



# Stickstoffdynamik im Umfeld einer Legehennenhaltung

Schriftenreihe, Heft 27/2011



# Bewertung der Bodenhaltung von Legehennen mit Auslauf hinsichtlich Stickstoffdynamik mit Bezug zu Wald, Geruchs- und Staubemissionen

Dr. agr. Jens Lippmann

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Kenntnisstand .....</b>	<b>9</b>
2.1	Stallklima .....	9
2.1.1	Lufttemperatur und -feuchte .....	9
2.1.2	Stallgase .....	10
2.1.3	Stallstaub und Luftkeime .....	12
2.1.4	Geruch .....	13
2.2	Emissionen aus dem Stall .....	14
2.2.1	Stallgase .....	14
2.2.2	Stallstaub .....	15
2.2.3	Geruch .....	15
2.3	Emissionen über der Auslauffläche .....	17
2.4	Immissionen im Umfeld von Tierhaltungen .....	18
2.5	Reduzierung der Stickstofffreisetzung über die Fütterung .....	21
2.6	Tiergesundheit .....	24
2.7	Betriebswirtschaft .....	26
<b>3</b>	<b>Untersuchungsbasis und methodisches Herangehen .....</b>	<b>27</b>
3.1	Legehennenhaltungen .....	27
3.2	Stallklima und Emission .....	29
3.2.1	Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom .....	30
3.2.2	Stallstäube und Luftkeime .....	33
3.2.3	Geruch .....	34
3.2.4	Flächenemission Ammoniak .....	35
3.3	Immission .....	36
3.3.1	Stickstoffdeposition und -immission .....	37
3.3.2	Ausbreitungsberechnung .....	37
3.4	Fütterung .....	39
3.5	Tiergesundheit .....	40
3.6	Betriebswirtschaft .....	40
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>42</b>
4.1	Stallklima und Emissionen .....	42
4.1.1	Lufttemperatur und -feuchte .....	44
4.1.2	Lüftung und Volumenströme .....	46
4.1.3	Stallgase .....	49
4.1.4	Stäube und Luftkeime .....	61
4.1.5	Geruch .....	65
4.1.6	Ammoniak über Auslaufflächen .....	66
4.2	Immissionen .....	67
4.2.1	Stickstoffdeposition und -immission .....	67
4.2.2	Ausbreitungsberechnung .....	74
4.3	Reduzierung der Stickstofffreisetzung über die Fütterung .....	77
4.4	Tiergesundheit .....	84
4.5	Betriebswirtschaft .....	85
<b>5</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Stallquerschnitt mit einseitig nachgeordnetem Wintergarten und doppelreihig angeordneten Voliereblöcken	28
Abbildung 2:	Standortskizze mit Ansichtfenstern vom Fotopunkt aus in Richtung Stall und vom Stall weg	28
Abbildung 3:	Luftführungsprinzip und Messstellenkonzeption für den untersuchten Stall	29
Abbildung 4:	Zuordnung der Windrichtungsgradzahlen zu Richtungsklassen	30
Abbildung 5:	Abluftkamin mit Ventilator (rot) und Messventilator (blau)	32
Abbildung 6:	Schema der Messstrecke	33
Abbildung 7:	Dynamische Messkammer	34
Abbildung 8:	Statische Messkammer	35
Abbildung 9:	Messpunktraster bei der Messung mit der statischen Kammer	35
Abbildung 10:	Lageplan mit Hauptwindrichtung, Emittent Stall und Messkorridore der Depositions- und Trassenmessung von Ammoniak	36
Abbildung 11:	Trassenmesssystem OPSIS	35
Abbildung 12:	Immissions- u. Depositionssammler	36
Abbildung 13:	Prinzip der Quellstärkenbestimmung diffuser Emissionsquellen mittels DOAS-Trassenmessung und Rückrechnung mit Ausbreitungsmodell LASAT	38
Abbildung 14:	Steuer- und Applikationseinheit mit Vorratsbehälter und Zuführung zur Futterschnecke im Stall	39
Abbildung 15:	Visuelle Stufen des Gefiederzustandes der Legehennen	40
Abbildung 16:	Kenndatenstruktur zur Bewertung der Kosten nach der Blockmethode	41
Abbildung 17:	Kenndaten für das Stallklima während der Haltungsdauer	44
Abbildung 18:	Kenndaten für das Stallklima während der Haltungsdauer	45
Abbildung 19:	Kenndaten für Ammoniak im Abluftstrom (Lüftung), Tierbereich und in der Zuluft zum Stall während der Stallbelegung 2007/2008	51
Abbildung 20:	Kenndaten für Ammoniak im Abluftstrom (Lüftung), Tierbereich und in der Zuluft zum Stall während der Stallbelegung 2008/2009	51
Abbildung 21:	Außenluftkonzentration in Abhängigkeit der Anströmungsrichtung des Stalls	52
Abbildung 22:	Massenströme in der Klimaklasse Frühling der beiden Stallbelegungen	53
Abbildung 23:	Massenströme in der Klimaklasse Sommer der beiden Stallbelegungen	54
Abbildung 24:	Massenströme in der Klimaklasse Herbst der beiden Stallbelegungen	55
Abbildung 25:	Massenströme in der Klimaklasse Winter der beiden Stallbelegungen	56
Abbildung 26:	Lineare Beziehungen zwischen Massenstrom Ammoniak und Außentemperatur	59
Abbildung 27:	Lineare Beziehungen zwischen Volumenstrom und Außentemperatur	60
Abbildung 28:	Lineare Beziehungen zwischen Stallluftkonzentration Ammoniak und Stalltemperatur	60
Abbildung 29:	Kenndaten zum Tagesgang der Staubbildung in der untersuchten Hennenhaltung	61
Abbildung 30:	Keimgehalte der Umfeld-, Stall- und Abluft in unterschiedlichen Haltungsabschnitten	64
Abbildung 31:	Kenndaten der Geruchsstoffmessung (Geruchsschwelle, GE/m <sup>3</sup> ) und des Massenstroms am Standort der Hennenhaltung	65
Abbildung 32:	Quartile der Messdaten (DOAS-Messstrecke) innerhalb der Zeitfenstermessungen	68
Abbildung 33:	Lineare Beziehungen zwischen Massenstrom des Emittenten Stall und Immissionen an Ammoniak auf der DOAS-Messstrecke innerhalb der Zeitfenstermessungen	70
Abbildung 34:	Kenndaten für die Ammoniakbelastung im Umfeld der Hennenhaltung	70
Abbildung 35:	Kenndaten für die Ammoniumstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb der Außenklimaklassen im Umfeld der Hennenhaltung	71
Abbildung 36:	Kenndaten für die Nitratstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb der Außenklimaklassen im Umfeld der Hennenhaltung	72
Abbildung 37:	Kenndaten für die Gesamtstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb eines Jahres im Umfeld der Hennenhaltung	72
Abbildung 38:	Zusammenhänge zwischen Abluftkonzentration, Massenstrom, Immission an Ammoniak und Deposition von Gesamtstickstoff innerhalb eines Jahres im Umfeld der Hennenhaltung	73
Abbildung 39:	Beispielkarte zur Ausbreitung von Ammoniak im Umfeld der Hennenhaltung – Sommer 2007	74

Abbildung 40: Kenndaten für das Stallklima während der Monate März bis August für Herde I (2007) und Herde II (2008).....	77
Abbildung 41: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats.....	79
Abbildung 42: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats.....	80
Abbildung 43: Vitamingehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats.....	80
Abbildung 44: Carotinoidgehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats.....	81
Abbildung 45: Gefiederzustand der Hennenherde mit fortschreitender Haltungsdauer.....	81
Abbildung 46: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand (Herde I und II).....	82
Abbildung 47: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand.....	84
Abbildung 48: Gefiederzustand der Hennenherde mit fortschreitender Haltungsdauer.....	85
Abbildung 49: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand.....	86

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Luftraten intensiver Haltungen Legehennen (SCHOBRIES 1986) .....	10
Tabelle 2: Luftvolumenstrom für Legehennen in eingestreuter Bodenhaltung (Temperatur 18 °C) .....	10
Tabelle 3: Zusammensetzung von frischem Hennenkot (SCHOLTYSSSEK 1968).....	11
Tabelle 4: Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen .....	12
Tabelle 5: Sinkgeschwindigkeit von Staubpartikeln zwischen 2,5 und 17,5 µm Durchmesser .....	12
Tabelle 6: Hintergrundkonzentrationen verschiedener Stoffe .....	20
Tabelle 7: Energie- und Nährstoffbedarf über die Legeperiode (DAMME UND HILDEBRAND 2002).....	23
Tabelle 8: Energie- und Nährstoffbedarf über die Legeperiode (Fütterungsempfehlung Lohmann Brown) .....	24
Tabelle 9: Tierverluste in Volierensystemen mit Berücksichtigung der Linie, Besatzdichte und Gruppengröße .....	26
Tabelle 10: Messtechnik zur Bestimmung der Außentemperatur und -feuchte.....	30
Tabelle 11: Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase.....	31
Tabelle 12: Relation zwischen den Maßeinheiten zur Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid.....	31
Tabelle 13: Messtechnik zur Bestimmung Abluftgeschwindigkeit und des Luftdrucks .....	32
Tabelle 14: Messtechnik zur Bestimmung des Stallstaubes .....	34
Tabelle 15: Messtechnik zur Bestimmung des Geruchs .....	34
Tabelle 16: Kenndaten des Außenklimas 2007/2008 .....	42
Tabelle 17: Kenndaten des Außenklimas 2008/2009 .....	43
Tabelle 18: Prozentuale Verteilung der Anströmungsrichtung innerhalb der Klimaklassen am Standort.....	44
Tabelle 19: Quartile der stündlichen Differenzdrücke (Pa) und Luftwechselraten (m <sup>3</sup> /Tierplatz u. Stunde im Stall in den untersuchten Außenklimaklassen .....	46
Tabelle 20: Kenndaten für die mittleren Volumenströme in den Abluftkaminen 1 bis 11 .....	48
Tabelle 21: Kenndaten für die mittleren Gesamtvolumenströme in den untersuchten Außenklimaklassen .....	49
Tabelle 22: Mittlere Kenndaten der Stall- und Umfeldkonzentration (mg/m <sup>3</sup> ) der Stallraumgase am Standort .....	50
Tabelle 23: Emissionsfaktoren für Ammoniak innerhalb der Klimaklassen und im Jahresverlauf.....	57
Tabelle 24: Kenndaten zur Emission, Immission und Deposition aus der Modellierung .....	59
Tabelle 25: Kalkulationsgrundlagen für die mittlere Staubkonzentration im Tagesverlauf .....	62
Tabelle 26: Kenndaten der Staubmessung (mg/m <sup>3</sup> ) am Standort der Hennenhaltung .....	62
Tabelle 27: Kenndaten der Staubemission am Standort der Hennenhaltung .....	63
Tabelle 28: Kenndaten der Tunnelmessung zur Quantifizierung der Flächenemissionen (mg/m <sup>3</sup> ).....	66
Tabelle 29: Kenndaten der Messung zur Quantifizierung der Flächenemissionen .....	67
Tabelle 30: Kenndaten zu Immissionsmessung (Ammoniakgehalt) innerhalb der Messtrasse (DOAS).....	69
Tabelle 31: Vergleich Emissionsmessungen (Abluftstrom Stall) mit DOAS/LASAT - Rückrechnung - Klimaklassen .....	75
Tabelle 32: Ammoniakimmissionszusatzbelastung nach zwei verschiedenen Methoden.....	76
Tabelle 33: Energie- und Nährstoffversorgung über die Legeperiode im Praxisbetrieb .....	78
Tabelle 34: Ausgewählte Bewertungsparameter der Vergleichsherden .....	82
Tabelle 35: Ausgewählte Kenndaten zum Einstreu und Frischkot aus der Hennenhaltung mit Futterzusatz (Probe) und aus Vorbefunden <sup>1)</sup> (Referenz).....	83
Tabelle 36: Stückkosten der Eierproduktion in einer Freilandhaltung .....	86

## Abkürzungsverzeichnis

Akh	Arbeitskraftstunden
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
EU	Endotoxinunit
GE	Geruchseinheiten
GV	Großvieheinheit (500 kg Lebendmasse)
H <sub>2</sub> O	Wasser
ha	Hektar (Flächeneinheit)
Ig	Immunglobulin
K	Kelvin, Temperaturdifferenzwert
KAT	Kuratorium artgerechte Tierhaltung
KbE	Koloniebildende Einheit
KK	Klimaklasse
Lee	dem Wind abgewandte Seite, vom Stall belastete Umfeldluft (Ablufffahne)
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LPS	Lipopolysaccharide
Luv	dem Wind zugewandte Seite, vom Stall unbelastete Umfeldluft
LW	Lebenswoche
Mio.	Million
MZF	Messzeitfenster
N	Stickstoff
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid (Lachgas)
n	Anzahl
PM (10)	Particulate Matter (aerodynamischer Durchmesser < 10 µm)
ppm	parts per million (Teile pro Million)
REE	Relative Elisa-Einheiten
RL	Richtlinie
RP	Rohprotein
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
Tpl.	Tierplatz
TS	Trockensubstanz
VO	Verordnung

# 1 Einleitung und Zielstellung

Mit den vom Gesetzgeber zunehmend geforderten alternativen Haltungsformen für Legehennen entfällt die bisher strikte Trennung zwischen dem Stallraum und dem Außenumfeld am Standort der Tierhaltung. Als zukunftsorientierte Haltungssysteme stehen in Deutschland Bodenhaltungen auf einer bzw. mehreren Haltungsebenen mit Scharrraum und optional Außenklimabereich zur Verfügung. Hierbei entstehen neue Managementanforderungen bei der Gestaltung des Stallklimas und der Auslauffläche bezüglich des Emissionsverhaltens dieser Systeme am Standortumfeld. In Mitteleuropa ist die Landwirtschaft die bedeutendste Ammoniakquelle und der Ursprung dieses Ammoniaks sind tierische Exkremate (DÄMMGEN & ERISMAN 2006). Insbesondere nahe liegende Waldareale bzw. hierzu zwischenzeitlich eingestufte Schutzstreifenanpflanzungen stellen bei einer Verschärfung ihrer Schutzwürdigkeit erhöhte Anforderungen an diese betroffenen Haltungen. Derzeit gelten 50–60 % dieser naturnahen Ökosysteme in Deutschland bezüglich des Stickstoffeintrags als gefährdet (NAGEL 2005; zit. DÄMMGEN & ERISMAN 2006). Zur Reduzierung des N-Eintrags in derartigen Ökosystemen wurde ein Arbeitspapier (LAI-Unterausschuss) bezüglich der Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen vorgelegt. Das Papier soll bei genehmigungsbedürftigen Anlagen (BImSchG, § 4) angewendet werden. Weiterhin findet es bei Sonderfallprüfungen Anwendung, wenn hinreichende Anhaltspunkte vorliegen. Zurzeit wird davon ausgegangen, dass bei Immissionswerten von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Gesamtbelastung bzw.  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Zusatzbelastung keine wesentliche Gefährdung empfindlicher Ökosysteme besteht. Eine ergänzende Prüfung der Stickstoffdepositionen findet derzeit nur statt, wenn z. B. der Viehbesatz über 2 GV je Hektar liegt. Die Berücksichtigung der im LAI-Arbeitspapier fixierten „critical loads“ (kritische Eintragsrate) für verschiedene Biotoparten kann dazu führen, dass die einzuhaltenen Abstände der Tierhaltungen zu beispielsweise Waldarealen in einer Neubewertung sich erweitern. So werden im angeführten Arbeitspapier basierend auf dem Modellierungs- und Kartierungshandbuch der UNECE-Luftreinhaltekonvention (CLRTAP) für Wälder in Abhängigkeit vom Reaktionsort bis maximal 20 kg Stickstoff je Hektar im Jahresverlauf toleriert. Nach HETTELINGH et al. (2005) sind in Deutschland für 90 % derartiger Ökosysteme die kritischen Eintragsraten für eutrophierenden Stickstoff überschritten (zit. DÄMMGEN & ERISMAN 2006). Den größten Anteil haben gegenwärtig dabei Ammoniak und Ammonium. Insbesondere der Ammoniakemission, welche über die Ammoniakverfügbarkeit die Ammoniumsalzkonzentration wesentlich beeinflusst, wird zukünftig deutlich mehr Beachtung geschenkt werden (DÄMMGEN & ERISMAN 2006). Das hat grundlegende Bedeutung für die Unternehmen, die entsprechend der administrativen Vorgaben ihre Haltungssysteme auf extensive Bodenhaltungssysteme mit z. T. Außenklimabereich umstellen. Zum einen könnte hieraus eine Verschärfung der Regelungen für genehmigungswürdige Anlagen erwachsen, zum anderen wird der Fortbestand von Tierhaltungen in der Nähe derartiger Biotope erschwert.

Die Untersuchungen fanden von Februar 2007 bis Mai 2009 statt. Zur Bereitstellung belastbarer Kenndaten zu diesem Sachverhalt wurden Emissions- und Immissionsmessungen zu stickstoffhaltigen Stallraumlasten (insbesondere Ammoniak) unter Berücksichtigung von Flächenquellen (Ausläufe) durchgeführt. Ziel des Untersuchungsprojektes war es deshalb, die Stickstoffdepositionen und Ammoniakimmissionen in Anlagennähe mit Bezug zu angrenzenden Waldarealen im Umfeld von Bodenhaltungssystemen mit Auslauf für Legehennen bewerten und dabei die Beiträge einzelner Haltungsbestandteile (Stall, Auslauf) am Emissionsgeschehen einschätzen zu können. Weiterhin sollte der Zusammenhang zwischen Emission, Immission und Deposition herausgearbeitet werden. Hierzu wurden die gewonnenen Daten mittels Ausbreitungsberechnungen gegenübergestellt und bewertet. In diesem Gesamtkontext wurden in einem zweiten Schritt Maßnahmen zur Verminderung der Stickstofffreisetzung in die Untersuchungen einbezogen. Weiterhin wurden anhand der über zwei Stallbelegungen kontinuierlich gewonnenen Daten zum Emissionsverhalten des Haltungssystems bisherige Kalkulationsansätze zur Bestimmung von Emissionsfaktoren auf ihre Belastbarkeit geprüft. Die Basis dieser Analysen bildeten Datenpools aus kontinuierlichen Messungen der gasförmigen Stallraumlasten, des Abluftvolumenstromes und wesentlicher Wetterdaten sowie aus Spotmessungen zur Staub- und Geruchsstoffkonzentration in der Stall- und Abluft der Hennenhaltung. Diese Datenpools wurden durch Zeitfenstermessreihen zur Immission und Deposition von Stickstoffverbindungen im Umfeld der Hennenhaltung ergänzt. Aus den gewonnenen Ergebnissen werden praxisrelevante Ableitungen zum Management dieser Bodenhaltungssysteme und für die Genehmigungsverfahren auf der Basis belastbarer Daten herausgearbeitet.



# 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 -feuchte, 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 -feuchte

Hühnervögel benötigen zur Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels eine relativ konstante Körpertemperatur zwischen 41 und 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 und 33 °C. Er sinkt mit jeder weiteren Lebenswoche um ca. 3 K ab und liegt in der 8. Lebenswoche zwischen 17 und 20 °C. Ab der 12. Lebenswoche tolerieren die Junghennen Temperaturen zwischen 14 und 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 und 24 °C bei einer Außentemperatur zwischen -3 °C und 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 je m<sup>3</sup> Stallfläche benötigt (1999, zit. bei DAMME & HILDEBRAND 2002). Selbst bei gut isolierten Ställen sind noch ca. 11 Tiere je m<sup>2</sup> 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 sieben bis neun Tiere je m<sup>2</sup> gehalten werden.

Der thermisch neutrale Temperaturbereich liegt bei Legehennen zwischen 12,0 °C und 25,5 °C (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999). Weil u. a. auch die Legeleistung und das Eigewicht vom Stallklima beeinflusst werden (PAYNE 1966) und eine Unter- bzw. Überschreitung Leistungsdepressionen verursacht, wird ein leistungsangepasster Optimalbereich zwischen 15 °C und 22 °C empfohlen (DIN 18910-1). Niedrige Temperaturen werden von den Tieren besser kompensiert. Die Tiere gleichen den erhöhten Energiebedarf für die Wärmeproduktion durch eine erhöhte Futtermittelaufnahme 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 Luftfeuchte im Mittel innerhalb des Optimalbereiches rangiert (LFL 2004). Kennzeichnend sind unabhängig von der Aufstallungsform erhebliche

che Schwankungsbreiten im Tagesverlauf. Die Stallinnenwerte folgen den Außenwerten, dabei wurden im Sommer auch Stalllufttemperaturen über 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 Luftfeuchte für eine optimale Klimagegestaltung und den Schutz der baulichen Einrichtungen nicht über 70 – 80 % steigt (TÜLLER 1999). Insbesondere im Winter sind hier kurzzeitige Überschreitungen zu erwarten (MÜLLER 2003). Ursache hierfür ist die geringere Wasseraufnahme kalter Luft. Um Stalllufttemperatur und -feuchte im Optimalbereich zu halten, ist ein angepasster Luftaustausch nötig. Hierfür werden unabhängig vom Lüftungssystem (Überdruck-, Unterdruck-, Gleichdrucklüftung) nachfolgende Luftraten empfohlen:

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

Lebendmasse (g)	Sommerluftrate (m³/h*Tier)	Winterluftrate (m³/h*Tier)
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 ist.

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

Lebendmasse	kg	1,5	2,0	2,5
Wintervolumenstrom				
Mindestluftvolumenstrom	m³/h*Tier	0,5	0,7	0,8
Sommerluftvolumenstrom				
Maximaler Luftvolumenstrom bei 2 K	m³/h*Tier	4,7	5,8	6,9
maximaler Luftvolumenstrom bei 3 K	m³/h*Tier	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 je s sollte auch in Hitzeperioden nicht überschritten werden (DAMME & HILDEBRAND 2002). Kennwerte aus Legehennenhaltungen in Praxisbetrieben variieren im Minimum zwischen 0,9 und 1,1 m³/h\*Tier (SEEDORF et al. 1998). Im Maximum liegen diese zwischen 1,3 und 5,3 m³/h\*Tier. Eigene Untersuchungen ergaben, dass in untersuchten Bodenhaltungssystemen im Winterhalbjahr Luftraten zwischen 1,1 und 2,1 m³/h\*Henne (Differenzdruck -1 bis -12 Pa) und im Sommerhalbjahr zwischen 2,9 und 6,2 m³/h\*Henne (Differenzdruck -3 bis -15 Pa) realisiert wurden (LIPPMANN 2007).

### 2.1.2 Stallgase

Zu den wichtigsten gasförmigen Stallraumlasten in der Tierhaltung gehören Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O).

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 über 35 °C und Feuchtegehalten oberhalb 40 % im Tierexkrement findet ein vermehrtes Bakterienwachstum statt (BESSEI & DAMME 1998). Je Henne fallen jährlich in Bodenhaltung 65 kg Frischkot (20 - 25 Prozent TS) an. Bei 1,3 Prozent Stickstoff entfallen je Henne ca. 0,8 kg im Jahr (TÜLLER 1999). Frischer Hennenkot setzt sich wie nachfolgend zusammen.

**Tabelle 3: Zusammensetzung von frischem Hennenkot (SCHOLTYSEK 1968)**

Fraktion	Wasser	OS	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
%	56	26	1,6	1,5	0,9

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 Hennenhaltungs-VO (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/m<sup>3</sup>) weitestgehend eingehalten werden. Eine Stalllagerung des Kotes verursacht insbesondere in der Übergangszeit und im Winter Stallluftkonzentrationen bis 50 mg/m<sup>3</sup>. 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 (Hennenhaltungs-VO). Insbesondere in den kälteren Wintermonaten wird dieser Wert kurzzeitig überschritten (MÜLLER 2003). Eigene Untersuchungen zeigten, dass eine wesentliche Ursache die Verringerung der Luftwechselrate zur Stabilisierung der Innentemperatur bei niedriger Außentemperatur ist (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 und 40 °C.

Methan entsteht innerhalb anaerober mikrobieller Abbauprozesse organischer Stoffe (Fette, Kohlehydrate, Eiweiße). Die mikrobiellen Aktivitäten sind im Temperaturbereich von 4 bis 60 °C möglich, erreichen ihr Plateau bei 55 - 60 °C. In der Geflügelhal-

tung 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, Endo- und Mykotoxinen, 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.

**Tabelle 4: Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen**

Staubfraktion	Durchmesser (µm)	Sinkgeschwindigkeit (mm/Sek.)
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.

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

Durchmesser µm	Sinkgeschwindigkeit mm/Sek.
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, PM10 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). Ca. 80 Prozent der luftgetragenen Mikroorganismen nutzen diese Möglichkeit als Transportmittel und zum Stoffwechsel. Aufgrund dieser Beziehungen hat ein Bioaerosol das Potenzial zur Infektiosität, Allergisierung, Toxizität und pharmakologischer Wirkung (SEEDORF & HARTUNG 2002). Unter Tierhalten werden Atemwegserkrankungen zwischen 12 – 20 % aufgrund einer Staubexpositionen geschätzt (HARTUNG 2005). Bei der Hennenhaltung haben insbesondere die Volieresysteme 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/m<sup>3</sup> Luft kann zu einer Zunahme der Sensibilisierung führen. So schränken Konzentrationen an Gesamtstaub > 2,8 mg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>, für Kanada, Schweden, Dänemark von 5 mg/m<sup>3</sup> und für Großbritannien von 10 mg/m<sup>3</sup>. In Deutschland existieren zurzeit keine Grenzwerte. Richt- und Grenzwertempfehlungen liegen für Gesamtstaub (einatembarer Staub) im Bereich von 2,4 bis 2,8 mg/m<sup>3</sup> und für alveolengängigen Staub zwischen 0,16 und 0,23 mg/m<sup>3</sup> (SEEDORF & HARTUNG 2002). Die BioStoffVO legt einen Maximalwert von 10 mg/m<sup>3</sup> einatembarem bzw. 3 mg/m<sup>3</sup> alveolarem Staub für Arbeitsplätze zugrunde (TRGS 900). Grenzwerte für anthropogene Staubemissionen werden seit 2005 für Gesamtschwebstaub mit 0,15 mg/m<sup>3</sup> im Tagesmittel und 0,30 mg/m<sup>3</sup> an 18 Tagen im Jahr (RL89/427/EWG) und für atembaren Staub (PM10) mit 0,04 mg/m<sup>3</sup> im Tagesmittel und 0,05 mg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>, bei alveolengängigem Staub bei 0,38 mg/m<sup>3</sup>. Hier traten auch mit 36,6 und 1,13 mg/m<sup>3</sup> die Maximalwerte auf. Die mittlere Gesamtkeimzahl in Geflügelhaltungen beträgt 28 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> (Maximum bei 58 \*10<sup>6</sup> KbE/m<sup>3</sup>). Die Gesamtkeimzahl gramnegativer Bakterien erreicht im Mittel 46 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> (im Maximum mit Faktor 16304 zum Median). Bei der Pilzfraktion werden in den Geflügelhaltungen mit 1,3 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> (Maximum bei 1,45 \*10<sup>6</sup> KbE/m<sup>3</sup>) die niedrigsten Werte gefunden. Die Endotoxinwerte lagen in der Geflügelhaltung im Mittel bei 75,6 ng/m<sup>3</sup>.

In der Luft über Auslaufflächen für Legehennen ermittelte ANGERSBACH-HEGER (2002) 30,4 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> Gesamtkeime und 36,4 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> Pilze. Im Stall fand sie 190 – 7100 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> Gesamtkeime und 5,2 \*10<sup>3</sup> KbE/m<sup>3</sup> Pilze sowie 63 EU/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> Gesamtstaub (PM10 bei 0,4 mg/m<sup>3</sup>) und ein Konzentrationsverhältnis zwischen Abluft- und Stallkonzentration von 1: 1,8 – 2,1.

Staubgehalte zwischen 15 bis 90 mg Gesamtstaub je m<sup>3</sup> Stallluft 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 je m<sup>3</sup> nach BioStoffVO. Die Untersuchungen über einen erweiterten Zeitraum zeigen, dass die Staubgehalte der Stallluft deutlich an das Tierverhalten gekoppelt sind. In eigenen Untersuchungen wurden für Volieresysteme eine Staubkonzentration zwischen 7,1 und 23,8 mg/m<sup>3</sup> 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. 1/3 der Vergleichswerte der Voliere im Sommer. Die Gesamtkeimkonzentrationen variierten deutlich. Aerobe Keime wurden zwischen 647 und 14.000.000 KbE/m<sup>3</sup>, gramnegative zwischen 1,8 und 190 und Schimmelpilze zwischen 370 und 47.000 KbE/m<sup>3</sup> gemessen.

#### 2.1.4 Geruch

Geruchsstoffe sind flüchtige flüssige und feste Trägersubstanzen. Der Mensch nimmt diese über eine Vielzahl an Chemorezeptoren 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 bis 48 GE/m<sup>3</sup> bewertet. Der Wertebereich liegt zwischen 25 und 62 GE/m<sup>3</sup>. Eigene Untersuchungen ergaben für Volierehaltungen im Mittel zwischen 47 und 81 GE/m<sup>3</sup> (LIPPMANN 2007). Dabei wurden Maximalwerte bis 110 GE/m<sup>3</sup> gemessen. Demgegenüber wurden in herkömmlicher Bodenhaltung mit einer Haltungsebene und Kotbunker im Mittel 27 GE/m<sup>3</sup> 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 müssen für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Stallanlagen (§ 5 BImSchG) tierhaltungsverursachte Stickstoffdepositionen im Umfeld der Stallung gegenüber differenzierten Ökosystemen beurteilt werden. Das kann auch nicht genehmigungsbedürftige Stallanlagen betreffen, wenn ein hinreichender Anhaltspunkt – z. B. Standort mit mehr als 2 GV – gegeben ist (TA-Luft). Hierbei müssen ökologische Belastungsgrenzen (Critical Loads) für die Wirkung von Luftinhaltsstoffen auf diese Habitate Berücksichtigung finden. 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 im Jahr. Zusätzlich muss im Zusammenhang mit der Geruchsimmission die Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL 2008) bzw. wie in Praxis üblich die Mindestabstandsregelung (VDI 3472) in der landwirtschaftlichen Standortbeurteilung Beachtung finden (GRIMM 2003). Ziel ist, Anwohner und sensible Öko-Systeme vor erhöhten Belastungen durch diese Substanzen zu schützen. Hieraus resultieren einzuhaltende Mindestabstände der Stallanlagen. Einzuhaltende Obergrenzen (TA-Luft) existieren zum Gesamtschwebstaub und Feinstaub (PM<sub>10</sub>). Zur Unterbindung negativer Umweltwirkungen werden die Emissionen aus Tierhaltungen auf maximal 200 g Massenstrom je Stunde bzw. 20 mg Massenkonzentration je m<sup>3</sup> begrenzt. Die Grenzwerte für Ammoniak – hier ist die Tierhaltung mit ca. 80 % der Gesamtemission Hauptemittent in Deutschland – werden mit 150 g Massenstrom je Stunde bzw. einer Konzentration von 30 mg je m<sup>3</sup> 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 (DBV 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/Tier im Jahr (TA-Luft, klassische Bodenhaltung). Für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker ermittelte BRUNSCH et al. (2005) 97 – 389 g, für Volieresysteme 91 – 136 g und für den ausgestalteten Käfig 31 – 49 g/Tier im Jahr. Die bisherigen Ergebnisse eigener Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL 2004) bestätigen diese Tendenz. Im Mittel wurden 226 g/Tier im Jahr gemessen. Hierbei lagen die Volieresysteme deutlich unter dem Mittel. Die große Schwankungsbreite ist sowohl auf die Komplexität der eingesetzten Verfahrenstechnik, der Fütterung, aber auch z. T. auf Unterschiede in den Messmethoden zurückzuführen.

Die TA-Luft definiert für die Haltungssysteme Käfig, Voliere und Boden mit Kotlagerung im Stall Ammoniakemissionsfaktoren von 38,9, 91,1 und 315,7 g/Tier im Jahr. In eigenen Untersuchungen wurden Emissionsfaktoren für Volieresysteme von 56,5 g und für Bodenhaltungssysteme mit Kotbunker von 312 g/Tier im Jahr ermittelt (LIPPMANN 2007). Diese Systeme wurden überwiegend ohne Kotbandbelüftung bewirtschaftet. Im Kontext mit diesen Kenndaten erweist sich der Faktor von 2,3 zwischen 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. In Untersuchungen in Bodenhaltungssystemen Hennenhaltungen wurden in Volieren im Mittel 26,5 kg/Tier und in der klassischen Bodenhaltung 34,3 kg/Tier im Jahr 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/Tier im Jahr (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/Tier im Jahr ermittelt. Dabei konnten keine Differenzen zur Zuluftkonzentration nachgewiesen werden (LIPPMANN 2007).

Emissionsfaktoren für Methan lagen in eigenen Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL 2004) zwischen 29,8 und 235,4 g/Tier im Jahr. Mit zunehmender Dauer der Lagerung im Stall werden hier die höheren Kennwerte erreicht. Für Volierehaltungssysteme wurde ein Emissionsfaktor von 20,9 g/Tier im Jahr 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/Tier im Jahr an inhalierbaren (PM 10) und 2,32 g an alveolengängigen (PM 2,5) Staub in Käfighaltungen. Demgegenüber lagen die Werte in der Bodenhaltung bei 91,77 g inhalierbaren bzw. 17,76 g alveolengängigen 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/Tier im Jahr in der Hähnchenmast. Einen deutlichen Unterschied verursacht ein differentes Außenklima. So ermitteln MOSTAFA & BÜSCHER (2007) für den Monat Juli 5,57 mg Gesamtstaub je Stunde und Tier in Volieren, im November werden hier 18,25 mg gemessen. 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 PM10 gerichtet, so werden künftig die Fraktionen PM2.5 und PM1 mehr Beachtung finden (HINZ 2005).

Zum Schutz von Anliegern wird der Emissionsmassenstrom auf 200 g je h bzw. eine Massenkonzentration von 20 mg je m<sup>3</sup> (TA-LUFT 2002) begrenzt. Die Bestimmung von Emissionskenngrößen kann der TA-Luft entsprechend unterbleiben, wenn der Bagatellmassenstrom von 100 g je 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/s\* GV eine höhere Geruchsstofflast als die Bodenhaltung mit 46 GE/s\* GV. 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/s\* GV sind daher realistischer. Deutlich höhere Lasten von über 90 GE/s\* GV werden bei Flüssigkot registriert (KTBL 1996). In eigenen Untersuchungen (LFL 2004) wurden Geruchsstoffmassenströme zwischen 9,2 und 18,5 GE/s\* GV 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/s\* GV. Hierbei wurde ein mittlerer jährlicher Volumen-

strom von 50.000 m<sup>3</sup> je Stunde ermittelt. Für die Bodenhaltung mit Kotbunker wurde ein vergleichbarer Emissionsfaktor ermittelt. Aufgrund des geringen Umfangs sind die Kennwerte noch wenig belastbar.



## 2.3 Emissionen über der Auslauffläche

Die mittlere Umgebungsluft hat in Mitteleuropa nach STROH & DJERADI (2004) eine Ammoniakkonzentration zwischen 0,1 und 0,5 µg je m<sup>3</sup>. In forstwirtschaftlich genutzten Gebieten liegt sie bei 0,5 – 1,0 µg, in ackerbaulich geprägten Gebieten zwischen 1,0 – 3,0 µg und in Gebieten mit intensiver Tierhaltung zwischen 5,0 -20,0 µg je m<sup>3</sup>.

Für die Freisetzung von Ammoniak über Freiflächen wie Ausläufe ist der Partialdruck in der bodennahen Luft maßgebend. BUS-SINK (1990) gibt hierfür eine Ammoniakgleichgewichtskonzentration von ca. 1 µg je m<sup>3</sup> Luft an. Hierdurch entscheidet sich, ob die Fläche Ammoniak aufnimmt oder abgibt. Bei trockenen und warmen Wetterlagen emittiert die Fläche mehr Ammoniak als bei nassem und kühlem Wetter. So stiegen die Ammoniakemissionen über einer Weidefläche nach Applikation von Urin (im Labor untersucht mit Gaswaschflaschen) innerhalb von acht Tagen von 25 auf 38 %, wenn die Temperatur von 4 auf 20 °C erhöht wurde. Hierbei wurde dem Messsystem kontinuierlich Luft mit 70 % Feuchte zugeführt (WHITEHEAD & RAISTRICK 1991). Die Emissionen sanken mit zunehmender Regenmenge. Bei 20 °C sind nach 2 - 3 Tagen etwa 25 % des Stickstoffs als Ammoniak emittiert. Danach sind die Emissionen nur noch gering. Die Bodenfeuchtigkeit vor der Applikation und die Luftfeuchte hatten nur einen geringen Einfluss. Trockener Boden in Kombination mit geringer Luftfeuchte reduzierte die Emission.

BUS-SINK (1990) stellt als weitere Einflussfaktoren Windgeschwindigkeit, Ureaseaktivität, Wassergehalt und Nitrifikationspotenzial des Bodens heraus. Die Windgeschwindigkeit steigert die Emissionen an Ammoniak (THOMPSON et al. 1990). Den deutlichsten Einfluss hat die Lufttemperatur auf die Ammoniakfreisetzung (LEICK 2003). Weiterhin hat die Bodenzusammensetzung einen wesentlichen Einfluss, wovon auch das Nitrifikationspotential des Bodens abhängt. Die Ammoniakemission lag in den Untersuchungen von LEICK (2003) nach Gülleausbringung auf Grünland zwischen 11 und 40 %. Wird Rinderkot auf unbewachsenem Boden ausgebracht, ist die Ammoniakemission (Windtunnel und Gaswaschflaschen) 1,5-mal niedriger als bei Applikation auf Grasland (THOMPSON et al. 1990).

BUS-SINK (1990) untersuchte die Ammoniakemissionen von Harn- und Kotstellen auf beweidetem, mineralisch gedüngtem Grünland mittels mikrometeorologischer Massenbilanzmethode und Gaswaschflaschen. Schätzungsweise 3 - 8 % des mit Kot und Harn ausgeschiedenen Stickstoffs wurden auf der Weide als Ammoniak emittiert. VERTREGT et al. (1988) ermittelten mit Messtunnel Verluste von 13 % Harn- u. Kotstickstoff durch die Ammoniakemission.

Bei genormten Exkrementapplikationen (Rind) auf Weideflächen wurden mittels Messtunnel Ammoniakemissionen von 9 % des applizierten Exkrementstickstoffs von Urinstellen und ca. 1,5 % von den Kotstellen gemessen (ANGER 2001). LOCKYER & WHITEHEAD (1990) untersuchten Ammoniakemissionen nach Ausbringung von Rinderurin auf Grasland mittels Windtunnel und Gaswaschflaschen in verschiedenen 15-Tage-Perioden. 3,7 bis 26,9 % des applizierten Stickstoffs wurde als Ammoniak emittiert. Die Ergebnisse zeigen, dass mindestens 70 % des gesamten Ammoniaks in den ersten vier Tagen gebildet wird.

BERRY et al. (2005) ermittelten Ammoniakkonzentrationen über einem befestigten Auslauf für Schweine. Im Winter lagen diese zwischen 0,07 und 0,88 mg/m<sup>3</sup>, im Sommer zwischen 0,69 und 1,29 mg. Über einer plan befestigten Liegefläche im Schweinestall betrug durchschnittlich NH<sub>3</sub>-Konzentration (Windtunnel mit Multigas-Monitor) innerhalb von 90 Minuten 4,21 mg/m<sup>3</sup>. Die Konzentration sank deutlich durch Abtrocknung der Oberfläche (SIEBERT 2003). Einen deutlichen Einfluss auf die Emission von befestigter Fläche hat die Reinigungshäufigkeit (MISSELBROOK et al. 2001; IVANOVA-PENEVA et al. 2005).

Die anthropogene Lachgasemission kommt nach MOTZ & KUTZBACH (2002) zu 50 bis 75 % aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Hierbei wurde im Winter ein deutlich höherer Anteil emittiert. Ursache hierfür wird in einer geschlossenen Oberfläche im Sommer gesehen. MOTZ (2003) stellte fest, dass nur 0,18 % des Stickstoffs aus ausgebrachtem Hühnermist in den ersten 13 Tagen über Lachgasemissionen verloren geht. Wird die Lachgasfreisetzung vermindert, erhöht sich die Ammoniakemission. Emissionsmessungen (Massenbilanzmethode und Passivsammler) über einer gegüllten Weidefläche (Schweinegülle) bis 90 Tage nach der Ausbringung zeigten, dass sofort nach der Ausbringung die Emissionsrate für Ammoniak am höchsten ist und dann schnell absinkt (SHERLOCK et al. 2002). Die Methanemission ist sofort nach der Ausbringung ebenfalls am höchsten, verbleibt dann auf niedrigem Niveau über etwa sieben Tage. Die Lachgasemission (Statische Kammer) war in den ersten 14 Tagen demgegenüber gering, stieg dann punktuell an und erreichte den Hintergrundwert etwa nach 90 Tagen. Gegenüber Ammoniak emittiert Lachgas aus einer gedüngten Fläche mit steigenden Niederschlägen (HELLBRAND et al. 2005). Zum Nitratgehalt des Bodens bestand keine oder nur sehr geringe Beziehung.

## 2.4 Immissionen im Umfeld von Tierhaltungen

Die Immission ist die Konzentration oder Deposition der Luftverunreinigungen am Ort der Einwirkung als Ergebnis der Emissions- und Transmissionsvorgänge, die vor allem von der Menge der freigesetzten Luftverunreinigung, dem Abstand und der Lage zur Quelle sowie der Intensität der Verdünnung und den Verfrachtungsbedingungen in der Atmosphäre abhängt. Die Austragung in die Umwelt hängt von der Menge des emittierten Stoffes, von den zur Zeit der Emission herrschenden klimatischen Bedingungen (z. B. Windgeschwindigkeit), von der Höhe der Emissionsquelle über dem Erdboden, den topografischen Gegebenheiten der Stallumgebung und dem aerodynamische Durchmesser der Partikel ab (HADWIGER-FANGMEIER et al. 1992). Die im Stall entstehenden Raumlasten wie Staub, Geruch und Gase - z. B. Ammoniak - werden über die Lüftung in unterschiedlicher Konzentration in das Stallumfeld verfrachtet und sind dort als Immission mess- und wahrnehmbar.

Zur Begrenzung der Feinstaubbelastung dürfen maximal 40 µg in 1 m<sup>3</sup> Luft enthalten sein (RL 1099/30/EG, 2005). An maximal 35 Tagen im Jahr kann dieser Wert auf 50 µg/m<sup>3</sup> steigen. Diese Regelung ist in deutsches Recht umgesetzt (BImSchG, 22. BImSchV).

Nach SCHMIDT & HOY (1996) sind in einer Distanz von 100 m zum Stall nur noch weniger als 2,1 % der im Stall (Geflügelintensivhaltung) gemessenen Staubkonzentrationen messbar.

Mit dem anorganischen Anteil des Stallstaubes werden auch organische Stallluftpartikel wie Mikroorganismen emittiert. SEEDORF (2006) berichtet, dass an einem Immissionsort im Abstand von ca. 500 m um einen Broilerstall die Staphylokokkenkonzentrationen auf einem Niveau der Nachweisgrenze (300 KbE/m<sup>3</sup>) festzustellen ist. Nach etwa 200 m ist mit einer Mikroorganismenkonzentration zu rechnen, die auch in unbelasteter Außenluft auftreten kann. Dabei kann diese Entfernung auch überschritten werden, wenn besondere Bedingungen (wie z. B. eine große Quellstärke oder eine einheitlich gerichtete Luftströmung) wirken (HILLGER 1991). MÜLLER (1987) geht von etwa 250 m Verfrachtungsentfernung aus. Untersuchungen von HARTUNG (1990) in einem Gebiet mit intensiver Geflügel- und Schweinehaltung lassen vermuten, dass Pilze möglicherweise weiträumiger als Bakterien in der Stallumgebung verteilt werden. Untersuchungen von SCHIEK (1998) zeigten, dass in 450 m Entfernung im Lee einer Hühnermastanlage bis zu 1,3 x 10<sup>8</sup> KbE/m<sup>3</sup> Bakterien (v.a. *Staphylococcus gallinarum*) und bis zu 2,6 x 10<sup>3</sup> *Aspergillus spec.* sowie *Cladosporium spec.* und andere Schimmelpilze nachgewiesen werden konnten, während im Luv des Stalles und in 600 m Entfernung praktisch keine Bakterien, Pilze und Hefen nachweisbar waren. Wälder können hier einen natürlichen Filtereffekt ausüben.

Für Viren ist die Möglichkeit der Verdriftung ebenfalls gegeben. Sie werden fast ausschließlich an Staub- oder sonstige Trägerpartikel gebunden übertragen. In einer Entfernung von 150 m zur Keimquelle sinkt die Viruskonzentration (Newcastle) derart ab, dass nur in Ausnahmefällen von einer aerogenen Übertragung einer ausreichenden Zahl infektiöser Einheiten über größere Strecken auszugehen ist (LUTZ 1983). Längere Perioden mäßiger, aber einheitlicher Windrichtung, niedrige Temperaturen von 2 bis 5 °C und eine hohe Luftfeuchtigkeit wirken sich begünstigend auf die Verfrachtung von Viren aus (HILLIGER 1991).

Nach Untersuchungen zur Keim- und Staubemissionen aus Geflügelställen leitet SARIKAS (1976) ab, dass weder die Haltungform noch das Belüftungssystem und die Tierzahl (Tiere/Stall) einen Einfluss auf die Keimemissionen haben. Dabei ist der Gesamtkeimgehalt starken Schwankungen unterworfen. Bereits 10 m vom Emissionsort sinken die Gesamtkeimzahlen deutlich, über 10 m ist mit einer gleichbleibenden Gesamtkeimzahl zu rechnen. Für die relative Häufigkeit des Vorkommens von Leitkeimen (Staphylokokken, Streptokokken und Colikeime) ergibt sich ein kontinuierlicher Abfall. Staphylokokken- und Streptokokkenkonzentrationen nehmen langsamer (nach 100 m 10-15 %), Colikeime rapider (nach 40 m 0 %) ab. Vereinzelt wurden allerdings auch noch über 100 m vom Emissionsort diese Leitkeime gefunden. Die aus den Ventilationsschächten ausgestreuten Luftkeime können laut SARIKAS (1976) mit dem Wind mindestens 100 m weit verweht werden. Zudem besteht kein Zusammenhang zwischen Luftkeimgehalt und Lufttemperatur sowie relativer Luftfeuchtigkeit, wohl aber zwischen Luftkeimgehalt und Windgeschwindigkeit sowie Staubmenge. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt PLATZ et al. (1979). Dabei stellte er fest, dass im Tagesverlauf eine annähernd gleichbleibende Verfrachtung stallspezifischer Mikrokokken stattfindet.

Die Keimkonzentration über einer Auslauffläche (Volierenstall, 9.600 Tpl.) ist bei Anwesenheit der Hennen höher (ANGERSBACH-HEGER 2002). Dabei lagen die Konzentrationen ohne Anwesenheit der Hennen in einer Höhe von 0,7 m bei 3608 KbE/m<sup>3</sup> (Gesamtkeime) und 29167 KbE/m<sup>3</sup> (Pilze) weitgehend unabhängig von der Messpunkthöhe. Mit Anwesenheit der Hennen stieg die

Anzahl Gesamtkeime in 0,7 m Höhe auf das 10-Fache und in 1,3 m auf das ca. 5-Fache. Die Anzahl an Pilzen veränderte sich mit der Anwesenheit der Hennen in 0,7 m Höhe unwesentlich, variierte in 1,3 m Höhe jedoch ungerichtet. Im Luv (40 m vom Stall) lag die Konzentration auf vergleichbarem Niveau der Werte ohne Anwesenheit der Hennen. Im Stall betragen die Gesamtkeimzahlen 190000 bis 7100000 KbE/m<sup>3</sup> und die Anzahl mesophiler Pilze bis 5200 KbE/m<sup>3</sup>. Die höchsten Endotoxinkonzentrationen lagen bei 63 EU/m<sup>3</sup> in 0,70 m Höhe über der mit Hennen besetzten Auslauffläche (September). Im Luv wurde ein Höchstwert von 49 EU/m<sup>3</sup> (Juli) gemessen. Aus den Ergebnissen lässt sich ein deutlicher saisonaler Einfluss erkennen. Die höchsten Konzentrationen werden im Sommer, die geringeren im Winter gemessen. Dies insbesondere bei der Pilzkonzentration. Zusammenfassend stellt ANGERSBACH-HEGER (2002) fest, dass die über der Auslauffläche gefundenen Luftkeimzahlen nur etwa um das 2- bis 3-Fache über den im Schrifttum beschriebenen Konzentrationen in der Außenluft ländlicher und städtischer Umgebung liegen. Eine Ausbreitung über 100 m ist unwahrscheinlich. Es ist aber zu berücksichtigen, dass mit der Verfrachtung von Feinstaub und bei begünstigenden meteorologischen Bedingungen eine weiträumigere Verfrachtung von Mikroorganismen erfolgen kann.

Demgegenüber stellten KÖLLNER & HELLER (2006) bei Legehennenhaltungen in einer Distanz zum Stall von 100 m eine gegenüber der Hintergrundkonzentration (Lee) 5-fach erhöhte Konzentration an Bakterien und Endotoxinen fest. Staphylokokken lagen nach 100 m im Luv bei dem 20-Fachen der Hintergrundbelastung und erreichten diese erst nach 400 – 500 m. In Untersuchungen von SCHULZ et al. (2005) war in dieser Distanz zum Stall die Staphylokokkenanzahl noch deutlich über der Hintergrundkonzentration.

KÖLLNER et al. (2005) ermittelten im Umfeld einer Schweinemast (2.000 Tpl.) Immissionskonzentrationen für Bakterien, Endotoxine und Pilze im Luv und 50, 75, 100 und 200 m im Lee. Die Hintergrundkonzentration (Luv) lag dabei bei 37 KbE für Bakterien, bei 0,3 EU für Endotoxine und bei 339 KbE/m<sup>3</sup> für Pilze. Nach 50 m im Lee stieg die Bakterienanzahl auf das ca. 5-Fache, die Endotoxin- und die Pilzekonzentration blieben annähernd unverändert. Mit zunehmender Distanz zum Stall nimmt die Konzentration ab und liegt nach 200 m für Bakterien beim 2,5-Fachen, für Endotoxine auf dem 0,3-Fachen und bleibt für Pilze relativ unverändert.

Neben Staub emittiert aus landwirtschaftlichen Legehennenhaltungen vor allem auch Ammoniak und beeinflusst so das Immissionsgeschehen im Umfeld der Tierhaltung. Ammoniak reagiert mit sauren Luftbestandteilen (Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure) zu partikulären Ammoniumverbindungen. Der größte Teil des Ammoniaks wird bereits in den untersten Luftschichten konvertiert – am Tag schneller als in der Nacht. Ammonium zeigt durch den Ferntransport der Aerosolpartikel eine relativ gleichmäßige horizontale Verteilung, bevor es als trockene oder nasse Deposition aus der Atmosphäre ausgetragen wird. Die Deposition des Ammoniaks erfolgt hauptsächlich als trockene Ablagerung mit einer Depositionsgeschwindigkeit von ca. 0,3 bis 3 cm/sec (HADWIGER-FANGMEIER et al. 1992). Bis zu einer Höhe von 200 m über dem Boden nimmt Ammoniak stark ab. In 1.500 m (Winter) bzw. 3.000 m (Sommer) werden Hintergrundwerte erreicht. Die Verweildauer von Ammoniak in der Atmosphäre wird zwischen 2,8 Stunden bis 4 Tagen angegeben. Innerhalb von 600 m beträgt die Abnahme der Ammoniakkonzentration ca. 50 % (ERISMAN et al. 1987). In einem Abstand von 4 km zur Emissionsquelle (Ackerland) nimmt die Konzentration von Ammoniak um 70 % ab (ASMAN et al. 1989).

Im Tagesverlauf variiert die Konzentration in Abhängigkeit von der Wetterlage und hier insbesondere den Luftbewegungen. Auf mineralisch oder organisch gedüngten Flächen, die große Mengen an Ammoniak emittieren, ist die Konzentration um die Mittagszeit am höchsten und nachts deutlich niedriger. Es werden in Jahreszeiten mit steigenden und höheren Lufttemperaturen über gedüngten Flächen höhere Konzentrationen gemessen (HADWIGER-FANGMEIER et al. 1992).

