden keine Lokomotionen registriert. Diesen Weg in die oberen Funktionsebenen der Voliereblöcke überwinden die Tiere laufend bzw. hüpfend innerhalb der Blöcke. Die Anflugstange auf der unteren Ebene des Voliereblocks ist in beiden Volieresystemen barrierefrei von den Hennen nutzbar. Der hier erfolgende Ortswechsel zwischen Voliereblock und Scharrraum erfolgt mit vergleichbarem Lokomotionsverhalten.

Es wurden bis zu 20 derartige Ortswechsel je Minute auf einer Auswertungsdistanz von 10 m registriert. Hierbei ist hervorzuheben, dass die in ca. 0,4 m Höhe angeordnete Anflugstange in der Abwärtsbewegung weitgehend hüpfend ohne Einsatz der Flügel verlassen wird. Vergleichbar zwischen den Systemen erfolgt die Aufwärtslokomotion mit Einsatz der Flügel. Hieraus sind vergleichbare Luftturbulenzen mit evtl. Staubaufwirbelung abzuleiten. Zusammenfassend kann hieraus geschlussfolgert werden, dass die differente Bauweise deutlich das Lokomotionsverhalten der Hennen beeinflusst. Inwieweit hierdurch die Staubemissionen beeinflusst werden, wird im Folgenden dargestellt. Eine detaillierte ethologische Untersuchung des

Lokomotionsverhaltens erfordert einen erheblich größeren Aufwand an Technik und Zeit. Dieser wurde im Rahmen dieser Untersuchungen plangemäß nicht eingeräumt. Somit können hiermit nur tendenzielle Aussagen getroffen werden.

4.3 Außen- und Stallklima

4.3.1 Bodenhaltungssystem N 60

In **Tabelle 12** werden die mittleren Kenndaten, deren Auslenkungen der Stalllufttemperatur und der relativen Luftfeuchte sowie der Lufttemperatur im Umfeld des Stalls mit dem Bodenhaltungssystem N 60 innerhalb der Messzeitfenster in den drei Klimaklassen zusammengestellt.

Tabelle 12: Kenndaten der Lufttemperatur im Stall und Außenumfeld sowie der relativen Luftfeuchte im Stall während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Temperatur		relat. Luftfeuchte	Anzahl
		außen	Stall	Stall	
		[°C]		[%]	[h-Mittel]
Winter	Max.	9,8	19,1	82	900
	75 %	2,1	17,7	75	
	Median	-0,2	17,4	72	
	Mittelwert	-0,9	17,3	72	
	25 %	-2,0	17,1	69	
	Min.	-23,9	10,9	59	
Übergang	Max.	25,8	25,1	92	685
	75 %	15,1	19,1	78	
	Median	11,5	17,9	73	
	Mittelwert	11,8	18,5	72	
	25 %	8,8	17,4	68	
	Min.	1,3	16,2	49	
Sommer	Max.	33,9	32,4	90	1.080
	75 %	22,4	23,6	75	
	Median	18,6	21,3	66	
	Mittelwert	19,2	21,9	65	
	25 %	16	19,7	58	
	Min.	9,8	17,0	35	

Die Außentemperaturen am Stallstandort lagen im Mittel innerhalb der Messzeitfenster auf dem für die untersuchten Klimaklassen repräsentativen Niveau. Hiermit ist eine gesicherte Abbildung des differierten Lüftungsverhaltens zwischen den Klimaklassen erreicht.

Die relative Luftfeuchte im Stallraum lag im Mittel während der Messungen für alle Klimaklassen zwischen 65 % - 72 %. Das Minimum wurde erwartungsgemäß in der Klimaklasse „Sommer“ gemessen. Gegenüber den Vorbefunden eigener Untersuchungen in Volieresystemen für Legehennen rangiert die relative Luftfeuchte im Stall auf erhöhtem Niveau. Hierbei ist hervorhebenswert, dass keine Luftbefeuchtungsanlage zum Einsatz kam. Das mittlere Niveau lag innerhalb des Optimalbereiches für Legehennen zwischen 60 % - 80 %.

Die Stalllufttemperatur wurde im Mittel bei 17 - 18 °C gehalten. Aufgrund maximaler Auslenkungen auf bis zu 32 °C weichen die Kenndaten in der Klimaklasse „Sommer“ mit 22 °C im Mittel hiervon leicht ab. Hiermit werden mittlere Werte innerhalb des thermisch neutralen Temperaturbereiches für Legehennen zwischen 12 - 25 °C (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999; MÜLLER 2003) erreicht. Die Temperaturdifferenzen der mittleren Kenndaten lagen in der Klimaklasse „Sommer“ bei ca. 2 K. Der Standort liegt in der Sommertemperaturzone 2 (DIN 18910-1). Der Erwartungswert für die mittleren Außenlufttemperaturen in der Klimaklasse „Sommer“ >26 °C. Die einzuhaltende Temperaturdifferenz zwischen Stallinnenraum und Außenbereich sollte hier maximal 2 K betragen. Dadurch werden bautechnische Forderungen (DIN 18910-1) weitgehend eingehalten.

Unter den Stallgasen ist nach HENNENHALTUNGSVERORDNUNG die maximal zulässige Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration im Tierbereich geregelt. Ammoniak soll dauerhaft unter 20 ppm bzw. im Tierbereich unter 10 ppm liegen. Kohlendioxid soll 3.000 ppm nicht überschreiten. In **Tabelle 13** und **Tabelle 14** werden die mittleren Kennwerte dieser Gase im Stallraum und Zuluftstrom sowie deren Auslenkungen innerhalb der Messzeitfenster zusammengestellt.

Tabelle 13: Kenndaten der Ammoniakkonzentration im Stall, Abluftstrom und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Ammoniak		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m³]		[h-Mittel]
Winter	Max.	31,6	3,0	889
	75 %	15,1	1,6	
	Median/Mittelwert	10,8 / 11,7	1,4 / 1,4	
	25 %	7,1	1,2	
	Min.	2,4	0,7	
Übergang	Max.	15,9	3,2	635
	75 %	5,8	2,0	
	Median/Mittelwert	4,1 / 4,7	1,6 / 1,7	
	25 %	2,8	1,3	
	Min.	1,2	0,9	

Klimaklasse		Ammoniak		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Sommer	Max.	6,6	2,4	930
	75 %	2,1	1,3	
	Median/Mittelwert	1,4 / 1,6	1,0 / 1,0	
	25 %	0,9	0,6	
	Min.	0,3	0,2	

Tabelle 14: Kenndaten der Kohlendioxidkonzentration im Stall, Abluftstrom und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Kohlendioxid		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[g/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Max.	6,7	1,5	889
	75 %	4,8	0,9	
	Median/Mittelwert	4,3 / 4,4	0,8 / 0,8	
	25 %	3,8	0,8	
	Min.	2,9	0,7	
Übergang	Max.	3,6	1,0	635
	75 %	2,3	0,8	
	Median/Mittelwert	1,9 / 2,0	0,8 / 0,8	
	25 %	1,5	0,8	
	Min.	1,1	0,7	
Sommer	Max.	2,5	1,2	930
	75 %	1,4	0,8	
	Median/Mittelwert	1,2 / 1,3	0,8 / 0,8	
	25 %	1,1	0,7	
	Min.	0,9	0,7	

Innerhalb der Klimaklassen „Übergang“ und „Sommer“ wurden nur bei maximalen Auslenkungen der Ammoniakkonzentration im Stall die Höchstwerte tangiert. Die mittleren Kenndaten lagen deutlich unterhalb. Erwartungsgemäß wurden in der Klimaklasse „Winter“ die Höchstgrenzwerte z. T. im Maximum deutlich überschritten. Die mittleren Konzentrationen lagen hierdurch auf gegenüber den Klimaklassen „Sommer“ und „Übergang“ erhöhtem Niveau, jedoch weitgehend unterhalb der Grenzwerte. In bisherigen Untersuchungen, bestätigt durch Literaturbefunde, ist die primäre Ursache in einer erhöhten Sollwerttemperatur der Lüftungssteuerung zu suchen. Aufgrund der zu geringen Wärmeproduktion der Hennen ist eine Zusatzheizung zur Sicherung optimaler Stalllufttemperaturen bei ausreichender Luftwechselrate unverzicht-

bar. Diese kann beim gegenwärtigen Erlösniveau in der Eierproduktion betriebswirtschaftlich nicht realisiert werden. Mit einer mittleren Stalltemperatur von ca. 17 °C wird zwangsläufig bei temperaturabhängiger Steuerung die Luftwechselrate gemindert. Folgen sind erhöhte Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen. In eigenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass hier eine Solltemperatur unter 14 °C ausreichend Luftwechsel ermöglicht und die Stalllufttemperatur gut von den Hennen toleriert wird (LIPPMANN 2007; 2009).

Die Kohlendioxidkonzentrationen in der Klimaklasse „Winter“ bestätigen diese Aussage. Im Mittel lagen die Kennwerte unterhalb der Höchstgrenzwerte. Mit der Ausnahme maximaler Auslenkungen in der Klimaklasse „Winter“ deuten die Kohlendioxidkonzentrationen in der Stallluft auf eine ausreichende Belüftung des Stalls hin. Die Konzentrationen von Ammoniak und Kohlendioxid in der Zuluft befanden sich im Mittel auf erwartetem Niveau und ordnen sich gut in die Vorbefunde anderer Standorte ein.

In bisher untersuchten Legehennenställen nehmen die Lachgas- und Methankonzentrationen einen geringen Einfluss auf die Qualität der Stallluft (LIPPMANN 2007; 2009). Die mittleren Lachgaskonzentrationen in der Stallluft lagen in eigenen Untersuchungen von Bodenhaltungssystemen zwischen 0,4 mg/m³ - 1,1 mg/m³. Auf vergleichbarem Niveau lagen bisher auch die Zuluftkonzentrationen. Die bisher ermittelten mittleren Methankonzentrationen in der Stallluft variierten zwischen 1,0 - 5,0 mg/m³. Die Zuluftkonzentration korrespondiert mit der Stallluftkonzentration auf etwas niedrigerem Niveau. In **Tabelle 15** und **Tabelle 16** werden die mittleren Kennwerte der Lachgas- und Methankonzentration in der Stall- und Zuluft für die Klimaklassen zusammengestellt.

