

# Abluftführung in der Legehennenhaltung

Schriftenreihe, Heft 18/2011



# Untersuchung des Einflusses der Abluftführung auf das Stallklima und die Emissionen in der Legehennenhaltung

Dr. Jens Lippmann

<b>1</b>	<b>Einführung und Zielsetzung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise und Methodik .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Bewertungen .....</b>	<b>12</b>
3.1	Herdengesundheit und Herdenleistung.....	12
3.2	Außen- und Stallklima .....	12
3.3	Abluftvolumenstrom und Emissionen .....	22
3.3.1	Abluftvolumenstrom .....	22
3.3.2	Emissionen gasförmiger Stallraumlasten.....	22
3.3.3	Emissionen von Staub und Geruch.....	23
<b>4</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>28</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Stallquerschnitt mit einseitig nachgeordnetem Wintergarten und doppelreihig angeordneten Voliereblöcken .....	7
Abbildung 2:	Luftführungsprinzip und Messstellenkonzeption für den untersuchten Stall .....	9
Abbildung 3:	Differenz der Ammoniakkonzentration im Sommer in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharraum .....	18
Abbildung 4:	Differenz der Ammoniakkonzentration im Übergang in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharraum .....	18
Abbildung 5:	Differenz der Ammoniakkonzentration im Winter in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharraum .....	19
Abbildung 6:	Tagesgang der Staubkonzentration im Abluftstrom .....	23

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Regelgrößen der Stalllüftungssteuerung innerhalb der Klimaklassen und Varianten.....	8
Tabelle 2:	Messtechnik zur Bestimmung der Außentemperatur und -feuchte .....	9
Tabelle 3:	Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase.....	10
Tabelle 4:	Messtechnik zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit und des Luftdrucks .....	10
Tabelle 5:	Staub- und Geruchsmesstechnik .....	12
Tabelle 6:	Kenndaten der Lufttemperatur im Stall und Außenumfeld sowie Stallluftfeuchte.....	13
Tabelle 7:	Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und 1. Stallraumareal.....	14
Tabelle 8:	Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und 2. Stallraumareal.....	14
Tabelle 9:	Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und Stallraummittelareal .....	15
Tabelle 10:	Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Ebenen innerhalb des Voliereblocks.....	16
Tabelle 11:	Kenndaten der Ammoniakkonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster .....	17
Tabelle 12:	Kenndaten der Kohlendioxidkonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster.....	20
Tabelle 13:	Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster .....	21
Tabelle 14:	Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster .....	22
Tabelle 15:	Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	23
Tabelle 16:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	24
Tabelle 17:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	24
Tabelle 18:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 2.5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	25
Tabelle 19:	Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d).....	26
Tabelle A1:	Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Sommer .....	28
Tabelle A2:	Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Übergang .....	28
Tabelle A3:	Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Winter.....	29
Tabelle A4:	Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster.....	29
Tabelle A5:	Kenndaten der Methankonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster .....	29
Tabelle A6:	Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	30
Tabelle A7:	Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	30
Tabelle A8:	Emissionsfaktoren mit Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d) .....	30

# 1 Einführung und Zielsetzung

Mit der vom Gesetzgeber eingeleiteten Neujustierung der Legehennenhaltung können nach derzeitiger Sachlage – zweite Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (22.08.2006) – Legehennenhalter ihre Stallanlagen entweder mit Bodenhaltungssystemen auf mehreren Ebenen als Reihen- bzw. Portalvolieren und Kotbandanlage sowie auf einer Ebene mit Kotbunker oder mit Kleingruppenhaltungssystemen ausstatten. Bei der Kleingruppenhaltung handelt es sich hier um ein Verfahren, das nach Modifikation wesentlicher Systemeigenschaften (Ausgestaltung und Dimensionierung) auf dem ausgestalteten Käfig basiert, der europaweit künftig als Leit- bzw. Standardhaltungssystem die Marktchancen in der Eierproduktion definiert.

Den Bodenhaltungssystemen werden derzeit i. d. R. ein überdachter Außenklimabereich (Wintergarten) und eine Auslauffläche nachgeordnet. Hiermit wird den Hennen die Möglichkeit geboten, ihr arteigenes Verhaltensrepertoire besser umzusetzen. Weiterhin wird mit der Erzeugung von Freilandeiern (Vermarktungsordnung) auf eine Marktnachfrage reagiert und eine ökonomische Nachhaltigkeit der Eierzeugung angestrebt. Aufgrund der bisherigen Einstufung von Eiern aus der Kleingruppenhaltung in die Vermarktungscharge „Käfigeier“ wird in Sachsen gegenwärtig ein hoher Anteil an Hennenplätzen auf Bodenhaltungssysteme umgestellt.

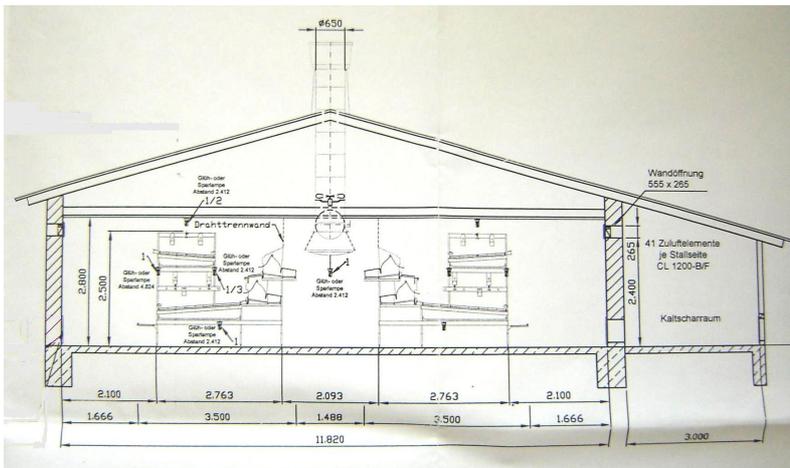
Mit der überwiegenden Zuordnung von Außenklimabereichen entfällt die bisher strikte Trennung des Haltungssystems von der Außenumwelt. Hieraus entstehen neue Managementanforderungen bei der Gestaltung des Stallklimas wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Luftzusammensetzung, Luftgeschwindigkeit bezüglich des Emissionsverhaltens dieser Systeme. Das hat existenzielle Bedeutung für die Unternehmen.

In diesem Kontext werden zunehmend Haltungssysteme für Legehennen in der Praxis etabliert, für die es nur wenige belastbare Kenndaten gibt. Den Bodenhaltungssystemen sind – gekoppelt an die Tieraktivitäten und Haltungsabprodukten – hohe Potenziale zur Freisetzung insbesondere staub- und gasförmiger Stallraumlasten immanent. Zur Sicherung wichtiger Stallklimaparameter (Ammoniakkonzentration unter 20 ppm bzw. Kohlendioxidkonzentration unter 3.000 ppm) werden bisher überwiegend Unterdrucklüftungssysteme mit traufseitiger Zuluft- und firstseitiger Abluftführung eingesetzt. Dabei entsteht mit der Öffnung zusätzlicher Stallwandflächen (Auslaufzugänge) die Gefahr, wesentliche Teilareale im Stall nur ungenügend zu durchlüften. Außerdem werden hohe Abluftvolumenströme vorgehalten, die das Emissionsverhalten dieser Haltungssysteme nachteilig bestimmen können. So werden nach eigenen Untersuchungen insbesondere in Systemen mit Kotbunker der Ammoniakemissionsfaktor von 0,3120 kg/Tpl.\*a (TA-Luft) erreicht bzw. überschritten. Die mehretägigen Systeme überschreiten bei den Staubkonzentrationen der Abluft teilweise die Vorsorgewerte (TA-Luft) von 20 mg/m<sup>3</sup> und im Kontext mit den hohen Luftwechselraten i. d. R. auch den Massenstrom von maximal 200 g/h zum Schutz der Außenumwelt. Aufgrund der umrissenen Problemstellungen werden zunehmend Hennenhaltungssysteme mit einem Unterdrucklüftungssystem ausgestattet, bei dem der Luftstrom im Stall dem Tunnelprinzip folgt. Vergleichende Untersuchungen beider Lüftungssysteme wurden bisher in Legehennenhaltungen nicht realisiert. Die Bearbeitung einer solchen Fragestellung wird insbesondere damit erschwert, weil die Ställe i. d. R. alternativ mit einem der Lüftungssysteme ausgerüstet sind. Zur gegenüberstellenden Bewertung der Befunde zum Stallklima und Emissionsverhalten ist es notwendig, dass beide Luftführungen alternativ an einem Standort vorhanden sind.

Ziel des Projektes sollte es deshalb sein, die Konzentrationen ausgewählter Stallraumlasten zu bestimmen und daraus Bewertungen zur Staub-, Geruchs- und Ammoniakemissionen aus einem Bodenhaltungssystem (Reihenvoliere) mit alternativer Luftführung (First- bzw. Tunnellüftung) abzuleiten. Hierfür wurden kontinuierliche Messungen von Kenndaten zur Bestimmung der gas- und staubförmigen Emissionen in definierten Zeitfenstern durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass die gewonnenen Ergebnisse praxisrelevante Ableitungen zum Management der Bodenhaltungssysteme – insbesondere des Lüftungsmanagements – und für die Genehmigungsverfahren auf der Basis belastbarer Daten gestatten.

## 2 Vorgehensweise und Methodik

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 Austribsystemen 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 (32 a 0,44 m<sup>2</sup>) sind den Tieren ein überdachter und befestigter Außenklimabereich (Wintergarten) und ein Auslauf mit 4 m<sup>2</sup> je Henne zugänglich. Der Stall hat eine Grundfläche von 100 m Länge und 12 m Breite. Er ist ca. 2,75 m im Innenraum hoch. Der Stallquerschnitt wird in der Abbildung 1 dargestellt.



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

Die Klimagegestaltung erfolgt über zwei Unterdrucklüftungssysteme mit voneinander unabhängiger Steuerung über die Stalllufttemperatur. Als Regelgröße werden für den Sommer- bzw. Winterbetrieb die Stalllufttemperatur, Minimal- sowie Maximalluftfrachten und Regelbereiche jeweils gesondert vorgegeben. Die Gesamtluftfrachte beträgt konzeptionell bei 20 Pa Unterdruck ca. 8 m<sup>3</sup> Abluftvolumen je Hennenplatz.

Mit dem ersten Lüftungssystem (Firstlüftung) wird die Abluft über fünf Abluftkamine (650 mm Durchmesser) im Firstbereich in Stalllängsachse – mit synchron stufenlos geregelten Ventilatoren ausgerüstet – aus dem Stall gefördert. Die Frisch- bzw. Zuluft gelangt hierbei über in diese Steuerung integrierte traufseitige Zuluftventile in den Stallraum. Hierbei können unter Beachtung von Strömungswiderständen maximal 60.000 m<sup>3</sup> Abluft je Stunde gefördert werden. Das entspricht ca. 3 m<sup>3</sup> je Tierplatz und ist für einen ausreichenden Luftwechsel im Sommer (5,8 m<sup>3</sup>/Tpl.\*h) unterdimensioniert. Die maximale Abluftfläche beträgt hierbei ca. 1,7 m<sup>2</sup> und die steuerbare Zuluftfläche im Maximum ca. 7 m<sup>2</sup>.

