



Das Lebensministerium



## Emissionsminderung in der Legehennenhaltung

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft  
Heft 3/2007

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Untersuchungen zur Wirksamkeit emissionsmindernder Maßnahmen  
bei alternativen Legehennenhaltungsverfahren zur Reduzierung  
der Gase, Stäube und Keimbelastung**

Dr. agr. Jens Lippmann

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kenntnisstand.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungsbasis und methodisches Herangehen .....</b>	<b>13</b>
3.1	Legehennenhaltungen.....	13
3.2	Messzeitfenster .....	17
3.3	Stallklima und Emission.....	19
3.3.1	Lufttemperatur und -feuchte, Stallgase und Volumenstrom.....	19
3.3.2	Bioaerosol.....	22
3.3.3	Geruchsstoffkonzentration.....	24
3.4	Tiergesundheit und Stallhygiene .....	24
3.5	Betriebswirtschaft .....	26
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>28</b>
4.1	Stallklima und Emission.....	28
4.1.1	Lufttemperatur und -feuchte, Konzentration Stallgase und Emission .....	31
4.1.1.1	Bodenhaltung I .....	32
4.1.1.2	Bodenhaltung II .....	44
4.1.1.3	Bodenhaltung III .....	55
4.1.2	Bioaerosol.....	68
4.1.3	Geruchsstoffkonzentration.....	77
4.2	Tiergesundheit und Stallhygiene .....	77
4.3	Betriebswirtschaft .....	90
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>101</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>102</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>107</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>124</b>

## **Verzeichnis der Abbildungen**

### **Kenntnisstand**

Abb. 1: Zusammenstellung bisher vorliegender Befunde ( $\text{GE}/\text{m}^3$ ) aus dem Schrifttum und eigener Untersuchungen

### **Methodik**

#### *Legehennenhaltungen*

Abb. 1: Stallraum Bodenhaltung III

Abb. 2: Funktionsbereich Bodenhaltung I

Abb. 3: Scharrraum Bodenhaltung I

Abb. 4: Scharrraum Bodenhaltung II

Abb. 5: Funktionsraum Bodenhaltung II

#### *Messzeitfenster*

Abb. 6: Dauer und außenklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung I

Abb. 7: Dauer und außenklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung II

Abb. 8: Dauer und außenklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung III

#### *Stallklima und Emissionen*

Abb. 9: Messstation für Druck, Gas, Volumenstrom

Abb. 10: Messventilatorposition Wandlüfter

Abb. 11: Messventilator- und Gasmessposition Dachlüfter

Abb. 12: Gasmessposition Monoschacht Boden II

Abb. 13: Messrasterung Monoschacht Boden II

Abb. 14: Monoschacht Boden II

#### *Tiergesundheit und Stallhygiene*

Abb. 15: Visuelle Stufen des Gefiederzustandes der Legehennen

#### *Betriebswirtschaft*

Abb. 16: Kenndatenstruktur zur Bewertung der Kosten nach der Blockmethode und des Arbeitszeitaufwandes

### **Ergebnisse**

#### *Stallklima und Emissionen*

Abb. 1: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung I

Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)

- Abb. 3: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)
- Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)
- Abb. 5: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)
- Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)
- Abb. 7: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)
- Abb. 8: Schema der Messstrecke
- Abb. 9: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung I)
- Abb. 10: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid (Sommer)
- Abb. 11: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid (Übergang)
- Abb. 12: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid (Winter)
- Abb. 13: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung I)
- Abb. 14: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung I)
- Abb. 15: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung II
- Abb. 16: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)
- Abb. 17: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)
- Abb. 18: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)
- Abb. 19: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und

Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)

Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)

Abb. 21: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)

Abb. 22: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung II)

Abb. 23: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid

Abb. 24: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid

Abb. 25: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid

Abb. 26: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung II)

Abb. 27: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung II)

Abb. 28: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung III

Abb. 29: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 30: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 31: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 32: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 33: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 34: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)

Abb. 35: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung III)

- Abb. 36: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid
- Abb. 37: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid
- Abb. 38: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid
- Abb. 39: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung III)
- Abb. 40: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung III)
- Abb. 41: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – gravimetrische Bestimmung der Staubfraktionen und Referenzwerte
- Abb. 42: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – mikrobielle Bestimmung und Referenzwerte
- Abb. 43: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung I
- Abb. 44: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Ansätze
- Abb. 45: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Gas- und Staubgehalte
- Abb. 46: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Emissionsverhalten
- Abb. 47: Kenndaten der Haltungen – Geruchstoffkonzentration und -emission

*Tiergesundheit und Stallhygiene*

- Abb. 1: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 B I
- Abb. 2: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B I
- Abb. 3: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B I
- Abb. 4: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 B II
- Abb. 5: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B II
- Abb. 6: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B II
- Abb. 7: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 B III
- Abb. 8: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B III
- Abb. 9: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B III
- Abb. 10: Avidinkonzentrationen im Blutplasma von Hühnern (1. Belegung in 2005) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)

Abb. 11: Avidinkonzentrationen im Blutplasma von Hühnern (2. Belegung in 2006) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)

Abb. 12: Relative Konzentrationen an IgY-anti-LPS (E. coli J5) im Blutplasma von Hühnern (1. Belegung in 2005) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)

Abb. 13: Relative Konzentrationen an IgY-anti-LPS (E. coli J5) im Blutplasma von Hühnern (2. Belegung in 2006) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)

Abb. 14: Vergleichende Darstellung der Avidinkonzentrationen und relativen Anti-LPS-Antikörperspiegel (IgY-anti-LPS von E. coli J5) im Blutplasma von Hühnern der ersten (in 2005) und zweiten (in 2006) Stallbelegung am Stallstandort 1

Abb. 15: Vergleichende Darstellung der Avidinkonzentrationen und relativen Anti-LPS-Antikörperspiegel (IgY-anti-LPS von E. coli J5) im Blutplasma von Hühnern der ersten (in 2005) und zweiten (in 2006) Stallbelegung am Stallstandort 2

#### *Betriebswirtschaft*

Abb. 1: Legeleistung (gesamt und A-Ei) je Anfangshenne in den Haltungen (1. Belegung) im zeitlichen Verlauf

Abb. 2: Legeleistung je eingestellte Henne und Durchschnittsbestand sowie Tierverluste, verlegte Eier und Knick/Schmutzeier in den Haltungen (1. Belegung)

Abb. 3: Struktur und zeitlicher Aufwand für durchzuführende Arbeitsgänge

Abb. 4: Kostenblockstruktur und Stückkosten der Erzeugung von frischen Eiern in den Bodenhaltungen

### **Anhang**

#### *Stallklima und Emissionen*

Abb. SE1: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung II

Abb. SE2: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung III

#### *Tiergesundheit und Stallhygiene*

Abb. TG1: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 BI

Abb. TG2: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 BII

Abb. TG3: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 BIII

#### *Betriebswirtschaft*

Abb. BW1: Legeleistung (gesamt und A-Ei) je Anfangshenne in den Haltungen (2. Belegung) im zeitlichen Verlauf

Abb. BW2: Legeleistung je eingestellte Henne und Durchschnittsbestand sowie Tierverluste, verlegte Eier und Knick/Schmutzeier in den Haltungen (2. Belegung)



## **Verzeichnis der Tabellen**

### *Kenntnisstand*

- Tab. 1: Optimale Umgebungstemperatur (SCHOBRIES, 1986)  
Tab. 2: Luftraten intensiver Haltungen Legehennen (SCHOBRIES, 1986)  
Tab. 3: Luftvolumenstrom für Legehennen in eingestreuter Bodenhaltung (Temperatur 18 °C)  
Tab. 4: Zusammensetzung frischer Hennenkot (SCHOLTYSEK, 1968)  
Tab. 5: Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen (MEHLHORN, 1979)  
Tab. 6: Sinkgeschwindigkeit von Staubpartikeln zwischen 2,5 und 17,5 µm Durchmesser (WALLENFANG, 2005)

### **Methodik**

#### *Legehennenhaltungen*

- Tab. 1: Hauptkenndaten der zu untersuchenden Haltungen

#### *Stallklima und Emissionen*

- Tab. 2: Messtechnik zur Bestimmung von Konzentration und Emission gasförmiger Stallluftkomponenten  
Tab. 3: Staubmesstechnik

#### *Tiergesundheit und Stallhygiene*

- Tab. 4: Kenndaten und Bewertungsklassen der Herdenbonituren

### **Ergebnisse**

#### *Stallklima und Emissionen*

- Tab. 1: Relation zwischen den Maßeinheiten zur Konzentration von Ammoniak und Kohlendioxid  
Tab. 2: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Bodenhaltung I  
Tab. 3: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Hennenhaltung II  
Tab. 4: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Hennenhaltung III  
Tab. 5: Mittlere Kenndaten zu den gemessenen Stallgasen im Stall (innen), im Außenbereich (außen) und um die Außenkonzentration bereinigt (Diff.) je Haltung und gesamt  
Tab. 6: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung I)  
Tab. 7: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung I und der TA-Luft  
Tab. 8: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung I  
Tab. 9: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung II)  
Tab. 10: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung II und der TA-Luft  
Tab. 11: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung II  
Tab. 12: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung III)  
Tab. 13: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung III und der TA-Luft  
Tab. 14: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung III  
Tab. 15: Kenndaten der Modifikationsvarianten der Lüftungssteuerung - Volumenstrom je Tierplatz (Bodenhaltung III)

Tab. 16: Kenndaten der Modifikationsvarianten der Lüftungssteuerung – Stallklima und Emissionsverhalten (Bodenhaltung III)

Tab. 17: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – optische Bestimmung der Staubfraktionen (korr. mit Gravimetriefaktor)

Tab. 18: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – kalkulierte Staubemission

Tab. 19: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Ansätze

*Tiergesundheit und Stallhygiene*

*Betriebswirtschaft*

Tab. 1: Produktionstechnische Kennwerte der untersuchten Unternehmen

## **Anhang**

### *Stallklima und Emissionen*

Tab. SE1: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE2: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE3: Kenndaten des Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE4: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE5: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE6: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 1

Tab. SE7: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE8: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE9: Kenndaten des Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE10: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE11: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE12: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 2

Tab. SE13: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE14: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE15: Kenndaten des Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE16: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE17: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE18: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 3

Tab. SE19: Kenndaten des Emissionsverhalten der Haltungen – Ammoniak und Kohlendioxid

- Tab. SE20: Kenndaten zum Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung I – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen- (TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (zentrum) und am Stallrand (peripher)
- Tab. SE21: Kenndaten zum Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung II – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen- (TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (zentrum) und im Scharrraum (SR)
- Tab. SE22: Kenndaten zum Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung III – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen- (TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (zentrum) und im Zuluftbereich (ZL)
- Tab. SE23: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – gravimetrische Bestimmung der Staubfraktionen und Referenzwerte
- Tab. SE24: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – mikrobielle Bestimmung und Referenzwerte
- Tab. SE25: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – Aktivitäts- und Ruhephasen
- Tab. SE26: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – emissionsrelevante Staubkonzentration
- Tab. SE27: Kenndaten der Haltungen – Geruchstoffkonzentration und -emission
- Tab. SE28: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 1
- Tab. SE29: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 2
- Tab. SE30: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 3
- Tab. SE31: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Ansätze
- Tab. SE32: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Stallklima
- Tab. SE33: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Gas- und Staubgehalte
- Tab. SE34: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Emissionsverhalten  
*Tiergesundheit und Stallhygiene*
- Betriebswirtschaft*
- Tab. BW1: Kenndaten der Haltungen (erste Stallbelegung) – Leistungsdaten, Tierverluste und Haltungstage
- Tab. BW2: Kenndaten der Haltungen (zweite Stallbelegung) – Leistungsdaten, Tierverluste und Haltungstage
- Tab. BW3: Kenndaten zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der untersuchten Bodenhaltungen – Arbeitswirtschaft

## Verzeichnis der Abkürzungen

Akh	Arbeitskraftstunden
EU	Endotoxinunit
GV	Großvieheinheit (500 kg Lebendmasse)
K	Kelvin, Temperaturdifferenzwert
KAT	Kuratorium artgerechte Tierhaltung
KBE	koloniebildende Einheit
LW	Lebenswoche
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Mio.	Million
n	Anzahl
ppm	parts per million (Teile pro Million)
RL	Richtlinie
Tpl.	Tierplatz
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung

## 1 Einleitung und Zielstellung

Die Legehennenhaltung hat sich in Europa und somit auch in Deutschland in den letzten Jahrzehnten bezogen auf die Leistungsfähigkeit der Tiere rasant entwickelt. Betrug die Legeleistung 1967/68 noch 234 Eier je Henne und Jahr im Mittel der weiß und braunschalig legenden Hennen, so erreichten die Tiere im Jahr 1997/98 im Mittel bereits 322 Eier (DAMME & HILDEBRAND, 2002). Diese züchterische Leistung wurde bei einer zugleich deutlich verbesserten Futterumwandlungsrate erzielt. Gegenwärtig liegt diese Rate bei ca. 2 kg Futter je kg Eimasse. Hiermit übertrifft die Eiproduktion deutlich das Erreichte in der Schweinefleischerzeugung. PREISINGER beziffert 2004 die weltweite Eierzeugung mit ca. 700 Mrd. Stück. In Deutschland wurden 2004 ca. 13,1 Mrd. Stück erzeugt (BÖTTCHER & SCHMIDT, 2006). Dafür wurden bei ca. 87 000 Legehennenhaltern etwas weniger als 39 Mio. Legehennen gehalten.

Über 80 Prozent der ca. 39 Mio. Legehennenplätze in Deutschland sind Käfigplätze. Mit der Käfighaltung steht ein Verfahren zur Verfügung, das ein hohes Leistungsniveau, Tiergesundheit und betriebs- sowie arbeitswirtschaftliche Optimierung garantiert. Aus der Sicht des Tierschutzes stand und steht dieses Haltungssystem stetig in der Kritik. Die zu erwartende politische Kurskorrektur setzte 1999 mit dem Urteil des Bundesverfassungsgerichtes zur HENNENHALTUNGS-VO von 1988 und der Vorlage der EU-Richtlinie 1999/74/EG mit neuen Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen ein. Hiermit wurde der Ausstieg aus der Hennenhaltung in konventionellen Käfiganlagen bis 2012 fixiert. Mit der 1. VO zur Änderung der Nutztierhaltungs-VO (HENNENHALTUNGS-VO) vom 28.02.02 wurde diese Richtlinie in nationales Recht überführt. Mit dem Verbot der Hennenhaltung in konventionellen Käfiganlagen bereits ab 2007 und auch in ausgestalteten Käfigen ab 2012 nahm Deutschland eine Vorreiterrolle ein. Und das, obwohl in Europa der ausgestaltete Käfig das Referenzverfahren für eine moderne Legehennenhaltung zu werden scheint. Zwischenzeitlich wurde eine moderatere Zielorientierung auf die politische Agenda gesetzt. Nunmehr erhalten auch Systeme wie die Kleinvoliere eine Chance. Dennoch richten sich die Hennenhalter zunehmend auf eine Eierzeugung in Bodenhaltungssystemen auf einer und mehreren Ebenen aus. Leider werden diese Anstrengungen vom Verbraucher nur zögerlich honoriert. So sank der Anteil an Käfigeiern bei Haushaltskäufen 2004 auf 46 Prozent, jedoch in erster Linie durch Auslistungen im Lebensmitteleinzelhandel (BÖTTCHER & SCHMIDT, 2006). Hiermit wurde der Marktanteil der Eier aus Bodenhaltung deutlich gestärkt, jedoch bei sinkendem Anteil von Eiern aus Freilandhaltung und starken Einbußen bei erzeugernahen Absatzwegen.

Die nunmehr zunehmende Haltung der Legehennen in Bodensystemen birgt eine Reihe von Nachteilen bei Herdenhygiene und -gesundheit (Ektoparasiten, Endoparasiten über Kotkontakt, hoher Infektionsdruck insbesondere in Verbindung mit Außenklimasystemen, Federpicken und Kannibalismus) sowie betriebswirtschaftlichen Mehraufwand (verlegte Eier, geringere Tierdichte) in sich. Zusätzlich entstehen insbesondere mit den integrierten Scharräumen und dem kurz- bzw. langfristigem Verbleib des Kotes im Stall erhöhte Staub- und Schadgaskonzentration gegenüber bisherigen Käfigsystemen. Stallklimatisch und bezüglich der Umweltwirkungen waren die Käfighaltungssysteme mit ihrer strikten Trennung von der Außenwelt gut zu steuern. Wichtige Haltungsfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Luftzusammensetzung, Luftgeschwindigkeit und Licht stellten bisher sicher kontrollierbare Umweltkriterien dar. Die

zunehmende Öffnung der Haltungssysteme nach außen (Wintergärten, Ausläufe) ist stallklimatisch eine neue Herausforderung für das Management und erzeugt neue Qualitäten bezüglich des Emissionsverhaltens dieser Systeme gegenüber der Umwelt. Die Ergebnisse eines Dreiländerprojektes zur Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen zeigen im Kontext mit Streuung und Variationsbreiten der erhobenen Parameter das hohe Risiko im Management dieser Systeme (LFL, 2004). Die epidemiologische Studie der Tierärztlichen Hochschule Hannover (KREYENBROCK, 2003) zu Verfahren der Legehennenhaltung unterstützt diese Aussagen. Bereits 1999 wiesen HÖRNING UND FÖLSCH auf den defizitären Kenntnisstand zu diesen Verfahren hin.