Tabelle 15: Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Lachgas		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Median/Mittelwert	0,4 / 0,5	0,6 / 0,6	889
Übergang		0,7 / 0,6	0,7 / 0,6	635
Sommer		0,5 / 0,5	0,5 / 0,5	930

Tabelle 16: Kenndaten der Methankonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Methan		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Median/Mittelwert	4,0 / 4,2	1,4 / 1,4	889
Übergang		2,7 / 2,7	1,9 / 1,8	635
Sommer		2,6 / 2,6	2,1 / 2,2	930

Die Kennwerte bestätigen weitgehend bisherige Vorbefunde eigener Untersuchungen und aus dem Schrifttum. Die mittlere Methankonzentration im untersuchten Stall rangierte während der Wintermessungen im oberen Bereich bisheriger Befunde. Eine primäre Ursache kann hierfür nicht benannt werden. Diese Konzentration ist jedoch eng an mikrobielle Aktivitäten im Einstreu- und Kotstapel gekoppelt. Die einwöchige Kotlagerung im Stall könnte hierfür mit Verantwortung tragen.

4.3.2 Bodenhaltungssystem H 3

Die Quartile der Kenndaten des Bodenhaltungssystems H 3 für die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte werden in der **Tabelle 17** zusammengestellt.

Tabelle 17: Kenndaten der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte im Stall und Umfeld der Hennenhaltung während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Temperatur		relat. Luftfeuchte	Anzahl
		außen	Stall	Stall	
		[°C]		[%]	[h-Mittel]
Winter	Max.	10,9	17,9	93	1.352
	75 %	3,1	15,5	81	
	Median	-0,6	14,2	79	
	Mittelwert	-0,9	13,4	79	
	25 %	-3,7	11,06	77	
	Min.	-16,8	6,0	66	
Übergang	Max.	24,7	26,0	86	754
	75 %	14,1	18,5	75	
	Median	10,6	17,3	70	
	Mittelwert	11,1	17,1	69	
	25 %	7,7	14,7	65	
	Min.	2,2	10,4	35	
Sommer	Max.	25,6	29,1	88	360
	75 %	20,0	22,6	71	
	Median	16,0	21,0	67	
	Mittelwert	16,3	20,9	65	
	25 %	12,8	19,4	59	
	Min.	6,0	12,7	43	

Die Außentemperatur am Haltsort hat innerhalb der Messstage in den Klimaklassen eine erhebliche Variationsbreite. Im Stundenmittel rangierte sie zwischen -16,8 °C und 25,6 °C. Damit konnte das Regelverhalten der Lüftungsanlage in einem weiten Temperaturbereich abgebildet werden. Im Mittel der Klimaklasse „Winter“ war die Außentemperatur mit -0,9 °C deutlich unter dem angestrebten Temperaturbereich. 75 % der Kennwerte lagen bei <3,1 °C. Der Messbereich in der Klimaklasse „Übergang“ hatte im

Mittel eine Außentemperatur von 11,1 °C. Innerhalb des Messzeitfensters für die Klimaklasse „Sommer“ erreichte die mittlere Außentemperatur das angestrebte Niveau von über 18 °C nicht. Es konnte jedoch gesichert werden, dass 25 % der Stundenmittelwerte >20 °C waren und unter Beachtung der Regelbereiche der Lüftungsanlage ein maximaler Luftwechsel erfolgte. Zur Bewertung des Sommerbetriebes wurden nur Tage herangezogen, die im Tagesverlauf ≥ 20 °C erreichten.

Betrachtet man hierbei die Stalltemperatur, so ist festzuhalten, dass diese im Mittel zwischen 13 - 21 °C und somit weitgehend innerhalb des Toleranzbereiches für Legehennen lag. Hierbei wurden im Maximum 29 °C und im Minimum 6 °C ermittelt. Gegenüber den Vorbefunden aus vergleichbaren Haltungen lag die relative Luftfeuchte im Stallraum im Mittel etwas oberhalb der Erwartungswerte. Im Mittel der gemessenen Klimaklassen betrug die relative Luftfeuchte zwischen 65 - 79 %. Die Werte lagen zu 25 % oberhalb des Optimalbereiches (60 - 80 %). Diese hohen relativen Luftfeuchten wurden insbesondere in der Klimaklasse „Winter“ erreicht und sind eng an die geringe Luftwechselrate gebunden.

Schwerpunkt der Untersuchungen waren die gasförmigen Stallraumlasten von Ammoniak und Kohlendioxid. Lachgas und Methan haben in Legehennenställen zumeist einen nachgeordneten Einfluss und werden deshalb nur als Mittelwerte zusammengestellt. In **Tabelle 18** und **Tabelle 19** sind die Kennwerte für Ammoniak und Kohlendioxid im Stallraum und in der Zuluft für die untersuchten Messzeitfenster zusammengestellt.

Tabelle 18: Kenndaten für die gasförmige Stallraumlast Ammoniak während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Ammoniak		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Max.	23,6	4,2	1.352
	75 %	11,8	1,9	
	Median/Mittelwert	8,9 / 9,3	1,7 / 1,7	
	25 %	6,8	1,4	
	Min.	1,8	0,7	
Übergang	Max.	7,9	1,6	712
	75 %	3,5	1,1	
	Median/Mittelwert	1,2 / 2,1	0,9 / 0,8	
	25 %	0,7	0,4	
	Min.	0,3	0,2	
Sommer	Max.	2,0	1,4	286
	75 %	1,0	0,8	
	Median/Mittelwert	0,7 / 0,8	0,5 / 0,5	
	25 %	0,5	0,3	
	Min.	0,0	0,0	

Tabelle 19: Kenndaten für die gasförmige Stallraumlast Kohlendioxid während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Kohlendioxid		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[g/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Max.	8,4	1,6	1.352
	75 %	4,7	0,8	
	Median/Mittelwert	3,6 / 3,9	0,8 / 0,8	
	25 %	2,7	0,7	
	Min.	1,3	0,7	
Übergang	Max.	4,3	1,3	712
	75 %	2,3	1,0	
	Median/Mittelwert	1,6 / 1,9	0,9 / 0,9	
	25 %	1,3	0,8	
	Min.	1,0	0,7	
Sommer	Max.	3,6	1,3	286
	75 %	1,6	1,0	
	Median/Mittelwert	1,5 / 1,5	0,9 / 0,9	
	25 %	1,3	0,9	
	Min.	1,1	0,8	

Die Kennwerte bestätigen aktuelle Untersuchungen an modernen Voliereanlagen. Das Konzentrationsniveau in der Zuluft (Luftkonzentration im Umfeld des Stalls) lag zwischen 0,5 mg/m³ - 1,0 mg/m³. Gegenüber eigenen Vorbefunden an vergleichbaren Standorten ist das nachgewiesene Niveau etwas abgesenkt, an Standorten mit Außenklimabereich betrug das Niveau ca. 50 %. Während der Klimaklassen „Übergang“ und „Sommer“ war das Konzentrationsniveau an Ammoniak in der Stallluft vergleichbar mit bereits gemessenen Hennenställen. In der Klimaklasse „Winter“ stieg der Ammoniakgehalt deutlich an und erreichte im Mittel mit 9,3 mg/m³ das Niveau der Vorbefunde aus Hennenställen mit stallseitiger Kotlagerung. Das mittlere Konzentrationsniveau lag mit 12,2 ppm etwas oberhalb der Richtwerte der HENNEHALTUNGSVERORDNUNG. Im Maximum wurden bis 31 ppm erreicht und 25 % der Messwerte lagen oberhalb von 15 ppm.

Für diese Erhöhung können zwei primäre Ursachen benannt werden. Das Messzeitfenster in der Klimaklasse „Winter“ war von einem deutlich abgesenkten Außentemperaturniveau gekennzeichnet. Hierauf reagierte die über die Stalltemperatur gesteuerte Lüftungsanlage ohne eine Zusatzheizung im Stall und bei einer Sollwert-Temperatur von 20 °C mit einer deutlich verminderten Lüfrate. Im Kontext mit dem intermittierenden Betrieb des Lüfters und der hohen Lüfterleistung wurde zwar im Stundenmittel die benötigte Minimallüfrate erreicht, die Betriebsstunde war jedoch von einem hohen Zeitanteil ohne Luftwechsel ge-

kennzeichnet. Hierdurch erhöhte sich im Zusammenspiel mit der relativ hohen relativen Luftfeuchte im Stall (im Mittel 79 %) die Ammoniakkonzentration in der Stallluft. Deshalb ist hier ein Ansatzpunkt zu einer Absenkung der Ammoniakkonzentration in der Stallluft in der Klimaklasse „Winter“ gegeben.

Während die Ammoniakkonzentration im Stallumfeld (Zuluft) von Standort zu Standort variierte, zeichnete sich ein relativ homogenes Bild zu den Luftkonzentrationen an Lachgas, Methan und Kohlendioxid zwischen den bisher gemessenen Standorten ab. Die gemessene Kohlendioxidkonzentration im Stallumfeld lag in der Zuluft aus dem Stallumfeld im Mittel zwischen 380 - 450 ppm (vgl. **Tabelle 19**). Der Volumenanteil von Kohlendioxid in der Luft betrug ca. 0,038 %. Je geringer die Luftrate im Stall wurde, desto größer wurde auch die Differenz zwischen Zu- und Abluftkonzentration. In der Klimaklasse „Sommer“ war die Abluftkonzentration an Kohlendioxid im Mittel 40 % höher gegenüber der Zuluft; in der Klimaklasse „Übergang“ ca. doppelt so hoch. Demgegenüber waren die Abluftkonzentrationen in der Klimaklasse „Winter“ im Mittel viermal so hoch. Die hier gemessenen Stallluftkonzentrationen ordnen sich in den oberen Bereich bisheriger Befunde ein. Über 75 % der Stundenmittelwerte lagen unterhalb des Richtwertes von 3.000 ppm. Diese Befunde werden ebenfalls von Messdaten aus vergleichbaren Hennenhaltungen bestätigt. Insgesamt weist die sonst niedrige Stallluftkonzentration an Kohlendioxid auf eine ausreichende Luftwechselrate hin.

In **Tabelle 20** und **Tabelle 21** sind die Lachgas- und Methankonzentrationen in der Stall- und Zuluft zusammengestellt.

Tabelle 20: Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Lachgas		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Median/Mittelwert	0,6 / 0,6	0,6 / 0,6	1.352
Übergang		0,6 / 0,6	0,6 / 0,6	712
Sommer		0,6 / 0,6	0,7 / 0,7	286

Tabelle 21: Kenndaten der Methankonzentration im Stall und in der Zuluft während der Messzeitfenster

Klimaklasse		Methan		Anzahl
		Stall	Zuluft	
		[mg/m ³]		[h-Mittel]
Winter	Median/Mittelwert	5,5 / 3,1	1,5 / 1,6	1.352
Übergang		2,7 / 3,5	1,7 / 2,8	712
Sommer		1,6 / 2,9	1,1 / 2,5	286

Die Lachgaskonzentration in der Stallluft lag auf dem Umfeldniveau und ordnet sich gut in die Vorbefunde für vergleichbare Haltungssysteme ein. Auf einem leicht erhöhten Niveau lag die Methankonzentration gegenüber vorliegender Messdaten zu vergleichbaren Systemen. Die Methanproduktion im Stallraum war auf niedrigem Niveau. Auch diese Ergebnisse ordnen sich in die bisherigen Befunde gut ein.