Mit dem zweiten Lüftungssystem (Tunnellüftung) wird über sechs Abluftkamine (820 mm Durchmesser) im Deckenbereich am hinteren Stallende die Abluft aus dem Stall gefördert. Zur Steuerung des Luftwechsels im Stall sind zwei Kamine am hinteren Stallende mit stufenlos geregelten Ventilatoren (Sicherung der Minimalluftfrachte) ausgerüstet. Die restlichen vier Abluftventilatoren werden einzeln temperaturabhängig ungeregelt angesteuert. Die Zuluft gelangt hier konzeptionell über manuell zu öffnende Zuluftventile bzw. vier Zuluftkamine (820 mm Durchmesser) im vorderen Deckenbereich über den Dachraum bzw. direkt in den Stallraum (Abbildung 2). Hierbei können unter Beachtung von Strömungswiderständen (vier Kamine mit Schwerkraftklappen) maximal 120.000 m<sup>3</sup> Abluft je Stunde gefördert werden. Das entspricht ca. 6 m<sup>3</sup> je Tierplatz und genügt für einen ausreichenden

Luftwechsel im Sommer (5,8 m<sup>3</sup>/Tpl.\*h). Die maximale Ablufffläche beträgt hierbei ca. 3,0 m<sup>2</sup> und die manuell verstellbare Zuluftfläche im Maximum ca. 3,4 m<sup>2</sup> (2 m<sup>2</sup> Zuluftkamine, 1,4 m<sup>2</sup> Zuluftventile). Zusätzlich ist ein Luftwechsel über ca. 13 m<sup>2</sup> Zuluftfläche bei der Öffnung der Passageklappen zum Wintergarten möglich.

Das in der Praxis angewendete Lüftungsmanagement ist so konzipiert, dass der Abluftstrom überwiegend nach dem Prinzip der Tunnellüftung über die sechs Abluftkamine am hinteren Stallende aus dem Stall geführt wird. Die nachströmende Zuluft gelangt über die Zuluftventile in der Stalldecke (Winterbetrieb) bzw. über die vier Zuluftkamine im Dachbereich am gegenüberliegenden Stallende (Sommerbetrieb) in den Stallraum. Weil beide Abluftsysteme unabhängig voneinander arbeiten, werden erst ab einer festlegbaren Stalllufttemperatur (zurzeit 25 °C) die fünf firstseitigen Abluftkamine in die Stalllüftung integriert.

Für die Untersuchungen wurde nunmehr versucht, beide Teilsysteme der Stalllüftung gesondert zu betreiben und dennoch das Stallklima für die Hennen im leistungsorientierten Optimalbereich zu sichern. Hierzu wurden zwei Lüftungsvarianten umgesetzt:

■ über First (als „First“ bezeichnet):

Bei der ersten Variante wurde der Abluftstrom über die firstseitigen Abluftkamine entlang der Stalllängsachse geführt. Die Zuluft strömte über die gesteuerten Zuluftventile entlang der Traufen in den Stall ein. Weil die zwei geregelten Abluftkamine der Tunnellüftung nicht verschließbar sind und die Luftwechselrate der Firstlüftung für den Sommerbetrieb unterdimensioniert ist, wurden diese beiden Kamine in dieser Variante über die Festlegung einer Minimal- und Maximalluftrate so in Betrieb gehalten, dass sie nicht als zusätzliche Zuluftstrecke auftreten (Stillstand der Ventilatoren) und einen Beitrag zur Sicherung der Maximalluftrate leisten (vgl. Tabelle 5).

■ Tunnelprinzip (als „Tunnel“ bezeichnet):

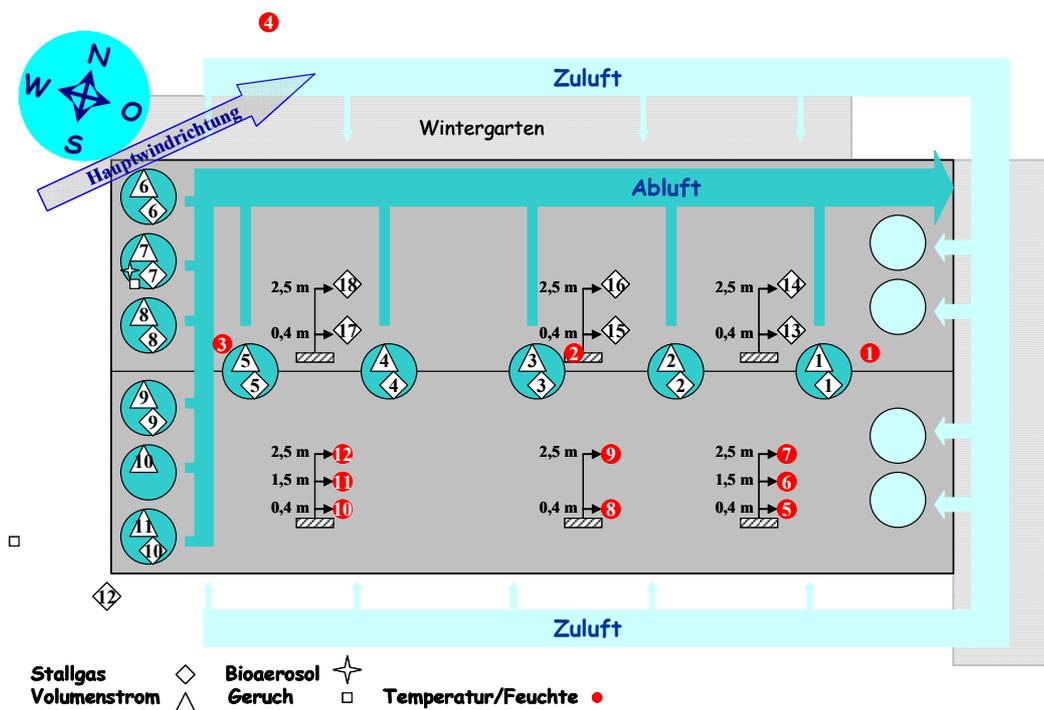
Bei der zweiten Variante wurde der Abluftstrom über die sechs Abluftkamine im Deckenbereich am hinteren Stallende geführt. Im Winterbetrieb gelangte die Zuluft über sechs Ventile im Deckenbereich am gegenüberliegenden Stallende aus dem Dachraum und über 1/3 manuell geöffnete Zuluftventile entlang der Traufen in den Stall. Im Sommer- und Übergangsbetrieb wurden die sechs Ventile im Deckenbereich geschlossen und hierfür die vier Zuluftkamine an gleicher Stelle geöffnet. Unabhängig von den Lüftungsvarianten wurden beidseitig jeweils fünf der Ventile entlang der Traufen in kurzer Distanz zu den Abluftkaminen im Deckenbereich am hinteren Stallende verschlossen. Hierdurch sollte ein direkter Luftwechsel in diesem Bereich unterbunden werden, um den Luftwechsel auch bei niedrigeren Lufraten in hiervon abgelegenen Stallarealen zu stabilisieren. Die hierfür vorgegebenen Regelgrößen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

**Tabelle 1: Regelgrößen der Stalllüftungssteuerung innerhalb der Klimaklassen und Varianten**

Regelgröße		Lüftungs-anlage	Variante					
			Winter		Übergang		Sommer	
			First	Tunnel	First	Tunnel	First	Tunnel
Solltemperatur	°C	Tunnel	9	9	22	14-16	26	16-20
		First	9	16	12-14	23	16-20	26
Lufrate	Min.	Tunnel	5	5	15	15	15	15
		First	5	0	5	0	5	0
	Max.	Tunnel	15	100	40	100	60	100
		First	100	0	100	40	100	40
Regelbereich	K	Tunnel	5					
		First	5+3					

Je Variante wurden ca. 14 Messtage realisiert. Die Varianten wurden innerhalb der Klimaklasse direkt aufeinanderfolgend untersucht. Als Untersuchungszeitraum stand das Jahr 2009 (Januar bis Oktober) zur Verfügung. Die Messzeitfenster wurden so geplant, dass annähernd vergleichbare Außentemperaturen innerhalb der Klimaklassen „Winter“ – unter 8 °C –, „Sommer“ – über 18 °C – und „Übergang“ – zwischen 8 °C und 18 °C – realisiert werden.

In den Messzeitfenstern 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 der Abluftvolumenstrom sowie der Differenzluftdruck zwischen Stallumfeld und -raum gemessen. Zur Kalkulation der Staub- und Geruchsstofffrachten wurden Spotmessungen je Lüftungsvariante und Klimaklasse durchgeführt. Weiterhin wurden kontinuierlich Daten zur Windströmung, Lufttemperatur, -feuchte und zum Luftdruck im Umfeld des Hennenstalls erfasst. Abbildung 2 zeigt die Messstellenkonzeption.



**Abbildung 2: Luftführungsprinzip und Messstellenkonzeption für den untersuchten Stall**

Die Temperatur- und Luftfeuchtwerte im Stall und Umfeld (Abbildung 2, rot 1-12) wurden in 15- bzw. 10-minütigen Intervallen registriert. Zusätzlich wurden an den Messpunkten 5 – 12 (rot) diese Parameter innerhalb des Voliereblocks aufgezeichnet. Die Parameter im Außenumfeld wurden mittels einer Wetterstation im Auslauf der Hennenhaltung (MP 4, rot) in einer Höhe von 2,5 m gemessen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 2: Messtechnik zur Bestimmung der Außentemperatur und -feuchte**

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

Die Überprüfung der Temperatur- und Feuchtemessgeräte unter gleichen Messbedingungen ergab eine Streuung der Gerätedaten von ± 0,3 °C bei der Lufttemperatur und ± 6 % bei der Luftfeuchte.

Für die Messung Stallgaskonzentrationen in der Stall-, Zu- und Abluft wurden 12 Messpunkte eingerichtet (Abbildung 2). 10 Messstellen befanden sich innerhalb des Abluftstromes jedes Abluftkamins. Je Lüftungsvariante wurden hiervon vier repräsentative Messstellen aufgezeichnet. Je eine Messstelle wurde im Stallinnenraum (h=1,5 m, am Temperaturmesspunkt 2) und am Zuluftstrom (Viereck 12) 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. Weitere sechs Messstellen wurden über der oberen Ebene des Voliereblocks (Abbildung 2, Viereck 14, 16, 18) und im Scharrraum unter dem Voliereblock (Abb. 2, Viereck 13, 15, 17) eingerichtet. Die Messstellen wurden über mit Filter ausgestattete Messschläuche am Messstellenumschalter zusammengeführt und die Probenluft zyklisch im Multigasmonitor analysiert. Aufgrund der hohen Anzahl Messstellen wurden stündlich ca. drei Analysewerte zu jedem Gas registriert. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 3: Messtechnik zur Bestimmung der Stallluftgase**

Messgerät	Multigasmonitor 1312, Fa. Innova Air Tech Instruments, Photoakustische IR-Spektroskopie
Komponenten	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
Messbereich/ Genauigkeit:	CO <sub>2</sub> ...1,5-15000 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.
Probenahme	Multiplexer 1309, Fa. Innova Air Tech Instruments unbeheiztes PET-Rohr bis zum Messstellenumschalter, Staubfilter (DIF BN 50K-10) am Messgaseingang
Datenerfassung	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7300, ca. 3 Messwerte je Stunde

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.