Gegenwärtig existieren auf eine Reihe von Fragen zu diesen Haltungssystemen aus der Praxis keine wissenschaftlich gesicherten Antworten. Insbesondere können Maßnahmen zur Minderung von in Legehennenhaltungssystemen entstehenden Schadstoffen und damit zur Emissionsminderung fachlich nicht exakt bewertet werden. In diesem Kontext wurde das Projekt initiiert. Ziele der Arbeiten waren, an bereits in der Praxis umgesetzten Lösungsvarianten zur Minderung emittierender Stallluftkomponenten aus alternativen Bodenhaltungsverfahren Erkenntnisse zu sammeln und zu bewerten. Hieraus sind Empfehlungen für die Praxis zu erarbeiten, um erforderliche Modifikationen in die Lösungsvarianten einzubauen. Dabei werden Stallklima und Emissionsverhalten in bzw. von den zu untersuchenden Systemlösungen im Jahresverlauf ermittelt und im Kontext mit Verfahrenskosten, Arbeitsaufwand sowie Herdenleistung und -gesundheit bewertet. Als Systemlösungen wurden

- modifizierte Tunnellüftung mit Monoschacht zur Steigerung der effektiven Quellhöhe,
- Unterdrucklüftung mit einer veränderten Ablufführung über den Kotkasten und
- Unterdrucklüftung mit integrierter Stallluftbefeuchtung zur Reduzierung der Staubbildung

untersucht.

## **2 Kenntnisstand**

### Stallklima und Emissionen

Bei der immissionsschutzrechtlichen Bewertung von Tierhaltungsanlagen finden derzeit in der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-LUFT, 2002) Ammoniak, Geruchsstoffe und Staub Berücksichtigung. Zusätzlich muss im Zusammenhang mit der Geruchsimmission die Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) 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 (PM10). 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 Prozent 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 Prozent), kann territorial jedoch von Bedeutung werden. 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. Hier werden zunehmend emissionsmindernde Maßnahmen nötig.

Der Anteil der Landwirtschaft an der Emission von Treibhausgasen – Kohlendioxid, Methan und Lachgas – lag 2002 bei 9,5 Prozent (ca. 95 Mio. t) an den Gesamtemissionen in Deutschland (DBV, 2005). Davon wurden etwas weniger als 7 t Kohlendioxid (0,8 Prozent der Gesamtemission) aus der landwirtschaftlichen Produktion emittiert. Seit 1990 hat hier die Landwirtschaft den höchsten Rückgang mit 24 Prozent der Gesamtemissionen bereits erreicht. Dennoch besteht ein großer Handlungsbedarf, unter praktischen Bedingungen wirtschaftlich relevante Verfahren zur Emissionsminderung zu prüfen.

#### Temperatur und Feuchte

Hühnervögel besitzen die Fähigkeit, ihre Körpertemperatur stabil zu halten. Zu Beginn ihres Lebens sind sie auf fremde Wärmequellen angewiesen, weil sich das Wärmeregulationsvermögen erst in den ersten 10 Lebenstagen entwickelt. Adulte Tiere haben hier einen deutlich erhöhten Toleranzbereich. Nachfolgende Tabelle stellt den thermischen Optimalbereich dem Lebensalter gegenüber.

**Tabelle 1: Optimale Umgebungstemperatur (SCHOBRIES, 1986)**

Lebenswoche	Optimalbereich
1.	32 – 33
2.	30
3.	27
4.	24
5.	21
8.	17 – 20
> 12.	14 – 20

Eine Stalltemperatur unter 14 °C sollte bei Legehennen auch im Winterhalbjahr nicht unterschritten werden (MÜLLER, 2003). Im Bereich von -3 °C und 21 °C Außentemperatur sollte der Stall so isoliert sein, dass die Stallinnentemperatur zwischen 18 °C und 24 °C konstant gehalten werden kann. Oberhalb der 21 °C-Außentemperatur sollte die Isolation der Stallhülle eine gegenüber der Außentemperatur um maximal 3 K höhere Stallinnentemperatur zu gewährleisten (DIN 18910-1); der vertikale Temperaturanstieg im Aufenthaltsbereich der Hennen unter 0,5 °C liegen (DAMME U. HILDEBRAND, 2002). Die Temperatursteuerung ist unter diesen optimalen Bedingungen gut gewährleistet, steigt die Temperatur darüber hinaus, verringert sich die Effizienz der Steuerung (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 U. 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 alternativen Bodenhaltungssystemen sind hier klimatische Probleme zu erwarten. Eine zusätzliche Heizung ist nach DAMME UND HILDEBRAND (2002) insbesondere im Winter unumgänglich. Mit Blick auf eine ausgeglichene

Wärmebilanz zur Sicherung eines leistungsangepassten Optimalbereiches trifft das vor allem auf die klassische Bodenhaltung zu, weil hier nur neun Tiere je m<sup>2</sup> bzw. sieben Tiere je m<sup>2</sup> unter KAT- Bedingungen 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). Niedrige Temperaturen werden von den Tieren besser kompensiert. Die Tiere gleichen den erhöhten Energiebedarf für die Wärmeproduktion durch eine erhöhte Futtermittelaufnahme und verschlechterte Futterverwertung aus (KOBYLINSKI, 1999). 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.

Die Auswertungen von kontinuierlichen Jahresmessungen in 17 Herden mit alternativen Aufstallungsformen ergaben für die Stalltemperatur und Luftfeuchte im Mittel Werte in den Grenzen des Optimalbereiches (LFL, 2004). Kennzeichnend sind unabhängig von der Aufstallungsform erhebliche Schwankungsbreiten im Tagesverlauf. Die Stallinnenwerte folgen den Außenwerten, dabei wurden im Sommer auch Stalllufttemperaturen über 30 °C erreicht.

Die Legehenne gibt täglich ca. 100 g Wasser über Atemluft ab (SCHOBRIES, 1986). Das Lüftungssystem muss dabei gewährleisten, dass die Luftfeuchte für eine optimale Klimagestaltung nicht über 70 – 80 Prozent steigt (TÜLLER, 1999). Insbesondere im Winter sind hier kurzzeitige Überschreitungen zu erwarten (MÜLLER, 2003). Ursache ist das geringere Wasseraufnahmevermögen von kalter Stallluft. 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 2: Luftraten intensiver Haltungen Legehennen (SCHOBRIES, 1986)**

Lebendmasse (g)	Sommerluftrate (m <sup>3</sup> /h*Tier)	Winterluftrate (m <sup>3</sup> /h*Tier)
1000	3,00	0,50
2000	6,00	0,75
3000	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 3: Luftvolumenstrom für Legehennen in eingestreuter Bodenhaltung (Temperatur 18 °C)**

Lebendmasse	kg	1,5	2,0	2,5
Wintervolumenstrom				
Mindestluftvolumenstrom	m <sup>3</sup> / h*Tier	0,5	0,7	0,8
Sommerluftvolumenstrom				
maximaler Luftvolumenstrom bei 2 K	m <sup>3</sup> / h*Tier	4,7	5,8	6,9
maximaler Luftvolumenstrom bei 3 K	m <sup>3</sup> / 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). Über 2 m je s sollte jedoch auch in Hitzeperioden nicht überschritten werden (DAMME U. HILDEBRAND, 2002). Kennwerte aus Legehennenhaltungen in Praxisbetrieben variieren im Minimum zwischen 0,9 und 1,1 m<sup>3</sup>/h\*Tier (SEEDORF et al., 1998). Im Maximum liegen diese zwischen 1,3 und 5,3 m<sup>3</sup>/h\*Tier.

#### Stallgase

Zu den wichtigsten Stallgasen 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 mit bakterieller Zersetzung der Harnsäure im Kot in Abhängigkeit von der Temperatur (GROOT KOERKAMP, 1994). Temperaturen oberhalb des Optimalbereiches fördern bakterielle Aktivität. Die Abbaurate ist bei 20 °C gering und steigt bei 30 °C auf das Vierfache. Bei über 35 °C und Feuchtegehalten oberhalb 40 Prozent findet ein vermehrtes Bakterienwachstum statt (BESSEI U. 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). Die Zusammensetzung an Hauptnährstoffen zeigt nachfolgende Tabelle.

**Tabelle 4: 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 Kot, die dann die Stallluft anreichern. Frischer Hühnerkot enthält 60 Prozent Harnsäure, 2 Prozent Harnstoff, 6 Prozent Ammoniumstickstoff und 32 Prozent 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.

ligkeit 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 reduziert den Feuchtegehalt im Kotstapel und vermindert somit die bakterielle Tätigkeit sowie die Umsatzraten (KROODSMA, 1988; GROOT KOERKAMP, 1994; PRIESMANN, 1991). Ein Trockenkot über 60 Prozent besitzt 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.

Die Grenzwerte für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen in der Stallluft wurden bei eigenen Messungen in 11 Herden im Rahmen des Projektes der Freistaaten Bayern, Sachsen und Thüringen (LFL, 2004) im Mittel nicht überschritten. Dabei rangieren jedoch ebenfalls die klassischen Bodenhaltungen mit Kotlager im Stall insbesondere im Winter nahe dem oberen Bereich bzw. überschreiten den Grenzwert zum Teil. Ursachen hierfür wurden im Lüftungsmanagement gefunden, das mit dem Ziel der Sicherung einer tolerierbaren Stalltemperatur die Volumenstromraten deutlich absenkt.

Emissionswirksam wird Ammoniak in der Stallluft über das Lüftungsmanagement (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 10,6 g/h\*GV (TA-Luft, klassische Bodenhaltung). Die bisherigen Ergebnisse eigener Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL, 2004) bestätigen diese Tendenz. Diese lagen mit im Mittel 7,6 g / h\*GV niedriger. Hierbei zeigen die Volieresysteme noch deutlich unter diesem Kennwert liegende Werte. Die große Schwankungsbreite ist sowohl auf die Komplexität der eingesetzten Verfahrenstechnik, der Fütterung, aber auch z. T. auf Unterschiede in den Messmethoden zurückzuführen. Die Käfighaltung zeichnet sich durch ein im Vergleich zu den alternativen Verfahren niedrigeres Emissionsniveau aus. Von einigen Autoren wurden bei diesem Verfahren Emissionen in Höhe von weniger als 1 g NH<sub>3</sub> / h und GV ermittelt.

Die TA-Luft definiert für die Haltungssysteme Käfig, Voliere und Boden mit Kotlagerung im Stall Ammoniakemissionsfaktoren 0,0389, 0,0911 und 0,3157 kg/Tierplatz und Jahr. Im Zuge der stetig besseren Stallausrüstung (Kotbandbelüftung) und im Kontext bisheriger Kenndaten erweist sich der Faktor von 2,3 zwischen Käfig und Voliere als zu hoch. Weitere Untersuchungen müssen diese Befunde jedoch noch stützen.

Der Kohlendioxidgehalt der Stallluft ist ein guter Indikator für die Qualität der Lüftung. Kohlendioxid entsteht in erster Linie durch die Respiration der Tiere und Prozesse 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. Die Kohlendioxidproduktion lässt sich aus dem Produkt von Lebendmasse der Tiere und einem Faktor 2,078 herleiten (VAN DEN WEGHE, 1993). Der Grenzwert ist bei 3 000 ppm festgeschrieben (HENNENHALTUNGS-VO). Im Winter wird dieser Wert mitunter kurzzeitig überschritten (MÜLLER, 2003).

Kohlendioxid als Treibhausgas gelangt über das Lüftungssystem in die Atmosphäre. In Untersuchungen in alternativen Hennenhaltungen wurden in Volieren im Mittel 0,89 kg/h\*GV und in der klassischen Bodenhaltung 1,15 kg/h\*GV ermittelt (NESER, 2000). Lachgas entsteht durch bakterielle Umsetzungsprozesse von anorganischen Stickstoffverbindungen. Hierfür benötigen die Bakterien aerobe Bedingungen und Temperaturen zwischen 5 und 40 °C. Emissionsrelevant wird dieses Gas in Abhängigkeit von Art und Dauer der Lagerung im Stall. Die bisher vorliegenden Literaturbefunde liegen unterhalb von 0,6 g/h\*GV (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.

Methan entsteht innerhalb anaerober mikrobieller Abbauprozesse organischer Stoffe (Fette, Kohlehydrate, Eiweiße). Die Aktivitäten sind im Temperaturbereich von 4 bis 60 °C möglich, erreichen ihr Plateau bei 55 - 60 °C. In der Geflügelhaltung entsteht Methan vorrangig im Kotstapel und erreicht hierbei die höchsten Bildungsraten gegenüber anderen Nutztierarten. In eigenen Untersuchungen im Rahmen des Projektes zur Evaluierung alternativer Systeme (LFL, 2004) wurden Massenströme zwischen 1,0 und 7,9 g/h\*GV ermittelt. Mit zunehmender Dauer der Lagerung im Stall werden hier die höheren Kennwerte erreicht.

#### Bioaerosol

Bioaerosole werden allgemein als Staub bezeichnet, setzen sich jedoch aus verschiedenen Komponenten organischer und anorganischer Herkunft zusammen (SEEDORF UND 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 unbelebte Anteil anorganischer und organischer Bestandteile. Sie stellen disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen dar. Es sind feinste feste Partikel, die – in z. B. Luft aufgewirbelt - je nach ihrer Größe über einen bestimmten Zeitraum schweben können (WIKIPEDIA). So besitzen diese Partikel in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser eine Sinkgeschwindigkeit.

Nach MEHLHORN (1979) werden diese Partikel wie folgt verteilt:

**Tabelle 5: Durchmesser und Sinkgeschwindigkeiten der wichtigsten Staubfraktionen (MEHLHORN, 1979)**

Staubfraktion	Durchmesser ( $\mu\text{m}$ )	Sinkgeschwindigkeit (mm/Sek.)
Grobstaub	500 - 50	3000 – 150
Mittelstaub	50 - 10	150 -6
Feinstaub	10 – 0,5	6 – 0,02
Feinststaub	0,5 – 0,1	0,02 – 0,002

Nach WALLENFANG (2005) können in Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser der Partikel nachfolgende Sinkgeschwindigkeiten vorausgesetzt werden.

**Tabelle 6: Sinkgeschwindigkeit von Staubpartikeln zwischen 2,5 und 17,5  $\mu\text{m}$  Durchmesser (WALLENFANG, 2005)**

Durchmesser $\mu\text{m}$	Sinkgeschwindigkeit mm/Sek.
2,5	2
3,5	2
4,5	2,2
6,25	2,5
8,75	4
12,5	7,8
17,5	8,5

Nach aktuelleren Klassifizierungen wird der Mittelstaub zur Klasse der Grobstäube ( $> 10 \mu\text{m}$ ) zusammengeführt (WIKIPEDIA). Er kann durch den Nasen- und Rachenraum abgesondert werden. Partikel unter  $10 \mu\text{m}$  Durchmesser – so genannter Fein- und Ultrafeinstaub - können diese Grenze durchdringen und gelangen in Luftröhre, Lunge und Bronchien. Sie werden deshalb auch als inhalierbar ( $< 10 \mu\text{m}$ ) und lungengängig (alveolengängig,  $< 2,5 \mu\text{m}$ ) bezeichnet. Stäube in und aus Tierhaltungen bestehen aus Anteilen von Substanzen im Stall wie Futterstoffen und Einstreu sowie abgestorbenen tierischen Bestandteilen wie Schuppen, Kotbestandteile u. a. Dabei nimmt man eine weiterführende Größendifferenzierung vor. So finden Ablagerungen von Feinpartikeln im Größenbereich von

- 5 – 10  $\mu\text{m}$  im Nasen- und Rachenraum,
- 3 – 5  $\mu\text{m}$  in der Luftröhre,
- 2 – 3  $\mu\text{m}$  in den Bronchien,
- 1 – 2  $\mu\text{m}$  in den Bronchiolen und
- 0,1 – 1  $\mu\text{m}$  in den Alveolen

statt (ANONYM, 2002).

Nach DIN EN 481 unterscheidet man die Staubfraktionen,

die Mund und Naseraum passieren als	einatembare (ca. > 3 µm),
den Kehlkopf passieren und in die Lunge vordringen als	thorakale (ca. > 1 µm) und
die in die nicht-cilierten Luftwege eindringen als	alveolare (ca. < 1 µm)

Staubfraktion.

Die Fraktion PM10 und die thorakale Staubfraktion sind bezüglich gleicher 50 Prozent Durchmesser der Partikel vergleichbar, unterscheiden sich jedoch 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 UND HARTUNG, 2002). Unter Tierhaltern werden Atemwegserkrankungen zwischen 12 – 20 Prozent aufgrund einer Staubexpositionen geschätzt (HARTUNG, 2005). Hiervon sind insbesondere Volieresysteme betroffen.

Allergische Reaktionen werden in Nutztierhaltungen und hier 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 UND 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 z. Z. keine Grenzwerte. Richt- und Grenzwertempfehlungen liegen für Gesamtstaub (einatembare 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 UND 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 Zusammenfassung von Untersuchungen zu Konzentrationen von Staub, Mikroorganismen und Endotoxinen in Tierhaltungssystemen für Rind, Schwein und Geflügel (SEEDORF UND HARTUNG, 2002) ergab, dass Geflügelhaltungen mit Ausnahme der Pilzfraktion die höchsten Kennwerte aufweisen. Bei inhalierbaren 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 Gesamt-

keimzahl in Geflügelhaltungen beträgt  $28 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> (Maximum bei  $58 \cdot 10^6$  KBE/m<sup>3</sup>). Die Gesamtkeimzahl gram-negativer Bakterien erreicht im Mittel  $46 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> (im Maximum mit Faktor 16304 zum Median). Bei der Pilzfraktion werden in den Geflügelhaltungen mit  $1,3 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> (Maximum bei  $1,45 \cdot 10^6$  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)  $30,4 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> Gesamtkeime und  $36,4 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> Pilze. Im Stall fand sie  $190 - 7100 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> Gesamtkeime und  $5,2 \cdot 10^3$  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 alternativen Hennenhaltungen innerhalb des Projektes der Freistaaten Bayern, Sachsen und Thüringen (LFL., 2004) gemessen. 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.