Wie bereits berichtet variiert die mittlere Ammoniakkonzentration in der Umgebungsluft in verschiedenen Regionen Mitteleuropas (STROH & DJERADI 2004). In Gebieten mit landwirtschaftlicher Nutzung und Tierhaltungen können Hintergrundkonzentrationen zwischen 1 und 20 µg je m<sup>3</sup> erwartet werden. Im direkten Umfeld eines Putenstalls messen MÜLLER et al. (2006) Ammoniakkonzentration zwischen 75 - 95 µg/m<sup>3</sup>. Auf der Wind abgekehrten Stallseite (Lee) nimmt die Konzentration exponentiell auf 23 µg/m<sup>3</sup> in einer Distanz von 83 m ab. Nach 163 m betrug die Konzentration ca. 18 µg. Messungen um einen Broilerstall ergaben parallel verlaufende Tagesgänge von Temperatur und Ammoniakkonzentration. Mit steigender Emission aus dem Stall steigt in einer Entfernung von 100 m auch die Immission.

In 10 m Höhe über einer Broilermastanlage wurde eine deutlich variiende Ammoniakimmission (NO<sub>x</sub>-Konverter, Passivsammler) um maximal 200 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Dabei wurde eine Korrelation zwischen Immission und Emission von 0,23 (Stundenwerte) bzw. 0,36 (Tagesmittel) ermittelt (MÜLLER et al. 2008). Im Schrifttum sind nachfolgende Hintergrundkonzentrationen zusammengestellt:

**Tabelle 6: Hintergrundkonzentrationen verschiedener Stoffe**

Stoff	Konzentration	Gebiet	Quelle
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	3,3	Grünland	DÄMMGEN, U. et al. (1992)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	3,0	Wiese	GOETHEL, M. (1980)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	5-6	Acker	ALDAG, R. & H. DÖHLER (1987)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	1,9	Acker, Grünland	HARRISON, R.M. & A. G. ALLEN (1990)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	2 - 7	Waldgebiete Sachsen-Anh., Meck-Pom., Brandenburg	HADWIGER-FANGMEIER, A. et al. (1992)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	0,27	Wald (Deutschland)	HELD, A. et al. (2002)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	4 14	unbelastete Gebiete starke landw. Nutzung	KRDL (1992)
Ammoniak µg/m <sup>3</sup>	0,2 35	Küste Niederlande intensive LW Niederlande	zit. bei HADWIGER-FANGMEIER, A. (1992)
Bakterien KbE/m <sup>3</sup>	0-560 2-3400 88-6625	Küste ländl. Gebiet Wohngebiet	zit bei SEEDORF, J. (2006)
Pilze KbE/m <sup>3</sup>	304-1813 47-13196 69-9159	ländl. Gebiet ländl. Umgebung städtische Umgebung	zit bei SEEDORF, J. (2006)
Endotoxine EU/m <sup>3</sup>	0,2-23,2 0,3-27,8	ländl. Gebiet Wohngebiet	zit bei SEEDORF, J. (2006)

Die Geruchsimmissionen um Schweineställe untersuchten SCHÖPF & GRONAUER (2003). Die Wahrnehmungs- und Erkennungsgrenze von Geruchsimmission um freibelüftete Außenklima-Schweineställe lag in den untersuchten Fällen unterhalb der in der TA Luft geforderte Mindestabstände. Ein hoher GV-Besatz (bis 80 GV untersucht) führte nicht zwangsläufig zu einer hohen Geruchsbelastung.

### Validierung von Ausbreitungsmodellen

Die Nachbildung der Immissionssituation im Nahbereich um landwirtschaftliche Anlagen (< 100 m) war mit dem bis zur Novellierung der TA Luft im Jahr 2002 verwendeten Gauss-Fahnen-Modells nicht möglich (WENSAUER et al. 2006). Dies wurde mit dem Partikelmodell (Austal 2000-g) behoben. Eine umfassende Validierung numerischer Modelle ist nicht möglich, weil die Vielzahl von Anwendungsfällen und Schwankungsbreiten in der Natur zu einer Komplexität führt, die in der Simulation nicht nachgebildet werden kann. Die Eignung des Modells für die Landwirtschaft wird angenommen, ohne dass ein hinreichender Nachweis geführt wurde. Hierauf basierend verglichen WENSAUER et al. (2006) berechnete und gemessene Geruchsimmissionen auf 18 Begehungsflächen im Umkreis von etwa 20 - 170 m um einen Bullenstall. Für die Geruchsemission wurde ein Literaturwert benutzt (12GE/s\*GV). Die Validität war erreicht, wenn die simulierten Daten nicht mehr als + 15 % von den gemessenen Werten abwichen. Im Ergebnis wurden mit den gewählten Eingabevariablen die 16 Begehungsflächen vom Prognosemodell deutlich unterschätzt (18-61 %). Nach Erhöhung des Eingabeparameters auf 20 GE/s und der Wertung einer Geruchsstunde im Feld erst, wenn in 15 % (vorher 10 %) des Begehungsintervalls ein Geruch erkennbar war, verbesserte sich die Vorhersage. Dabei

wurden jetzt eine Fläche unter- und 10 Flächen überschätzt. Im Ergebnis kennzeichnet das Modell Unsicherheiten in der Wahl der Eingabeparameter, die das Ergebnis deutlich beeinflussen.

Der Vergleich für Ammoniakimmissionen zwischen Rechenwert (Austal2000) und Messwert in Stallumgebung ergab stets Rechenwerte, die unterhalb der Messwerte lagen (SÖRGE 2004). Als wesentlich wird die genaue Kenntnis der Quelldaten eingeschätzt. Ein Problem beim Einsatz von Austal2000 wird in der Überlagerung mehrerer Quellen und komplizierter Geländestruktur gesehen.

Anhand der Geruchsausbreitung validierte BOEKER (2001) ein hierfür speziell entwickeltes Modell (NaSt3D) mit Hilfe von Tracergas im Freiland. Hierbei wurden Konzentrationsmessungen beim Durchfahren der Geruchsfahne durchgeführt. Mit dem Gauß-Modell waren die Rechenwerte erheblich niedriger als die gemessenen. Mit NaSt3D wurde zwar die Breite der Fahne relativ gut geschätzt und naturgetreu simuliert, die Werte waren aber um das 4-Fache höher als die gemessenen. Außerdem ist der Berechnungsaufwand aufgrund sich ändernder Einflussgrößen erheblich (BOEKER 2003).

Nach LUNG et al. (2002) stimmen die sensorischen Ergebnisse der Geruchsanalyse gut mit den Ergebnissen Tracergasausbreitung überein. Die Ausbreitungsrechnungen mit dem Gauß-Modell zeigen Abweichungen von mindestens einem Faktor 2 gegenüber den sensorischen Ergebnissen. Nach SEEDORF (2006) ist die Entwicklung von Ausbreitungsmodellen für Bioaerosole besonders problematisch. Hier sind kaum gesicherte Emissionsfaktoren verfügbar, die wichtige Eingangsvariablen darstellen. Weiterhin beeinflussen Randbedingungen die Transmission und Absterbevorgänge, die nicht umfassend und sicher beschrieben werden können. Zusätzlich sind die Informationen über die Dichte der Partikel, die die Sedimentationsgeschwindigkeit bestimmt, nicht verfügbar.

## 2.5 Reduzierung der Stickstofffreisetzung über die Fütterung

Durch eine intensive Zuchtarbeit besitzen die heute eingesetzten Legehennen ein hohes genetisches Leistungspotenzial. Sie sind somit in der Lage, unter den Haltungsbedingungen in Volieren mit Auslauf eine Legeleistung von über 90 % zu erreichen und dabei bis 305 Eier im Jahr zu legen (LOHMANN). Dabei sollten sich die Tierverluste zwischen 4 und 6 % bewegen. Die Ausschöpfung dieses Potenzials ist von den Haltungsbedingungen und insbesondere von der Fütterung abhängig. Aufgrund der anatomischen und physiologischen Gegebenheiten im Verdauungstrakt des Huhnes ist die schnelle Darmpassage bei der Verdaulichkeit der Futterstoffe zu berücksichtigen. So scheidet das Huhn bereits nach 3,5 Stunden Futterbestandteile aus (DAMME & HILDEBRAND 2002).

Die für die Ammoniakemission entscheidende Stickstoffausscheidung kann durch die Fütterung beeinflusst werden. Die Maßnahmen zielen auf eine Verringerung der Stickstoffüberschüsse ab, die durch unverdauten oder nicht verwerteten Stickstoff verursacht und über Urin und Kot wieder ausgeschieden werden. Dazu zählen

- die Senkung des Rohproteingehalts der Ration und Ergänzung essentieller Aminosäuren,
- die Erhöhung der Verdaulichkeit durch Futterzusatzstoffe,
- der Einsatz bedarfsangepasster Rationen in den einzelnen Produktionsabschnitten (Phasenfütterung).

### Proteinreduzierte Fütterung

Die Reduzierung des Rohproteingehalts im Futter ist mit dem Risiko einer schlechteren Futtermittelverwertung und Leistungseinbußen verbunden. In proteinreduzierten Futtermischungen erhält deshalb die Relation der essentiellen Aminosäuren eine besondere Bedeutung, deren exakte Einhaltung gegebenenfalls durch Zusatz synthetisch hergestellter Aminosäuren sichergestellt werden muss. Durch eine Rohproteinabsenkung in der Hauptmast von Hähnchen erreichten ELWINGER & SVENSON (1996) eine signifikante Minderung der Stickstoffverluste im Festmist sowie eine tendenzielle Reduzierung der Ammoniakemission. FERGUSON et al. (1998) erzielten in der Hähnchenmast eine Senkung der Ammoniakkonzentration in der Stallluft um 16 %. Der Festmist enthielt weniger Stickstoff und mehr Trockenmasse.

Bei Legehennen führte eine Reduzierung des Rohproteingehalts im Futter von 18 auf 13 % und Ergänzung mit Methionin und Lysin zu einer signifikanten Verminderung des Rohproteingehalts im Kot. Die Legeleistung wurde dabei nicht beeinträchtigt,

während Eigewicht und Rohproteingehalt im Ei etwas geringer waren (LETTNER & PREINIG 1993). Mit der Reduzierung auf 13 % und Aminosäureergänzung sank die Stickstoffausscheidung in Untersuchungen von KESHAVARZ & AUSTIC (2004) um 31 – 59 %, JAMROZ et al. (1996) erreichten eine Senkung um 11 % und MELUZZI et al. (2001) bis 25 %. Hierbei stellte er fest, dass die Stickstoffausscheidung der Legehennen mit zunehmendem Alter von 49 auf fast 70 % des aufgenommenen Stickstoffs anstieg. Nach LIANG et al. (2003) kann die Ammoniakemission mit jedem Prozentpunkt einer Senkung des Rohproteingehalts im Legehennenfutter um ca. 10 % reduziert werden. Die restriktive Fütterung (RP 16,8 %) von Legehennen ermöglicht gegenüber einer Fütterung ad libitum die Verringerung der Gesamtstickstoffausscheidung um 11 % und gleichfalls die Anteile an Harnstoff, Harnsäure und Ammonium (PRIESMANN 1992). Bei Rationen mit praxisüblichen Rohproteingehalten ist der Einfluss der Proteinversorgung auf die Zusammensetzung der Gesamtstickstofffraktion jedoch minimal.

### Einsatz von Futterzusätzen

Fütterungszusätze wie Pflanzenextrakte, Probiotika, Enzyme oder Mineralien sollen einen positiven Einfluss auf die Stickstoffverwertung haben oder die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Festmistes verbessern. So steigern Yucca-Extrakte (Saponin) nur zu Beginn der Mastperiode von Broilern die Stickstoffverwertung, was mit einer Inaktivierung der Ureaseaktivität begründet wird (YEO & KIM 1997; NAZEER et al. 2002; WESTENDARP 2005). Hierbei wird zwar nicht die Zunahme der Tiere gesteigert, jedoch senkte sich die Ammoniakkonzentration in der Stallluft um 18 % (CABUK et al. 2004).

Die Wirkung von Xylanase untersuchte LATTEMAND (2000). Die im Futter enthaltenen Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) wirken negativ auf Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Umsetzbarkeit der Energie und verursachen morphologische Veränderungen am Darmepithel. Futterenzyme wie Xylanase, die NSP spalten, haben einen viskositätsmindernden Effekt, erhöhen damit die Diffusionsrate von körpereigenen Verdauungsenzymen, verbessern die Resorptionsbedingungen im Dünndarm, erhöhen die Verfügbarkeit der Stärke und liefern so zusätzliche Energiequellen für den Makroorganismus und verschiedene Bakterienarten. Weiterhin senken sie den Feuchtigkeitsgehalt der Ausscheidungen. Dies führt zu einer geringeren potenziellen Fermentation im Geflügelmist und somit zu einer Verringerung der Ammoniakemissionen. Für Legehennen in Käfighaltung ermittelte er nur bei jungen Tieren einen positiven Effekt auf die Verdaulichkeit des Rohproteins. Der ausgewiesene Effekt ist bei Legehennen deutlich geringer als bei Broilern (OLOFFS et al. 2000). Sie konnten über den Enzymzusatz zwar eine Senkung der jejunalen und ilealen Digestaviskosität nachweisen, es bleibt jedoch fraglich, ob dieser im Hinblick auf die Beeinflussung der Verdaulichkeit der Nährstoffe und Energie unter praktischen Bedingungen eine Bedeutung zukommt.

Eine Verminderung der Ammoniakemission aus Legehennenhaltungen um ca. 40 % erzielten XIN & LIANG (2005) und WU-HAAN et al. (2007) durch Verabreichung einer leicht proteinreduzierten Ration in Kombination mit  $\text{CaSO}_4$  und Zeolite. Ein häufig verwendetes Additiv ist Zeolite (Natriumaluminiumsilikat). Es bindet Kationen wie  $\text{NH}_4^+$ , sodass zur Aufrechterhaltung des Dissoziationsgleichgewichts weniger  $\text{NH}_3$  entsteht. Azidierende Zusatzstoffe wie z. B.  $\text{CaSO}_4$  (Gips) können über eine Senkung des pH-Wertes im Kot-Harn-Gemisch die Ammoniakemission verringern.

KIM & PATTERSON (2005) berichten über eine Verringerung der Ammoniakkonzentration in der Luft durch Fütterung von  $\text{ZnSO}_4$  an Legehennen.

BREGENDAHL & ROBERTS (2006) berichten, dass der Anteil der Harnsäure an der Gesamtstickstoffausscheidung durch einen Rohfasergehalt der Legehennenrationen zwischen 5 – 10 % nicht beeinflusst werden konnte, jedoch die Ammoniakemission um bis zu 50 % geringer war. Dabei wurde der pH-Werte signifikant gesenkt und Legeleistung, Eiqualität, Verdaulichkeit sowie Gesamtstickstoffausscheidung wurden dabei nicht negativ beeinflusst. Die mikrobiell abbaubare Rohfaser im Futter verlagert die Stickstoffausscheidung über Harnstoff und Harnsäure im Urin hin zur Ausscheidung über mikrobielles Protein im Kot. Weil Rohfaser von der Henne kaum verdaut wird, fungiert sie als Energiequelle für das Wachstum von Mikroorganismen im Darmtrakt. Ein Teil des Stickstoffs, der normalerweise als Harnsäure ausgeschieden wird, diffundiert aus dem Blutkreislauf in den Darm und wird dort für die erhöhte mikrobielle Proteinsynthese verwendet. Dies verändert zwar nicht die Gesamtstickstoffausscheidung, jedoch ist die Umwandlung mikrobiellen Stickstoffs im Kot zu Ammoniak weniger wahrscheinlich. Beim mikrobiellen Abbau der Rohfaser entstehen außerdem flüchtige Fettsäuren, die den pH-Wert in den Exkrementen senken und damit ebenfalls emissionsmindernd wirken. Andererseits besteht bei rohfaserreichen Rationen die Gefahr, dass die Verdaulichkeit der Nährstoffe sinkt und die Gesamtstickstoffausscheidung steigt sowie mit einer erhöhten Abgabe von Geruchsstoffen zu rechnen ist. Dagegen führte der Einsatz von Möhrentrester bei Legehennen über drei Wochen zu einer geringeren Verdaulichkeit und höheren N-Ausscheidung, was aber keine Leistungseinbußen zur Folge hatte (PÖTTER 2003).

Der Einsatz von Phytase dient vorrangig dazu, den im Futter als Phytat vorhandenen Phosphor für die Legehennen verfügbar zu machen. Phytate wirken aber auch antinutritiv, indem sie die Verdaulichkeit von Proteinen und Aminosäuren negativ beeinflussen. Phytase in Legehennenrationen bewirkte deshalb neben der verringerten Phosphorausscheidung auch eine Reduzierung der Stickstoffausscheidung (PANDA et al. 2005).

Die Wirkung des aus Meeresalgen gewonnenen Natrium-Alginats wird bisher sehr differenziert im Schrifttum bewertet. Eine Reduktion der Ammoniakemission konnte in der Hähnchenmast festgehalten werden (HÖRNIG et al. 2002). Eine verbesserte Futtermittelverwertung und niedrigere Stickstoff- und Ammoniakgehalte im Kot stellte BUCHTA (LVL Brandenburg) in der Entenmast heraus. Demgegenüber brachte der Einsatz im Pflanzenbau keine Ertragsverbesserungen (LFL BAYERN 2005; LFL SACHSEN 2000). Nach einer 24-h-Inkubation des Zusatzstoffes mit Dickdarminhalt von Legehennen *in vitro* wurde eine Reduktion der Clostridien- und Enterokokkenanzahl sowie eine Erhöhung der Lactobazillenzahl festgestellt (KRÜGER 2005 [unveröffentlicht]). Wenn das *in vivo* ebenfalls eintritt, könnte hieraus ein Ansatz für eine verbesserte Herdengesundheit resultieren.

Natrium-Alginat als Tränkwasser- oder Futterzusatz senkte die Ammoniakemissionen um 10 % (HÖRNIG & BRUNSCH 2000). Ursache hierfür wird in einer verbesserten Verdaulichkeit des Futters gesehen. Ein Gemisch aus ätherischen Ölen und Wasser untersuchten BROER et al. (2006) als Zusatz zum Tränkwasser und gleichzeitiger Verneblung in einem Broilerstall. Das Additiv soll über das Tier wirken und zu einer besseren Futtermittelverwertung und trockenerem Kot führen. Die Ammoniakemissionen konnten um ca. 70 % reduziert werden, bei den Geruchsmessungen betrug der Minderungsgrad ca. 55 %.

### Phasenfütterung

Der Proteinbedarf der Legehennen sinkt mit dem Alter aufgrund abnehmender Legeleistung und Wachstumsrate. Nach BREGENDAHL & ROBERTS (2006) wäre eine mindestens viermalige Anpassung der Ration an den Bedarf während der Legeperiode sinnvoll. Die Fütterungsphasen sollten sich dabei primär an Legeleistung und Futteraufnahme und weniger am Alter orientieren. Nach LÜKE et al. (2007) umfasst ein praxiserprobtes Programm ein Legestartfutter (Phase 1) mit hoher Nährstoffdichte für einen sicheren Start der Legeperiode, ein ausgewogenes Phase-2-Futter zur Absicherung einer guten Legepersistenz mit reduziertem Protein- und Aminosäuregehalt sowie reduziertem Linolsäuregehalt und ein Phase-3-Futter mit Ausrichtung auf optimale Schalenqualität und angepasste Eigewichte. Die Rohproteingehalte im Futter können im Verlauf der Legeperiode um etwa 1 bis 2 Prozentpunkte sinken. In der nachfolgenden Tabelle ist der Bedarf der Legehennen an Energie und den wichtigsten Nährstoffen zusammengestellt.

**Tabelle 7: Energie- und Nährstoffbedarf über die Legeperiode (DAMME UND HILDEBRAND 2002)**

		Phase 1	Phase 2	Phase 3
		Legebeginn – max. Eimasseproduktion	ab 57 g Eimasse	unter 52 g Eimasse
ME	MJ	11,6 – 11,8	11,4	11,0
Rohprotein	%	18,0	17,0	15,5 – 16,0
Methionin	%	0,40 – 0,42	0,38 – 0,37	0,36 – 0,35
Kalzium	%	3,5	3,7	4,0
verf. Phosphor	%	0,36	0,32	0,32

In der Praxis hat sich hierbei das Phasenfütterungsregime bewährt. Ziel ist es, wirtschaftlich und umweltschonend das Leistungspotenzial der Hennen zu nutzen. So werden derzeit nachfolgende Fütterungsphasen unter Beachtung der genetischen Herkunft der Tiere, der Haltungsbedingungen in Boden- und Auslaufhaltungen und der aufgenommenen Futtermenge empfohlen.

**Tabelle 8: Energie- und Nährstoffbedarf über die Legeperiode (Fütterungsempfehlung Lohmann Brown)**

		Vorlege-Legestarterfutter	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Lebenswoche		18. – 28.	29. – 45.	46. – 65.	>65.
Futtermittel	g/d		110	110	110
Eimasse	g/d		> 57,5	> 55,5	<55,5
ME	MJ	11,4 – 11,6	11,4	11,4	11,4
Rohprotein	%	17,5 – 18,0	17,8	16,7	16,2
Methionin	%	0,36 – 0,40	0,40	0,35	0,33
Kalzium	%	2,0 – 3,5	3,75	3,9	4,0
Phosphor	%	0,65 – 0,55	0,55	0,49	0,43
verf. Phosphor	%	0,45 – 0,40	0,38	0,34	0,30

Hieraus ist ersichtlich, dass sich der Energie- und Nährstoffbedarf im Verlauf der Legeperiode reduziert. Aufgrund der Eischalenproduktion wächst hierzu gegenläufig der Kalziumbedarf an. Nach dem BVT-MERKBLATT (2003) soll die Phasenfütterung in der Broilerhaltung eine 15- 35%ige Reduktion der Stickstoffausscheidung bewirken. SCHÄUBLIN (2008) beobachtete durch eine Proteinreduzierung von 18 auf 16 % in der 2. Phase (45.-68. Lebenswoche) einen um 3-5 % geringeren Mistanfall in Volierenhaltung.

## 2.6 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 (VOSS 1999). Freilandhaltungen erhöhen das Risiko zusätzlich (HAFEZ 2003). Bereits erfolgreich beseitigte Krankheiten, die für Legehennen nicht typisch sind, wie Pocken, Rotlauf und Schwarzkopfkrankeheit 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 agonistischen 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 wa-



ren 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 Schnabeltuchieren mindert die Folgeschäden (DAMME 2003). Auf zunehmenden Kannibalismus mit steigender Gruppengröße weisen Untersuchungen von NIEBUHR et al. (2006) und KNIERIEM 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/m<sup>2</sup>. Diese resultierten hauptsächlich aus einem Anstieg des Kannibalismus. Die Hennen in hohen Besatzdichten wiesen auch geringere Immunglobulinwerte auf.

Misslungene 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 und 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 und 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 der nachfolgenden Tabelle sind im Schrifttum festgehaltene Tierverluste in Volieresystemen zusammengestellt.

**Tabelle 9: Tierverluste in Volierensystemen mit Berücksichtigung der Linie, Besatzdichte und Gruppengröße**

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

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.

## 2.7 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)

wurden herausgearbeitet, dass die Legeleistung je Anfangshenne im Mittel bei 80 % in den Bodenhaltungssystemen liegt. Der mittlere Futtermittelverzehr lag bei ca. 130 g je Henne und Tag, 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 (15.000 Tpl.) und 32,4 (2.500 Tpl.) Akh je 100 Tierplätze. Hiernach betreut eine Arbeitskraft zwischen ca. 12.000 und 6.000 Hennen im Jahr. LIPPMANN (2007) ermittelt in Bodenhaltungssystemen (6.000 bis 21.000 Tierplätze) Stückkosten zwischen 6,5 und 7,5 Cent (ohne Vermarktung). Hierbei variiert der Arbeitsaufwand zwischen 13 und 32 Akh/100 Hennen.

## 3 Untersuchungsbasis und methodisches Herangehen

### 3.1 Legehennenhaltungen

In der Bodenhaltung stehen 20.000 Hennenplätze in doppelreihig angeordneten zweietagigen Reihenvoliereblöcken den Tieren zur Verfügung. Die gesamte Stallgrundfläche dient den Tieren als Scharrraum. Jede Etage ist mit Futterketten, Nippeltränken und Sitzstangen mehrreihig ausgerüstet. Die Kotlagerung erfolgt auf nach geordneten Kotbändern. Zweimal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht. Eine Kottrocknung wird nicht realisiert. In jedem Block folgen nach einem Nestgang doppelreihige, stufig angeordnete Gruppennester. Die Nester sind mit Austriebsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Vor den Nestern befinden sich Anflugstangen. Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum. Der Stallraum hat über die Auslauföffnungen Tageslichteinfall. Zur Minderung des Stallstaubes und Verbesserung der klimatischen Bedingungen ist eine Luftbefeuchtungsanlage mit Wasser integriert. Über verschließbare Wandklappen sind den Tieren ein überdachter und befestigter Außenklimabereich (Wintergarten) und ein Auslauf mit 4 m<sup>2</sup> je Henne zugänglich.

Der Stallquerschnitt wird in der Abbildung 1 dargestellt, eine Übersicht zum Untersuchungsstandort mit Stall, Auslauf und angrenzenden Waldareal gibt Abbildung 2.

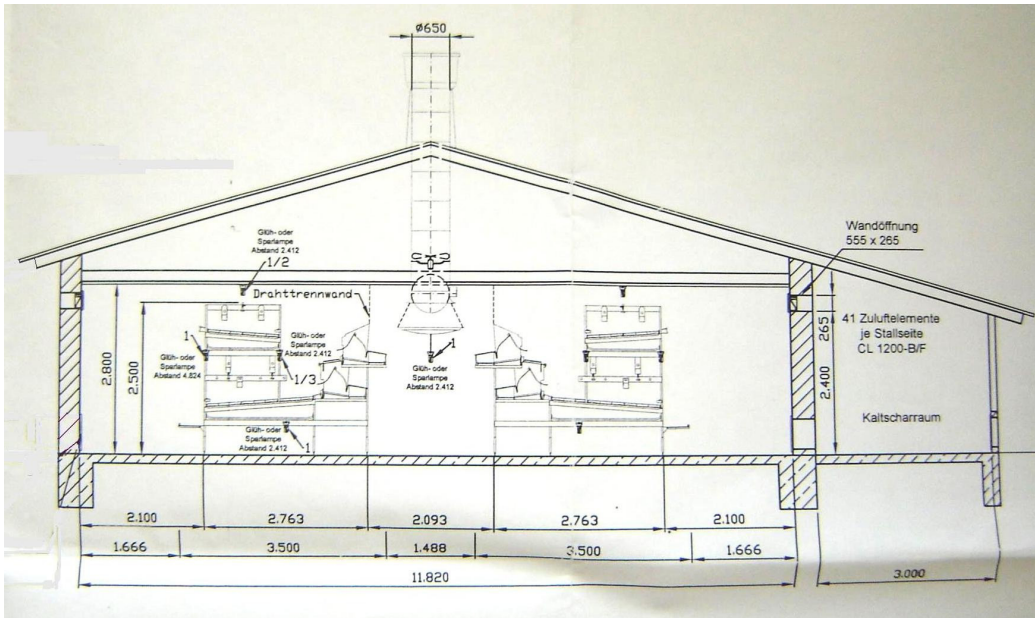


Abbildung 1: Stallquerschnitt mit einseitig nachgeordnetem Wintergarten und doppelreihig angeordneten Voliereblöcken

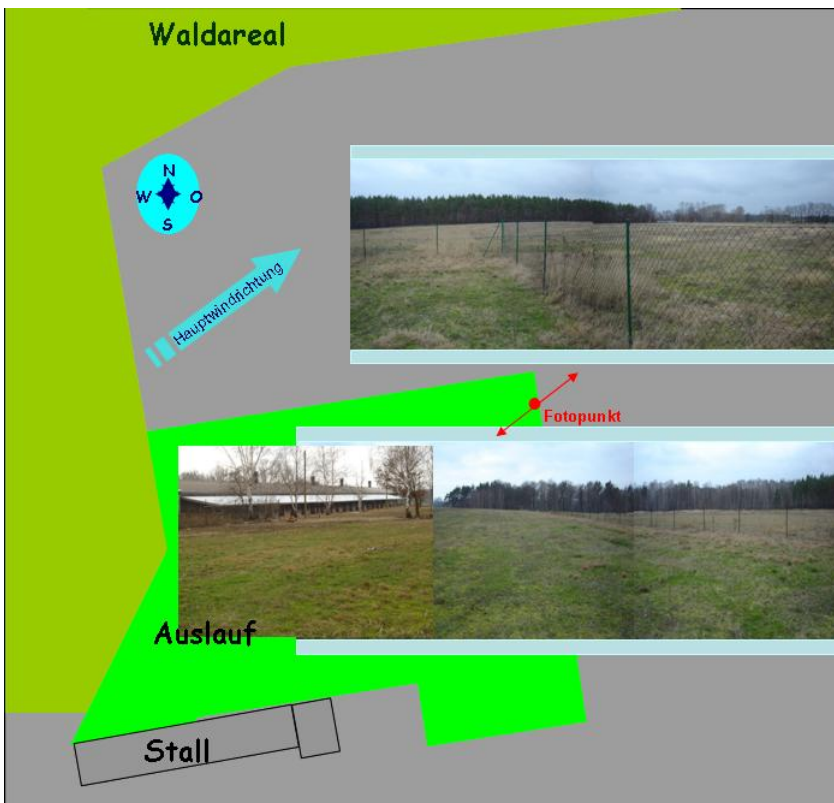


Abbildung 2: Standortskizze mit Ansichtsfenstern vom Fotopunkt aus in Richtung Stall und vom Stall weg

Die Klimagegestaltung erfolgt über ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Steuerung. Als Regelgröße wird für den Sommer- und Winterbetrieb die Stalllufttemperatur, Minimal- sowie Maximallufttraten und Regelbereiche vorgegeben. Das Lüftungssystem ist bei 20 Pa Unterdruck für ca. 8 m<sup>3</sup> Abluftvolumen je Hennenplatz konzipiert. Über fünf Abluftkamine (650 mm Durchmesser) im Firstbereich in Stalllängsachse verteilt und sechs Abluftkamine (820 mm Durchmesser) im Deckenbereich am hinteren Stallende wird die Abluft aus dem Stall befördert. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftklappen traufeseitig und über Zuluftklappen bzw. vier Zuluftkamine (820 mm Durchmesser) im vorderen Deckenbereich über den Dachraum bzw. direkt in den Stallraum (Abbildung 3). Das Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass die Hauptlüftung nach dem Prinzip der Tunnellüf-

tung über die sechs Abluftkamine am hinteren Stallende und die Zuluftklappen (Winter) bzw. die manuell verschließbaren vier Zuluftkamine (Sommer) im Dach am gegenüberliegenden Stallende realisiert wird. Zusätzliche Zuluft kann über die traufeseitigen Klappen einströmen. Zur Steuerung des Luftwechsels im Stall sind zwei Kamine am hinteren Stallende mit stufenlos geregelten Ventilatoren (Sicherung der Minimalluftfrate) ausgerüstet. Die restlichen vier Abluftventilatoren werden einzeln temperaturabhängig ungeregelt zugesteuert. Ab einer festlegbaren Stalllufttemperatur (zurzeit 25 °C) werden die fünf firstseitigen Abluftkamine – mit synchron stufenlos geregelte Ventilatoren ausgerüstet – in die Stalllüftung integriert.

Die in den Untersuchungen gewonnenen Kenndaten werden zur besseren Vergleichbarkeit auf der Bezugsbasis GV berechnet. Hierfür wird unterstellt, dass 0,0034 GV (ca. 1,7 kg) einer Legehennen entspricht (TA-Luft). Somit sind in der Bodenhaltung 68 GV. In Zusammenführung eigener Ergebnisse und Züchternvorgaben zur Gewichtsentwicklung werden die Tiere mit ca. 1,45 kg eingestallt und erreichen etwas über 2 kg zur Ausstellung. Somit werden ca. 29 t Lebendmasse eingestallt und unter Berücksichtigung von ca. 10 % Tierverlusten im Stall und Auslauf ca. 38 t ausgestallt. Dem folgend ist der Bestand im Mittel mit etwas über 67 GV zu bewerten.

### 3.2 Stallklima und Emission

Die Untersuchungen wurden am Standort über 26 Monate (zwei Stallbelegungen) kontinuierlich durchgeführt. Hierbei wurden Lufttemperatur und -feuchte im Stall und Umfeld des Stalls, die Konzentration der Stallraumlasten Ammoniak, Distickstoffoxid (Lachgas), Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf im Stallraum sowie im Zuluft- und Abluftstrom kontinuierlich gemessen. Hierzu wurden kontinuierlich der Abluftvolumenstrom sowie der Differenzluftdruck zwischen Stallumfeld und -raum gemessen. Zur Kalkulation der Staub- und Geruchsstofffrachten wurden Spotmessungen durchgeführt. Das Messprogramm wurde mit kontinuierlich erfassten Daten zur Windströmung, Lufttemperatur, -feuchte und -druck im Umfeld des Hennenstalls ergänzt. Abbildung 3 zeigt die Messstellenkonzeption.

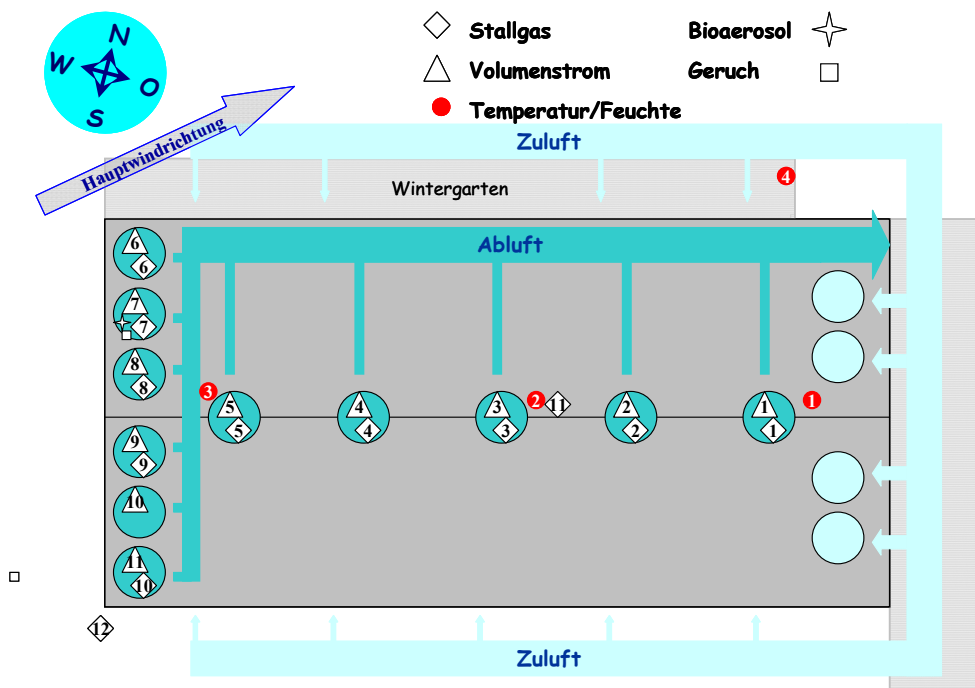


Abbildung 3: Luftführungsprinzip und Messstellenkonzeption für den untersuchten Stall

### 3.2.1 Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom

Die Temperatur- und Luftfeuchtwerte im Stall und Umfeld (Abbildung 3) wurden in 15-minütigen Intervallen registriert. Mittels einer Wetterstation im Auslauf der Hennenhaltung wurden Lufttemperatur, -feuchte und -druck sowie Windrichtung und -geschwindigkeit in einer Höhe von 2,5 m gemessen. Die registrierten Kenndaten zu den Messparametern wurden in 10-minütigem Rhythmus gemittelt gespeichert. Die Windrichtung wurde entsprechend Abbildung 4 klassiert. Dabei wurden die eingeführten Klassenbezeichnungen Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West und Nordwest verwendet.

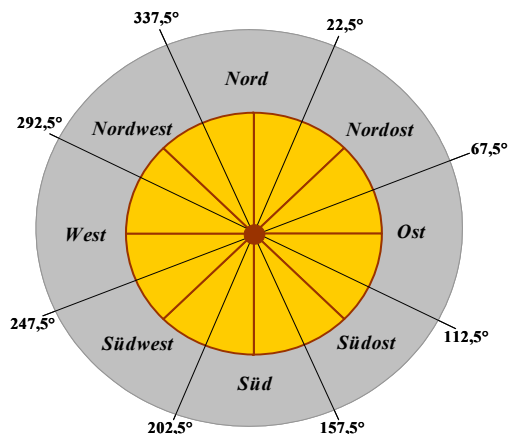


Abbildung 4: Zuordnung der Windrichtungsgradzahlen zu Richtungsklassen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

Tabelle 10: Messtechnik zur Bestimmung der Außentemperatur und -feuchte

Messgerät:	Wetterstation (Mehrkomponentensystem)	Tinytag Ultra
Messbereich/ Genauigkeit:	-50 – 50 °C; 0 – 100 % ± 0,2 °C; ± 1 %	-30 – 50 °C; 0 – 95 % ± 0,2 °C; ± 4 %
Datenerfassung:	10-Min.-Intervall über gesamte Haltungsperiode	15-Min.-Intervall über gesamte Haltungsperiode

Für die Messung Stallgaskonzentrationen in der Stall- und Zu- sowie Abluft wurden 12 Messpunkte eingerichtet (Abbildung 3). 10 Messstellen befanden sich innerhalb des Abluftstromes jedes Abluftkamins. Je eine Messstelle wurde im Stallinnenraum und am Zuluftstrom eingerichtet. Die Messstelle im Zuluftstrom wurde so angeordnet, dass sie überwiegend aus dem Stallumfeld von der Stallabluft unbelastet angeströmt wurde und damit als Referenz für die Gaskonzentration im Zuluftstrom dienen konnte. Die Messstellen wurden über mit Filter ausgestattete Messschläuche mit einem Messstellenumschalter verbunden und die Probenluft im Multigasmonitor analysiert. Aufgrund der hohen Anzahl Messstellen wurden stündlich mindestens drei Analysewerte zu jedem Gas registriert. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 11: Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase**

<b>Messgerät:</b>	Multigasmonitor 1312, Fa. Innova Air Tech Instruments, Photoakustische IR-Spektroskopie
<b>Komponenten:</b>	Kohlendioxid CO <sub>2</sub> , Lachgas N <sub>2</sub> O, Methan CH <sub>4</sub> , Ammoniak NH <sub>3</sub> , Wasserdampf H <sub>2</sub> O
<b>Messbereich/ Genauigkeit:</b>	CO <sub>2</sub> ...1,5-15.000 ppm, N <sub>2</sub> O...0,03-30 ppm, NH <sub>3</sub> ...0,8-800 ppm, CH <sub>4</sub> ...>0,25 ppm H <sub>2</sub> O...0,1-100 g/m <sup>3</sup> Die Abgasdichte wird berechnet aus der Dichte der Luft und dem tatsächlichen Wassergehalt des Abgases.
<b>Probenahme:</b>	Multiplexer 1309, Fa. Innova Air Tech Instruments unbeheiztes PET-Rohr bis zum Messstellenumschalter, Staubfilter (DIF BN 50K-10) am Messgaseingang
<b>Datenerfassung:</b>	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7300, ca. 3 Messwerte je Stunde

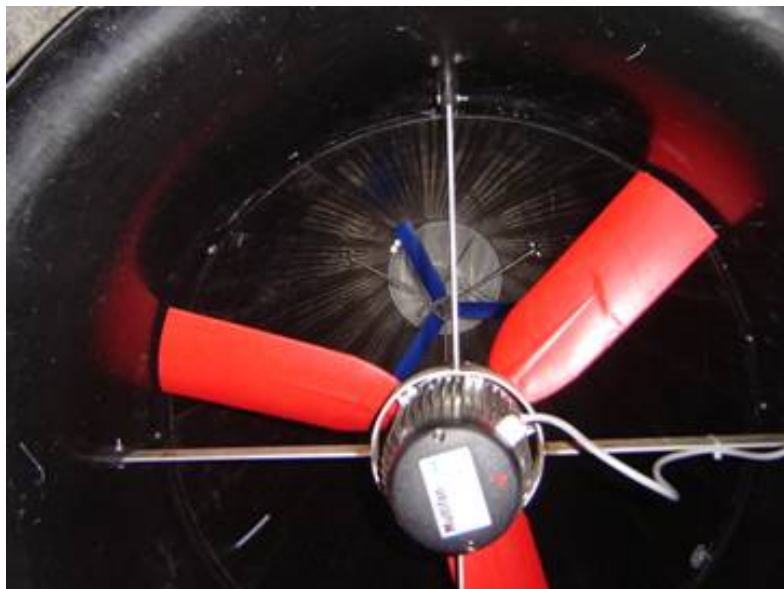
Das Messsystem wird in der Landwirtschaft überwiegend zur Bewältigung derartiger Messaufgaben eingesetzt. Es beruht auf der photoakustischen Infrarot-Spektroskopie (PAS). Das Analyseverfahren wird bei RATHMER (2001) und NESER (2001) beschrieben und diskutiert. Nach RATHMER (2001) hat sich dieses Verfahren zur Messung von Gaskonzentrationen in der Abluft von Ställen europaweit bewährt. Nach NESER (2001) sind insbesondere ein regelmäßiges Kalibrieren zu gewährleisten und die Querempfindlichkeit vor allem zu H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> zu berücksichtigen. Höhere Genauigkeiten sind mit der Fouriertransformierten Infrarotspektroskopie (FTIR) zu erreichen, die allerdings mit einer intensiven Messbetreuung und hohen Kosten verbunden ist (RATHMER 2001). Zur Kompensation der relativ langen Messstrecken wurde das Messsystem mit einer Bypasspumpe betrieben, die sicherstellte, dass zum Zeitpunkt der Gasanalyse in der Messkammer zeitaktuelle Gasmischproben zur Verfügung standen. Die Kenndaten zu den Stallgaskonzentrationen wurden in mg bzw. g gemessen und bewertet. Die Angaben in Regelvorschriften zu z. B. Grenzwerten sind in ppm angegeben. Zum besseren Umgang mit den Kenndaten sollen nachfolgende Relationen herangezogen werden.

**Tabelle 12: Relation zwischen den Maßeinheiten zur Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid**

Ammoniak		Kohlendioxid	
mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm
	Faktor: 1,3158		Faktor: 0,5092
7,6	10	1.963,8	1.000
15,2	20	3.927,5	2.000
22,8	30	<b>5.891,3</b>	<b>3.000</b>
30,4	40	7.855,1	4.000

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

Zur Bestimmung des Volumenstromes wurde jeder Abluftkamin mit einem Messventilator (Abbildung 5) ausgerüstet.



**Abbildung 5: Abluftkamin mit Ventilator (rot) und Messventilator (blau)**

Der Einbau erfolgte in den Druckbereich des Ventilators im Kamin. Um eine Minderung von Turbulenzen im unmittelbaren Nahfeld des Ventilators am Einbauort zu erreichen, erfolgte der Einbau mindestens 2 m über dem Ventilator. Der Messventilator überdeckt mindestens 90 % des Kaminquerschnitts. Diese Einbauposition wurde gewählt, weil der Kamin im Stall direkt an der Decke beginnt (mit Einströmdüse) und der Ventilator hier montiert ist. Zusätzlich haben die fünf Überfirstkamine Abluftsteuerklappen. Der zusätzliche Einbau eines Strömungsgleichrichters wurde verworfen, weil der Messzeitraum zwei Stallbelegungen umfasste und der Leistungsverlust sowie Wartungsaufwand für diesen langen Messzeitraum nicht toleriert werden konnte. Die Drehrichtung des Messventilators ist gegenüber dem Ventilator gegenläufig. Die gemessene Impulszahl wurde mit einem Messwerterefassungssystem erfasst und über eine Kalibrierfunktion in eine Strömungsgeschwindigkeit umgerechnet. Mittels dieses Erfassungssystems wurde ebenfalls der Differenzdruck zwischen Stallinnenraum und Umfeld des Stalls erfasst. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 13: Messtechnik zur Bestimmung Abluftgeschwindigkeit und des Luftdrucks**

**Abluftgeschwindigkeit**

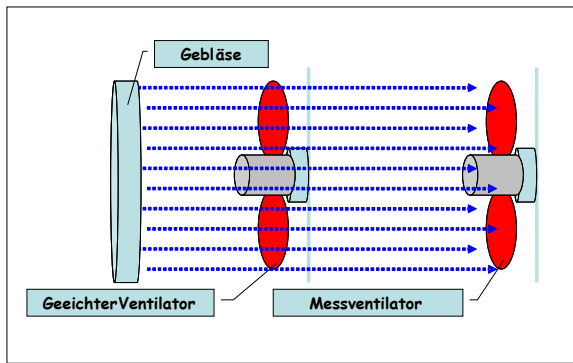
Messgerät:	Messventilator Firma Reventa, 4 Impulse pro Umdrehung
Datenerfassung	kontinuierlich mit Messwerterefassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn Die Umrechnung der Impulse in eine Abluftgeschwindigkeit erfolgt über eine ermittelte Kalibrierfunktion

**Luftdruck**

Messgerät:	Dosenbarometer Gerätebau Fischer im ständigen Vergleich mit einem Stationsbarometer Typ B1
Messbereich/ Genauigkeit:	900 – 1070 hPa ± 1 hPa
Datenerfassung:	kontinuierlich mit Messwerterefassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn

Diese Messventilatoren wurden zweifach kalibriert. Unter Laborbedingungen wurde für jeden Messventilator eine Kalibrierfunktion ermittelt. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Messstreckenaufbau. Die Kalibrierfunktion wurde mittels geprüftem (DLG) Messventilator bestimmt.





**Abbildung 6: Schema der Messstrecke**

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

■ für den 65-Abluftkamin

$$\text{Volumenstrom (m}^3/\text{h)} = (\text{Impulse} \times 0,0045 + 0,1031)1 \times \text{Austrittsfläche} \times \text{Zeit}$$

■ für den 82-Abluftkamin

$$\text{Volumenstrom (m}^3/\text{h)} = (\text{Impulse} \times 0,0039 + 0,0974)2 \times \text{Austrittsfläche} \times \text{Zeit}$$

1) 5 Ventilatoren,  $R^2 = 0,9949$

2) 6 Ventilatoren,  $R^2 = 0,9959$

Das Erfassungssystem speichert die Daten im 1-Minuten-Intervall.

Zur Datensicherung wurde die Messtechnik wöchentlich überprüft und mittels Datenfernabfrage der Zugriff auf das Messsystem jederzeit gewährleistet. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte auf stundenbasierten Mittelungswerten auf der Basis Normzustand/trocken. Hierüber ist der direkte Vergleich zu anderen Tieranlagen und zu Regelvorschriften gesichert. Die statistische Bearbeitung erfolgte generell diskreptiv. Hierzu wurden - wo erforderlich - die Datenreihen auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov) und im Ergebnis ein Mittelwertvergleich (Kruskal-Wallis) durchgeführt.

### 3.2.2 Stallstäube und Luftkeime

Bearbeitung Luftkeime: Dr. Horst-Günter Kath (BfUL/Geschäftsbereich 4, Bericht 42/04/01/07), auszugsweise übernommen

Die Referenzmessstelle zur Bestimmung wichtiger Bestandteile des Stallstaubes wurde im Kamin 7 eingerichtet (Abbildung 3). In Zeitfenstern von jeweils ca. drei Stunden wurden je Außenklimaklasse „Winter“ (< 8 °C), „Sommer“ (>18 °C) und „Herbst“ bzw. „Frühling“ mindestens eine Staubmessungen (drei Messreihen) über den Zeitabschnitt von 24 Monaten durchgeführt. Hierbei wurden für die anorganischen Bestandteile der Gesamtstaub und die Fraktionen PM-10, PM-2,5 gravimetrisch bestimmt. Die Probenahme erfolgte unmittelbar unterhalb des Abluftkamins im Abluftstrom. Diese Messungen wurden durch ein optisches Messverfahren zur Bestimmung des zeitlichen Konzentrationsverlaufes komplettiert. Über die hierdurch möglichen Ausdehnung des Messzeitraumes auf über 24 h wurde der Verlauf der Staubkonzentration im Tagesgang quantifiziert. Zur Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration erfolgte hierbei das Auswiegen der Filter. Mittels eines hieraus ermittelten Gravimetriefaktors wurden die Messdaten nachjustiert. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 14: Messtechnik zur Bestimmung des Stallstaubes**

Messgerät:	Staubmessgerät 1.105, Fa. GRIMM, 90° Streulichtmessung PGP-System mit Filter
Messbereich/ Genauigkeit:	Massenkonzentrationsbereich: 1,0 – 50.000 µg/m³ Erfassbare Partikelgröße: 0,75 µm; Kanäle: PM10, PM 2,5, PM 1,0 Massekonzentration und Partikelanzahl Betrieb: 4 – 40 °C, < 95 % rel. Luftfeuchte

Zur Beschreibung des Bioaerosols (Luftkeime) in der Luft im Stallumfeld, in der Stallluft und im Abluftstrom wurde die Gesamtkeimzahl bestimmt. Die Messstelle im Stallumfeld wurde in einer Entfernung von 400 m im Luv des Stalls eingerichtet. Die Beprobung erfolgte mittels modifizierten Andersonimpaktors (MAS 100) über eine Minute durch Abscheidung der Keime auf Selektivnährboden (Bakterien – Caseinpepton-Sojamehlpepton-Agar, gramneg. Bakterien – MacConkey-Nährboden, Pize/Hefen – Dichloran-Glycerin-(DG18)-Selektivnährboden). Nach anschließender Kultivierung wurden luftgetragene Bakterien, gramnegative Bakterien und Schimmelpize sowie Hefen bestimmt. Im Abluftstrom wurde die Messstelle ca. 6 m über dem Boden im Abluftkamin 7 eingerichtet. Die Beprobung erfolgte hier isokinetisch über eine Hakensonde (30 Minuten, drei Proben je Messung) mittels Abscheidung nach dem Impingmentverfahren (VDI 4257, Bl. 10). Vorabgeschiedene Keime wurden durch Sondenspülung rückgeführt. Zur Bestimmung der Stallluftkonzentrationen wurde in einer Höhe von 1,3 m unterhalb des Abluftkamins 7 eine Messstelle eingerichtet. Diese Messstelle wurde ohne Verwendung der Hakensonde nach dem Impingmentverfahren (VDI 4257, Bl. 10) beprobt (30 Minuten, drei Proben je Messung). Die hier benutzte Ansaugrate wurde der Abluftmessung entsprechend angepasst. Die Kultivierung der mittels Impingmentverfahren abgeschiedenen Keime erfolgte analog der Stallumfeldprobe in vier Verdünnungsstufen. Die Messungen wurden jeweils nacheinander durchgeführt. Die gewonnenen Proben wurden innerhalb von 14 Stunden ins Labor gegeben. Hier erfolgte Bebrütung und Bestimmung sowie Differenzierung. Die angewandte Methodik ist dem Bericht 42/04/01/07 des BfUL/Geschäftsbereich 4 zu entnehmen.

### 3.2.3 Geruch

Die Messungen fanden die Staubmessungen begleitend statt. Die Referenzmessstelle zur Bestimmung der Geruchstoffkonzentration im Abluftstrom wurde im Kamin 7 eingerichtet. In ca. 1,0 m Höhe wurde im Stall unter dem Kamin 7 die Messstelle zur Bestimmung der Stallluftkonzentration eingerichtet. Im Umfeld wurden die Proben ca. 20 m im Luv vom Stall entnommen (Abbildung 3).