Zur Bestimmung des Volumenstromes wurde jeder Abluftkamin mit einem Messventilator ausgerüstet. Der Einbau erfolgte im Druckbereich des Ventilators am oberen Kaminende. 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 direkt montiert ist. Zusätzlich haben die fünf Überfirstkamine Abluftsteuerklappen. Der zusätzliche Einbau eines Strömungsgleichrichters wurde verworfen, weil Leistungsverlust und Wartungsaufwand eine hohe Störanfälligkeit verursachen. 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 4: Messtechnik zur Bestimmung der 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. 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

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

<sup>1)</sup> 5 Ventilatoren,  $R^2 = 0,9949$

<sup>2)</sup> 6 Ventilatoren,  $R^2 = 0,9959$

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

Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte auf stundenbasierten Mittelungswerten auf der Basis Normzustand/trocken. Die 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 Züchtervorgaben zur Gewichtsentwicklung werden die Tiere mit ca. 1,45 kg eingestallt und erreichen etwas über 2 kg zur Ausstallung. 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. 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 Mittelwertsvergleich (Kruskal-Wallis) durchgeführt.

Je Klimaklasse und Lüftungsvariante wurden einmalige Spotmessungen zur Strömungsgeschwindigkeit im Stall durchgeführt (Flügelradanemometer; Auflösung ... 0,01 m/s, Messbereich ... 0,2-20 m/s). Die Messpunkte wurden in Höhe der Stallgasmessstellen (vgl. Abbildung 2) entlang der Stallmittelachse und der rechten und linken peripheren Stallachsen festgelegt. Es wurde jeweils in einer Höhe von 1 bzw. 2 m gemessen.

In Zeitfenstern von jeweils ca. drei Stunden wurden je Klimaklasse Staubmessungen durchgeführt. Hierbei wurde der Gesamtstaub und die Fraktionen PM-10 sowie PM-2,5 gravimetrisch bestimmt. Diese Messungen erfolgen isokinetisch durch die BfUL. Parallel hierzu wurden Verlaufsmessungen über einen Zeitraum von mindestens 24 h durchgeführt. Hierdurch kann das Niveau der Staubkonzentration im Tagesgang abgebildet werden, welches zur Kalkulation der mittleren Staubkonzentration im Tagesgang und der jährlichen Massenströme nötig ist.

Die Geruchsmessungen fanden im Zeitraum der Staubmessungen statt. Die Referenzmessstelle zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration im Abluftstrom wurde je nach Lüftungsvariante in den Kaminen 7 (Tunnel) und 2 (First) eingerichtet. In ca. 1 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 2).

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 drei Messserien zu je zwei Abluft-, einer Stallluft- und einer Außenluftprobe durchgeführt. Die Bewertung erfolgte am Olfaktometer anhand der Geruchsschwellenbestimmung durch ein etabliertes Probandenteam der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg unter Leitung von Dr. Werner Frosch. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der hierfür benutzten Messgeräte zusammengestellt.

**Tabelle 5: Staub- und Geruchsmesstechnik****Staub**

Messgerät	Staubmessgerät 1.105, Fa. GRIMM, 90° Streulichtmessung GMU Kaskadenimpaktor Johnas II / Planfilterkopfsonde
Messbereich/ Genauigkeit:	Kanäle: PM10, Betrieb: 4 – 40 °C, < 95 % rel. Luftfeuchte Imp-verf.: VDI 2066/10, Kaskaden ( $d_{ae} > 10, 2,5-10, < 2,5\mu\text{m}$ ), Filterkopf: DIN EN 13284-1 Abscheidegrad 99,999%
<b>Geruchsstoffkonzentration</b>	
Messgerät	Olfaktometer T 07
Probenahme	Probennehmer, 30 Minuten

Die Tiergesundheit und Stallhygiene wurden mittels einer Stallbegehung und Tierbonitur innerhalb der Messzeitfenster bewertet. Hierbei wurden der Gefiederzustand, die Einstreu nach Federgehalt und Konsistenz bewertet. Weiterhin wurden Herdendaten aus dem Stallbuch zusammengestellt. Dieses Monitoring soll Backgrounddaten für das Haltungssystem liefern, um die erhobenen Umweltdaten betrieblich werten zu können.

## 3 Ergebnisse und Bewertungen

### 3.1 Herdengesundheit und Herdenleistung

Die Hennen wurden mit 19 Lebenswochen in das Haltungssystem eingestallt. Das Einstallgewicht der Hennen lag bei ca. 1,4 kg. Die Hennen erreichten zwischen der 23. und 24. Lebenswoche die Legereife. Die Tierverluste lagen in vorherigen Stallbelegungen bei 8 %. Mit Ende der Untersuchungen stand die Herde ca. 50 % der Gesamthaltungsperiode im Stall. Hier lagen die Tierverluste bei 2,7 %. Unter Annahme einer weitgehend störungsfreien Haltungsperiode werden in etwa Tierverluste unterhalb des Niveaus der Vorbelegungen erwartet. Der tägliche Futtermittelverbrauch lag im Mittel bei ca. 110 g/Tier. Der tägliche Wasserverbrauch von 195 ml je Henne korrespondiert gut mit dem Futtermittelverbrauch. Die Legeleistung lag um 90 % bis zur 45. Lebenswoche, sank dann auf 80 % ab. Im Stall wurde ein Anteil an verlegten Eiern um die 3 % stabilisiert. 4 % der Eier sind nicht vermarktungsfähig. Die Hennen haben täglich für ca. 8 Stunden Zugang zu den Auslaufflächen. Das Verhalten der Hennen ist sehr ausgeglichen. Der Gefiederzustand kann mit gut eingeschätzt werden. Gegenseitiges Bepicken wurde selten registriert. Deutliche Verletzungen und direkter Kannibalismus wurden nicht beobachtet. Einen positiven Einfluss hierauf nimmt das generelle Schnabeltouchieren. Eine Schädnerbekämpfung erfolgte regelmäßig. Mit Fortschritt der Stallbelegungszeit trat die rote Vogelmilbe z. T. deutlich in Erscheinung. Hierin werden keine Unterschiede zu den bereits untersuchten Bodenhaltungen gesehen.

### 3.2 Außen- und Stallklima

In der nachfolgenden Tabelle werden die mittleren Kenndaten sowie deren Auslenkungen der Stalllufttemperatur und -feuchte sowie der Lufttemperatur im Umfeld des Stalls während der Zeitfenstermessungen innerhalb der drei Klimaklassen zusammengestellt.

**Tabelle 6: Kenndaten der Lufttemperatur im Stall und Außenumfeld sowie Stallluftfeuchte**

Klimaklasse		Temperatur (°C)				Feuchte (%)	
		Außen		Stall		Stall	
		Tunnel	First	Tunnel	First	Tunnel	First
Winter	Max.	14,4	10,5	17,7	11,7	84	83
	75 %	6,9	4,0	12,3	9,8	76	78
	Median	5,6	1,9	11,2	9,6	72	76
	Mittelwert	5,9	2,1	11,4	9,6	71	75
	25 %	4,3	0,4	10,1	9,1	67	72
	Min	0,3	-5,3	6,7	8,0	46	59
Übergang	Max.	24,7	15,4	24,7	18,3	90	89
	75 %	14,5	9,2	18,3	14,6	73	80
	Median	11,6	7,0	17,1	13,1	69	77
	Mittelwert	11,4	6,9	17,4	13,4	69	76
	25 %	7,5	4,5	16,0	12,0	66	73
	Min	1,7	-1,1	10,7	7,7	49	54
Sommer	Max.	29,8	26,1	30,2	26,5	89	84
	75 %	23,8	18,5	25,4	22,4	81	74
	Median	19,0	15,5	22,7	20,5	77	69
	Mittelwert	20,4	15,7	23,3	20,6	74	68
	25 %	17,1	12,8	21,4	18,6	66	63
	Min	13,3	8,2	18,0	16,2	40	47

Die mittleren Außentemperaturwerte rangieren während der Messungen zur Lüftungsvariante „Tunnel“ in den angezielten Temperaturbereichen. Innerhalb der Klimaklassen „Übergang“ und „Sommer“ werden bei den Messungen zur Lüftungsvariante „First“ diese Zielgrößen unterschritten. Hier tritt verursachend hinzu, dass z. B. im Sommer 2009, vergleichbar mit 2007, nur 25 % der Stundenmittelwerte über 22 °C lagen. Hierdurch werden im Sommermittel gerade 18,5 °C erreicht. 2008 lag dieser Wert bei über 19 °C. Diesem Trend folgen auch die Stalllufttemperaturen auf höherem Niveau. Der gemessene Temperaturbereich im Stall hat jedoch auf die hier zu prüfenden Stallraumlasten (Ammoniak, Gesamtstaub und Geruch) einen vergleichbaren Einfluss bezüglich der Freisetzungen. Die zweite Einflussgröße ist der über die Stalltemperatur durch die Außentemperatur beeinflusste Abluftvolumenstrom. Dieser wird unter Abschnitt 3.3.1 gesondert zwischen den Varianten vergleichend betrachtet.

Die stalleklimatischen Messungen sollten auch zur Niveaueverteilung über die gesamte Stallfläche Auskunft geben. Im Fokus standen dabei die Ammoniakkonzentrationen und insbesondere die Stalllufttemperatur. In den nachfolgenden Tabellen werden auf der Basis der Temperatur im Zentrum des Stalls die Differenzen hierzu an den peripheren Stallarealen und innerhalb eines Voliereblocks zusammengestellt.