4.4 Abluftvolumenstrom und Emissionen

4.4.1 Abluftvolumenstrom

4.4.1.1 Bodenhaltungssystem N 60

Neben dem Konzentrationsniveau der Stallraumlasten in der Stall- und Abluft nehmen die Luftwechselraten direkten Einfluss auf das Emissionsverhalten der Hennenställe. Zum einen leiten sie die entstehenden Stallraumlasten ab. Zum anderen verursachen sie durch die Beeinflussung des Partialdrucks über den gelagerten Exkrementen beispielsweise eine verstärkte Ammoniakfreisetzung aus den Exkrementen oder erschweren mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten eine Staubsedimentation im Stallraum. Deshalb ist eine Optimierung der Luftwechselrate zur Sicherung einer tiergerechten Stallluftqualität bei gleichzeitiger Geringhaltung der Abluffrachten wesentliches Ziel des Stallklimamanagements. In der nachfolgenden **Tabelle 22** sind wichtige Kenndaten zum Luftwechsel im Stallraum zusammengestellt.

Tabelle 22: Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster

Klimaklasse	Druck- differenz [Pa]	Volumenstrom					
		[m³/h]			[m³/Tpl.·h]		
	Median	Min.	Median Mittelwert	Max.	Min.	Median Mittelwert	Max.
Winter	-11	2.113	8684 8895	26.657	0,1	0,6 0,6	1,8
Übergang	-12	7.946	51309 54193	106.828	0,5	3,4 3,6	7,1
Sommer	-17	30.672	86339 83472	107.363	2,0	5,8 5,6	7,2

Der Abluftstrom wurde zu 50 % (Klimaklasse „Sommer“) bis >90 % (Klimaklasse „Winter“) über die Abluftkamine am hinteren Stallende abgeführt. Bis zu 12 % der Abluft wurde über den Wandlüfter in der hinteren Giebelwand – überwiegend in der Klimaklasse „Sommer“ – gefördert. Lediglich 10 - 38 % des Abluftstromes verließ den Stallraum über die drei Abluftkamine entlang des Firsts. Demnach folgt das Lüftungssystem überwiegend einem Tunnellüftungsprinzip. Entgegen eines klassischen Tunnellüftungsprinzips sind neben den Zuluftöffnungen in der gegenüberliegenden Giebelwand auch weitere im Traufbereich entlang der Stalllängsachse angeordnet. Im Zusammenspiel mit den Abluftkaminen entlang des Firsts können hier je nach Betriebszustand der Lüftungsanlage Probleme bei der Stalldurchströmung auftreten, indem aufgrund von Strömungswiderständen Teilareale des Stalles nicht mehr durchlüftet werden. Diese Sachverhalte sind jedoch nicht Gegenstand vorliegender Analysen. Die Abluftkamine mit Ventilatoren haben einen

Nenndurchmesser von 820 mm. Bei konstantem Unterdruck im Stall von -20 Pa kann über jeden Kamin ca. 20.000 m³/h Abluft befördert werden (BACHMANN & FROSCHE 2004). Hieraus ergibt sich ein Gesamtstrom von 120.000 m³/h. Der Seitenwandlüfter mit seiner temporär deutlich begrenzten Einsatzzeit kann im Lüftungssystem nur als zusätzliches Abluftförderpotenzial betrachtet werden. Aufgrund von Druckverhältnissen zwischen Stall und Außenbereich sowie steuertechnischen Vorgaben ist mit einer Gesamtförderleistung um 100.000 m³/h zu rechnen. Das entspricht einem Luftwechsel von ca. 6,6 m³/Tpl.·h. Damit werden die geforderten 5,8 m³/Tpl.·h ausreichend gesichert. Die Maximalluftstraten in den Klimaklassen „Sommer“ und „Übergang“ bestätigen diese theoretische Annahme. Weiterhin zeigt die gute Übereinstimmung die Plausibilität der Kenndaten zum Volumenstrom. Die Abluftströme sichern einen mittleren Unterdruck in Höhe von ca. -13 Pa im Stall. Hiermit kann von einer stabilen Frischluftversorgung ausgegangen werden. Die für die Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ repräsentativen mittleren Luftvolumenströme betragen 8.895 m³/h, 54.193 m³/h und 83.472 m³/h. Diese Kennwerte werden für die Berechnung der Massenströme zugrunde gelegt.

4.4.1.2 Bodenhaltungssystem H 3

Entsprechend der territorialen Klassierung nach DIN 18910-1 liegt der untersuchte Stallstandort in der Sommertemperaturzone 1. Aufgrund des Anstiegs der Sommertemperaturen >26 °C sollten Stallbau und Lüftung so geplant sein, dass die Stallluft maximal 2 K über der Außenluft liegt. Hierfür sollte die Lüftung eine Luftwechselrate von 5,8 m³/Tpl.·h vorhalten. Bei einem Unterdruck im Stall von ca. -20 Pa kann mit den vier giebelseitig angeordneten Wandventilatoren ein Luftvolumenstrom von ca. 10 m³/Tpl.·h (ca. 130.000 m³/h) erzeugt und über den Monoschacht in das Stallumfeld verbracht werden. Der Unterdruck im Stall liegt im Mittel innerhalb des Messzeitfensters um -1 Pa. Somit ist die theoretisch mögliche Luftwechselrate erreichbar.

In **Tabelle 23** sind die Kenndaten für den ermittelten Luftvolumenstrom je Stunde am oberen Kaminaustritt des Monoschachtes zusammengestellt.

Tabelle 23: Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster

Klimaklasse	Druck-differenz [Pa]	Volumenstrom					
		[m ³ /h]			[m ³ /Tpl.·h]		
	Median	Min.	Median Mittelwert	Max.	Min.	Median Mittelwert	Max.
Winter	0	8.331	17.936 18.816	33.645	0,67	1,44 1,51	2,69
Übergang	-1	18.766	33.669 38.319	79.987	1,50	2,69 3,07	6,40
Sommer	-1	25.207	51.989 57.335	81.434	2,02	4,16 4,59	6,52

Der Luftwechsel im Stall war in den Messzeitfenstern der Klimaklassen „Sommer“ und „Übergang“ aufgrund der mittleren Unterdruckverhältnisse im Stallraum gesichert. In der Klimaklasse „Winter“ konnte im Mittel kein Unterdruck im Stallraum nachgewiesen werden. Die positive Interpretation ist, dass Ab- und Zuluft sich ausgleichen und somit ein Luftaustausch im Stall vorliegt. Hierauf verweisen auch die Mindestluftstraten in dieser Klimaklasse (vgl. **Tabelle 23**). Aufgrund des intermittierenden Lüfterbetriebes, der bei Stillstand unabhängig vom Öffnungsgrad der Zuluftventile einen gerichteten Luftaustausch unterbindet, kommt es zu einem hohen Zeitanteil ohne einen Luftaustausch im Stall. Die Folgen wurden unter Kapitel **4.3.2 Bodenhaltungssystem H 3** diskutiert. Ein substituierender Luftaustausch (Thermik) ist in diesem Betriebszustand der Lüftungsanlage nur über die leicht geöffneten Zuluftflächen aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft zu unterstellen. Hierfür wurde kein Nachweis erbracht. Mindest- und Maximalluftstraten wurden im Stundenmittel weitgehend erreicht. Der Leistungsverlust aufgrund des Strömungsweges und der integrierten Strömungswiderstände betrug bei voller Leistung der Lüftungsanlage ca. 35 % (Max.: ca. 82.000 m³/h – Soll: ca. 125.000 m³/h). Die für die Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ repräsentativen mittleren Luftvolumenströme betragen 18.816 m³/h, 38.319 m³/h und 57.335 m³/h. Diese Kennwerte wurden für die Berechnung der Massenströme zugrunde gelegt.

4.4.2 Emissionen gasförmiger Stallraumlasten

4.4.2.1 Bodenhaltungssystem N 60

Auf der Basis der Abluftkonzentrationen und der mittleren Volumenströme wurden die Massenströme je Stunde innerhalb der Messzeitfenster berechnet. Hieraus wurden auf der Basis der Stundenanzahl die jeweiligen Klimaklassen für diese Emissionsfaktoren berechnet. Die Summe dieser Faktoren ergibt die jährlichen Frachten je Tierplatz. Die Faktoren wurden mit und ohne Abzug der Zuluft- von der Abluftkonzentration berechnet. Aufgrund des hier abgeschlossenen Stallraumes und der deutlichen räumlichen Trennung von Abluftquellen und Zuluftbereichen kann davon ausgegangen werden, dass die Zuluftkonzentration nicht von der Abluffahne beeinflusst wurde. Zur Wertung des Emissionsverhaltens des Stalls sind deshalb die von der Vorbelastung bereinigten Kenndaten heranzuziehen. In **Tabelle 25**, **Tabelle 26** und **Tabelle 27** sind diese Kenndaten zusammengestellt.