Die Probennahmen und Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration erfolgte nach VDI-Richtlinie 3881, Blatt 1-4. Zur Verbesserung der Abbildung der Geruchsstoffkonzentration wurde die Probennahme als 30-minütige Sammelprobe in jährlich vier Messserien zu je zwei Abluft-, einer Stallluft- und einer Außenluftprobe durchgeführt. Die Bewertung erfolgte am Olfaktometer anhand der Geruchsschwellenbestimmung durch ein etabliertes Probandenteam der Universität Halle unter Leitung von Dr. Werner Frosch. Der Einsatz des Geruchanalyse-Systems ARTINOS der Firma Sysca für eine kontinuierliche Bestimmung erfolgte wegen unzureichender Methodenstabilisierung innerhalb dieser Untersuchungen nicht. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 15: Messtechnik zur Bestimmung des Geruchs**

Messgerät:	Olfaktometer T 07,
Probennahme:	Probennehmer, 30 Minuten

### 3.2.4 Flächenemission Ammoniak

Der Anteil der Auslauffläche an der Gesamtemission wurde mittels einer dynamischen Kammer (Windtunnel, Abbildung 7) und statischen Kammer (Messhaube, Abbildung 8) erfasst.



Abbildung 7: Dynamische Messkammer



Abbildung 8: Statische Messkammer

Der Windtunnel hat eine Länge von 4 m, ist 0,5 m hoch und 1 m breit. Die Gasmesspunkte befinden sich an beiden Tunnelenden. Mithilfe eines Ventilators wird im Tunnel eine Luftströmung erzeugt, die die zu messende, 1 m<sup>2</sup> große Messfläche kontinuierlich überstreift. Weiterhin wurden Referenzpunktmessungen unter einer Messhaube durchgeführt. Die Haube hat einen Durchmesser von 50 cm. Ein Ventilator im Innenraum der Haube sorgt für eine geringfügige Luftumwälzung. Über eine Schlauchleitung wird die Gaskonzentration über der Auslauffläche im Innenraum der Haube gemessen. Die Messzeit je Referenzpunkt wurde an der Stabilisierung des Messwertniveaus ausgerichtet. Das dabei angewendete Messpunktraster ist in der Abbildung 9 dargestellt.

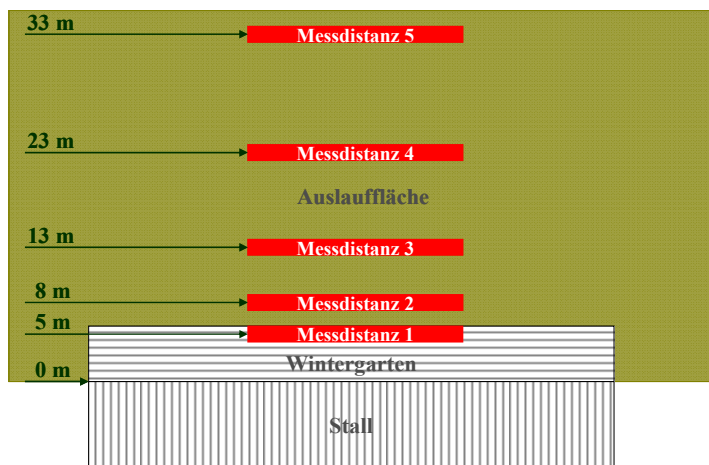


Abbildung 9: Messpunktraster bei der Messung mit der statischen Kammer

Beide Systeme hausen die zu messende Flächenquelle ein. Die dynamischen Kammern werden bei größeren Quellstärken eingesetzt, um eine Sättigung im Luftvolumen über der Flächenquelle zu vermeiden (DEPTA 2000). Genau diesen Effekt nutzt man bei der statischen Kammer und kann so auch geringere Quellstärken messen. Die Systeme haben einige Nachteile. Nach THOMPSON (1990) weicht die Luftfeuchte und -temperatur in der Kammer von den „Normalbedingungen“ ab. Weil die Ammoniakemission auch deutlich von der Windgeschwindigkeit über der Flächenquelle abhängt, werden hier die Umweltbedingungen nur teilweise abgebildet. Außerdem wirken Niederschläge in den Kammern nicht. BERG et al. (2001) bewerten den Einsatz einer dynamischen Kammer zur Messung einer Flächenquelle positiv. Die Nachteile gegenüber einer statischen Kammer sind geringer. LEINKER (2007) hebt hervor, dass es beim Messeinsatz einer statischen Kammer in der Emissionsquelle nicht zu Umsetzungsprozessen während der Messung kommen sollte. Außerdem sind gegenüber der dynamischen Kammer wegen der sehr kleinen Messfläche und geringen Messdauer mehr Stichproben zu ziehen. Es kann außerdem nicht ausgeschlossen werden, dass der Konzentrationsanstieg in der Messkammer auf die Quellstärke Einfluss nimmt.

### 3.3 Immission

Zur Beurteilung der Immission an Ammoniak im Umfeld des Stalls wurden durch Dr. Henning Andrae (Staatsbetrieb Sachsenforst) Ammoniakimmissionen und Stickstoffdepositionen (Abb. 12) über ein Jahr gemessen. Hierzu kam in Zeitfenstern parallel ein optisches Messstreckenverfahren (Trassenspektrometer OPSIS; Abb. 11) zum Einsatz. Der Einsatz und die Datenbewertung oblagen den Untersuchungspartnern im LfULG, Dr. Johannes Jacob und Peter Fleischer. Hierbei wurden anhand von konkreten Standortdaten Ausbreitungsberechnungen durchgeführt und mit modellierten Berechnungen verglichen. Abbildung 10 gibt einen Überblick zu den Standortbedingungen.

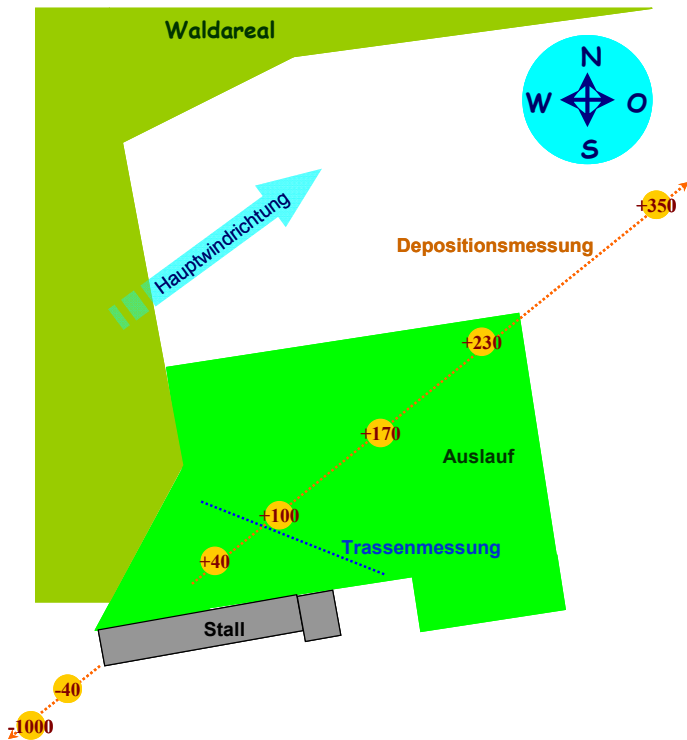


Abbildung 10: Lageplan mit Hauptwindrichtung, Emittent Stall und Messkorridore der Depositions- und Trassenmessung von Ammoniak



Abbildung 11: Trassenmesssystem OPSIS



Abbildung 12: Immissions- u. Depositionssammler

Um Immissionen im Tagesverlauf insbesondere im Umfeld von landwirtschaftlichen Emittenten zu messen, fordert die AG MLUR (2003)

1. eine kontinuierliche Erfassung (Stundenmittelwerte),
2. einen ausreichenden Messzeitraum (mindestens einen Monat) und
3. es sollten unterschiedliche Witterungsbedingungen erfasst werden.

Als Alternative zu teuren Messverfahren werden passive Verfahren zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration empfohlen. Neben der direkten phytotoxischen Wirkung hoher Konzentrationen von Luftverunreinigungen (Immissionen) auf oberirdische Organe der Pflanzen können die Ablagerungen (Depositionen) von Luftverunreinigungen auf der Pflanzendecke und dem Boden zu einer kritischen Belastung der Ökosysteme führen. Die Deposition kann in gasförmigem, gelöstem oder festem Zustand erfolgen. Dazu wird der Freiland- und Bestandsniederschlag in ständig offenen Sammelgefäßen aufgefangen. Diese Bulk-Sammler erfassen eine Mischung von Anteilen der trockenen (Gase, Partikel), der feuchten (Nebel- und Wolkenröpfchen) und der nassen (fallende Niederschläge) Deposition, die einen Überblick zum Stoffeintrag geben. Die Niederschläge auf den Untersuchungsflächen werden mit modifizierten Niederschlags-Sammlern Typ „Münder“ in ca. 1 m Höhe über dem Boden aufgefangen. Zur Vermeidung von Verunreinigungen befindet sich zwischen dem Auffangtrichter und dem Sammelbehälter ein Gazenetzt und am oberen Sammelbereich Vogelschutzringe. Bei sichtbaren Verunreinigungen und der Überschreitung von festgelegten Leitfähigkeitsmesswerten ist die Probe zu verwerfen. Die „Bulk-Sammler“ werden wöchentlich entleert und die Proben sofort tiefgekühlt zur Analyse ins Labor gebracht. Hier werden die Proben aufgetaut, filtriert und analysiert.

### 3.3.1 Stickstoffdeposition und -immission

Bearbeitung: Dr. Henning Andreae (Staatsbetrieb Sachsenforst), auszugsweise übernommen und ergänzt

Durch den Projektpartner Staatsbetrieb Sachsenforst wurden entlang der Messtrasse (vgl. Abbildung10) mit Bezug auf das in der Nähe liegende Ökosystem Wald im Lee der Hennenhaltung fünf und im Luv ein Messpunkt (bis Ende 2007 - -40 m; ab 1/2008 - -1.000 m) mit Depositions- (Typ LÖLF) und Passivsammlern (Typ FERM-FAL) eingerichtet (Abbildung 12). Die Verlegung der Luv-Messstelle in größere Distanz zum Stall erfolgte nach der Vorlage erster Ergebnisse. Die verwendete Methodik des Projektpartners ist eng an die Methodikbeschreibung von KIRCHNER et al. (2002) angelehnt. Die hier verwendeten Passivsammler werden zur Exposition senkrecht aufgestellt. Am vorgewaschenen, imprägnierten und getrockneten Zellulosefilter wird Ammoniak aus der Luft abgeschieden. Nach Expositionsende werden die Sammler extrahiert und photometrisch analysiert. Das Messergebnis ist von der Außenkonzentration, der gesammelten Stoffmenge, der Expositionszeit, vom Diffusionskoeffizienten für Ammoniak und der Geometrie des Sammlers abhängig. Aus dem Analyseergebnis wird die Ammoniakkonzentration berechnet. Zur Bestimmung der Ammonium- und Nitratdeposition wurden offene Niederschlagssammler, sogenannte Bulks, installiert (Abbildung 12). Die Sammler wurden mit Vogelschutzringen ausgestattet und die Sammelebene lag ca. in 2 m Höhe. Die Expositionszeit betrug ca. vier Wochen. Es wurden die Niederschlagsmenge, der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Mittels Chromatographie wurden im Labor Nitrat- und Ammoniumionen ermittelt. Nach KIRCHNER et al. (2002) realisieren die Passivsammler gut reproduzierbare Kenndaten. Die Bulksammler können wegen Anströmung bis 15 %, bei Schneeniederschlag bis 30 % Abweichungen haben. Die Ionenanalyse ist mit einer Unsicherheit zwischen 10 – 15 % verbunden. Die Ergebnisse ermöglichen eine Bewertung der Dynamik von Ammoniak im Umfeld der Hennenhaltung. Zur Definition der Messbedingungen wurden hierfür die Daten zur messbegleitenden Wettersituation am Untersuchungsort herangezogen.

### 3.3.2 Ausbreitungsberechnung

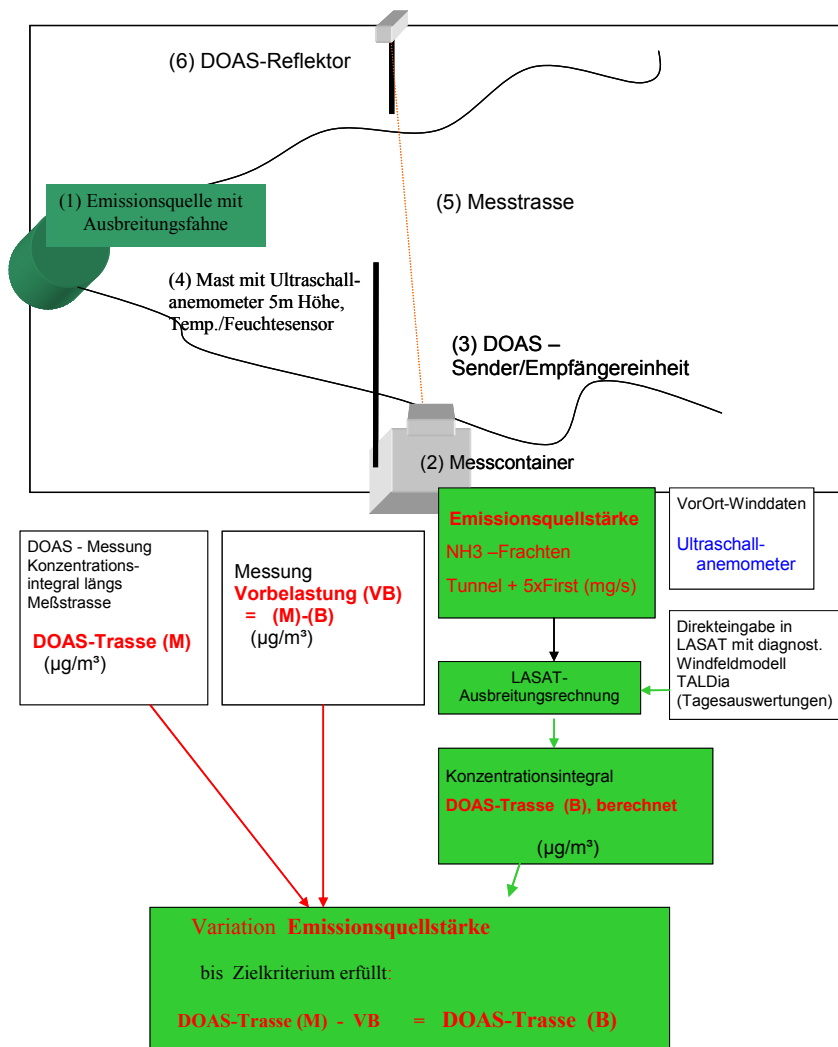
Bearbeitung: Dr. Jacob, Herr Fleischer (LfULG)

Zur Entwicklung dieser Bestimmungsmethodik wurde vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie 2003 ein Forschungsprojekt zu Emissionsmessungen klimarelevanter Gase aus diffusen Flächenquellen durchgeführt.

Diese Ermittlungsmethode für Emissionswerte erfordert drei Bausteine:

- Immissionstrassenmessungen im Nahbereich der Quellen
- Meteorologiemessungen mit Ultraschallanemometer (kurz: USA; Fa. METEC)
- geeignetes Luftschadstoffausbreitungsmodell.

In der vorliegenden Arbeit wurde speziell eine Methode angewendet, in dem die Immissionsmessungen mit einem DOAS-Trassenmesssystem (Differentielle Optische Absorptions-Spektroskopie) und Meteorologiemessungen direkt mit dem Ausbreitungsmodell LASAT gekoppelt werden. In Abbildung 13 wird die Methodik des Bestimmungsverfahrens zusammenfassend dargestellt. Die zu bestimmende Emissionsquellstärke wird variiert, bis die durch diese Emission verursachte Immissionstrassenzusatzbelastung der Differenz aus der gemessenen Trassen(gesamt)immission und der Vorbelastung entspricht. Eine Abschätzung der Vorbelastung erhält man aus Messungen mit externen Passivsammlern (Staatsbetrieb Sachsenforst) und aus mittleren Trassenmesswerte im vorliegenden Fall bei nördlichen oder nordöstlichen Windrichtungen, bei denen entlang der Trasse reine Vorbelastungsimmissionen gelten. (Tab. XXXIV - XXXVI, Messtage mit Vermerk „n.a.“ in drittletzter Spalte, Anhang).



**Abbildung 13: Prinzip der Quellstärkenbestimmung diffuser Emissionsquellen mittels DOAS-Trassenmessung und Rückrechnung mit Ausbreitungsmodell LASAT**

Ein genereller Vorteil dieser Rückrechnungsmethode besteht im berührungsfreien Ermitteln von Stallemissionsfaktoren, d. h. der Stall muss zu keinem Zeitpunkt zu Messzwecken betreten werden. Zur Anwendung des Partikeltransportmodells LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) bei HARTMANN, U. wird dargelegt, dass gemessene Ammoniakimmissionen in der Nähe von Tierhaltungsanlagen am besten mit den Ergebnissen einer LASAT-Rechnung wiedergespiegelt werden, in der Gebäude simuliert werden, ohne dass gebäudeinduzierte Zusatzströmungen (Ausbreitungsmodell LASAT) berücksichtigt werden. Damit werden die Umströmung des Stallgebäudes und deren Auswirkung auf die Immissionen direkt simuliert. Durch Verwendung der LASAT-Version 2.14 mit dem diagnostischen Windfeldmodell TALDia wird dieser Erkenntnis im vorliegenden Fall Rechnung getragen.

Der Anteil der Freilandflächenquelle an den anlagenbedingten Ammoniakemissionen wird in erster Näherung vernachlässigt (0 % - Anteil an den Stallemissionen). Dies ergaben auch einige Rastermessungen auf dem Freiland, weil verlässliche Literaturwerte dazu nicht vorliegen.

## 3.4 Fütterung

Die Tiergesundheit, -leistung und Stallhygiene wurde mittels einer vierteljährlichen Stallbegehung mit Tierbonitur bewertet (vgl. Abschnitt Tiergesundheit). Fortlaufend wurden die Leistungsdaten der Hennenherde erfasst und bewertet. Hieran soll die Entwicklung der Herdengesundheit im Kontext mit der geplanten Zufütterung eines Algenpräparates zur Stabilisierung der Hengengesundheit und evtl. Reduzierung stickstoffhaltiger Stallraumlasten abgebildet werden. Analog zum Abschnitt 3.2.1 wurde die Konzentration stickstoffhaltiger Stallraumlasten im Stall und der Abluft erfasst und in der Zusammenführung mit dem Volumenstrom die Ammoniakemissionen für den Untersuchungszeitraum berechnet. Zusätzlich wurde mit dem Beginn der Zufütterung begonnen, im Rhythmus von ca. zwei Monaten Frischkot (möglichst ohne Einstreukontamination) und Einstreu zu analysieren. Hierbei wurden der Trockensubstanzgehalt und der Anteil an organischer Substanz, Ammonium- sowie Gesamtstickstoffgehalt ermittelt.

Der zum Einsatz gekommene Zusatzstoff wird aus Meeresbraunalgen wie *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* und *Ascophyllum nodosum* gewonnen (Produktcharakteristik, Firma Schulze & Hermsen, 2007). Nach der Ernte und Trocknung mittels geothermischer Hitze werden die Ausgangsstoffe gemahlen, anschließend extrahiert und nachbehandelt. Das Verfahrensprodukt ist ein natürliches Natriumalginat. Der Zusatzstoff ist unter der Nummer E 401 in der EU im Lebensmittelbereich zugelassen und wird in Lebensmitteln als Verdickungs- und Gelmittel eingesetzt. Dieser Zusatzstoff ist auch im Verzeichnis der zugelassenen Futtermittel-Zusatzstoffe der EU (Amtsblatt 2004/C50/01) für alle Tierarten und -kategorien sowie für alle Futtermittel gelistet und unbegrenzt zugelassen. Seine Wirkung soll nach Herstellerangaben auf einer Homogenisierung der Darminhalte und damit verbesserten Futtermittelerwertung beruhen. Die flüssige Vormischung enthält je Kilogramm 180 g Natriumalginat.

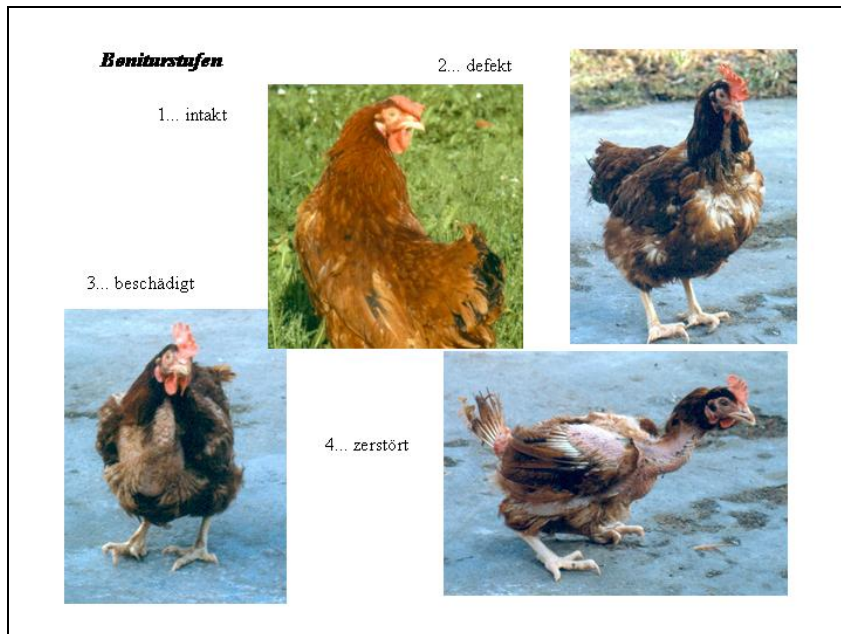
Die Applikation erfolgte über das Futter. Hierzu wurde an der zentralen Förderschnecke eine Applikations- und Dosiereinrichtung montiert (Abbildung 14). Diese gibt die voreingestellte Substratmenge in den laufenden Futterstrom. Sie wird mit der Ansteuerung der Fütterschnecke parallel geschaltet. Hierbei wurden bisher beim Schwein 3 g pro 100 kg Lebendgewicht im Verhältnis 1:10 bis 20 mit Wasser verdünnt und dem Futter je Tag untergemischt. Bei Beibehaltung des Mischungsverhältnisses in Wasser wurden bei der Legehennen ca. 6 g je 100 kg Lebendmasse eingesetzt (Anhang, Tab. XXXXI). Die Applikationsart und -menge sowie die Mischungsverhältnisse wurden vom Produkthersteller hergestellt und überwacht. Die zugesetzte Flüssigkeit verändert die fördertechnischen Eigenschaften des Futtermittels nicht.



**Abbildung 14: Steuer- und Applikationseinheit mit Vorratsbehälter und Zuführung zur Fütterschnecke im Stall**

## 3.5 Tiergesundheit

Die Herdengesundheit und -leistung wurde mittels einer vierteljährlichen Stallbegehung und Tierbonitur bewertet. Hierbei wurde der Gefiederzustand nach einem 4-stufigen Punkteschlüssel bewertet. In der Abbildung 15 sind die visuellen Stufen des Gefiederzustandes der Legehennen dargestellt.



**Abbildung 15: Visuelle Stufen des Gefiederzustandes der Legehennen**

Weiterhin wurde die Einstreu nach Federgehalt und Konsistenz bewertet sowie Stallunterlagen ausgewertet und der Hoftierarzt befragt.

## 3.6 Betriebswirtschaft

Die betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgt über die Naturalleistung und den dafür erforderlichen betrieblichen Aufwand. Hierzu sind zusätzlich zu erfassende Herdendaten wie die Anzahl verlegter Eier im Stallbuch etabliert worden. Über die Auswertung betrieblicher Aufzeichnungen, Belege und Jahresabschlüsse wurden die in der Legehennenhaltung aufzufindenden Kostenarten nach den Kostenblöcken Direkt-, Arbeitserledigungs-, Gebäude- und sonstige Kosten (DLG-SCHEMA BETRIEBZWEIGAUSWERTUNG 2000) gegliedert, herdenbezogen zusammengestellt (Abbildung 16).

Grundlage der Bewertung sind die Stückkosten je vermarktetem Ei bezogen auf die Anfangshenne und den Zeitraum von einem Jahr. Hiermit werden die verschiedenen Verlustraten und Nutzungsperioden in den Haltungen berücksichtigt. Diese Bewertung wird zur Reduzierung des Managementeinflusses an zwei aufeinander folgenden Herden durchgeführt. Schnittstelle der Erhebung ist die Stalltür (Ei auf Höckerpappe). Hiermit bleiben die bezüglich der Kosten und Erlöse deutlich differenten Vermarktungsstrategien unberücksichtigt.



Direktkosten	Gebäudekosten
Bestandsergänzung (Tierzukauf/IU)	Unterhaltung
Tierarzt, Medikamente	Abschreibung
(Ab)wasser, Heizung, Strom	Miete
Vermarktung (Verpackung)	Versicherung
sonstige Direktkosten	Zinsansatz Gebäudekapital
Kraftfutter	
Zinsansatz Viehkapital	
Arbeiterledigungskosten	sonstige Kosten
kalkul. Personalkosten	Beiträge und Gebühren
Berufsgenossenschaft	Sonstige Versicherungen
Lohnarbeit/Masch.miete (Saldo)	Buchführung und Beratung
Maschinenunterhaltung	Büro, Verwaltung
Treibstoffe	Sonstiges
Abschreibung Maschinen	Flächenpacht
UH/Afa/Steuer/Vers. PKW	
Maschinenversicherung	
Zinsansatz Maschinenkapital	

**Abbildung 16: Kenndatenstruktur zur Bewertung der Kosten nach der Blockmethode**

Abweichend vom DLG-Schema wird der finanzielle Aufwand für Strom nicht den Arbeiterledigungskosten, sondern den Direktkosten zugeordnet. Der Zinsansatz für Umlaufvermögen wird auf das in der Herde gebundene Kapital begrenzt. Die Futtermittel bleiben unberücksichtigt. Die Ermittlung der Kosten (AfA, Unterhalt, Zinsen) für das Anlagevermögen basiert auf der aktuellen Betriebssituation und ist damit untereinander nicht vergleichbar. Die Personalkosten werden aus dem ermittelten Arbeitszeitaufwand kalkuliert. Der Kostenblock sonstige Kosten umfasst den allgemeinen Betriebsaufwand, insbesondere den Aufwand für Leitung und Verwaltung. Erlöse bleiben unberücksichtigt, wodurch ein Ausweis der direktkostenfreien Leistung nicht möglich ist. Mit den hohen Direktkosten im Jahr 2008 wurde es sinnvoll, eine betriebswirtschaftliche Kostenspanne bei der Erzeugung von Eiern in großen Volieren zusammenzustellen.

# 4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden sollen die Ergebnisse anhand der wichtigsten Kenndaten in den Abschnitten Stallklima und Emissionen, Immissionen, Reduzierung der Stickstofffreisetzung über die Fütterung, Tiergesundheit und Stallhygiene sowie Betriebswirtschaft zusammengestellt und kurz diskutiert werden.

## 4.1 Stallklima und Emissionen

Das Klima am Standort der Hennenhaltung nimmt grundlegend Einfluss auf das Stallklima und die Emissionen aus dem Stall. In den Tabellen 16 und 17 werden die wichtigsten Klimadaten der Untersuchungsjahre 2007 – 2009 zusammengestellt.

**Tabelle 16: Kenndaten des Außenklimas 2007/2008**

	Luft			Globalstrahlung	Wind			
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
	°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
2007/ 2008	Max.	35,4	99,9	1036	1054	9,0	N	12
	75tel Quant.	16,8	91,3	1002	150	2,1	NO	10
	Median	10,3	79,7	997	3	1,2	O	8
	25tel Quant.	5,0	65,3	991	0	0,6	SO	6
	Min.	-7,8	22,4	983	0	0,0	S	12
	Mw.	11,1	76,5	996	116	1,5	SW	34
	Tage	370					W	15
	Messwerte	53259					NW	3

**Tabelle 17: Kenndaten des Außenklimas 2008/2009**

2008/ 2009		Luft			Global- strahlung	Wind		
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwin- digkeit	Rich- tung	Anteil
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%
	Max.	30,9	99,9	1040	971	8,2	N	11
	75tel Quant.	11,8	99,9	1003	84	2,1	NO	11
	Median	6,6	99,9	996	0	1,2	O	11
	25tel Quant.	1,9	91,0	990	0	0,6	SO	8
	Min.	-23,5	21,7	970	0	0,0	S	11
	Mw.	7,1	91,8	997	82	1,5	SW	27
	Tage	259					W	17
	Messwerte	37353					NW	4

Lufttemperatur und -feuchte wichen innerhalb der zwei Stallbelegungszeiträume deutlich ab. Während der Stallbelegung mit Herde I im Zeitraum März 2007 bis März 2008 sind insgesamt höhere Lufttemperaturen und niedrigere Luftfeuchtekonzentrationen gegenüber der kälteren und feuchteren Außenklimate zur Stallbelegung 2008/2009 festzuhalten. Erwartungsgemäß weicht der Luftdruck nicht voneinander ab. Die Windkenndaten – Geschwindigkeit und Richtung – sind weitgehend zwischen den untersuchten Zeiträumen vergleichbar. Die häufigste Windanströmung kommt aus südwestlicher Richtung.

Die Außentemperatur am Haltungsstandort liegt im Mittel der untersuchten Klimabereiche innerhalb der definierten Klassengrenzen (vgl. Anhang, Tab. I – VIII, XI). Es wurden nachfolgende mittlere Außentemperaturen registriert:

„Frühling“ ... 10,4 / 10,9 °C, „Herbst“ ... 9,1 / 10,2 °C,  
 „Sommer“ ... 18,7 / 19,7 °C, „Winter“ ... 4,1 / 0,4 °C.

Die langjährigen Mittel in Sachsen sind für den Jahresabschnitt Sommer (= Klimaklasse Sommer) 18 °C, für Frühling/Herbst (Klimaklasse Übergang bzw. Frühling und Herbst) 9 °C und Winter (Klimaklasse Winter) 1 °C. Die Klimaklassen Sommer und Herbst folgen im Untersuchungszeitraum dem langjährigen Mittel, Frühling und Winter liegen z. T. während der ersten Stallbelegung deutlich über, folgen während der 2. Belegung dem Mittel. Die Luftfeuchtekonzentrationen im Umfeld des Hennenstalls liegen im Verlauf der Untersuchungen 2007/2008 bzw. 2008/2009 im Mittel bei

„Frühling“ ... 76 / 86 %, „Herbst“ ... 82 / 91 %,   
 „Sommer“ ... 71 / 67 %, „Winter“ ... 80 / 98 %.

Die Windgeschwindigkeiten liegen im Mittel unabhängig vom Untersuchungszeitraum bei 1,5 m/s. Die Windrichtungsverteilung während der Untersuchungszeiträume wird an der prozentualen Häufigkeit der Anströmungsrichtung des Hennenstalls in der Tabelle 18 zusammengestellt.

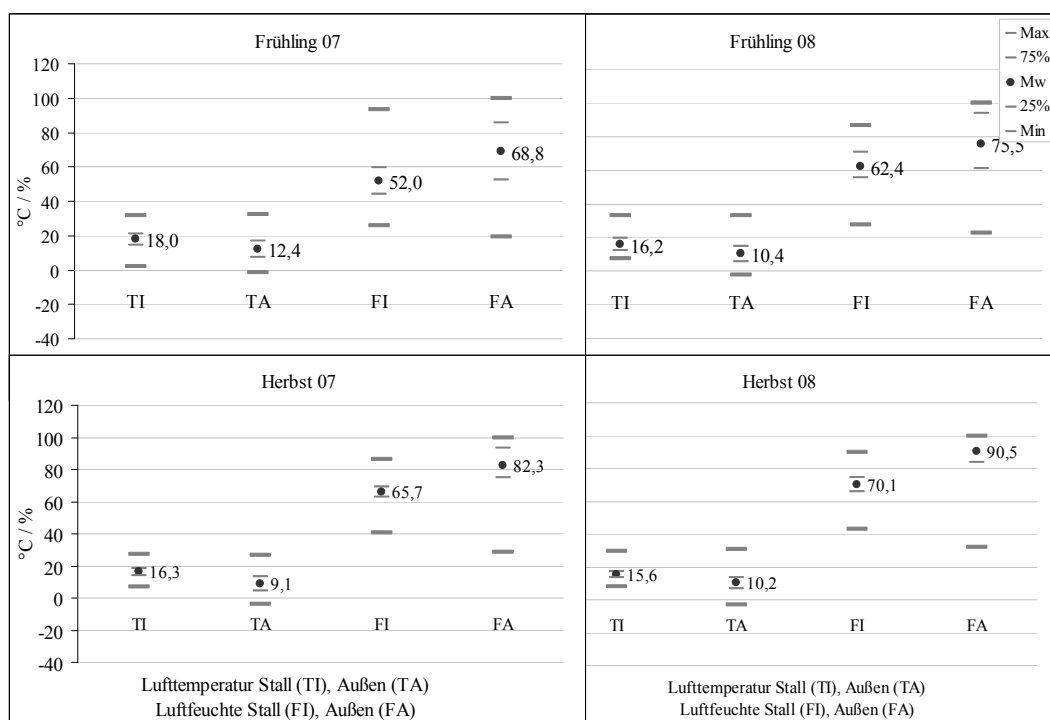
**Tabelle 18: Prozentuale Verteilung der Anströmungsrichtung innerhalb der Klimaklassen am Standort**

Stallbelegung	2007/2008 bzw. 2008/2009								
	Windrichtung	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Sommer		16/15	7/8	6/9	4/5	11/12	44/45	9/4	3/2
Frühling		12/13	15/12	12/15	7/7	8/7	22/24	18/17	6/5
Herbst		15/12	11/12	6/8	6/5	11/13	32/38	16/10	3/2
Winter		7/8	4/10	5/11	9/10	15/12	35/19	21/25	4/5

Die Hauptanströmung des Stalls erfolgt aus südwestlicher Richtung (19 – 45 %). Über 50 % des Untersuchungszeitraumes wird der Stall aus süd- bis westlicher Richtung angeströmt. Die höheren Lufttemperaturen während der Frühlings- und Herbstmonate zur Stallbelegung 2007/2008 haben ihre Ursache in der deutlich erhöhten südwestlichen und z. T. deutlich geringeren nordost-östlichen Anströmungsrichtung.

**4.1.1 Lufttemperatur und -feuchte**

Die Quartile der Kenndaten zur Lufttemperatur und -feuchte im Stall und Stallumfeld werden in der Abbildung 17 (vgl. Anhang, Tab. XI und XII) für die Außenklimaklassen Frühling und Herbst (Übergang) sowie 18 (vgl. Anhang, Tab. X und IX) für die Außenklimaklassen Sommer und Winter für beide untersuchten Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 gegenübergestellt.



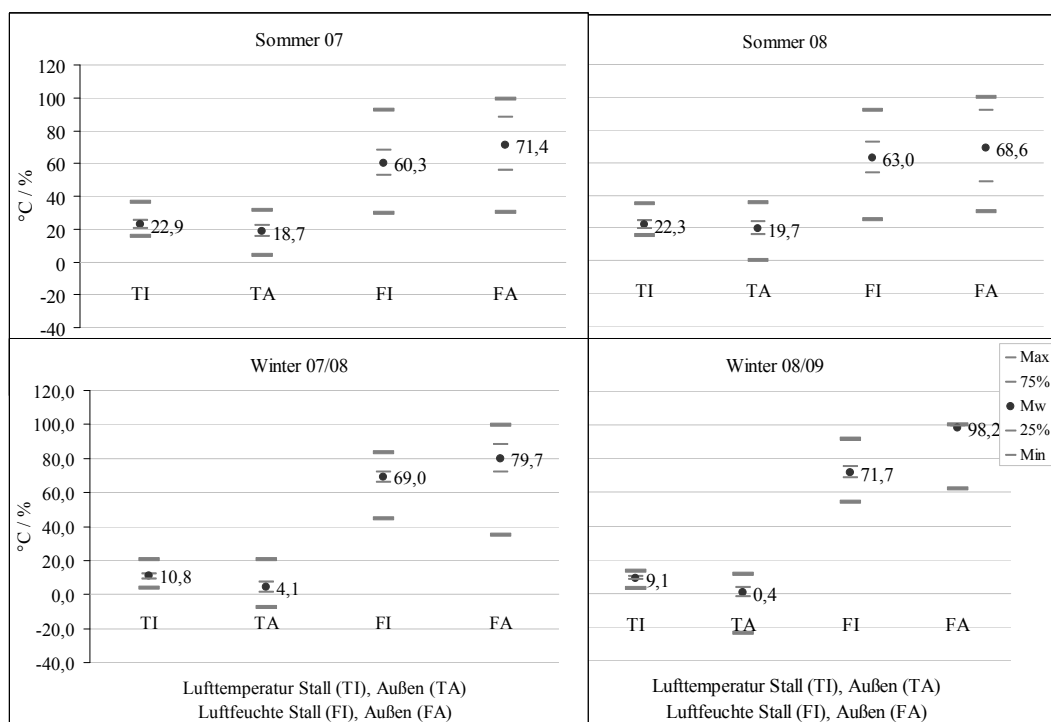
**Abbildung 17: Kenndaten für das Stallklima während der Haltungsdauer**

Die Außentemperatur ist im Mittel der Klimaklasse Frühling zur 2. Stallbelegung 2008 2,0 K unter dem Kennwert des Vergleichsjahres 2007. Diese markante Differenz setzt sich in die unteren Temperaturbereich fort. Im Maximum liegen sie mit ca. 32 °C auf vergleichbarem Niveau. Eine ähnliche Werteverteilung zeigt die Stalllufttemperatur in beiden Untersuchungszeiträumen. Im Mittel liegt sie unabhängig vom Außentemperaturniveau um 5 K über der Umfeldtemperatur. Die Luftfeuchte ist

zwischen den Vergleichszeiträumen Frühling 2007 und 2008 in der Außen- und Stallluft abweichend und liegt im Vergleich aller Messzeiträume im Frühling 2007 mit 52 % (Stallluft) und 71 % (Außenluft) auf dem niedrigsten Niveau.

Die Klimaklassen Herbst 2007 und 2008 sind bezüglich der Lufttemperatur im Stall und Stallumfeld weitgehend vergleichbar. Deutliche Abweichungen zeigen die Außenluftfeuchten zwischen den verglichenen Stallbelegungen. Die Luftfeuchte im Stall liegt im optimalen Bereich. Selbst im Maximum wird der Optimalbereich zwischen 60 und 80 % nur geringfügig überschritten. Für Volieren typisch sinken die Minimalauslenkungen auf bis zu 40 % ab.

Kennzeichnend für beide Klimaklassen ist es, dass die Variationsbreite der Außenlufttemperatur von ca. -3 °C bis über 30 °C reicht. Diese extremen Schwankungen stellen besondere Anforderungen an das Lüftungsmanagement, welches lediglich die Stalllufttemperatur als Regelgröße in Kombination mit Luftratenbegrenzungen hat.



**Abbildung 18: Kenndaten für das Stallklima während der Haltungsdauer**

Die Außentemperatur und -feuchte am Standort liegen in der Klimaklasse Sommer im Mittel zwischen den beiden Stallbelegungen auf vergleichbarem Niveau. Die Stalllüftung und das Stallgebäude sichern eine mittlere Stalllufttemperatur um 22 °C. 25 % Außentemperaturwerte liegen oberhalb von 25 °C. Dabei werden infolge von Extremwerten im Außenbereich auch Auslenkungen bis 37 °C erreicht. In diesen Temperaturbereichen folgt die Stalltemperatur weitgehend der Lufttemperatur im Stallumfeld bzw. liegt mit 2 K nur leicht oberhalb der Umfeldwerte. Hiermit erreicht Lüftung und Stallisolation die bautechnischen Forderungen entsprechend DIN 18910-1 nur teilweise. Ursachen hierfür sind in der Altbausubstanz des Stalles zu suchen.

Im Winter liegen die Außentemperaturwerte im Mittel der beiden Untersuchungszeiträume zwischen 4,1 und 0,4 °C. Der erhöhte Wert zur Stallbelegung 2007/2008 weicht vom langjährigen Wintertemperaturmittel in Sachsen ab und hat seine Ursache in einer ungewöhnlich geringen Windanströmung aus nördlicher bis östlicher Richtung. Diese Wetterlage beeinflusst auch die Luftfeuchtwerte im Umfeld des Stalls. Die Kennwerte zur zweiten Stallbelegung ordnen sich in die langjährigen Mittelwerte ein. Die mittlere Stalllufttemperatur liegt zwischen 9,1 und 10,8 °C. Hiermit werden Temperaturbereiche erreicht, die unterhalb des Toleranzbereiches für Legehennen von mindestens 14 °C (MÜLLER 2003) und auch leicht unterhalb des thermisch neutralen Temperaturbereiches (FREEMANN 1969; TÜLLER 1999) von 12 – 25 °C liegen. 25 % der Stalllufttemperaturen überschreiten 9 °C nicht. Diese relativ niedrigen Stalltemperaturen sind Grundlage des Lüftungsmanagements, was darauf abgestimmt ist, auch in den kälteren Außenklimaklassen eine ausreichende Luftwechselrate ohne Zusatzheizung zu erreichen. Weiterhin fördern die relativ tiefen Stalltemperaturen das Adaptationsvermögen der Hennen an den Außenklimabereich, erfordern und fördern jedoch

eine ausreichend gute Befiederung sowie einen etwas höheren Futteraufwand. Dieser liegt in den Herden bei ca. 116 g je Tier und Tag. Unter Beachtung der Sommertemperaturen im Stall wird den Hennen überwiegend eine Stalllufttemperatur innerhalb ihres thermischen Toleranzbereiches geboten.

Erwartungsgemäß wird im Winter die höchste mittlere Feuchte von 72 % erreicht. Auch im Maximalbereich werden 92 % relative Luftfeuchte nicht überschritten. Die Auslenkungen nach unten reichen im Sommer und Frühling vereinzelt unter 30 % Luftfeuchte. Primäre Ursache für die gegenüber von Vorbefunden (LIPPMANN 2007) im Mittel erhöhte Luftfeuchte im Sommerhalbjahr kann in der Stallluftbefeuchtung gesehen werden. Hier wurden Steuerungsanpassungen bezüglich Frequenz und Wassermenge konsequent umgesetzt.

#### 4.1.2 Lüftung und Volumenströme

Der Einfluss von den in der Hennenhaltung entstehenden Stallraumlasten auf das Emissionsverhalten des Stalls ist unmittelbar an das Lüftungsmanagement gekoppelt. Aufgrund bisher ungenügender Frischluftversorgung des Stallraumes – insbesondere auch im Sommer – wurde die Lüftungsanlage erweitert. Dabei wurde das Ziel verfolgt, dass die Anlage primär einem Tunnellüftungsprinzip folgt. Aufgrund der zahlreichen Auslauföffnungen besteht hierbei jedoch die Gefahr, dass der zu erzeugende Luftstrom im Stall instabil wird und innerhalb der Strömungsstrecke abreißt. Deshalb wird für diesen Fall ein Reservesystem im Firstbereich (bisherige Lüftung) vorgehalten, das ab einer festgelegten Solltemperatur der Stallluft (im Untersuchungszeitraum 25 °C) für verkürzte Strömungswege und zusätzliche Ablüftung sorgt. Hierbei muss toleriert werden, dass in diesem Betriebszustand der Lüftungsanlage das Tunnellüftungsprinzip nicht mehr realisiert werden kann und die giebelseitigen Abluftkamine nur noch den umliegenden Stallraum entlüften. Die hier vorgestellten Stallklimawert zeigen, dass dieses System ein gutes Stallklima sichert. Entsprechend der territorialen Klassierung nach DIN 18910-1 liegt der untersuchte Standort in der Sommertemperaturzone 1. Aufgrund des Anstiegs der Sommertemperaturen über 26 °C sollte 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 m<sup>3</sup> je Tierplatz und Stunde vorhalten. Bei einem Unterdruck im Stall von 10 - 20 Pa kann über die 5 Kamine im First (63 cm Innendurchmesser, ca. 12.000 m<sup>3</sup>/h je Kamin) und sechs Kamine im giebelseitigen Dachbereich (80 cm Innendurchmesser, ca. 22.000 m<sup>3</sup>/h je Kamin) ca. 192.000 m<sup>3</sup> Abluft in einer Stunde gefördert werden. Die Effizienz der Lüftungsanlage kann hier mit Hilfe des Differenzdrucks zwischen Stallinnenraum und den atmosphärischen Druck im Umfeld des Stalls eingeschätzt werden. Das Unterdrucklüftungssystem kann nach Bachmann und Frosch (2004) mit einem Unterdruck zwischen 10 und 50 Pa im Stall effizient arbeiten. In der Tabelle 19 werden deshalb die Kennwerte des Differenzdrucks und der hierbei gemessenen Luftwechselrate je Tierplatz zusammengestellt.

**Tabelle 19: Quartile der stündlichen Differenzdrücke (Pa) und Luftwechselraten (m<sup>3</sup>/Tierplatz u. Stunde im Stall in den untersuchten Außenklimaklassen**

			Min.	25tel Quant.	Median.	75tel Quant.	Max.	Mw.
Frühling	2007	Diff-Druck						
		Luftwechselrate	1,3	2,6	3,1	3,8	5,8	<b>3,2</b>
	2008	Diff-Druck	1	-5	-6	-7	-18	<b>-6</b>
		Luftwechselrate	0,2	2,7	3,4	3,6	5,8	<b>3,2</b>
Sommer	2007	Diff-Druck						
		Luftwechselrate	1,4	3,0	3,3	3,8	6,1	<b>3,4</b>
	2008	Diff-Druck	-5	-8	-11	-15	-32	<b>-12</b>
		Luftwechselrate	1,6	3,3	4,7	5,1	6,7	<b>4,3</b>

Herbst	2007	Diff-Druck	2	-1	-1	-1	-11	-1
		Luftwechselrate	0,7	1,1	1,5	2,1	3,6	1,6
	2008	Diff-Druck	0	-2	-4	-8	-30	-5
		Luftwechselrate	1,1	2,1	2,6	3,3	5,2	2,8
Winter	2007	Diff-Druck	1	0	-1	-1	-14	-1
		Luftwechselrate	0,8	1,6	2,1	2,6	4,6	2,2
	2008	Diff-Druck	1	-2	-3	-5	-17	-4
		Luftwechselrate	0,6	1,3	1,5	2,4	5,3	1,9

Für die Klimaklassen Frühling und Sommer 2007 liegen zum Differenzdruck keine plausiblen Messwerte vor. Der Unterdruck im Stall liegt in der Außenklimaklasse Frühling bei 6 Pa, im Sommer bei 12 Pa und im Herbst sowie Winter zwischen 1 und ca. 5 Pa. Weil der realisierte Unterdruck geringer als 10 – 20 Pa ist, ist mit einem geringeren Strömungswiderstand zu rechnen, wodurch die zuvor festgehaltenen 9,6 m<sup>3</sup> Luftwechselrate je Hennenplatz im Maximum realisiert werden könnten. Die benötigten Luftwechselraten können im Sommer und Frühling realisiert werden. Im Herbst und Winter kann der Luftstrom im Stall aufgrund geringerer Unterdrücke instabil werden. Je höher die gemessene Luftwechselrate ist, desto höher ist auch der erzeugte Unterdruck. Bei einer maximalen Luftwechselrate von 5,2 m<sup>3</sup> je Tierplatz in der Stunde werden bis 30 Pa Unterdruck im Stall gemessen. Mit der Minimierung der Luftwechselrate nähert sich der Luftdruck im Stallinnenraum dem im Stallumfeld an. Aufgrund der Instabilität kann es hier kurzzeitig zur Umkehr der Druckverhältnisse kommen. Dabei ist die Lüftungsanlage nicht mehr effizient. Dieser Druckzustand kann auch bei ungesteuerter Vergrößerung der Zuluftflächen eintreten. Eine solche Situation ist gegeben, wenn die Auslaufklappen manuell geöffnet werden. Diese Klappen werden im untersuchten Stall zwischen 10 und 18 Uhr offen gehalten. Im Sommer bei hohen Luftwechselraten fällt der Unterdruck im Stall von 12 auf 8 Pa ab. Im Herbst und Frühling bei deutlich wechselnden und damit im Mittel niedrigeren Luftstraten ändert sich der Unterdruck von 3 bzw. 6 Pa (geschlossene Auslaufklappen) auf 4 Pa bzw. 6 Pa (geöffnete Klappen) im Mittel kaum. Im Winter unter niedrigen Luftwechselraten fällt der Unterdruck während geöffneter Auslaufklappen von 3 auf 2 Pa ab. Hieraus wird ersichtlich, wie deutlich diese zusätzlichen, nicht in die Lüftungssteuerung integrierten Zuluftflächen auf die Effizienz der Stalllüftung Einfluss nehmen. Im untersuchten Stall ist festzuhalten, dass trotz Klappenöffnung ein Unterdruck im Stallraum gesichert wird, auch wenn dieser z. T. recht instabil sein dürfte.

In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die Kenndaten für die mittleren Volumenströme je Stunde in den einzelnen Abluftkaminen gegenübergestellt.

**Tabelle 20: Kenndaten für die mittleren Volumenströme in den Abluftkaminen 1 bis 11**

MV											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
m³/h											
Frühling	620	1094	1454	1468	1375	7296	13739	6450	6356	13334	10920
	1 %	2 %	2 %	2 %	2 %	11 %	21 %	10 %	10 %	21 %	18 %
	706	706	711	580	611	8345	12831	8103	7048	13854	10336
	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	13 %	20 %	13 %	12 %	21 %	16 %
Sommer	1176	914	1300	1331	1276	8492	12143	9932	8362	11901	10887
	2 %	1 %	2 %	2 %	2 %	13 %	18 %	15 %	12 %	17 %	16 %
	7167	6277	7024	5643	5355	6798	11304	9717	8018	11207	6616
	9 %	7 %	8 %	7 %	6 %	8 %	13 %	12 %	9 %	13 %	8 %
Herbst	5	88	59	24	99	2862	9821	1952	2618	8872	6340
	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	9 %	30 %	6 %	8 %	27 %	19 %
	5334	4231	5556	4453	4007	2812	10119	2558	2530	9457	3892
	10 %	8 %	10 %	8 %	7 %	5 %	18 %	5 %	4 %	17 %	7 %
Winter	38	127	112	49	145	5593	11233	2747	3190	11705	8811
	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	13 %	26 %	6 %	7 %	27 %	20 %
	3456	3061	3648	3157	3169	909	9004	144	457	8235	1765
	9 %	8 %	10 %	9 %	9 %	2 %	24 %	1 %	1 %	22 %	5 %

Die mittleren Kenndaten der Volumenströme in den Abluftkaminen (1 – 11) zeigen, dass die Lüftergruppe im Firstbereich (1 – 5, Reservesystem) gegenüber der giebelseitigen Dachlüfter (6 – 11, Tunnellüftungsprinzip) insbesondere in den kälteren Außenklimabereichen annähernd keinen Beitrag (unter 10 %) zur Stallbelüftung leistet. Somit wird das bevorzugte Tunnellüftungsprinzip hier umgesetzt. Die gemessenen maximalen Abluftströme in den Kaminen liegen bei 80 - 85 % der zuvor angegebenen technisch möglichen Volumendurchsätze. Eine Ursache hierfür können die Strömungsbarrieren wie Abluftsteuerklappen, Schwerkraftklappen und der Messventilator in den Kaminen sein. Alleine letzterer kann nach Werksangaben um 5 % Verluste bedingen. Mit den höheren Unterdrücken erreichen die Abluftvolumenströme ihr Maximum. Zusätzlich beeinflussen sich die beiden voneinander unabhängigen Abluftsysteme über First in Stalllängsachse und am hinteren Stallende. Dabei ist hervorhebenswert, dass mit erhöhtem Abluftstrom über First in Stalllängsachse (stufenlos geregelte Ventilatoren) der Abluftstrom am hinteren Stallende (Tunnelprinzip) auch in den Kaminen mit ungeregelten Ventilator auf 50 % ihres technisch möglichen Förder volumens absinkt. Strömungstheoretisch ist diese Entwicklung in diesen Dimensionen nicht zu erwarten und verbunden mit einem ineffizienten Energieverbrauch.

Die Lüfter 7, 10 und 11 erreichen im Stundenmittel ca. 60 % ihres unter standardisierten Druck- und Strömungsverhältnissen möglichen maximalen Fördervolumens. Die nachfolgende Tabelle zeigt den mittleren Gesamtvolumenstrom in den untersuchten Außenklimabereichen.