**Tabelle 7: Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und 1. Stallraumareal**

			Basis Stallmitte Mittelgang	Mittelgang	Differenz 1.Stallraumareal Voliereebene			n 15-min Werte
					obere	mittlere	untere	
Temperatur	Winter	First	9,5	-2,7	2,4	3,1	-2,6	768
		Tunnel	11,4	-2,7	4,7	2,5	-2,9	2640
	Übergang	First	13,4	-0,2	4,6	4,3	-0,5	1540
		Tunnel	17,4	-1,4	2,4	1,2	-1,5	1248
	Sommer	First	20,6	0,1	4,0	4,8	0,8	864
		Tunnel	23,3	-0,8	3,7	1,9	0,5	1152
Feuchte	Winter	First	75	3	-11	-19	10	768
		Tunnel	71	6	-15	-16	15	2640
	Übergang	First	76	6	-15	-3	18	1540
		Tunnel	69	9	-9	2	21	1248
	Sommer	First	67	0	-10	-14	6	864
		Tunnel	74	2	-13	-11	7	1152

**Tabelle 8: Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und 2. Stallraumareal**

			Basis Stallmitte Mittelgang	Mittelgang	Differenz 2.Stallraumareal Voliereebene			n 15-min Werte
					obere	mittlere	untere	
Temperatur	Winter	First	9,5	1,5	6,2	5,1	1,1	768
		Tunnel	11,4	0,1	1,4	4,1	0,2	2640
	Übergang	First	13,4	1,7	1,7	5,9	1,1	1540
		Tunnel	17,4	0,9	1,7	4,5	0,7	1248
	Sommer	First	20,6	0,2	0,2	4,1	-0,2	864
		Tunnel	23,3	-0,1	3,1	4,3	0,7	1152
Feuchte	Winter	First	75	8	-15	-14	8	768
		Tunnel	71	9	-5	-11	9	2640
	Übergang	First	76	8	-5	-11	21	1540
		Tunnel	69	9	-5	-7	21	1248
	Sommer	First	67	10	-1	-10	11	864
		Tunnel	74	9	-8	-12	8	1152

**Tabelle 9: Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Stallzentrum und Stallraummittelareal**

			Basis Stallmitte Mittelgang	Differenz Stallraummittelareal Voliereebene		n 15-min Werte
				obere	untere	
Temperatur	Winter	First	9,5	2,1	-0,8	768
		Tunnel	11,4	1,8	-0,3	2640
	Übergang	First	13,4	2,7	-0,3	1540
		Tunnel	17,4	2,1	-0,7	1248
	Sommer	First	20,6	1,2	0,1	864
		Tunnel	23,3	3,4	0,5	1152
Feuchte	Winter	First	75	5	7	768
		Tunnel	71	7	8	2640
	Übergang	First	76	4	6	1540
		Tunnel	69	5	7	1248
	Sommer	First	67	7	5	864
		Tunnel	74	3	3	1152

Hierbei liegt das erste Stallraumareal in der Lüftungsvariante „Tunnel“ dem Frischluftzufluss in den Stallraum nahe und das zweite Areal am gegenüberliegenden Stallende nahe der Abluftkammine. Innerhalb der Variante „First“ werden die drei Teilareale über den ausschließlich traufeseitigen Zufluss von Frischluft homogener versorgt.

Generell ist festzuhalten, dass die Temperaturen auf oberer und mittlerer Ebene innerhalb des Voliereblockes unabhängig der Lüftungsvariante und Klimaklasse oberhalb der Stalllufttemperatur im Stallzentrum (Basiswert) liegen. Demgegenüber liegen die Temperaturen unterhalb des Voliereblockes und auf dem Mittelgang in den peripheren Stallarealen auf vergleichbarem Niveau - im ersten Areal unterhalb, im zweiten Areal oberhalb des Basiswertes.

Im mittleren Stallareal liegt die Lufttemperatur unterhalb der Voliere unter und auf der oberen Voliereebene oberhalb des Basiswertes. Im ersten Stallareal sind die Temperaturen innerhalb des Voliereblockes bei hohen Luftraten im Übergang und Sommer bei Firstlüftung gegenüber dem Basiswert höher als bei der Tunnellüftung. Das ist insbesondere auf die Nähe des ersten Stallareals zum Frischlufteintritt bei Tunnellüftung zurückzuführen. Im Winter bei geringeren Luftraten und gedrosseltem Frischluftzustrom (bzw. über Dachraum vorgewärmt) kann hier keine Vorzüglichkeit einer Variante erkannt werden. Dabei sind generell die Temperaturen auf der oberen Ebene des Voliereblocks höher.

Im zweiten Stallareal sind die Temperaturen auf der mittleren Ebene des Voliereblocks unabhängig von der Lüftungsvariante bei hohen Luftraten im Sommer und Übergang vergleichbar mit dem Basiswert. Bei geringerer Lüftungsrate leistet hier die Tunnellüftung einen besseren thermischen Ausgleich. Im Stallmittelareal ist generell keine Lüftungsvariante zu bevorzugen. Hier ist tendenziell erkennbar, dass die Tunnellüftung bei der Belüftung des Voliereblocks größere Nachteile zeigt.

Im Gegensatz zu bisherigen Beurteilungen einer Stalldurchströmung nach dem Tunnelprinzip ist hier keine Überlegenheit dieses Lüftungsprinzips erkennbar. Eine wesentliche Ursache hierfür wird in den fast bis zur Stalldecke reichenden Voliereblöcken vermutet. Diese grenzen die Zwischenräume (begehbarer Scharrraum) deutlich ab. In diesen frei durchströmbaren Stallarealen wird hierbei eine gute Frischluftzufuhr gewährleistet. Diese erstreckt sich über den gesamten Scharrraum auch unterhalb der Voliereblöcke. Wegen des deutlich höheren Strömungswiderstandes innerhalb der Voliereblöcke findet hier ein z. T. nur ungenügender Luftaustausch statt. Bei dem untersuchten Stall sorgt eine Querdurchströmung mit Ablufführung über First durch

kürzere Strömungsstrecken für einen verbesserten Austausch. Das trifft insbesondere bei niedrigeren Luftraten zu. Das bestätigen auch die Temperaturvergleiche innerhalb des Voliereblocks (Tabelle 10).

**Tabelle 10: Differenzen der Lufttemperatur und -feuchte zwischen Ebenen innerhalb des Voliereblocks**

			Basis	Differenz		n
			Voliereebene	Voliereebene		
			mittlere	obere	untere	Werte
Temperatur	Winter	First	13,6	-0,5	-4,8	768
		Tunnel	14,7	-0,6	-4,3	2640
	Übergang	First	18,5	-2,1	-5,0	1540
		Tunnel	20,2	-0,8	-3,3	1248
	Sommer	First	25,0	-2,7	-4,2	864
		Tunnel	26,4	0,3	-2,5	1152
Feuchte	Winter	First	58	10	25	768
		Tunnel	57	9	24	2640
	Übergang	First	69	1	22	1540
		Tunnel	66	-1	18	1248
	Sommer	First	55	11	19	864
		Tunnel	62	6	18	1152

Hier ist auffällig, dass es insbesondere bei der Tunnellüftung im Sommer nochmals zu einem Temperaturanstieg auf der oberen Ebene des Voliereblocks gegenüber der Temperatur im Block kommt.

Aufgrund der größeren Messwerttoleranzen bei der relativen Luftfeuchte wird auf eine Diskussion dieser Befunde verzichtet. Zusammenfassend liegen alle Werte innerhalb des Optimalbereiches für Legehennen.

Insbesondere Ammoniak und Kohlendioxid prägen die Stallluftqualität in der Hennenhaltung. Hierbei sollte Ammoniak 20 ppm (ca. 14 mg/m<sup>3</sup>) und Kohlendioxid 3.000 ppm (ca. 5,4 g/m<sup>3</sup>) im Stall nicht überschreiten. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kennwerte für Ammoniakkonzentrationen im Stall, der Ab- und Zuluft für die Lüftungsvarianten innerhalb der Klimaklassen zusammengestellt.

**Tabelle 11: Kenndaten der Ammoniakkonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster**

Klimaklasse		Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Anzahl h-Mittel
		Stall		Zuluft		
		Tunnel	First	Tunnel	First	Tunnel/First
Winter	Max.	3,6	6,2	1,9	2,2	660/172
	75 %	1,8	3,5	1,1	1,7	
	Median	1,4	2,9	0,9	1,5	
	Mittelwert	1,5	3,0	0,9	1,4	
	25 %	1,1	2,3	0,8	1,2	
	Min.	0,7	1,4	0,5	0,8	
Übergang	Max.	7,4	12,5	3,6	4,8	289/386
	75 %	4,2	8,2	2,2	3,4	
	Median	3,1	6,4	1,8	2,9	
	Mittelwert	3,4	6,7	1,9	2,9	
	25 %	2,5	5,1	1,5	2,5	
	Min.	1,5	3,0	1,1	1,7	
Sommer	Max.	8,9	8,0	2,7	5,2	286/220
	75 %	4,1	3,0	1,7	2,5	
	Median	3,1	2,0	1,5	1,7	
	Mittelwert	3,4	2,5	1,5	2,0	
	25 %	2,2	1,5	1,2	1,3	
	Min.	0,9	0,5	0,6	0,4	

Unabhängig von den Varianten ist die Ammoniakkonzentration insgesamt auf niedrigem Niveau. Dabei bewegt sich die Zuluftkonzentration auf dem Niveau eigener Vorbefunde. Hervorhebenswert ist, dass insbesondere bei der über Firstableitung der Stallabluft im Sommer die Differenz zwischen Stall- und Abluftkonzentration einerseits und Zuluftkonzentration andererseits fast ausgeglichen scheint. Eine ansatzweise Erklärung hierfür leitet sich aus dem Vergleich von Legehennenhaltungen mit Außenklimabereich und ohne einen solchen her. Tendenziell scheint mit sinkendem Differenzdruck zwischen Stallraum und Stallumfeld, der bei Öffnung der Passageklappen zum Außenklimabereich einer Hennenhaltung auftritt, insbesondere in Verbindung mit windberuhigten Sommerwetterlagen die abgeführte Stallluft im nahen Stallumfeld die Luftkonzentrationen deutlich zu beeinflussen. Hierzu sollten gesonderte Datenanalysen durchgeführt werden, die derzeit nicht Gegenstand vorliegender Bewertungen sind. Dieser Sachverhalt soll im Folgenden anhand der Kohlendioxidkonzentrationen nochmals erörtert werden, weil hier eine natürliche Konzentration zur Verfügung steht. Mit Ausnahme der Sommerkenndaten steigt die Ammoniakkonzentration bei Firstlüftung gegenüber Tunnel an. Diese Tatsache bestätigen auch die Vorort-Begehungen des Stalls, wobei stets eine bessere Stallluftqualität unter Tunnellüftung bemerkt werden konnte. Weil bei Firstlüftung des Stalls auch der Voliereblock eher in Stallquerrichtung durchströmt werden könnte, ist die Frage zu klären, ob die Ammoniakkonzentration innerhalb des Voliereblocks von der Hauptdurchlüftungsrichtung beeinflusst wird.

In den nachfolgenden drei Abbildungen sind deshalb die Konzentrationsdifferenzen zwischen der Stallluft (gemessen im mittleren Stallbereich zwischen den Voliereblöcken oberhalb des Scharrraums) und an ausgewählten Arealen innerhalb des Voliereblocks gegenübergestellt. Die hierzu gehörenden Kennwerte sind im Anhang (Tab. A1 – 3) zusammengestellt.