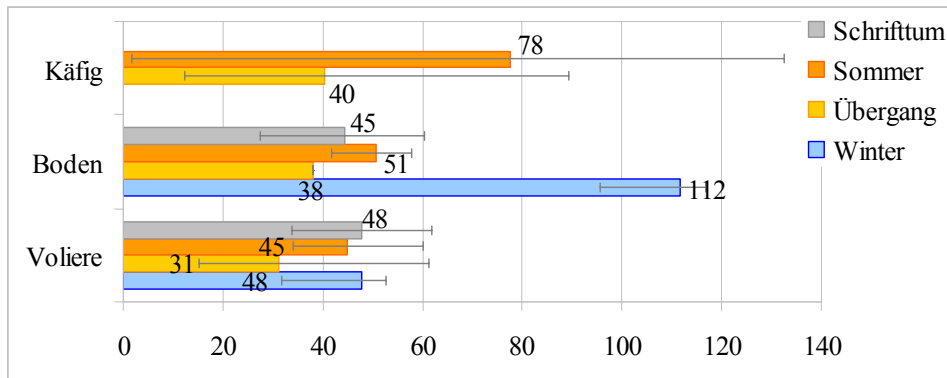
Das Haltungssystem hat großen Einfluss auf die Staubemission. Aus Bodenhaltungen kann eine bis zu fünffach höhere Staubfracht aus dem Stall emittiert werden gegenüber Käfighaltungen. TAKAI (1998) ermittelte im Mittel umfangreicher Probenahmen 636 mg je h und GV (ca.  $2,2$  mg/h\*Tier) an inhalierbaren (PM 10) und 78 mg an alveolengängigen (PM 2,5) Staub in Käfighaltungen. Demgegenüber lagen die Werte in der Bodenhaltung bei 3 080 mg (ca.  $10,5$  mg/h\*Tier) inhalierbaren bzw. 595 mg 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  $1,25$  mg/h\*Tier in der Hähnchenmast. 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 nach TA-Luft unterbleiben, wenn der Bagatellmassenstrom von 0,1 kg / h bei diffusen Quellen unterschritten wird.

### Geruch

Für die gesamte Geflügelhaltung liegen nur wenige aussagefähige Angaben zu Geruchsstoffemissionsfaktoren aus dem Stall vor. Die Untersuchungen im Schrifttum zu Legehennenhaltungen wur-

den ausschließlich unter Frühjahrs- und Sommerbedingungen durchgeführt. Die in Abbildung 1 angegebenen Emissionsfaktoren geben deshalb nur eine Tendenz wieder. Durch zum Teil fehlende Angaben zu den Jahresvolumenströmen ist eine Einschätzung der Emissionssituation schwer ableitbar.



**Abbildung 1: Zusammenstellung bisher vorliegender Befunde (GE/m<sup>3</sup>) aus dem Schrifttum und eigener Untersuchungen**

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. Aufgrund des geringen Umfangs sind die Kennwerte wenig belastbar.

#### 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 Schwarzkopfkrankheit leben in den alternativen Haltungen wieder auf (HAFEZ et al., 2001; HAFEZ, 2004; PÖPPEL, 2003). Die schlechte Kontrollmöglichkeit dieser offenen Systeme bezüglich Klimamanagement und Umwelteinflüssen fördern das Auftreten von Faktorenkrankheiten (HOOP, 2002; NIGHOT et al., 2003). Weil die Behandlung mit Medikamenten wegen u. a. eingeschränkter Zulassung (PÖPPEL, 2003) schwierig ist, gilt der Prophylaxe und Hygiene in diesen

Haltungen besonderes Augenmerk. Gehäuft treten auch parasitäre Erkrankungen auf (KANSWOHL 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). 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 Schnabelkupieren mindert die Folgeschäden (DAMME, 2003). Wegen der größeren Bewegungsfreiheit und Temperaturschwankungen in diesen Haltungen erhöht sich der Futtermittelverbrauch (DAMME, 2003). Misslungene Anflugversuche führen zu erhöhten Brustbeinbrüchen (Bessei et al., 1998). Die zumeist großen Tiergruppen verhindern eine stabile Rangordnung und erzeugen somit Stress für die Henne (PUPPE, 2003).

Die Anzahl der negativen Einflüsse in diesen Haltungssystemen führt zu Verlusten zwischen 12 und 20 Prozent (KREIENBROCK et al., 2003). Mit Auslauf können die Verluste im Mittel bei 25 Prozent liegen. Die Untersuchungen der Landesanstalten für Landwirtschaft der Länder Bayern, Sachsen und Thüringen (LFL, 2004) registrieren im Mittel 15 Prozent Tierverluste. Verlusten bis über 30 Prozent können vorkommen. Im Auslauf wurden Verluste zwischen 1 und 12 Prozent registriert. Insbesondere die Auslaufnutzung verursacht einen erhöhten Einsatz an Antibiotika und Antiparasitika.

#### Betriebswirtschaft

Die betriebswirtschaftliche Bewertung der Legehennenhaltungen basiert auf den Kenndaten zur Naturalleistung wie Legeleistung, Tierverluste, Futtereinsatz, vermarktungsfähige Eier. Die bei der Eierzeugung entstehenden Kosten können in feste und variable Kosten unterteilt werden. Der Kostenblock der Festkosten beinhaltet die Gebäudekosten und die Kosten für Ausrüstung des Stalls. Kostenseitig finden diese in den Abschreibungen Berücksichtigung. Diese Kosten beziffert DAMME (2006) mit 0,7 bis 0,9 Cent je Ei für die Käfighaltung, mit 1,0 bis 1,8 Cent je Ei für alternative Bodenhaltungen auf mehreren (Voliere) bzw. einer (klassische Bodenhaltung) Ebene und für den ausgestalteten Käfig mit 1,0 Cent je Ei. Die Kosten werden wesentlich von der Naturalleistung der Herde und von der Bestandesgröße beeinflusst. So bewirkt ein größerer Bestand eine deutliche Kostendegression.

Der zweite Kostenblock umfasst die variablen Produktionskosten. Hierzu zählen die Futterkosten, die Tiereinsatzkosten, Aufwendungen für Energie und Wasser, Tierarzt- und Hygienekosten sowie Allgemeinkosten. Die betreuende Arbeitskraft wird betriebswirtschaftlich differenziert zugeordnet. Für die Analyse der Kostenstelle Eierzeugung setzt sich eine direkte Zuordnung zunehmend durch.

Geeignet zur Bewertung des Verfahrens und zum Verfahrenvergleich sind die Stückkosten. Diese beinhalten sämtliche Kostenblöcke (Direkt-, Arbeitserledigungs-, Gebäude- und sonstige Kosten) und nehmen unmittelbaren Bezug auf die Naturalleistungen. Ein direkter Vergleich der im Schrifttum zusammen-



gestellten Kosten ist wegen der verschiedenen Rahmenbedingungen kompliziert. In den Untersuchungen der Bundesländer Bayern, Sachsen und Thüringen (LfL, 2004) wurden nachfolgende Kenndaten ermittelt:

Bei praxisüblichen Produktionstagen von 354 im Mittel wurde eine Legeleistung von 80 Prozent je Durchschnittshenne (Weißleger bei 90 Prozent, Braunleger bei knapp 80 Prozent) registriert. Im Mittel konnten 251 Eier je Anfangshenne (berücksichtigt Hennenverluste von im Mittel 15 Prozent) und Jahr vermarktet werden. Der mittlere Futtermittelverzehr lag bei ca. 130 g je Henne und Tag, Knick/Schmutzeier bei 2 Prozent (von <1 bis 5 Prozent) und es wurden fast 3 Prozent der Eier verlegt (< 1 bis > 6 Prozent). Die Stückkosten lagen bei ca. 8 Cent je Ei (Schnittstelle Stalltür). Dabei hatten Volieren ca. 11 Prozent 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 Prozent. Der Auslauf erhöht den Zeitaufwand um 30 Prozent 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 UND HILDEBRAND, 2002) Stückkosten von 5,47 Cent. Die Kosten erhöhen sich zu ausgestalteten Käfigen, Volieren, Bodenhaltungen und Auslaufhaltungen um 15, 35, 57 und 71 Prozent. Der nötige Jahresarbeitszeitbedarf beträgt nach Klemm und 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. Hieraus folgt, dass eine Arbeitskraft bei 2 500 Tierplätzen ca. 6 000 Legehennen betreuen muss und kann. Dieses Arbeitsmaß erhöht sich in größeren Beständen auf über 11 000 Legehennen im Jahr.

### **3 Untersuchungsbasis und methodisches Herangehen**

#### **3.1 Legehennenhaltungen**

Die Untersuchungen wurden in drei Hennenhaltungen durchgeführt. Diese Hennenhaltungen werden im Folgenden mit Bodenhaltung I bis III gekennzeichnet. Hierdurch soll die zugesicherte Anonymität für die Unternehmen weitgehend gewahrt werden.

In der **Bodenhaltung III** werden 7 000 Hennen auf einer Ebene gehalten. Funktionell ist der Stall in Längsachse geteilt. Den Tieren steht je Stallhälfte ein eingestreuter Scharrraum auf 47 Prozent



**Abbildung 1: Stallraum Bodenhaltung III**

des Stallraumes zur Verfügung. Eingestreut wird mit Holzhobelspänen. Diesem Funktionsbereich schließt sich ein 0,50 Meter hoher Kotbunker an, der die verbleibende Stallgrundfläche für die ganzjährige Kotlagerung von den Tieren abtrennt. Die Lauffläche auf dem Kotbunker wird mit Spaltenbodenelementen aus Kunststoff gebildet. Hierauf sind zwei Futterketten und eine Nippeltränkenreihe sowie Sitzstangen (1 A-Bock-Reuter) installiert. Diesem Funktionsbereich schließen sich in einer Reihe Gruppennester an. Die Nester sind mit Austriebsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Vor den Nestern befinden sich Anflugstangen (Abb. 1). Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum. Hier erfolgt die Direktvermarktung. In den Stalllängswänden befinden sich Fenster. Diese können manuell mittels Rollo verdunkelt werden. Der Stallraum besitzt hierüber Tageslichteinfall.

Die Klimagegestaltung erfolgt über ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Computersteuerung. Als Regelgröße werden 10 °C Stalllufttemperatur (Sommer und Winter) vorgegeben. Im Sommer wird diese Stellgröße nach oben optimiert. Zusätzlich können Minimal- und Maximalluftfrate sowie der Regelbereich vorgegeben werden. Drei der fünf Abluftschächte reichen bis in den Kotbunker. Hierdurch soll eine Luftüberströmung des Kotstapels erfolgen, wodurch eine Reduzierung des Feuchtegehaltes und geringere Ammoniakbildung erreicht wird. Diese Lüfter sind entsprechend dem Lüftungsprojekt unabhängig von der Jahreszeit die Hauptlüfter. Insbesondere zur Sommerlüftung wird zusätzlich über die verbleibenden zwei Lüfter Stallluft aus dem Stallraum abgefördert. Die Zuluft gelangt über Deckenzuluftelemente nach Passage des Dachraumes (Vorwärmung) in den Stall. Zur Realisierung der erhöhten Sommerluftfraten werden die Fenster als zusätzliche Zuluftöffnungen in das System integriert und entsprechend des Strömungswiderstandes der Zuluftstrom über den Dachraum unterbrochen. Die wichtigsten Kenndaten der Haltungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

In der **Bodenhaltung I** stehen 14 999 Hennenplätze in doppelreihig angeordneten 2-etagigen Voliereblöcken der Firma Big Dutchman 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 nachgeordneten Kotbändern. Zweimal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht. 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 (Abb. 2 und 3).



**Abb. 2: Funktionsbereich Bodenhaltung I**



**Abb. 3: Scharrraum Bodenhaltung I**

Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum. Der Stallraum hat über automatische Lichtluken und die Auslauföffnungen Tageslichteinfall. Die Klimagestaltung erfolgt über ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Computersteuerung. Als Regelgröße werden 12 °C (Winter) bzw. 17 °C (Sommer, optimiert nach oben) Stalllufttemperatur vorgegeben. Auch hier werden Minimal- und Maximalluftfrate sowie der Regelbereich individuell vorgegeben. Über fünf Abluftschächte im Deckenbereich und zwei giebelseitig angeordnete Wandlüfter wird die Abluft aus dem Stall befördert. Die Wandlüfter werden hauptsächlich zur Sicherung der Sommerluftfrate mit Nutzung der Maximalleistung eingesetzt. Die Zuluft gelangt über gesteuerte Zuluftklappen an den Längswänden des Stalls in den Stallraum. Zur Minderung des Stallstaubes ist eine Luftbefeuchtungsanlage zur Staubbindung 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. Die wichtigsten Kenndaten der Haltungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

In der **Bodenhaltung II** steht den 21 000 Hennen ähnlich der Bodenhaltung I ein Funktionsbereich mit mehrreihig angeordneten Futterketten, Nippeltränken und Sitzstangen auf einem Kunststoffrostboden zur Verfügung. Dieser Bereich befindet sich auf einer ca. 2,50 m hohen Stallebene. Bezüglich der Raumstrukturierung entspricht das Haltungssystem einer klassischen Bodenhaltung. Hiervon abweichend erfolgt die Kotlagerung auf nachgeordneten Kotbändern mit Kottrocknung. Zweimal wöchentlich wird der Kot aus dem Stall gebracht. Dem Funktionsbereich folgen nach einem Nestgang doppelreihige Gruppennester. Die Nester sind mit Austriebsystemen ausgerüstet und besitzen einen Kunststoffboden. Vor den Nestern befinden sich Anflugstangen. Mit der funktionalen Längsteilung der Stallfläche wieder-

holt sich diese Anordnung in der 2. Stallhälfte (Abb. 5). Die Eiabsammlung erfolgt über nachgeordnete Kunststofflochbänder in den Vorraum. Die Stallräume sind ohne Tageslichteinfall. Über mehrere Zugangsluken und Stiegen gelangen die Tiere in die untere Ebene, den Scharraum. Dieser erstreckt sich hier über den gesamten Stallraum (Abb.4).



**Abb. 4: Scharraum Bodenhaltung II**



**Abb. 5: Funktionsraum Bodenhaltung II**

Die Stalllüftung erfolgt über ein modifiziertes Tunnellüftungssystem mit temperaturabhängiger Computersteuerung. Als Regelgröße werden 23 °C (Winter) bzw. 22 °C (Sommer) Stalllufttemperatur vorgegeben. 6 giebelseitig angeordnete Lüfter befördern die Abluft in einen außenseitig nachgeordneten Monoschacht. Die Minimal- und Maximalluftrate wird mit der Gruppenschaltung (jeweils zwei Lüfter) definiert. Die Zuluft wird analog der sonst üblichen Unterdrucksysteme über gesteuerte Wandklappen in den Stall gezogen. In diesem System ist über eine erhöhte Deponierung schwerer Staubteile im Schacht eine Reduzierung der Gesamtstaubfrachten zu erwarten. Die wichtigsten Kenndaten der Haltungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

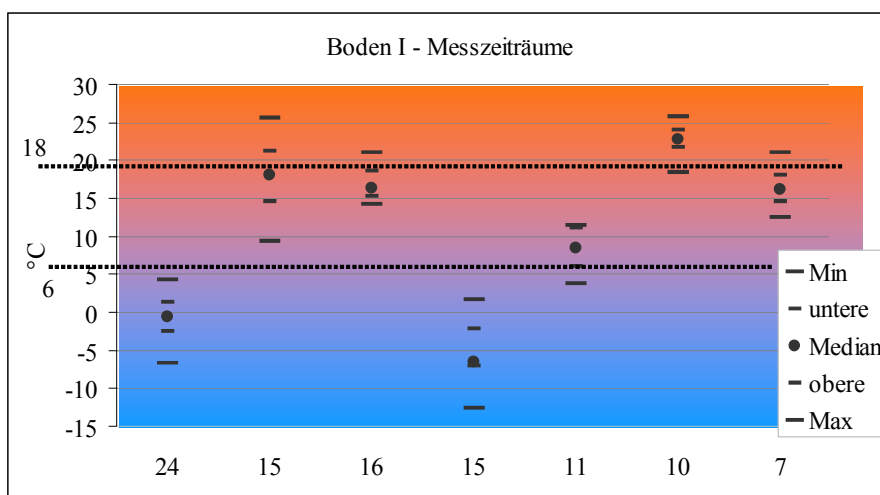
**Tabelle 1: Hauptkenndaten der zu untersuchenden Haltungen**

	<b>Boden I</b>	<b>Boden II</b>	<b>Boden III</b>
<b>System</b>	Voliere Big Dutchman	High Rise Salmet	Kotbunker, Reuter
<b>Letzte Ein-stallung</b>	17.07.2006	05.01.2006	06.09.2006
<b>Hennenzahl</b>	14999	21.000	7.000
<b>Nutzung seit</b>	2003		2000
<b>Stall</b>			
<b>Länge</b>	77,50	54,00	77,20
<b>Breite</b>	13,25	21,35	14,10
<b>Höhe</b>	3,00	6,00	3,00
<b>Tiere / m<sup>2</sup></b>	9	9	7
<b>Fenster</b>	Autom. Lichtluken	Ohne	Ja, Sonnenschutzrollos

<b>Nester</b>	Gruppen, autom.	Gruppen, autom.	Gruppen, autom.
<b>Einstreu</b>	Stroh	Stroh / Sand	Sägespäne
<b>Wintergarten</b>	Ja	Nein	Nein
<b>Auslauf</b>	Ja	Nein	Nein
<b>Lüftung</b>	Unterdruck, Decke	Unterdruck, Tunnel	Unterdruck, Decke
<b>Anzahl Lüfter</b>	5 x Decke / 2 x Giebel	6 x Giebel	5 x Decke
<b>Leistung</b>	13.700 m <sup>3</sup> /h / 41.000 m <sup>3</sup> /h	36.000 m <sup>3</sup> /h	16.500 m <sup>3</sup> /h
<b>Zuluft</b>	Seitenwandklappen, Auslauföffnungen	Seitenwandklappen	Vorwärmung über Dachraum, Decke; Sommer - Fenster
<b>Regelgröße</b>	Stalltemperatur 12°C	Stalltemperatur 23°C Winter,	Stalltemperatur 14°C
	Stalltemperatur im Sommer optimiert zur Außentemperatur		

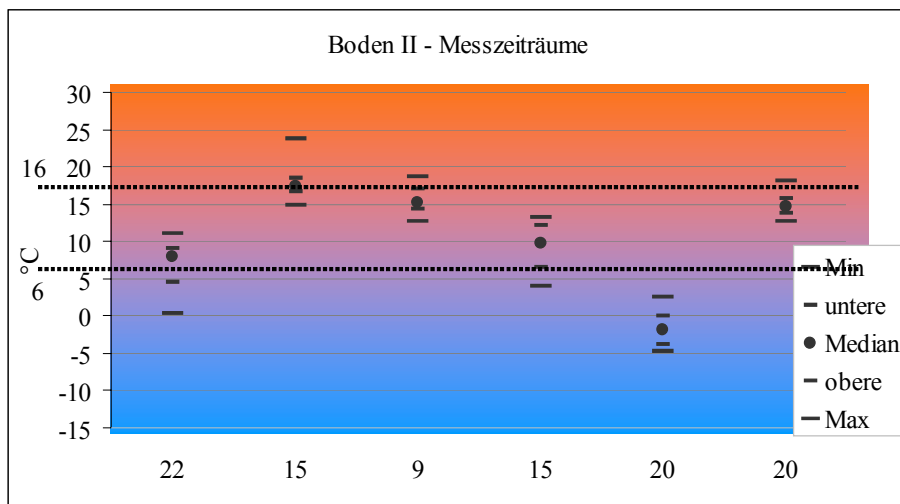
### 3.2 Messzeitfenster

In den drei untersuchten Haltungen wurden jeweils zwei Messzeiträume zur Ermittlung der Gas-, Geruchs- und Staubkonzentration sowie zur Volumenstrombestimmung für die Außentemperaturbereiche unter 8 °C (Winter), über 18 °C bzw. 16 °C (Sommer, im langjährigen Jahresmittel werden am Standort Boden II nur 16 °C erreicht) und im Temperaturbereich zwischen 8 °C und 18 °C /16 °C (Übergang) durchgeführt. Nachfolgende Grafiken geben einen detaillierten Überblick zu den realisierten Messzeiträumen.