**Tabelle 21: Kenndaten für die mittleren Gesamtvolumenströme in den untersuchten Außenklimaklassen**

		Volumenstrom (m <sup>3</sup> je Stunde)							
		First	Tunnel	Gesamt	je Tierplatz				
		MW		Median	Min.	25tel Quant.	Median.	75tel Quant.	Max.
Frühling	6011 9 %	58094 91 %	<b>64105</b>	62329	1,28	2,60	3,12	3,83	5,82
	3366 5 %	61429 95 %	<b>64795</b>	67042	0,21	2,66	3,35	3,58	5,84
Sommer	5997 9 %	61717 91 %	<b>67714</b>	65674	1,42	2,98	3,28	3,83	6,14
	31466 37 %	53660 63 %	<b>85126</b>	92905	1,61	3,33	4,65	5,07	6,68
Herbst	274 1 %	32465 99 %	<b>32739</b>	30672	0,65	1,10	1,53	2,08	3,62
	23580 43 %	31368 57 %	<b>54948</b>	52352	1,08	2,05	2,62	3,27	5,16
Winter	471 1 %	43277 99 %	<b>43748</b>	42127	0,79	1,64	2,11	2,64	4,57
	16491 45 %	20514 55 %	<b>37005</b>	30755	0,57	1,25	1,54	2,41	5,34

Im Mittel des Außenklimabereiches Sommer und Frühling (mittlere Außentemperatur 20 °C bzw. 16 °C) werden ca. 40 % der vorgehaltenen Luftwechselrate realisiert, im Maximum bis zu 70 %. In den kälteren Außenklimabereichen Herbst und Winter (mittlere Außentemperatur 9 °C bzw. 2 °C) liegt der Realisierungsgrad im Mittel bei ca. 30 % und kann im Maximum ca. bis 50 % erreichen.

Auf das Lüftungsmanagement wurde bewusst kein Einfluss genommen. So wurde während der ersten Stallbelegung 2007/2008 die Stalldurchströmung nach dem Tunnellüftungsprinzip zu 91 - 99 % umgesetzt. Die über Firstlüftung kommt hier nur bei höheren Außentemperaturen als ergänzende Lüftung zum Einsatz. Hiervon etwas abweichend wurde das Lüftungsmanagement innerhalb der zweiten Stallbelegung gestaltet. Relativ unabhängig von der Klimaklasse wurde die Ablufführung über First entlang der Stalllängsachse deutlich mehr eingesetzt. Mit Ausnahme Frühling (5 %) wurde diese Ablufführung zu ca. 40 % eingesetzt. Hiermit wird das gleichfalls eingesetzte Tunnellüftungsprinzip über die Abluftkamine 6 – 11 deutlich ineffizienter und ist nur noch zu ca. 60 % an der Stallbelüftung beteiligt. Aufgrund der von der Normalverteilung abweichenden Datenreihen wurde zur korrekteren Abbildung der Messwerte der Median der Gesamtvolumenströme zur weiteren Berechnung benutzt. Die mittleren Volumenströme unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.3 Stallgase

Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt bei den gasförmigen Stallraumlasten Ammoniak, Kohlendioxid, Lachgas und Methan. In der nachfolgenden Tabelle 22 sind die mittleren Kenndaten dieser Gase im Stallraum, in der Abluft und im Außenbereich für die untersuchten Außentemperaturbereiche mit entsprechenden Wiederholungswerten zusammengestellt.

**Tabelle 22: Mittlere Kenndaten der Stall- und Umfeldkonzentration (mg/m<sup>3</sup>) der Stallraumgase am Standort**

Stallbelegung	Temperaturbereich	Messort	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>		
2007/2008	Frühling	März - Mai	Stallraum	0,6	1619	0,9	1,7	
			Zuluft	0,5	775	0,9	1,2	
	Sommer	Juni - August	Stallraum	1,9	1575	1,1	3,8	
			Zuluft	1,2	803	1,1	3,2	
	Herbst	September - November	Stallraum	5,4	2192	0,8	2,7	
			Zuluft	1,5	806	0,8	2,1	
	Winter	Dezember - Februar	Stallraum	2,0	2014	0,6	2,5	
			Zuluft	0,6	810	0,6	1,7	
	2008/2009	Frühling	März - Mai	Stallraum	0,6	1607	0,4	2,8
				Zuluft	0,3	822	0,5	2,2
Sommer		Juni - August	Stallraum	0,8	1396	0,3	5,2	
			Zuluft	0,5	827	0,4	4,7	
Herbst		September - November	Stallraum	2,5	1649	0,6	2,1	
			Zuluft	1,4	781	0,6	1,6	
Winter		Dezember - Februar	Stallraum	3,2	2031	0,7	1,7	
			Außenbereich	1,6	761	0,6	1,0	

Der Stichprobenumfang betrug für Frühling 2007 und 2008 1.669 bzw. 1.725, für Sommer 2007 und 2008 2.169 bzw. 2.208, für Herbst 2007 und 2008 2.066 bzw. 2.185 sowie für Winter 2007/2008 und 2008/2009 2.184 und 1.930 Stundenmittelwerte (vgl. Anhang, Tab. XII und XIV).

Der Kohlendioxidgehalt der Stallluft liegt in den Klimaklassen mit höheren Außentemperaturen zwischen ca. 1.396 und 1.607 mg je m<sup>3</sup> (711 – 818 ppm). Erwartungsgemäß steigt er gekoppelt an niedrigere Luftwechselraten in den Klimaklassen mit niedrigeren Außentemperaturen auf ein Niveau zwischen ca. 1.649 und 2.192 mg je m<sup>3</sup> (840 – 1116 ppm) an. Hiermit liegt das gemessene Niveau im Bereich eigener Vorbefunde aus einem vergleichbaren System (LIPPMANN 2007). Der Grenzwert von 3.000 ppm (Hennenhaltungs-VO) wird selbst im Maximum (1.528 ppm, vgl. Anhang, Tab. XIII und XIV) nicht erreicht. Damit tritt eine kurzzeitige Überschreitung des Grenzwerts im Winter, wie bei MÜLLER (2003) beschrieben, in dem untersuchten Hennenstall nicht auf. Eine wesentliche Ursache hierfür wird im relativ niedrigen Sollwert der Stalltemperatur zur Steuerung der Lüftungsanlage gesehen, der einen ausreichenden Luftwechsel gewährleistet. Die Konzentration in der Außenluft liegt erwartungsgemäß mit 761 – 827 mg je m<sup>3</sup> (388 – 421 ppm) auf relativ konstantem Niveau. Zur Berechnung der Massenströme an Kohlendioxid wurde jedoch eine konstante Hintergrundkonzentration von 748 mg je m<sup>3</sup> (381 ppm) von der Abluftkonzentration abgezogen.

Lachgas liegt über den gesamten Untersuchungszeitraum in der Stallluft zwischen 0,3 und 1,1 mg je m<sup>3</sup> auf Zuluftniveau. Die Ergebnisse werden durch eigene Vorbefunde (LIPPMANN 2007) auf vergleichbarem Niveau gestützt. Für die Berechnung der Massenströme wurde auf einen Abzug der Hintergrundbelastung (Zuluftkonzentration) verzichtet.

Die Methankonzentration in der Stallluft liegt zwischen 1,7 und 5,2 mg je m<sup>3</sup>. Damit ist sie im Mittel etwas oberhalb der Vorbefunde (LIPPMANN 2007). Die Zuluftkonzentration korrespondiert auf niedrigerem Niveau mit der Stallluftkonzentration. Für die

Berechnung der Massenströme wurde auf einen Abzug der Hintergrundbelastung (Zuluftkonzentration) verzichtet. Damit erscheinen Lachgas und Methan aufgrund der gemessenen Konzentrationen und der geringfügigen Differenz gegenüber der Zuluftkonzentration für das Emissionsgeschehen im Umfeld von mehretägigen Bodenhaltungen für Legehennen ohne stallseitiger Kotlagerung (zweimal je Woche Kotbeseitigung) von untergeordneter Bedeutung zu sein. Für die Gaskonzentrationen ist generell festzuhalten, dass die emissionswirksame Abluftkonzentration stets unterhalb der Konzentration in der Stallluft liegt. Damit ist die Höhe des Messpunktes von Ergebnis beeinflussender Wirkung.

Im Nachfolgenden soll nun ausführlicher auf die Ammoniakkonzentration in der Stallluft sowie der Zuluft aus dem Umfeld des Stalls eingegangen werden, weil diese in Abhängigkeit von den Luftwechselraten das Emissionsgeschehen maßgeblich beeinflusst. Hierzu sollen zuerst in den Abbildungen 19 und 20 die gemessenen Wertereihen anhand ihrer Quartile für die untersuchten Klimaklassen innerhalb der ersten (2007/2008) und zweiten (2008/2009) Stallbelegung gegenübergestellt werden. Die dazugehörigen Wertetabellen sind im Anhang, Tabelle XIII und XIV, eingefügt.

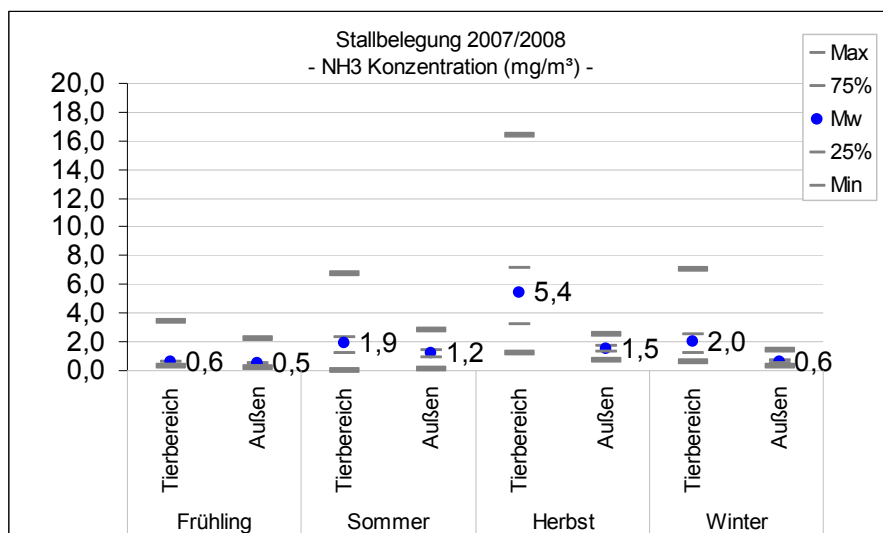


Abbildung 19: Kenndaten für Ammoniak im Abluftstrom (Lüftung), Tierbereich und in der Zuluft zum Stall während der Stallbelegung 2007/2008

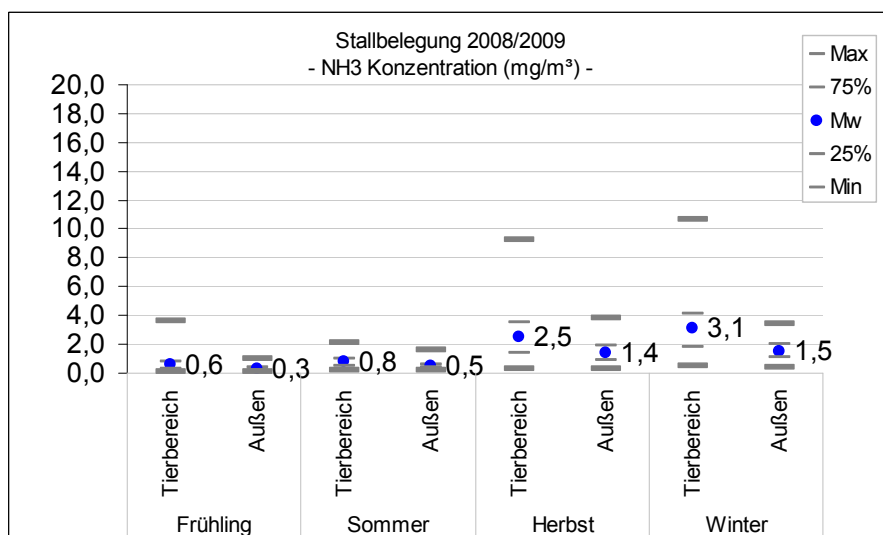
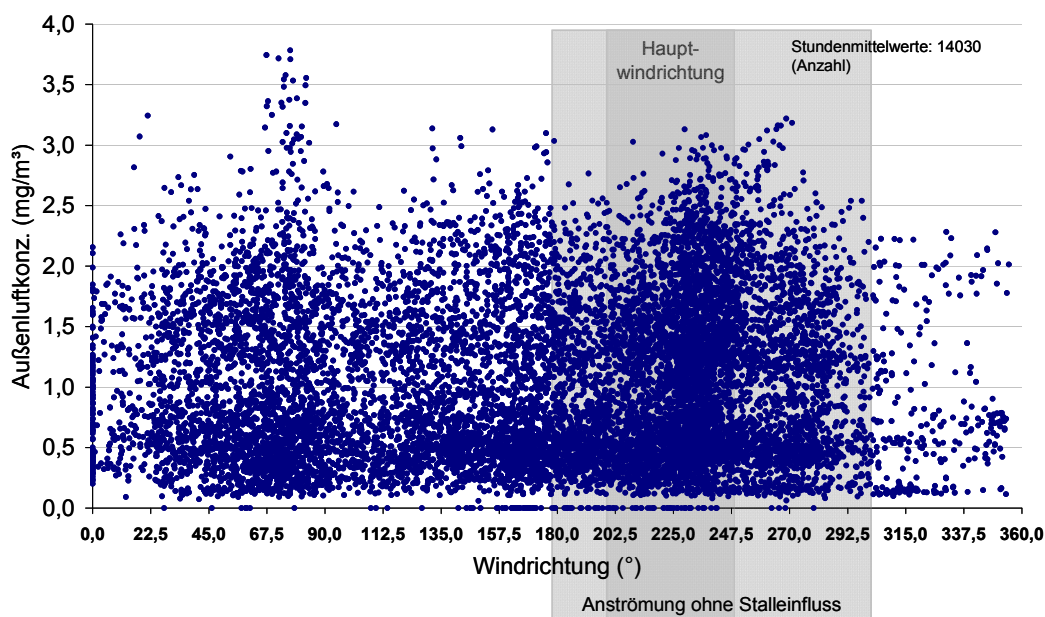


Abbildung 20: Kenndaten für Ammoniak im Abluftstrom (Lüftung), Tierbereich und in der Zuluft zum Stall während der Stallbelegung 2008/2009

Die Ammoniakgehalte in der Stallluft sind – ausgenommen die Befunde für Herbst – auf niedrigerem Niveau. Im Tierbereich werden in den Klimaklassen mit höheren Außentemperaturen im Mittel zwischen 0,5 und 1,9 mg je m<sup>3</sup> gemessen. Das entspricht 0,7 – 2,5 ppm. Referenzwerte für vergleichbare Haltungen weisen für diese Klimaklassen um 4,5 mg (5,9 ppm) aus (LIPPMANN 2007). Kurzzeitige Maxima der Ammoniakkonzentration treten insbesondere innerhalb der Klimaklassen Herbst und Winter auf und erreichen bis 16,3 mg je m<sup>3</sup> (21,4 ppm). Im Herbst und Winter werden im Mittel zwischen 1,4 und 5,4 mg je m<sup>3</sup> (1,8 bzw. 7,1 ppm) gemessen. Die Datenreihen zur Ammoniakkonzentration folgen nicht der Normalverteilung. Die Ammoniakkonzentrationen unterscheiden sich generell zwischen den Messpunkten signifikant ( $p < 0,05$ ). Lediglich innerhalb der Herbstmessungen in der Stallbelegung 2008/2009 konnten keine signifikanten Differenzen zwischen Tierbereich und Abluftstrom nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass die emissionsrelevante Abluftkonzentration im Mittel ca. 15 % unter dem im Stallraum gemessenen Niveau liegt.

Im Kontext mit dem Lüftungsmanagement ist festzuhalten, dass bei überwiegender Stallbelüftung nach dem Tunnelprinzip (Stallbelegung 2007/2008) die Stallluftkonzentrationen deutlicher variieren. Demgegenüber liegen die Auslenkungen der Konzentrationswerte bei einer Abluftverteilung von 40 % über First in Stallängsachse und 60 % über First am Stallende (Tunnelprinzip, Stallbelegung 2008/2009) niedriger.

Das kombiniert umgesetzte Lüftungsprinzip bringt ausreichend Frischluft in den Stall. Während der Frühling- und Sommermessung zur Stallbelegung 2008/2009 wurde zusätzlich ein Algenextrakt dem Futter zugemischt. Die Zuluftkonzentration (Außen) liegt gegenüber bisheriger Befunde auf vergleichbarem Niveau. Die geringeren Differenzen zwischen Stall- und Zuluft in den Klimaklassen Frühling und Sommer gegenüber Herbst und Winter deuten darauf hin, dass mit höheren Außentemperaturen und damit erhöhten Abluftstrom eine Beeinflussung der Zuluft nicht ausgeschlossen werden kann. Dieser Einfluss ist geringer, wenn die Stallanströmung (Windrichtung und -geschwindigkeit) die Abluffahne aus dem Zuluftbereich bringt. Deshalb wurde die Windrichtung in nachfolgender Abbildung der Zuluftkonzentration (Außenluft) gegenübergestellt.

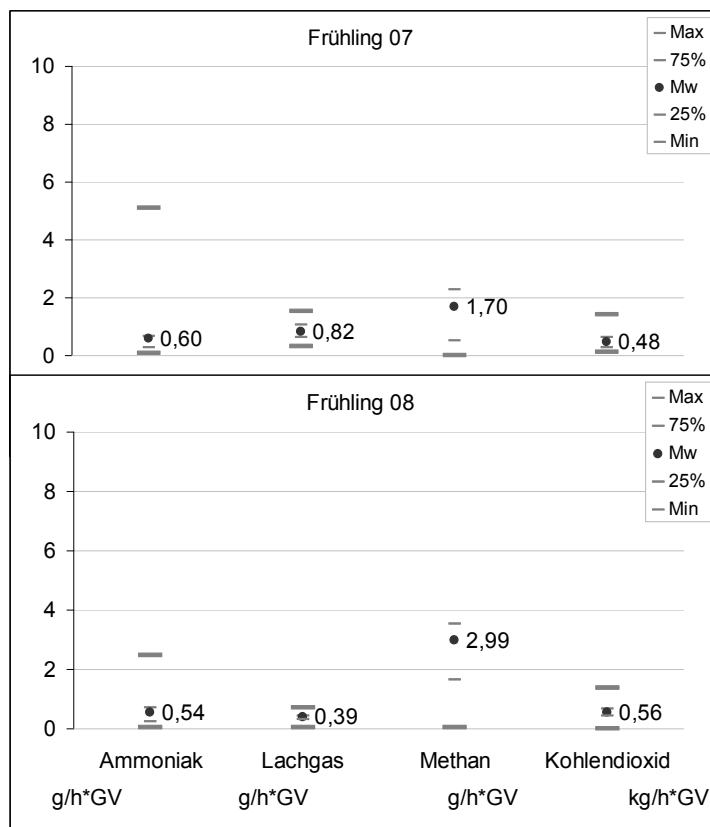


**Abbildung 21: Außenluftkonzentration in Abhängigkeit der Anströmungsrichtung des Stalls**

An den zur Auswertung verwendeten Datensätzen wird ersichtlich, dass die Anströmung des Stalles keinen relevanten Einfluss auf das Messniveau der Zuluftkonzentration nimmt. Unabhängig vom Anströmwinkel (Hauptwindrichtung dunkelgrau, Anströmung ohne Stallbeeinflussung hellgrau unterlegt) werden keine gerichteten Tendenzen erkennbar. Somit kann eine Voreinstellung des Messpunktes mit Stallabluft in Abhängigkeit vom Anströmungswinkel ausgeschlossen werden. Generell kann in den Klimaklassen mit erhöhten Lufttemperaturen bei ungünstigen Windverhältnissen (geringe Windgeschwindigkeiten) der Einfluss der Abluffahne auf das Stallumfeld und somit die Zuluft nicht ausgeschlossen werden. Quantifizierbar ist das mit dem eingesetzten Messequipment nicht. Hiermit wird die Konzentrationsmessung der Stallgase in der Zuluft zum Zweck der Hintergrund-

bewertung der Gaskonzentrationen im Umfeld dieser offenen Haltungssysteme problematisch. Noch deutlicher tritt diese Problematik mit Bezug auf die Ammoniakkonzentrationsmessungen mittels Passivsammlern 350 m im Luv der Stallung hervor. Hier werden im Mittel nur 0,0049 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Diese Werte korrespondieren gut mit den bei DÄMMGEN & ERISMAN (2006) ausgewiesenen Hintergrundniveaus. Hier wurden in landwirtschaftlich genutzten Gebieten Hintergrundwerte für Ammoniak um 0,0045 mg je m<sup>3</sup> gemessen. Die Autoren verweisen darauf, dass derzeit kein photoakustisch arbeitendes Messsystem diese Konzentrationsbereiche – typisch für Immissionsgeschehen – abbilden kann. Befunde aus dem Schrifttum (vgl. Abschnitt 2.4) liegen für Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung zwischen 0,005 und 0,035 mg je m<sup>3</sup>. Demgegenüber liegt der mittlere Wert im Zuluftbereich der Stallung bei günstiger Anströmung (200 – 270 °) und einer Windgeschwindigkeit über 0,3 m/s bei 0,89 mg/m<sup>3</sup> und damit bei dem fast 30-Fachen. Aufgrund der Befunde werden die Emissionsbewertungen ohne einen Abzug der ermittelten Vorbelastung durchgeführt. Ein Abzug der angeführten Hintergrundkonzentrationen von den gemessenen Konzentrationen in der Stall- und Abluft ist wegen dem deutlich niedrigeren Konzentrationsniveau nicht ergebnisrelevant.

Die Emissionen an gasförmigen Stallraumlasten resultieren aus den Abluftkonzentrationen und den dazugehörigen Abluftvolumenströmen. Aufgrund der kontinuierlichen Datenermittlung in der vorliegenden Untersuchung wurden die Massenströme auf der Basis von stündlich berechneten Massenströmen abgeleitet. Hiermit ist eine weitgehende Abbildung des tatsächlichen Emissionsgeschehens möglich. In Abbildung 22 werden die Massenströme der Stallgase Ammoniak, Lachgas, Methan und Kohlendioxid für die Klimaklasse Frühling während der Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 gegenübergestellt (vgl. Anhang, Tab. XV).

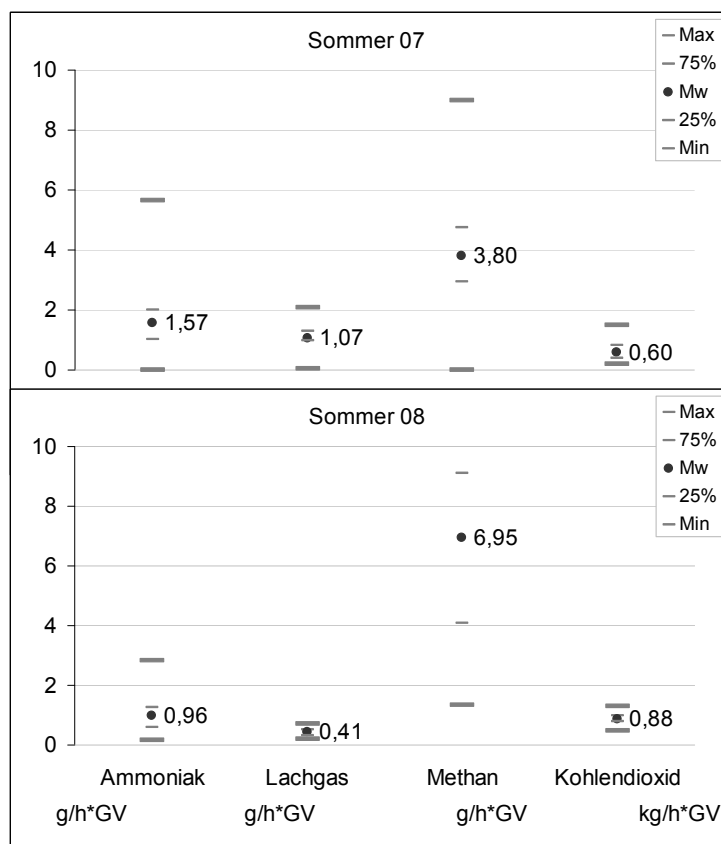


**Abbildung 22: Massenströme in der Klimaklasse Frühling der beiden Stallbelegungen**

Der Massenstrom an Ammoniak aus dem untersuchten Hennenstall liegt im Frühling im Mittel zwischen 0,54 und 0,60 g je Stunde mit Bezug zu einer GV. Dieser und alle weiter vorgestellten Ammoniakmassenströme folgen nicht einer Normalverteilung und sind signifikant verschieden ( $p < 0.05$ ). Maximal werden Massenströme bis 5,1 g je Stunde und GV erreicht. 75 % der stündlichen Massenströme liegen unterhalb von 0,7 g.

Lachgas und Methan weicht zwischen den beiden Vergleichszeiträumen voneinander deutlicher ab. Lachgas liegt im Mittel bei 0,39 bzw. 0,77 und Methan bei 2,57 bzw. 1,07 g je Stunde und GV. Während die ermittelten Lachgasmassenströme keine deutlichen Auslenkungen in den Minimal- und Maximalbereich zeigen, treten bei Methan maximale Massenströme von bis zu

17,57 g je Stunde und GV auf. Im Gegensatz zu Ammoniak, Lachgas und Methan wurde zur Berechnung des Massenstroms an Kohlendioxid die Abluftkonzentration um eine Hintergrundkonzentration von konstant 748 mg bereinigt. Er liegt im Mittel während dieser Klimaklasse 2007 bei 0,48 kg je Stunde und GV. Der Vergleichswert für 2008 liegt bei 0,56 kg. Die Ursache für diese Differenz kann in der veränderten Lüftungsstrategie – wie im Kontext mit der Abluftkonzentration kurz diskutiert – gesehen werden. In der Abbildung 23 werden die Massenströme der Stallgase Ammoniak, Lachgas, Methan und Kohlendioxid für die Klimaklasse Sommer während der Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 gegenübergestellt (vgl. Anhang, Tab. XVI).

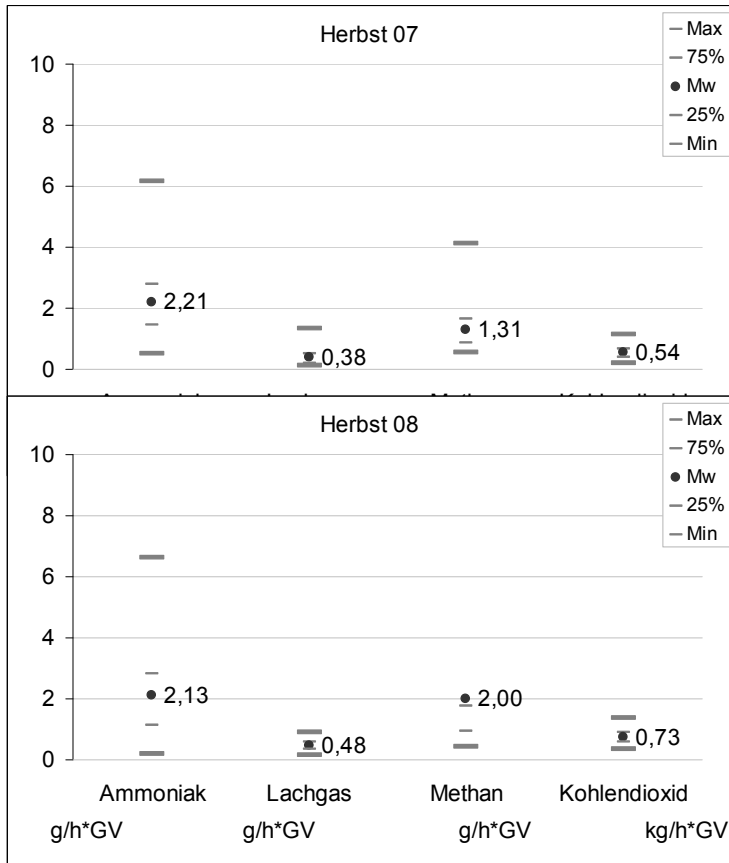


**Abbildung 23: Massenströme in der Klimaklasse Sommer der beiden Stallbelegungen**

Der Massenstrom an Ammoniak aus dem untersuchten Hennenstall liegt im Sommer im Mittel zwischen 0,96 und 1,57 g je Stunde und GV. Maximal werden Massenströme bis 5,7 g je Stunde und GV erreicht. 75 % der stündlichen Massenströme liegen unterhalb von 2 g.

Lachgas und Methan weicht zwischen den beiden Vergleichszeiträumen ebenfalls deutlich voneinander ab. Lachgas liegt im Mittel bei 0,41 bzw. 1,07 und Methan bei 6,95 bzw. 3,80 g je Stunde und GV. In dieser Klimaklasse mit hohen Lufttemperaturen steigt die Methankonzentration insgesamt deutlich an. Ursache hierfür dürfte in erster Linie eine erhöhte bakterielle Aktivität im Stall und Stallumfeld sein. Dem folgen in Kombination mit erhöhten Luftwechselraten im Stall auch die Massenströme. Während die ermittelten Lachgasmassenströme wiederum keine deutlichen Auslenkungen in den Minimal- und Maximalbereich zeigen, treten bei Methan maximale Massenströme von bis zu 17,47 g je Stunde und GV auf.

Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel während dieser Klimaklasse 2007 bei 0,60 kg je Stunde und GV. Der Vergleichswert für 2008 liegt bei 0,88 kg. Damit setzt sich die Wirkung einer geänderten Lüftungsstrategie fort. In der Abbildung 24 werden die Massenströme der Stallgase Ammoniak, Lachgas, Methan und Kohlendioxid für die Klimaklasse Herbst während der Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 gegenübergestellt (vgl. Anhang, Tab. XVII).



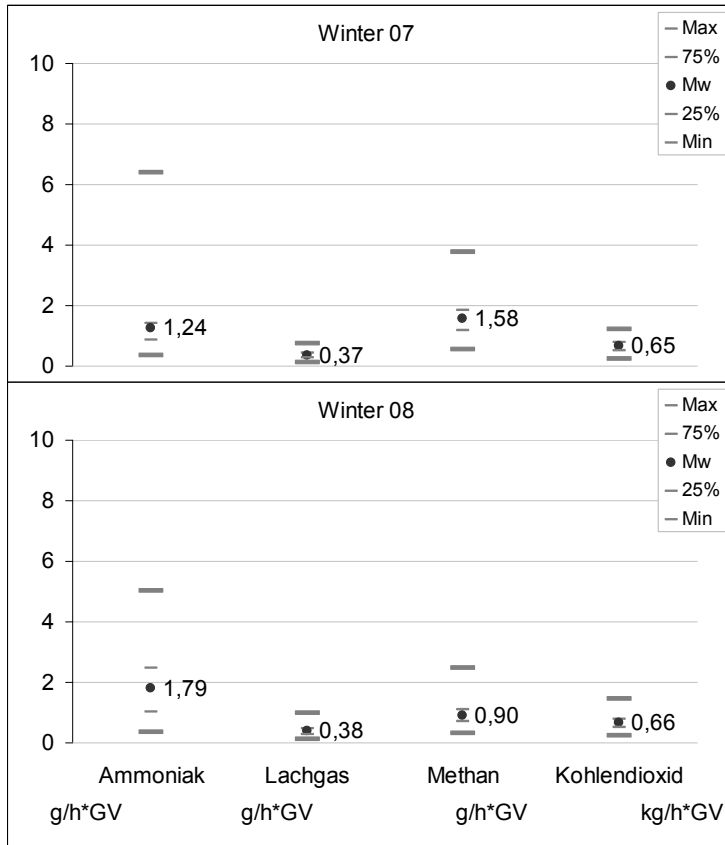
**Abbildung 24: Massenströme in der Klimaklasse Herbst der beiden Stallbelegungen**

Der Massenstrom an Ammoniak aus dem untersuchten Hennenstall liegt im Herbst im Mittel zwischen 2,13 und 2,21 g je Stunde mit Bezug zu einer GV. Er weicht damit deutlich im Niveau vom Frühling ab. Diese beiden Klimaklassen werden z. T. zur Klimaklasse Übergang zusammengefasst, zeigen jedoch in kontinuierlichen Messungen Differenzen. Maximal werden Massenströme bis 6,6 g je Stunde und GV erreicht. 75 % der stündlichen Massenströme liegen unterhalb von 2,9 g.

Lachgas weicht zwischen den beiden Vergleichszeiträumen voneinander deutlicher ab. Hierbei ist im Gegensatz zu den bereits besprochenen Klimabereichen ein Niveauwechsel zwischen den Vergleichsjahren festzustellen. Lachgas liegt im Mittel bei 0,38 bzw. 0,48 g je Stunde und GV. Methan folgt diesem Wechsel und erreicht gegenüber den Klimaklassen Sommer und Frühling zum Teil ein deutlich abgesenktes Niveau.

Auch hier liegen die Extremwerte eng am Mittel. Im Gegensatz hierzu und wie bereits für die Klimaklassen Frühling und Sommer beschrieben zeigen die Massenströme an Methan eine größere Varianz. Im Mittel liegen sie bei 1,31 bzw. 2,00 g je Stunde und GV und erreichen im Maximum bis zu 14,39 g je Stunde und GV. Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel während dieser Klimaklasse 2007 bei 0,54 g je Stunde und GV. Der Vergleichswert für 2008 liegt bei 0,73 kg.

In der Abbildung 25 werden die Massenströme der Stallgase Ammoniak, Lachgas, Methan und Kohlendioxid für die Klimaklasse Winter während der Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 gegenübergestellt (vgl. Anhang, Tab. XVIII).



**Abbildung 25: Massenströme in der Klimaklasse Winter der beiden Stallbelegungen**

Der Massenstrom an Ammoniak aus dem untersuchten Hennenstall liegt im Winter zwischen 1,24 und 1,79 g je Stunde mit Bezug zu einer GV. Damit liegt er im Mittel deutlich oberhalb der bisher besprochenen Klimaklassen. Maximal werden Massenströme bis 6,4 g je Stunde und GV erreicht. 75 % der stündlichen Massenströme liegen jedoch unterhalb von 2,5 g.

Lachgas liegt im Mittel mit 0,37 bzw. 0,38 eng beieinander und variiert auch nur gering. Methan liegt im Mittel bei 1,58 bzw. 0,90 g je Stunde und GV. Hier werden wiederum im Maximum Massenströme von bis zu 3,75 g je Stunde und GV ermittelt. Damit liegt der Methanmassenstrom gegenüber den anderen Klimaklassen hier auf abgesenktem Niveau, was im Umkehrschluss zu den Sommerbedingungen an einer niedrigeren Bakterienaktivität liegen dürfte.

Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel während dieser Klimaklasse 2007 bei 0,65 kg je Stunde und GV. Der Vergleichswert für 2008 liegt bei 0,66 kg. Mit den insgesamt im Winterbereich abnehmenden Luftwechselraten liegen die Massenströme auf relativ vergleichbarem Niveau.

Für die Stallgase Lachgas, Methan und Kohlendioxid leiten sich auf der Basis von 365 Produktionstagen ohne Berücksichtigung einer 14-tägigen Serviceperiode ohne Tierbesatz im Frühling aus den benannten Faktoren innerhalb der Klimaklassen nachfolgende Emissionsfaktoren zur Berechnung der Jahresfrachten ab:

- Distickstoffoxid (Lachgas)                      16 g je Hennenplatz (ohne Abzug Vorbelastung)
- Methan    80 g je Hennenplatz (ohne Abzug Vorbelastung)
- Kohlendioxid    19 kg je Hennenplatz (mit Abzug konst. Vorbelastung)

Im Weiteren soll nun auf die Emission von Ammoniak eingegangen werden. Die Zusammenführung der Massenströme aus den vier Klimaklassen ergibt den jährlichen Massenstrom des Hennenstalls, woraus der dazugehörige Emissionsfaktor für Ammoniak abgeleitet werden kann. In der Tabelle 23 sind diese Kennwerte für die jährlichen Ammoniakfrachten aus der Hennenhaltung zusammengestellt.



**Tabelle 23: Emissionsfaktoren für Ammoniak innerhalb der Klimaklassen und im Jahresverlauf**

Klimaklasse	Stundenmittel (n)	Massenstrom	Faktor für Massenstrom mit Abzug Vorbelastung	Emissionsfaktor	
		g/h*GV		g/Tpl.*Klimaklasse	
				2007/2008	2007/2008
Frühling	1669	0,60	0,14	4,5	4,1
	1725	0,54	0,07		
Sommer	2169	1,57	0,10	11,8	7,2
	2208	0,96	0,28		
Herbst	2066	2,21	0,58	16,4	15,8
	2184	2,13	0,36		
Winter	2184	1,24	0,59	9,2	13,3
	1920	1,79	0,44		
Gesamt	8088	1,41		41,9	40,4
	8037	1,36			

In der Spalte 4 der Tabelle sind die Faktoren angegeben, auf deren Basis eine grobe Umrechnung von nachfolgend zusammengestellten Emissionsfaktoren ohne vorherigen Abzug einer Vorbelastung auf die Emissionsfaktoren mit Abzug der Vorbelastung möglich ist. Die Faktoren verdeutlichen die im Vergleich zur Zuluftkonzentration nur geringfügig höheren Abluftkonzentrationen im untersuchten Hennenstall. Die statistische Auswertung zeigte, dass die Datenreihen der Ammoniakmassenströme keiner Normalverteilung folgen ( $p < 0,05$ ). Die Datenreihen unterscheiden sich alle innerhalb und zwischen den Klimaklassen signifikant ( $p < 0,05$ ) voneinander. An dieser Stelle gestattet sich der Autor den Hinweis, dass eine reine Berechnung der Emissionsfaktoren für jede Klimaklasse aus den dargestellten mittleren Massenströmen und der Anzahl an Stundenmittel nicht den in Tabelle 23 abgebildeten Emissionsfaktoren entspricht. Diese sind aus den kontinuierlich gemessenen Stundenmitteln von Abluftkonzentration und Volumenstrom jedes Abluftkamins zu einem stündlichen Massenstrom aufsummiert und dieser stündliche Gesamtmassenstrom wiederum über eine Summenbildung für den Messzeitraum berechnet worden.

Innerhalb der Stallbelegungen 2007/2008 und 2008/2009 wurden 8.088 Stundenmittelwerte (337 Tage) bzw. 8.037 (335 Tage) der Abluftkonzentration und des Volumenstroms zur Berechnung des Ammoniakmassenstroms aus dem Hennenstall gemessen. Die Berechnungen ergeben für die Außenklimabereiche „Frühling“, „Sommer“, „Herbst“ und „Winter“ stündliche Massenströme an Ammoniak zwischen 0,60 und 2,21 g je GV. Entsprechend der im Abschnitt 3.1 dargelegten Bewertungsbasis wird der untersuchte Bestand mit 68 GV bewertet. Das entspricht einer mittleren Gesamtlebendmasse von 34 t. Bei einer Anzahl von 20.000 Hennenplätzen wiegen die Hennen im Mittel der Stallbelegung mit Berücksichtigung der Verluste 1,7 kg. Das entspricht je GV einer Anzahl von 294 Hennen.

Der Massenstrom je Stunde liegt insbesondere in den wärmeren Klimaklassen unterhalb bisheriger Befunde. Die hier erstmals durchgehend gemessenen jährlichen Frachten an Ammoniak (Emissionsfaktoren) liegen innerhalb der untersuchten Außenklimaklassen zwischen 4,1 und 16,4 g je Tierplatz. In der Jahressumme resultiert hieraus ein Emissionsfaktor von 41,9 g bzw. 40,4 g je Tierplatz. Bei einem Belegungsrythmus von ca. 365 Tagen und 14 Tagen Leerstand während des Servicezeitraums sind an 351 Tage die Hennenplätze besetzt und damit sind hierfür die ermittelten Massenströme für die jährliche Ammoniakfracht anzusetzen. Der hierauf korrigierte Faktor beträgt 40,3 g bzw. 38,9 g je Tierplatz im Jahr. Dieser Faktor liegt bei bisheri-

ger Herangehensweise – Abzug der Vorbelastung in der Zuluft von der Ammoniakkonzentration im Abluftstrom – noch deutlich unterhalb.

Damit ist der hier ermittelte Emissionsfaktor für Ammoniak noch unterhalb bisheriger Befunde für vergleichbare Haltungen und unterschreitet deutlich den Wert von 91,1 g/Tpl. im Jahr aus der TA-Luft. Hervorzuheben ist, dass der untersuchte Standort seit mehreren Jahren derart genutzt wird (Stallmüdigkeit) und die Hennen aufgrund einer intensiven Auslaufnutzung auch im Scharrraum sehr aktiv sind. Somit erscheint die konsequente zweimalige Entfernung des Kotes je Woche aus dem Stall die primäre Ursache der niedrigen Ammoniakverfrachtung zu sein. Im Schrifttum werden von MÜLLER et al. (2006) nachfolgende Emissionsfaktoren aus eigenen Untersuchungen (ATB) und einer Wertebündelung der Europäischen Kommission (EU) für mehretägige Bodensysteme für Legehennen (Volieren) zusammengestellt. Hiernach wurden zwischen 50 und 136 g je Tierplatz (ATB) sowie zwischen 10 und 386 g je Hennenplatz (EU) ermittelt. Die große Streuung der Faktoren zeigt, dass die untersuchten Hennenställe und Haltungsmanagements einen erheblichen individuellen Einfluss nehmen. Die Werte sind insofern schwer zu werten, weil zur Methodik der Messung von Stallluftkonzentration an Ammoniak und den dazugehörigen Volumenströmen nur lückige Aussagen getroffen werden.

Gegenüber den Vorbefunden sind diese Werte stabiler, weil hier erstmals eine kontinuierliche Messung erfolgte und somit eine Kalkulation auf der Basis von Messzeitfenstern nicht nötig war. Die durchgeführte Wiederholungsmessung an der Stallbelegung 2008/2009 bestätigte weitgehend die Vorbefunde. Die nochmals deutliche Absenkung im Frühling und insbesondere Sommer wird hauptsächlich auf die kurzzeitige Zufütterung eines Algenextraktes zurückgeführt. Eine Wirkung der hier ebenfalls gemessenen höheren Luftwechselraten gegenüber der Vorbelegung kann nicht ausgeschlossen werden, dürfte aber primär nicht die Ursache sein. Es ist davon auszugehen, dass mit höherer Luftumwälzung auch mehr Abluft in die Stallumgebung abgegeben wird. Zusätzlich dürfte sich hiermit der Partialdruck über den Kotstapeln verringern, was bei ungünstigem Stallklima (hohe Feuchte und Temperatur) eine erhöhte Nachlieferung von Ammoniak zur Folge hat. Beides sollte den emissionsverursachenden Massenstrom an Ammoniak erhöhen.

### Kalkulation von Emissionsfaktoren

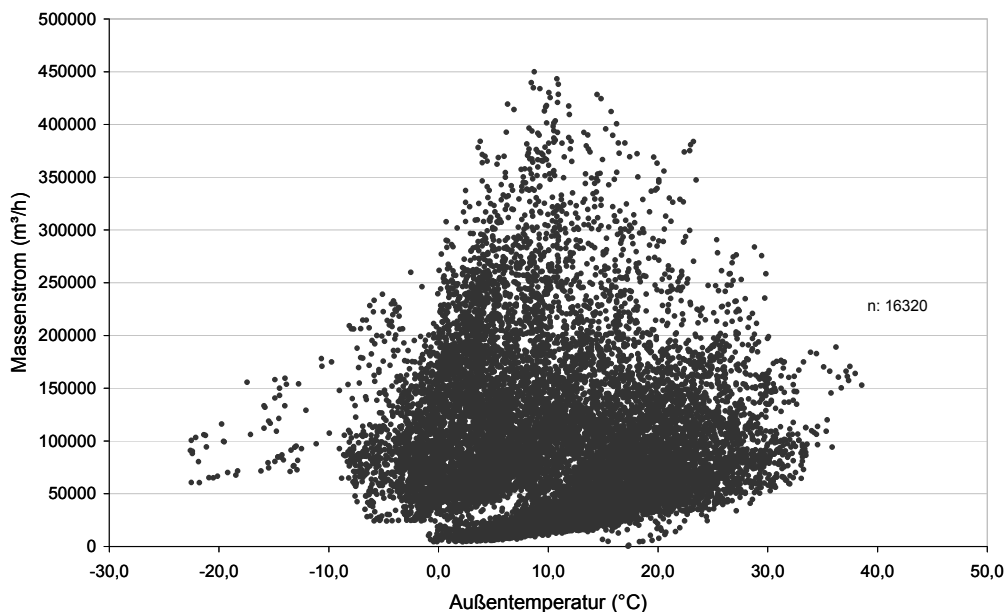
Die bisherige und mit Sicherheit auch zukünftige Herangehensweise zur Kalkulation der Emissionen an Tierhaltungsanlagen basiert zumeist auf mehr oder weniger ausgedehnte Zeitfenstermessungen (14 Tage) innerhalb der auch hier zugrunde gelegten Außenklimaklassen. Somit kommen überwiegend und im günstigsten Fall vier Messserien im Jahresverlauf zustande. Dabei wird überwiegend aus dem ermittelten Emissionsfaktor für jede Klimaklasse über die Anzahl der Tage je Klasse eine Ammoniakfracht für jeden Klimaklassenbereich kalkuliert. Die Summe dieser kalkulierten Frachten wird als Jahresfracht ausgewiesen.

Ein weiterer Ansatz wurde in den bisherigen Untersuchungen des Autors verwendet. Hierbei wurden vergleichbar mit Ansatz 1 vier Messserien im Jahresverlauf durchgeführt. Auf Basis des Sachverhaltes, dass die Lüftungssteuerung mittels der Stallinnentemperatur die Abluftströme so regelt, dass diese Temperaturvorgabe in Stallinnenraum weitgehend konstant gehalten wird, hängt die Leistung der Lüftungsanlage indirekt von der Außentemperatur ab. Hiermit werden indirekt über die vorherrschende Außentemperatur insbesondere die Luftwechselraten und damit die Abluftströme beeinflusst. Deshalb wurde über den gesamten Jahresverlauf die Außentemperatur als Stundenmittelwert registriert. Mittels der linearen Korrelation zwischen Außentemperatur und Massenstrom innerhalb der gemessenen vier Zeitfenster wurde aus der vorliegenden Außentemperatur im Stundenmittel ein Massenstrom berechnet. Die Summe dieser stündlichen Massenströme ergibt dann die Jahresfracht an z. B. Ammoniak. Für beide Ansätze konnte bisher nicht abschließend beurteilt werden, ob hierbei eine Über- oder Unterbewertung eintritt. Aufgrund der vorliegenden Datenbasis wurden beide Kalkulationsansätze verwendet, um die hieraus resultierenden Ergebnisse mit dem tatsächlich gemessenen Kennwert zu vergleichen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse gegenübergestellt.

**Tabelle 24: Kenndaten zur Emission, Immission und Deposition aus der Modellierung**

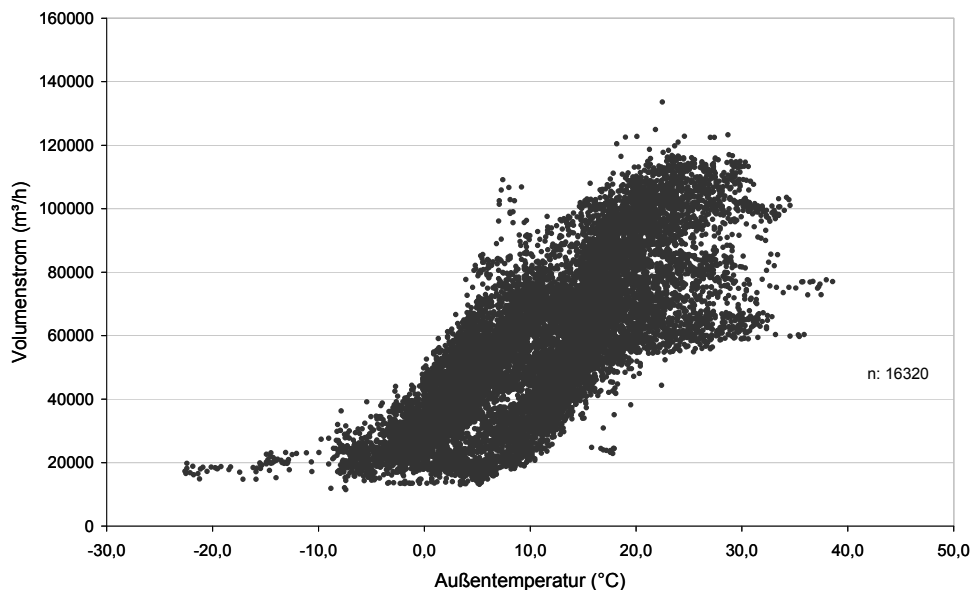
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Bezugszeitraum	Jahr
Haltungstage	70	92	91	91	344	351
MZF (d)	16					
<b>Kalk.-ansatz 1</b>						
Massenstrom g/h	20,5	94,9	101,3	71,3		
E-Faktor g/Tpl. *Zeitfenster	2,1	10,5	12,2	8,5	33,2	<b>34,1</b>
<b>Kalk.-ansatz 2</b>						
MZF (d)	16					
R <sup>2</sup>	0,74	0,27	0,50	0,75		
E-Faktor g/Tpl. *Zeitfenster	2,5	9,3	13,3	6,8	32,0	<b>32,8</b>
<b>Messung</b>						
MZF (d)	70/72	90/92	86/91	91/80	337/335	
E-Faktor g/Tpl. *Zeitfenster	4,5/4,1	11,8/7,2	16,4/15,8	9,2/13,3	41,9/40,4	<b>43,6/ 40,5</b>

Der durch kontinuierliche Messungen ermittelte Emissionsfaktor liegt im Vergleich zu den kalkulierten Faktoren auf deutlich höherem Niveau. Das heißt, dass für die untersuchte Hennenhaltung mit den Kalkulationsansätzen eine Unterschätzung der tatsächlichen Ammoniakemission um ca. 20 % vorliegt. Das zur Kalkulation aus jeder Klimaklasse zufällig entnommene Messzeitfenster bildet das Emissionsgeschehen für Ammoniak nicht korrekt ab. In der Abbildung 26 werden die Beziehungen zwischen der Außentemperatur und dem Massenstrom dargestellt.

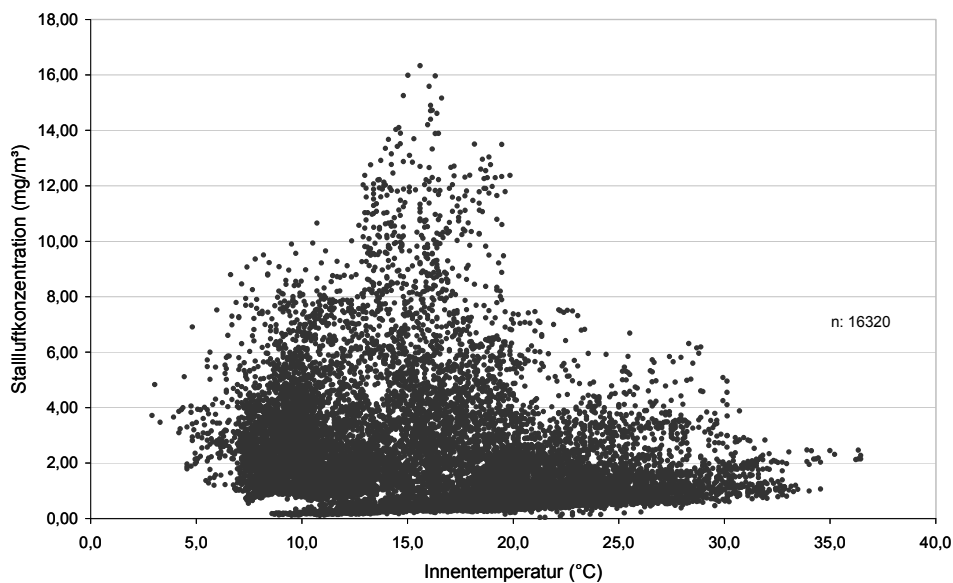


**Abbildung 26: Lineare Beziehungen zwischen Massenstrom Ammoniak und Außentemperatur**

Ein Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und dem Massenstrom im Jahresverlauf existiert nicht. Engt man das Messzeitfenster ein, bilden sich schwache bis mittlere Zusammenhänge ab. Diese wurden im Kalkulationsansatz genutzt. Insbesondere diese relativ schwachen Beziehungen zwischen Außentemperatur und Massenstrom tragen hier zur abweichenden Bewertung bei. Die Gegenüberstellung von Volumenstrom und Außentemperatur (Abb. 27) bildet auch im Jahresverlauf belastbare Zusammenhänge ab, die für eine Kalkulation nutzbar sind. Demgegenüber sind keine Beziehungen zwischen Stalltemperatur und Ammoniakkonzentration (Abb. 28) erkennbar. Der Faktor aus Kalkulationsansatz 1 liegt gegenüber 2 höher. In bisherigen Bewertungen war dies zumeist gegenläufig. So brachte die Faktorenkalkulation mittels Ansatz 2 bisher eine höhere Ammoniakfracht gegenüber Ansatz 1. Um ein Bewertung vornehmen zu können, inwieweit die zufällige Auswahl des Messzeitfensters einen Einfluss auf das Ergebnis hat, wurden die Messreihen der Ammoniakmassenströme für jede Klimaklassen in jeweils drei willkürlich gewählte, aufeinanderfolgende Teilreihen gegliedert und ein Mittelwertsvergleich durchgeführt. Hiermit wurden zufällig durchgeführte Zeitfenstermessungen simuliert. Unterscheiden sich die Reihen innerhalb der Klimaklassen nicht signifikant voneinander, ist ihre zufällige Auswahl ohne Einfluss auf die Berechnung eines Emissionsfaktors.