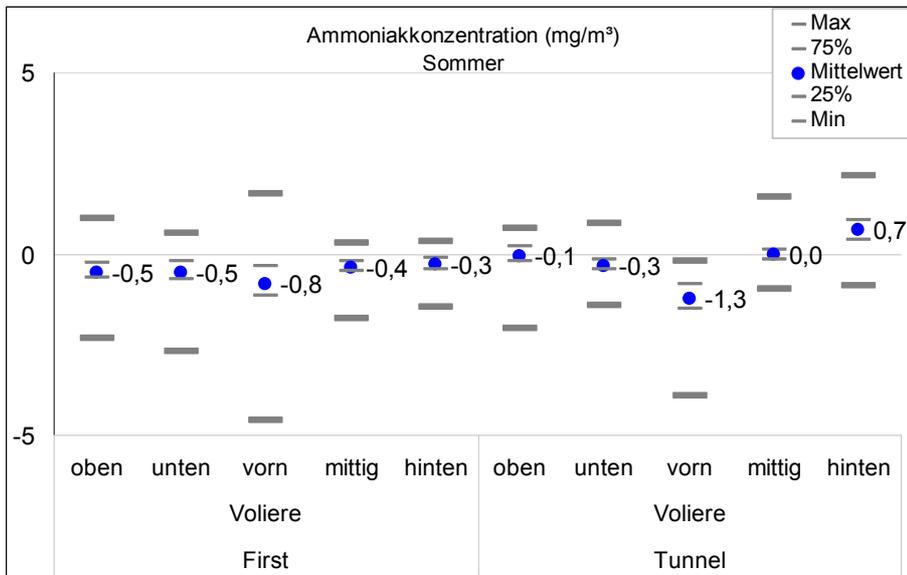


Abbildung 3: Differenz der Ammoniakkonzentration im Sommer in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharrraum

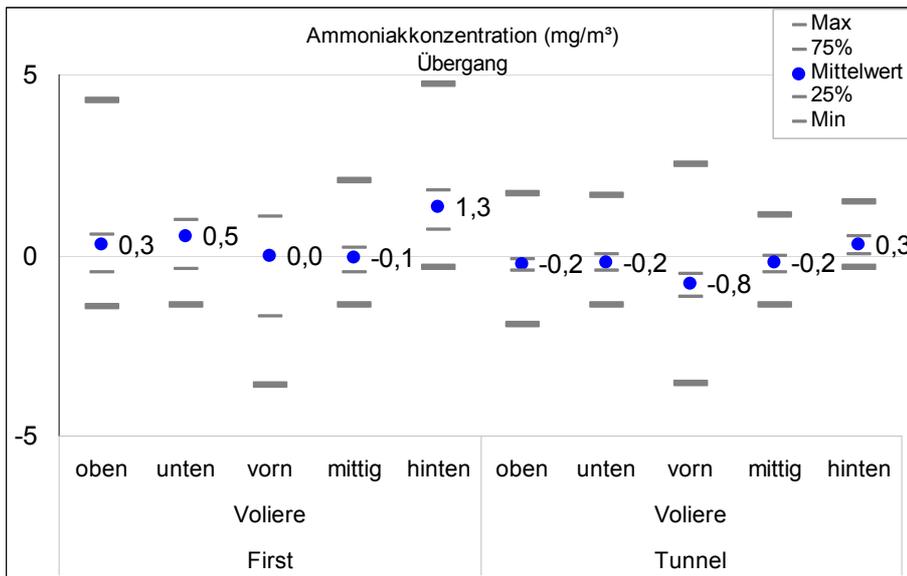
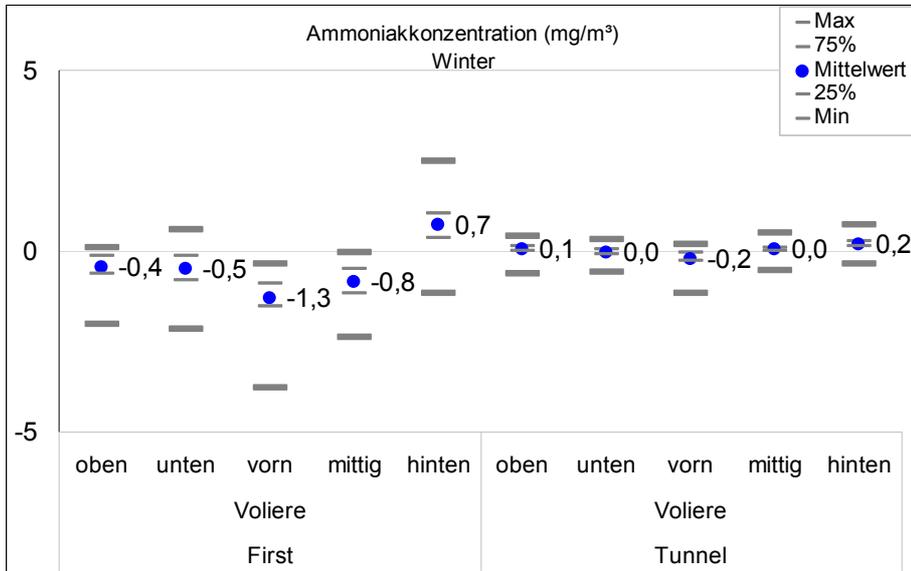


Abbildung 4: Differenz der Ammoniakkonzentration im Übergang in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharrraum



**Abbildung 5: Differenz der Ammoniakkonzentration im Winter in ausgewählten Arealen des Tierbereiches zum Basiswert zwischen den Voliereblöcken innerhalb frei durchströmbarer Areale über dem Scharrraum**

Als Basiswert wurde hier die mittlere Konzentration, gemessen in der Mitte des Stalls zwischen den Voliereblöcken in ca. 1 m über den Scharrraumboden, benutzt. Bei der Firstlüftung wurden hier für Winter 3,0, Übergang 6,7 und Sommer 2,5 mg je m<sup>3</sup> gemessen. Bei der Tunnellüftung waren die Vergleichswerte 1,5, 3,4 und 3,4 mg je m<sup>3</sup>. Die Teilareale „oben“ und „unten“ mitteln jeweils die drei Messpunkte oberhalb und unterhalb des Voliereblocks. Die Teilareale „vorn“, „mittig“ und „hinten“ jeweils die oberen und unteren Messstellen im ersten und zweiten Stallraumareal sowie im Stallraummittelareal.

Bei der Firstlüftung sind im Sommerbetrieb die Ammoniakkonzentrationen innerhalb der Teilareale des Voliereblocks gegenüber Tunnelprinzip deutlicher abgesenkt. Lediglich nahe den Zuluftflächen bei Tunnellüftung ist die Ammoniakkonzentration deutlich geringer als an der Messstelle in der Stallmitte (Basiswert). Hier scheint unabhängig von der absoluten Ammoniakkonzentration im Stall die Firstlüftung ein besseres Stallklima auch in den Teilbereichen des Voliereblockes zu gewährleisten.

Innerhalb der Klimaklasse Übergang sind die Konzentrationsabsenkungen unter Tunnellüftung deutlicher. Hierbei ist zu beachten, dass die Konzentration in der Stallluft insgesamt bei Firstlüftung doppelt so hoch wie bei Tunnellüftung ist. Dennoch ist die Abluftkonzentration hier deutlich geringer als in der Stallluft. Es ist durchaus erklärbar, dass die Ursache hierfür im hohen Anteil an einem direkten Luftwechsel zwischen Zuluftbereichen und Abluftkamin liegt. Somit ist davon auszugehen, dass die Tieraufenthaltsbereiche innerhalb des Voliereblocks nur teilweise von Frischluft durchströmt werden.

Bei geringen Luftwechselraten im Winter sind die Teilareale im Voliereblock bei Firstlüftung gegenüber der Ammoniakkonzentration im Stall niedriger. Hier sind bei Tunnellüftung fast keine Differenzen feststellbar. Über den gesamten Stallraum ist die Ammoniakkonzentration bei einer Ablufführung über First gegenüber Tunnellüftung erhöht.

Die Konzentrationen an Kohlendioxid im Stall zeigen in der Stall- und Abluft keine so deutlichen Unterschiede (Tabelle 12)

**Tabelle 12: Kenndaten der Kohlendioxidkonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster**

Klimaklasse		Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Anzahl h-Mittel
		Stall		Zuluft		
		Tunnel	First	Tunnel	First	Tunnel/First
Winter	Max.	2,5	2,7	0,8	0,8	660/172
	75 %	1,8	2,2	0,8	0,8	
	Median	1,7	2,0	0,8	0,8	
	Mittelwert	1,7	2,0	0,8	0,8	
	25 %	1,6	1,8	0,7	0,8	
	Min.	1,2	1,5	0,7	0,7	
Übergang	Max.	3,6	3,5	1,2	1,2	289/386
	75 %	2,7	2,7	1,1	1,1	
	Median	2,3	2,4	1,1	1,1	
	Mittelwert	2,4	2,5	1,1	1,1	
	25 %	2,0	2,2	1,0	1,0	
	Min.	1,7	1,8	1,0	1,0	
Sommer	Max.	2,6	2,5	1,5	2,3	286/220
	75 %	1,9	2,2	1,2	2,1	
	Median	1,7	2,0	1,0	2,0	
	Mittelwert	1,7	2,1	1,1	2,0	
	25 %	1,6	2,0	1,0	1,9	
	Min.	1,4	1,7	0,9	0,9	

An diesen Konzentrationen bewertet, leisten beide Lüftungssysteme vergleichbare Luftqualitäten. Es ist auch nicht auszuschließen, dass die differente Luftführung die Nachlieferung an Ammoniak aus dem Kotstapel auf den Bändern unterschiedlich fördert. Hieraus wären die erhöhten Ammoniakkonzentrationen bei Firstlüftung gegenüber Tunnellüftung erklärbar. Ursachen aufgrund des versetzten Untersuchungszeitraumes können weitgehend ausgeschlossen werden, weil beide Untersuchungszeiträume direkt aneinandergereiht wurden. Interessant ist bei der Kohlendioxidkonzentration, dass die Zuluftkonzentrationen deutlich über den Erwartungswerten im Sommer und Übergang liegen. Hiermit wird die These gestützt, dass die Abluft bei Hennenhaltungen mit Außenklimabereich im stallnahen Umfeld deutlichen Einfluss auf die Gaskonzentrationen in der Luft nimmt.

Aufgrund der nicht eindeutig gerichteten Tendenzen bezüglich der Luftqualität zwischen den beiden Lüftungsvarianten soll nachfolgend die Durchströmung des Stalls betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind hierzu Kenndaten zum Luftwechsel im Stall und Luftströmungsgeschwindigkeiten innerhalb von Teilarealen des Stalls zusammengestellt.