Tabelle 24: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Ammoniak				Anzahl (M-strom/ E-Faktor)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vor- belastung	ohne Abzug Vorbelastung	[h-Mittel]
	[g/h]		[g/Tpl.-KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	74,9 / 86,6	86,5 / 99,1	10,8 / 12,5	12,4 / 14,3	889/2.160
Übergang	203,4 / 212,7	278,7 / 297,4	59,6 / 62,3	81,6 / 87,1	635/4.392
Sommer	75,0 / 88,3	154,2 / 166,7	11,0 / 13,0	22,7 / 24,7	930/2.208
Jahr			81,4 / 87,8	116,7 / 125,9	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 25: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Lachgas				Anzahl (M-strom/ E-Faktor)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vor- belastung	ohne Abzug Vorbelastung	[h-Mittel]
	[g/h]		[g/Tpl.-KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	0,0 / 0,0	3,6 / 3,7	0,0 / 0,0	0,5 / 0,5	889/2.160
Übergang	0,0 / 0,0	29,7 / 35,1	0,0 / 0,0	8,7 / 10,3	635/4.392
Sommer	0,0 / 0,0	44,0 / 43,8	0,0 / 0,0	6,5 / 6,4	930/2.208
Jahr			0,0 / 0,0	15,7 / 17,2	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 26: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Methan				Anzahl (M-strom/ E-Faktor) [h-Mittel]
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vor- belastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[g/h]		[g/Tpl.·KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	22,7 / 23,2	34,7 / 38,6	3,3 / 3,3	5,0 / 5,1	889/2.160
Übergang	35,7 / 37,1	130,0 / 141,7	10,5 / 10,9	38,1 / 41,5	635/4.392
Sommer	44,8 / 46,6	232,4 / 226,4	6,6 / 6,9	34,2 / 33,3	930/2.208
Jahr			20,4 / 21,1	77,3 / 79,9	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 27: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Kohlendioxid				Anzahl (M-strom/ E-Faktor) [h-Mittel]
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vor- belastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[kg/h]		[kg/Tpl.·KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	32,0 / 32,0	38,4 / 38,6	4,6 / 4,6	5,5 / 5,5	889/2.160
Übergang	53,1 / 52,4	92,6 / 92,9	15,6 / 15,3	27,1 / 27,2	635/4.392
Sommer	49,6 / 49,9	113,6 / 112,3	7,3 / 7,3	16,7 / 16,5	930/2.208
Jahr			27,5 / 27,2	49,3 / 49,3	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Aus dem untersuchten Stall wurden 88 g/Tpl.·a Ammoniak in das Stallumfeld verfrachtet. Damit liegt der Kennwert unterhalb des Emissionsfaktors für Volieresysteme aus der TA Luft (91 g/Tpl.·a). Gegenüber bisherigen Vorbefunden (zwischen 41 - 57 g/Tpl.·a) für vergleichbare Bodenhaltungssysteme liegt die hier ermittelte Fracht deutlich darüber. Die primäre Ursache hierfür wird in der nur einmal wöchentlich durchgeführten Beräumung der Kotbänder gesehen. In den Vergleichssystemen wurde der Kot zweimal je Woche aus dem Stall gebracht. Eine zweite Ursache bildet die wegen technisch-konstruktiver Mängel nicht betriebene Kotbandbelüftung (Kotbandtrocknung). Aus bisherigen Befunden zur Ammoniakfracht aus Volierehaltungssystemen für Legehennen ist abzuleiten, dass ein größerer Einfluss auf die Reduktion von Ammoni-

akkonzentration und -massenstrom gegenüber der Kotbandbelüftung über das häufigere Verbringen des Kotes aus dem Stall resultiert. Literaturbefunde hingegen weisen der Kotbandbelüftung deutliche Reduktionseffekte zu. Aufgrund der technischen Ausstattung des Stalls wurde das Lüftungsregime zu Beginn der Messungen zeitlich begrenzt mit und ohne Kotbandbelüftung untersucht.

In **Tabelle 28** sind wichtige Kenndaten zusammengestellt.

Tabelle 28: Kenndaten zur Konzentration und Emission von Ammoniak mit und ohne Betrieb der Kotbandbelüftung

Kotband-trocknung	Konzentration		Volumen-strom	Emission	MZF
	Ammoniak	Kohlendioxid		Ammoniak	
	Stallluft				
	[mg/m ³]			[m ³ /h]	[g/h]
	Median/Mittelwert			Median/Mittelwert	
mit	0,56 / 1,23	1.113 / 1.235	87.656	68,9 / 92,0	6
ohne	1,42 / 1,70	1.262 / 1.300	80.529	127,7 / 150,9	17

MZF = Messzeitfenster

Die Befunde ordnen sich gut in bisherige Literaturbefunde ein. Bei vergleichbaren Kohlendioxidgehalten in der Stallluft lagen die Ammoniakkonzentrationen mit einem Einsatz der Belüftung des Kotbandes ca. 30 % unter den Vergleichsbefunden ohne Belüftung. Der Ammoniakmassenstrom erreichte mit Einsatz der Kotbandbelüftung gegenüber fehlender Belüftung nur das annähernd halbe Niveau. Aufgrund der deutlichen Differenz und der annähernd vergleichbaren Kohlendioxidgehalte kann festgehalten werden, dass der Einfluss des zeitlichen Versatzes der Untersuchungsansätze unterzuordnen ist. Hiermit ist die Möglichkeit im Stall vorhanden, die bisher ermittelten Frachten an Ammoniak noch deutlich abzusenken. Es kann postuliert werden, dass eine zweimalige Kotbandräumung je Woche vergleichbare Effekte erzielt. Dies ist jedoch durch Untersuchungen zu überprüfen.

Die Emissionsfaktoren (mit Abzug der Vorbelastung) betragen für

- Distickstoffoxid (Lachgas) 0 g/Tpl.·a,
- Methan 21,1 g/Tpl.·a
- Kohlendioxid 27,2 kg/Tpl.·a.

Ohne den Abzug der Vorbelastung über die Zuluft lagen Lachgas und Methan mit 17,2 g/Tpl.·a bzw. 79,9 g/Tpl.·a auf dem Niveau eigener Vorbefunde zu Bodenhaltungssystemen (LIPPMANN 2009). Die Kohlendioxidfracht (mit Abzug der Außenluftkonzentration) ist geringer gegenüber den Vorbefunden aus einer vergleichbaren Hennenhaltung (LIPPMANN 2007).

4.4.2.2 Bodenhaltungssystem H 3

Die ermittelten Stundenwerte der Gaskonzentrationen in den Abluftströmen der Hennenhaltung und die dazugehörigen stündlichen Volumenströme im Messzeitfenster ergeben die in **Tabelle 29**, **Tabelle 30**, **Tabelle 31** und **Tabelle 32** zusammengestellten Kennwerte für die jährlichen Frachten aus dem Bodenhaltungssystem H 3. Hierbei wurden Median- und Mittelwert gegenübergestellt. Bei den weiteren Bewertungen bildet der Mittelwert die Basis. Weiterhin wurden die Kennwerte mit und ohne Abzug einer Vorbelastung der Zuluft mit dem jeweiligen Gas berechnet und dargestellt.

Tabelle 29: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Ammoniak				Anzahl (M-strom/ E-Faktor) [h-Mittel]
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[g/h]		[g/Tpl.·KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	86,5 / 95,1	116,3 / 126,5	15,0 / 16,4	20,1 / 21,9	1.352 / 2.160
Übergang	25,3 / 34,2	54,3 / 62,6	8,9 / 12,0	19,1 / 22,0	712 / 4.392
Sommer	17,5 / 19,1	45,9 / 49,3	3,1 / 3,4	8,1 / 8,7	286 / 2.208
Jahr			26,9 / 31,8	47,3 / 52,6	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 30: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Lachgas				Anzahl (M-strom/ E-Faktor) [h-Mittel]
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[g/h]		[g/Tpl.·KK]		
Median/Mittelwert					
Winter	0,0 / 0,2	10,3 / 10,5	0,0 / 0,0	1,8 / 1,8	1.352 / 2.160
Übergang	0,0 / 0,2	21,0 / 23,3	0,0 / 0,0	7,4 / 8,2	712 / 4.392
Sommer	0,0 / 0,3	34,8 / 37,1	0,0 / 0,1	6,2 / 6,6	286 / 2.208
Jahr			0,0 / 0,2	15,3 / 16,6	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 31: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Methan				Anzahl (M-strom/ E-Faktor)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[g/h]		[g/Tpl.-KK]		[h-Mittel]
Median/Mittelwert					
Winter	20,5 / 21,9	48,1 / 50,7	3,6 / 3,8	8,3 / 8,8	1.352 / 2.160
Übergang	28,4 / 31,0	83,9 / 137,7	10,0 / 10,9	29,5 / 48,4	712 / 4.392
Sommer	31,8 / 35,0	115,4 / 168,9	5,6 / 6,2	20,4 / 29,8	286 / 2.208
Jahr			19,2 / 20,9	58,2 / 87,0	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Tabelle 32: Emissionsfaktoren mit und ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Kohlendioxid				Anzahl (M-strom/ E-Faktor)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	mit Abzug Vorbelastung	ohne Abzug Vorbelastung	
	[kg/h]		[kg/Tpl.-KK]		[h-Mittel]
Median/Mittelwert					
Winter	36,1 / 36,6	50,1 / 50,1	6,2 / 6,3	8,7 / 8,8	1.352 / 2.160
Übergang	41,0 / 41,3	68,9 / 70,0	14,4 / 14,5	24,2 / 24,6	712 / 4.392
Sommer	38,8 / 39,7	79,1 / 82,6	6,9 / 7,0	14,0 / 14,5	286 / 2.208
Jahr			27,5 / 24,8	46,9 / 47,9	

M-strom = Emissionsmassenstrom, E-Faktor = Emissionsfaktor

Die Anzahl der Stundenmittelwerte in der letzten Spalte beziehen sich auf die Messreihen zum Massenstrom und die zur Kalkulation der Emissionsfaktoren zu Grunde gelegten Stunden innerhalb der Klimaklassen. Bei der jährlichen Gesamtfracht wurde ein Stallbetrieb von 365 Tagen unterstellt. Aufgrund der Serviceperiode, die mindestens 14 Tage im Jahr in Anspruch nimmt, liegt der anzusetzende Wert ca. 4 % unterhalb des ausgewiesenen Wertes.

Der Emissionsfaktor für Ammoniak lag ohne Abzug einer Vorbelastung bei 53 g/Tpl.-a. Unter Berücksichtigung einer Vorbelastung aus dem Stallumfeld reduziert dieser sich um 40 %. Aufgrund der weitgehenden Abtrennung des Stallraumes vom Stallumfeld (keine Außenklimabereiche) und des Abzugs des jeweils

niedrigeren Messwertes im Zuluftbereich (zwei Messstellen innerhalb alternativer [Windrichtung] Anströmungskorridore) ist es zu rechtfertigen, bei gesonderter Betrachtung des Stalls den Faktor nach Abzug der Vorbelastung zu verwenden. Der in Sachsen benutzte Faktor von 56 g/Tpl.·a ist damit für diesen Stall zu hoch. Der hier ermittelte mittlere Massenstrom ordnet sich in der unteren Bereich bisheriger Befunde aus Hennenställen mit Bodenhaltungssystemen ein. Ein weiteres Reduktionspotenzial kann in der Optimierung der Lüftung unter Winterbedingungen gesehen werden.