**Abbildung 27: Lineare Beziehungen zwischen Volumenstrom und Außentemperatur**



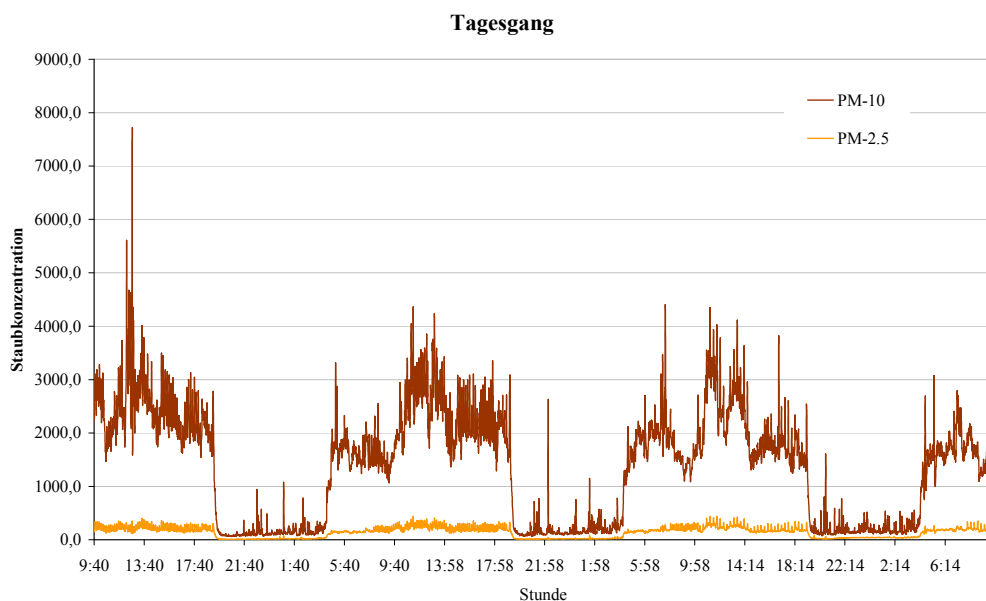
**Abbildung 28: Lineare Beziehungen zwischen Stallluftkonzentration Ammoniak und Stalltemperatur**

Die statistische Auswertung zeigte, dass erstens auch hier keine Normalverteilung vorliegt und zweitens sich 96 % der Teilreihen innerhalb und zwischen den Klimaklassen signifikant ( $p < 0,05$ ) unterscheiden. Das zeigt, dass die aus den Messwerten berechneten Ammoniakmassenströme hoch variabel sind und die hieraus berechneten Emissionsfaktoren signifikante Differenzen haben. Die zwingende Konsequenz hieraus wären stets kontinuierliche Messungen. Der hierfür nötige Aufwand ist jedoch hoch. Es ist nur aus Gründen der Praktikabilität hinnehmbar, ein willkürlich gewähltes Messzeitfenster zur Abbildung eines saisonalen bzw. jährlichen Emissionsfaktors zu benutzen. Dabei ist zu sichern, dass die Messzeiträume so lang wie möglich sein müssen und mindestens die Messdaten an einer zweiten Stallbelegung stabilisiert werden sollten.

#### 4.1.4 Stäube und Luftkeime

Mitwirkung Luftkeime: Dr. Horst-Günter Kath (BfUL/Geschäftsbereich 4, Bericht 42/04/01/07), auszugsweise übernommen

Für die Bewertung des Stallstaubes werden die anorganischen und organischen Bestandteile gesondert analysiert. In praxi ist eine derartige Trennung insbesondere zur Beurteilung der Wirkungen nicht möglich. Die Bestandteile des Bioaerosols bilden Verbindungen aus, indem sie die anorganischen Bestandteile als „Transportplattform“ nutzen. In der Abbildung 29 wurden repräsentative Tagesgänge der Stallstaubkonzentration im untersuchten Hennenstall dargestellt.



**Abbildung 29: Kenndaten zum Tagesgang der Staubbildung in der untersuchten Hennenhaltung**

Die dargestellten Feinstäube haben nach MEHLHORN (1979) und WALLENFANG (2005) eine Sinkgeschwindigkeit kleiner als 6 mm je Sekunde. Bei einer unterstellten Schwebehöhe von 2 m und einer Luftströmung im Stall von 0,5 m je Sekunde haben diese Teilchen nach ca. 80 m erst die Hälfte der Sinkstrecke bis zum Boden zurückgelegt. Bei einer Gesamtlänge des Stalls von unter 100 m sind sie demnach Bestandteil des Abluftstromes. Im Sommer findet man insbesondere bei einer Unterdrucklüftung nach Tunnellüftungsprinzip z. T. höhere Luftgeschwindigkeiten im Stall. Aus Vorbefunden ist bekannt, dass der Gesamtstaub in seinem Konzentrationsverlauf der Fraktion PM-10 analog folgt. Weiterhin liegt der Feinstaubanteil in dem untersuchten Hennenhaltungssystem gegenüber dem Gesamtstaub zwischen 50 und 70 %. Mit „Tagesbeginn“ und den daran gekoppelten Tieraktivitäten in der Hennenherde nimmt der Staubgehalt in der Stallabluft sprunghaft zu. Das gemessene Niveau korrespondiert mit bisherigen Messergebnissen. Die Staubmessungen erfolgten in einem Zeitfenster zwischen 10 und 16 Uhr, also in einem Tagesabschnitt mit höchster Aktivität in der Hennenherde. Deshalb können diese Messwerte nicht unkorrigiert zur Berechnung der mittleren Tageskonzentration und -fracht benutzt werden. Die gemessenen Kennwerte wurden auf der Basis einer prozentualen Konzentrationsverteilung und den Zeitanteilen im Tagesgang kalkuliert. In der nachfolgenden Tabelle ist die dabei verwendete Kalkulationsbasis zusammengestellt.

**Tabelle 25: Kalkulationsgrundlagen für die mittlere Staubkonzentration im Tagesverlauf**

Herdenzustand	Tagesuhrzeit	Anteil (%)									
		Tag	Konzentration								
			Sommer		Frühling		Herbst	Winter			
			07	08	08	07	08	07	08	09	
Aktiv	10 - 16	25	Messzeitraum ...100								
	16 - 20	17	68	85	61	68	69	38			
	4 - 10	25	66	105	86	66	78	90			
Ruhe	20 - 4	33	7	11	9	7	8	14			

Auf der Grundlage der Konzentrationskurven im Tagesverlauf wurden vier Zeitfenster differenziert. Im Zeitfenster 1 (10 – 16 Uhr) fanden die Messungen statt. Dieses Messniveau bildet die Basis. In der verbleibenden Aktivzeit der Hennenherde unterscheidet sich das mittlere Konzentrationsniveau deutlich. Hier liegt das Konzentrationsniveau in Abhängigkeit von der Außenklimaklasse zwischen ca. 40 und 100 % gegenüber dem Messzeitraum. Im Zeitfenster 2 (16 – 20 Uhr) lag das Konzentrationsniveau zwischen 38 und 85 % und im Zeitfenster 3 (4 – 10 Uhr) zwischen 66 und 105 %. Während der Ruhephase im Stall (Zeitfenster 4, 20 – 4 Uhr) liegt das Konzentrationsniveau eng zwischen 7 und 14 % des Messniveaus. Unter Berücksichtigung dieser Anteilsverhältnisse bezüglich Konzentration und Tagesgang ergeben sich auf der Basis des Messwertes die nachfolgend zusammengestellten mittleren Abluftkonzentrationen an „Gesamtstaub“ sowie Feinstaub (Partikelklassen PM-10 und PM-2.5) im Abluftstrom (Tabelle 26).

Die Gesamtstaubkonzentration im Abluftstrom liegt erwartungsgemäß im Sommerhalbjahr über den Werten aus den Messzeitfenstern Frühling und Winter. Auf der Basis vorliegender Daten kann keine abschließende Begründung für die zum Teil geringen Differenzen zwischen Gesamtstaub und der Fraktion PM 10 gegeben werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die eingesetzte Messmethodik hier einen Anteil verursacht.

**Tabelle 26: Kenndaten der Staubbmessung (mg/m³) am Standort der Hennenhaltung**

Klimaklasse	Messserien	Messwert (Aktivzeit)			Tagesmittelwert (kalk.)		
		Gesamt	PM-10	PM-2.5	Gesamt	PM-10	PM-2.5
Frühling	1	12,12	11,63	2,70	<b>6,25</b>	5,96	1,38
	2	18,03	14,45	6,63	<b>8,99</b>	7,21	3,30
Sommer	1	10,80	10,23	4,93	<b>7,02</b>	6,66	3,20
	2	13,94	13,94	4,11	<b>6,95</b>	6,95	2,05
Herbst	1	6,03	3,60	0,80	<b>3,18</b>	1,90	0,42
	2	2,68	1,73	0,57	<b>1,20</b>	0,77	0,25
Winter	1	7,47	3,50	1,42	<b>3,34</b>	1,56	0,63
	2	8,10	4,13	1,97	<b>3,62</b>	1,85	0,88
	3						

Während die Gesamtstaubkonzentrationen über das Rückwiegen des Filters (Optisches System) bestimmt wurden, resultieren die Konzentrationen zu den Fraktionen aus gravimetrischen Bestimmungen im Messzeitfenster von drei Stunden. Der Anteil an Feinstaub beträgt ca. 80 %. HINZ (2005) gibt einen Anteil von 50 % für PM-10 am Gesamtstaub für Volierenhaltungen an (zit. NESER 2006). In eigenen Untersuchungen (LFL 2004; LIPPMANN 2007) werden 40 – 60 % ermittelt. Der Anteil an Feinstaub (PM-2.5) beträgt hier ca. 30 % zum Gesamtstaub. Eigene Vorbefunde (LIPPMANN 2007) liegen bei ca. 25 %.

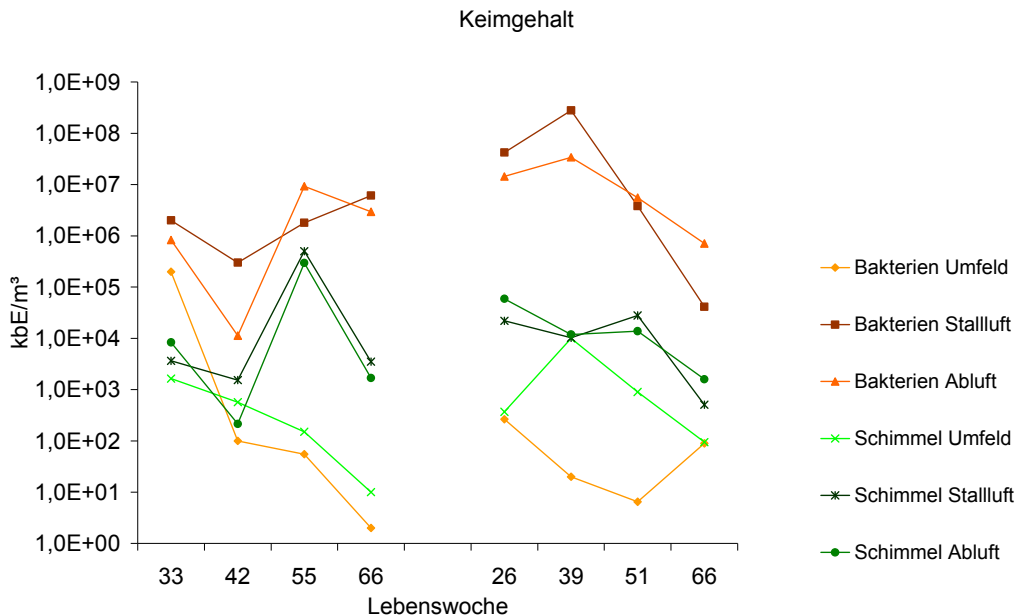
Aus den bisher ermittelten Staubkonzentrationen lässt sich der in der Tabelle 27 dargestellte mittlere Massenstrom ableiten.

**Tabelle 27: Kenndaten der Staubemission am Standort der Hennenhaltung**

Klimaklasse	Messserie (3 Mess-ungen/Serie)	Gesamtstaub (Tagesmittel) mg/m <sup>3</sup>	Volumenstrom (Mittelwert) m <sup>3</sup> /h	Massenstrom g/h	E-Faktor g/Tpl.*KK bzw. a
Frühling	1	6,25	64.105	401	44,27
Sommer	1	7,02	85.126	598	66,02
	2	8,99	67.714	609	67,23
Herbst	1	6,95	32.739	228	24,90
	2	3,18	54.948	175	19,11
Winter	1	1,20	37.005	44	4,75
	2	3,34	43.748	146	15,77
	3	3,62	43.748	158	17,06
Gesamt				<b>332</b>	<b>145,4</b>

Bei der Berechnung der mittleren Kennwerte wurde berücksichtigt, dass die Messungen immer zur Aktivitätsphase in der Hennenherde ermittelt wurden. Deshalb wurden die Kennwerte analog der Konzentrationswerte aus der Tabelle 27 auf der Basis des Tagesganges der Staubkonzentrationen korrigiert. Rechnerische Abweichungen resultieren insbesondere bei mehreren Messtagen aus der Mittelung der Einzelbefunde. Die Kenndaten ergeben sich aus den kalkulierten mittleren Staubkonzentrationen über 24 Stunden und dem mittleren Volumenstrom für den jeweiligen Außenklimabereich. Für Gesamtstaub, der nach TA-Luft mit 200 g je Stunde als Vorsorgewert begrenzt wurde, liegen die ermittelten Kenndaten unter dem Einfluss der Luftbefeuchtung und damit höherer mittlerer Luftfeuchte gegenüber den Vorbefunden aus vergleichbaren Haltungssystemen deutlich niedriger. Es wurde nahezu eine Halbierung erreicht. Je GV wurden in den Vorbefunden 8,6 g je Stunde, nunmehr 4,9 g je Stunde emittiert. Dennoch werden die Vorsorgewerte der TA-Luft im Jahresmittel nicht eingehalten. Eine Ursache für die noch zu hohen Frachten könnte darin liegen, dass mit dem Tunnellüftungsprinzip im Stallraum relativ erhöhte Längsströmungen erzeugt werden, die – die Stallgase und Staubgehalte betreffend – ein gutes Stallklima schaffen, jedoch aufgewirbelte Partikel schnell befördern und so den Massenstrom an Gesamtstaub deutlich erhöhen. Innerhalb derzeit laufender Untersuchungen wird deshalb ermittelt, wie hoch die Strömungsgeschwindigkeiten in Teilarealen des Stalles in Abhängigkeit von dem Lüftungsprinzip punktuell sind. Der Emissionsfaktor zur Berechnung der jährlichen Gesamtstaubfracht beträgt für das untersuchte Haltungssystem 145 g je Hennenplatz. Eigene Vorbefunde (LFL 2004; LIPPMANN 2007) liegen für vergleichbare Systeme zwischen 254 und 270 g je Hennenplatz im Jahr. Die Emissionsfaktoren für PM-10 und 2,5 betragen 125 bzw. 45 g je Hennenplatz im Jahr (vgl. Anhang, Tab. XXIV und XXV).

Die Untersuchungen zu den Keimgehalten in der Stall- und Außenluft wird durch die BfUL durchgeführt und bewertet. Die Keimkonzentration in Stall-, Ab- und Außenluft wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 30: Keimgehalte der Umfeld-, Stall- und Abluft in unterschiedlichen Haltungsabschnitten**

Durch die direkte Zuluffführung aus dem Stallumfeld (Unterdrucklüftungssystem) ist die Möglichkeit gegeben, dass Keime aus dem Stallumfeld in die Stallluft übertreten. Weiterhin kann von einer jahreszeitlichen Varianz im Keimspektrum insbesondere bei Schimmelpilzen und Hefen ausgegangen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zuluftkonzentration (Umfeld) bezüglich der Gesamtkeimzahl an Bakterien in den Wintermonaten (55./66. Lebenswoche) deutlich unter dem Sommerniveau (33./39. Lebenswoche) liegt (vgl. Anhang, Tab. XXIII). Tendenziell trifft dieser Befund auch für Schimmelpilze und Hefen zu. Für die Gramnegativen ist keine gerichtete Tendenz erkennbar (vgl. Anhang, Tab. XXIII). Im Sommer 2008 werden insgesamt deutlich höhere Konzentrationen registriert. Die Gesamtkeimzahl für Bakterien und Schimmelpilze korrespondiert recht gut zwischen Stallluft und Abluft. Die Keimgehalte in der Stallluft sind gegenüber der Abluft um ca. den Faktor 10 erhöht. Eine Ursache liegt in dem Verdünnungseffekt sich direkt in die Abluft einmischender Zuluft. Während in der ersten Stallbelegung die Bakterien- und Schimmelpilzkonzentrationen mit zunehmender Haltungsdauer in der Stall- und Abluft ansteigen, steigen die Konzentrationen in der 2. Belegung nur bis zur 51. Lebenswoche an und sinken dann unter dieses Niveau ab. Hieraus wird der Einfluss des Haltungsmanagements ersichtlich. Die Außenklimabedingungen sind vergleichbar. Bereits kurz nach der Einstellung der 2. Herde wird ein erhöhtes Keimniveau erreicht. Die Emissionen im Frühjahr und Sommer besitzen ein deutlich eingeschränktes Keimspektrum. Dieses Spektrum erweitert sich im Winter. Weil die Stoffwechselprodukte des Bioaerosols unmittelbar auf die Stallgaskonzentrationen Einfluss nehmen, wurden die Keimgehalte den zeitlich zuzuordnenden Stallgaskonzentrationen von Lachgas, Ammoniak, Kohlendioxid und Methan gegenübergestellt (vgl. Bericht 42/04/01/07). Die Überlagerungsdiagramme zeigen, dass es lediglich Zusammenhänge zwischen GKZ für Bakterien und der Methankonzentration in Ab- und Stallluft gibt. Insbesondere sollte ein Zusammenhang zwischen Stallstaub und Keimgehalt in der Luft nachweisbar sein. Aufgrund ihrer morphologischen Eigenschaften haben Bakterien einen geringeren aerodynamischen Durchmesser als Schimmelpilze und Hefen. Damit dürften sie insbesondere Bestandteil der Feinstaubfraktion PM-2.5 sein. Schimmelpilze sind demgegenüber eher in den Staubfraktionen über 10 µm zu erwarten.

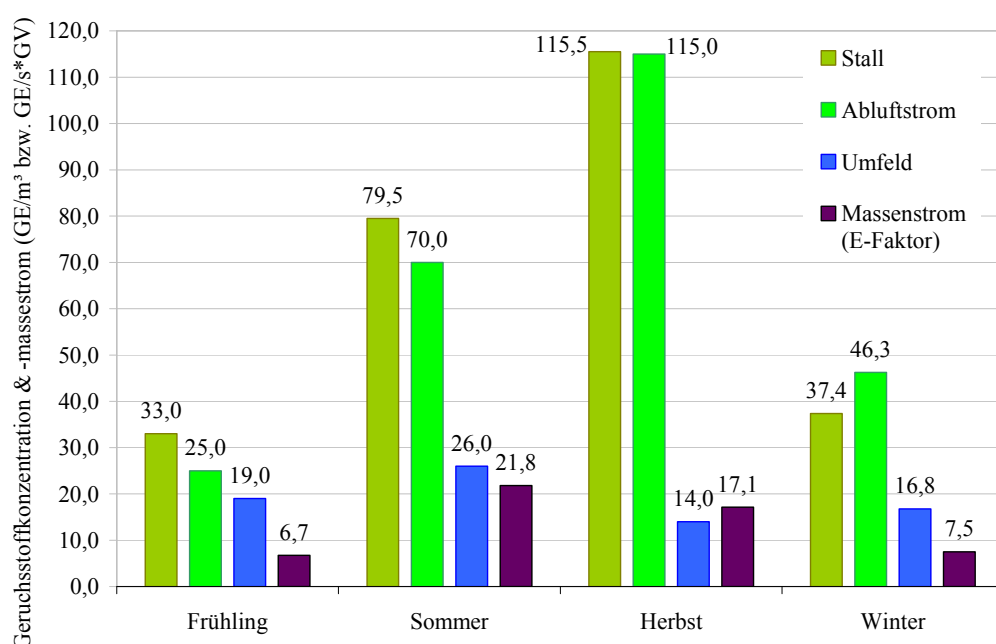
In den Auswertungen ist insbesondere eine Analogie zwischen GKZ und Feinstaubkonzentration in der Stallluft erkennbar. Auf das Ergebnis kann ein Einfluss der Wahl des Probenahmeorts für Stallstaub nicht ausgeschlossen werden, der im Abluftstrom unterhalb des Kamins im Stall lag. Die Konzentration an Bakterien in der Stall- und Abluft korrespondiert mit den Gehaltswerten der Partikel unter 2,5 µm. Die Konzentration an Schimmelpilzen zeigt keinen Bezug zur Staubkonzentration. Der wechselseitige Einfluss zwischen dem Bioaerosol in der Außenluft, der Stall- und Abluft ist primär über eine Differenzierung der Keime möglich. In den vorliegenden Untersuchungen wurden nur Differenzierungen vorgenommen, wenn pathogene Keime nachgewiesen wurden. Das ist nur an drei Messtagen unabhängig vom Außenklima der Fall. In zwei Fällen wurden coliforme Keime und *Escherichia Coli* in der Außenluft gefunden, in einem Fall coliforme in der Stallluft. Dieser Haltungsabschnitt war auch mit einem Leistungsabfall und leicht erhöhter Sterberate gekennzeichnet. Die Schimmelpilze und Hefen die in der Außenluft nachweisbar waren, wurden auch in der Stall- und Abluft gefunden. Aspergillusarten traten in der Stall- und Abluft in nennenswerter Konzentration auf.



ration auf und wurden in der Außenluft nicht nachgewiesen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Bakterien in der Stall- und Abluft in Konzentrationen von 106 – 107 kbE auftraten. Hiermit rangieren die Befunde sich unter Maximalkonzentrationen aus dem Schrifttum (SEEDORF & HARTUNG 2002; LIPPMANN 2007) für Geflügelhaltungen ein. Schimmelpilze und Hefen treten auf niedrigerem Niveau (102 – 104 kbE) auf. Dieser Befund korrespondiert mit Befunden aus dem Schrifttum (SEEDORF & HARTUNG 2002; ANGERSBACH-HEGER 2002; LIPPMANN 2007) gut. Nach SEEDORF (2006) ist in einer Distanz von 200 m zum Stall kaum noch mit einer Keimimmission vom Haltungssystem zu rechnen. Schimmelpilze werden nach KÖLLNER et al. (2005) jedoch deutlich weiter verfrachtet. Aus den aktuellen Befunden ist ersichtlich, dass die Stallluft höher belastet ist als die emissionswirksame Abluft. Humanpathogene Keime wurden in der Stallluft mit einer Ausnahme nicht gefunden. Der zeitliche Verlauf der GKZ für Bakterien in der Stall- und Abluft korrespondiert gut mit der Methan- und Feinstaubkonzentration (<2,5 µm). Hieraus kann abgeleitet werden, dass bei hoher Methan- und Feinstaubkonzentration eine erhöhte Verfrachtung an Bioaerosol mit der Abluft erfolgt.

#### 4.1.5 Geruch

Die Geruchsstoffkonzentrationen in der Stallabluf und im Umfeld der Hennenhaltung wurden parallel zu den Messungen des Bioaerosols durchgeführt. Die Kenndaten für die untersuchten Klimabereiche werden in der Abbildung 31 zusammengestellt (vgl. Anhang, Tab. XXVI).



**Abbildung 31: Kenndaten der Geruchsstoffmessung (Geruchsschwelle, GE/m³) und des Massenstroms am Standort der Hennenhaltung**

Die Geruchsstoffkonzentration in der Außenluft ist erwartungsgemäß im Sommer höher gegenüber den kälteren Klimaklassen. Mit im Mittel 19 GE je m³ liegt die Konzentration unter Beachtung der Genauigkeit von Probenahme und Analyse auf vergleichbarem Niveau bisheriger Befunden (12 GE/m³) im Stallumfeld von Bodenhaltungssystemen für Legehennen (LIPPMANN 2007). Die Stallluft, gemessen am unteren Kaminende im Stall (33 – 115 GE/m³), liegt überwiegend in der olfaktorischen Wahrnehmung höher als die im Abluftstrom (oberes Kaminende, 25 – 115 GE/m³). Die Kenndaten liegen im Bereich von eigenen Vorbefunden für derartige Haltungen und tendenziell im Jahresmittel etwas oberhalb der Literaturdaten.

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 werden die punktuell ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen als Basis für die Ermittlung von Massenströmen benutzt. Aus den Geruchsstoffkonzentrationen im Abluftstrom (kollektiver Geruchsschwellenwerten) wurden die in der Abbildung 31 dargestellten Emissionsfaktoren abgeleitet. Diese variieren zwischen Winter bzw. Frühling mit 7 - 8 GE/s \* GV und Sommer mit 24 GE/s \* GV. Aus den Emissionsfaktoren für die gemessenen Klimaklassen ergibt

sich ein mittlerer Jahresfaktor von 15 GE/s \* GV. Die Kalkulation erfolgte aus den Emissionsfaktoren und dem mittleren Volumenströmen der einzelnen Außenklimaklassen bezogen auf den mittleren Stallbelegungszeitraum. Gegenüber eigenen Vorbefunden liegt dieser auf vergleichbarem Niveau.

#### 4.1.6 Ammoniak über Auslaufflächen

Zur Quantifizierung des Anteils der Auslauffläche an der Gesamtemission von Ammoniak aus der Hennenhaltung wurde innerhalb des Messkorridors zur Immissionsmessung in einem Abstand von 20 m zum Stall ein Teilareal der Auslauffläche mit einem Windtunnel überdeckt und die Ammoniakkonzentration im erzeugten Luftstrom gemessen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 28 zusammengestellt

**Tabelle 28: Kenndaten der Tunnelmessung zur Quantifizierung der Flächenemissionen (mg/m<sup>3</sup>)**

	Referenz	Zuluft	Abluft	Differenz
Ammoniak	0,00	0,00	0,00	0,00
Lachgas	0,52	0,52	0,52	0,00
Kohlendioxid	726,68	726,49	728,49	1,99
Methan	1,76	1,76	1,76	0,00

Die Ergebnisse lassen keine Differenzen zwischen einströmender Zuluft und Abluft erkennen. Damit konnten mit diesem Messverfahren an der gemessenen Stelle keine Emissionen nachgewiesen werden. Die Stelle wurde genau hier gewählt, weil nach erfolgter Beurteilung der Nutzungshäufigkeit der Teilareale im Auslauf durch die Hennen hier eine mittlere Tierdichte (bezogen auf das Gesamtareal) registriert wurde. Die Freisetzung von Ammoniak ist ergebnisbestimmend vom Partialdruck über der Fläche abhängig. Nach BUSSINK (1990) ist für die Emission von Ammoniak aus einer Fläche die Unterschreitung der Gleichgewichtskonzentration von 1 µg je m<sup>3</sup> in der über der Fläche sich befindenden Luft nötig. Die klimatischen Bedingungen waren im Messzeitraum gegeben. Aufgrund der Immissionsmessungen über eine Messtrasse in unmittelbarer Nähe zum Messort konnte die Luftkonzentration an Ammoniak bestimmt werden. Diese lag im Mittel zwischen 4 – 6 µg je m<sup>3</sup>. Weil die Messfläche mit dieser Luft aktiv überspült wurde, ist eine Abgabe von Ammoniak nicht zu erwarten. Die Überspülung der Fläche mit dieser Luft bildet jedoch die natürlichen Gegebenheiten besser ab als den Einsatz eines Filtersystems am Luftzugang des Messtunnels. Aufgrund dieser Vorbefunde wurde im Sommerhalbjahr 2008 ein weiteres Messsystem eingesetzt. Dieses statische System gewährleistet eine Anreicherung an Ammoniak unter der Messhaube im zeitlichen Verlauf und sollte somit in der Lage sein, auch geringere Mengen zu detektieren. Die Messungen wurden in einem Raster auf der Außenfläche durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.2.4). In der nachfolgenden Tabelle werden die gemessenen Gaskonzentrationen unter der Messhaube dem parallel ermittelten Luftwert über dem Messfeld und der Zuluftkonzentration außerhalb des Messfeldes gegenübergestellt.

**Tabelle 29: Kenndaten der Messung zur Quantifizierung der Flächenemissionen**

Messdistanz	Gaskonzentration mg/m <sup>3</sup>			
	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Zuluft	0,7	809	0,5	7,8
über Messfeld	0,5	791	0,6	3,5
1	0,8	827	0,5	4,0
2	0,7	1262	0,7	4,3
3	0,5	1274	0,8	3,5
4	0,5	1143	0,9	3,7
5	0,2	872	0,5	3,1

Die Außentemperaturen lagen an den Messterminen über 30 °C. Die relative Luftfeuchte um 32 %. Die Messdistanz 1 liegt innerhalb des Wintergartens über einer betonierten Fläche. Distanzen 2 bis 5 liegen auf gewachsenem bzw. aufgetragenem Boden mit zunehmender Grasvegetation vom Stall weg. Die Werte für die Zuluftkonzentration und der Gaskonzentration über dem Messfeld unterscheiden sich mit Ausnahme von Methan nur geringfügig. Der Methangehalt liegt innerhalb des Messfeldes auf vergleichbarem Niveau und deutlich unter dem Niveau in der Zuluft. Über alle gemessenen Gase ist die Differenz zwischen Zuluft- und Abluftkonzentration im Stallbereich nur geringfügig. Somit repräsentieren die Zuluftkonzentrationen die Stallabluft weitestgehend. Bei den stickstoffhaltigen Gasen ist mit zunehmendem Abstand zum Stall eine tendenzielle Abnahme über der Messfläche zu registrieren. Zusammenfassend lassen die ausgewiesenen Konzentrationen insbesondere zu Ammoniak auf keinen nachweislichen Emissionsanteil der Auslauffläche schließen.

## 4.2 Immissionen

### 4.2.1 Stickstoffdeposition und -immission

Unter Mitwirkung von Dr. Henning Andreae (Staatsbetrieb Sachsenforst), Teilaussagen übernommen

Mit der Herstellung eines tierangepassten Stallklimas werden insbesondere über die Lüftungswege Stallraumlasten ins Umfeld des Stalls verfrachtet. Der Einwirkungsort ist vor allem vom aerodynamischen Durchmesser, aber auch von chemischen Eigenschaften wie z. B. dem Reaktionsvermögen der verfrachteten Stoffe abhängig. Diese Immissionen werden in Form einer Konzentration oder Deposition am Ort der Einwirkung messbar. Ammoniak und Ammonium haben gegenwärtig unter den eingetragenen Substanzen die größte Bedeutung (DÄMMGEN & ERISMAN 2006).

Zur Quantifizierung und Bewertung der Immissionen im Stallumfeld sind standortbezogene Wetterdaten erforderlich. Zeitgleich wurden Luftkonzentrationen an Ammoniak innerhalb von Messzeitfenstern auf einer Messtrasse bestimmt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kennwerte der gemessenen Parameter über die Messzeitfenster in den Klimaklassen zusammengestellt (vgl. Anhang, Tab. XXVII – XXXI).

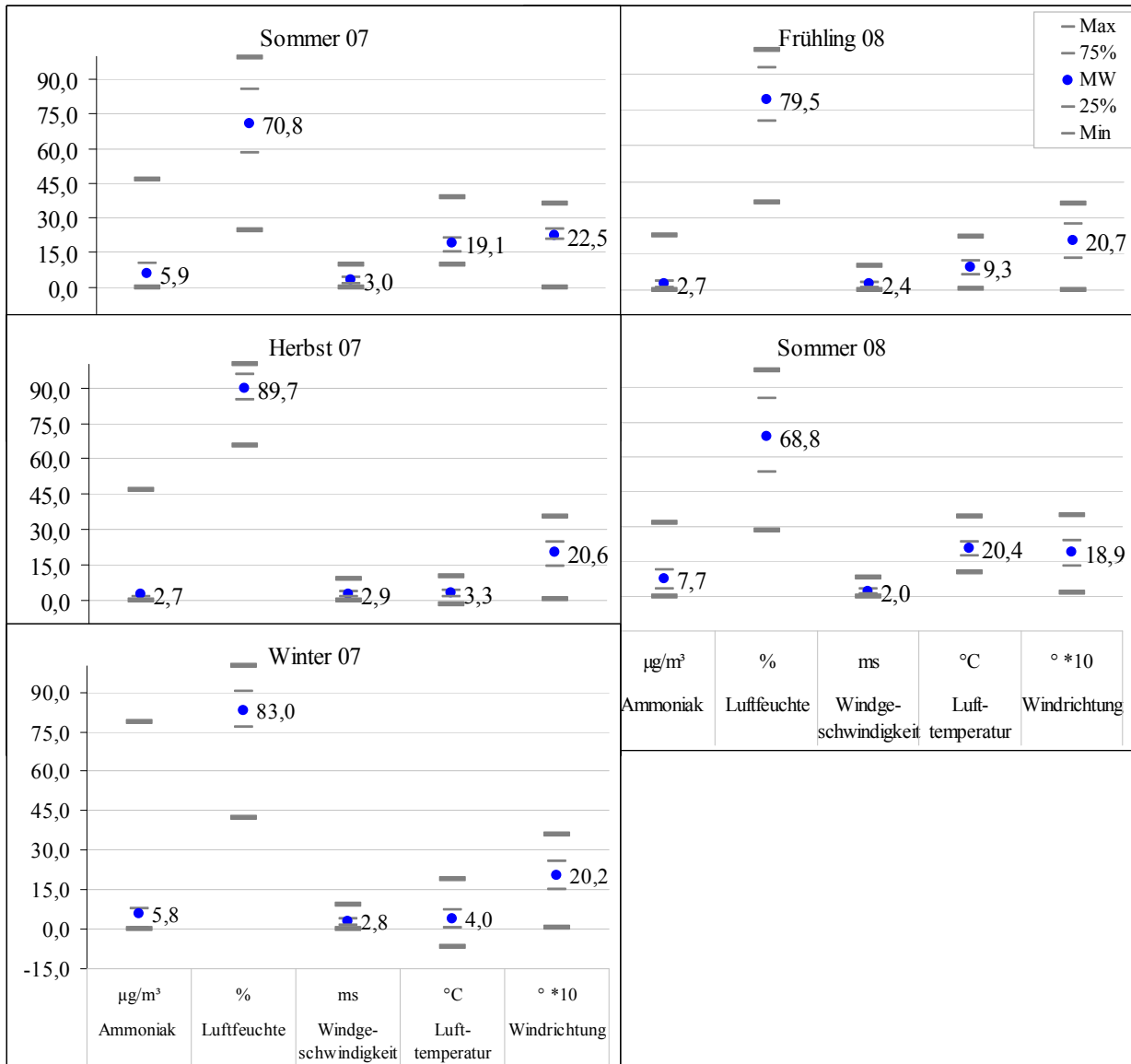


Abbildung 32: Quartile der Messdaten (DOAS-Messstrecke) innerhalb der Zeifenstermessungen

Der Messreihenvergleich zwischen Wetterstation und DOAS-Wettermast ergab bei Luftfeuchte und -temperatur eine gute Übereinstimmung ( $R^2=0,88$  bzw.  $0,98$ ). Die Windparameter ( $R^2 = 0,48$ ) weichen hier bereits voneinander ab. Hier liegt die Ursache in der Höhe des Messpunktes. Die eingesetzte Wetterstation erreicht eine Messebene auf Höhe der Abluftkamine. Der Wettermast überragt diese Ebene nochmals. Für den an der Wetterstation zusätzlich gemessenen Niederschlagswert konnte über den Messzeitraum keine Plausibilität fest- und hergestellt werden. Dieser ist deutlich geringer als die im Zuge der Depositionsmessung ermittelten Mengen. Im Abschnitt 4.1 wurden die am Standort gemessenen Wetterparameter bereits diskutiert. Während des Messzeitraumes Juni 2007 bis August 2008 sind nachfolgende mittlere Lufttemperaturen und -feuchtekonzentrationen festzuhalten (vgl. Anhang, Tab. I – V).

„Frühling“ ... 10,4 °C, „Herbst“ ... 9,1 °C,  
 „Sommer“ ... 19,2 °C, „Winter“ ... 4,1 °C.

Die Klimaklassen folgen im Untersuchungszeitraum dem langjährigen Mittel in Sachsen. Eine Ausnahme bildet der Winter. Hier werden im Mittel um 3,4 K höhere Werte gemessen. Die Luftfeuchtekonzentrationen im Umfeld des Hennenstalls liegen im Verlauf der Untersuchungen im Mittel bei

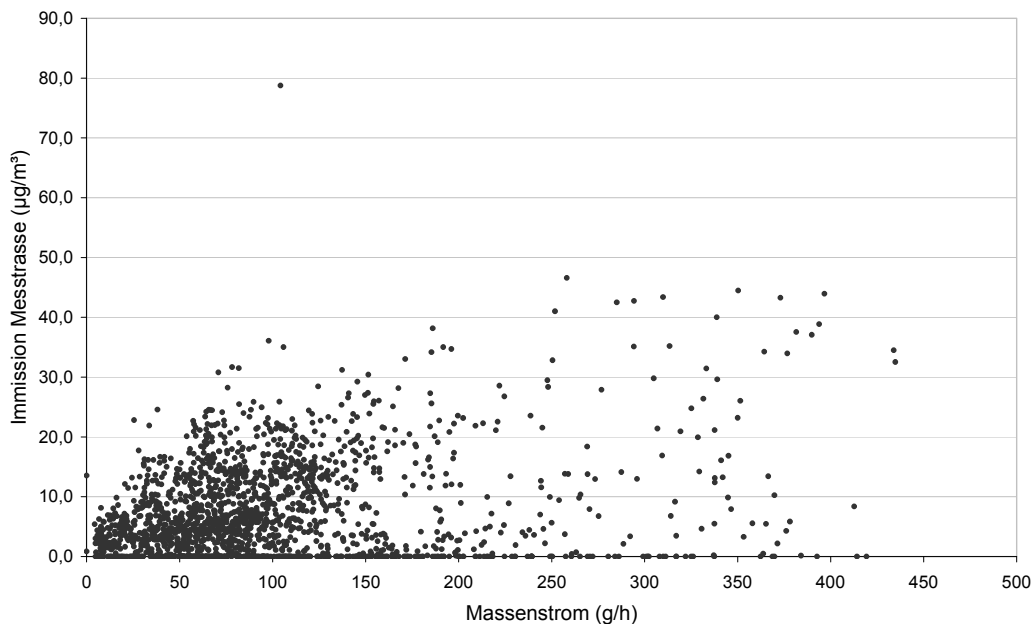
„Frühling“ ... 76 %, „Herbst“ ... 82 %,  
 „Sommer“ ... 70 %, „Winter“ ... 80 %.

Die häufigste Windanströmung kommt aus südwestlicher Richtung (34 %). Zu 61 % wird der Stall aus süd- bis westlicher Richtung überströmt. Die Windgeschwindigkeiten liegen im Mittel bei 1,4 m/s. Damit sind die Standorte der DOAS-Messtrasse und des Messkorridors der Passivsammler zur Ermittlung der Ammoniakkonzentration am Immissionsort und der Bulk-Sammler zur Bestimmung der Stickstoffdeposition überwiegend in repräsentativer Lage im Lee des Stalles angeordnet. Innerhalb der eingerichteten Messtrasse wurden nachfolgende Ammoniakgehalte in der Luft gemessen:

**Tabelle 30: Kenndaten zu Immissionsmessung (Ammoniakgehalt) innerhalb der Messtrasse (DOAS)**

Klimaklasse	Messtage	Ammoniakkonzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Median/Mittelwert		
		alle WR	pos-WR	neg-WR
Frühling	37	1,93 / 2,74	2,82 / 3,59	1,41 / 1,79
Sommer	69	5,28 / 6,85	6,73 / 7,97	2,80 / 3,57
Herbst	24	0,00 / 2,66	0,23 / 3,33	0,00 / 1,31
Winter	55	2,78 / 5,85	4,64 / 8,10	1,41 / 2,16
Jahr		2,50 / 4,53	3,61 / 5,75	1,41 / 2,21

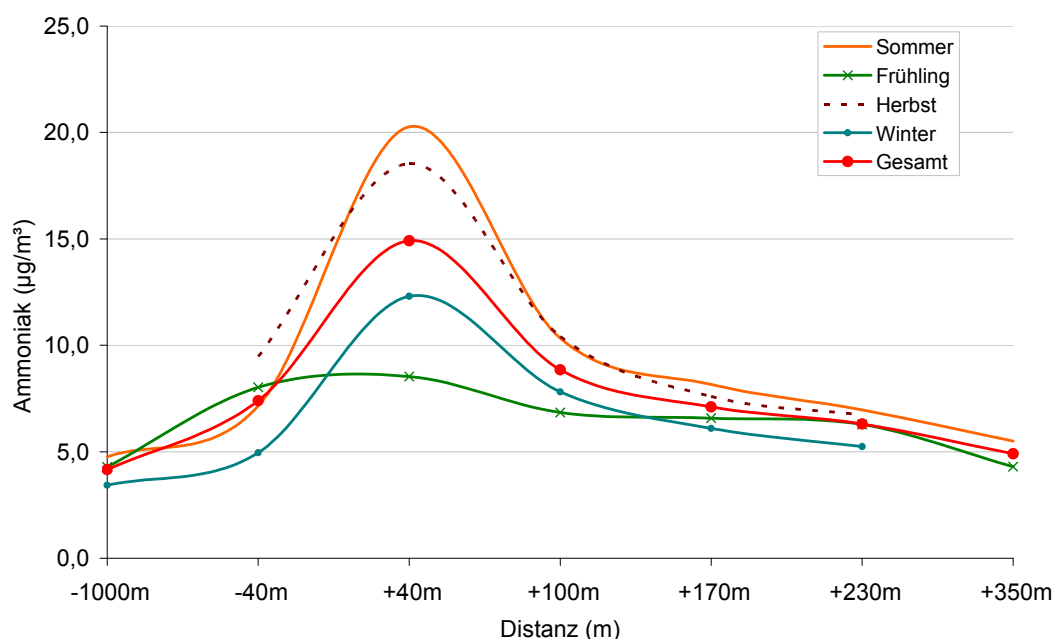
Unter „pos.-WR“ wurden die Datensätze selektiert, die während den Anströmungen aus süd- bis westlicher Richtung gemessen wurden. Hierbei ist gesichert, dass die Abluffahne des Stalls die Messtrasse beeinflussen muss. Die Messebene der Trasse liegt ca. auf Quellhöhe in einer Distanz zum Stall von 80 m. Im Jahresmittel kann hier ein Kennwert von 5,75  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  als Immissionswert für Ammoniak festgehalten werden (Hintergrund bei 2,21  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$ ). Hierbei sind Maximalwerte von bis zu 79  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  gemessen worden. Die ausgewiesene mittlere Konzentration liegt für intensiv landwirtschaftlich genutzte Gebiete im Erwartungsbereich zwischen 1 und 20  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  (STROH & DJERADI 2004). Die Werte liegen auf niedrigem Niveau. MÜLLER et al. (2006) stellen im engeren Stallumfeld (Putenstall) 75 -95  $\mu\text{g}$ , und in einer Distanz von 83 m immerhin noch 23  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  fest. In 10 m über einen Broilermaststall stellten MÜLLER et al. (2008) 200  $\mu\text{g}$  Ammoniak je  $\text{m}^3$  fest. Vergleichbare Messungen wurden in vorliegender Arbeit nicht durchgeführt. Hieraus kann aber abgeleitet werden, dass in Abhängigkeit von der Abluftgeschwindigkeit eine z. T. deutliche höhere Austragung der Abluffahne erfolgt. Das hat insbesondere Einfluss auf die Repräsentanz der Messpunkte. MÜLLER et al. (2008) berechneten hierbei Korrelationen zwischen Immission und Emission von 0,23 bei Stundenmittelwerten und 0,36 bei Tagesmittelwerten. In der nachfolgenden Abbildung werden diese Zusammenhänge für den untersuchten Stall dargestellt.



**Abbildung 33: Lineare Beziehungen zwischen Massenstrom des Emittenten Stall und Immissionen an Ammoniak auf der DOAS-Messstrecke innerhalb der Zeitfenstermessungen**

Bei der Gegenüberstellung der Ammoniakimmissionswerte (nur „pos.-WR“) und dem Massenstrom aus dem Stall werden in vorliegender Untersuchung wenig belastbare Beziehungen zwischen Emission und Immission auf der Basis der Stundenmittelwerte festgehalten. Die Beziehungen beider Parameter liegen deutlich unterhalb der von MÜLLER et al. 2008 berechneten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass dieser geringe Zusammenhang darauf zurückzuführen ist, dass die Abluffahne nur indirekt Einfluss auf die Messtrasse nahm und diese teilweise in größerer Höhe überquerte oder die Ammoniakkonzentration in der Abluffahne aufgrund seiner hohen Reaktivität z. T. nicht mehr so hoch war. Nach ASMAN et al. (1999, zit. DÄMMGEN & ERISMAN 2006) können Messwerte für Ammoniak in unmittelbarer Stallnähe bereits in einer 10-fachen Entfernung zum Stall auf ein Zehntel absinken.

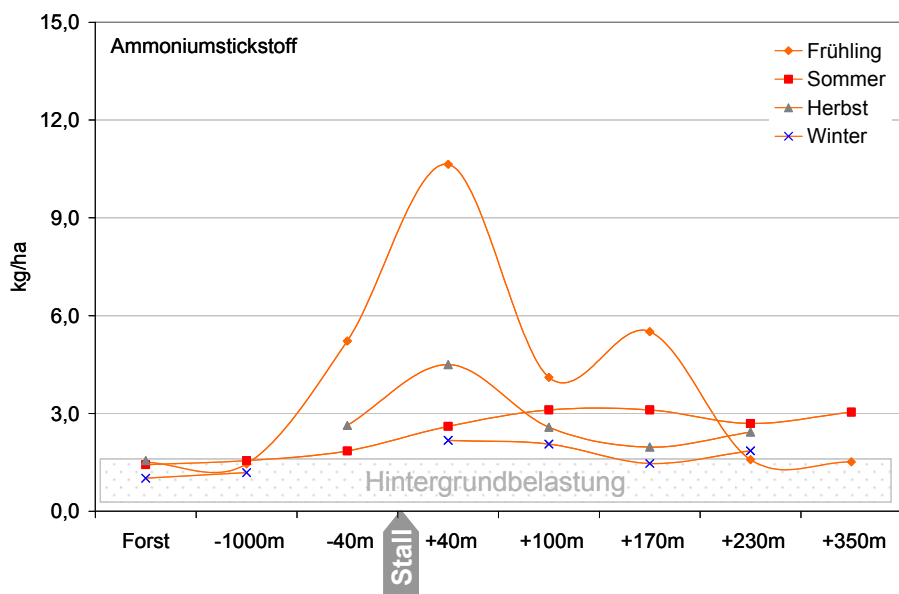
In der nachfolgenden Abbildung werden die parallel durchgeführten Ammoniakimmissionsmessungen mittels Passivsammler dargestellt (vgl. Anhang, Tab. XXXII).



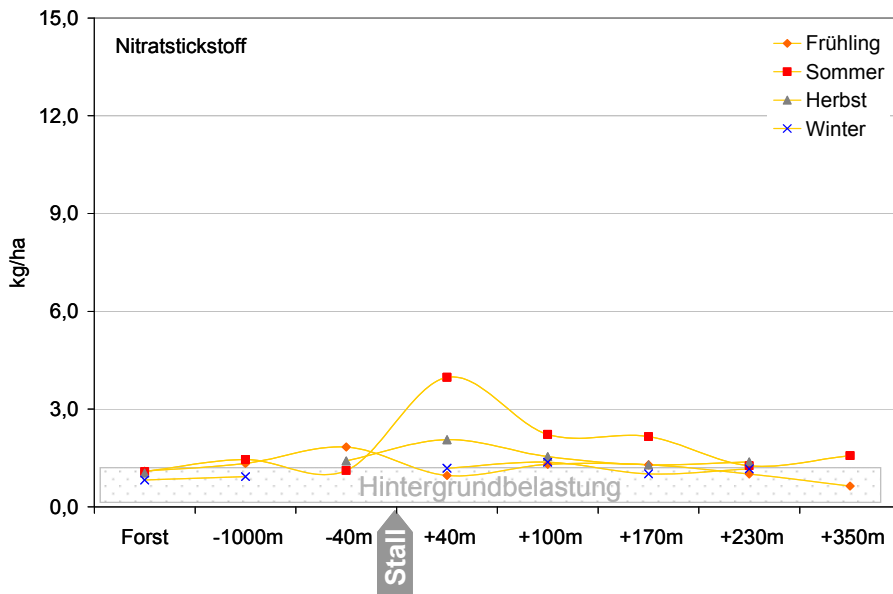
**Abbildung 34: Kenndaten für die Ammoniakbelastung im Umfeld der Hennenhaltung**

Die Messungen zeigen im Vergleich zu den mit den gleichen Sammlern bestückten forstlichen Dauerbeobachtungsflächen deutlich höhere Konzentrationen. Sie liegen im Mittel mit 8 bis 20 Mikrogramm etwa 5-mal so hoch wie auf den Waldlichtungen (1,6 – 4,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Die Werte im Lee zum Hennenstall sind gegenüber Luv erhöht. Gradienten in der Konzentration sind mit zunehmender Entfernung vom Stall festzustellen. Insbesondere in den Klimaklassen Sommer und Herbst werden in einer Distanz von 40 m im Lee des Stalls bis zu 20  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  gemessen. Diese sinken nach 100 m auf unter 10  $\mu\text{g}$  ab. Bereits nach 350 m ist ein Niveau im Lee erreicht, dass mit dem im Luv des Hennenstalls vergleichbar ist. Im Mittel werden im Luv der Haltung (40 m bzw. 1.000 m) 7,4 bzw. 4,2  $\mu\text{g}$  und im Lee in einer Distanz von 40 m 14,9  $\mu\text{g}$ , 100 m 8,9  $\mu\text{g}$ , 170 m 7,1  $\mu\text{g}$ , 230 m 6,3  $\mu\text{g}$ , 350 m 4,9  $\mu\text{g}$  je  $\text{m}^3$  gemessen. Demgegenüber sind die Kenndaten entlang der Messtrasse (80 m vom Stall) auf etwa halbem Niveau. Der rasante Konzentrationsabfall zwischen 40 und 100 m im Lee des Stalls folgt tendenziell den Aussagen von ASMAN et al. (1999, zit. DÄMMGEN & ERISMAN 2006).

Parallel hierzu wurden an den gleichen Messpunkten um den Stall Depositionsbestimmungen für Ammonium- und Nitratstickstoff vorgenommen. In den Abbildungen 35 und 36 (vgl. Anhang, Tab. XXXIII) sind die mittleren Kenndaten innerhalb der Klimaklassen zusammengestellt.