**Abbildung 6: Dauer und außenklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung I**

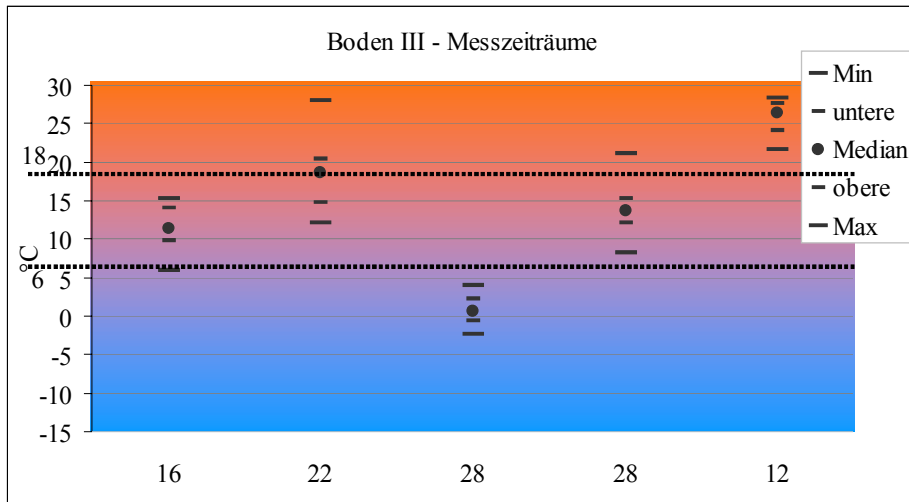
In der Bodenhaltung I wurden jeweils zwei Messzeiträume innerhalb der festgesetzten Außentemperaturbereiche durchgeführt. Für den Außentemperaturbereich über 18 °C im Tagesmittel des jeweiligen Messzeitraumes stehen Daten von 25 Messtagen zur Verfügung. Für den Temperaturbereich zwischen 6 und 18 °C liegen Messwerte von insgesamt 27 Tagen vor. Die Messungen unterhalb 6 °C Außentemperatur erfolgten an insgesamt 39 Tagen. Zur realistischen Bewertung der Wirkung der Lüftungsanlage, die je nach Außenklimabedingungen über differenzierte Einstellungen bezüglich Stallsolltemperatur, Minimal- und Maximalluftfrate sowie Regelbereich definiert ist, werden die Messzeiträume nicht in Tagessegment nach den Tagesmittelwerten zergliedert. Die Betrachtung des Gesamtmesszeitraumes zur Charakterisierung der Umweltwirkung der Lüftungsanlage in den jeweiligen Temperaturbereichen wird vorgezogen.



**Abbildung 7: Dauer und außenklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung II**

Die Außentemperatur am Standort der Bodenhaltung II erreicht im langjährigen Tagesmittel den festgesetzten Sommergrenzwert von 18 °C nicht. Deshalb wurde hier der Temperaturbereich mit der Grenztemperatur 16 °C angepasst. Die Tagesmitteltemperaturen der Messperioden liegen hier nahe des Bereiches zwischen 16 und 6 °C („Übergangsbereich“). Unter Berücksichtigung der jeweiligen Streuungen wird jedoch eine Zuordnung zu den festgesetzten Temperaturbereichen möglich und es stehen somit ebenfalls jeweils zwei Messzyklen zur Auswertung bereit. Das außenklimatische Spektrum wird über alle Messungen hinreichend repräsentiert. So wurden Messdaten an insgesamt 42 Tagen um bzw. unter 6 °C gewonnen. Im Bereich zwischen 6 und 16 °C liegen Messdaten an 35 Tagen vor. Der Bereich um bzw. über 16 °C wird durch Messdaten an 24 Tagen charakterisiert.

In der nachfolgenden Abbildung werden die Umfänge und Außentemperaturbedingungen der durchgeführten Messungen am Standort der Bodenhaltung III dargestellt.



**Abbildung 8: Dauer und außerklimatische Bedingung der realisierten Messzeiträume in der Bodenhaltung III**

Für die Bereiche über 18 °C und 18 bis 6 °C wurden Messdaten in jeweils zwei repräsentativen Zeiträumen von insgesamt 34 bzw. 44 Tagen erfasst. Durch Ausfall der ersten Wintermessung wurde der Zeitraum des Messzeitfensters unter 6 °C von den geplanten 14 Tagen auf insgesamt 28 Tage verlängert. Wie an den dargestellten Streuungswerten zu ersehen ist, liegt die Messperiode auch mit dem Maximalwert unterhalb der festgesetzten Temperaturgrenze.

Zusammengefasst kann für die Messungen zum Emissionsverhalten von Gasen festgehalten werden, dass an allen Standorten die geplanten Bedingungen und Zeiträume realisiert werden konnten. Mit dem durchgeführten Versuchsmanagement ist es gelungen, mit nur einer Messausrüstung an drei Standorten belastbare Daten zu gewinnen.

### 3.3 Stallklima und Emission

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

Entsprechend der dargestellten Messzeiträume erfolgte die Bestimmung des **Stallklimas und Emissionsverhaltens** je Standort in drei jährlichen Messzeitfenstern und jeweils einer Wiederholung. Die hierbei gewonnenen Kenndaten wurden je Standort in Abhängigkeit vom Außenklima (mittlere Temperaturbereiche für Messzeitfenster: Sommer ... >18 °C/16 °C, Winter ... <6 °C, Übergangsklima ... 6 – 18 °C) zusammengeführt und bewertet. Zur Beurteilung des Emissionsverhaltens dieser Haltungen wurden Innen- und Außentemperatur, komplettiert mit der Luftfeuchte, kontinuierlich (15 min Werte) über die gesamten Stallbelegungen erfasst. Die Außentemperatur wird als Basis der Jahreskalkulationen des Emissionsmassenstromes benutzt. Hierzu wurden Korrelationen zwischen Außentemperatur und Massenstrom aus den Kenndaten der Messzeitfenster ermittelt und mittels dieser Funktionen über den gesamten Untersuchungszeitraum kalkuliert. Die Gaskonzentrationen wurden je Anzahl der Messstellen in den Haltungen aus mindestens drei Werten zu Stundenmittelwerten zusammengeführt. Die Messung der

Volumenströme erfolgte je Minute und wurde ebenfalls zu Stundenmittelwerten zusammengeführt. Diese Messgrößen wurden punktuell in jedem Abluftschacht ermittelt. Zusätzlich erfolgte die Messung der Stallgase an jeweils einem Messpunkt im Stall auf Tierebene (ca. 0,4 m über Boden) und Arbeitsebene (ca. 2,0 m über Boden). Zur Differenzierung zwischen Umwelt- und Stallkonzentration der gemessenen Gase wurde im Außenbereich eine Messstelle eingerichtet. Die hier gemessenen Werte wurden vor der Bewertung der Umweltwirkung der Haltungen jeweils vom Stallwert abgezogen. Für die Berechnung der Massenströme wurden die gemessenen Kennwerte der Stallgase und des Volumenstromes auf den Normzustand, trocken, bezogen.

Für die Messungen kommen nachfolgende Geräte zum Einsatz:

**Tabelle 2: Messtechnik zur Bestimmung von Konzentration und Emission gasförmiger Stallluftkomponenten**

<b>Abluftgeschwindigkeit :</b>		
Messgerät:	Messventilator LSM 2, Multifan Drei Impulse pro Umdrehung Die Umrechnung der Impulse in eine Abluftgeschwindigkeit erfolgt über eine Kalibrierfunktion, Überprüfung der Funktion vor Ort.	
Registrierung	kontinuierlich mit Messwerterfassungssystem Almemo, Fa. Ahlborn	
<b>Luftdruck :</b>		
Messgerät:	Dosenbarometer Gerätebau Fischer im ständigen Vergleich mit einem Stationsbarometer Typ B1	
Messbereich:	900 – 1070 hPa	
Genauigkeit:	± 1 hPa	
<b>Außen- und Stalltemperatur bzw. -feuchte :</b>		
Messgerät:	Widerstandsthermometer Pt 100	Tinytag Ultra
Messbereich:	Messbereich: -50 – 150 °C	-30 – 50 °C; 0 – 95 %
Genauigkeit:	± 0,3 °C	± 0,2 °C; ± 4 %
Registrierung:	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7300	15-Min.-Intervall über gesamte Haltungsperiode
<b>Wasserdampfanteil in der Abluft :</b>		
Messgerät:	Multigasmonitor 1312, Fa. Innova Air Tech Instruments	
Messbereich:	0,1 – 100 g/m <sup>3</sup>	
Genauigkeit:	± 1,5 % vom Messwert	
Registrierung:	kontinuierlich mit Innova Systemsoftware 7300	
<b>Abgasdichte:</b>		
Ermittlung:	Die Abgasdichte wird berechnet aus der Dichte der Luft und dem tatsächlichen Wassergehalt des Abgases.	



<b>Gas:</b>	
Messgerät:	Multigasmonitor 1312, Fa. Innova Air Tech Instruments
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
Messverfahren:	Photoakustische IR-Spektroskopie
Messbereichsendwerte nach Herstellerangaben:	CO <sub>2</sub> ... 15 000 ppm, N <sub>2</sub> O... 30 ppm, NH <sub>3</sub> ... 800 ppm, H <sub>2</sub> O... 100 g/m <sup>3</sup>
Nachweisgrenzen nach Herstellerangaben:	CO <sub>2</sub> ... 1,50 ppm, N <sub>2</sub> O ... 0,03 ppm, CH <sub>4</sub> ... 0,25 ppm, NH <sub>3</sub> ... 0,80 ppm, H <sub>2</sub> O 0,10 g/m <sup>3</sup>
Probenahme:	Multiplexer 1309, Fa. Innova Air Tech Instruments
	unbeheiztes PET-Rohr bis zum Messstellenumschalter, Staubfilter am Messgaseingang, zusätzliche Luftförderpumpe zur Sicherung eines ausreichenden Stallluftdurchflusses unter Berücksichtigung der Messschlauchlänge.

In den untersuchten Standorten sind nachfolgende Gasmessstellen eingerichtet worden:

- Boden I            5 Abluftschächte, 2 Seitenwandlüfter, 2 Stallmessstellen, 1 Außenluft,  
 Boden II            4 Messpunkte an Wandlüftern, 1 Stallmesspunkt im Scharraum, 2 Stallmesspunkte im Funktionsraum obere Ebene, 1 Außenluft,  
 Boden III            5 Abluftschächte, 2 Stallmessstellen (Tier- und Personalebene), 1 Außenluft.

Jeder Abluftkanal wurde mit einem Messventilator ausgerüstet. Hiervon abweichend wurde die Öffnung des Monoschachtes der Bodenhaltung II mit sechs Ventilatoren im Raster ausgerüstet. Mit der so erzielten Segmentierung dieser großen Austrittsfläche soll der Volumenstrom je Teilsegment genauer bestimmt und zu einem präziseren Gesamtstrom zusammengeführt werden. Nachfolgende Abbildungen geben hierzu einen Überblick.



**Abb. 9: Messstation für Druck, Gas, Volumenstrom**



**Abb. 10: Messventilatorposition Wandlüfter**



**Abb. 11: Messventilator- und Gasmessposition  
Dachlüfter**



**Abb. 12: Gasmessposition Monoschacht Boden II**



**Abb. 13: Messrasterung Monoschacht Boden II**



**Abb. 14: Monoschacht Boden II**

Die zum Einsatz gekommene Messtechnik unterlag aufgrund der Akkreditierung der verwendeten Messverfahren zu Staub, anorganischer und organischer gasförmiger Verbindungen sowie der Ermittlung von Abluftrandbedingungen geltenden Vorschriften (DIN EN, VDI). Aufgrund der Anzahl der berücksichtigten Regelwerke wird in diesem Bericht nicht weiter darauf eingegangen.

### **3.3.2 Bioaerosol**

In den untersuchten Haltungen wurde die Konzentration einzelner Bestandteile des Bioaerosols analysiert. Zur Bestimmung des Staub- und Keimgehaltes der Stallluft wurden in jeder Haltung je eine Messserie im Außentemperaturbereich unter 6 °C bzw. über 18 °C durchgeführt. Je Messserie erfolgen Messungen an zwei Messpunkten. Dabei befanden sich ein Messpunkt im Abluftbereich („Lüftung“) und ein Messpunkt in ca. 2 Meter über dem Boden (Scharrraum, bezeichnet als „Arbeitsebene“). Die einatembare Staubfraktion wurde mittels Filtration unter Verwendung des Gesamtstaubsammelkopfes des „Personenbezogenen Gefahrstoff-Probenahmesystems“ der Firma Ströhlein (Kaarst, Deutschland) gesammelt. Der Sammelkopf wurde mit einer isoporen Polykarbonatmembran mit einem Porendurchmesser von 8 µm (Millipore GmbH, Deutschland) bestückt und mit einem Luftdurchsatz von 3,5 l/min betrieben. Die Masse an abgeschiedenem Staub wurde nach Konditionierung der Filter durch Wägung bestimmt.

Die alveolengängige Staubfraktion wurde mittels Filtration unter Verwendung des Feinstaubprobenahmesystems des „Personenbezogenen Gefahrstoff-Probenahmesystems“ der Firma Ströhlein (Kaarst, Deutschland) gesammelt. Der Sammelkopf wurde mit einem Zellulose-Nitrat-Filter mit einem Porendurchmesser von 8 µm (Sartorius GmbH, Deutschland) bestückt und mit einem Luftdurchsatz von 2,0 l/min betrieben. Die Masse an abgeschiedenem Staub wurde nach Konditionierung der Filter durch Wägung bestimmt.

Zur Bestimmung der Konzentration an einatembaren Endotoxinen wurden die mit der einatembaren Staubfraktion beaufschlagten Filter nach deren Wägung für 2 h in 50 ml pyrogenfreiem Wasser bei Raumtemperatur ausgeschüttelt. Anschließend wurde die Waschflüssigkeit für 10 min bei 2 000 g zentrifugiert und im Überstand die Konzentration an Endotoxinen bestimmt. Dazu wurde ein kommerziell erhältlicher Limulus-Amöbozyt-Lysat- (LAL) Test (QCL-1000, BioWhittaker, USA) verwendet. Die Anwendung des Testes erfolgte entsprechend den Angaben des Herstellers. Die PM<sub>10</sub> Staubfraktion wurde mittels Filtration unter Verwendung des PM<sub>10</sub>-Probennahmekopfes für das Kleinfiltergerät LVS3.1 der Firma Derenda (Teltow, Deutschland) entsprechend den Angaben des Herstellers bestimmt. Die Masse an abgeschiedenem Staub wurde nach Konditionierung der Filter durch Wägung bestimmt.