Ebenso ordnen sich die Emissionsfaktoren für Lachgas, Methan und Kohlendioxid in die bisherigen Befunde gut ein. Im Gegensatz zu Ammoniak, Lachgas und Methan wurde beim Kohlendioxid generell eine Konzentration in der Zuluft in Höhe von 381 ppm (748 mg/m³) abgezogen. Für den gemessenen Stall ergeben sich folgende jährliche Frachten:

- Ammoniak 53 g/Tpl.·a
- Lachgas 17 g/Tpl.·a
- Methan 87 g/Tpl.·a
- Kohlendioxid 48 kg/Tpl.·a

4.4.3 Emissionen von Staub und Geruch

4.4.3.1 Bodenhaltungssystem N 60

Die Messungen zur Bestimmung der Staubkonzentrationen im Abluftstrom erfolgten in wenigen zeitlich eng begrenzten Messzeitfenstern. In der **Abbildung 12** ist ein typischer Verlauf der Abluftkonzentration wichtiger Staubfraktionen über zwei Tage dargestellt.

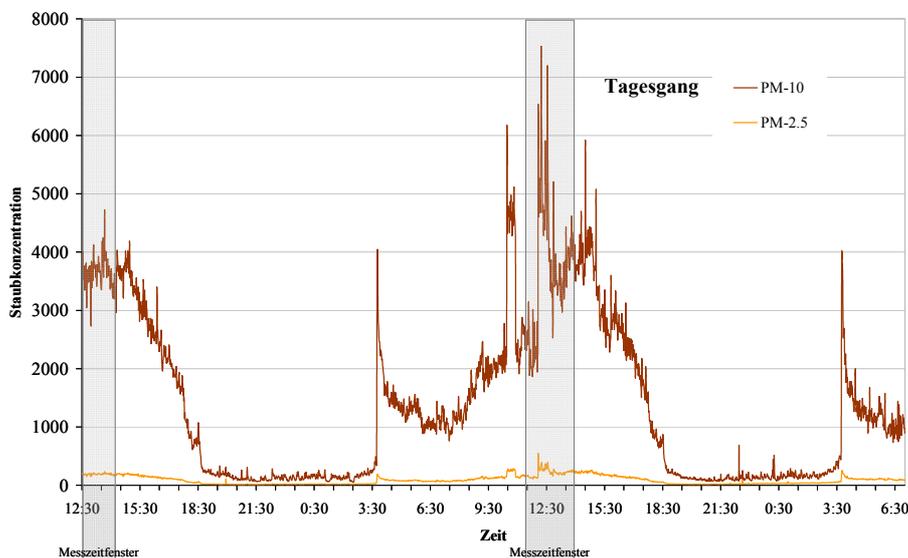


Abbildung 12: Konzentrationsverlauf wichtiger Staubfraktionen über zwei Tage mit Kennzeichnung des Messzeitfensters (graues Feld)

Die Messungen erfolgten während des höchsten Aktivitätszeitraums der Hennenherde. Er liegt zwischen 11:00 - 14:00 Uhr. Aus eigenen Vorbefunden und dem Schrifttum ist abzuleiten, dass insbesondere die Staubkonzentration im Stallraum eng an die Herdenaktivität gekoppelt ist. Es ist deshalb an Verlaufsmessungen abzuleiten, wie deutlich das Konzentrationsniveau im Tagesgang variiert. Aufgrund der Datenbasis und anhand des Lichtregimes im Stall kann von einem durchschnittlichen Aktivitätszeitraum von 15 h und einem weitgehenden Ruhezeitraum von 9 h der Herde ausgegangen werden. Der Kurvenverlauf bildet diesen Sachverhalt deutlich ab. Das Konzentrationsniveau von Staub in der Stallluft lag zur Ruhezeit deutlich unterhalb der Konzentrationen der Aktivitätszeit. Weiterhin lagen in den täglichen Vergleichszeiträumen innerhalb der Messzeitfenster deutliche Spitzen der Staubkonzentration in der Stallluft. Bei der Berechnung der Staubfracht ist dieser Sachverhalt unbedingt zu berücksichtigen, da die Messbefunde sonst nur diese hohen Niveaus abbilden.

Deshalb wurden anhand der Tagesgänge prozentuale Konzentrationsniveaus des Stallstaubes auf der Basis des Messwertenniveaus (100 %) ermittelt. Für den Tagesabschnitt 14:00 - 19:30 Uhr und 04:30 - 11:00 Uhr (Aktivzeitraum) betrug die Konzentration 60 % des Messniveaus, für den Tagesabschnitt 19:30 - 04:30 Uhr (Ruhezeitraum) 8 % des Messniveaus. In **Tabelle 33**, **Tabelle 34** und **Tabelle 35** sind die Kennwerte für Gesamtstaub und die Fraktionen PM 10 und PM 2,5 zusammengestellt.

Tabelle 33: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Gesamtstaub				Anzahl Messwerte [0,5 h] bzw. [1 h]
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl.·KK]	
Winter	16,3	8,9	79	11,4	4
Übergang	3,5	1,0	53	15,5	4
Sommer	9,2	3,2	263	38,7	5 *
Jahr			112	65,6	

* inkl. Konzentrationsmessung Seitenwandkamin

Tabelle 34: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Staubfraktion PM 10				Anzahl Messwerte
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl. KK]	[0,5 h] bzw. [1 h]
Winter	11,9	6,5	58	8,4	4
Übergang	1,8	0,5	27	7,9	4
Sommer	5,9	2,0	169	24,9	5 *
Jahr			70	41,2	

* inkl. Konzentrationsmessung Seitenwandkamin

Tabelle 35: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 2,5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Staubfraktion PM 2,5				Anzahl Messwerte
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl. KK]	[0,5 h] bzw. [1 h]
Winter	3,6	2,0	18	2,6	4
Übergang	0,5	0,1	7	2,1	4
Sommer	2,3	0,8	66	9,7	5 *
Jahr			25	14,4	

* inkl. Konzentrationsmessung Seitenwandkamin

Unter Berücksichtigung der Niveaudifferenz wurde ein mittlerer Gesamtstaubgehalt für die Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ von 8,9 mg/m³, 1,0 mg/m³ und 3,2 mg/m³ Abluft ermittelt. Für die Staubfraktionen PM 10 und PM 2,5 betragen die Konzentrationswerte 6,5 mg/m³, 0,5 mg/m³ und 2,0 mg/m³ bzw. 2,0 mg/m³, 0,1 mg/m³ und 0,8 mg/m³. Die Anteile der Fraktion PM 10 bzw. PM 2,5 an der Gesamtstaubkonzentration lagen bei 73 %, 50 % und 63 % bzw. 23 %, 10 % und 25 %.

Unter Hinzunahme der mittleren Volumenströme aus den Messzeitfenstern für die Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ ist ein Massenstrom an Gesamtstaub von 79 g/h, 53 g/h und 263 g/h festzuhalten. In der Klimaklasse „Sommer“ überschreitet dieser Massenstrom den Vorsorgewert aus der TA Luft (200 g/h), nicht jedoch die zulässige Massenkonzentration. Im Jahresmittel lag er bei 112 g/h und damit deutlich niedriger als eigene Vorbefunde aus Bodenhaltungssystemen. Eine wesentliche Ursache kann in dem modifizierten Lokomotionsverhalten gesehen werden (vgl. Kapitel 4.2 **Lokomotionsverhalten**).

Hieraus resultiert ein Emissionsfaktor von 66 g/Tpl.·a Vergleichswerte aus eigenen Untersuchungen lagen zwischen 148-254 g/Tpl.·a. Das Haltungssystem hat ein deutlich geringeres Potenzial zur Staubbildung. Der Einfluss des Einstreumaterials kann in diesen Untersuchungen nicht bewertet werden.

Die jährlichen Frachten der Staubfraktionen PM 10 und PM 2,5 betragen 41 g/Tpl.·a bzw. 14 g/Tpl.·a. Die parallel zu den Staubprobenahmen gewonnenen Geruchsproben ergaben die in **Tabelle 36** zusammengestellten Konzentrationen und Emissionsfaktoren.

Tabelle 36: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Geruch			Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte Stall-/Ab-/Zuluft
	Konzentration				
	Stall	Abluft	Zuluft	[GE/GV·s] *	[0,5 h]
	[GE/m ³]				
Winter	53	100	7	6	1 / 2 / 1
Übergang	35	33	10	8	2 / 4 / 2
Sommer	26	27	9	15	2 / 4 / 2
Jahr				9	

* 15.000 Tierplätze (= 51 GV)

Im Mittel wurde eine Geruchskonzentration zwischen 100 - 27 GE/m³ olfaktorisch bestimmt. In der Stallluft variierte die mittlere Konzentration zwischen 53 - 26 GE/m³. Die Hintergrundkonzentration in der Zuluft lag im Mittel zwischen 7 - 10 GE/m³.

Hieraus resultiert ein jährlicher Emissionsfaktor von 9 GE/GV·s. Eigene Vorbefunde für Bodenhaltungssysteme liegen auf einem Niveau von 13 GE/GV·s. Hiermit wird die Distanz zu bisher angewendeten Faktoren (>20 GE/GV·s) weiterhin größer.

4.4.3.2 Bodenhaltungssystem H 3

Zur Bewertung der Staubkonzentration in der Abluft und der damit verursachten Staubemissionen wurde der Staubgehalt im Abluftstrom gravimetrisch bestimmt. Zur Bildung eines Tagesmittelwertes soll auch hier der Konzentrationsverlauf im Tagesgang zuerst abgebildet werden (vgl. **Abbildung 13**).

Erwartungsgemäß fällt die Staubkonzentration in den Ruhephasen im Stall erheblich ab. Hier wurden nur ca. 5 - 10 % des Tagesniveaus erreicht. Mit „Tagesbeginn“ und den daran gekoppelten Tieraktivitäten in der Hennenherde nimmt der Staubgehalt in der Stallluft und damit auch in der Stallabluft sprunghaft zu. Auf der Basis dieser Konzentrationskurven im Tagesverlauf wurden vier Zeitfenster differenziert. Im Zeitfenster 1 (10:00 – 14:00 Uhr) fanden die Messungen statt. Dieses Messniveau bildet die Basis (100 %). Im verbleibenden Aktivitätszeitraum der Hennenherde unterscheiden sich die mittleren Konzentrationsni-

veaus. Im Zeitfenster 2 (14:00 – 21:00 Uhr) lag das Konzentrationsniveau im Mittel der drei Klimaklassen bei ca. 64 % des Messwertes, im Zeitfenster 3 (05:00 – 10:00 Uhr) bei 66 % des Messwertes. Während der Ruhephase im Stall Zeitfenster 4 (21:00 – 05:00 Uhr) lag das Konzentrationsniveau bei 6 % des Messwertes.