**Tabelle 13: Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster**

		Winter		Sommer		Übergang		
		First	Tunnel	First	Tunnel	First	Tunnel	
Stunde		10	9	12	9	10	9	
Stalltemperatur	°C	14,7	11,0	22,7	18,4	18,9	13,6	13,8
Außentemperatur		12,5	6,8	20,5	15,2	16,8	8,1	2,5
Volumenstrom	m³/H	45601	52663	81023	69825	72197	36833	24486
Unterdruck	Pa	3	9	2	14	10	7	6
Auslaufklappen		auf	zu	auf	zu	auf	zu	zu
<b>Strömungsrichtung</b>								
1. Stalldrittel	Quer	0,05	0,15	0,02	0,16	0,16	0,00	0,04
	Längs	0,18	0,27	0,12	0,75	0,69	0,11	0,21
2. Stalldrittel	Quer	0,03	0,15	0,03	0,31	0,36	0,00	0,15
	Längs	0,55	0,70	0,60	1,01	1,41	0,35	0,49
3. Stalldrittel	Quer	0,00	0,12	0,11	0,39	0,45	0,04	0,13
	Längs	0,60	0,75	0,68	1,45	1,79	0,38	0,49
1 m Höhe	Quer	0,03	0,13	0,00	0,27	0,15	0,00	0,17
	Längs	0,49	0,54	0,46	1,08	1,24	0,33	0,41
2 m Höhe	Quer	0,02	0,14	0,10	0,31	0,49	0,03	0,04
	Längs	0,40	0,60	0,48	1,05	1,35	0,23	0,38
Stall	Quer	0,03	0,14	0,05	0,29	0,32	0,01	0,10
	Längs	0,44	0,57	0,47	1,07	1,30	0,28	0,40

Die Untersuchungen des Unterdruckniveaus im Stall ergaben, dass mit der Öffnung der Passageklappen zum Außenklimabereich der bestehende Unterdruck etwa halbiert wird. Dennoch gibt es während der Messzeiträume keine Messsituation (Stundenmittel), innerhalb dieser kein Unterdruck im Hennenstall herrschte. Auf die Strömungen im Stallraum dürfte das einen untergeordneten Einfluss haben. Die Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,2 m/s weisen keine stabilen Strömungen nach (Messgenauigkeit des Flügelradanemometers). Damit ist bei der Firstlüftung keine Querströmung im Stall nachweisbar. Lediglich im Sommer entsteht bei hohen Luftraten eine Querdurchströmung auf der oberen Stallebene. Dagegen ist bei der Tunnellüftung eine Querdurchströmung des Stalls nachweisbar, die ihre Ursache in den zusätzlich teilgeöffneten traufeseitigen Zuluftventilen hat. Hiermit weicht das Lüftungsprinzip vom klassischen Tunnellüftungsprinzip ab. In praxi sind derartige Luftführungen in Hennenställen jedoch vorherrschend anzutreffen.

Unabhängig von der Lüftungsvariante sind deutliche Längsdurchströmungen des Stalls nachweisbar. Diese sind überwiegend von der Messebene im Stallraum unabhängig. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt unabhängig von der Lüftungsvariante vom 1. Stallraumareal (1. Stalldrittel) über die Stallmitte bis in das 2. Areal (3. Stalldrittel) zu. Bei der Tunnellüftung ist das über Zu- und Ablufführung erklärbar. Bei der Firstlüftung ist das nicht zu erwarten. Ursache hierfür ist im untersuchten Stall der untergeordnete Betrieb von zwei Abluftkaminen am hinteren Stallende, der zur Sicherung der notwendigen Luftraten und zur Verhinderung eines zusätzlichen Zuluftstroms dient.

Auch die Visualisierung der Luftströmungen mittels Nebel, welche wegen der zu geringen Stallausleuchtung nicht fotografisch festhaltbar war, zeigt die deutliche Strömung entlang der Stalllängsachse unabhängig von der Lüftungsvariante und auch unabhängig vom Stallteilareal. Hierbei werden die Voliereblöcke unter- und überspült. Innerhalb der Blöcke ist aufgrund der Tierdichte und der konstruktiv bedingten Strömungshindernisse keine Luftströmung nachzuweisen. Der Luftaustausch hier ist also in erster Linie von der Geschwindigkeit der Luftumströmung abhängig. Hierbei muss es an den Flächen zwischen Voliereblock und frei durchströmbarem Stallraum (über den Scharraumböden zwischen den Voliereblöcken) zu einem Luftaustausch kommen, weil sonst die Luftqualität in den Voliereblöcken deutlich schlechter wäre. Die Ergebnisse zeigen, dass es nur geringe

Unterschiede zwischen den Strömungsprofilen der Lüftungsvarianten im Stall gibt. Eine deutlich erhöhte Durchströmung entlang der Längsachse des Stalls charakterisiert hauptsächlich die Tunnellüftungsvariante. Deshalb sollen im Weiteren die Luftraten und Emissionspotenziale bezüglich Ammoniak, Staub und Geruch besprochen werden.

Auf die Stallraumgase Lachgas und Methan soll hier nicht eingegangen werden. Die Kenndaten hierfür sind im Anhang, Tabellen A4 und A5 zusammengestellt.

## 3.3 Abluftvolumenstrom und Emissionen

### 3.3.1 Abluftvolumenstrom

Der innerhalb der Messzeitfenster auftretende mittlere Volumenstrom und dessen Variation sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

**Tabelle 14: Kenndaten zum Luftwechsel während der Messzeitfenster**

Klimaklasse	Lüft.variante	Druck-Diff.		Volumenstrom				
		Pa	m <sup>3</sup> /h		m <sup>3</sup> /h*Tpl.			%
		Mittelwert	Mittelwert	Median	Min.	Med.	Max.	Tunnel/First
Winter	Tunnel	-6	47283	45061	1,5	2,3	4,3	99/1
	First	-4	39623	39594	0,8	2,0	3,1	21/79
Übergang	Tunnel	-3	53637	50151	1,6	2,5	5,2	98/2
	First	-2	45963	55253	1,1	2,8	3,7	42/58
Sommer	Tunnel	-7	77270	7236	3,1	3,6	5,9	88/12
	First	-3	68787	68631	2,8	3,4	4,2	33/67

Die Volumenströme für die Lüftungsvarianten liegen innerhalb der Klimaklassen recht dicht beieinander. Die Unterdruckverhältnisse im Stall sind im Mittel bei der Über-First-Lüftung geringer als bei der Tunnellüftung. Insbesondere im Sommer hält die Tunnellüftung den Unterdruck im Stall stabiler. Hiermit kann insgesamt von einem recht stabilen Luftwechsel ausgegangen werden. Bei der Tunnellüftungsvariante ergänzen die Reserveluftraten über First (1 – 12 %) nur untergeordnet die Ablufführung über die sechs Kamine am hinteren Stallende.

Um die notwendigen Stalllufttemperaturen für eine störungsfreie Eiproduktion zu sichern, müssen abweichend vom Lüftungskonzept der Untersuchung zwei der sechs Kamine am hinteren Stallende die Ablufführung über First insbesondere im Übergang und Sommer unterstützen (21 – 42 %). Hierbei wurde darauf geachtet, dass diese Kamine auch firstnah sind und nur beim Erreichen maximaler Abluftströme über First hinzutreten. Insgesamt wird die Luftwechselrate je Tierplatz im Mittel auf moderatem Niveau gehalten. Im Sommer und Übergang werden bei der Tunnellüftungsvariante die maximalen Luftwechselraten mit 5 – 6 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. erreicht. Die hier ermittelten mittleren Volumenströme für die Lüftungsvarianten und Klimaklassen sind nunmehr Grundlage der Berechnung von Emissionsfaktoren für Ammoniak, Gesamtstaub und Geruch.

### 3.3.2 Emissionen gasförmiger Stallraumlasten

Auf der Basis der mittleren Konzentrationen im Abluftstrom und den mittleren Volumenströmen wurden die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Massenströme für die Lüftungsvarianten je Klimaklasse berechnet. Durch eine Hochrechnung dieser Massenströme aus dem Messzeitfenster auf das Zeitfenster der jeweiligen Klimaklasse resultieren die Emissionsfaktoren je Klimaklasse. Über eine Summenbildung dieser Frachten wird die jährliche Fracht je Tierplatz kalkuliert.

**Tabelle 15: Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Ammoniak innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

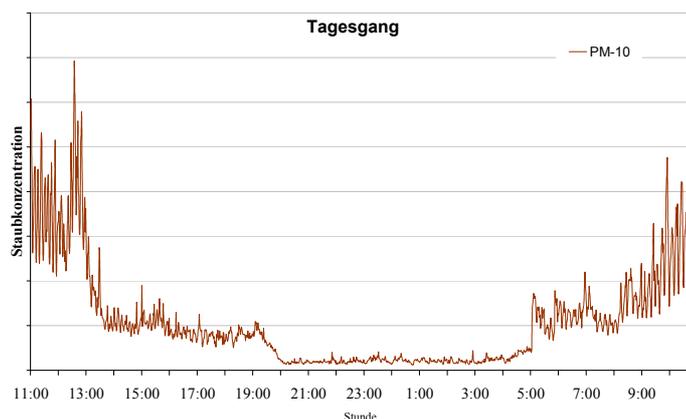
	Ammoniak				Anzahl (M-Strom Tunnel/First, E-Fakt.)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	Tunnel	First	Tunnel	First	
	g/h*GV		g/Tpl*KK		h-Mittel
Winter	1,3	1,5	9,3	10,7	660/172; 2184
Übergang	2,3	4,1	35,0	61,1	289/386; 4392
Sommer	3,5	2,0	26,2	15,2	286/220; 2208
Jahr			70,5	87,0	

Durch den Einsatz eines Lüftungssystems nach Tunnellüftungsprinzip in der im Hennenstall modifizierten Form werden 71 g Ammoniak je Tierplatz jährlich in das Stallumfeld verbracht. Hier gegenüber werden bei der Ablufführung über First 87 g Ammoniak je Tierplatz freigesetzt. Beide Kennwerte liegen etwas oberhalb des erwarteten Niveaus, jedoch teilweise deutlich unterhalb des Faktors aus der TA-Luft. Bei der Berechnung der Abluftkonzentration wurde die Vorbelastung der Zuluft nicht berücksichtigt. Der höhere Faktor bei der Firstlüftung resultiert hauptsächlich aus höheren Abluftkonzentrationen. Die Befunde unterscheiden sich signifikant voneinander.

Die Massenströme und Emissionsfaktoren von Lachgas, Methan und Kohlendioxid je Klimaklasse und über ein Jahr sind in den Anhang, Tabellen A6 - 8 gestellt. Eine Bewertung soll an dieser Stelle nicht erfolgen.

### 3.3.3 Emissionen von Staub und Geruch

Die Messungen zur Bestimmung der Staubkonzentrationen im Abluftstrom erfolgen in eng zeitlich begrenzten Messzeitfenstern je Klimaklasse und Lüftungsvariante. In der nachfolgenden Abbildung ist ein typischer zeitlicher Verlauf der Abluftkonzentration wichtiger Staubfraktionen über einen Tag dargestellt.



**Abbildung 6: Tagesgang der Staubkonzentration im Abluftstrom**

Diese Messungen erfolgen innerhalb der höchsten Aktivitäten in der Hennenherde. Dieser Zeitraum liegt zwischen 10:00 und 14:00 Uhr. Aus eigenen Vorbefunden und dem Schrifttum ist ableitbar, dass insbesondere die Staubkonzentration im Stallraum eng an die Herdenaktivität gekoppelt ist. Es ist deshalb an Verlaufsmessungen abzuleiten, wie deutlich das Konzentrationsniveau im Tagesgang variiert. Aufgrund der Datenbasis und anhand des Lichtregimes im Stall kann von einer durchschnittlichen Aktivitätszeit von 15 Stunden und einer weitgehenden Ruhezeit in der Herde von neun Stunden ausgegangen werden. Der Kurvenverlauf bildet diesen Sachverhalt deutlich ab. Das Konzentrationsniveau von Staub in der Stallluft liegt zur Ruhezeit

deutlich unterhalb der Konzentrationen während der Aktivitätszeit in der Herde. Weiterhin sind in den Messzeitfenstern deutliche Spitzen der Staubkonzentration in der Stallluft festzuhalten. Deshalb wurden anhand der Tagesgänge prozentuale Konzentrationsniveaus des Stallstaubes auf der Basis des Messwertenniveaus (100 %) für den Tagesabschnitt 14:00 - 19:30 Uhr und 04:30 - 11:00 Uhr (Aktivzeit) und 19:30 - 04:30 Uhr (Ruhezeit) ermittelt. In den nachfolgenden Tabellen sind die hieraus abgeleiteten Kennwerte für Gesamtstaub und den Fraktionen PM 10 und 2.5 zusammengestellt.