Die Konzentration an luftgetragenen aeroben Bakterien (aerobe GKZ) wurde mittels Impingement unter Verwendung von AGI-30 Impingern bestimmt. Die Impinger wurden mit 50 ml pyrogenfreiem Wasser (Wasser zur Injektion, Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) bestückt und mit einem Luftdurchsatz von 12,5 l/min betrieben. Von der Sammelflüssigkeit wurden dekadische Verdünnungsreihen in physiologischer Kochsalzlösung angefertigt und je 3 mal 100 µl auf Standard I Agar (Merck, Darmstadt, Deutschland) ausgestrichen. Die Nährbodenplatten wurden bei 37 °C über 48 h bebrütet. Die Konzentrationen an luftgetragenen aeroben gramnegativen Bakterien (aerobe gramnegative GKZ) wurde mittels eines 6-stufigen Andersen Luftkeimsammlers bestimmt. Der Sammler wurde mit MacConkey Agar Nr. 3 (Oxoid, Wessel, Deutschland) bestückt und mit einem Luftdurchsatz von 28,3 l/min betrieben. Die Kultivierung der beaufschlagten Platten erfolgte bei 37 °C für 24 h und anschließend bei 22 °C für 24 h.

Die Konzentration an luftgetragenen Schimmelpilzen wurde mittels Impingement unter Verwendung von AGI-30 Impingern bestimmt. Die Impinger wurden mit 50 ml pyrogenfreiem Wasser (Wasser zur Injektion, Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) bestückt und mit einem Luftdurchsatz von 12,5 l/min betrieben. Von der Sammelflüssigkeit wurden dekadische Verdünnungsreihen in physiologischer Kochsalzlösung (mit 0,01 Prozent Tween 80) angefertigt und je 3 mal 100 µl auf DG18 Agar (Merck, Darmstadt, Deutschland) ausgestrichen. Die Nährbodenplatten wurden bei 25 °C bis 168 h bebrütet.

Zusätzlich erfolgen optische Messungen zur Bestimmung der vorhandenen Staubfraktionen unabhängig und parallel zur gravimetrischen Bestimmung. Diese Messmethodik wurde zur Bestimmung der Staubgehalte im Tagesverlauf innerhalb von Zeitfenstern bis zu 24 Stunden stichprobenhaft eingesetzt. Hierbei wurden die Fraktionen PM-10, einatembar und alveolengängiger Staub. Durch stichprobenhafte

Rückwägung des systemintegrierten Filters wurde der Gesamtstaubgehalt ermittelt und hieraus für jede Hennenhaltung ein Gravimetriefaktor bestimmt. Auf dieser Basis erfolgte eine Korrektur der Messdaten. Für die optische Bestimmung der Staubfraktionen kam nachfolgende Technik zum Einsatz.

**Tabelle 3: Staubmesstechnik**

<b>Staubmessung:</b>	
Messgerät:	Staubmessgerät 1.105, Fa. GRIMM
	90° Streulichtmessung
	Massenkonzentrationsbereich: 1,0 – 50000 µg/m³ Erfassbare Partikelgröße: 0,75 µm Kanäle: Einatembar, Thorakal, Alveolengängig, PM10 Massekonzentration und Partikelanzahl Betrieb: 4 – 40 °C, < 95 % rel. Luftfeuchte

### 3.3.3 Geruchsstoffkonzentration

Die Probenahmen und Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration erfolgte nach VDI-RICHTLINIE 3881, Blatt 1-4. Es wurden Momentaufnahmen je Standort und Emissionsmessserie durchgeführt. Hierdurch wurde die zeitliche Zuordnung der Volumenströme gesichert. Entnommen wurde die Probenluft unmittelbar am Abluftschacht. Dabei wurde ein repräsentativer Stichprobenumfang von mindestens vier Einzelproben realisiert. Die Bewertung fand am Olfaktometer mittels eines konstanten Probandenteams statt. Hierbei wurde die kollektive Geruchschwelle bestimmt und für die Bewertung der Haltungen herangezogen.

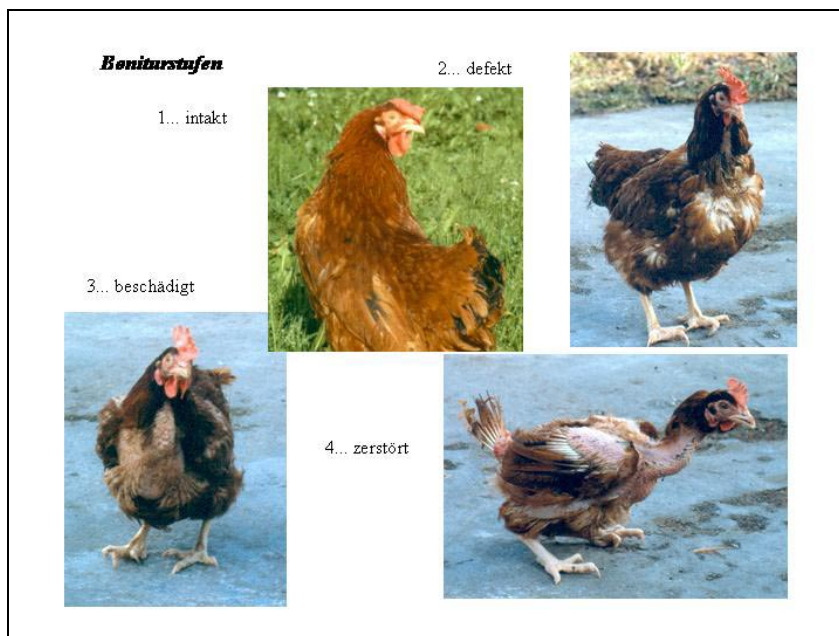
### 3.4 Tiergesundheit und Stallhygiene

Die Tiergesundheit und Stallhygiene wurde mittels einer vierteljährlichen Stallbegehung und Tierbonitur bewertet. Die zu bewertenden Kenndaten sind in nachfolgender Tabelle 4 zusammengestellt.

**Tabelle 4: Kenndaten und Bewertungsklassen der Herdenbonituren**

Tierverhalten	aktiv	normal	neugierig	schreckhaft
Atemgeräusche	ja		nein	
Milben	ja		nein	
Fliegen	ja		nein	
Käfer	ja		nein	
Befiederung (%)	1	2	3	4
Durchfall	ja		nein	
Gefiederverschmutzung (%)	ohne	leicht	deutlich	
Kotkonsistenz	dünnflüssig	flüssig	normal	fest
Einstreuzustand	trocken	locker	feucht	Plattenbildung
Federbesatz im Einstreu	ja		nein	

Zur Bonitur der Befiederung wurde der aus der Literatur entnommene 4-stufige Boniturschlüssel benutzt. In der Abbildung 15 sind die visuellen Stufen des Gefiederzustandes der Legehennen dargestellt.



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

Die Auswertung von Stallunterlagen zur Herdenbehandlung wurde durch Befragungen des Hoftierarztes ergänzt.

Im Rhythmus von zwei Monaten wurden in zwei Bodenhaltungen Blutproben an bis zu 20 Hennen gewonnen. In den Blutproben wird der Nachweis von Avidin durchgeführt. Die immunologische Reaktivität der Herde wurde in den Bodenhaltungen I und II zu je neun Terminen an 20 Einzelproben stichprobenhaft untersucht.

Die quantitative Bestimmung des Avidins erfolgte im Blutplasma mittels ELISA. Mit einem adsorptiv an die Mikrotiterplattenoberfläche (Festphase) gebundenen polyklonalem Antikörper gegen Avidin wird das im verdünnten Blutplasma enthaltene Avidin gebunden. Mit einem Enzym-markierten Zweitantikörper, ebenfalls polyklonal und Avidin-spezifisch-bindend, wird das festphasen gebundene Avidin markiert. Mittels Enzym-spezifischen Substrats kann die Menge des gebundenen Avidins quantifiziert werden (Messung der optischen Dichte mit einem ELISA-Reader). Parallel werden verschiedenen Standardkonzentrationen von chromatographisch reinem Avidin mitgeführt. In Relation zu diesen Standardkonzentrationen ist unter Berücksichtigung der Probenverdünnung eine Berechnung der Avidinkonzentrationen in den Blutproben möglich.

Die Bestimmung von IgY gegen LPS (Endotoxin) von *E. coli* (Stamm J5, LPS-Rc-Typ) im Blutplasma erfolgte ebenfalls mittels ELISA. Das LPS von *E. coli* wurde adsorptiv an die Mikrotiterplattenoberfläche (Festphase) gebunden und nicht gebundenes LPS ausgewaschen. Nach Blockierung freier Festphasenbindungsstellen erfolgte die Zugabe in geeignetem Testpuffer verdünnter Blutplasmaprobe. Nach Inkubation und Waschen erfolgte die Detektion LPS-gebundener-Antikörper (IgY) mit einem Peroxidase-markierten-polyklonalen Antikörper gegen aviäres IgY.

Die im Komplex gebundene Peroxidase wurde mittels Enzym-spezifischem Substrats colorimetrisch erfasst und quantifiziert (Messung der Extinktion bzw. optischen Dichte mittels ELISA Reader). Als Standard wurde ein Blutplasmapool vom Huhn in verschiedenen Verdünnungen stets mitgeführt. Dieser interne Laborstandard war jeweils derselbe und wurde auf 100 relative ELISA-Einheiten (REE) je Milliliter definiert. In Bezug auf diesen Standard wurden alle Probenmessungen quantifiziert und der Antikörperspiegel in REE/ml angegeben.

### **3.5 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 und Belege, Jahresabschlüsse und Arbeitszeitstudien (Zeitmessung einzelner Arbeitsgänge bzw. Fortschrittszeitmessung) werden die in der Legehennenhaltung aufzufindenden Kostenarten nach den Kostenblöcken Direkt-, Arbeiterledigungs-, Gebäude- und sonstige Kosten (DLG-Schema Betriebzweigauswertung, 2000) gegliedert, herdenbezogen zusammengestellt (Abb. 16).

<b>Direktkosten</b>	<b>1) Fütterung</b>
Bestandsergänzung (Tierzukauf/IU)	<b>2) Entmistung und Einstreuen</b>
Tierarzt, Medikamente	Entmisten
(Ab)wasser, Heizung, Strom	Abkratzen Kotabstreifer nach Entmisten
Vermarktung (Verpackung)	Einstreuen Kaltscharraum
sonstige Direktkosten	Stall ausmisten
Kraftfutter	Einstreuen Scharraum
Zinsansatz Viehkapital	<b>3) Produktgewinnung</b>
<b>Arbeits erledigungskosten</b>	Vorbereitung
kalkul. Personalkosten	Kontrollgang (tote Tiere, Futterkette, Glühbirnen, verlegte Eier)
Berufsgenossenschaft	erhöhter Kontrollaufwand Junghennen
Lohnarbeit/Masch.miete (Saldo)	Eier per Hand vom Band aufsetzen
Maschinenunterhaltung	verlegte Eier aufsetzen
Treibstoffe	Nachbereitung, Hennen aus Eierband nehmen
Abschreibung Maschinen	<b>4) Vermarktung</b>
UH/Afa/Steuer/Vers. PKW	Vorbereitung Sortierung
Maschinenversicherung	Transport Eier im Sortierraum, Kleinverkauf
Zinsansatz Maschinenkapital	Abnehmen der Pappen und Stapeln
<b>Gebäudekosten</b>	Verpackungsmaterial laden, transportieren
Unterhaltung	Vorbereitung auflegen für Folgetag
Abschreibung	Eier auflegen (Sortiermaschine)
Miete	Pappen einlegen, Probleme mit Maschine
Versicherung	Durchleuchten, aussortieren Knick-, Schmutzeier
Zinsansatz Gebäudekapital	Nachbereitung, Reinigung Sortiermaschine etc.
<b>sonstige Kosten</b>	Vermarktung über Großhandel, Eier abgeholt
Beiträge und Gebühren	Listen drucken
Sonstige Versicherungen	Vermarktungsangel. Geschäftsführer
Buchführung und Beratung	<b>5.) Einstellen/Reinigung und Desinfektion</b>
Büro, Verwaltung	Einstellung / Stallvorb./Einstreu
Sonstiges	Ausstellung / Demontage
Flächenpacht	Reinigung/ Desinf.
	<b>6.) Sonstiges</b>
	Impfen über Tränke, Kontrolle, Behandlung
	Hennen herauslassen, Klappen öffnen
	Hennen Einsperren
	Reinigen Stallvorraum/Innenraum
	Pflege Außenanlagen
	Auslaufpflege (Mulchen, Zäune)
	Kleinreparaturen
	Milben
	Hof kehren, Fenster putzen Sortierraum
	Reinigung Eisammlung/Printer
	Reinigung Vorraum/Eierlager
	Dokumentation

**Abbildung 16: Kenndatenstruktur zur Bewertung der Kosten nach der Blockmethode und des Arbeitszeitaufwandes**

Grundlage der Bewertung sind die Stückkosten je vermarktetem Ei bezogen auf die Anfangshenne und den Zeitraum von einem Jahr. Hiermit werden die verschiedenen Verlustarten 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 unterschiedlichen Vermarktungsstrategien unberücksichtigt.

Abweichend vom DLG-Schema wird der finanzielle Aufwand für Strom nicht den Arbeiterledigungskosten, sondern den Direktkosten zugeordnet. Der Zinsansatz (3 Prozent) 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 Betriebsituation 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. Die betrieblichen Daten der Bodenhaltung waren nur unzureichend verwendbar, so dass auf einen kalkulatorischen Ansatz zurückgegriffen wurde.

#### 4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden sollen die Ergebnisse mit den wichtigsten Kenndaten unter den Abschnitten Stallklima und Emissionen, Tiergesundheit und Stallhygiene sowie Betriebswirtschaft zusammengestellt und diskutiert werden.

##### 4.1 Stallklima und Emission

Für einen Zeitraum von ca. zwei Jahren wurden Kenndaten in drei Legehennenhaltungen in Bodensystemen zu Außen- und Stalllufttemperatur, zur Stallluftfeuchte, zu den Stallgasen Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>), Bioaerosol – luftgetragener Staub und Keime sowie zur Geruchsstoffkonzentration durchgeführt. Die Kenndaten aus den durchgeführten Messreihen werden zuerst gesondert für jede untersuchte Legehennenhaltung zusammengestellt und bewertet. Die Kenndaten zu den Jahresemissionen wurden auf dieser Basis kalkuliert. Wenn sich aus den Messwerten heraus die Notwendigkeit einer Modifikation am Klimatisierungssystem des Stalles ergab, werden die Resultate hierfür direkt mit besprochen. Die Kenndaten zu den Stallgaskonzentrationen wurden auf der Basis mg bzw. g gemessen und bewertet. Die Angaben zu Grenzwerten sind auf ppm bezogen. Zum besseren Umgang mit den Kenndaten sollen nachfolgende Relationen herangezogen werden.

**Tabelle 1: 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: 1,4382		Faktor: 0,5557
7,0	10	1 799,5	1 000
<b>13,9</b>	<b>20</b>	3 599,1	2 000
20,9	30	<b>5 398,6</b>	<b>3 000</b>
27,8	40	7 198,1	4 000

Die Grenzwerte zu Ammoniak und Kohlendioxid sind in der Tabelle hervorgehoben.



Die Bezugsbasis GV wurde auf der Basis berechnet, dass 0,0034 GV (ca. 1,7 kg) einer Legehennen entspricht (TA-LUFT). Somit sind in der Bodenhaltung I 51 GV, in der Bodenhaltung II 71 GV und in der Bodenhaltung III 24 GV als Basis zu verwenden.

Lüftungssysteme in landwirtschaftlichen Stallanlagen haben die Aufgabe, den Stallraum mit ausreichender Frischluft zu versorgen und staltklimatische Lasten (Schadgase, Wasser, Bioaerosole) unter Beachtung der Umweltbelastungen aus dem Stall zu fördern. Die Lüftungssysteme in den untersuchten Legehennenhaltungen folgen dem Funktionsprinzip der Unterdrucklüftung. Hierbei wird im Stall durch Abtransport der Abluft über First bzw. Giebel (Oberflur) ein Unterdruck erzeugt. Dieser Unterdruck befördert Frischluft aus der Umwelt in den Stall. Die Menge an Frischluft wird über modulierbare Abluftraten der Ventilatoren im Abluftschacht und regelbare Zuluftklappen (Ventile) bzw. auch über die geöffneten Zugänge zum Auslauf beeinflusst. Die Funktion bzw. Nichtfunktion der Unterdrucklüftung kann an den Druckverhältnissen zwischen Stallinnenraum und dem Außenluftdruck abgelesen werden. Die Druckdifferenzen liegen hierbei zumeist zwischen 10 und 50 Pa (BACHMANN UND FROSCH, 2004). Im Verlauf der untersuchten Messzeiträume in der Bodenhaltung I wurden die in Tabelle 2 gegenübergestellten mittleren Druckverhältnisse gemessen.

**Tabelle 2: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Bodenhaltung I**

Haltung	„Winter“	„Übergang“	„Sommer“
Boden I	-12,4	-16,0	-15,0

Die Druckdifferenz lag im Mittel der Messzeiträume unter -10 Pa. Die Werte bei geöffnetem Auslauf zeigen, dass dieser Unterdruck ausreichend war, um auch bei geöffneten Auslaufzugängen einen Unterdruck im Stall aufrechtzuerhalten. Die fünf Deckenlüfter werden synchron drehzahlabhängig geregelt. Das theoretische Fördervolumen liegt maximal bei 68 500 m<sup>3</sup> je Stunde. Im Sommer liegt der Regelbereich (Minimal-, Maximaluftfrate) zwischen 20 und 100 Prozent. Unter Winterbedingungen wird die Minimaluftfrate zwischen 3 und 8 Prozent eingeregelt. Während unter diesen klimatischen Bedingungen mit einer Soll-Stalltemperatur von 12 °C gearbeitet wird, gestaltet man unter Sommerbedingungen diesen Regelbereich ab ca. 18 °C außentemperaturangepasst. Während der Sommerperiode werden die beiden giebelseitigen Wandlüfter zur Erhöhung der Lüftungsrate in die Steuerung integriert. Diese werden ungeregelt einzeln zugeschaltet und erhöhen das theoretische Fördervolumen um 72 000 m<sup>3</sup> je Stunde.