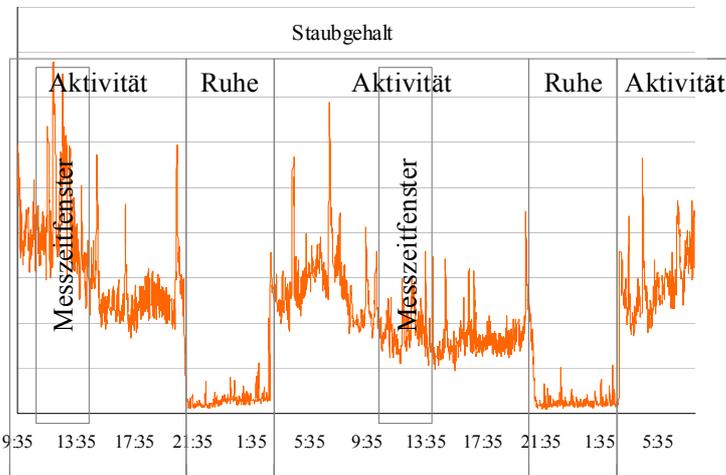


Abbildung 13: Kenndaten zum Tagesgang der Staubbildung in der untersuchten Hennenhaltung

Unter Berücksichtigung dieser Anteilsverhältnisse bezüglich Konzentration und Tagesgang ergeben sich auf der Basis des Messwertes die mittleren Tageswerte für Gesamtstaub und den Staubfraktionen PM 10 und PM 2,5 im Abluftstrom. Das gemessene Niveau korrespondiert mit bisherigen Messergebnissen gut. In **Tabelle 37**, **Tabelle 38** und **Tabelle 39** sind die hierbei gewonnenen Kennwerte für die Fraktionen von Gesamtstaub, PM 10 und die PM 2,5 zusammengestellt.

Tabelle 37: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Gesamtstaub				Anzahl Messwerte [0,5 h] bzw. [1 h]
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl.·KK]	
Winter	3,5	1,3	25	4,3	6
Übergang	3,1	1,5	56	19,8	3
Sommer	3,8	2,3	129	22,8	6
Jahr			80	46,9	

Tabelle 38: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für die Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Staubfraktion PM 10				Anzahl Messwerte
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl.·KK]	
Winter	3,2	1,2	23	4,0	6
Übergang	1,3	0,6	24	8,4	3
Sommer	2,5	1,5	84	14,9	6
Jahr				27, 3	

Tabelle 39: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für die Staubfraktion PM 2,5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Staubfraktion PM 2,5				Anzahl Messwerte
	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	
	Messwert	Tagesmittel			
	[mg/m ³]		[g/h]	[g/Tpl.·KK]	
Winter	0,6	0,2	4	0,7	6
Übergang	0,3	0,1	5	1,9	3
Sommer	0,7	0,4	23	4,0	6
Jahr			11	6,6	

Für Gesamtstaub (Vorsorgewert TA Luft: 200 g/h) lag der ermittelte Kennwert deutlich darunter. Aus diesem Massenstrom lässt sich ein Emissionsfaktor für Gesamtstaub von 47 g/Tpl.·a ableiten. Für PM 10 und PM 2,5 liegen diese bei 27 g/Tpl.·a bzw. 7 g/Tpl.·a. Die prozentualen Anteile dieser Fraktionen am Gesamtstaub betragen 58 % bzw. 15 %. Bisher ermittelte Kennwerte für vergleichbare Haltungssysteme liegen deutlich höher. Hierfür können drei Ursachen benannt werden. Erstens ist die relative Feuchte im Stall im Jahresmittel und insbesondere auch in der Klimaklasse „Sommer“ gegenüber vergleichbaren Systemen erhöht. Zweitens ist mit einer deutlichen Staubsedimentation durch den Verlauf des Abluftströmungsweges vor Austritt der Abluft aus dem Lüftungssystem zu rechnen. Drittens verhindert die Lokomotiveinschränkung analog zum Haltungssystem N 60 die Staubbildung beim Wechsel der Hennen in den Scharraum.

Die Geruchsstoffkonzentrationen in der Stallabluft und im Umfeld der Hennenhaltung wurden parallel zu den Staubmessungen durchgeführt. Die Geruchsfreisetzung und deren Wahrnehmung sind weniger an das Aktivitätsniveau in der Herde im Tagesverlauf gekoppelt. Weiterhin steht derzeit kein validiertes Messverfahren zur kontinuierlichen Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration innerhalb eines Messzeitfensters

zur Verfügung. Deshalb wurden auf der Basis der punktuell ermittelten Geruchskonzentrationen und hierbei aktueller Volumenströme die für jede Klimaklasse repräsentativen Massenströme ermittelt.

Die Kenndaten für die untersuchten Klimaklassen sind in der **Tabelle 40** zusammengestellt.

Tabelle 40: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)

Klimaklasse	Geruch			Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte Stall-/Ab-/Zuluft
	Konzentration				
	Stall	Abluft	Zuluft		
	[GE/m ³]			[GE/GV·s] *	[0,5 h]
Winter	-	178	19	20	- / 6 / 3
Übergang	-	94	19	24	- / 8 / 4
Sommer	-	70	20	29	- / 6 / 3
Jahr				24	

* 12.500 Tierplätze (= ca. 43 GV)

Die Geruchskonzentration in der Außenluft lag im Mittel bei 19 GE/m³ und damit im Wertebereich (9 – 26 GE/m³) der Vorbefunde an anderen Standorten. Die Abluftkonzentration variierte zwischen den Klimaklassen deutlich. Aufgrund geringerer Abluftvolumenströme in der Klimaklasse „Winter“ war diese hier deutlich erhöht. Im Jahresmittel war eine Geruchskonzentration bei 109 GE/m³ für den Stall charakteristisch. Dieses Niveau liegt oberhalb des bisherigen Referenzwertes für Reihenvolieren, jedoch auf vergleichbarem Niveau mit dem bereits gemessenen Haltungssystem für Legehennen des Typs Salmel High Rise 1 (Fa. Schroppe) (LFL 2004).

Die ermittelten Emissionsfaktoren sind für die Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ 20 GE/GV·s, 24 GE/GV·s und 29 GE/GV·s. Aus den ermittelten Emissionsfaktoren ergibt sich ein mittlerer Faktor von 24 GE/GV·s. Gegenüber eigenen Vorbefunden liegt dieser auf höherem Niveau.

5 Fazit

- Die Untersuchungen wurden in für die gewählten Klimaklassen repräsentativen Außentemperaturbereichen durchgeführt. Für das Bodenhaltungssystem H 3 rangierten die mittleren Außentemperaturen in den Klimaklassen „Sommer“ und „Winter“ geringfügig bzw. deutlich unterhalb des fixierten Niveaus.
- Die Herde im Bodenhaltungssystem N 60 erreichte eine Legeleistung von 89 %. Es wurden ca. 6 % Tierverluste registriert. Demgegenüber betrug im Bodenhaltungssystem H 3 die Legeleistung 93 % und es traten ca. 3 % Tierverluste auf. Im Herdenvergleich sind die Haltungssysteme bei den Tierverlusten vergleichbar mit bisher untersuchten Bodenhaltungssystemen. Die Legeleistung übertrifft z. T. das bisher ermittelte Niveau.

- Die konstruktiven Veränderungen am Haltungssystem nehmen im Vergleich zu Reihenvoliersystemen ohne Flugbarrieren einen deutlichen Einfluss auf das Lokomotionsverhalten der Hennen beim Ortswechsel zwischen Voliereblock und Scharrraum. Sie leisten damit einen Beitrag zur Senkung der Luftkonzentrationen von Stallraumlasten insbesondere für Staub.
- Die mittlere relative Luftfeuchte variiert in den Systemen zwischen 65 - 79 %, die Stalllufttemperatur zwischen 13 – 22 °C. Damit werden im Stall im Mittel die Optimalbereiche (60 – 80 %, 12 – 25 °C) bzw. leistungsangepassten Toleranzbereiche (15 – 22 °C) weitgehend eingehalten. Insbesondere die relative Luftfeuchte im Stall übersteigt insgesamt das bisher in Volieren registrierte Niveau. Hierin werden Potenziale für eine geringere Staubentwicklung, aber evtl. erhöhtem Ammoniakniveau gegenüber vorliegender Befunde erwartet.
- Lachgas liegt auf und Methan z. T. über dem Niveau der Zuluftkonzentration (0,5 – 0,7 mg/m³ bzw. 1,4 – 2,8 mg/m³). Insbesondere innerhalb der Messzeitfenster mit niedrigeren Außentemperaturen erreicht Methan teilweise fast das doppelte Niveau in der Stallluft.
- Die Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen sind erwartungsgemäß im Stall gegenüber der Zuluftkonzentration im Jahresmittel deutlich erhöht. Für die Systeme wurden vierfach bzw. dreifach höhere Konzentrationen in der Stallluft ermittelt. Die Grenzwerte für die Stallluftkonzentration werden nur in der Klimaklasse „Winter“ tangiert. Hier werden auch systemunabhängig die höchsten – fast neunfach erhöhten – mittleren Stallluftkonzentrationen an Ammoniak und fast fünffach erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen in der Stallluft registriert. Die Ursache hierfür dürfte in der Minimierung der Luftraten liegen.
- Während das Lüftungssystem beim Bodenhaltungssystem N 60 einen mittleren Unterdruck von -13 Pa realisiert, erreicht dieser beim Bodenhaltungssystem H 3 nur -1 Pa.
- Hierbei wurden in den Klimaklassen „Winter“, „Übergang“ und „Sommer“ mittlere Volumenströme von 8.895 m³/h, 54.193 m³/h und 83.472 m³/h Abluft für das Bodenhaltungssystem N 60 ermittelt. Aus dem Stall mit dem Bodenhaltungssystem H 3 wurden für die entsprechenden Klimaklassen über den Monoschacht 18.816 m³/h, 38.319 m³/h und 57.335 m³/h Abluft befördert.
- Die Minimalluftraten in der Klimaklasse „Winter“ wurden trotz intermittierender Lüftung im Bodenhaltungssystem H 3 systemunabhängig erreicht.
- Der von dem Stallumfeld konstant abgetrennte Stallraum und der weitgehend auszuschließende Gaseintrag in die Zuluft aus der Abluffahne gestatten bei der Beurteilung des Emissionspotenzials der Haltungssysteme am Standort einen Abzug der Zuluftvorbelastung von beurteilungsrelevanten Stallraumgasen in der Abluft.
- Im Bodenhaltungssystem N 60 variiert der mittlere stündliche Massenstrom an Ammoniak ohne Berücksichtigung einer Vorbelastung der Zuluft zwischen den Klimaklassen von 49 - 127 g/h. Hieraus ergibt sich ein Emissionsfaktor für Ammoniak von 126 g/Tpl.·a. Bei Abzug einer Vorbelastung entweichen dem System 88 g/Tpl.·a.
- Im Bodenhaltungssystem H 3 variiert der mittlere stündliche Massenstrom an Ammoniak ohne Berücksichtigung einer Vorbelastung der Zuluft zwischen den Klimaklassen von 99 - 297 g/h. Hieraus ergibt sich ein Emissionsfaktor für Ammoniak von 53 g/Tpl.·a. Bei Abzug einer Vorbelastung entweichen dem System nur 32 g/Tpl.·a.