**Tabelle 16: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Gesamtstaub innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Gesamtstaub						
Klimaklasse	Lüftungsvariante	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte
		Messwert	Tagesmittel			
		mg/m <sup>3</sup>		g/h	g/Tpl.*KK	0,5 bzw. 1 h
Winter	Tunnel	4,4	1,3	62	8,9	2
	First	4,4	1,3	52	7,4	2
Übergang	Tunnel	16,8	7,3	390	57,4	3
	First	1,8	0,8	36	5,3	3
Sommer	Tunnel	15,2	8,7	672	99,0	3
	First	10,5	6,0	414	61,0	3
Jahr	Tunnel			377	165,2	
	First			168	73,7	

**Tabelle 17: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 10 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Staubfraktion PM 10						
Klimaklasse	Lüftungsvariante	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte
		Messwert	Tagesmittel			
		mg/m <sup>3</sup>		g/h	g/Tpl.*KK	0,5 bzw. 1 h
Winter	Tunnel	2,4	0,7	33	4,7	2
	First	0,8	0,2	9	1,4	2
Übergang	Tunnel	8,0	3,5	187	27,5	3
	First	1,2	0,5	25	3,6	3
Sommer	Tunnel	7,8	4,5	344	50,7	3
	First	4,5	2,6	176	25,9	3
Jahr	Tunnel			189	82,9	
	First			71	30,9	

**Tabelle 18: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Staubfraktion PM 2.5 innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Staubfraktion PM 2,5						
Klimaklasse	Lüftungsvariante	Konzentration		Massenstrom	Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte
		Messwert	Tagesmittel			
		mg/m <sup>3</sup>		g/h	g/Tpl.*KK	0,5 bzw. 1 h
Winter	Tunnel	0,9	0,3	12	1,7	2
	First	0,2	0,1	2	0,3	2
Übergang	Tunnel	3,1	1,3	71	10,5	3
	First	0,3	0,1	7	1,0	3
Sommer	Tunnel	3,2	1,8	142	20,8	3
	First	0,9	0,5	36	5,2	3
Jahr	Tunnel			75	33,0	
	First			15	6,6	

Unter Berücksichtigung der Niveaudifferenz wurde bei der Tunnellüftungsvariante ein mittlerer Gesamtstaubgehalt für die Klimaklassen Winter, Übergang und Sommer von 1,3, 7,3 und 8,7 mg/m<sup>3</sup> Abluft ermittelt. Für die Staubfraktionen PM 10 und PM 2.5 betragen die Konzentrationswerte 0,7, 3,5 sowie 4,5 mg/m<sup>3</sup> und 0,3, 1,3 sowie 1,8 mg/m<sup>3</sup>. Die Anteile der Fraktion PM 10 bzw. 2.5 an der Gesamtstaubkonzentration liegen bei 54, 48 und 52 % bzw. 23, 18 und 21 %.

Bei der Firstlüftungsvariante wurde ein mittlerer Gesamtstaubgehalt für die Klimaklassen Winter, Übergang und Sommer von 1,3, 0,8 und 6,0 mg/m<sup>3</sup> Abluft ermittelt. Für die Staubfraktionen PM 10 und PM 2.5 betragen die Konzentrationswerte 0,2, 0,5 sowie 2,6 mg/m<sup>3</sup> und 0,1, 0,1 sowie 0,5 mg/m<sup>3</sup>. Die Anteile der Fraktion PM 10 bzw. 2.5 an der Gesamtstaubkonzentration liegen bei 15, 63 und 43 % bzw. 8, 13 und 8 %.

Die Staubgehalte der Abluft sind bei der Firstlüftungsvariante während der Messzeit und im Tagesmittel deutlich geringer als bei der Tunnellüftungsvariante. Eine Ursache hierfür wird in einer höheren Strömungsgeschwindigkeit bei Tunnellüftungsvariante im Stall, insbesondere entlang der Längsachse des Stalls zwischen den Voliereblöcken über dem Scharrauboden gesehen. Hiermit wird eine Sedimentation der Staubpartikel vor Erreichen des Abluftkamins größtenteils verhindert.

Mit Hilfe der mittleren Massenströme aus den Messzeitfenstern für die Klimaklassen Winter, Übergang und Sommer ist ein Massenstrom an Gesamtstaub bei der Tunnellüftungsvariante von 62, 390 und 672 g je Stunde festzuhalten. Im Jahresmittel liegt er bei 377 g je Stunde und überschreitet damit deutlich die Vorsorgewerte der TA-Luft für Bodenhaltungssysteme. Hieraus resultiert ein jährlicher Emissionsfaktor von 165,2 g je Tierplatz. Die jährlichen Frachten der Staubfraktionen PM 10 und 2.5 betragen 82,9 bzw. 33,0 g je Tierplatz.

Bei der Firstlüftungsvariante ist für die Klimaklassen Winter, Übergang und Sommer ein Massenstrom an Gesamtstaub von 52, 36 und 414 g je Stunde festzuhalten. Im Jahresmittel liegt er bei 168 g je Stunde und unterschreitet damit deutlich die Vorsorgewerte der TA-Luft für Bodenhaltungssysteme. Hieraus resultiert ein jährlicher Emissionsfaktor von 73,7 g je Tierplatz. Die jährlichen Frachten der Staubfraktionen PM 10 und 2.5 betragen 30,9 bzw. 6,6 g je Tierplatz. Damit wird im untersuchten Stall deutlich weniger Staub bei Einsatz der Firstlüftung ins Stallumfeld verfrachtet. Das bestätigt bisher in der Haltungspraxis beobachtete Staubbildungen unter Lüftungssystemen mit Tunnellüftungsprinzip. Beim Einsatz eines klassischen Tunnellüftungsprinzips, im untersuchten Stall nicht konsequent umsetzbar, verlängert sich die Strömungsstrecke. Hiermit können die Staubanteile in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit sedimentieren und die Staubfracht mindern.

Die parallel zu den Staubprobenahmen gewonnenen Geruchsproben ergaben in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellte Konzentrationen und Emissionsfaktoren.

**Tabelle 19: Konzentration, Massenstrom und Emissionsfaktor für Geruch innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Klimaklasse	Lüftungsvariante	Geruch			Emissionsfaktor	Anzahl Messwerte Stall/Ab-/Zuluft
		Konzentration				
		Stall	Abluft	Zuluft		
		GE/m <sup>3</sup>			GE/s*GV <sup>2)</sup>	0,5 h
Winter	Tunnel	27	38	15	7,3	1/1/1
	First	63	30	22	5,5	1/1/1
Übergang	Tunnel	67	67	13	10,0	1/1/
	First	53	44	20	10,3	1/2/1
Sommer	Tunnel	28	38	38	11,4	1/2/1
	First	85	43	40	10,7	1/2/1
Jahr	Tunnel				9,3	
	First				9,7	

<sup>2)</sup> 20.000 Tierplätze ... 68 GV

Bei der Tunnellüftungsvariante wurde im Mittel eine Geruchsstoffkonzentration je m<sup>3</sup> Abluft von 44 GE olfaktorisch bestimmt. In der Stallluft betrug die mittlere Konzentration 54 GE/m<sup>3</sup>. Die Hintergrundkonzentration in der Zuluft lag im Mittel bei 24 GE je m<sup>3</sup> und somit auf nicht erwartetem hohem Niveau. Hieraus resultiert ein jährlicher Emissionsfaktor von 9 GE/s\*GV.

Bei der Firstlüftungsvariante wurde im Mittel eine Geruchsstoffkonzentration je m<sup>3</sup> Abluft von 38 GE olfaktorisch bestimmt. In der Stallluft betrug die mittlere Konzentration 55 GE/m<sup>3</sup>. Die Hintergrundkonzentration in der Zuluft lag im Mittel bei 28 GE je m<sup>3</sup>. Hieraus resultiert ein jährlicher Emissionsfaktor von 10 GE/s\*GV. Damit unterscheiden sich die beiden Lüftungsvarianten bezüglich der Geruchsfreisetzung ins Stallumfeld nicht voneinander.

## 4 Fazit

- Die Untersuchungen wurden innerhalb für die gewählten Klimaklassen tolerierbarer Außentemperaturbereiche durchgeführt.
- Die Legeleistung der Herde lag bei 90 %. Es wurden Tierverluste um 8 % registriert. Somit ist das Haltungssystem vergleichbar mit bisher untersuchten Bodenhaltungen. Den Hennen wurde täglich der Aufenthalt im Außenklimabereich gewährt.
- Der Gesundheitszustand und das Erscheinungsbild der Herde waren gut.
- Die mittlere Luftfeuchte (69 - 76 %) und -temperatur (10 - 23 °C) im Stall liegen innerhalb der Optimalbereiche (60 – 80 %, 12 – 25 °C) bzw. eines leistungsangepassten Toleranzbereiches (15 – 22 °C). Typisch für das Stallmanagement ist die Unterschreitung der unteren Temperaturbereiche.
- Lachgas liegt auf und Methan über dem Niveau der Zuluftkonzentration (0,5 – 0,8 bzw. 1,4 – 9,0 mg/m<sup>3</sup>). Ammoniak und Kohlendioxid liegen erwartungsgemäß gegenüber der Zuluftkonzentration im Jahresmittel ca. doppelt so hoch in der Abluft (1,5 – 6,7 mg bzw. 1,7 - 2,5 g/m<sup>3</sup>). Die Grenzwerte für die Stallluftkonzentration werden nicht erreicht.
- Die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft waren bei Tunnellüftung geringer als bei Firstlüftung.
- Demgegenüber war die Konzentrationsabsenkung von Ammoniak gegenüber der Stallluft im frei durchströmbaren Raum innerhalb des Voliereblocks bei Firstlüftung deutlicher.
- Mit dem Anstieg der Luftraten verschlechtert sich auch bei Firstlüftung die Ammoniakreduzierung im Voliereblock.
- Ursache hierfür wird - aufgrund der Strömungswiderstände im Voliereblock – in einer direkten Umspülung des Blocks durch zugeleitete Frischluft und einem Kurzschluss zwischen Zu- und Abluftfläche gesehen.
- Die Kohlendioxidkonzentration im Voliereblock unterscheidet sich zwischen den Lüftungsvarianten nicht.