Auch das Lüftungssystem in der untersuchten Bodenhaltung II folgt dem Funktionsprinzip der Unterdrucklüftung. Im Unterschied zu den Bodenhaltungen I und III wird hier der Abtransport der Abluft über den Giebel (Oberflur) und einem nachgeordneten Monoschacht realisiert. Der so entstehende Unterdruck befördert Frischluft aus der Umwelt in den Stall. Die Menge an Frischluft wird über das gruppenweise Zuschalten (drei Gruppen mit je zwei Ventilatoren) der Wandventilatoren und regelbare Zuluftklappen beeinflusst. Das System kann als modifiziertes Tunnellüftungssystem bezeichnet werden. Im

Verlauf der untersuchten Messzeiträume wurden die in Tabelle 3 gegenübergestellten mittleren Druckverhältnisse gemessen.

**Tabelle 3: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Hennenhaltung II**

Haltung	„Winter“	„Übergang“	„Sommer“
Boden II	-1,4	-3,7	-6,3

Die Druckdifferenz lag im Mittel der Messzeiträume im Unterdruckbereich, jedoch über -10 Pa. Somit kann mit Vorsicht vermutet werden, dass das Lüftungssystem zwar mit Frischluft versorgt, jedoch insgesamt etwas instabil ist. Aufgrund des geschlossenen Stallsystems (keine Fenster und Auslauföffnungen) herrschen im Stallinnenraum stabilere Druckverhältnisse als in den Bodenhaltungen I und III. Die sechs Giebelwandlüfter werden in drei Gruppen zu je zwei Lüftern temperaturabhängig geregelt. Weil keine Drehzahlregelung realisiert wird, bringt die unterste Stufe (zwei Lüfter) die Minimalluftfrate von 72 000 m<sup>3</sup> je Stunde. Diese kann nur mit Leistungsverlusten über die Zuluftöffnungen weiter gesenkt werden. Das theoretische Fördervolumen liegt maximal bei 216 000 m<sup>3</sup> je Stunde. Im Sommer wie Winter liegt der Regelbereich (Minimal-, Maximalluftfrate) zwischen 30 und 100 Prozent. Unter Winterbedingungen wird die Stallbelüftung über die Stallsollwerttemperatur gedrosselt. Auch deshalb wird unter diesen klimatischen Bedingungen mit einer Soll-Stalltemperatur von 23 °C gearbeitet. Der Regelbereich im Sommer folgt variabel den Außentemperaturen.

Das Lüftungssystem in der Bodenhaltung III basiert ebenfalls auf dem Funktionsprinzip der Unterdrucklüftung. Dabei wird hier im Stall der Abtransport der Abluft über First (Oberflur) realisiert. Abweichend von einem reinen Oberflursystem nimmt bei drei der fünf Deckenlüftungsschächte der Abluftstrom einen Umweg durch den Kotbunker und überstreicht dabei die Oberfläche des Kotstapels. Bezweckt wird damit, dass eine beschleunigte Abtrocknung dieser Oberschicht einsetzt. Um diesen Luftstromweg zu realisieren, reichen die drei Abluftschächte bis in den Kotbunker. Die Lüftungsstrategie ist, diese drei Lüfter als Hauptlüfter während des gesamten Jahres zu betreiben. Die weitere Erhöhung der Luftfrate - insbesondere im Sommer - erfolgt durch Zuschalten der beiden weiteren Lüfter im Deckenbereich. Diese befördern Abluft direkt aus dem Deckenbereich ins Freie. Der hiermit erzeugte Unterdruck saugt Frischluft aus der Umwelt in den Stall. Hierfür sind zwei Wege vorgesehen. Im Winter wird die Frischluft über den Dachraum an 14 Zuluftöffnungen im Deckenbereich des Stallraums gesaugt. Dabei wird eine Vorwärmung der Luft im Dachraum bewirkt. Im Sommer werden die Fensterbänder beidseitig der Stalllängsachse geöffnet. Aufgrund des höheren Strömungswiderstandes reist der Zuluftstrom über das Dach ab. Durch Verstellung der Fensteröffnung kann hierbei noch ein Einfluss auf den Frischluftzustrom genommen werden. Im Verlauf der untersuchten Messzeiträume wurden die in Tabelle 4 gegenübergestellten mittleren Druckverhältnisse gemessen.

**Tabelle 4: Mittlere Druckverhältnisse (Pa) in der Hennenhaltung III**

Haltung	„Winter“	„Übergang“	„Sommer“
Boden III	-10,0	-4,8	-3,2

Die Druckdifferenz lag im Mittel der Messzeiträume ebenfalls im Unterdruckbereich, jedoch verweist der Abfall an realisiertem Unterdruck in der wärmeren Jahreszeit auf die geänderte Durchströmung des Stalles. Über die Lüfter wurde im Mittel der Messzeiträume ein sicherer Unterdruck aufrechterhalten. Die fünf Deckenlüfter mit der bereits erörterten Einsatzstruktur realisieren ein theoretisches Fördervolumen von maximal 82 400 m<sup>3</sup> je Stunde. Im Sommer liegt der Regelbereich (Minimal-, Maximalluftfrate) zwischen 40 und 100 Prozent. Unter Winterbedingungen wird die Minimalluftfrate auf ca. 20 Prozent abgesenkt. Während unter diesen klimatischen Bedingungen mit einer Soll-Stalltemperatur von 14 °C gearbeitet wird, gestaltet man den Regelbereich unter Sommerbedingungen ab ca. 18 °C Außentemperatur angepasst.

Die Kenntnis zu den dargestellten Arbeitsweisen der Lüftungssysteme ist zur Beurteilung der im Folgenden dargestellten Stallklimata und insbesondere im Kontext mit dem Emissionsverhalten unumgänglich.

#### 4.1.1 Lufttemperatur und -feuchte, Konzentration Stallgase und Emission

Die Datenbasis zur stallklimatischen Bewertung der untersuchten Legehennenhaltungen (Bodenhaltung I bis III) bilden die Zeitfenstermessungen je Haltung (siehe Methodik). Auf der Grundlage der gemessenen Kenndaten zu den Stalllasten Ammoniak, Kohlendioxid, Lachgas und Methan wird nachfolgend ausführlich nur auf Ammoniak und Kohlendioxid eingegangen. Die mittleren Kennwerte über alle Messungen stallbezogen und gesamt werden in der Tabelle 5 zusammengestellt.

**Tabelle 5: Mittlere Kenndaten zu den gemessenen Stallgasen im Stall (innen), im Außenbereich (außen) und um die Außenkonzentration bereinigt (Diff.) je Haltung und gesamt**

	NH <sub>3</sub>			CO <sub>2</sub>			N <sub>2</sub> O			CH <sub>4</sub>		
	innen	außen	Diff.	innen	außen	Diff.	innen	außen	Diff.	innen	außen	Diff.
	mg/m <sup>3</sup>											
B I	3,9	1,6	2,3	2512,2	841,6	1670,6	0,7	0,6	0,0	2,9	2,2	0,7
B II	1,0	0,4	0,6	3619,1	851,5	2767,6	0,6	0,7	0,0	3,6	2,2	1,4
B III	10,2	2,5	7,6	1924,8	850,8	1074,1	0,7	0,7	0,0	2,4	2,0	0,4
Gesamt	5,0	1,5	3,5	2685,4	848,0	1837,4	0,7	0,7	0,0	3,0	2,2	0,8

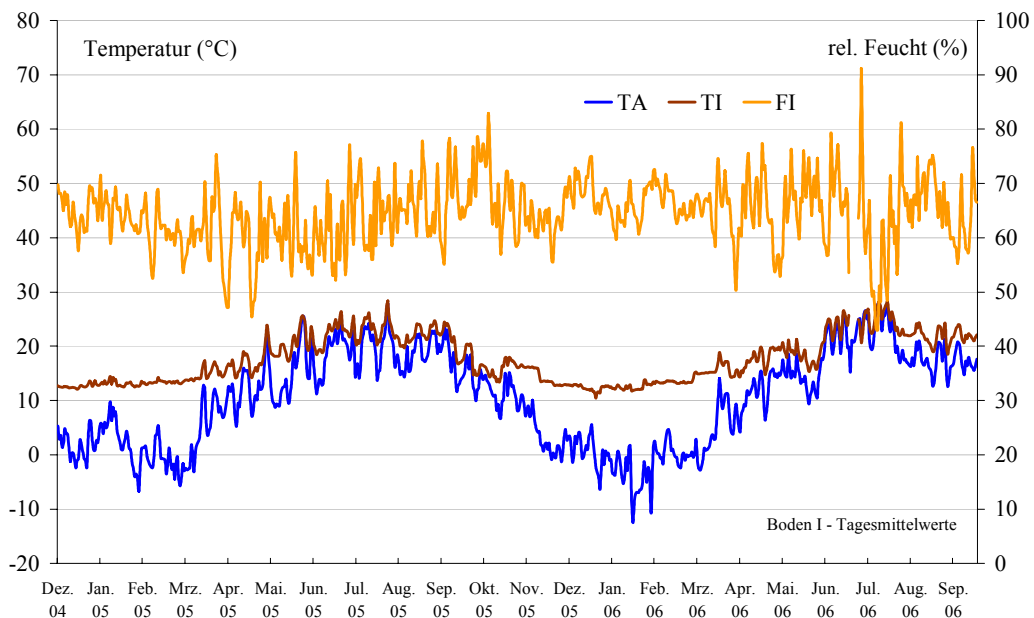
Lachgas hat in allen Haltungen eine Konzentration auf Außenluftniveau. Hiermit treten die Haltungen nicht als differenzierbarer Emittent auf. Bei einem mittleren Volumenstrom über alle untersuchten Haltungen und Zeitfenster von 1 038,7 m<sup>3</sup>/h\*GV entspricht die im Stall gemessene Lachgaskonzentration

einer Emissionsrate von ca. 0,7 g/h\*GV. Das ermittelte Niveau korrespondiert mit bereits vorliegenden Ergebnissen. Hier wurden Konzentrationen von bis zu 0,6 g/h\*GV gemessen (SNEATH, 1996; NESER, 2000; LFL, 2004).

Bei Methan treten die Anlagen in geringem Umfang als Emittenten auf. So kann im Mittel über alle Haltungen und Messzeitfenster von einem Nettoausstoß um ca. 0,8 g/h\*GV ausgegangen werden. In Abhängigkeit vom Haltungssystem wurden in eigenen Untersuchungen zwischen 1,0 und 7,9 g/h\*GV ermittelt (LFL, 2004). Haltungen mit stallseitiger Kotlagerung rangieren dabei im oberen Wertebereich, Vollieren demgegenüber im unteren.

#### 4.1.1.1 Bodenhaltung I

Der Verlauf der Lufttemperatur und -feuchte im Tagesmittel über nahezu zwei Jahre wird in der Abbildung 1 dargestellt. Die dazugehörigen Kenndaten sind in Tabelle SE20 (Anhang) zusammengestellt.

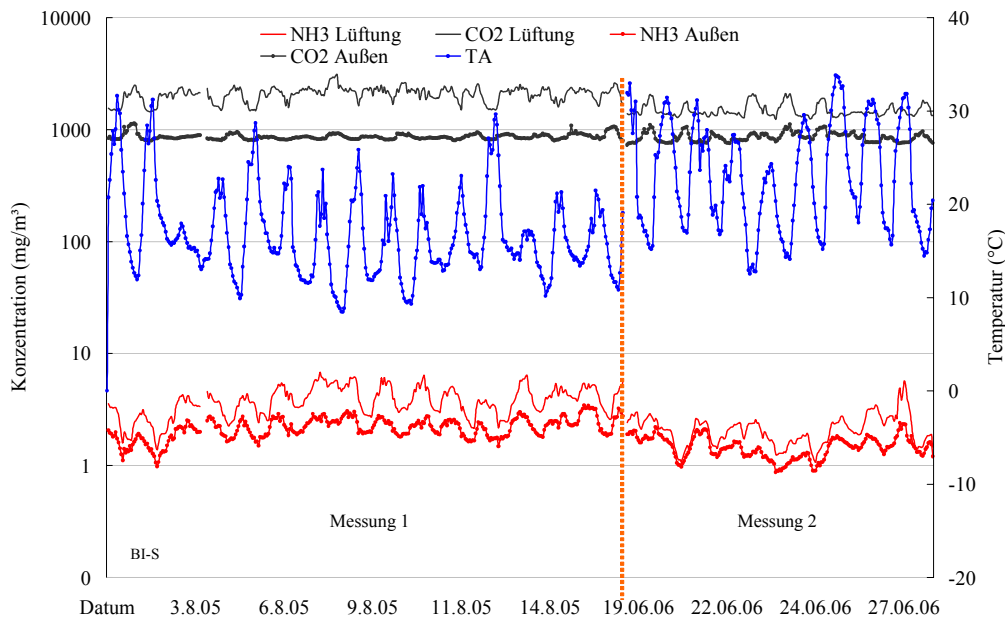


**Abbildung 1: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung I**

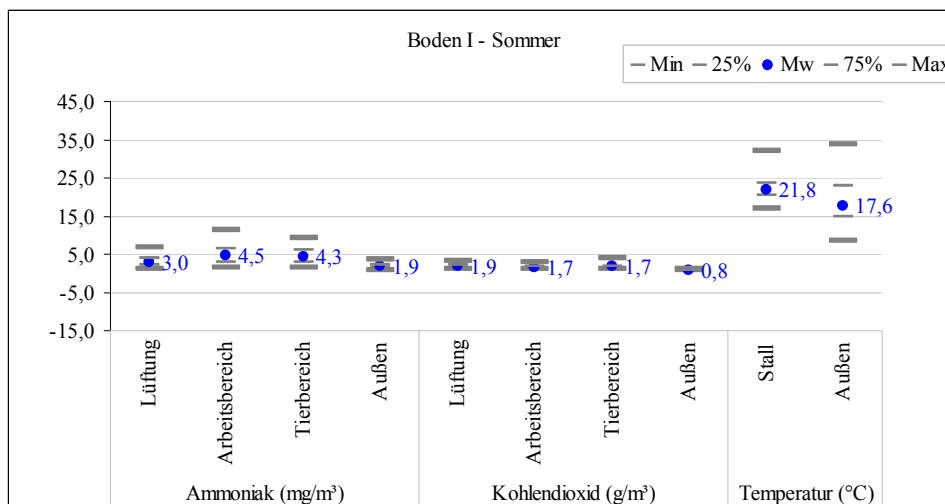
Die Stalllufttemperatur folgt der Außenlufttemperatur. Im Winter wird die Absenkung im Außenbereich (Mittel auf 0,3 °C) durch das Lüftungsmanagement und die Stallhülle deutlich gemildert (12,8 °C zentral, 10,8 °C peripher). Hierbei ist auffällig, dass gegenüber den Stalllufttemperaturwerten im Sommer eine geringere Varianz auftritt. In diesen Zeitfenstern können die Kenndaten im leistungsangepassten Temperaturbereich zwischen 12 und 22 °C (DIN 18910) gehalten werden. Die geringe Varianz in diesem Bereich bestätigt die Befunde von WATHES (1998). Oberhalb dieses Bereiches (Mittel: 22,4 °C zentral, 22,7

°C peripher; Max. 28,4 °C) erreicht bzw. übertrifft sie teilweise die Kennwerte der Außentemperatur (Mittel: 19,5 °C; Max. 27,8 °C). Hier nicht dargestellte Stundenmittelwerte erreichen im Maximum Werte über 30 °C. Die erhöhte Varianz der Stalllufttemperatur innerhalb dieser Zeitfenster kennzeichnet die Probleme der Stallklimatisierung unter oberen Extremwerten. Die Luftfeuchte im Stall variiert im Tagesmittel zwischen 43 und 91 Prozent, im Mittel um die 66 Prozent.