- Im Vergleich mit Vorbefunden aus Bodenhaltungssystemen liegt der Ammoniakemissionsfaktor für das Bodenhaltungssystem H 3 auf vergleichbarem Niveau. Dies bestätigt bisherige Befunde, dass bei der mindestens zweimaligen Kotbeseitigung im Stall je Woche auch ohne Kottrocknung niedrige Emissionswerte erreicht werden.
- Für das Bodenhaltungssystem N 60 ist der Ammoniakfaktor deutlich höher und liegt nur bei der Berücksichtigung einer Vorbelastung aus dem Stallumfeld unterhalb des Wertes von der TA Luft in Höhe von 91 g/Tpl.·a. Hauptursache hierfür ist das nur einmalige Beseitigen des Kotstapels auf den Bändern je Woche und der Nichtbetrieb der Kottrocknung.
- Der Einsatz der Kotbandbelüftung senkt die Konzentration und den Massenstrom an Ammoniak um ca. 30 % bzw. 40 %. Hierdurch werden die Literaturbefunde bestätigt.
- Unter Beachtung der konstruktiv-technischen Betriebsprobleme der Kotbandbelüftung sollte beim Bodenhaltungssystem N 60 eine zweimalige Kotbeseitigung im Stall je Woche erfolgen. Unter Beachtung der Vorbefunde zu vergleichbaren Bodenhaltungssystemen ist hierdurch eine Absenkung der Fracht um ca. 50 % zu erwarten.
- Für das Bodenhaltungssystem H 3 wäre eine weitere Absenkung der Ammoniakkonzentrationen in der Klimaklasse „Winter“ über eine dauerhaft realisierte Mindestluftfrate zu erwarten.
- Die Emissionsfaktoren für Lachgas, Methan (ohne Abzug einer Vorbelastung) und Kohlendioxid (mit Abzug von einer charakteristischen Luftkonzentration von 748 mg/m³) liegen für das Bodenhaltungssystem N 60 bei 17 g/Tpl.·a, 80 g/Tpl.·a bzw. 14 kg/Tpl.·a. Entsprechende Emissionsfaktoren für das Bodenhaltungssystem H 3 sind 17 g/Tpl.·a, 87 g/Tpl.·a bzw. 28 kg/Tpl.·a.
- Die Staubkonzentration in der Abluft unterliegt einem deutlichen Tagesgang. Mit den Aktivitäten in den Hennenherde steigt sie deutlich an und fällt während der Ruhephasen ebenso deutlich auf bis zu 8 % des Messwertenniveaus ab.
- Die mittlere Gesamtstaubkonzentration im Tagesverlauf variiert beim Bodenhaltungssystem N 60 zwischen den Klimaklassen mit 1,0 – 8,9 mg/m³ Abluft deutlich. Hieraus resultiert ein Emissionsfaktor von 66 g/Tpl.·a. Die Emissionsfaktoren für die Staubfraktionen PM 10 und PM 2,5 sind 41 g/Tpl.·a bzw. 14 g/Tpl.·a und haben damit einen Anteil von 62 % bzw. 21 % am Gesamtstaub.
- Die mittlere Gesamtstaubkonzentration im Tagesverlauf variiert beim Bodenhaltungssystem H 3 zwischen den Klimaklassen mit 1,3 - 2,3 mg/m³ Abluft deutlich geringer als beim Bodenhaltungssystem N 60. Hieraus resultiert ein Emissionsfaktor von 47 g/Tpl.·a. Die Emissionsfaktoren für die Staubfraktionen PM 10 und PM 2,5 sind 27 g/Tpl.·a bzw. 7 g/Tpl.·a und haben damit einen Anteil von 58 % bzw. 15 % am Gesamtstaub.
- Gegenüber bisher untersuchten Bodenhaltungssystemen ist die Staubfracht in dem Bodenhaltungssystem N 60 ca. 70 % geringer. Als eine Ursache kann das geänderte Lokomotionsverhalten der Hennen gesehen werden. Der Einfluss der Einstreu kann in vorliegender Untersuchung nicht beurteilt werden.
- Eine weitere Reduzierung der Staubfracht erreicht das Bodenhaltungssystem H 3. Hier sind die Frachten nochmals um ca. 10 % gesenkt. Neben dem auch hier geänderten Lokomotionsverhalten erfolgt eine weitere Sedimentation von luftgetragendem Staub bei der Richtungsänderung des Abluftstromes im Monoschacht.

- Die Geruchsstoffkonzentration im Abluftstrom variiert zwischen den Klimaklassen von 25 – 178 GE/m³. Die Zuluftkonzentration liegt hier im Mittel zwischen 9 - 19 GE/m³. Ein Einfluss des Analyselabors auf die Varianz kann nicht ausgeschlossen werden. Der jährliche Emissionsfaktor liegt mit 9 GE/GV-s für das Bodenhaltungssystem N 60 unterhalb bisheriger Befunde und deutlich unter den in der Genehmigungspraxis angewendeten Faktoren. Für das Bodenhaltungssystem H 3 wurde ein Emissionsfaktor von 24 GE/GV-s ermittelt. Dieser scheint aus angeführtem Grund belastbarer.

6 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): S. 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: p 2056-2061.
- ANGERSBACH-HEGER, SINA (2002): Untersuchungen zur Emission und Verfrachtung luftgetragener Mikroorganismen von Auslaufflächen einer Legehennenfreilandhaltung. Diss. TiHo Hannover.
- ANDERSSON, R., M. NÜRNBERG, H. PIEPER, P. HILLER (2005): Die bedarfsgerechte Proteinversorgung in der ökologischen Legehennenhaltung unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäurenversorgung im Rahmen der 100%igen Biofütterung. Abschlußbericht, Fakultät Agrarwiss. Osnabrück.
- BACHMANN, K. UND FROSCH, W. (2004): Ratgeber Stallklimatisierung. Sächs. Landeskuratorium Ländlicher Raum / Universität Halle.
- BAUMGART, B. (2005): Tiergesundheit, Verhalten und Leistung unter besonderer Berücksichtigung der Besatzdichte bei Legehennen in Volierenhaltung. Diss., München.
- BAZER, D. (2005): Einfluss einer Auslaufstrukturierung auf das Verhalten, den Gesundheitszustand und die Leistung von Legehennen in Freilandhaltung. Diss., München.
- BESSEI, W.; DAMME, K. (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 378
- BIOSTOFFVO (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, B Arb.BI 1/2006, S. 41.
- BVT-MERKBLATT (2003): Beste verfügbare Techniken der Intensivhaltung von Geflügel und Schweinen. Bundesumweltamt.
- BRUNSCH, R., H.J. MÜLLER (2005): Emissionsfaktoren der Geflügelhaltung und deren Dynamik. Landtechnik 60, 164-165
- DAMME, K. UND R.-A. HILDEBRAND (2002): Geflügelhaltung. Ulmer Verlag Stuttgart.
- DAMME, K. (2003): Eierzeugung in alternativen Haltungssystemen. Wie sich verschiedene Legehennenhybriden dafür eignen. DGS Magazin 27, S. 12-18.
- DAMME, K. (2006): Faustzahlen der Betriebswirtschaft. In Geflügeljahrbuch 2006. Ulmer Verlag Stuttgart.
- DBV (2008): Situationsbericht 2008. DBV Berlin.
- DEATON, I. W. (1982): Effect of atmospheric ammonia on laying hen performance. Poultry Sci. 61 (9): p 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- und -verteilung zur Messung luftgetragener Partikel.
- DOWNHAM, K. J., REYNOLDS, S. J., WHITTEN, P., ET AL. (1995): Respiratory Dysfunction in swine production-facility workers: Dose-response relationships of environmental exposures and pulmonary function. *American J. of Industrial Medicine* 27, p 405–418.
- ELSON, H.A. u. R. CROXALL (2006): Vergleichende europäische Studie zum Wohlbefinden von Legehennen in Käfig- und Nicht-Käfig-Systemen. *Arch. Geflügelk.* 70, S. 194-198.
- FITZ, B. (2007): Vergleichende Untersuchungen zu Gesundheit, Leistung und Verhalten von Legehennen mit unterschiedlichen Einstreumaterialien in Volierenhaltung. Diss., München.
- FREEMANN, B. M. (1969): Physiological Responses of the adult fowl to environmental temperature. *World's poultry science journal* 22 (2): p 140–145.
- GEISER, F. (2001): Federpicken: Es gibt Gegenmittel. *BVET-Magazin* 1/2001, S. 13-15.
- GIRL - Geruchsimmissionsrichtlinie (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen. 29.2.2008
- GRIMM, E. (2003): Zur Neufassung der TA Luft 2002. KTBL Darmstadt.
- 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, p 73-87.
- HAFEZ, H. M., A. MAZAHERI, C. PRUSAS, K. BÖHLAND, M. PÖPPEL, D. SCHULZE (2001): Aktuelle Geflügelkrankheiten bei Legehennen im Zusammenhang mit alternativen Haltungssystemen. *Tierärztl. Praxis* 29 (G), S. 168-174.
- HAFEZ, H. M. (2004): Stand und Probleme der Legehennengesundheit. In *DGfZ Schriftenreihe* 36, S. 90–97.
- HARTUNG, J. (2005): So vermeiden Sie Staub und Pilze. *DLG-Mitteilung* 9/2005, S. 16-18.
- HENNENHALTUNGSVERORDNUNG, 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, S. 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, p 1121-1125.
- HOOP, R. (2002): Escherichia coli-Infektionen des Huhnes. Eine unterschätzte Gefahr in der alternativen Geflügelhaltung. *DGS Magazin* 40/2002, S. 38-40.
- HOPPENHEIDT, K. (2002): Bioaerosole als Bestandteile von Feinstäuben. *Tagungsband zur Fachtagung* 14.2.2002, München.
- KEPPLER, C. (2003): Junghennenaufzucht in Tageslichtställen. Das Auftreten von Federpicken kann vermieden werden. *DGS Magazin* 27/2003, S. 19-24.
- KEUTGEN, H., S. WURM, S. UEBERSCHÄR (1999): Pathologisch- anatomische Untersuchungen bei Legehennen aus verschiedenen Haltungssystemen. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 106 (1999) S. 125-188.
- KOBYLINSKI, H. (1999): Außenklimastall für Hühner – etwas für Spezialisten. *DGS Magazin* 44: S. 18-20.