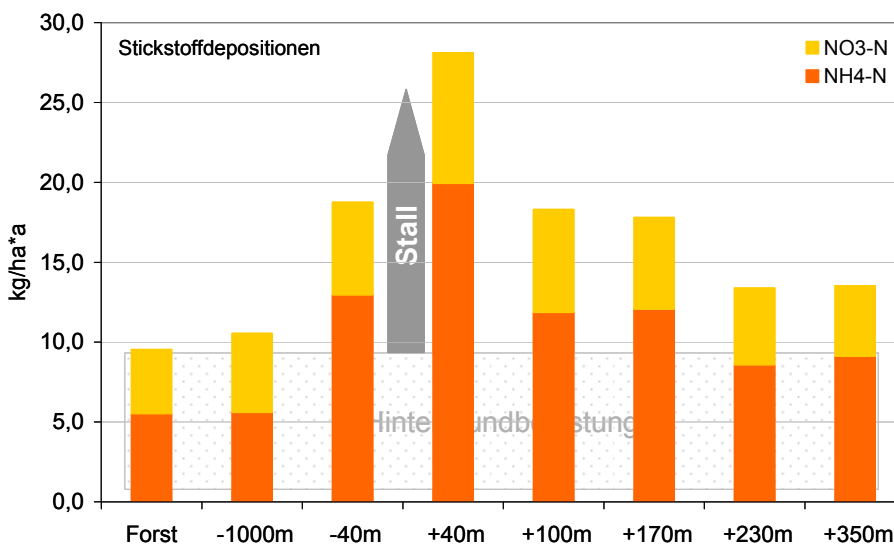


**Abbildung 35: Kenndaten für die Ammoniumstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb der Außenklimaklassen im Umfeld der Hennenhaltung**



**Abbildung 36: Kenndaten für die Nitratstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb der Außenklimaklassen im Umfeld der Hennenhaltung**

Die Depositionen von Ammonium- und Nitratstickstoff im Umfeld des Hennenstalls sind zwischen den Klimaklassen im Verlauf und Niveau deutlich differenziert. Die geringsten Depositionen werden im Winter registriert. Im Gegensatz zur Ammoniakimmission steigen die gemessenen Werte mit räumlichem Abstand zum Stall wieder leicht bzw. z. T. auch deutlich an. Ursache hierfür könnten Stickstoffeinträge sein, die nicht durch den Emittenten Stall verursacht wurden. Weiterhin ist anzumerken, dass zur Ermittlung der Depositionen Niederschläge nötig sind. Hiermit kann bei geringen Niederschlagsmengen das Messniveau absinken. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Stall unabhängig von der Außenklimaklasse das Depositionsniveau am Standort im Umfeld erhöht. In der nachfolgenden Abbildung sind die jährlichen Gesamtstickstoffeinträge in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall dargestellt (vgl. Anhang, Tab. XXXIII).

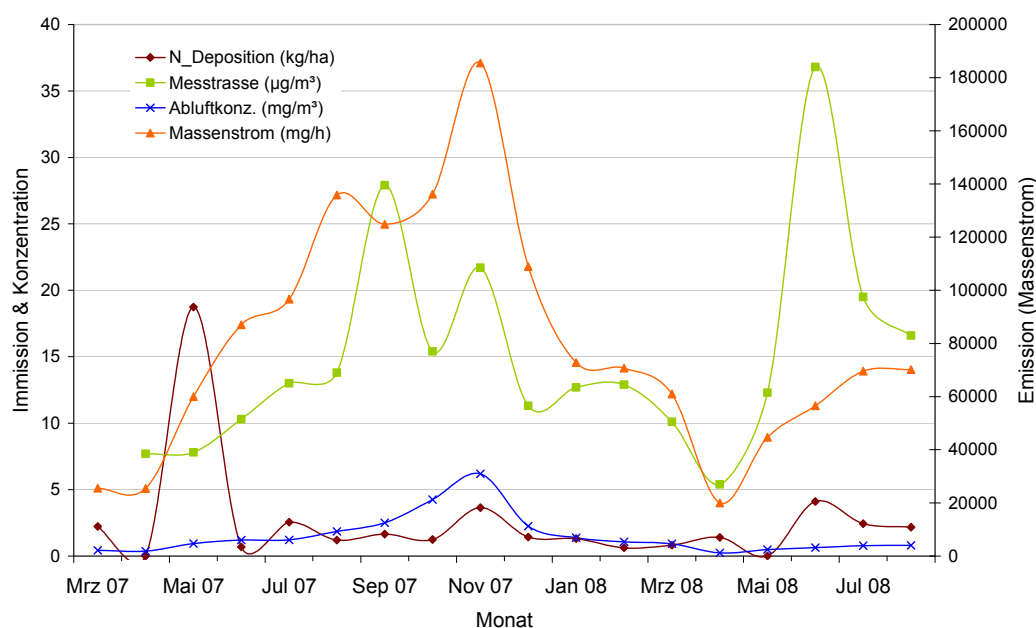


**Abbildung 37: Kenndaten für die Gesamtstickstoffdeposition in Abhängigkeit von der Distanz zum Stall innerhalb eines Jahres im Umfeld der Hennenhaltung**



Die registrierten Stickstoffdepositionen resultieren aus Ammonium- und Nitratstickstoff. Die Niederschläge waren zwischen den forstwirtschaftlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF) Laußnitz und dem Untersuchungsstandort mit einer Abweichung von 8 % vergleichbar. Die Referenzwerte liegen auch im Luv (nicht signifikant) unter den Werten am Stallstandort. Die dort ermittelte Hintergrundbelastung beträgt 5,6 kg je ha für Ammonium- und 5,0 kg für Nitratstickstoff. Sie liegen damit etwa auf dem Niveau der mittleren Freilandeinträge im Jahr 2007 an den forstwirtschaftlichen DBF (9,8 kg/ha, Staatsbetrieb Sachsforst, unveröffentlicht). Es ist festzuhalten, dass die Nitratdeposition nach ca. 200 m das Hintergrundniveau erreicht, die Ammoniumdeposition bleibt bis 300 m auf einem erhöhten Niveau von ca. 9 kg je ha. Die höchsten Ablagerungen finden in einer Distanz von 40 m zum Stall statt (Ammonium 20, Nitrat 8 kg je ha). Nach 200 m sind diese Ablagerungen in etwa halbiert, bleiben mit Vergrößerung der Distanz zum Stall jedoch auf diesem Niveau. Nach DÄMMGEN & ERISMAN (2006) folgen die Depositionen im Jahresverlauf nicht den Emissionen und Konzentrationen von Ammoniak, sondern eher den von Ammoniumstickstoff. Deshalb erfolgte eine nähere Betrachtung dieser Zusammenhänge in vorliegender Arbeit nicht.

Dennoch sollen in nachfolgender Abbildung die mittleren Monatswerte der Stickstoffdeposition, der Ammoniakkonzentration innerhalb der Messtrasse und im Abluftstrom sowie dem Ammoniakmassenstrom gegenübergestellt werden, um eventuelle Beziehungen abbilden zu können.



**Abbildung 38: Zusammenhänge zwischen Abluftkonzentration, Massenstrom, Immission an Ammoniak und Deposition von Gesamtstickstoff innerhalb eines Jahres im Umfeld der Hennenhaltung**

Zwischen der Abluftkonzentration an Ammoniak und der Massenstromkurve ist tendenziell ein abhängiger Verlauf erkennbar. Der Korrelationskoeffizient beträgt hier auch 0,90. Diese Beziehung entspricht den Erwartungen, weil die Konzentration den Massenstrom direkt beeinflusst. Der von der Außentemperatur abhängige Volumenstrom – zweite Basisgröße des Massenstroms – mindert den erkennbaren Zusammenhang. Die Ammoniakkonzentration auf der Messtrasse in ca. 80 m Abstand zum Stall folgt der Verlaufskurve des Massenstroms deutlich, weicht jedoch in Teilbereichen etwas ab. Hier sind die Beziehungen deutlich geringer. Das dargestellte Niveau ist evtl. irreführend, weil zwischen beiden Kennwertereihen eine Differenz um  $10^3$  existiert sowie verschiedene Bezugsbasen Verwendung finden. Die Stickstoffdepositionen folgen den Abluftkonzentrationen an Ammoniak nicht. Hier werden die Aussagen von DÄMMGEN & ERISMAN (2006) weitgehend bestätigt. Ein gleichförmiger Kurvenverlauf ist zwischen Ammoniakmassenstrom und Stickstoffdeposition erkennbar. Zusammenhänge konnten aber nicht nachgewiesen werden. Deutliche Beziehungen bestehen zwischen den Ammoniakkonzentrationen in der Abluft und auf der Messtrasse. Hiermit wird die Einflussnahme der Abluftfahne auf die Ammoniakkonzentration innerhalb der Messtrasse gestützt.

#### 4.2.2 Ausbreitungsberechnung

Bearbeitung: Peter Fleischer, Dr. Johannes Jacob (LfULG)

In folgendem Abschnitt werden die Ergebnisse einer Parallelbestimmungsmethode für Stallemissionen ( $\text{NH}_3$ ) aus einer Legehennenhaltung diskutiert, die in verschiedenen Messperioden 2007 und 2008 (vgl. Anhang, Tab. XXXIV - XXXVI) zeitgleich mit der fotoakustischen Messung der Emissionsquellenstärken direkt an den Abluftkaminen praktiziert wurde. Ziel war es, eine Routineeinrichtung für das einfache und schnelle Bestimmen von Absolutemissionen pro Zeit aus kombinierten auftretenden Punktquellen und diffusen Emissionsquellen zu betreiben. Die Stallabluft emittiert punktuell in 6,1 m Höhe aus den am westlichen Giebel liegenden Abluftkaminen (Tunnelprinzip) und/oder je nach Lüftungssteuerung aus fünf Firstkaminen. Nördlich vom Stall befindet sich eine emittierende Freilandausläuffläche für die Legehennen mit einer Fläche von 0,25 ha. Die nordöstliche Ecke des Freilandes wird von der 101,4 m langen DOAS-Messtrasse geschnitten. Den Anteil der Freilandflächenquelle an den anlagenbedingten Ammoniakemissionen wurde bei den folgenden Ausbreitungsberechnungen in erster Näherung vernachlässigt.

Beispiel: Messtag mit Anströmung aus Süd-Südost (01.07.2007)

Zur Veranschaulichung werden die Ergebnisse eines Messtages (Abb. 39), die die Hauptanströmrichtung Süd-Südost repräsentiert, diskutiert. Die fotoakustisch kontinuierliche Messung der Emissionen aus den Abluftkaminen ergab eine summarische Ammoniak-Emissionsfracht von 17,55 mg/s, die ausschließlich von den giebelseitigen Abluftkaminen (Tunnelprinzip) getragen wurde. Die LASAT-Rechnung mit diesem Messwert ergibt eine Immissionszusatzbelastung von  $3,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  über die DOAS-Messtrasse im Nahbereich. Weil im gleichen Zeitraum auf dieser eine Integralkonzentration von  $3,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurde, kann somit die Vorbelastung mit  $0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NH}_3$  bestimmt werden.

Auswertung aller Messtage:

In der Tabelle XXXIV bis XXXVI (Anhang) wurden alle Messtage mit vollständigen Messdatensätzen ausgewertet. An diesen insgesamt 91 Messtagen lagen die direkten Stallemissionsmessungen an den Auslässen, die DOAS-Trassenmessungen ( $\text{NH}_3$ ) und USA-Tagesmessungen vor. Die einzelnen Messtage wurden dabei nach Jahreszeiten geordnet:

- Sommer > 18 °C Tagesmitteltemperatur (gelb),
- Winter < 8 °C,
- Übergangsjahreszeit 8 - 18 °C.

Wenn in der drittletzten Spalte die Anmerkung „n.a.“ steht, konnte der Messtag objektiv nicht rückrechnerisch ausgewertet werden, weil sich die Messtrasse im Luvbereich der Stallanlage befand.

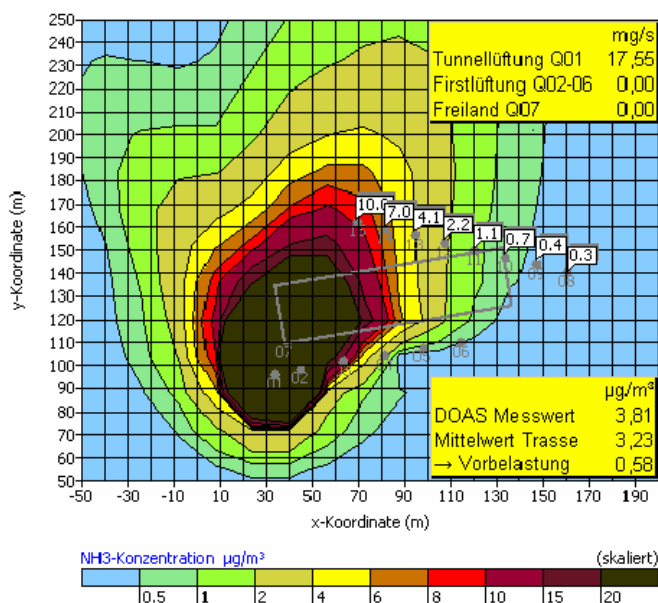


Abbildung 39: Beispielparte zur Ausbreitung von Ammoniak im Umfeld der Hennenhaltung – Sommer 2007

Die aus den Stallemissionen auf der DOAS-Trasse berechneten Immissionszusatzbelastungen lagen in diesen Tagen unter  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NH}_3$ . Bei insgesamt 71 auswertbaren Messtagen (Tab.32, zweite Spalte) betraf dies weitere 24 Tage, die vorwiegend (16) Wintertage waren. Für diese Tage ist der Modellansatz trotzdem richtig, weil die LASAT-Ausbreitungsrechnungen die tendenziell geringen DOAS-Messtrassenwerte auch tatsächlich richtig widerspiegeln.

Wegen der in diesem Messprojekt erfolgten Parallelbestimmung der Emissionen konnte die Ammoniak-Vorbelastung direkt als Differenz aus dem DOAS-Trassenwert (Gesamtimmisionsbelastung im Nahbereich des Stalles) und den LASAT-berechneten Zusatzbelastungen aus den Stallauslassemissionen tagweise bestimmt werden (vgl. Anhang, Tab. XXXIV bis XXXVI, achte Spalte [M] minus [B]).

Die Spannweite der Vorbelastungen lag von 0 (neg. Werte wurden als Null interpretiert) bis maximal  $11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 05.12.07. Der Mittelwert über alle ausgewerteten 95 Messtage ergab eine Ammoniak-Vorbelastung von durchschnittlich  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dies wurde auch durch die Passivsammlermessungen des Staatsbetriebes Sachsenforst in der Größenordnung bestätigt. Direkt vergleichbare, d. h. taggenaue  $\text{NH}_3$ -Vorbelastungsbestimmungen in der Stallumgebung standen zur Auswertung nicht zur Verfügung. Für künftige Messprogramme sollte konzeptionell eine zweite Messtrasse auf der jeweils anderen Seite des Stalles fest eingeplant werden, insbesondere wenn direkte Emissionsmessungen an den Auslässen nicht durchgeführt werden bzw. nicht durchführbar sind wie im Falle von freigelüfteten Ställen.

In den letzten vier Spalten der Tabelle XXXIV bis XXXVI (vgl. Anhang) wurden die rückgerechneten Stallemissionen unter den Annahmen bestimmt, dass die direkten Stallemissionsmessungen nicht durchgeführt worden wären und die Ermittlung der Vorbelastung mit einer zweiten DOAS-Messtrasse oder einer vergleichbaren Messeinrichtung mit einem Messfehler von  $\pm 20\%$  taggenau bestimmt worden wäre.

In Tabelle 31 findet man die jahreszeitliche Zusammenfassung aller Einzelmessstage.

**Tabelle 31: Vergleich Emissionsmessungen (Abluftstrom Stall) mit DOAS/LASAT - Rückrechnung - Klimaklassen**

Klimaklasse	Temperaturbereich  °C	Messdaten Ammoniak		Berechnungsdaten Ammoniak					Messtage
		Emission Abluft							
		Tunnel	First	Tunnel	First	Fehler			
		mg/s				%			
				Min.	Max.	Min.	Max.	Tu/Fi	
Sommer	> 18	18,0	0,9	15,6	19,1	0,8	1,1	-3/3	27
Übergang	8 – 18	20,7	0,5	17,2	20,6	0,4	0,6	-9/-1	21
Winter	< 8	25,0	0,0	21,6	24,6	0,0	0,0	-10/0	23

Min = Messfehler Vorbelastung +20 % ; Max. = Messfehler Vorbelastung -20 %

### Vergleich der LASAT-Rechnungsergebnisse mit Passivsammlermesswerten

In Tabelle 32 werden die Ammoniakimmisionszusatzbelastungen, die auf Grundlage von Passivsammlermessungen ermittelt wurden, in Abhängigkeit vom jeweiligen Abstand zum anlagenspezifischen Bezugspunkt im Vergleich zu LASAT-Ausbreitungsberechnungen dargestellt.

**Tabelle 32: Ammoniakimmissionszusatzbelastung nach zwei verschiedenen Methoden**

Passivsammlermessungen *			LASAT- Ausbreitungsrechnungen (AKS Oschatz) ****	Abweichung
Abstand **	Jahresmittelwert	minus ***Vorbelastung	41,15 g NH <sub>3</sub> /Tierplatz*a =0,0261 g/s	zu 3. Spalte
[m]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
40	14,9	10,9	10,2	-6
100	8,9	4,9	4,1	-16
170	7,1	3,1	1,8	-42
230	6,3	2,3	0,9	-61
350	4,9	0,9	0,3	-67

\* Ausrichtung Passivsammlertrasse: nach Nordost vom Stallemissionsschwerpunkt ausgehend

\*\* Abstand vom Stallemissionsschwerpunkt

\*\*\* NH<sub>3</sub>- Vorbelastung 4 µg/m<sup>3</sup>

\*\*\*\* LASAT-Rechenprotokolle param.def und wetter.def s. Anhang

Die 1. Spalte der Tab. 33 enthält die Abstände zwischen Passivsammlermesspunkten und dem Stallemissionsschwerpunkt als anlagenspezifischen Bezugspunkt. Ausgehend von den Bezugspunkten verlief die Trasse nach Nordost. Dabei wurden die Ammoniakimmissionskonzentrationen aller Messpunkte ein Jahr lang über den Messzeitraum von jeweils einem Monat erfasst. In Spalte 2 sind für jeden Messpunkt Jahresmittelwerte angegeben. Um diese mit den über LASAT-Ausbreitungsrechnungen erhaltenen jährlichen Ammoniakimmissionszusatzkonzentrationen vergleichen zu können, beinhaltet Spalte 3 die um die örtliche Hintergrundbelastung (Vorbelastung) in Höhe von 4 µg/m<sup>3</sup> Ammoniak verminderten Jahresmittelwerte der Passivsammlermessungen aus der 2. Spalte. Spalte 4 zeigt die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen unter Verwendung der meteorologischen Ausbreitungsklassenstatistik der Station Oschatz 1983-92.

Verwendete Datenbasis für die Ausbreitungsrechnung:

- Stallplatzkapazität: 20.000 Hennenplätze (68 GV bei 1,7 kg mittlerer Lebendmasse je Stallplatz)
- Ammoniakemissionsfaktor: 41,15 g/Tierplatz im Jahr (TA-Luft)
- Ableithöhe: 5,0 m (über OKT)
- Austrittsfläche: 0,502 m<sup>2</sup> a sechs Schächte (82-er), 0,312 m<sup>2</sup> a 5 Schächte (65-er)

Die gemessenen und berechneten Immissionszusatzbelastungen in Spalte 3 und 4 können mit den Messwerten der Spalte 2 verglichen werden. In der letzten Spalte von Tab. 33 sind die prozentualen Abweichungen von berechneter zu gemessener Immissionszusatzbelastung angegeben. Berücksichtigt man die Tatsache, dass den Werten in Spalte 3 und Spalte 4 unterschiedliche Meteorologieparameter zugrunde liegen, sind die Abweichungen bis ca. 150 m als gering einzuschätzen. Ab diesem Abstand aufwärts stellt sich dann eine bereits bei ähnlichen Untersuchungen gefundene Immissionsunterschätzung der mit LASAT berechneten Werte ein.

Weiterhin zeigt sich, dass bereits beim äußersten Passivsammlermesspunkt - 400 m entfernt vom Stall – fast reine Vorbelastungsbedingungen vorliegen und die Anlage immissionsseitig kaum mehr nachweisbar ist. Unterstellt man den in 400 m Abstand gemessenen Passivsammlerwert von 4,9 µg/m<sup>3</sup> als ortsspezifischen NH<sub>3</sub>-Vorbelastungswert, so fällt die Unterschätzung der NH<sub>3</sub>-Immissionen durch LASAT im Vergleich zu den Passivsammlerwerten nochmals deutlich geringer aus:

- Abstand 166 m: -18 % statt -42 %,
- Abstand 225 m: -36 % statt -61 %

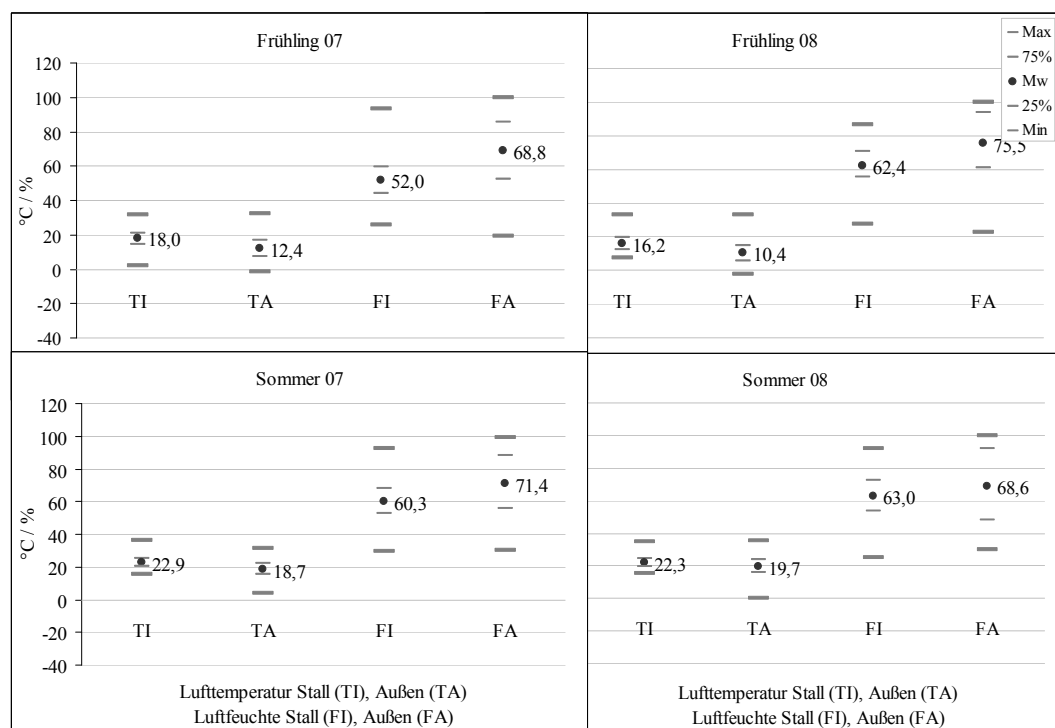
## 4.3 Reduzierung der Stickstofffreisetzung über die Fütterung

Die Einsatzperiode im Februar und März 2008 bis zur Ausstallung der Herde diente als Anpassungs- und Probetriebsphase. Deshalb wurden hier keine Bewertungen vorgenommen. Mit der Einstellung der Hennenherde im März 2008 begannen die Untersuchungen.

Zum Vergleich der Ergebnisse aus der Stallbelegung mit Einsatz des Futterzusatzes (Herde II) werden die Befunde der analogen Haltungsabschnitte der Vorbelegung (Herde I) sowie Kerndaten einer Vergleichsherde (Herde III), die zeitgleich an einem anderen Standort mit vergleichbarer Herdengröße und mit identischer Herkunft eingestallt wurde, verglichen. Weil hier keine eigenen Befunde erhoben wurden, liegen nur für den Vergleich benötigte Daten vor. Weiterhin werden die Untersuchungsbefunde den Vorgabewerten der Züchter – wo vorhanden – gegenübergestellt. Zur Bewertung der Vergleichsbasis sollen im Folgenden die Lufttemperatur und -feuchte im Stall sowie die Fütterung als wesentliche Einflussgrößen auf den Untersuchungsansatz betrachtet werden.

### Stalllufttemperatur und -feuchte

Die Quartile der Kerndaten zur Lufttemperatur und -feuchte werden in Abbildung 40 für den Außenklimabereich Frühling für Herde I (Frühling 07) und II (Frühling 08) dargestellt.



**Abbildung 40: Kenndaten für das Stallklima während der Monate März bis August für Herde I (2007) und Herde II (2008)**

Innerhalb der Klimaklasse Frühling lag die mittlere Stalllufttemperatur in der Herde II mit ca. 3 K unter dem Vergleichswert zur Herde I. 75 % der Werte lagen in beiden Herden unterhalb 20 bis 21 °C. Insgesamt verlief die Stalltemperatur in Herde II auf etwas niedrigerem Niveau gegenüber der Herde I. Auch die Stallluftfeuchte differiert zwischen den Herden leicht. Mit den etwas höheren Temperaturen in Herde I sind die Feuchtegehalte etwas unter den Vergleichswerten der Herde II. Insgesamt liegt der überwiegende Anteil der Temperaturmesswerte innerhalb des Toleranzbereiches der Legehennen und sichert eine gute Herdenleistung. Für die Freisetzung des Stallraumgases Ammoniak sind also in beiden Haltungsabschnitten vergleichbare Klimabedingungen gegeben. Optimale Freisetzungsbedingungen mit Temperaturen über 35 °C und einer Luftfeuchte von 40 bis 60 % liegen in Kombination in beiden Stallbelegungen vergleichbar gering vor.

Die Lufttemperatur und -feuchte im Stall liegt innerhalb der Außenklimaklasse Sommer zwischen den Stallbelegungen für Herde I und II auf vergleichbarem Niveau. 25 % der Temperaturkennwerten liegen oberhalb von 25 °C. Die Maximalbereiche liegen

noch unterhalb von 35 °C. Im Kontext mit der niedrigen Stallluftfeuchte sind in beiden Stallbelegungen vergleichbar ungünstige Freisetzungsbedingungen für Ammoniak gegeben. Die Stalllufttemperatur ist zu 75 % innerhalb des Toleranzbereiches für Legehennen.

Zusammenfassend beeinflussen die stallklimatischen Bedingungen in beiden Herden die Leistungsentwicklung und die Ammoniakfreisetzung vergleichbar. Es ist von relativ optimalen Haltungsbedingungen für die Leistungsentwicklung in den Hennenherden und von einem niedrigen Potenzial zur Freisetzung an Ammoniak in die Stallluft auszugehen.

### Fütterung

Die Hennen in den untersuchten Herden wurden mit 1,36 bzw. 1,56 kg Körpergewicht zur 19. Lebenswoche eingestallt. Hiermit lagen sie im Mittel im Bereich der Vorgabewerte. Zur 28. Lebenswoche haben sie den Vorgabebereich zwischen 1,82 bis 2,01 kg im Herdenmittel erreicht. Zur 36. Lebenswoche lag die Herde I (2007) mit 1,89 kg im Mittel im unteren Abschnitt des Vorgabebereiches (1,84 -2,03 kg), die Herde II (2008) mit 2,06 kg oberhalb des Vorgabebereiches. Hiermit sind die Tiere gegenüber der Vorbelegung des Stalls in dieser Haltungsphase bei vergleichbarer Fütterung deutlich schwerer. Die mittleren Tiergewichte in Herde I rangieren im weiteren Haltungsverlauf weiterhin im unteren Abschnitt des Vorgabebereiches. Die Legereife wurde zwischen der 22. und 23. Lebenswoche erreicht, die maximale Legeleistung zur 27. Lebenswoche.

Die praktische Fütterung in den untersuchten Herden erfolgt je nach Körpermasseentwicklung und Legeleistung im Wesentlichen mit einem Vorlegefutter und einem nährstoff- und energiemodifizierten Legehennenfutter. Außerdem kommt zur besseren Verfügbarkeit des Phosphors Phytase zum Einsatz. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der eingesetzten Mischfutter und der mittlere Futtermittelverzehr in den Herden zusammengestellt.

**Tabelle 33: Energie- und Nährstoffversorgung über die Legeperiode im Praxisbetrieb**

Lebenswoche		<20.	20. – 29.	> 29.
Futtermittelaufnahme g/d		116		
ME	MJ	11,4	11,8	11,4
Rohprotein	%	15,5	17,5	16,7
Methionin	%	0,33	0,42	0,39
Kalzium	%	0,9	3,8	3,9
Phosphor	%	0,60	0,55	0,52
Phytase		ja	ja	ja

Der Energie- und Eiweißgehalt wird der Gewichts- und Leistungsentwicklung in der Herde innerhalb der skizzierten Konzentrationsgehalte angepasst. Hierdurch sind auch die zugeordneten Einsatzzeitpunkte (Lebenswochen) flexibel zu bewerten. Gegenüber den Empfehlungswerten wird die Herde zum Haltungsbeginn mit einem leichten Energieüberschuss versorgt. Hierbei muss Beachtung finden, dass die Tiere auch in den Wintermonaten Auslaufzugang haben und die Stallraumtemperatur bereits während der Klimaklasse „Übergang“ in ¼ der Messwerte unter den Optimalbereich liegt. Hieraus resultiert ein erhöhter Erhaltungsbedarf.

Die Proteinversorgung erfolgt innerhalb der Empfehlungswerte. Die bedarfsangepasste Proteinversorgung trägt nach DAMME (2002) an der Minderung der Stickstoffausscheidung mit bis zu 10 % bei. Durch den Einsatz essentieller Aminosäuren kann ein weiterer Beitrag von bis zu 7 % geleistet werden. Der Einsatz hochverdaulicher Komponenten in den Futtermischungen kann weitere 5 % bringen.

Ein besonderes Augenmerk gilt bei Legehennenexkrementen dem Gehalt an Phosphor. Dieser ist insbesondere beim Einsatz als Flächendünger limitierend. Einen wesentlichen Beitrag hierzu leistet der hohe Anteil nicht verdaulichen Phosphors in der

Ration, der durch die Futterkomponenten Getreide und Leguminosen verursacht wird. Dem wird in der untersuchten Hennenhaltung durch den Zusatz des Enzyms Phytase entgegengewirkt. Nach DAMME (2002) kann das zu einer Reduktion des Phosphors in den Exkrementen von bis zu 30 % führen.

Unter Beachtung der praktischen Haltungsbedingungen, der Herdenleistung und der bisher geringen Freisetzung stickstoffhaltiger Stallraumlasten bewährt sich das eingesetzte Fütterungsregime.

Für die Gestaltung der weiteren Untersuchungsansätze ist deshalb festzuhalten, dass das bisher im Unternehmen umgesetzte Fütterungsregime weitgehend auf die Minderung der emittierenden Stallraumlasten ausgerichtet ist und die Rohproteingehalte in der Ration abgesenkt sind. Eine weitergehende Reduzierung der Inhaltsstoffe birgt die Gefahr, bei suboptimalen Umweltbedingungen die Produktionssicherheit zu beeinträchtigen. In diesem Kontext wird beim geplanten Einsatz eines Futterzusatzstoffes zur Stabilisierung der Herdengesundheit und evtl. Reduktion der Stickstoffemissionen das bisher angewendete Fütterungsregime unverändert beibehalten. Mit dem Festhalten an der bisherigen Fütterung werden die Einflussfaktoren in den Vergleichsvarianten nicht zusätzlich verändert und es verbessert sich die Vergleichbarkeit.

### Einsatz des Futterzusatzes

Die Wirkung des eingesetzten Zusatzstoffes wird bisher sehr differenziert im Schrifttum bewertet (vgl. Abschnitt 2.5). Insbesondere die Reduktion der Ammoniakemission (HÖRNIC et al. 2002) ist im Kontext der vorliegenden Untersuchungen von Interesse. Die Voruntersuchungen zur Produktsicherheit ergaben, dass bei Zufütterung des Produktes keine sensorisch feststellbaren Veränderungen am Ei vom Hennenhalter registriert wurden. Parallel hierzu wurden zum Abschluss der sechsmonatigen Testphase jeweils sechs Eier aus Herden mit und ohne Futterzusatz untersucht. Aufgrund des ungerichteten Analyseschwerpunktes wurden wesentliche Ei-Inhaltsstoffe vergleichend untersucht, um eine Veränderung des Produktes weitgehend auszuschließen. In den nachfolgenden Abbildungen 41 und 42 sind die Fettsäuren mit (Zusatz) und ohne (Basis) im Ei zusammengestellt (siehe Anhang, Tabelle XXXVII und XXXVIII).

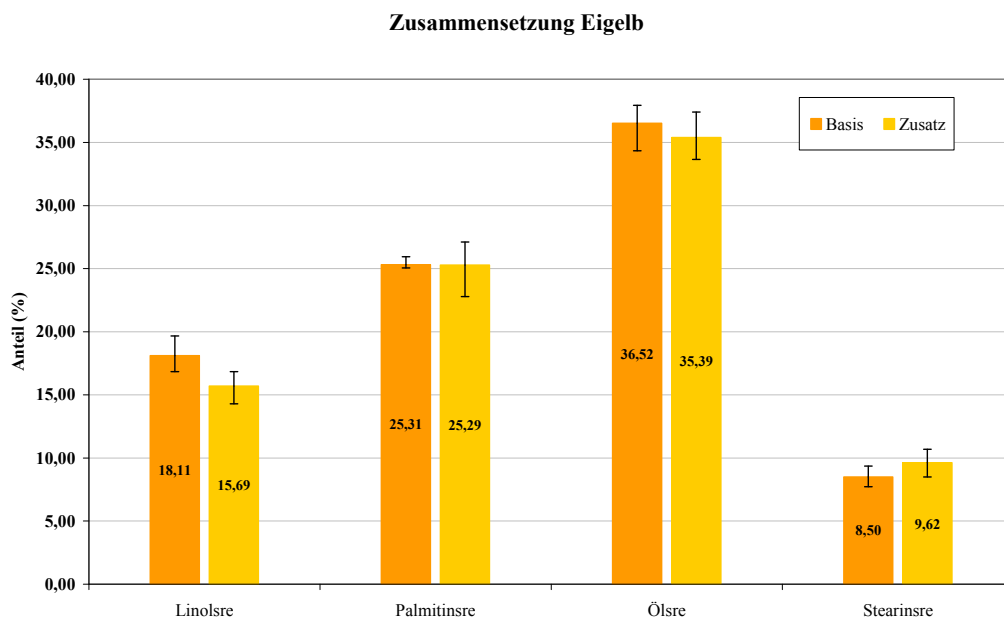
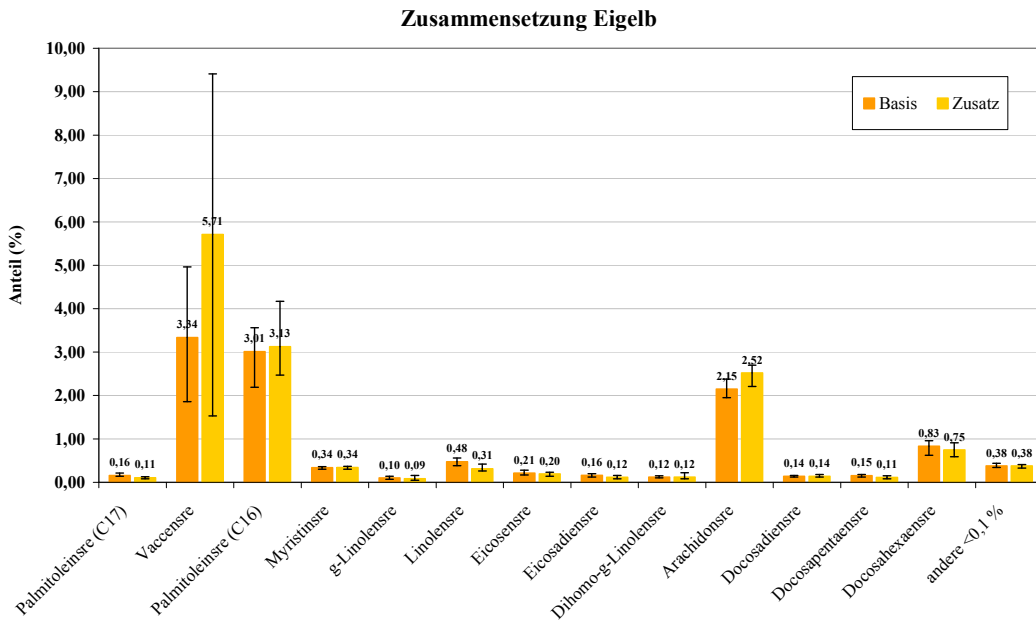
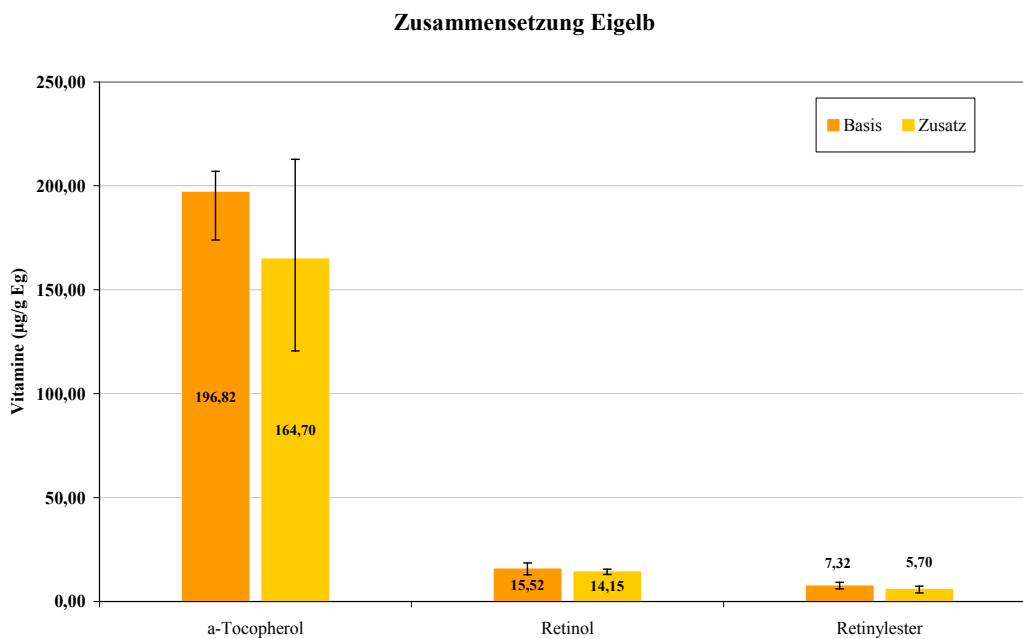


Abbildung 41: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats



**Abbildung 42: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

Die untersuchten Fettsäurewerte verändern sich teilweise nach Zusatz des Präparates. Die Gehaltsänderungen sind überwiegend minimal und ungerichtet. Mit Beachtung der ausgewiesenen Kenndatenvariationen ist ein gesicherter Einfluss auf die Fettsäurezusammensetzung nicht nachweisbar. In der nachfolgenden Abbildung 43 sind die Vitamingehalte mit (Zusatz) und ohne (Basis) im Ei zusammengestellt (siehe Anhang, Tabelle XXXIX).



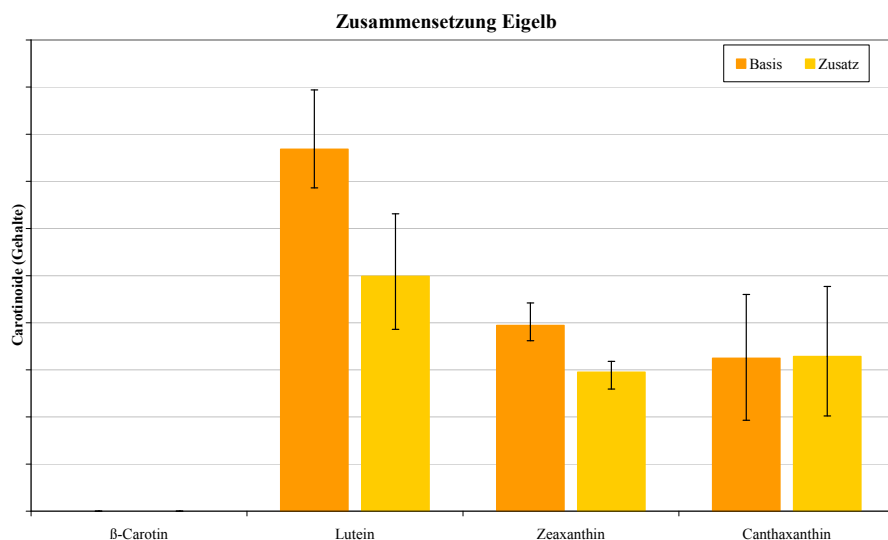
**Abbildung 43: Vitamingehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

Der Vitamin-E-Gehalt reduziert sich mit der Zufütterung. Die Kenndatenstreuung in der Zusatzvariante ist jedoch erheblich und lässt nicht auf eine gesicherte Reduzierung schließen. Vitamin und Provitamin A folgen tendenziell dem Vitamin E. Auch hier lässt die ausgewiesene Streuung keine gesicherte Absenkung erkennen. In der nachfolgenden Abbildung 44 sind die Carotinoidegehalte mit (Zusatz) und ohne (Basis) im Ei zusammengestellt (siehe Anhang, Tabelle XXXX).



Weil im Untersuchungslabor keine Standards zu den Carotinoiden (außer  $\beta$ -Karotin) vorlagen, wurde alles auf den vorhandenen Standard bezogen. Deshalb liegen hier keine absoluten Gehalte vor.  $\beta$ -Karotin konnte in keiner Probe nachgewiesen werden. Lutein und Zeaxanthin liegen nach der Zufütterung unter dem Niveau der Basisvariante. Die sensorische Bewertung durch den Hennenhalter ergab diesbezüglich keine erkennbaren Unterschiede.

Zusammenfassend wird aus den Ergebnissen der Voruntersuchungen abgeleitet, dass keine gesicherte Veränderung wichtiger Ei-Inhaltsstoffe durch die Zufütterung des Natriumalginats nachweisbar ist. Der Probenumfang wurde nicht erweitert, weil aufgrund des Zulassungsstatus von Natriumalginat und vorliegender Unbedenklichkeitserklärung seitens des Herstellers die durchgeführten Voruntersuchungen nur Zusatzinformationen erbringen sollten.



**Abbildung 44: Carotinoidgehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

Die Wirkung des Futterzusatzes soll im Nachfolgenden an der Herdenleistung, am Verlustgeschehen, an der Gewichtsentwicklung sowie Wasser- und Futteraufnahme diskutiert werden. Die Ergänzung des Erfolgsmonitoring erfolgt dann an den Stallluftkonzentrationen von Ammoniak.

### Herdenleistung und -gesundheit

Die Ende März 2008 eingestellten Tiere waren zur Einstallung 131 Tage alt. Die Tierverluste liegen zum Auswertungszeitpunkt bei 2,8 %. Annähernd die Hälfte der Verluste wurde durch Erdrücken verursacht. Der Gesundheitszustand der Herde ist gut, wodurch nur kurzzeitige Behandlungsmaßnahmen verursacht werden. Die Herde präsentierte sich mit fortschreitender Haltungsdauer in einem guten Zustand (Abb. 45).

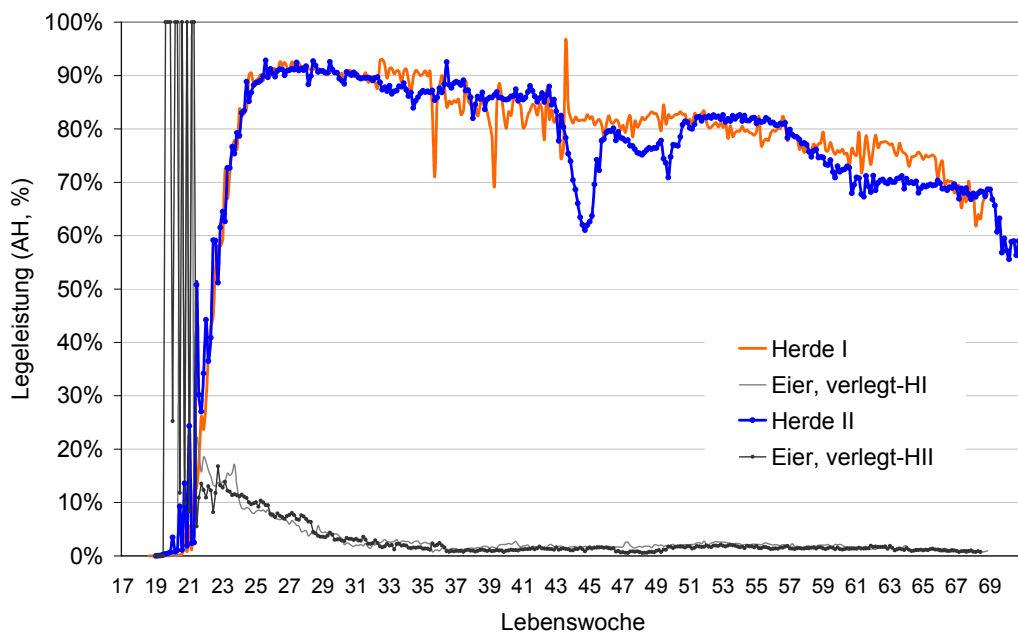


**Abbildung 45: Gefiederzustand der Hennenherde mit fortschreitender Haltungsdauer**

Die Befiederung der Hennen ist in einem guten Zustand. Kot und Tierverhalten wiesen auf keine Störungen im Stoffwechsel und nur geringfügigen Ektoparasitenbefall hin. Die Federn in der Einstreu und Zustand des Federkleides zeigen, dass das Federpicken in der Herde derzeit keinen Risikofaktor darstellt.

Die Leistungsentwicklung der Herde wird in der Abbildung 46 im Verlauf der Haltungsperiode dargestellt (Anhang, Tab. XXXXII).

Die Legereife wurde in der 23. Lebenswoche erreicht; gegenüber der Vorbelegung mit ca. fünf Tagen Verzögerung. Mit der 27. Lebenswoche wird ein Leistungsniveau von über 90 % erreicht; im Vergleich zur Vorbelegung etwa mit zwei Wochen Verzögerung. Dieses Niveau wird tendenziell leicht rückläufig gehalten. Gegenüber der Vorbelegung fällt die Legeleistung bereits mit der 33. Lebenswoche konstant unter 90 % ab. Diese Entwicklung vollzog sich in der Vorbelegung des Stalls erst mit der 35. Lebenswoche. Auffällig sind dabei ausgeprägte Leistungsschwankungen ab der 35. Lebenswoche in Herde I (Vorbelegung) beginnend. Ursachen waren hierfür eine erhöhte Reaktion der Herde auf den Keimdruck im Stall, der sich im Einsetzen von Behandlungsphasen widerspiegelt und akute Störungen in der Herde durch das Eindringen von Raubwild in den Stall. Demgegenüber verläuft die Legeleistungskurve in der Herde II stabiler, jedoch etwas unterhalb des Niveaus der Herde I.



**Abbildung 46: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand (Herde I und II)**

Durch ein gutes Herdenmanagement wurde die anfangs hohe Anzahl verlegter Eier in beiden Stallbelegungen deutlich reduziert. Zur Bewertung eines möglichen Einflusses des Futterzusatzes werden in der nachfolgenden Tabelle 34 ausgewählte Vergleichsparameter gegenübergestellt.

**Tabelle 34: Ausgewählte Bewertungsparameter der Vergleichsherden**

Lebenswoche		18. – 28.				29. – 35.			
Parameter	Herde	H I	H II	H III	Zucht	H I	H II	H III	Zucht
Auslaufnutzung	h	3,5	3,8			7,4	7,4		
Legeleistung	%	53,0	55,0	55,0	70,0	91,0	90,6	95,0	94,0
Wasseraufnahme	ml/d	157	158			209	201		
Futteraufnahme	g/d	104	104	114		116	119	123	
Tgl. Verluste	%	0,01	0,02	0,01		0,03	0,02	0,01	
Tiergewicht	g	1663	1683	1717	1764	1875	2050	1850	1925

Die Hennenherde aus der Stallbelegung 2007/2008 (Vorbelegung des Untersuchungsstalls) wurde mit „H I“, die Herden mit der Zufütterung des Natriumalginats im Untersuchungsstall mit „H II“, die Vergleichsherde (vergleichbares Alter und Herdengröße, anderer Haltungsstandort) mit „H III“ und die Züchtervorgaben (Werte aus Leistungsbeschreibungen der Tiere) mit „Zucht“ gekennzeichnet.

Die 18. – 35. Lebenswoche erstreckt sich in den verglichenen Herden jeweils über die Monate März bis Juli. Die Herden am Untersuchungsstandort (H I und H II) haben im Mittel in den Haltungsabschnitten eine vergleichbare Auslaufnutzung. Die Legeleistung variiert in den Haltungsabschnitten am Untersuchungsstandort zwischen der Herde II mit und der Herde I ohne Zufütterung nur geringfügig. Die Herde III, welche zwar an einem anderen Standort steht, aber aus gleicher Herkunft mit gleichem Alter stammt, zeigt einen deutlichen Leistungsanstieg. Dieser spiegelt auch die Züchtervorgabewerte wider.

Die etwas erhöhte Futteraufnahme gegenüber Herde I und II kann als Ursache nicht exakt herausgearbeitet werden. Eine Unsicherheit ergibt sich dabei, dass unter den vorgefundenen Praxisbedingungen der Futterverbrauch über die Liefermengen nachträglich ermittelt wird und hierfür keine exakten, taggenauen Angaben während der Haltungsperiode möglich sind (Futterstand im Silo). Die Tierverluste rangieren zwischen den Vergleichsherden auf annähernd gleichem Niveau. Die Herde I (ohne Zufütterung, Vorbelegung) weist gegenüber den Vergleichsherden in diesem Jahr etwas erhöhte Tierverluste zwischen der 29. und 35. Lebenswoche aus. Die Konzentration an Bakterien und Schimmelpilzen in der Stallluft war in der Herde II deutlich höher als in Herde I (vgl. Abb. 51).

Die Entwicklung der Tiergewichte folgt weitgehend den Züchtervorgaben. Aufgrund der zum Teil suboptimalen klimatischen Stallbedingungen in alternativen Legehennenhaltungen erreichen die Tiere unter den Praxisbedingungen die Züchtervorgaben im Mittel nicht ganz. Auffällig ist die Gewichtsentwicklung in der Herde II (mit Zufütterung) im Haltungsabschnitt zwischen der 29. und 35. Lebenswoche.

Gegenüber dem Vorabschnitt ist eine Gewichtszunahme in der Herde I aus der Vorbelegung des Stalls um 13 % und in der zeitgleich (mit Herde II) an einem anderen Standort eingestellten Herde III sowie nach Züchtervorgaben um ca. 8 % festzuhalten. Daraus ergibt sich, dass die Legehennen zur 35. Lebenswoche in allen Vergleichsherden ohne Zufütterung gegenüber dem Haltungsabschnitt bis zur 28. Lebenswoche ca. 10 % Gewichtszuwachs realisieren. In der Herde II mit dem Futterzusatz nimmt das mittlere Tiergewicht dagegen um 22 % zu. Im Vergleich zu Herde I (vergleichbare Haltungsbedingungen, gleicher Stall) kann im Kontext mit der annähernd gleichen Futteraufnahme und weitgehend vergleichbarer Leistung nur eine mit dem Futterzusatz verbundene verbesserte Futterverwertung Ursache sein. Das würde einen Teilbefund von BUCHTA (LVL Brandenburg) aus der Entenmast bestätigen. Es gibt derzeit keine Erklärung, weshalb der Leistungsschub nicht in der Legeleistung umgesetzt wurde.

In der Tabelle 35 sind einige Analysedaten zur Zusammensetzung des Einstreus und des Kots aus der Herde mit der Zufütterung des Natriumalginats einigen Vorbefunden gegenübergestellt.