Deutlicher können die Stallklimaparameter bei einer Betrachtung der Stundenmittelwerte beurteilt werden. Diese Kenndaten liegen komplettiert mit den Stallgasdaten für die Messzeitfenster vor. In den Abbildungen 2 und 3 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Sommermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE1 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 2:** Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)

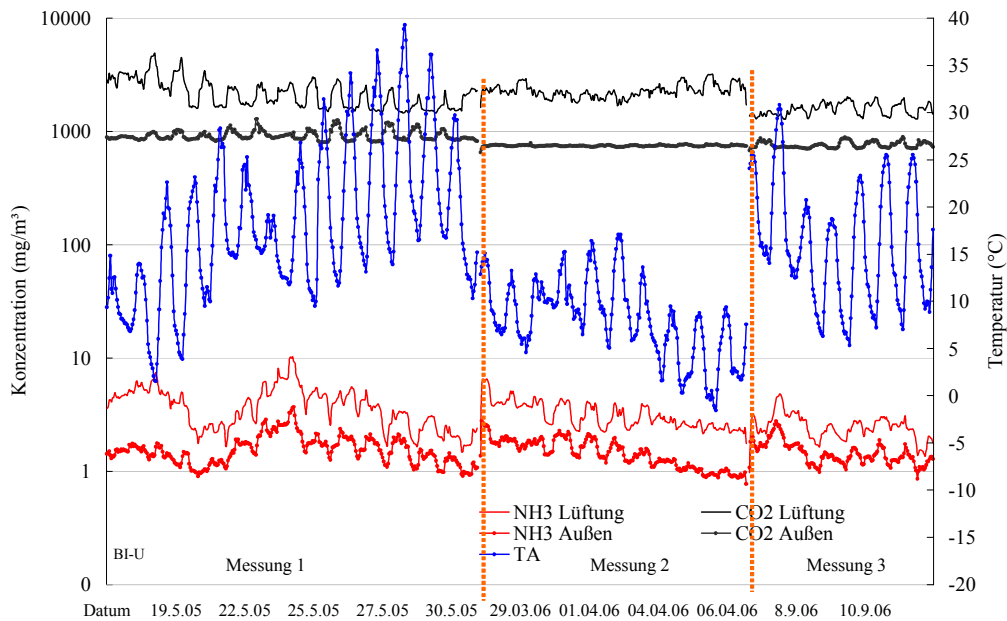


**Abbildung 3: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)**

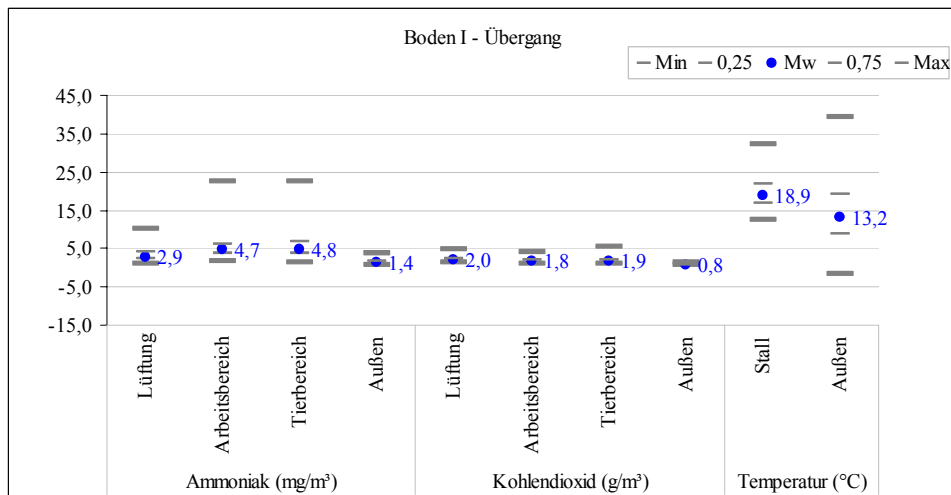
Im zeitlichen Verlauf ist zu erkennen, dass die Stalldaten den Außendaten auf höherem Niveau folgen. Dabei ist der Kohlendioxidgehalt der Außenluft relativ konstant und erreicht im Mittel aller Messungen  $842 \text{ mg/m}^3$  (von  $746 - 918 \text{ mg/m}^3$ ). Die Außenlufttemperatur (Mittel:  $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ist durch eine hohe Variation ( $8,5 - 33,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel  $21,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sie liegt damit bereits im Mittel am oberen Grenzbereich des für Hennen gut tolerierbaren Temperaturbereiches zwischen  $12$  und  $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999). Die Hennen müssen jedoch auch bis  $32,1 \text{ }^\circ\text{C}$  tolerieren (Min.  $17,0$ ). Die Luftfeuchtegehalte liegen im Mittel bei  $68$  Prozent.

Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen nur gering (Mittel:  $3,0 - 4,5 \text{ mg/m}^3$ ), liegen auf der Ebene „Lüftung“ jedoch niedriger ( $3,0 \text{ mg/m}^3$ ) als im Tierbereich ( $4,3 \text{ mg/m}^3$ ). Die Kenndaten bleiben auch im Maximum ( $11,4 \text{ mg/m}^3$ ) unterhalb des Grenzwertes ( $13,9 \text{ mg/m}^3$ ). Die Außenluftkonzentration liegt deutlich unterhalb der Stalldaten. Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere bei  $1,7 \text{ g/m}^3$  und auf Ebene der Lüftung bei  $1,9 \text{ g}$ . Sie ist mit einer geringen Variationsbreite charakterisiert und liegt deutlich unterhalb des Grenzwertes von  $5,4 \text{ g/m}^3$ . Die Kohlendioxidwerte zeigen, dass das Lüftungssystem - erwartungsgemäß unter Sommerbedingungen - für ausreichend Frischluft im Stall sorgt.

In den Abbildungen 4 und 5 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Übergangsmessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE3 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 4:** Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)



**Abbildung 5:** Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)

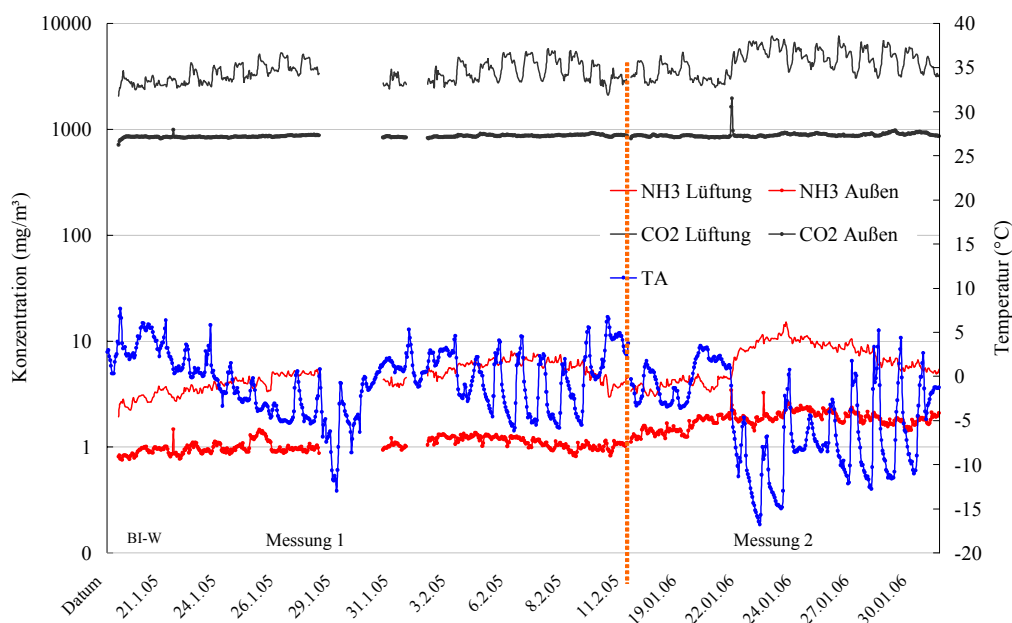
Der zeitliche Verlauf zeigt, dass sich das Niveau der Stalldaten gegenüber den Sommerwerten schon deutlicher über die Außendaten hebt. Diese Tendenz war zu erwarten, weil sich mit sinkenden Außentemperaturen in praxi auch der Luftaustausch in den Ställen zurückgeht. Ursache hierfür ist, dass das

Fehlen von Zusatzheizungen, wie sie DAMME UND HILDEBRAND (2002) grundsätzlich fordern, sich wirtschaftlich ungünstig darstellen lässt. Somit wird über das Lüftungsmanagement versucht, soviel Warmluft wie nur möglich im Stall zu halten. Hier erweist sich die Steuergröße Temperatur als ungeeignet. Für Ammoniakensoren, wie sie bereits praxisreif angeboten werden, fehlen derzeit gesicherte Erfahrungen und Kenndaten. Der Kohlendioxidgehalt der Außenluft liegt innerhalb des bei der Sommermessung beschriebenen Bereiches. Die Außenlufttemperatur (Mittel: 13,2 °C) ist durch eine sehr hohe Variation (-1,6 – 39,3 °C) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel 18,9 °C. Mit den im Mittel sinkenden Außentemperaturen erreicht die Stalltemperatur für die Hennen optimale Temperaturbereiche. Die Hennen müssen in diesem Messzeitfenster auch noch Stalltemperaturen bis 32,2°C tolerieren, der überwiegende Anteil an Kenndaten liegt jedoch bereits unterhalb 21,9 °C.

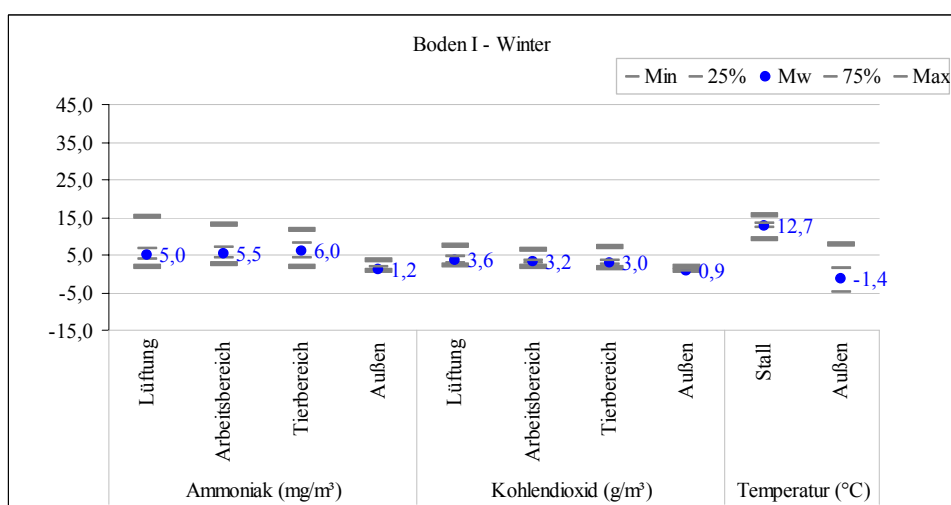
Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen nunmehr deutlicher (Mittel: 2,9 – 4,8 mg/m<sup>3</sup>). Im Bereich der Lüftungsschächte („Lüftung“) ist mit 2,9 mg/m<sup>3</sup> der niedrigste Gehalt zu messen. Dagegen ist im Mittel im Tierbereich ein leichter Anstieg auf 4,8 mg/m<sup>3</sup> gegenüber den Sommerdaten festzuhalten. Die Kenndaten bleiben überwiegend und im Bereich der Luftaustauschstellen unterhalb des Grenzwertes (13,9 mg/m<sup>3</sup>). Dagegen erreichen einzelne Maximalwerte bis zu 22,6 mg/m<sup>3</sup>. Die Außenluftkonzentration liegt auf Sommerniveau deutlich unterhalb der Stalldaten. Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel auf der Ebene der Tiere bei 1,9 g/m<sup>3</sup> und auf Ebene der Lüftung bei 2,0 g. Sie ist mit einer ansteigenden Variationsbreite charakterisiert. Der Grenzwert von 5,4 g/m<sup>3</sup> wird auch im Tierbereich nicht erreicht.

In den Abbildungen 6 und 7 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Wintermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE5 (Anhang) zusammengestellt.





**Abbildung 6:** Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)



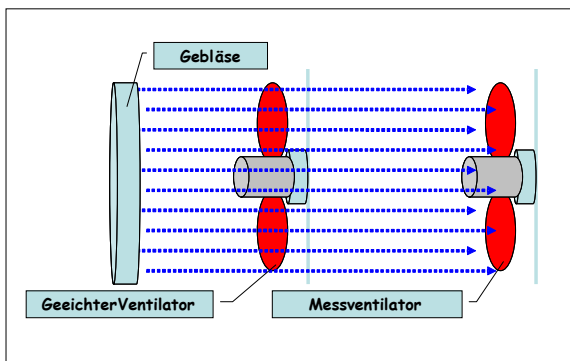
**Abbildung 7:** Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung I)

Der zeitliche Verlauf der Konzentrationsdaten zeigt nunmehr eine deutliche Differenz zwischen Stall- und Außenluftkonzentrationen bei Ammoniak sowie bei Kohlendioxid. Dabei ist der Kohlendioxidgehalt der

Außenluft sehr konstant und auf bisher dokumentiertem Niveau. Die Außenlufttemperatur (Mittel:  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ist durch eine hohe Variation im für das Messzeitfenster fokussierten Temperaturbereich unterhalb  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-16,8 - 7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel  $12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sie liegt damit bereits im Mittel an der unteren Grenze der für Hennen gut tolerierbaren Temperaturen zwischen  $12$  und  $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999). Es treten jetzt Maximalwerte bis  $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf. Unter diesen thermischen Bedingungen ist mit einer höheren Futtermittelaufnahme zu rechnen (KOBYLINSKI, 1999). Die Differenz im täglichen Futtermittelverbrauch gegenüber der im Mittel bei  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  relativ konstant gehaltenen Stalllufttemperatur (über alle Messzeitfenster) in der Bodenhaltung II liegt bei ca.  $12\text{ g}$  je Henne am Tag. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass die Hennen in der Bodenhaltung I durch Auslauf und aktive Nutzung der Scharräume einen prinzipiell höheren Erhaltungsbedarf und somit Futtermittelaufwand erwarten lassen. Vor diesem Hintergrund bewertet, ist der Mehrverbrauch nicht so hoch wie erwartet. Finanziell bedeutet das ca.  $60\text{ Cent}$  je Henne Mehrkosten im Jahr.

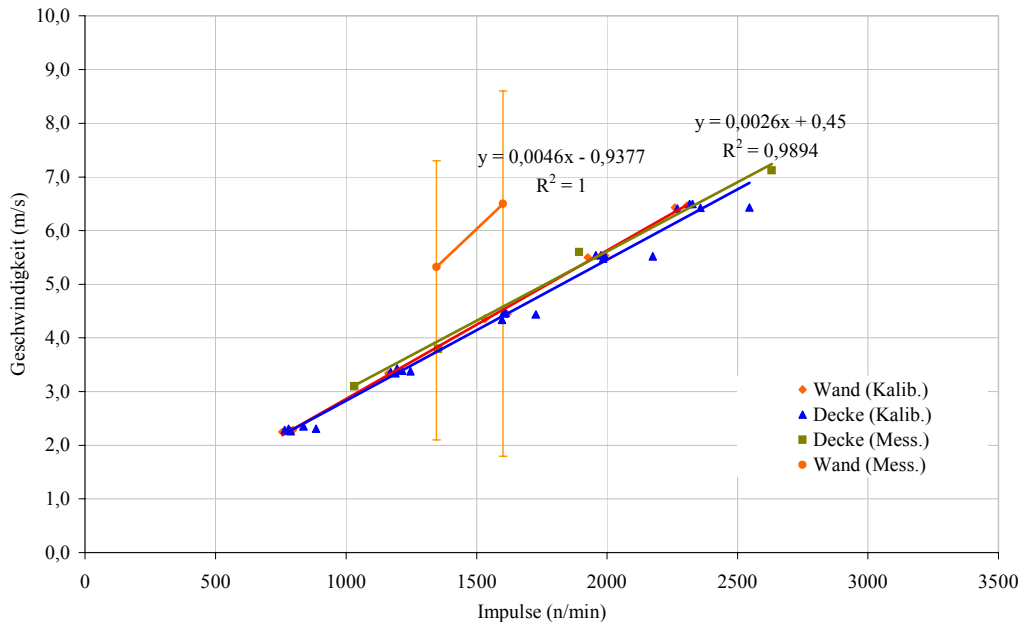
Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen erwartungsgemäß gering (Mittel:  $5,0 - 6,0\text{ mg/m}^3$ ), liegen auf der Ebene „Lüftung“ bei  $5,0\text{ mg/m}^3$ . Die Kenndaten der Wintermessungen in der Bodenhaltung I überschreiten vereinzelt im Maximum ( $15,1\text{ mg/m}^3$ ) den Grenzwert ( $13,9\text{ mg/m}^3$ ). Drei Viertel der Kenndaten (bei  $6,6\text{ mg/m}^3$  im Bereich der Lüftung) bleiben deutlich unterhalb des Grenzwertes. Die Außenluftkonzentration ( $1,2\text{ mg/m}^3$ ) liegt nunmehr sehr deutlich unterhalb der Stalldaten. Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere bei  $3,0\text{ g/m}^3$  und auf Ebene der Lüftung bei  $3,6\text{ g/m}^3$ . Sie variiert deutlich geringer als Ammoniak und bewegt sich deutlich unterhalb des Grenzwertes von  $5,4\text{ g/m}^3$ .

Für die Berechnungen der Emissionswerte für Ammoniak und Kohlendioxid ist die Bestimmung der Volumenströme nötig. Hierfür wurden Messventilatoren verwendet. Diese Messtechnik wurde zweifach kalibriert, u. a. fand unter Laborbedingungen eine Kalibrierung statt. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Messstreckenaufbau. Die Kalibrierfunktion wurde mittels geprüfem (DLG) Messventilator bestimmt.



**Abbildung 8: Schema der Messstrecke**

In praxi wurde mittels Flügelradanemometer mehrmals unter verschiedenen Betriebszuständen nachkalibriert. In der Abbildung 9 ist die jeweilige Funktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit der Labor- und Nachkalibrierung gegenübergestellt.



**Abbildung 9: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung I)**

Während die Vergleichsmessungen für die Deckenventilatoren gut übereinstimmen, weicht die Messstrecke an den Giebelwandlüftern deutlich vom Laboraufbau ab. Dennoch wurde in beiden Fällen auf die Funktion aus der Nachkalibrierung zurückgegriffen. Die Kalibrierung unter Laborbedingungen ist jedoch empfehlenswert, weil hier genauer das Ansprechverhalten der Messventilatoren und deren Synchronismus nachgeprüft werden kann.