- KROODSMA ET AL. (1988): zitiert in Isermann, K. (1994): Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft, ihre Auswirkungen auf die Umwelt und ursachenorientierte Lösungsansätze sowie Lösungsaussichten zur hinreichenden Minderung. Studie E: In: Enquete Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages.
- KTBL (1996): Bericht „Abstandsregel für Geflügelhaltungsanlagen zu benachbarten Waldökosystemen“. (unveröffentlicht).
- KTBL (1996): KTBL-Arbeitspapier 126 S.
- KTBL (2002): KTBL-Schrift 399, Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung
- KANSWOHL, N. und Treptow, C. (2003): Staub- und Schadgasgehalte, Legeleistung, Futtermittelverbrauch, Parasitenbelastung sowie Krankheitsgeschehen und Mortalität in konventionellen und alternativen Haltungssystemen für Legehennen. ISPA Weiße Reihe Band 22, S. 45-53.
- KNIERIEM, (2003): Merbitzer Geflügeltagung. Vortrag Celle 2003.
- KIENRIM, U., M. STAACK, C. KEPPLER (2007): Erarbeitung von Mindestanforderungen für die Junghenneaufzucht im Hinblick auf die Minimierung von Federpicken und Kannibalismus in der Boden- und Freilandhaltung von Legehennen auf der Grundlage einer epidemiologischen Untersuchung. Abschlußbericht, Univ. Kassel.
- KREYENBROCK, L., B. SCHNEIDER, J. SCHÄL, S. GLASER (2003): EpiLeg - Epidemiologische Studie. TiHo Hannover.
- LE BRIS, M. (2005): Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten sowie zur Gesundheit und Leistung von Legehennen unterschiedlicher Linien (LSL, LB, LT) in Volierenhaltung. Diss., München.
- LEYENDECKER, M., H. HAMANN, J. HARTUNG, G. GLÜNDER, N. NAGOSSEK, U. NEUMANN, J. KAMPHUES, O. DISTL (2002): Untersuchungen zur Schalenfestigkeit und Knochenstabilität von Legehennen in drei verschiedenen Haltungssystemen. Züchtungskunde 74, S. 144-155.
- LFL (2004): Alternative Legehennenhaltung. Schriftenreihe der Sächs. LfL, Heft 8-9.
- LFUG (2002): Anlage zum Erlass vom 30.7.2002, Az 53-8823.07.
- LAI-Bericht (2006): Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen.
- LIANG, Y., H. XIN, R. S. GATES, R. F. WHEELER (2003): Updates on ammonia emission from Iowa layer houses. In: Iowa Egg Industry Symp., Ames, p 29-34.
- LICKTEIG, E. (2006): Vergleich der zwei Legehennenlinien Lohmann Selected Leghorn-Classik und Lohmann Brown-Classik unter den Bedingungen des Feldversuchs im Bezug auf Verhalten, Gesundheit und Leistung in Volierenhaltung. Diss., München.
- LIPPMANN, J. (2007): Emissionsminderung in der Legehennenhaltung. Schriftenreihe 9, Heft 8, Sächs. Landesanstalt für Landwirtschaft.
- LIPPMANN, J. (2009): Stickstoffdynamik im Umfeld einer Bodenhaltung für Legehennen. (unveröffentlicht).
- LÜKE, M., I. SIMON, J. STEGEMANN (2005): Haltungssysteme für Legehennen im Vergleich. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Bad Sassendorf.
- MAHBOUB, H., E. von Borell, J. MÜLLER (2002): Feather pecking in laying hens with free access to outdoor enclosures. Archiv für Geflügelkunde 66 Sonderheft II, 79 S.

- MEHLHORN, G. (1979): Lehrbuch der Tierhygiene. Bd. 1, G. Fischer Verlag Jena (zit. bei Seedorf und Hartung, 2002).
- MÜLLER, H.-J. (2003): Stallluftqualität und Emissionen. Landtechnik 58: S. 198–199.
- MÜLLER, H.-J. (2004): Gasemissionen aus Geflügelhaltungen. Landtechnik 59: S. 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 und Hartung, 2002).
- MÜLLER, H. J., R. BRUNSCH, W. BERG (2006): Ammoniakemissionsmassenströme in und um Tierhaltungsanlagen. In: Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449, S. 79-93.
- NANNEN, C. UND W. BÜSCHER (2007): Analyse der Zusammensetzung von Staubemissionen aus Ställen verschiedener Nutztierarten und Bestimmung des Gravimetriefaktors. Univ. Bonn, Agrarw. Fakultät, Schriftenreihe Nr. 144.
- NESER, S. (2000): Gasförmige Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen. Diss. Uni München.
- NIEBUHR, K., K. ZALUDIK, C. ARHANT, F. SMALHODZIC, A. WIMMER (2008): Evaluierung neuer Haltungssysteme am Beispiel von Volieren und neuer Käfigsysteme für Legehennen. 2. Zwischenbericht, Vet.med. Univ. Wien.
- NIEBUHR, K., K. ZALUDIK, B. GRUBER, I. THEMAIER, A. LUGMAIR, R. BAUMUNG, J. TROXLER (2006): Untersuchungen zum Auftreten von Kannibalismus und Federpicken in alternativen Legehennenhaltungen in Österreich – Empfehlungen für die Praxis. Ländlicher Raum, S. 1-21.
- NIGHOT, P. K., G. N. KOLTE, G. R. GHALSASI (2003): Ursachen von Atemwegserkrankungen. DGS Magazin 31/2003, 31 S.
- PAYNE, C. G. (1966): Practical aspects of environmental temperature for laying hens. World's poultry science journal 22 (2): p 126–139.
- PETERMANN, S. (2003): Legehennen in alternativen Haltungssystemen – Praktische Erfahrungen. ISPA Weiße Reihe Band 22, S. 1-9.
- PETERSEN, J. (1996): Jahrbuch der Geflügelwirtschaft.
- PÖPPEL, M. (2003): Hennenhalter stehen fast vergessenen Krankheiten hilflos gegenüber. DGS intern 8/2003, 2.
- PUPPE, B. (2003): Stressbewältigung und Wohlbefinden – verhaltensphysiologische Ansatzpunkte einer Gesundheitssicherung bei Tieren. Arch. Tierz., Dummerstorf 46 Sonderheft, S. 52-56.
- RAMADAN, S. G. A. (2007): Genetic and environmental factors influencing the behaviour and health of laying hens with emphasis on feather pecking. Diss., Halle.
- RL89/427/EWG: Gesamtschwebstaub
- RL1099/30/EG (2005): Feinstaub
- RL1999/30/EG: Atembarer Staub
- RÖNCHEN, S. (2007): Evaluation of foot pad health, plumage, condition, fat status and behavioural traits in laying hens kept in different housing systems. Diss., Hannover.
- SCHIEK, W. (1998): Keimmessungen in der Umgebung einer Hühnermastanlage. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 105, 246 S.
- SCHMITT, G., O. WALLENFANG, W. BÜSCHER UND B. DIEKMANN (2004): Partikelkonzentration in der Stallabluft. Landtechnik 29, S. 334-335.

- SCHOBRIES, H., SCHULZE, L., ROTT, M. UND REETZ, G.(1986): Geflügelkrankheiten. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- SCHOLTYSSEK, S. (1968): Handbuch der Geflügelproduktion. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- SCHÜMANN, A. (2008): Einfluss einer Auslaufstrukturierung mit Flachdächern auf die Gesundheit, Leistung und das Verhalten von Legehennen in Freilandhaltung. Diss., München.
- 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, p 39–47.
- TAKAI, (1998): Journal of Agric. Engineering Research, Vol. 70, 1.
- TA LUFT (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. GMBI. 2002, Heft 25–29, S. 511–605.
- TÜLLER, R. (1999): Alternativen in der Geflügelhaltung. Ulmer, Stuttgart.
- VDI-RICHTLINIE 3472 „Emissionsminderung Tierhaltung, Hühner“.
- VDI-RICHTLINIE 3881 „Olfaktometrie und Geruchsschwellenbestimmung“, Blatt 1-4
- VITS, A., D. WEITZENBÜRGER, O. DISTL (2005): Vergleich verschiedener Haltungssysteme für Legehennen hinsichtlich wirtschaftlicher, gesundheitlicher und ethologischer Parameter unter besonderer Berücksichtigung von ausgestalteten Käfigen. Dtsch. tierärztl. Wschr. 112, S. 332-342.
- WALLENFANG, O. (2005): Wie Staubbelastungen genau ermittelt werden können. DGS Magazin 31/2005, S. 17–21.
- WALLENSTEIN, G. (1998): Zur allergologischen Bedeutung von Nutztierepithelien. Pneumologie 52: S. 602–607.
- WATHES, C. M. (1998): Emissions of aerial pollutants in livestock buildings in northern europe. J. agric. Engng Res. 70, p 3–9.
- WEBER, R. M., G. GLÜNDER, M. NOGOSSEK, I. SANDER, U. NEUMANN (2002): Observations on causes of death in laying hens kept in three different housing systems. Archiv für Geflügelkunde 66 Sonderheft II, 146 S.
- WEIGL, B. (2007): Gesundheitsstatus von Legehennen in Klein- und Großvolierenhaltung im Vergleich. Diss., München.
- WOERNLE, H., S. JODAS (2001): Geflügelkrankheiten. Ulmer, Stuttgart

Danksagung

Der Autor bedankt sich für die messtechnische Unterstützung der Untersuchungen sowie für die Durchführung der Staubmessung bei Roland Kretschmann und Frank Rothe von der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft. Weiterhin gilt der Dank dem Team um PD Dr. Werner Frosch von der MLU Halle-Wittenberg und der IFU GmbH für die olfaktorische Bewertung der Geruchsproben.

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 für Agrarwissenschaften e. V.
an der Universität Leipzig
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: + 49 341 9738482
Telefax: + 49 341 9738489
E-Mail: jens.lippmann@uni-leipzig.de

Redaktion:

LfULG, Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen
Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Lärm
Dr. Andrea Kaltz
Telefon: + 49 351 2612-5212
Telefax: + 49 351 2612-5099
E-Mail: Andrea.Kaltz@smul.sachsen.de

LfULG, Abteilung Tierische Erzeugung
Referat Tierhaltung, Fütterung
Thomas Heidenreich
Telefon: + 49 34222 46-2205
Telefax: + 49 34222 46-2099
E-Mail: Thomas.Heidenreich@smul.sachsen.de

Fotos:

Dr. Jens Lippmann

Redaktionsschluss:

31.03.2010

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> 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.