- Die Stalldurchströmung ist entlang der Längsachse unabhängig von den hier umgesetzten Lüftungsvarianten deutlicher ausgeprägt.
- Eine Querdurchströmung wird weitgehend auch bei Firstlüftung durch die Voliereblöcke behindert. Je höher die Lüfrate ist, desto deutlicher bildet sich eine leichte Querströmung insbesondere bei der Tunnellüftung aus. Ursache hierfür sind die teilgeöffneten Zuluftventile im Traufbereich.
- Die Visualisierungen der Luftströme im Stall zeigen, dass der Luftaustausch hauptsächlich über die Längsachse des Stalles unabhängig von der Lüftungsvariante erfolgt. Hierbei werden die Voliereblöcke von der Frischluft unter- (Scharraum) bzw. überspült. Dabei kommt es insbesondere bei der Firstlüftung zu einem Kurzschluss zwischen Zu- und Abluftfläche. Hierdurch kann der Tieraufenthaltsbereich im Voliereblock nicht effektiv mit Frischluft versorgt werden.
- Hohe Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Längsachse des Stalls treten nur bei Tunnellüftung auf.
- Die gemessenen Volumenströme liegen innerhalb der Klimaklassen zwischen den Lüftungsvarianten eng beieinander (Winter ... 39623 – 47283, Übergang ... 45963 – 53637 und Sommer ... 68787 – 77270). Die Tunnellüftung realisiert einen etwas erhöhten Luftaustausch.
- Der Unterdruck im Stall ist höher und stabiler bei Tunnellüftung. Insgesamt fällt er bei Öffnung der Passageklappen zum Außenklimabereich auf etwa halbes Niveau ab.
- Die Ammoniakemission beträgt bei Tunnellüftung 71 g/Tpl. im Jahr. Bei der Firstlüftung werden 87 g ermittelt. Ursache sind hier die höheren Ammoniakkonzentrationen im Stall bei Firstlüftung.
- Die Staubkonzentration in der Stall- und Abluft unterliegt einem deutlichen Tagesgang. Mit den Aktivitäten in der Hennenherde steigt sie deutlich an und fällt während der Ruhephasen ebenso deutlich ab.
- Bei der Tunnellüftung werden ein mittlerer jährlicher Massenstrom von 377 g je Stunde und ein Emissionsfaktor von 165 g je Tierplatz im Jahr ermittelt.
- Bei der Firstlüftung werden ein mittlerer jährlicher Massenstrom von 168 g je Stunde und ein Emissionsfaktor von 74 g je Tierplatz im Jahr ermittelt. Diese Kennwerte unterscheiden sich signifikant zwischen den Lüftungsvarianten.
- Die jährlichen Frachten der Teilfraktionen PM 10 und 2.5 folgen erwartungsgemäß auf niedrigerem Niveau diesen Befunden. Dabei sind die Anteile der Fraktionen PM 10 und 2.5 am Gesamtstaub im Mittel bei 46 bzw. 15 %. Der Anteil an Feinstaub variiert deutlich zwischen den Belüftungsvarianten.
- Die Staubfrachten ins Stallumfeld sind hier bei Firstlüftung gegenüber Tunnellüftung deutlich niedriger. Primäre Ursache hierfür sind die höheren Luftströmungen bei der Tunnellüftung, die hier im Kontext mit z. T. verkürzten Strömungsstrecken zwischen Zu- und Abluftflächen Stallstaub aufnehmen und eine Sedimentation verhindern.
- Für die Umsetzung eines klassischen Tunnellüftungsprinzips lässt sich ableiten, dass aufgrund generell längerer Strömungsstrecken im Stall eine höhere Sedimentation erfolgen kann. Dabei nimmt die Strömungsgeschwindigkeit entscheidenden Einfluss auf die Staubsedimentation. Insbesondere Strömungsrichtungswechsel (z. B. am Stall angebauter Monoschacht) erhöhen die Strömungswiderstände und ermöglichen eine Sedimentation mitgeführter Staubpartikel.
- Die Geruchsemissionen variieren zwischen den Lüftungsvarianten nicht. Bei der Firstlüftung werden 10 bei der Tunnellüftung 9 GE/s\*GV ermittelt.

# 5 Anhang

**Tabelle A1: Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Sommer**

Sommer	First					Tunnel					First	Tunnel
	Voliere					Voliere					Stall	Stall
	oben	unten	vorn	mittig	hinten	oben	unten	vorn	mittigl	hinten		
Max	1,0	0,6	1,6	0,3	0,3	0,7	0,8	-0,2	1,5	2,1	8,0	8,9
75 %	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	-0,8	0,1	0,9	3,0	4,1
Mittelwert	-0,5	-0,5	-0,8	-0,4	-0,3	-0,1	-0,3	-1,3	0,0	0,7	2,5	3,4
25 %	-0,7	-0,7	-1,1	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-1,5	-0,2	0,4	1,5	2,2
Min	-2,3	-2,7	-4,6	-1,8	-1,50	-2,0	-1,4	-3,9	-1,0	-0,9	0,5	0,9
Median	-0,4	-0,4	-0,7	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-1,1	0,0	0,6	2,0	3,1

**Tabelle A2: Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Übergang**

Übergang	First					Tunnel					First	Tunnel
	Voliere					Voliere					Stall	Stall
	oben	unten	vorn	mittig	hinten	oben	unten	vorn	mittigl	hinten		
Max	4,3	11,7	20,7	2,1	4,7	1,7	1,6	2,5	1,1	1,5	12,5	7,4
75 %	0,6	1,0	1,1	0,2	1,8	-0,1	0,0	-0,5	0,0	0,5	8,2	4,2
Mittelwert	0,3	0,5	0,0	-0,1	1,3	-0,2	-0,2	-0,8	-0,2	0,3	6,7	3,4
25 %	-0,5	-0,4	-1,7	-0,5	0,7	-0,4	-0,4	-1,1	-0,5	0,0	5,1	2,5
Min	-1,4	-1,4	-3,6	-1,4	-0,4	-1,9	-1,4	-3,6	-1,4	-0,3	3,0	1,5
Median	-0,1	0,1	-1,1	-0,2	1,1	-0,3	-0,3	-0,8	-0,3	0,2	6,4	3,1

**Tabelle A3: Niveaudifferenzen der Ammoniakkonzentration zwischen Stallraum (Tierbereich), Teilarealen innerhalb des Voliereblocks und im Abluftstrom zwischen „Firstlüftung“ und „Tunnellüftung“ während des Messzeitfensters Winter**

Winter	First					Tunnel					First	Tunnel
	Voliere					Voliere					Stall	Stall
	oben	unten	vorn	mittig	hinten	oben	unten	vorn	mittigl	hinten		
Max	0,1	0,6	-0,3	0,0	2,5	0,4	0,3	0,2	0,5	0,7	6,2	3,6
75 %	-0,1	-0,1	-0,9	-0,5	1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	3,5	1,8
Mittelwert	-0,4	-0,5	-1,3	-0,8	0,7	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,2	3,0	1,5
25 %	-0,6	-0,8	-1,5	-1,2	0,3	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,1	2,3	1,1
Min	-2,0	-2,2	-3,8	-2,4	-1,2	-0,3	-0,6	-1,2	-0,5	-0,4	1,4	0,7
Median	-0,4	-0,5	-1,2	-0,7	0,7	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,2	2,9	1,4

**Tabelle A4: Kenndaten der Lachgaskonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster**

Klimaklasse		Lachgas				Anzahl
		Stall		Zuluft		
		Tunnel	First	Tunnel	First	
		mg/m <sup>3</sup>				h-Mittel
Winter	Median	0,7	0,7	0,6	0,6	660/172
	Mittelwert	0,7	0,7	0,6	0,6	
Übergang	Median	0,7	0,8	0,8	0,8	289/386
	Mittelwert	0,7	0,80	0,8	0,8	
Sommer	Median	0,6	0,5	0,6	0,5	286/220
	Mittelwert	0,6	0,5	0,6	0,5	

**Tabelle A5: Kenndaten der Methankonzentration im Stall, Abluftstrom und der Zuluft während der Messzeitfenster**

Klimaklasse		Methan				Anzahl
		Stall		Zuluft		
		Tunnel	First	Tunnel	First	
		mg/m <sup>3</sup>				h-Mittel
Winter	Median	1,4	1,6	0,9	1,0	660/172
	Mittelwert	1,4	1,6	0,8	1,0	
Übergang	Median	6,8	6,2	5,7	5,3	289/386
	Mittelwert	7,3	6,3	6,3	5,3	
Sommer	Median	8,8	5,5	8,1	5,3	286/220
	Mittelwert	9,0	5,8	8,2	5,6	

**Tabelle A6: Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Lachgas innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Klimaklasse	Lachgas				Anzahl (M-Strom Tun- nel/First, E-Fakt.)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	Tunnel	First	Tunnel	First	
	g/h*GV		g/Tpl.*KK		
Winter	0,5	0,4	3,4	3,0	660/172; 2184
Übergang	0,6	0,5	8,8	7,7	238/386; 4392
Sommer	0,7	0,5	5,0	3,7	286/220; 2208
Jahr			17,2	14,4	

**Tabelle A7: Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung der Vorbelastung für Methan innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Klimaklasse	Methan				Anzahl (M-Strom Tun- nel/First, E-Fakt.)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	Tunnel	First	Tunnel	First	
	g/h*GV		g/Tpl.*KK		
Winter	1,0	1,0	7,7	7,4	660/172; 2184
Übergang	5,8	4,4	85,9	65,0	238/386; 4392
Sommer	10,4	5,9	78,3	44,2	286/220; 2208
Jahr			171,9	116,6	

**Tabelle A8: Emissionsfaktoren mit Berücksichtigung der Vorbelastung für Kohlendioxid innerhalb der Messzeitfenster und im Jahresverlauf (365 d)**

Klimaklasse	Kohlendioxid				Anzahl (M-Strom Tun- nel/First, E-Fakt.)
	Massenstrom		Emissionsfaktor		
	Tunnel	First	Tunnel	First	
	g/h*GV		g/Tpl.*KK		
Winter	44,9	55,1	4,9	6,0	660/172; 2184
Übergang	63,2	74,1	13,9	16,3	238/386; 4392
Sommer	91,8	96,6	10,1	10,7	286/220; 2208
Jahr			28,9	33,0	

### **Hinweis zur Literatur**

Mit dem Bericht zur Stickstoffdynamik im Umfeld von Bodenhaltungen für Legehennen wurde im Juli 2009 dem Auftraggeber vom Autor eine umfassende Zusammenstellung aktualisierter Literaturquellen vorgelegt. Zur Umsetzung der gebotenen Kürze des Berichtes wird auf diesen Bericht verwiesen. Die hier zitierten Quellen sind diesem Quellenverzeichnis entnommen.

### **Danksagung**

Der Autor dankt dem Team um PD Dr. Werner Frosch von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die olfaktorische Bewertung der Geruchsproben und Klaus Bachmann vom Stallklimaprüfdienst des Sächsischen Landeskontrollverbandes e.V. für die technische Unterstützung und fachlichen Diskussionen sowie Empfehlungen bezüglich Stallklimamanagement und -steuerung.

**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, Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 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:**

26.02.2010

**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 Parteinarbeit 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.