**Tabelle 35: Ausgewählte Kenndaten zum Einstreu und Frischkot aus der Hennenhaltung mit Futterzusatz (Probe) und aus Vorbefunden <sup>1)</sup> (Referenz)**

Parameter	TS (%)		OS (%TS)		N <sub>total</sub> (%TS)		NH <sup>4</sup> (%TS)	
	Referenz	Probe	Referenz	Probe	Referenz	Probe	Referenz	Probe
Einstreu	79,6	84,8	64,5	70,5	3,3	3,3	0,38	0,30
Frischkot	27,3	25,2	71,9	67,4	6,1	1,5	0,59	0,64

<sup>1)</sup> Befunde der Kot- und Einstreuanalysen aus alternativen Hennenhaltungen (Dreiländerprojekt 2004)

Auf die analysierte Trockensubstanz bezogen hat die untersuchte Einstreu bei den Referenz- bzw. Probenwerten einen Anteil an organischer Substanz von 51,3 bzw. 59,3 %. Der Gesamtstickstoffgehalt beträgt 2,6 bzw. 2,7 %. Ammoniumstickstoff liegt bei 0,30 bzw. 0,27 %. Damit unterscheiden sich die Einstreuproben aus der Herde mit der Zufütterung bei allen Analyseparametern nicht wesentlich von den Referenzbefunden aus alternativen Legehennenhaltungen. Gleiches trifft auch auf die Kotproben bezüglich organischer Substanz und Ammoniumstickstoff zu. Interessant ist ein deutlich geringerer Gehalt an Gesamtstickstoff in den Kotproben der Hennenherde mit Zufütterung. Hierin könnte ein Zusammenhang mit der erhöhten Gewichtsentwicklung bestehen.

Die Stallkonzentrationen an Ammoniak unterschieden sich zwischen den Vergleichsvarianten signifikant ( $p < 0,05$ ). Wurden im Frühjahr 2007 ohne Futterzusatz im Tierbereich im Mittel  $0,63 \text{ mg/m}^3$  gemessen, waren es im Vergleichszeitraum 2008  $0,59 \text{ mg}$ . Innerhalb der Klimaklasse Sommer wurden ähnliche Verhältnisse festgestellt. Im Tierbereich wurden ohne Futterzusatz  $1,89 \text{ mg/m}^3$  und mit Futterzusatz  $0,77 \text{ mg}$  gemessen. Während im Frühjahr die Volumenströme zwischen der Varianten auf annähernd vergleichbarem Niveau lagen ( $3,21$  bzw.  $3,24 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tpl.}$ ), waren die Volumenströme im Sommer in der Variante mit Futterzusatz deutlich höher ( $4,26 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tpl.}$ ) gegenüber ohne Zusatz ( $3,39 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tpl.}$ ). Dennoch wurden im Sommer (mit Futterzusatz) deutlich geringere Massenströme ( $0,96 \text{ g/h} \cdot \text{GV}$ ) gegenüber der Variante ohne Zusatz ( $1,57 \text{ g}$ ) ermittelt. Die Massenströme zwischen den Varianten unterschieden sich in der Klimaklasse Frühling signifikant, jedoch nur geringfügig ( $0,60$  bzw.  $0,54 \text{ g/h} \cdot \text{GV}$ ). Im Sommer kann hieraus tendenziell ein ammoniaksenkender Einfluss des Futterzusatzes auf die Stallkonzentration an Ammoniak abgeleitet werden. Ohne diese Niveausenkung würden die höheren Volumenströme auch zu höheren Massenströmen führen. Inwieweit die erhöhte Luftwechselrate einen Beitrag zur Senkung der Ammoniakkonzentration geleistet hat, kann nicht abgegrenzt werden. Der geringere Effekt des Einsatzes des Futterzusatzes im Frühjahr kann auf Anpassungsprozesse im Stoffwechsel von Henne und Bioaerosol im Stall zurückgeführt werden.

## 4.4 Tiergesundheit

Die Einstellung der Hennen erfolgte in den Jahren 2007 und 2008 im März. Zu diesem Zeitpunkt waren die Hennen im Mittel 127 Tage alt. Zur 20. Lebenswoche wogen die Tiere bei Stichprobenwägungen im Mittel  $1,36 \text{ kg}$  in der ersten und  $1,56 \text{ kg}$  in der zweiten Stallbelegung. Hiermit lagen sie leicht unter den Züchternvorgaben zwischen  $1,58 - 1,69 \text{ kg}$ . Die Herde der Stallbelegung 2007 verließen  $9,5 \%$  der eingestellten Tiere vorzeitig. Davon verendeten  $7,7 \%$ ,  $1,8 \%$  wurden vorzeitig geschlachtet und verkauft (Abb. 47). In der zweiten untersuchten Hennenherde verendeten  $8,5 \%$  der Tiere. Hiervon wurden  $1,4 \%$  der Tiere erdrückt. Durch vorzeitige Schlachtung wurden hier nur  $0,1 \%$  der Tiere für den Verkauf bereitgestellt. Der Gesundheitszustand der Herden war über die Haltungszeiträume (um die 350 Tage) gut. Die Herden präsentierten sich mit fortschreitender Haltungsdauer in einem vergleichbaren guten Erscheinungsbild (Abb. 48). Das Gefieder war selbst nach der 65. Lebenswoche nur defekt. Ein großer Anteil hatte noch ein intaktes Gefieder. Das ist insbesondere im Kontext mit der Nutzung des Außenklimabereiches (Wintergarten und Auslauf) wichtig. Der Auslauf wurde durch die Hennen an  $76$  bzw.  $78 \%$  der Haltungsstage über acht Stunden täglich genutzt. Der Einsatz von Antibiotika erfolgte kurativ und in Ergänzung mit einer Vitamingabe. Nachimpfungen erfolgten gegen infektiöse Bronchitis.

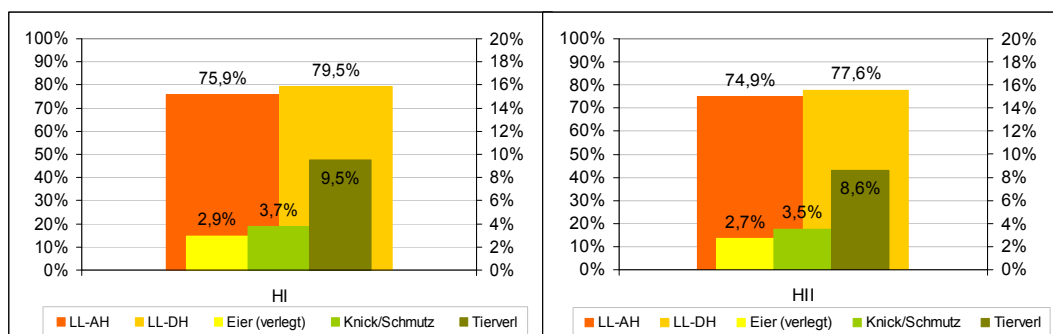


Abbildung 47: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand



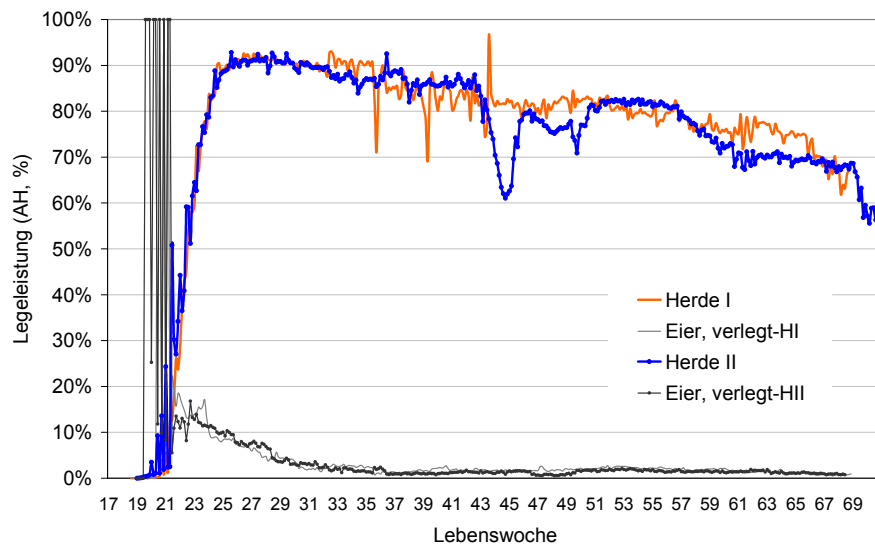
Abbildung 48: Gefiederzustand der Hennenherde mit fortschreitender Haltungsdauer

Kotkonsistenz und Tierverhalten wiesen auf keine Störungen im Stoffwechsel und nur mäßigen Ektoparasitenbefall hin. Gegen Ende der Stallbelegungen ist eine Zunahme der Population der roten Vogelmilbe zu erkennen. Federpicken wird in den Herden kaum erkannt. Die Federn in der Einstreu zeigen, dass das Federpicken nur geringen Einfluss auf die Herdengesundheit zeigt. Im Kontext mit den touchierten Schnäbeln treten keine nennenswerten Verletzungen auf und der damit oft verbundene Kannibalismus ist nicht zu beobachten.

## 4.5 Betriebswirtschaft

### Naturalleistungen der Herden

Herkunftsvergleiche unter Praxisbedingungen ergaben, dass in vergleichbaren Haltungssystemen Legeleistungen von 77 % je Durchschnittshenne erreicht werden (DAMME 2003). Unter Berücksichtigung praxisrelevanter Tierverluste von ca. 10 % bedeutet das eine Leistung von ca. 73 % je eingestellte Henne (Anfangshenne). Die Leistungsentwicklungen der Herden werden in der Abbildung 49 im Verlauf der Haltungsdauer dargestellt.



**Abbildung 49: Herdenleistung und Eiverluste im Hennenbestand**

Die Legeleistungen in den untersuchten Herden lagen zwischen 75 und 76 % je Anfangshenne. Die Legereife wurde um die 23. Lebenswoche erreicht. Bereits mit 27 Wochen wurde ein Leistungsniveau von über 90 % erreicht. Dieses Niveau wird in Herde I (2007/08) tendenziell leicht rückläufig gehalten. Auffällig sind ausgeprägte Variationen und ein deutlicher Rückgang der Legeleistung nach lang gehaltenem hohem Niveau ab der 65. Woche. Die zweite Herde (2008/2009) zeigt eine geringere Variation bei der Legeleistung, fällt jedoch mit der 42. Lebenswoche deutlich ab. Trotz umfangreicher Untersuchungen wurde hierfür bisher keine belastbare Ursache gefunden. Mit der 46. Lebenswoche wird das Vergleichsniveau wieder annähernd erreicht. Entgegen den Erwartungen erreicht Herde II zur 51. Lebenswoche das Vergleichsniveau der Herde I wieder. Mit der 58. Lebenswoche beginnend fällt die Legeleistung in Herde II unter das Vergleichsniveau der Herde I. Durch Vorbefunde gestützt sollte eine ununterbrochene Nutzung der Hennen über die 69. Lebenswoche hinaus in der Praxis nicht erfolgen. Die weiteren Leistungs- und Tierverluste erzwingen geradezu eine Ausstallung oder Legepause. Durch ein gutes Herdenmanagement wurde der anfangs hohe Anteil an verlegten Eiern auf ein Niveau um die 3 % reduziert. Auf vergleichbarem Niveau ist der Anteil an Schmutz- und Knickeiern. Die Hennen der Herde I und II konnten an 263 bzw. 272 Tagen den Auslauf bis zu acht Stunden täglich nutzen. Der Futteraufwand lag dabei bei ca. 116 g je Henne am Tag. Hiermit korrespondiert der tägliche Wasserverbrauch von ca. 190 ml gut. Dieser recht gute Futteraufwand ist insbesondere herauszustellen, weil zur Sicherung einer guten Stallbelüftung im Winter Stalllufttemperaturen um 10 °C toleriert werden.

### Stückkosten

Der betriebswirtschaftliche Erfolg und Fortbestand einer Tierhaltung beruht auf einem tierleistungsbezogenen Kostenmanagement. Aufgrund deutlich variierender Aufwendungen wurden in der Tabelle 36 die Kostenspannen einer der untersuchten Hennenhaltung vergleichbaren Freilandhaltung anhand von Praxisdaten zusammengestellt. Hierbei ist die Bewertungsgrenze die unsortierte Ware am Stall.

**Tabelle 36: Stückkosten der Eierproduktion in einer Freilandhaltung**

Kostenart	von		bis	
	Cent/Ei	%	Cent/Ei	%
Direkt	4,29	68	6,51	75
Arbeitserledigung	1,18	19	1,26	14
Gebäude	0,56	9	0,68	8
sonstige	0,25	4	0,25	3
Stückkosten	6,27	100	8,70	100

Die Direktkosten – insbesondere Aufwendungen für Futter und Bestandergänzung – umfassen ca. 70 % der Gesamtkosten. Der Anteil steigt in Jahren mit hohen Futterkosten auf bis zu 75 % an. Gegenüber bisherigen Ergebnissen, Kostenanteil von 64 % (LIPPMANN 2007) sind diese Kosten insgesamt gestiegen. Deutlich darunter rangieren mit 14 – 19 % die Arbeiterledigungskosten an zweiter Stelle. Zur Optimierung der Kostenstruktur werden zunehmend durch eine Arbeitskraft in den großen Bodenhaltungssystemen bis zu 20.000 Hennenplätze betreut. Ca. 9 % der Stückkosten werden für den Standort aufgewendet. 3 – 4 % der Kosten fallen für allgemeine Betriebskosten an. Hieraus entstehen Stückkosten zwischen ca. 6 und 9 Cent je vermarktungsfähiges Ei. DAMME (2006) ermittelte Produktionsstückkosten in Bodenhaltungssystemen ohne Auslauf zwischen 6,5 und 8,2 Cent.

## 5 Fazit

- Der Gesundheitszustand der Hennenherden ist über die gesamte Haltungsperiode gut. Die Legeleistung steigt mit der 27 Lebenswoche auf über 90 % an und wird mit leicht rückläufiger Tendenz über weite Haltungsabschnitte um 80 % gehalten. Die Legeleistung je Anfangshenne betrug ca. 75 %.
- Eine ununterbrochene Nutzung der Hennen über die 69. Lebenswoche hinaus sollte nicht erfolgen, weil ab diesem Zeitpunkt der Leistungsrückgang und die Tierverluste deutlich hervortreten. Hier ist eine Ausstallung oder Legepause sinnvoll.
- Der Knick- und Schmutzeieranteil kann in den Bodenhaltungssystemen 3,5 % betragen, die gesundheitsbedingten Tierverluste unter 8 %.
- Bei einer variablen Kostenstruktur können in den untersuchten Bodenhaltungssystemen Eier zu Stückkosten zwischen 6,3 und 8,7 Cent produziert werden.
- Die mittlere Stalllufttemperatur und -feuchte variiert in Abhängigkeit der Umfeldtemperatur innerhalb des leistungsorientierten Optimalbereiches für Legehennen. Mit einer Modifikation von Wassermenge und Einsatzfrequenz einer Luftbefeuchtungsanlage mit Wasser wurde die sonst in Volieren geringe Stallluftfeuchte (um 50 %) im Mittel auf 60 % - 70 % angehoben.
- Das Lüftungssystem erzeugte in den Klimaklassen Frühling, Sommer, Herbst und Winter mittlere stündliche Luftwechselraten je Tierplatz von 3,22 m<sup>3</sup>, 3,82 m<sup>3</sup>, 2,19 m<sup>3</sup> und 2,02 m<sup>3</sup>. Bei einem mittleren Unterdruck im Stall zwischen 1 und 11 Pa ist das Lüftungssystem teilweise recht instabil. Die Öffnung der Auslaufklappen mindert den Unterdruck um ca. 50 %.
- Die gasförmigen Stallraumlasten liegen im Vergleich zu Vorbefunden auf niedrigem Niveau. In der Stallluft werden Ammoniakkonzentrationen im Mittel zwischen 0,6 – 5,4 mg/m<sup>3</sup> im Jahresverlauf gemessen. Die Kohlendioxidkonzentrationen variieren zwischen 1.396 und 2.192 mg/m<sup>3</sup>. Lachgas (0,3 – 1,1 mg/m<sup>3</sup>) und Methan (1,7 – 5,2 mg/m<sup>3</sup>) liegen weitgehend auf Zuluftniveau.
- Das Konzentrationsniveau innerhalb und außerhalb des Stalls differiert in den wärmeren Außenklimaklassen nur geringfügig. Die Auswertung von Ammoniakkonzentration und Windrichtung belegt keinen Einfluss über die Windanströmung des Stalls.
- Aufgrund der geringen Konzentrationsdifferenzen zwischen Abluft- und Zuluftstrom sowie der deutlich niedrigeren Ammoniakkonzentrationen im Luv der Stallung (Passivsammler) wurde bei der Berechnung der Massenströme von Ammoniak, Methan und Lachgas auf den Abzug einer Vorbelastung verzichtet. Für Kohlendioxid wurde eine fixe Vorbelastung der Zuluft von 748 mg/m<sup>3</sup> berücksichtigt.
- Auf der Grundlage von 365 Haltungstagen im Jahr wurden nachfolgende Emissionsfaktoren zur Berechnung der Jahresfracht ermittelt:

■ Ammoniak	41 g/Tpl.
■ Lachgas	16 g/Tpl.
■ Methan	80 g/Tpl.
■ Kohlendioxid	19 kg/Tpl.
- Die Kalkulation von Ammoniakemissionsfaktoren auf der Basis von Zeitfenstermessungen weichen von den errechneten Emissionen ab. Hierbei unterscheiden sich die willkürlich unterteilten Teildatensätze (jeweils 14 Tage) signifikant voneinander.
- Zur realistischen Abbildung der jährlichen Emissionen sollten die Messungen in Tierhaltungssystemen möglichst lange (mindestens 14 Tage) und jeden Außentemperaturbereich erfassende (mindestens vier) Messzeitfenster berücksichtigen.
- Lineare Beziehungen zwischen der Außentemperatur und dem Ammoniakmassenstrom im Jahresverlauf existieren nicht, demgegenüber jedoch zwischen Außentemperatur und Volumenstrom.
- Die Staubgehalte in der Abluft unterliegen einem typischen Tagedegang. Die mittlere Tageskonzentration im Abluftstrom wurde

in Abhängigkeit vom Außenklima zwischen 1,2 und 9,0 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Der Anteil von PM-10 und PM-2.5 am Gesamtstaub betrug 80 bzw. 30 %. Für Gesamtstaub wurde ein Emissionsfaktor von 145,4 g/Tpl. zur Berechnung der Jahresemissionen ermittelt.

- Die Gesamtkeimzahl an Bakterien im Umfeld des Stalls ist bei niedrigen Außentemperaturen geringer als im Sommer. Tendenziell trifft das auch für Schimmelpilze und Hefen zu.
- Beide Gehaltswerte korrespondieren zwischen Stall- und Abluft gut. Der Keimgehalt ist in der Stallluft gegenüber der Abluft um den Faktor 10 höher.
- Humanpathogene Keime in der Abluft wurden nur in einer von neun Messungen isoliert.
- Die Bakterienkonzentration in der Stall- und Abluft korrespondiert mit der Konzentration von Partikeln kleiner 2,5 µm und von Methan. Das trifft für Schimmelpilze nicht zu.
- Die in den Außenklimabereichen ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen (Geruchsschwelle) im Abluftstrom liegen zwischen 25 und 115 GE/m<sup>3</sup>. Die mittleren Referenzwerte der Außenluft liegen bei 19 GE.
- Der Emissionsfaktor für Geruch beträgt 15 GE/s\*GV. Dieser liegt nur geringfügig oberhalb bisheriger Befunde.
- Die Ammoniakmessungen über der Auslauffläche wiesen keine nennenswerten Konzentrationen nach, somit kann ein Anteil der Fläche an der Gesamtemission am Standort nicht nachgewiesen werden.
- Der Windstrom überstreift die Haltung zu über 50 % aus süd- bis westlicher Richtung. Damit liegen die Immissionsmesspunkte auf der Auslauffläche zu annähernd 60 % der Anströmungssituationen in der Abluffahne des Stalls.
- Die Immissionswerte für Ammoniak zeigen, dass das Stallumfeld vergleichbare Vorbelastungen wie in landwirtschaftlich genutzten Gebiete hat, der Emittent Stall bereits in einem Abstand von 40 m zum Stall die höchsten Luftkonzentrationen verursacht und nach 350 m annähernd die Hintergrundbelastung wieder erreicht ist.
- Die Deposition an Ammonium- und Nitratstickstoff überschreitet in einem Abstand zum Stall von 40 m das Hintergrundniveau deutlich. Die Nitratablagerungen sind nach 230 m auf Hintergrundniveau, Ammonium hat nach 350 m noch ein erhöhtes Niveau.
- Unter Abzug der nicht dem Stall zuzurechnenden Hintergrundkonzentrationen verursacht der Stall im Nahbereich (40 m) eine Stickstoffdeposition von 18 kg/ha. Ab 230 m Distanz werden nur noch ca. 3 kg/ha deponiert.
- Zwischen der Abluftkonzentration an Ammoniak und der Ammoniakemission (Massenstrom) bestehen Zusammenhänge.
- Zwischen der Abluftkonzentration an Ammoniak und Luftkonzentration am Immissionsort (80 m vom Stall) wurden etwas schwächere Zusammenhänge gefunden.
- Keine Beziehungen wurden zwischen Ammoniakemission und Stickstoffdeposition bzw. der Ammoniakkonzentration in der Abluft gefunden.
- Zwischen der Ammoniakkonzentration im Abluftstrom und in der Luft 80 m vom Stallentfernt bestehen Zusammenhänge.
- Die Simulation des Stickstoffflusses am Standort des Hennenstalls mittels Ausbreitungsberechnung und bei Verwendung der gemessenen Quellstärke unterschätzt im Nahbereich bis 230 m die tatsächlichen Immissionen. Nach gezielter Datenselektion wird das Immissionsgeschehen besser abgebildet und es ist unter Verwendung von Ammoniakimmissionsmessdaten möglich, den über Messwerte ermittelten Massenstrom an Ammoniak aus dem Stall im Rechenmodell abzubilden (Messfehler +/- 20 %).
- Im Hennenbestand wird eine leistungsangepasste Phasenfütterung umgesetzt und hat so einen wesentlichen Einfluss auf die geringen Konzentrationen an stickstoffhaltigen Stallraumlasten.
- Der Einsatz des Futterzusatzes (Natriumalginat) erfolgte mit einer automatischen Zumischung der Vormischung in den Futterstrom. Hierbei kamen ca. 6 g je 100 kg Lebendmasse zum Einsatz.
- Gegenüber den Vergleichsherden ist in der Herde mit Zufütterung eine deutliche Körpermassezunahme von + 200 g festzuhalten. Ursache hierfür wird in einer besseren Futterverwertung gesehen. Ein Anstieg der Legeleistung erfolgte nicht.
- Die Tierverluste liegen im untersuchten Haltungsabschnitt gegenüber der Stallbelegung ohne Zufütterung auf niedrigerem Niveau.
- Im Einstreu und Frischkot wurden mit Zufütterung geringere Gesamtstickstoffkonzentrationen festgestellt. Die Ammoniakkonzentrationen im Abluftstrom waren mit der Zufütterung signifikant geringer. Das hatte auch einen signifikant niedrigeren Massenstrom zur Folge.



## Quellenverzeichnis

- ACHILLES, W., FÖLSCH, D. W., FREIBERGER, M. et al. (2002): Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 399, Darmstadt
- ADAM, T. (1973): Toleranzgrenzen für gasförmige Umweltfaktoren. Züchtungskunde 45 (3): 162-178
- AG MLUR (2003): Arbeitsgruppe des MLUR „Immissionsschutz von Tieranlagen“: Handlungsrahmen zur Beurteilung von Wald-ökosystemen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen
- AHLROTH, M. K., KOLA, E. H., EWALD, D., MASABANDA, J., SAZANOV, A., FRIES, R. & M. S. KULOMAA (2000): Characterization and chromosomal localization of the chicken avidin gene family. Anim. Genet., 31(6), 367-75.
- ALDAG, R. & H. DÖHLER (1987): Messung der Ammoniakemission nach der Gülleausbringung im Freiland. Schlußbericht, Forschungsauftrag 86 HS 010 BML
- AL-MASHHADANI, E. H. & M. BECK (1985): Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of lung and trachea of broiler chicks. Poultry Sci. 64: 2056 - 2061
- ANDERSSON, R., NÜRNBERG, M., PIEPER, H. & P. HILLER (2005): Die bedarfsgerechte Proteinversorgung in der ökologischen Legehennenhaltung unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäureversorgung im Rahmen der 100%igen Biofütterung. Abschlussbericht, Fakultät Agrarwissenschaften Osnabrück
- ANONYM (2002): Feinstaub – Neue Herausforderung für saubere Luft? Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
- ANGER, M. (2001): Kalkulation der umweltbelastenden Stickstoffverluste auf Dauergrünland und Bewertung des nachhaltigen Stickstoffeinsatzes im Grünlandbetrieb. Habilschrift, Univ. Bonn
- ANGERSBACH-HEGER, S. (2002): Untersuchungen zur Emission und Verfrachtung luftgetragener Mikroorganismen von Auslauf-flächen einer Legehennenfreilandhaltung. Diss. TiHo Hannover
- ASMAN, W.A.H., PINKSTERBOER, E.F. & H.F.M. MAAS (1989): Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: model results and measurements. Atmos. Environ. 23, 2259-2265
- AUSBREITUNGSMODELL LASAT: Referenzbuch zu Version 2.14. Ingenieurbüro Janicke, Dunum, 174
- BACHMANN, K. & W. FROSCHE (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
- BERG, W., HÖRNIG, G. & U. WANKA (2001): Ammoniakemissionen bei der Lagerung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen. In: Emissionen der Tierhaltung, KTBL-Schrift 406, 151-162
- BERRY, N., ZEYER, K., EMMENEGGER, L. & M. KECK (2005): Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Forschungsbericht, Agroscoop FAT Tänikon, Empa
- BESSEI, W. & K. DAMME (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 378
- BIOSTOFFVO (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, B Arb.B1 1/2006, S 41
- BVT-MERKBLATT (2003): Beste verfügbare Techniken der Intensivhaltung von Geflügel und Schweinen. Bundesumweltamt
- BÖTTCHER, W. & U. SCHMIDT (2006): Statistische Angaben zum Eier- und Geflügelmarkt. In: Geflügeljahrbuch 2006: 42 ff, Ulmer Verlag Stuttgart
- BOEKER, P., WITTKOWSKI, M., WALLENFANG, O., KOSTER, F., GIEBEL, M., DIEKMANN, B. & P. LAMMERS (2001): Tracermessungen zur Validierung von Geruchsmodellen. Agrartechn. Forschung 7, 32-36
- BOEKER, B. (2003): Die Objektivierung des Geruchseindrucks – Messung und Modellierung. Habilschrift, Bonn
- BREGENDAHL, K. & S. ROBERTS (2006): Nutritional strategies to reduce ammonia emissions from laying hens. Midwest Poultry Federation Convention, St. Paul
- BROER, L., BECKER, T., DEGENHARDT, A. & F. LORENZ (2006): Messmethodik und Beurteilung der Emissionsminderung von Ammoniak und Geruch in der Geflügelhaltung durch Einbringen eines Additivs über das Tränkwasser und die Sprühvernebelung in den Stallraum. In: Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449, 283-287
- BRUNSCH, R. & H. J. MÜLLER (2005): Emissionsfaktoren der Geflügelhaltung und deren Dynamik. Landtechnik 60, 164-165
- BUSSINK, D. W. (1990): Ammoniakemissionen aus Rindviehhaltung beim Weiden. KTBL-Schrift 26.1-26.9
- CABUK, M., ALCICEK, A., BOUKURT, M. & S. AKKAN (2004): Effect of Yucca shidigera and natural zeolite on broiler performance. Int. J. Poultry Sci. 3, 651-654

- DAMME, K. (1998): In: BESSEI, W. & K. DAMME (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung, KTBL-Schrift 378, KTBL Schriftenvertrieb Münster-Hiltrup, S. 61
- DAMME, K. & R.-A. HILDEBRAND (2002): Geflügelhaltung. Ulmer Verlag Stuttgart
- DAMME, K. (2003): Eierzeugung in alternativen Haltungssystemen. Wie sich verschiedene Legehybriden dafür eignen. DGS Magazin 27, 12-18
- DAMME, K. (2006): Faustzahlen der Betriebswirtschaft. In: Geflügeljahrbuch 2006. Ulmer Verlag Stuttgart
- DÄMMGEN, U., GRÜNHAGE, L., KÜSTERS, S., ZIMMERLING, R. & H. J. JÄGER (1992): Konzentration und Flüsse reaktiver Stickstoffspezies in der bodennahen Atmosphäre – Messungen über landwirtschaftlichen Nutzflächen im Raum Braunschweig. Braunschw. Naturkundl. Schr.
- DÄMMGEN, U. & J. W. ERISMAN (2006): Emissionen, Ausbreitung und Immission von Ammoniak und Ammonium – Übersicht über den gegenwärtigen Stand des Wissens. In: Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449, 65-78 DBV (2008): Situationsbericht 2008. DBV Berlin
- DEATON, I. W. (1982): Effect of atmospheric ammonia on laying hen performance. Poultry Sci. 61 (9): 1815-1817
- DEPTA, G. (2000): Optimierung und Validierung der FTIR-Spektroskopie für die Erfassung von Spurengasen-Emissionsraten aus landwirtschaftlichen Quellen. Diss., München
- 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 Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel
- DONHAM, 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, 405 – 418
- ELO, H. A., KULOMAA, M. S. & P. J. TUOHIMAA (1979): Avidin induction by tissue injury and Inflammation in male and female chickens. Comp. Biochem. Physiol. B. 62(3), 237
- ELSON, H.A. & R. CROXALL (2006): Vergleichende europäische Studie zum Wohlbefinden von Legehennen in Käfig- und Nicht-Käfig-Systemen. Arch. Geflügelk. 70, 194-198
- ELWINGER, K. & L. SVENSON (1996): Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammoniaemission from broiler houses. J. Agric. Engng. Res. 64, 197-208
- ERISMAN, J.W., VERMETTEN, A. W. M. & E. F. PINKSTERBOER (1987): Atmospheric ammonia: Distribution, equilibrium with aerosols and conversion rate to ammonium. In: Ammonia and acidification: Symp. EURASAP, Bilthoven, Netherlands, 59-72
- FERGUSON, N. S., GATES, R. S., TARABA, J. L., CANTOR, A. H., PESCATORE, A. J., FORD, M. J. & D.J. BURNAHM (1998): The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. Poultry Sci. 77, 1481-1487
- 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): 140 – 145
- GEISER, F. (2001): Federpicken: Es gibt Gegenmittel. BVET-Magazin 1/2001, 13-15
- GIRL - Geruchsimmissionsrichtlinie (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen. 29.2.2008
- GOETHEL, M. (1980): Untersuchung ausgewählter Quellen und Senken des atmosphärischen Ammoniaks mit einem neuen Probenahmeverfahren. Dipl.arb., Inst. F. Meteorologie und Geophysik, Univ. Frankfurt
- 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, 73-87
- HAFEZ, H. M., MAZAHERI, A., PRUSAS, C., BÖHLAND, K., PÖPPEL, M. & D. SCHULZE (2001): Aktuelle Geflügelkrankheiten bei Legehennen im Zusammenhang mit alternativen Haltungssystemen. Tierärztl. Praxis 29 (G), 168-174
- HAFEZ, H. M. (2004): Stand und Probleme der Legehennengesundheit. In DGfZ-Schriftenreihe 36, 90 - 97
- HADWIGER-FANGMEIER, A., FANGMEIER, A. & H. J. JÄGER (Literaturübersicht 1992): Ammoniak in der bodennahen Atmosphäre – Emission, Immission und Auswirkungen auf terrestrische Ökosysteme. Gießen
- HARTMANN, U., GÄRTNER, A., HÖLTSCHER, M., KÖLLNER, B. & L. JANICKE: Untersuchungen zum Verhalten von Abluffahnen landwirtschaftlicher Anlagen in der Atmosphäre.
- HARRISON, R. M. & A. G. ALLEN (1990): Measurement of atmospheric HNO<sub>3</sub>, HCL and associated species on a small network in Eastern England. Atmos. Envir. 24, 369-376

- HARTUNG, J. (1990): Luftgetragene Emissionen der Tierhaltung. Tagung „Allergie und Umwelt“, Vechta Nov. 1990, Ärztekammer Niedersachsen
- HARTUNG, J. (2005): So vermeiden Sie Staub und Pilze. DLG-Mitteilung 9/2005, 16-18
- HELD, A., WRZESINSKY, T., MANGOLD, A., GERCHAU, J. & O. KLEMM (2002): Atmospheric phase distribution of oxidized and reduced nitrogen at a forest ecosystem research site. *Chemosphere* 48, 697-706.
- HELLEBRAND, H.J., SCHOLZ, V., KERN, J. & Y. KAVDIR (2005): N<sub>2</sub>O-Freisetzung beim Anbau von Energiepflanzen. *Landtechnik* 60, 272-273
- HELLER, D. & R. RABE (2001): Ausbreitung von Bioaerosolen aus Kompostierungsanlagen unterschiedlicher Bauart. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 61 Nr. 6, 245-253
- HENNENHALTUNGS-VO, 1. VO zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2001). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 16, Bonn, 12.3.2002
- HILLGER, H. G. (1991): Emissionen von Staub und Keimen aus Ställen. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 98, 257-261
- HINZ, T. (2005): Messungen luftgetragener Partikel in und aus der Geflügelhaltung. *Landtechnik* 2/2005, 100-101
- HONGWEI, X.; DE SHAZER, J. A. & M. M. BECK (1987): Post effect of ammonia on energetics of laying hens at high temperatures. *Transactins of ASAE* 30, 1121 - 1125
- HOOP, R. (2002): Escherichia coli-Infektionen des Huhnes. Eine unterschätzte Gefahr in der alternativen Geflügelhaltung. *DGS Magazin* 40/2002, 38-40
- HOPPENHEIDT, K. (2002): Bioaerosole als Bestandteile von Feinstäuben. Tagungsband zur Fachtagung 14.2.2002, München
- HÖRNIG, G. & R. BRUNSCH (2000): Tränkwasserzusatz senkt Emissionen aus Broilerställen. *DGS Magazin* 18, 25-29
- HÖRNING, B. & D. W. FÖLSCH (1999): Bewertung ausgestalteter Käfige für Legehennenhaltung unter Tierschutzaspekten. *Gutachten Univ. Kassel*
- IVANOVA-PENEVA, S. G. & A. J. A. AARNINK (2005): Ammonia emissions in organic pig production. In: 7. Tagung Bau, Technik, Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Braunschweig, 277-282
- JAMROZ, D., ORDA, J., SKORUPINSKA, J. & A. WILICZKIEWICZ (1996): Reduzierung der Stickstoffausscheidung von Legehennen durch verminderten Gehalt an Rohprotein im Futter und durch Supplementierung mit Wirkstoffen. *Arch. Geflügelk.* 60, 72-79.
- JEROCH, H. & S. DÄNICKE (2003): Faustzahlen zur Geflügelfütterung. *Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft* 2003, 107-132
- KEPPLER, C. (2003): Junghennenaufzucht in Tageslichtställen. Das Auftreten von Federpicken kann vermieden werden. *DGS Magazin* 27/2003, 19-24
- KEUTGEN, H., WURM, S. & S. UEBERSCHÄR (1999): Pathologisch-anatomische Untersuchungen bei Legehennen aus verschiedenen Haltungssystemen. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 106 (1999) 125- 188
- KLEMM, R. & S. UHLMANN (2000): Arbeitszeitbedarf in der Boden- und Freilandhaltung, *DGS-Magazin* 9/2000, 24 ff., Ulmer Verlag Stuttgart
- KOBYLINSKI, H. (1999): Außenklimastall für Hühner – etwas für Spezialisten. *DGS Magazin* 44: 18-20
- KÖLLNER, B. & D. HELLER (2006): Bioaerosol-Immissionen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen – Untersuchungsergebnisse aus NRW. In: *Emissionen der Tierhaltung. KTB-Schrift* 449, 278-282
- KÖLLNER, B., HELLER, D. & A. GÄRTNER (2005): Wirkungen von Bioaerosolen aus der Landwirtschaft – Erste Ergebnisse der LUA-Studie „Bioaerosole aus Tierställen“. In: *Mikrobielle Luftverunreinigungen. KRDL, VDI-Schriftenreihe* 35, 209-217
- KRDL (1992): Typische Konzentrationen von Spurenstoffen in der Troposphäre. *Anorganische Verbindungen (einschließlich organischer Schwefelverbindungen). Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Schriftenreihe Band* 10, 1-104
- 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
- KTBL (2002): *KTBL-Schrift* 399, Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung
- KANSWOHL, N. & TREPTOW, C. (2003): Staub- und Schadgasgehalte, Legeleistung, Futterverbrauch, Parasitenbelastung sowie Krankheitsgeschehen und Mortalität in konventionellen und alternativen Haltungssystemen für Legehennen. *ISPA Weiße Reihe Band* 22, 45-53
- KESHAVARZ, K. & R. E. AUSTIC (2004): The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. *Poultry Sci.* 83, 75-83

- KIM, W.K. & P. H. PATTERSON (2005): Effects of dietary zinc supplementation on the hen performance, ammonia volatilization, and nitrogen retention in manure. *J. Environ. Sci. Health, B* 40, 675-686
- KIRCHNER, M., BRAEUTIGAM, S., FEICHT, E. A. & A. KETTRUP (2002): Durchführung von Immissions- und Depositionsmessungen im Rahmen einer Anlage zur Junghennenaufzucht – Ermittlung der Ammoniakimmissionskonzentration und Ammonium- und Nitratdeposition. Abschlussbericht, Klatovy
- KNIERIEM, (2003): Merbitzer Geflügeltagung. Vortrag Celle 2003
- KIENRIM, U., STAACK, M. & C. KEPPLER (2007): Erarbeitung von Mindestanforderungen für die Junghennenaufzucht 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., SCHNEIDER, B., SCHÄL, J. & S. GLASER (2003): EpiLeg - Epidemiologische Studie. TiHo Hannover
- KUNNAS, T. A., WALLIN, M. J. & M. S. KULOMAA (1993): Induction of chicken avidin and related mRNAs after bacterial infection. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1216(3), 441-5.
- LATTEMAND, D. (2000): Einfluss einer Xylanase und von Flavophospholipol allein und in Kombination auf die Leistung, die Verdaulichkeit der Nährstoffe sowie die intestinale Mikroflora bei Legehennen. Diss. 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
- LEICK, B. C. E. (2003): Emission von Ammoniak und Lachgas von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Diss. Univ. Hohenheim
- LEINKER, M. (2007): Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren. Diss., Halle
- LETTNER, F. & F. PREINIG (1993): Verringerung der Stickstoffausscheidung bei Legehennen. *Der Förderungsdienst* 41, 110-112
- LEYENDECKER, M., HAMANN, H., HARTUNG, J., GLÜNDER, G., NAGOSSEK, N., NEUMANN, U., KAMPHUES, J. & O. DISTL (2002): Untersuchungen zur Schalenfestigkeit und Knochenstabilität von Legehennen in drei verschiedenen Haltungsformen. *Züchtungskunde* 74, 144-155
- LFUG (2003): Quellstärkenbestimmung diffuser Quellen mittels DOAS-Trassenmessung und inverser Ausbreitungsmodellierung. Abschlussbericht Eigenforschungsvorhaben, Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz
- LFUG (2002): Anlage zum Erlass vom 30.7.2002, Az 53-8823.07
- LAI-Bericht (2006): Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen.
- LIANG, Y., XIN, H., GATES, R. S. & R. F. WHEELER (2003): Updates on ammonia emission from Iowa layer houses. In: Iowa Egg Industry Symp., Ames, 29-34
- LICKTEIG, E. (2006): Vergleich der zwei Legehennenlinien Lohmann Selected Leghorn-Classic und Lohmann Brown-Classic unter den Bedingungen des Feldversuchs im Bezug auf Verhalten, Gesundheit und Leistung in Volierenhaltung. Diss., München
- LIPPMANN, J. (2007): Emissionsminderung in der Legehennenhaltung. Schriftenreihe Heft 3/2007, Sächs. Landesanstalt für Landwirtschaft
- LOCKYER, D. R. & D. C. WHITEHEAD (1990): Volatilization of ammonia from cattle urine applied to grassland. *Soil Biol. Biochem.* 22, 1131-1142
- LÜKE, M., R. POTTGÜTER & M. GRASHORN (2007): Legehennenhaltung, DLG-Merkblatt 343
- LÜKE, M., I. SIMON & J. STEGEMANN (2005): Haltungssysteme für Legehennen im Vergleich. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Bad Sassendorf
- LUNG, T., MÜLLER, H. J., GLÄSER, M. & B. MÖLLER (2002): Messung und Modellierung von Konzentrationsfluktuationen im Naturmaßstab. *Agrartechn. Forschung* 8, 5-15
- LUTZ, B. (1983): Adsorption von luftgetragenen Viruspartikeln an organische und anorganische Trägersubstanzen der Stallluft. Diss., Univ. Gießen, Veterinärmed. Fak.
- MAHBOUB, H., BORELL, V. E. & J. MÜLLER (2002): Feather pecking in laying hens with free access to outdoor enclosures. *Archiv für Geflügelkunde* 66 Sonderheft II, 79
- MEHLHORN, G. (1979): Lehrbuch der Tierhygiene. Bd.1, G. Fischer Verlag Jena (zit. bei SEEDORF & HARTUNG 2002)
- MELUZZI, A., SIRRI, F., TALLARICO, N. & A. FRANCHINI (2001): Nitrogen retention and performance of brown laying hens on diets with different protein content and constant concentration of amino acids and energy. *Brit. Poultry Sci.* 42, 213-217
- MISSELBROOK, T. H., WEBB, J., CHADWICK, D. R., ELLIS, S. & B. F. PAIN (2001): Gaseous emissions from outdoor concrete yards used by livestock. *Atmos. Environ.* 35, 5331-5338

- MOTZ, I. & H. D. KUTZBACH (2002): Lachgasemissionen nach Bodenverdichtungen. *Landtechnik* 57, 166-167
- MOTZ, I. (2003): Einfluss von Bodenbearbeitung, Düngung und Fruchtfolge auf die Lachgasemissionen aus Ackerflächen. Diss. Univ. Hohenheim
- MÜLLER, H.-J. (2003): Stallluftqualität und Emissionen. *Landtechnik* 58: 198 – 199
- MÜLLER, H.-J. (2004): Gasemissionen aus Geflügelhaltungen. *Landtechnik* 59: 222 – 223
- MÜLLER, W., WIESER, P. & H. KÜHNE (1978): Zur Frage der Ausbreitung von Luftkeimen aus Tierställen. *Zbl. Vet. Mes. B.* 25: 216 – 224 (zit. bei SEEDORF & HARTUNG 2002)
- MÜLLER, H.-J., BOBRUTZKI, VON K. & D. SCHERER (2008): Ammoniakemissionen und -immissionen bei der Broilerhaltung. *Landtechnik* 63, 42-43
- MÜLLER, H. J., BRUNSCH, R. & W. BERG (2006): Ammoniakemissionsmassenströme in und um Tierhaltungsanlagen. In: *Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449*, 79-93
- MÜLLER, W. & P. WIESER (1987): Dust and microbial emissions from animal production. In: STRAUCH, D. (ed.): *Animal production and environmental health*. Elsevier Sci. Pub. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo
- NANNEN, C. & W. BÜSCHER (2007): Analyse der Zusammensetzung von Staubemissionen aus Ställen verschiedener Nutztierarten und Bestimmung des Gravimetriefaktors. Univ. Bonn, Agrarw. Fakultät, Schriftenreihe Nr. 144
- NAZEER, M.S., PASHA, T., N., ABBAS, S. & Z. ALI (2002): Effect of Yucca saponin on urease activity and development of ascities in broiler chickens. *Int. J. Poultry Sci.* 1, 174-178
- NESER, S. (2001): Gasförmige Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen. Diss. Uni München
- NESER, S. (2006): Partikelemission aus der Nutztierhaltung. In: *Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449*, 94-103
- NIEBUHR, K., ZALUDIK, K., ARHANT, C., SMALHODZIC, F. & A. WIMMER (2008): Evaluierung neuer Haltungssysteme am Beispiel von Volieren und neuer Käfigsysteme für Legehennen. 2. Zwischenbericht, *Vet.med. Univ. Wien*
- NIEBUHR, K., ZALUDIK, K., GRUBER, B., THEMAIER, I., LUGMAIR, A., BAUMUNG, R. & J. TROXLER (2006): Untersuchungen zum Auftreten von Kannibalismus und Federpicken in alternativen Legehennenhaltungen in Österreich – Empfehlungen für die Praxis. *Ländlicher Raum*, 1-21
- NIGHOT, P. K., KOLTE, G. N. & G. R. GHALSASI (2003): Ursachen von Atemwegserkrankungen. *DGS Magazin* 31/2003, 31
- OLOFFS, K., SAMLI, E. & H. JEROCH (2000): Untersuchungen zum Einfluß einer Xylanaseergänzung in Legehennenrationen auf Weizenbasis 1. Mitteilung: Auswirkungen auf die praecaecale und faecale Nährstoffverdaulichkeit sowie Umsetzbare Energie. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 84, 125-135
- PANDA, A. K., RAMA RAO, S. V., RAJU, M. V. L. N. & S. K. BHANJA (2005): Effect of microbial phytase on production performance of White Leghorn layers fed on a diet low in non-phytate phosphorus. *Brit. Poultry Sci.* 46, 464-469
- CASARTELLI, E. M., JUNQUEIRA, O. M. & A. C. LAURENTIZ (2005): Effect of phytase in laying hen diets with different phosphorus sources. *Braz. J. Poultry Sci.* 7, 93-98
- PAYNE, C. G. (1966): Practical aspects of environmental temperature for laying hens. *World's poultry science journal* 22 (2): 126 – 139
- PETERMANN, S. (2003): Legehennen in alternativen Haltungssystemen – Praktische Erfahrungen. *ISPA Weiße Reihe Band 22*, 1-9
- PETERSEN, J. (1996): *Jahrbuch der Geflügelwirtschaft*
- PLATZ, S., MATTHES, S. & H.-CH. LÖLIGER (1979): Untersuchungen zur Keimemission aus Geflügelintensivhaltungen und zur Tenazität von Bakterien in verschiedenen Bodenarten. *Wien. Tierärztliche Monatsschrift* 66. Jahrgang Heft 4
- PÖPPEL, M. (2003): Hennenhalter stehen fast vergessenen Krankheiten hilflos gegenüber. *DGS intern* 8/2003, 2
- PÖTTER, C. (2003): Einsatz von Möhrentrester in der Legehennenfütterung im Vergleich zu konventionellen Alleinfuttermitteln mit beziehungsweise ohne künstlichem  $\beta$ -Carotin. Diss. Hannover
- PREISINGER, R. (2004): Struktur und Entwicklung in der Legehennenhaltung. *DGFZ-Schriftenreihe* 36: 70 - 75
- PRIESMANN, T. (1992): Untersuchungen zu Stickstoffumwandlungen und -verlusten im Legehennenkot, Diss. Univ. Bonn
- PUPPE, B. (2003): Stressbewältigung und Wohlbefinden – verhaltensphysiologische Ansatzpunkte einer Gesundheitssicherung bei Tieren. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 46 Sonderheft, 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
- RATHMER, B. (2001): Optimierung und Validierung der FTIR-Spektroskopie für die Erfassung von Spurengas-Emissionsraten aus landwirtschaftlichen Quellen. Diss., München
- 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
- RYLANDER, R. (1997): Evaluation of the risks of endotoxin exposures. *Int. J. Occup. Environ. Health Suppl.* 3: 32-36.
- SARIKAS, G. (1976): Untersuchungen über Keim- und Staubemissionen aus Geflügelställen. Diss., TiHo Hannover
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT F. LANDWIRTSCHAFT (2004): Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen. Schriftenreihe 2004, Heft 8
- SCHÄUBLIN, H. (2008): Evaluation von Kotmenge und -gehalt bei Aufzucht- und Legehennen in verschiedenen Produktionsformen. Symposium Tier & Technik, Zollikofen
- SCHIEK, W. (1998): Keimmessungen in der Umgebung einer Hühnermastanlage. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 105, 246
- SCHMIDT, R. & S. HOY (1996): Untersuchungen zur Staubemission aus Geflügelintensivhaltungen Berl. Münch. tierärztl. Wschr. 109, 95-100
- SCHMITT, G., WALLENFANG, O., BÜSCHER, W. & B. DIEKMANN (2004): Partikelkonzentration in der Stallabluft. *Landtechnik* 29, 334-335
- SCHOBRIES, H., SCHULZE, L., ROTT, M. & G. REETZ (1986): Geflügelkrankheiten. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- SCHÖPF, K. & A. GRONAUER (2003): Geruchsimmissionen durch Außenklimaställe für Schweine. *Landtechnik* 58, 266-267
- SCHOLTYSSSEK, S. (1968): Handbuch der Geflügelproduktion. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart
- SCHRÖDL, W., IMAD, M., KRÜGER, M. & H. M. HAFEZ (2001): Untersuchungen zur Wechselwirkung von E. coli – Stamm Nissle 1917 (Mutaflor) und Salmonella Enteritidis auf serologische Parameter bei Broilern. Vortrag, Fachtagung Geflügel, 28.02.-01.03.2001 in Stendal, Germany.
- SCHÜMANN, A. (2008): Einfluss einer Auslaufstrukturierung mit Flachdächern auf die Gesundheit, Leistung und das Verhalten von Legehennen in Freilandhaltung. Diss., München
- SCHULZ, J., SEEDORF, J., FORMOSA, H. I., HARTUNG, J., SCHÜTZ, A., BAUMERT, R., SLABY, M., SEMBER, M. & K. PAVANETTO-BORN (2005): „Gesundheitliche Bewertung von Bioaerosolen aus Anlagen in der Tierintensivhaltung Teilprojekt A Erfassung und Modellierung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Geflügelställen“ – Abschlussbericht Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover. Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Hannover.
- SEEDORF, J. & HARTUNG, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. *KTBL-Schrift* 393, Münster
- SEEDORF, J. (2006): Bioaerosole in und aus der Tierhaltung – umwelthygienische Bedeutung und Messbarkeit. In: Emissionen der Tierhaltung. *KTBL-Schrift* 449, 2006
- SEEDORF, J. et al. (1998): A survey of ventilation rates in livestock buildings in northern Europe. *J. agric. Engng Res.* 70, 39 – 47
- SENATSKOMMISSION zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (2006): Aerosole. In: Deutsche Forschungsgemeinschaft, (ed). MAK- und BAT-Werte-Liste 2002. Weinheim. Wiley-VCH. 166-173.
- SHERLOCK, R. R., SOMMER, S. G., R. Z. KHAN et al. (2002): Ammonia, methane, and nitrous oxide emission from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *J. Environ. Qual.* 31, 1491-1501
- SIEBER, E. (2003): Quantifizierung von Geruchs-, Spurengas- und Staubemissionen und deren Emissionsquellen im Stall als Grundlage für den Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen. Diss. Univ. Halle
- SÖRGEL, C. (2004): Immissionen von Ammoniak im Umfeld zweier landwirtschaftlicher Betriebe. Dipl.arb. Landesamt für Umweltschutz, Karlsruhe
- STROH, K. & B. DJERADI (2004): Ammoniak und Ammonium. Umweltberatung Bayern, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, [http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/chem/stoff/ammoniak\\_2004.pdf](http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/chem/stoff/ammoniak_2004.pdf)
- TAKAI, (1998): *Journal of Agric. Engineering Research*, Vol. 70, 1.
- TA-LUFT (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. *GMBI.* 2002, Heft 25 – 29, 511 – 605
- THOMPSON, R. B., PAIN, B. F. & Y. J. REES (1990): Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. H. Influence of application rate, wind speed and applying slurry in narrow bands. *Plant and Soil* 125, 119-128
- THOMPSON, R. B., PAIN, B. F. & D. R. LOCKYER (1990): Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland I. Influence of mechanical separation, changes in chemical composition during volatilization and the presence of the grass sward. *Plant and Soil* 125, 109-117
- TÜLLER, R. (1999): Alternativen in der Geflügelhaltung. Ulmer, Stuttgart
- VDI-RICHTLINIE 3472 „Emissionsminderung Tierhaltung, Hühner“
- VDI-RICHTLINIE 3881 „Olfaktometrie und Geruchsschwellenbestimmung“, Blatt 1-4
- VERTREGT, N. & B. RUTGERS (1988): Ammonia volatilization from grazed pastures. Centre for Agrobiological Research, Report no. 84, Wageningen

- VITS, A., WEITZENBÜRGER, D. & O. DISTL (2005): Vergleich verschiedener Haltungssysteme für Legehennen hinsichtlich wirtschaftlicher, gesundheitlicher und ethologischer Parameter unter besonderer Berücksichtigung von ausgestalteten Käfigen. Dtsch. tierärztl. Wschr. 112, 332-342
- WALLENFANG, O. (2005): Wie Staubbelastungen genau ermittelt werden können. DGS Magazin 31/2005, 17 – 21
- WALLENSTEIN, G. (1998): Zur allergologischen Bedeutung von Nutztierepithelien. Pneumologie 52: 602 – 607
- WATHES, C. M. (1998): Emissions of aerial pollutants in livestock buildings in northern europe. J. agric. Engng Res. 70, 3 – 9
- WEBER, R. M., GLÜNDER, G., NOGOSSEK, M., SANDER, I. & U. NEUMANN (2002): Observations on causes of death in laying hens kept in three different housing systems. Archiv für Geflügelkunde 66 Sonderheft II, 146
- WEIGL, B. (2007): Gesundheitsstatus von Legehennen in Klein- und Großvolierenhaltung im Vergleich. Diss., München
- WENSAUER, E., NESER, S., RATTINGER, K. & F. SCHNEIDER (2006): Die Anwendung des TA Luft-Modells austal2000-g zur Beurteilung von Immissionen aus landwirtschaftlichen Quellen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 15, 127-143
- WESTENDARP, H. (2005): Saponins in the nutrition of swine, poultry and ruminants. Dt. Tierärztl. Wochenschr. 112, 65-70
- WHITEHEAD, D.C. & N. RAISTRICK (1991): Effects of some environmental factors on ammonia volatilization from simulated livestock urine applied to soil. Biol. Fertil. Soils. 11, 279-284
- WOERNLE, H. & S. JODAS (2001): Geflügelkrankheiten. Ulmer, Stuttgart
- WU-HAAN, W., POWERS, W. J., ANGEL, C. R. , HALE, C. E. & T. J. APPLGATE (2007): Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. Poultry Sci. 86, 182-190
- XIN, H., LI, H. & Y. LIANG (2005): Update on ammonia emission mitigation from laying hen facilities. In: Iowa Egg Industry Symp., Ames, 38-46
- YEO, J. & K. I. KIM (1997): Effect of feeding diets containing an antibiotic, a probiotic or Yucca extract on growth and intestinal urease activity in broiler chickens. Poultry Sci. 76, 381-385,
- ZUCKER, B. A., DRAZ, A. M. & MÜLLER, W. (2000): Untersuchungen zum Luftkeimhaushalt in Tierställen 3. Mitteilung: Beziehungen zwischen einatembaren Endotoxin, einatembarem Staub und luftgetragenen Bakterien in einer Legehennenbatterie. BMTW, 133, 279-283

## Danksagung

Die Arbeiten wurden mit finanziellen Mitteln des Freistaates Sachsen durchgeführt. Für die jederzeit konstruktive technische Projektbegleitung möchte ich stellvertretend Dr. Uwe Bergfeld und Dr. Manfred Golze vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Tierische Erzeugung, danken. Insbesondere möchte ich Dr. Ute Wanka gedenken, die bis zu ihrem viel zu frühen Tod die Arbeiten intensiv fachlich begleitete und stets eine interessante Fachdiskussion förderte.

Weiterhin gilt mein Dank Dr. Horst-Günter Kath (BfUL, Keimmessungen), Dr. Henning Andreae (Staatsbetrieb Sachsenforst, Immissions- und Depositionsmessungen) und Dr. Johannes Jacob sowie Peter Fleischer (LfULG, Ausbreitungsberechnungen) die bei der Bearbeitung von Teilfragestellungen zum Gelingen des Gesamtprojektes beitrugen.

Mein Dank gilt auch Dr. Werner Frosch vom Institut für Agrarwissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Durchführung der Olfaktometrie und Laborkalibrierung der Messventilatoren sowie die zahlreichen fachlichen Diskussionen.

Für die konsequente technische Umsetzung des Untersuchungskonzeptes und der Bereitstellung der Messdaten in hoher Qualität geht mein Dank an Roland Kretschmann und Frank Rothe von der BfUL. Die jederzeit anregende Diskussion zu Grundlagen der verwendeten Messtechnik hat entscheidend zur Belastbarkeit der gewonnenen Kenndaten beigetragen.

An dieser Stelle soll auch stellvertretend für seine Monteure Herrn Escher (Firma Schulz Systemtechnik) gedankt werden, die stets die besonderen wissenschaftlichen Ansprüche bei der Abluftvolumenmessung bei der Montage der Messventilatoren umsetzten.

Last but not least danke ich Klaus Bachmann vom Stallklimaprüfdienst in Sachsen für die anregenden Diskussionen zu Fragen der Lüftungssteuerung.



## Anhang

**Tabelle I: Kenndaten des Außenklimas Sommer 2007, 1. Stallbelegung**

2007 Sommer		Luft			Globalstrahlung	Wind		
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%
	Max.	31,2	99,3	1011	945	5,4	N	16
	75tel Quant.	22,0	88,2	1003	275	1,5	NO	7
	Median	18,3	73,6	999	45	0,8	O	6
	25tel Quant.	15,5	55,8	995	0	0,4	SO	4
	Min.	4,0	30,4	986	0	0,0	S	11
	Mw.	18,7	71,4	998	165	1,1	SW	44
	Tage	92		38			W	9
	Messwerte	8832		5410			NW	3

**Tabelle II: Kenndaten des Außenklimas Herbst 2007, 1. Stallbelegung**

2007 Herbst		Luft			Globalstrahlung	Wind		
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%
	Max.	26,9	99,4	1021	820	7,3	N	15
	75tel Quant.	13,2	93,2	999	69	1,8	NO	11
	Median	9,0	85,2	992	0	1,0	O	6
	25tel Quant.	4,5	75,0	988	0	0,5	SO	6
	Min.	-3,6	28,7	979	0	0,0	S	11
	Mw.	9,1	82,3	994	69	1,3	SW	32
	Tage	91					W	16
	Messwerte	13110					NW	3

**Tabelle III: Kenndaten des Außenklimas Winter 2007, 1. Stallbelegung**

2007 Winter		Luft			Globalstrahlung	Wind			
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
	Max.	20,8	99,6	1029	529	8,9	N	7	
	75tel Quant.	7,2	88,1	1000	32	3,0	NO	4	
	Median	4,4	80,1	992	0	1,8	O	5	
	25tel Quant.	1,1	72,1	982	0	1,0	SO	9	
	Min.	-7,8	35,2	963	0	0,0	S	15	
	Mw.	4,1	79,7	991	39	2,1	SW	35	
	Tage	91						W	21
	Messwerte	13035						NW	4

**Tabelle IV: Kenndaten des Außenklimas Frühling 2008, 1./2. Stallbelegung**

2008 Frühling		Luft			Globalstrahlung	Wind			
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
	Max.	32,7	99,9	1036	960	9,0	N	12	
	75tel Quant.	14,9	93,6	1008	245	2,1	NO	15	
	Median	9,5	78,4	1001	30	1,2	O	12	
	25tel Quant.	5,7	61,1	995	0	0,6	SO	7	
	Min.	-2,3	22,4	983	0	0,0	S	8	
	Mw.	10,4	75,5	1002	157	1,5	SW	22	
	Tage	82						W	18
	Messwerte	11789						NW	6

**Tabelle V: Kenndaten des Außenklimas Sommer 2008, 2. Stallbelegung**

2008 Sommer	Luft			Globalstrahlung	Wind			
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
	°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
Max.	35,4	99,9	1012	1054	7,2	N	15	
75tel Quant.	23,6	92,1	1001	374	1,7	NO	8	
Median	19,0	68,8	998	63	1,0	O	9	
25tel Quant.	15,7	48,1	995	0	0,4	SO	5	
Min.	0,0	29,7	990	0	0,0	S	12	
Mw.	19,7	68,6	998	205	1,2	SW	45	
Tage	69						W	4
Messwerte	9915						NW	2

**Tabelle VI: Kenndaten des Außenklimas Herbst 2008, 2. Stallbelegung**

2008 Herbst	Luft			Globalstrahlung	Wind			
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
	°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
Max.	30,5	99,9	1024	758	8,2	N	12	
75tel Quant.	13,4	99,9	1003	79	2,2	NO	12	
Median	9,9	99,6	995	0	1,2	O	8	
25tel Quant.	6,5	84,0	991	0	0,6	SO	5	
Min.	-3,1	32,1	977	0	0,0	S	13	
Mw.	10,2	90,5	997	70	1,5	SW	38	
Tage	91						W	10
Messwerte	13110						NW	2

**Tabelle VII: Kenndaten des Außenklimas Winter 2008, 2. Stallbelegung**

2008 Winter		Luft			Globalstrahlung	Wind			
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
	Max.	11,5	99,9	1039	533	7,4	N	8	
	75tel Quant.	3,6	99,9	1005	30	2,2	NO	10	
	Median	0,7	99,9	996	0	1,3	O	11	
	25tel Quant.	-1,8	99,6	987	0	0,7	SO	10	
	Min.	-23,5	61,8	970	0	0,0	S	12	
	Mw.	0,4	98,2	996	34	1,6	SW	19	
	Tage	88						W	25
	Messwerte	12672						NW	5

**Tabelle VIII: Kenndaten des Außenklimas Frühling 2009, 2. Stallbelegung**

2009 Frühling		Luft			Globalstrahlung	Wind			
		Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwindigkeit	Richtung	Anteil	
		°C	%	hPa	W/m <sup>2</sup>	m/s		%	
	Max.	30,9	99,9	1027	971	6,7	N	13	
	75tel Quant.	14,8	99,9	1002	230	2,0	NO	12	
	Median	10,0	99,7	996	21	1,1	O	15	
	25tel Quant.	6,2	73,8	991	0	0,6	SO	7	
	Min.	-3,2	21,7	980	0	0,0	S	7	
	Mw.	10,9	86,0	998	148	1,4	SW	24	
	Tage	80						W	17
	Messwerte	11486						NW	5

**Tabelle IX: Kenndaten der Stall- und Umfeldlufttemperatur sowie -feuchte am Standort im Winter**

	Winter 07/08				Winter 08/09			
	Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)		Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)	
	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld
Max.	20,8	20,8	83,6	99,6	13,1	11,5	91,9	99,9
75tel Quant.	12,3	7,2	72,1	88,1	10,1	3,6	75,5	99,9
Median	10,9	4,4	69,2	80,1	9,3	0,7	71,7	99,9
25tel Quant.	9,3	1,1	65,9	72,1	8,3	-1,8	68,6	99,6
Min.	3,9	-7,8	44,5	35,2	2,6	-23,5	54,3	61,8
Mw.	10,8	4,1	69,0	79,7	9,1	0,4	71,7	98,2
15-min-Werte (n)	8737				8640			

**Tabelle X: Kenndaten der Stall- und Umfeldlufttemperatur sowie -feuchte am Standort im Sommer**

	Sommer 07				Sommer 08			
	Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)		Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)	
	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld
Max.	36,6	35,1	92,7	99,7	34,8	35,4	91,9	99,9
75tel Quant.	25,1	22,6	68,1	89,6	24,4	23,6	72,8	92,1
Median	22,1	18,5	61,3	74,2	21,4	19,0	65,0	68,8
25tel Quant.	20,2	15,6	52,8	55,0	19,5	15,7	53,8	48,1
Min.	15,7	4,5	29,9	26,8	15,4	0,0	24,8	29,7
Mw.	22,9	18,7	60,3	71,4	22,3	19,7	63,0	68,6
15-min-Werte (n)	8832				8832			

**Tabelle XI: Kenndaten der Stall- und Umfeldlufttemperatur sowie -feuchte am Standort im Frühling**

	Frühling 07				Frühling 08			
	Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)		Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)	
	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld
Max.	31,8	32,0	93,2	100,0	33,1	32,7	86,3	99,9
75tel Quant.	21,1	17,1	59,9	85,7	19,5	14,9	70,7	93,6
Median	17,7	12,0	51,9	71,4	14,8	9,5	64,5	78,4
25tel Quant.	14,8	7,3	44,3	52,5	12,3	5,7	55,8	61,1
Min.	2,3	-1,3	25,8	19,1	7,2	-2,3	27,5	22,4
Mw.	18,0	12,4	52,0	68,8	16,2	10,4	62,4	75,5
15-min-Werte (n)	7056				6817			

**Tabelle XII: Kenndaten der Stall- und Umfeldlufttemperatur sowie -feuchte am Standort im Herbst**

	Herbst 07				Herbst 08			
	Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)		Lufttemperatur (°C)		Luftfeuchte (%)	
	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld	Stall	Umfeld
Max.	27,2	26,9	86,1	99,4	29,5	30,5	89,7	99,9
75tel Quant.	18,6	13,2	69,1	93,2	17,1	13,4	74,4	99,9
Median	16,8	9,0	66,1	85,2	15,4	9,9	70,2	99,6
25tel Quant.	14,0	4,5	62,7	75,0	13,4	6,5	66,0	84,0
Min.	7,0	-3,6	40,4	28,7	8,0	-3,1	43,0	32,1
Mw.	16,3	9,1	65,7	82,3	15,6	10,2	70,1	90,5
15-min-Werte (n)	8740				8740			

**Tabelle XIII: Kenndaten der Stall- und Umfeldkonzentration ausgewählter Stallraumgase am Standort innerhalb der Klimaklassen während der Stallbelegung 2007/2008**

		Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )			Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )			
		Abluft	Tierbereich	Umfeld	Abluft	Tierbereich	Umfeld	
2007/2008	Frühling	Max.	10,0	3,5	2,2	2,8	3,0	1,2
		75tel Quant.	0,6	0,6	0,5	1,4	1,8	0,8
		Median	0,4	0,5	0,4	1,2	1,5	0,8
		25tel Quant.	0,3	0,4	0,3	1,0	1,3	0,7
		Min.	0,2	0,3	0,2	0,9	1,1	0,7
		Mw.	0,6	0,6	0,5	1,3	1,6	0,8
		Stundenwerte (n)	1669					
Sommer	Max.	4,7	6,7	2,9	2,1	2,6	1,2	
	75tel Quant.	1,8	2,3	1,4	1,5	1,7	0,8	
	Median	1,3	1,6	1,1	1,3	1,5	0,8	
	25tel Quant.	1,0	1,2	0,9	1,2	1,4	0,8	
	Min.	0,0	0,0	0,1	1,0	1,1	0,7	
	Mw.	1,4	1,9	1,2	1,3	1,6	0,8	
	Stundenwerte (n)	2169						
Herbst	Max.	16,4	16,3	2,5	3,8	3,8	1,1	
	75tel Quant.	5,7	7,1	1,8	2,5	2,5	0,8	
	Median	3,6	4,9	1,5	1,9	2,2	0,8	
	25tel Quant.	2,3	3,2	1,3	1,5	1,8	0,8	
	Min.	0,9	1,2	0,7	1,1	1,3	0,7	
	Mw.	4,4	5,4	1,5	2,1	2,2	0,8	
	Stundenwerte (n)	2066						
Winter	Max.	5,8	7,0	1,4	3,6	3,5	0,9	
	75tel Quant.	2,0	2,5	0,7	2,2	2,2	0,8	
	Median	1,3	1,7	0,5	1,8	2,0	0,8	
	25tel Quant.	1,0	1,2	0,5	1,5	1,7	0,8	
	Min.	0,5	0,6	0,3	1,1	1,2	0,7	
	Mw.	1,6	2,0	0,6	1,9	2,0	0,8	
	Stundenwerte (n)	2184						

**Tabelle XIV: Kenndaten der Stall- und Umfeldkonzentration ausgewählter Stallraumgase am Standort innerhalb der Klimaklassen während der Stallbelegung 2008/2009**

		Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )			Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )			
		Abluft	Tierbereich	Umfeld	Abluft	Tierbereich	Umfeld	
2008/2009	Frühling	Max.	2,6	3,6	1,0	3,0	2,8	1,2
		75tel Quant.	0,5	0,8	0,4	1,4	1,7	0,8
		Median	0,3	0,5	0,3	1,3	1,6	0,8
		25tel Quant.	0,2	0,3	0,2	1,2	1,5	0,8
		Min.	0,1	0,1	0,1	0,7	0,7	0,6
		Mw.	0,4	0,6	0,3	1,4	1,6	0,8
		Stundenwerte (n)	1725					
Sommer	Max.	1,9	2,1	1,6	2,0	2,0	1,2	
	75tel Quant.	0,9	1,0	0,6	1,6	1,5	0,8	
	Median	0,7	0,7	0,5	1,4	1,4	0,8	
	25tel Quant.	0,5	0,5	0,4	1,4	1,3	0,8	
	Min.	0,3	0,2	0,2	1,2	1,1	0,8	
	Mw.	0,7	0,8	0,5	1,5	1,4	0,8	
	Stundenwerte (n)	2208						
Herbst	Max.	8,1	9,2	3,8	2,9	2,8	1,7	
	75tel Quant.	3,7	3,5	1,9	1,8	1,8	0,8	
	Median	2,3	2,2	1,4	1,6	1,6	0,8	
	25tel Quant.	1,4	1,4	0,9	1,5	1,4	0,8	
	Min.	0,3	0,3	0,3	1,3	1,2	0,7	
	Mw.	2,6	2,5	1,4	1,7	1,6	0,8	
	Stundenwerte (n)	2185						
Winter	Max.	9,3	10,7	3,4	5,9	4,7	0,9	
	75tel Quant.	4,2	4,1	2,0	2,3	2,2	0,8	
	Median	2,9	2,7	1,5	2,0	1,9	0,8	
	25tel Quant.	2,0	1,8	1,1	1,8	1,7	0,7	
	Min.	0,7	0,5	0,4	1,3	1,0	0,7	
	Mw.	3,2	3,1	1,5	2,1	2,0	0,8	
	Stundenwerte (n)	1930						



**Tabelle XV: Kenndaten der Gesamtmassenströme gasförmiger Stallraumlasten am Standort im Frühling**

	Frühling 07				Frühling 08			
	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid
	g/h*GV				kg/h*GV			
Max.	5,11	1,54	14,29	1,42	2,47	0,69	17,06	1,37
75tel Quant.	0,67	1,05	2,29	0,62	0,72	0,43	3,54	0,68
Median	0,44	0,77	1,07	0,41	0,45	0,39	2,57	0,51
25tel Quant.	0,29	0,64	0,51	0,29	0,24	0,33	1,66	0,42
Min.	0,09	0,33	0,01	0,11	0,03	0,03	0,05	0,00
Mw.	0,60	0,82	1,70	0,48	0,54	0,39	2,99	0,56
Stundenwerte (n)	1669				1725			

**Tabelle XVI: Kenndaten der Gesamtmassenströme gasförmiger Stallraumlasten am Standort im Sommer**

	Sommer 07				Sommer 08			
	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid
	g/h*GV				kg/h*GV			
Max.	5,65	2,06	8,96	1,50	2,81	0,70	17,57	1,30
75tel Quant.	1,99	1,28	4,75	0,83	1,25	0,50	9,09	1,00
Median	1,42	1,06	3,77	0,52	0,89	0,43	6,90	0,91
25tel Quant.	1,03	0,97	2,93	0,38	0,60	0,32	4,06	0,78
Min.	0,01	0,04	0,00	0,20	0,15	0,18	1,32	0,47
Mw.	1,57	1,07	3,80	0,60	0,96	0,41	6,95	0,88
Stundenwerte (n)	2169				2208			

**Tabelle XVII: Kenndaten der Gesamtmassenströme gasförmiger Stallraumlasten am Standort im Herbst**

	Herbst 07				Herbst 08			
	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid
	g/h*GV				kg/h*GV			
Max.	6,17	1,34	4,12	1,14	6,62	0,92	14,39	1,36
75tel Quant.	2,78	0,51	1,63	0,67	2,82	0,59	1,77	0,89
Median	2,00	0,26	1,15	0,53	1,87	0,46	1,34	0,71
25tel Quant.	1,47	0,20	0,87	0,39	1,13	0,37	0,95	0,57
Min.	0,53	0,11	0,53	0,19	0,18	0,17	0,44	0,37
Mw.	2,21	0,38	1,31	0,54	2,13	0,48	2,00	0,73
Stundenwerte (n)	2066				2185			

**Tabelle XVIII: Kenndaten der Gesamtmassenströme gasförmiger Stallraumlasten am Standort im Winter**

	Winter 07 / 08				Winter 08 / 09			
	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid	Ammoniak	Lachgas	Methan	Kohlendioxid
	g/h*GV				kg/h*GV			
Max.	6,39	0,74	3,75	1,21	5,01	1,00	2,49	1,45
75tel Quant.	1,42	0,43	1,86	0,79	2,46	0,48	1,10	0,79
Median	1,10	0,35	1,47	0,66	1,53	0,32	0,83	0,65
25tel Quant.	0,85	0,28	1,18	0,51	1,00	0,27	0,69	0,50
Min.	0,35	0,12	0,53	0,24	0,35	0,13	0,33	0,24
Mw.	1,24	0,37	1,58	0,65	1,79	0,38	0,90	0,66
Stundenwerte (n)	2184				1930			

**Tabelle XX: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid innerhalb der Klimaklassen und im Jahresverlauf**

Klimaklasse	Stundenmittel (n)	Massenstrom	Faktor für Massenstrom mit Abzug Vorbelastung	Emissionsfaktor	
		kg/h*GV		kg/Tpl.*Klimaklasse	
				2007/2008	2008/2009
Frühling	1669	0,41	1,00	3,59	4,19
	1725	0,51			
Sommer	2169	0,52		4,52	6,62
	2208	0,91			
Herbst	2066	0,53		4,03	5,45
	2184	0,71			
Winter	2184	0,66		4,86	4,89
	1920	0,65			
Gesamt	8088	0,53		16,99	21,15
	8037	0,69			

**Tabelle XXI: Emissionsfaktoren für Lachgas innerhalb der Klimaklassen und im Jahresverlauf**

Klimaklasse	Stundenmittel (n)	Massenstrom	Faktor für Massenstrom mit Abzug Vorbelastung	Emissionsfaktor	
		kg/h*GV		g/Tpl.*Klimaklasse	
				2007/2008	2008/2009
Frühling	1669	0,77	0,02	6,2	2,9
	1725	0,39			
Sommer	2169	1,06	0,01	8,0	3,1
	2208	0,43			
Herbst	2066	0,26	0,00	2,8	3,6
	2184	0,46			
Winter	2184	0,35	0,00	2,7	2,8
	1920	0,32			
Gesamt	8088	0,61		19,7	12,4
	8037	0,40			

**Tabelle XXII: Emissionsfaktoren für Methan innerhalb der Klimaklassen und im Jahresverlauf**

Klimaklasse	Stundenmittel (n)	Massenstrom	Faktor für Massenstrom mit Abzug Vorbelastung	Emissionsfaktor	
		kg/h*GV		g/Tpl.*Klimaklasse	
				2007/2008	2008/2009
Frühling	1669	1,07	0,38	12,7	22,5
	1725	2,57	0,16		
Sommer	2169	3,77	0,12	28,6	52,1
	2208	6,90	0,13		
Herbst	2066	1,15	0,25	9,7	14,9
	2184	1,34	0,33		
Winter	2184	1,47	0,24	11,7	6,7
	1920	0,83	0,41		
Gesamt	8088	1,87		62,7	96,1
	8037	2,91			

**Tabelle XXIII: Kenndaten der Keimkonzentration ( $10^3$  kbE/m<sup>3</sup>) in der Luft während der Stallbelegung 2007/2008 (gelb) und 2008/2009 (weiß)**

Klimaklasse	Lebenswoche	Bakterien			Gramnegative			Schimmel		
		Umfeld	Stallluft	Abluft	Umfeld	Stallluft	Abluft	Umfeld	Stallluft	Abluft
Frühling	26.	0,3	42368	14347	0,2			0,4	21,9	59,3
Sommer	33.	200	2000	827	200	ja	ja	1,6	3,6	8,3
	39.	<0,1	279241	33933		ja	ja	10,0	10,3	11,9
Herbst	42.	0,1	300	11,3	0,1	ja	ja	0,6	1,5	0,2
	51.	<0,1	3795	5577	<0,1			0,9	27,9	13,8
Winter	55.	<0,1	1799	9283	<0,1			0,2	501	295
	66.	<0,1	6104	2957	<0,1			<0,1	3,5	1,7
	66.	0,1	41,4	710	0,2			<0,1	0,5	1,6

**Tabelle XXIV: Kenndaten der Staubemission am Standort der Hennenhaltung**

Klimaklasse	Messserie	PM-10 (Tagesmittel)	Volumenstrom (Median/Mittelwert)	Massenstrom (Median/Mittelwert)	E-Faktor (Median/Mittelwert)
		mg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	g/h	g/Tpl.*KK bzw. a
Frühling	1	5,96	67.042 / 64.795	400 / 382	44,16 / 42,17
Sommer	1	6,66	92.905 / 85.126	619 / 567	68,34 / 62,66
	2	7,21	65.674 / 67.714	474 / 488	52,33 / 53,88
Herbst	1	6,95	30.672 / 32.739	213 / 228	23,26 / 24,90
	2	1,90	52.352 / 54.948	100 / 104	10,92 / 11,36
Winter	1	0,77	30.755 / 37.005	24 / 29	2,59 / 3,13
	2	1,56	42.127 / 43748	66 / 68	7,13 / 7,34
	3	1,85	42.127 / 43748	78 / 81	8,42 / 8,75
Gesamt				291 / 285	127,64 / 124,95

**Tabelle XXV: Kenndaten der Staubemission am Standort der Hennenhaltung**

Klimaklasse	Messserie	PM-2,5 (Tagesmittel)	Volumenstrom (Median/Mittelwert)	Massenstrom (Median/Mittelwert)	E-Faktor (Median/Mittelwert)
		mg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	g/h	g/Tpl.*KK bzw. a
Frühling	1	1,38	67.042 / 64.795	93 / 89	10,27 / 9,83
Sommer	1	3,20	92.905 / 85.126	297 / 272	32,79 / 30,03
	2	3,30	65.674 / 67.714	217 / 224	23,96 / 24,73
Herbst	1	2,05	30.672 / 32.739	63 / 67	6,88 / 7,32
	2	0,42	52.352 / 54.948	22 / 23	2,40 / 2,51
Winter	1	0,25	30.755 / 37.005	8 / 9	0,86 / 0,97
	2	0,63	42.127 / 43748	27 / 28	2,92 / 3,02
	3	0,88	42.127 / 43748	37 / 39	4,00 / 4,21
Gesamt				105 / 102	45,88 / 44,86

**Tabelle XXVI: Kenndaten der Geruchsstoffmessung (Geruchsschwelle, GE/m<sup>3</sup>) am Standort der Hennenhaltung**

Klimaklasse	Messserien	Messpunkt			Außenluft
		Stallluft	Abluft		
			Kamin unten	Kamin oben	
Frühling	1	30	36	25	19
	2	27	16	38	15
Sommer	1	108	110	80	34
	2	50	50	60	18
Herbst	1	180	210	180	18
	2	38	34	50	10
Winter	1	71	53	57	24
	2	38	32	63	7
	3	38	24	27	21

**Tabelle XXVII: Kenndaten innerhalb der DOAS-Messstrecke**

	Luft			Ammoniak- konzentration	Wind		
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwin- digkeit	Richtung	
	°C	%	hPa	µg/m <sup>3</sup>	m/s	°	
2007 Sommer	Max.	39,0	99,6	1001	46,50	9,6	36
	75tel Quant.	21,3	85,8	996	10,38	4,4	25
	Median	17,8	73,7	994	4,45	2,5	24
	25tel Quant.	15,4	58,0	991	0,00	1,3	21
	Min.	9,8	24,7	979	0,00	0,0	0
	Mw.	19,1	70,8	993	5,91	3,0	23
	Tage	33					

**Tabelle XXVIII: Kenndaten innerhalb der DOAS-Messstrecke**

	Luft			Ammoniak- konzentration	Wind	
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwin- digkeit	Richtung
	°C	%	hPa	µg/m³	m/s	°
2008 Sommer						
Max.	34,0	97,4	1003	31,67	7,9	35
75tel Quant.	23,5	85,2	998	11,53	3,0	24
Median	19,9	70,5	996	5,88	1,7	21
25tel Quant.	17,1	53,4	993	2,97	0,9	13
Min.	10,3	28,1	983	0,00	0,0	1
Mw.	20,4	68,8	995	7,72	2,0	19
Tage	35					

**Tabelle XXIX: Kenndaten innerhalb der DOAS-Messstrecke**

	Luft			Ammoniak- konzentration	Wind	
	Temperatur	Feuchte	Druck		Geschwin- digkeit	Richtung
	°C	%	hPa	µg/m³	m/s	°
2007 Herbst						
Max.	10,4	100,0	1006	46,58	9,0	36
75tel Quant.	4,6	95,6	1000	1,81	4,0	25
Median	2,9	89,8	994	0,00	2,9	22
25tel Quant.	1,8	85,1	989	0,00	1,8	15
Min.	-1,7	65,4	976	0,00	0,0	0
Mw.	3,3	89,7	995	2,66	2,9	21
Tage	23					

**Tabelle XXX: Kenndaten innerhalb der DOAS-Messstrecke**

2008 Frühling		Luft			Ammoniak-	Wind	
		Temperatur	Feuchte	Druck	konzentration	Geschwin-	Richtung
		°C	%	hPa	µg/m³	m/s	°
	Max.	22,0	100,0	1010	22,81	10,0	36
	75tel Quant.	12,1	92,4	1001	3,79	3,2	28
	Median	8,6	83,1	991	1,93	1,9	24
	25tel Quant.	6,2	70,1	986	0,91	1,1	13
	Min.	0,2	36,2	965	0,00	0,0	0
	Mw.	9,3	79,5	993	2,74	2,4	21
	Tage	36					

**Tabelle XXXI: Kenndaten innerhalb der DOAS-Messstrecke**

2007 Winter		Luft			Ammoniak-	Wind	
		Temperatur	Feuchte	Druck	konzentration	Geschwin-	Richtung
		°C	%	hPa	µg/m³	m/s	°
	Max.	18,7	100,0	1022	78,75	9,3	36
	75tel Quant.	7,3	90,4	1013	7,86	3,9	26
	Median	4,3	84,0	1003	2,78	2,5	21
	25tel Quant.	0,4	79,8	995	0,70	1,4	15
	Min.	-6,9	42,5	968	0,00	0,1	0
	Mw.	4,0	83,0	1003	5,85	2,9	20
	Tage	54					



**Tabelle XXXII: Kenndaten der Ammoniakkonzentration (Passivsammler) am Standort der Hennenhaltung**

Ammoniak µg/m³	MZF	-1 km	-40m	+40m	+100m	+170m	+230m	+350m
	Sommer	4,8	7,2	20,3	10,3	8,2	7,0	5,5
Frühling	4,3	8,0	8,5	6,8	6,6	6,3	4,3	
Herbst		9,5	18,5	10,4	7,6	6,7		
Winter	3,4	5,0	12,3	7,8	6,1	5,2		
Jahresmittel	4,2	7,4	14,9	8,9	7,1	6,3	4,9	

**Tabelle XXXIII: Kenndaten der Stickstoffdeposition (Bulk-Sammler) am Standort der Hennenhaltung**

		MZF	Forst	-1 km	-40m	+40m	+100m	+170m	+230m	+350m
Ammonium	kg/ha	Frühling	1,5	1,5	5,2	10,6	4,1	5,5	1,6	1,5
		Sommer	1,4	1,6	1,9	2,6	3,1	3,1	2,7	3,0
		Herbst	1,6		2,6	4,5	2,6	2,0	2,4	
		Winter	1,0	1,2		2,2	2,1	1,5	1,9	
Nitrat		Frühling	1,1	1,3	1,8	1,0	1,3	1,3	1,0	0,6
		Sommer	1,1	1,5	1,1	4,0	2,2	2,2	1,3	1,6
		Herbst	1,0		1,4	2,1	1,5	1,3	1,4	
Ammonium	Jahr		5,5	5,6	12,9	19,9	11,9	12,1	8,6	9,1
			4,0	5,0	5,8	8,2	6,4	5,8	4,8	4,4
Nitrat			9,5	10,5	18,8	28,1	18,3	17,8	13,4	13,5
Ges.-Stickstoff										

**Tabelle XXXIV: Vergleich Emissionsmessungen (Abluftstrom Stall) mit DOAS-Messung (Messtrasse in der Abluffahne Stall) und DOAS/LASAT-Rückrechnung - Sommerdaten**

Klima-klasse	Messtag	Außen-temperatur	Nieder-schlag	Messdaten Ammoniak		Berechnungsdaten			Rückrechnung			
				Emission Abluftstrom		Immission Messtrasse			VB**	Tunnel	First	Fehler
				Tunnel	First	DOAS (M)esswert	DOAS (B)erechnet	Vorbelast. (M)-(B)				
		°C	mm	mg/s	mg/s	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/s	mg/s	%
Sommer	22.06.07	18,1	0,0	26,75	0,00	6,80	5,90	0,9	1,1	25,93	0,00	3
	23.06.07	18,0	3,1	24,50	0,01	8,52	8,40	0,1	0,1	24,43	0,01	0
	24.06.07	20,4	0,0	27,80	0,00	8,83	6,70	2,1	2,6	26,03	0,00	6
	25.06.07	21,7	6,8	31,60	0,00	9,02	6,10	2,9	3,5	28,57	0,00	10
	30.06.07	19,3	0,0	19,40	0,02	4,71	6,50	-1,8	0,0	14,06	0,01	28
	01.07.07	21,7	0,0	17,55	0,00	3,81	3,23	0,6	0,7	16,92	0,00	4
	02.07.07	19,0	5,6	24,68	0,00	6,42	6,33	0,1	0,1	24,61	0,00	0
	03.07.07	19,6	2,2	38,10	0,00	14,35	14,16	0,2	0,2	38,00	0,00	0
	07.07.07	18,4	0,0	26,06	0,07	3,79	5,70	-1,9	0,0	17,33	0,05	34
	19.07.07	23,2	0,0	16,82	0,83	8,02	1,00	7,0	8,4	n.a.*		
	27.07.07	22,9	0,0	20,00	1,00	13,63	5,70	7,9	9,5	14,44	0,72	28
	28.07.07	19,0	1,3	15,43	0,85	13,68	6,80	6,9	8,3	12,31	0,68	20
	26.07.08	23,7	0,0	18,14	2,20	4,57	0,24	4,3	5,2	n.a.*		
	27.07.08	23,6	0,0	20,94	2,52	5,04	0,39	4,7	5,6	n.a.*		
	28.07.08	24,2	0,0	22,88	2,57	5,83	0,36	5,5	6,6	n.a.*		
	29.07.08	25,5	0,0	17,78	2,02	5,50	0,83	4,7	5,6	n.a.*		
	30.07.08	22,3	0,2	10,08	1,27	5,79	1,63	4,2	5,0	4,93	0,62	51
	31.07.08	24,5	0,0	13,20	1,57	4,15	0,19	4,0	4,8	n.a.*		
	01.08.08	24,0	0,2	12,87	1,58	7,40	3,90	3,5	4,2	10,56	1,30	18
	02.08.08	19,9	0,0	9,50	1,19	8,13	2,50	5,6	6,8	5,22	0,65	45
	03.08.08	22,7	0,0	15,87	1,81	17,63	9,20	8,4	10,1	12,96	1,48	18
	04.08.08	20,9	0,1	19,14	2,12	11,86	8,60	3,3	3,9	17,69	1,96	8
	05.08.08	19,5	0,0	14,35	0,98	11,20	5,20	6,0	7,2	11,04	0,75	23
	06.08.08	20,3	0,0	7,49	0,76	2,81	2,00	0,8	1,0	6,88	0,70	8
	07.08.08	26,2	0,0	12,05	1,50	4,85	2,20	2,7	3,2	9,15	1,14	24
	10.08.08	18,9	0,1	8,11	0,97	9,74	4,60	5,1	6,2	6,30	0,75	22
	11.08.08	22,4	0,6	14,92	1,74	8,71	6,90	1,8	2,2	14,14	1,65	5
	12.08.08	21,2	0,6	14,99	1,80	11,73	8,90	2,8	3,4	14,04	1,69	6
	13.08.08	21,3	0,0	9,54	1,02	12,75	5,60	7,2	8,6	7,10	0,76	26
	14.08.08	20,8	0,0	10,39	1,05	7,62	4,40	3,2	3,9	8,87	0,90	15
26.08.08	18,9	0,3	18,38	1,47	8,92	10,40	-1,5	0,0	15,76	1,26	14	
27.08.08	20,1	0,0	15,75	1,66	10,88	8,80	2,1	2,5	15,01	1,58	5	
29.08.08	18,5	0,0	19,98	2,00	10,25	7,00	3,3	3,9	18,12	1,81	9	

\* n.a. = nicht auswertbar, da berechn. DOAS-Wert <= 1,0 µg/m³ ( DOAS-Trasse = reine Vorbelastung)

\*\* Annahme: Vorbelastung (VB) mit zweiter DOAS-Trasse gemessen (20% Messfehler)

**Tabelle XXXV: Vergleich Emissionsmessungen (Abluftstrom Stall) mit DOAS-Messung (Messtrasse in der Abluffahne Stall) und DOAS/LASAT-Rückrechnung - Übergangsdaten**

Klima-klasse	Messtag	Außen-temperatur	Nieder-schlag	Messdaten Ammoniak		Berechnungsdaten			Rückrechnung			
				Emission Abluftstrom		Immission Messtrasse			VB**	Tunnel	First	Fehler
				Tunnel	First	DOAS (M)esswert	DOAS (B)erechnet	Vorbelastung (M)-(B)				
		°C	mm	mg/s	mg/s	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/s	mg/s	%
Übergang	26.06.07	16,8	3,4	38,55	0,11	9,57	11,60	-2,0	0,0	31,80	0,09	18
	27.06.07	14,2	0,2	21,01	0,09	3,76	5,90	-2,1	0,0	13,39	0,06	36
	28.06.07	15,2	0,5	20,15	0,03	4,70	6,80	-2,1	0,0	13,93	0,02	31
	29.06.07	17,3	0,7	18,61	0,00	5,72	6,30	-0,6	0,0	16,90	0,00	9
	04.07.07	17,0	2,2	23,86	0,03	5,38	7,00	-1,6	0,0	18,34	0,02	23
	05.07.07	15,7	8,0	24,20	0,05	5,03	5,80	-0,8	0,0	20,99	0,04	13
	06.07.07	17,2	0,0	29,00	0,06	5,53	6,60	-1,1	0,0	24,30	0,05	16
	29.07.07	16,4	3,0	19,05	1,09	14,54	7,05	7,5	9,0	15,00	0,86	21
	30.07.07	14,4	0,4	27,52	1,58	13,67	4,70	9,0	10,8	17,02	0,98	38
	06.12.07	9,0	0,0	30,11	0,22	16,15	9,60	6,6	7,9	26,00	0,19	14
	07.12.07	9,6	0,4	33,47	0,08	9,80	9,60	0,2	0,2	33,33	0,08	0
	24.02.08	10,3	0,0	29,16	0,01	14,74	12,05	2,7	3,2	27,86	0,01	4
	26.02.08	10,6	0,0	29,86	0,03	14,33	12,98	1,4	1,6	29,24	0,03	2
	09.08.08	17,5	0,0	6,56	0,69	6,03	1,40	4,6	5,6	2,22	0,23	66
	15.08.08	13,8	4,2	8,16	0,38	1,47	0,08	1,4	1,7	n.a.*		
	16.08.08	14,4	0,6	7,73	0,32	4,22	2,20	2,0	2,4	6,31	0,26	18
	17.08.08	17,9	0,0	12,87	1,05	12,83	7,90	4,9	5,9	11,26	0,92	12
	23.08.08	16,9	0,1	8,73	0,64	9,55	4,50	5,1	6,1	6,77	0,50	22
	24.08.08	14,5	0,9	9,92	0,42	6,08	2,10	4,0	4,8	6,16	0,26	38
	25.08.08	15,5	0,2	12,88	0,90	6,52	5,40	1,1	1,3	12,35	0,86	4
	28.08.08	17,8	0,0	18,94	1,90	12,11	14,20	-2,1	0,0	16,15	1,62	15
	30.08.08	17,8	0,0	13,45	1,36	2,82	2,00	0,8	1,0	12,35	1,25	8
	31.08.08	17,6	0,0	13,43	1,47	1,75	0,20	1,6	1,9	n.a.*		

\* n.a. = nicht auswertbar, da berechn. DOAS-Wert <= 1,0 µg/m³ ( DOAS-Trasse = reine Vorbelastung)

\*\* Annahme: Vorbelastung (VB) mit zweiter DOAS-Trasse gemessen (20% Messfehler)

**Tabelle XXXVI: Vergleich Emissionsmessungen (Abluftstrom Stall) mit DOAS-Messung (Messtrasse in der Abluffahne Stall) und DOAS/LASAT-Rückrechnung – Winterdaten**

Klima- klasse	Messtag	Außen- temperatur	Nieder- schlag	Messdaten Ammoniak		Berechnungsdaten			Rückrechnung			
				Emission Abluftstrom		Immission Messtrasse			VB**	Tunnel	First	Fehler
				Tunnel	First	DOAS (M)esswert	DOAS (B)erechnet	Vorbelastun g (M)-(B)				
		°C	mm	mg/s	mg/s	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/s	mg/s	%
Winter	01.12.07	6,7	0,7	65,40	0,03	27,89	22,70	5,2	6,2	62,41	0,03	5
	02.12.07	7,7	0,0	71,23	0,19	17,63	11,80	5,8	7,0	64,19	0,17	10
	03.12.07	6,7	0,3	63,11	0,24	10,55	11,90	-1,4	0,0	55,95	0,21	11
	04.12.07	4,5	0,1	45,28	0,13	11,29	12,10	-0,8	0,0	42,25	0,12	7
	05.12.07	7,5	0,0	36,90	0,01	21,38	10,20	11,2	13,4	28,81	0,01	22
	08.12.07	5,4	0,0	22,02	0,02	9,25	6,40	2,9	3,4	20,06	0,02	9
	09.12.07	5,0	0,1	21,49	0,05	7,00	1,00	6,0	7,2	n.a.*		
	10.12.07	3,9	0,0	21,79	0,03	7,89	0,22	7,7	9,2	n.a.*		
	11.12.07	3,9	0,5	19,90	0,00	6,64	0,60	6,0	7,2	n.a.*		
	12.12.07	4,7	0,7	23,17	0,00	1,79	0,00	1,8	2,1	n.a.*		
	13.12.07	3,0	0,0	27,17	0,00	2,41	0,00	2,4	2,9	n.a.*		
	14.12.07	0,5	0,0	22,11	0,00	2,85	0,00	2,9	3,4	n.a.*		
	15.12.07	-1,0	0,0	20,86	0,00	1,19	0,00	1,2	1,4	n.a.*		
	16.12.07	-2,3	0,0	20,64	0,00	1,72	0,00	1,7	2,1	n.a.*		
	17.12.07	-0,7	0,0	23,87	0,00	1,44	0,00	1,4	1,7	n.a.*		
	18.12.07	-1,6	0,0	23,86	0,00	1,18	0,00	1,2	1,4	n.a.*		
	19.12.07	-2,8	0,0	23,11	0,00	2,90	1,00	1,9	2,3	n.a.*		
	20.12.07	-5,1	0,0	25,62	0,00	2,51	1,50	1,0	1,2	29,07	0,00	13
	21.12.07	-5,6	0,0	25,53	0,00	0,69	0,00	0,7	0,8	n.a.*		
	22.12.07	-4,0	0,0	28,03	0,01	1,01	0,45	0,6	0,7	n.a.*		
	23.12.07	-4,1	0,0	28,95	0,00	1,76	1,26	0,5	0,6	26,65	0,00	8
	24.12.07	-0,7	0,0	29,65	0,00	3,75	4,00	-0,3	0,0	27,80	0,00	6
	25.12.07	-1,3	0,0	25,00	0,04	2,84	2,10	0,7	0,9	23,24	0,04	7
	26.12.07	-2,1	0,0	26,26	0,04	4,54	7,70	-3,2	0,0	15,48	0,02	41
	27.12.07	-1,1	0,0	24,61	0,00	2,60	4,70	-2,1	0,0	13,61	0,00	45
	28.12.07	2,3	0,0	27,22	0,02	3,90	3,40	0,5	0,6	26,42	0,02	3
	29.12.07	1,8	0,0	26,59	0,05	2,90	2,60	0,3	0,4	25,98	0,05	2
	30.12.07	3,0	0,1	25,80	0,01	5,22	6,15	-0,9	0,0	21,90	0,01	15
	31.12.07	1,5	0,0	24,60	0,02	2,48	6,30	-3,8	0,0	9,68	0,01	61
	01.01.08	0,3	0,0	20,48	0,00	5,71	3,90	1,8	2,2	18,58	0,00	9
	02.01.08	-1,7	0,0	16,68	0,02	0,61	0,00	0,6	0,7	n.a.*		
	02.02.08	2,8	0,1	15,48	0,05	3,40	5,10	-1,7	0,0	10,32	0,03	33
	05.02.08	6,2	0,0	17,32	0,00	8,36	7,50	0,9	1,0	16,92	0,00	2
	06.02.08	8,5	0,0	21,26	0,02	6,69	4,80	1,9	2,3	19,59	0,02	8
	07.02.08	4,2	0,0	15,56	0,04	3,85	3,10	0,8	0,9	14,81	0,04	5
	14.02.08	2,3	0,0	13,93	0,00	2,17	0,00	2,2	2,6	n.a.*		
15.02.08	-0,8	0,0	11,45	0,00	2,61	0,00	2,6	3,1	n.a.*			
20.02.08	4,5	0,0	21,68	0,00	14,60	7,30	7,3	8,8	n.a.			
21.02.08	6,8	0,0	28,84	0,03	16,87	11,20	5,7	6,8	25,92	0,03	10	
25.02.08	6,5	0,1	25,16	0,01	4,16	3,60	0,6	0,7	24,38	0,01	3	
27.02.08	7,8	0,0	24,99	0,05	7,00	4,80	2,2	2,6	22,70	0,05	9	
01.03.08	7,1	2,1	27,89	0,12	3,93	3,28	0,7	0,8	26,78	0,11	4	
02.03.08	7,4	0,3	29,12	0,10	2,11	1,32	0,8	0,9	25,63	0,08	12	
03.03.08	6,1	0,2	25,70	0,02	4,61	5,10	-0,5	0,0	23,23	0,01	10	

\* n.a. = nicht auswertbar, da berechn. DOAS-Wert <= 1,0 µg/m³ ( DOAS-Trasse = reine Vorbelastung)

\*\* Annahme: Vorbelastung (VB) mit zweiter DOAS-Trasse gemessen (20% Messfehler)

**Tabelle XXXVII: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

Linolsre		Palmitinsre		Ölsre		Stearinsre	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
16,84	14,57	25,94	27,11	37,64	37,41	8,57	10,68
17,02	16,09	25,39	26,56	37,93	34,62	9,36	9,36
18,12	14,29	25,06	26,25	37,65	36,31	8,69	8,49
19,67	16,25	25,09	22,79	34,33	36,43	8,67	10,08
17,46	16,08	25,21	22,96	36,88	33,90	7,72	9,81
19,53	16,84	25,18	26,04	34,68	33,65	8,00	9,32

**Tabelle XXXVIII: Fettsäuregehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

Palmitoleinsre (C17)		Vaccensre		Palmitoleinsre (C16)		Myristinsre		g-Linolensre	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
0,21	0,08	1,96	1,53	3,53	2,92	0,36	0,37	0,14	0,16
0,14	0,10	2,44	5,04	2,73	3,22	0,34	0,35	0,09	0,10
0,15	0,08	1,86	5,79	2,99	4,17	0,30	0,36	0,12	0,06
0,14	0,13	4,79	6,74	2,19	2,47	0,33	0,30	0,10	0,05
0,15	0,13	4,96	9,41	3,08	2,84	0,33	0,31	0,07	0,05
0,15	0,12	4,01	5,77	3,56	3,14	0,36	0,36	0,10	0,09

Linolensre		Eicosensre		Eicosadiensre		Dihomo-g-Linolensre		Arachidonsre	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
0,45	0,31	0,22	0,23	0,17	0,16	0,15	0,22	2,14	2,70
0,38	0,31	0,18	0,23	0,15	0,14	0,12	0,13	2,19	2,47
0,52	0,32	0,28	0,23	0,20	0,09	0,13	0,10	2,19	2,21
0,44	0,26	0,17	0,19	0,17	0,10	0,11	0,10	2,38	2,70
0,50	0,26	0,21	0,15	0,12	0,08	0,13	0,08	1,95	2,63
0,56	0,42	0,20	0,14	0,17	0,13	0,10	0,11	2,03	2,41

Docosadiensre		Docosapentaensre		Docosahexaensre		andere <0,1 %	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
0,14	0,15	0,17	0,12	0,96	0,91	0,41	0,37
0,14	0,13	0,16	0,11	0,88	0,71	0,36	0,33
0,16	0,18	0,18	0,08	0,96	0,59	0,44	0,40
0,12	0,12	0,14	0,09	0,81	0,83	0,35	0,37
0,14	0,12	0,15	0,12	0,62	0,69	0,34	0,38
0,13	0,14	0,12	0,15	0,76	0,76	0,36	0,41

**Tabelle XXXIX: Vitamingehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

a-Tocopherol		Retinol		Retinylester	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
202,00	120,50	16,30	13,80	9,17	5,29
198,30	131,50	15,00	13,80	7,34	5,37
207,00	169,80	14,50	13,00	6,06	5,02
174,00	212,80	12,80	15,50	6,10	6,92
204,30	197,80	18,50	15,50	8,60	7,40
195,30	155,80	16,00	13,30	6,64	4,18

**Tabelle XXXX: Carotinoidgehalte mit und ohne Zusatz des Natriumalginats**

β-Carotin		Lutein		Zeaxanthin		Canthaxanthin	
Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz	Basis	Zusatz
0,00	0,00	7,79	4,61	3,62	3,03	1,93	2,78
0,00	0,00	6,86	3,86	3,99	2,87	2,26	3,14
0,00	0,00	7,11	6,31	3,91	3,18	4,28	2,02
0,00	0,00	7,80	5,46	4,42	3,15	2,79	4,77
0,00	0,00	8,94	5,34	4,03	2,89	3,63	4,39
0,00	0,00	7,60	4,36	3,70	2,59	4,60	2,63

**Tabelle XXXXI: Kenndaten des Einsatzes des Futterzusatzes Natriumalginat (FZT)**

Verhältnis	l bzw. kg	Futtermenge (g/Tier*Tag)	FZT/Tier*Tag (g)	LM/Tier (kg)	FZT/100 kg LM (g)
FZT : Futter	1,1 : 1000	112	0,12	1,683	6,0
FZT : Wasser	1 : 15				

**Tabelle XXXXII: Kenndaten der Herdenleistung und des Haltungsmanagements**

		Herde 1	Herde 2
Legeleistung (AH)	%	75,9	74,9
Legeleistung (DH)		79,5	77,6
Verlegte Eier		2,9	2,7
Knick/Schmutzei		3,7	3,5
Tierverluste		9,5	8,6
dav. Schlachtung		1,8	0,1
dav. Erdrückung			1,4
Legetage	Tage	348	349
Haltungstage		354	365
Auslaufzugang		263	272
	Stunden/Tag	7,6	8,0
Trinkwasser	ml/Tier* Tag	190	189
Futter	g/Tier* Tag	116	116

**Herausgeber:**

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

**Autor:**

Dr. Jens Lippmann  
Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Agrarwissenschaften e. V.  
an der Universität Leipzig  
Telefon: + 49 34222 46-2221  
Telefax: + 49 34222 46-2099  
E-Mail: [Jens.Lippmann2@smul.sachsen.de](mailto:Jens.Lippmann2@smul.sachsen.de)

**Redaktion:**

s. Autor

**Redaktionsschluss:**

30.04.2010

**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.