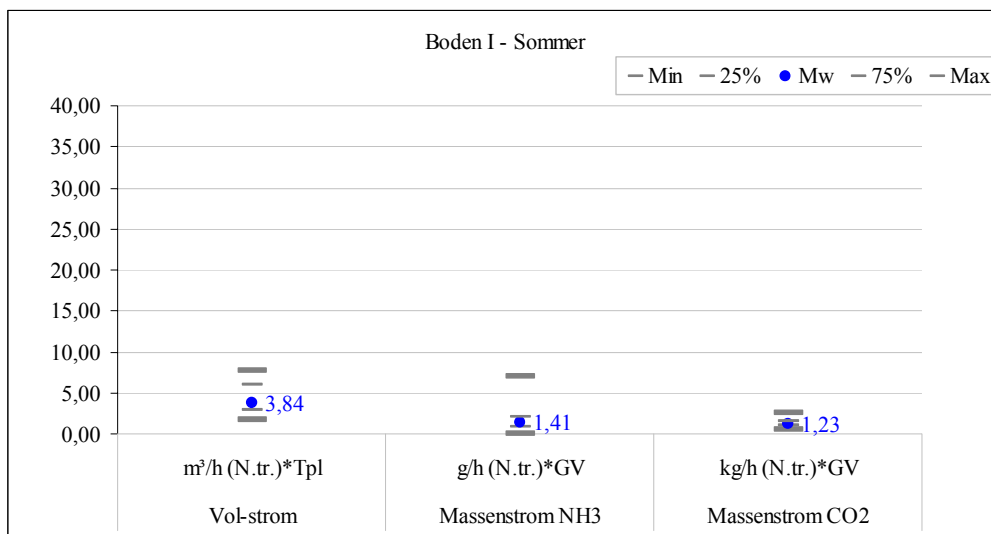
Nach der DIN 18910-1 existieren in Deutschland zwei Sommertemperaturzonen. Die Klimazone 1 mit Tageshöchsttemperaturen im Sommer von  $> 26\text{ °C}$  erstreckt sich über die Mitte Ostdeutschlands, den Rheingraben und einen Bereich zwischen Regensburg, Passau und München. In diesem Klimabereich soll die Stalllufttemperatur die Außenlufttemperatur nur um 2 K übersteigen. Das heißt, dass hier leistungsfähigere Lüftungssysteme und/oder eine besserer Stallisolation vorhanden sein müssen. In diesem Klimabereich liegt der Standort der Bodenhaltung I. Die Bodenhaltungen II und III liegen in der Klimazone 2. Hier liegen die Tageshöchsttemperaturen zumeist unterhalb  $26\text{ °C}$ . Deshalb müssen die Stallanlagen so konzipiert sein, dass die Stalllufttemperatur die Außenlufttemperatur um maximal 3 K übersteigt. Daraus und aus dem Tiergewicht leiten sich die im Sommer nötigen Luftraten je Tierplatz ab. Die Mindestluftrate im Winter sollte gewährleisten, dass die Luftqualität ausreichend gesichert ist und die Luftfeuchte unter 80 Prozent gehalten werden kann.

In der Bodenhaltung I sind demnach eine Sommerluftrate von 5,8 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. und eine Winterluftrate von 0,7 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. vorzusehen. In der Tabelle 6 sind die Anzahl Messtage, die mittlere Luftrate in den Messzeitfenstern und die zu erreichenden Mindestluftraten nach DIN 18910-1 gegenübergestellt.

**Tabelle 6: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung I)**

Boden I	Mittlere Luftraten		Luftraten m <sup>3</sup> /h*Tpl (2 kg LM)	
	n	m <sup>3</sup> /h*Tpl	Winter	Sommer
Winter	885	1,58	0,7	5,8
Übergang	739	3,30		
Sommer	575	3,84		

Die mittleren Luftraten erreichen im Sommer das geforderte Volumen nicht. Die Lüftungsanlage ist theoretisch in der Lage, über die Deckenschächte eine Rate von 4,6 m<sup>3</sup>/h\*Tpl zu erzeugen. Über die Giebelwandlüfter ist diese Rate auf bis zu 10 m<sup>3</sup>/h\*Tierplatz auszudehnen. In den Abbildungen 10 bis 12 sind die für jedes Messzeitfenster ermittelten Volumenströme, Emissionsmassenströme für Ammoniak und Kohlendioxid zusammengestellt. Die entsprechenden Kennwerte sind in den Tabellen SE2, SE4 und SE6 im Anhang zu finden.

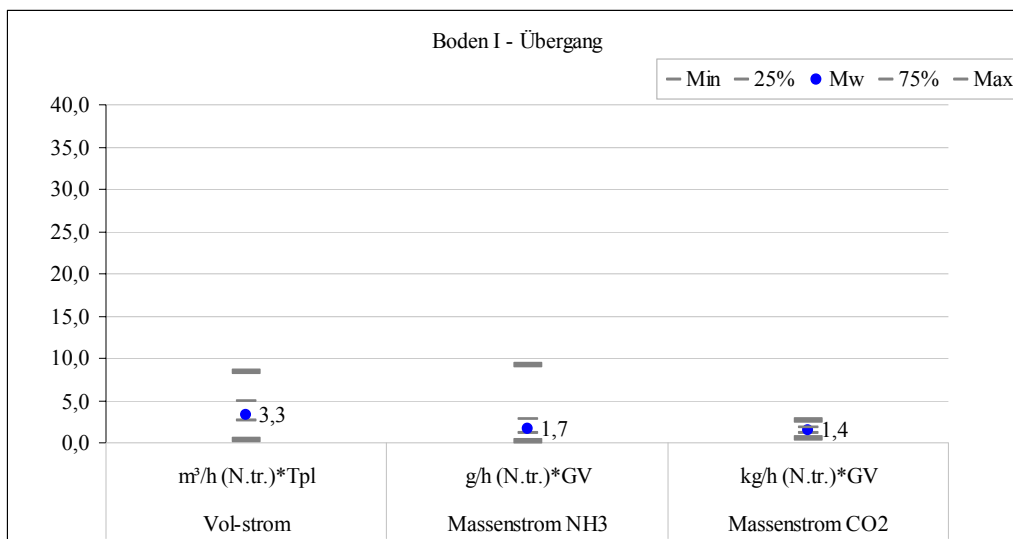


**Abbildung 10: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Volumenstrom variiert in den gemessenen Sommerzeitfenstern zwischen 1,75 und 7,72 m<sup>3</sup> /h\*Tpl. Der Medianwert liegt bei 3,84 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. 75 Prozent der Kenndaten liegen über 3 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. Die registrierten Raten liegen unterhalb der geforderten Mindestluftraten. Dennoch wird mit Ausnahme einzelner Hitzetage eine mittlere Stalltemperatur von 21,8 °C erreicht. Im Temperaturmaximum mit 33,8 °C im

Außenbereich bleibt die Stalltemperatur um 1,7 K unter diesem Niveau. In der Legehennenhaltung wurden in Praxisbetrieben Minimalluftstraten von 0,9 – 1,1 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. und Maximalluftstraten von 1,3 – 5,3 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. gemessen (SEEDORF et al., 1998). Die Bodenhaltung I liegt im Sommermesszeitfenster innerhalb und etwas darüber. Der Massenstrom an Ammoniak ist aufgrund der recht geringen Stallluftkonzentrationen (3 mg/m<sup>3</sup>) nicht auf hohem Niveau zu erwarten. Im Mittel erreicht er 1,41 g/h\*GV (71,9 g/h). Die Maximalwerte liegen bei 7 g/h\*GV (375 g/h\*GV). 75 Prozent der Kenndaten liegen bereits deutlich unterhalb des Grenzwertes von 150 g/h (TA-Luft).

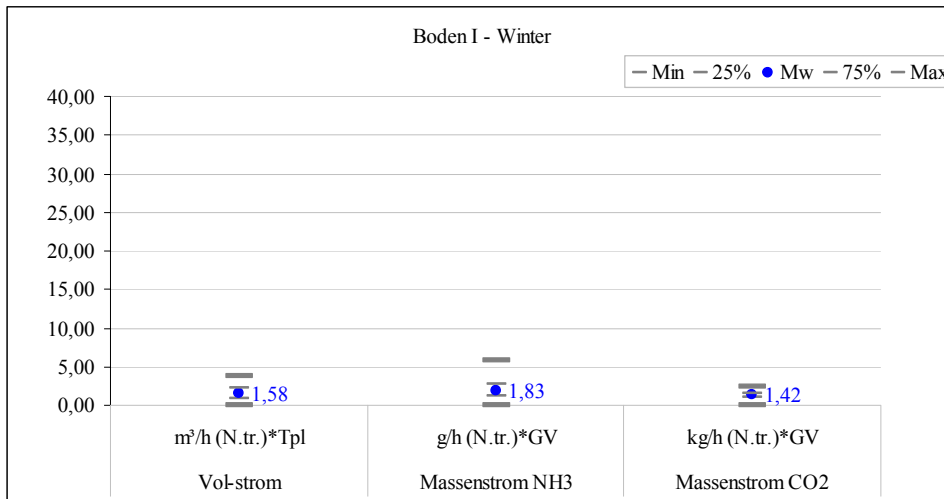
Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,23 kg/h\*GV. Eine direkte Wertung ist nicht möglich, weil Kohlendioxid zwar zu den umweltrelevanten Emissionen zählt, aber hier aufgrund fehlender Grenzwerte nur ein Minimierungsgebot hervorzuheben ist. Insgesamt sollte eine abschließende Bewertung bei der Darstellung der Kenndaten zum Jahresmassenstrom erfolgen.



**Abbildung 11: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Volumenstrom im Messzeitfenster „Übergang“ liegt im Mittel bei 3,30 m<sup>3</sup> /h\*GV (0,4 – 8,3 m<sup>3</sup> /h\*Tpl). Der Übergangsbereich bei der Außenlufttemperatur ist durch eine hohe Varianz der Temperaturdaten tages- und zeitraumbezogen gekennzeichnet. Die Außentemperaturen variierten in diesem Zeitraum zwischen – 1,6 und 39,3 °C. Hier wird dem Lüftungsmanagement ein erhöhtes Anpassungsvermögen abverlangt. Hervorzuheben ist, dass im außenklimatischen Maximalbereich die Stalllufttemperatur 32,2 °C nicht übersteigt. Einerseits ist das das Verdienst der Lüftungsanlage, andererseits unterbinden die hohen Temperaturschwankungen im Tagesverlauf ein systematisches Aufheizen der Stallanlage. Dies tritt überwiegend bei längeren Hitzeperioden auf. Auch in diesem Messzeitfenster rangiert die Bodenhaltung I innerhalb praxisüblicher Luftstraten.

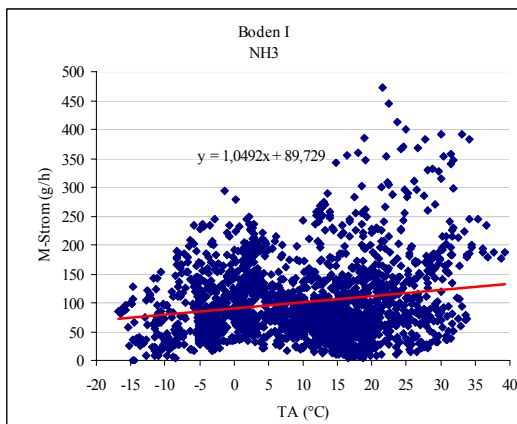
Der Massenstrom an Ammoniak erreicht im Mittel 1,7 g/h\*GV. Mit Ausnahme einzelner Spitzenwerte liegen die Kenndaten unterhalb des Grenzwertes von 150 g/h (TA-Luft). Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,4 kg/h\*GV. Er variiert nur in geringem Umfang (0,5 – 2,6 kg/h\*GV).



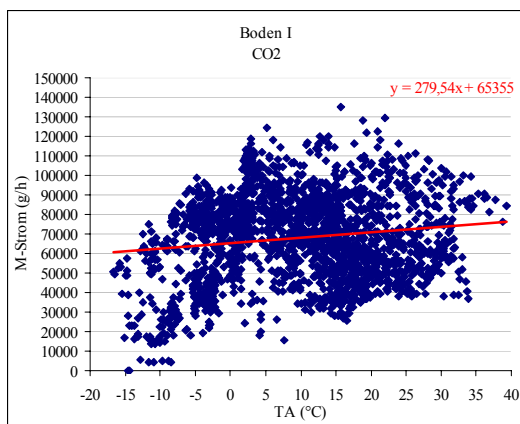
**Abbildung 12: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung I – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Innerhalb des Wintermesszeitfensters fällt der Volumenstrom erwartungsgemäß deutlich unter die Kenndaten der Außenklimabereiche Sommer und Übergang. Es werden im Mittel nur noch 1,58 m³/h\*Tpl. erreicht. 75 Prozent der Daten liegen unterhalb bzw. um 2,16 m³/h\*Tpl. Hiermit werden die Befunde zu Minimalluftfraten von 0,9 – 1,1 m³/h\*Tpl. aus Praxis (SEEDORF et al., 1998) bestätigt. Der mittlere Massenstrom an Ammoniak (1,83 g/h\*GV) steigt gegenüber den Kenndaten aus Sommer und Übergangszeit nur geringfügig an. 75 Prozent der Kenndaten bleiben unterhalb von 2,65 g/h\*GV (135,2 g/h) und liegen damit deutlich unterhalb des Grenzwertes von 150 g/h (TA-Luft). Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,42 kg/h\*GV. Seine Variationsbreite ist gering.

Die Messungen innerhalb der bisher kurz dargestellten Messzeitfenster „Sommer“, „Übergang“ und „Winter“ basierten auf Messungen aus zwei Jahren. Damit wurde eine belastbare Basis geschaffen, um die Bodenhaltung I bezüglich ihres Emissionsverhaltens zu charakterisieren und jährliche Emissionsmassenströme zu berechnen. Zu diesem Zweck wurden die in den Messzeiträumen ermittelten Stundenwerte der Außenlufttemperatur mit den parallel ermittelten Kenndaten zum Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid in Beziehung gesetzt. Die Stallinnentemperatur als Steuergröße für die Lüftungsanlage und die Konzentrationen der Stallgase werden primär von der Außentemperatur beeinflusst. In Verbindung mit der Möglichkeit, diese Kennzahl lückenlos über den Jahresverlauf zu erfassen, bietet sie sich als Kalkulationsbasis an. In den Abbildungen 13 und 14 werden die funktionalen Beziehungen dargestellt.



**Abb. 13: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung I)**



**Abb. 14: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung I)**

Mit den so ermittelten Funktionen wurden für jeden Stundenmittelwert der Außentemperatur entsprechende Massenströme an Ammoniak und Kohlendioxid errechnet. In den Tabellen 7 und 8 sind diese Kenndaten auf der Basis entsprechender Emissionsfaktoren aus der TA-Luft zusammengestellt.

**Tabelle 7: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung I und der TA-Luft**

Haltung	NH <sub>3</sub> Massenstrom			TA-Luft	TA-Luft
	n	g/h ; g/h*GV	kg/Tpl.*a	g/h	kg/Tpl.*a
Boden I	16049	100,6 ; 1,97	0,0565	150	0,0911

**Tabelle 8: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung I**

Haltung	CO <sub>2</sub> Massenstrom		
	n	kg/h	kg/Tpl.*a
Boden I	16049	68,3	38,3

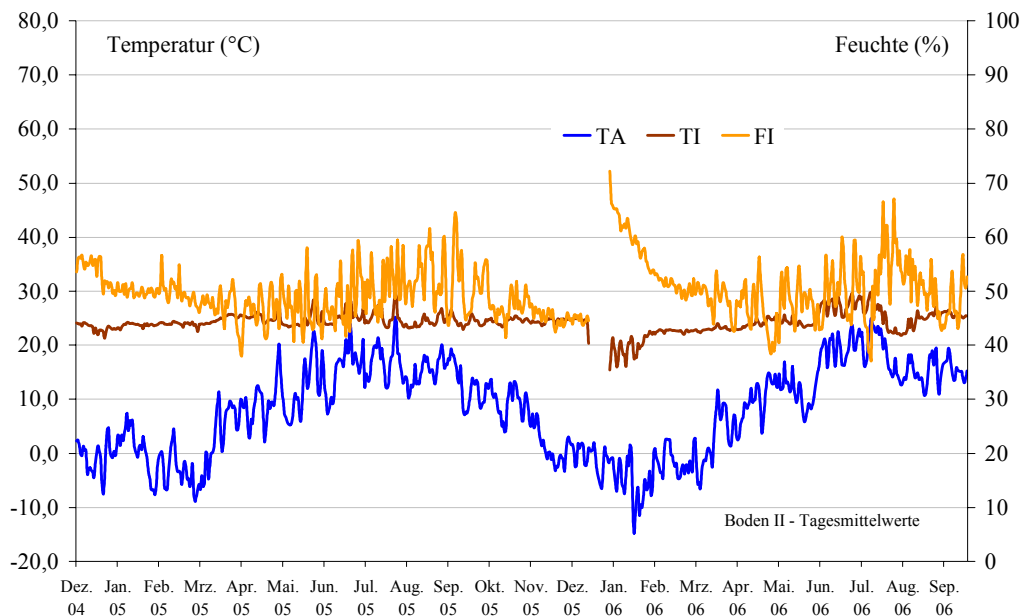
Die Bodenhaltung I erzeugt einen jährlichen Ammoniakausstoß von 847,5 kg. Das entspricht einem jährlichen Emissionsfaktor von 0,0565 kg je Tierplatz. Dabei treten im Jahresmittel 100,6 g je Stunde aus. Das entspricht 1,97 g/h\*GV. Hiermit werden die Emissionsfaktoren von 150 g/h bzw. 0,0911kg/Tpl.\*a deutlich unterschritten. Die gegenübergestellten Faktoren gelten für Bodenhaltungen ohne Kotlagerung im Stall (Volieresysteme). Vergleichswerte aus Käfiganlagen lagen bei 1 g/h\*GV. Der jährliche Ausstoß an Kohlendioxid beträgt 574,5 t. Hierbei werden im jährlichen Stundenmittel 68,3 kg ausgestoßen. NESER (2000) berichtet von 0,89 kg/h\*GV in Volierenhaltungen. Der Referenzwert für die

Bodenhaltung I liegt bei 1,34 kg/h\*GV. Somit wird in der untersuchten Bodenhaltung etwas über das 1,5-Fache ausgestoßen.

#### 4.1.1.2 Bodenhaltung II

Analog zur Betrachtung der Bodenhaltung I sollen im weiteren die Kenndaten der Bodenhaltung II und III kurz vorgestellt und gewertet werden.

Der Verlauf der Lufttemperatur und –feuchte im Tagesmittel über nahezu zwei Jahre wird in der Abbildung 15 dargestellt. Die dazugehörigen Kenndaten sind in Tabelle SE21 (Anhang) zusammengestellt.

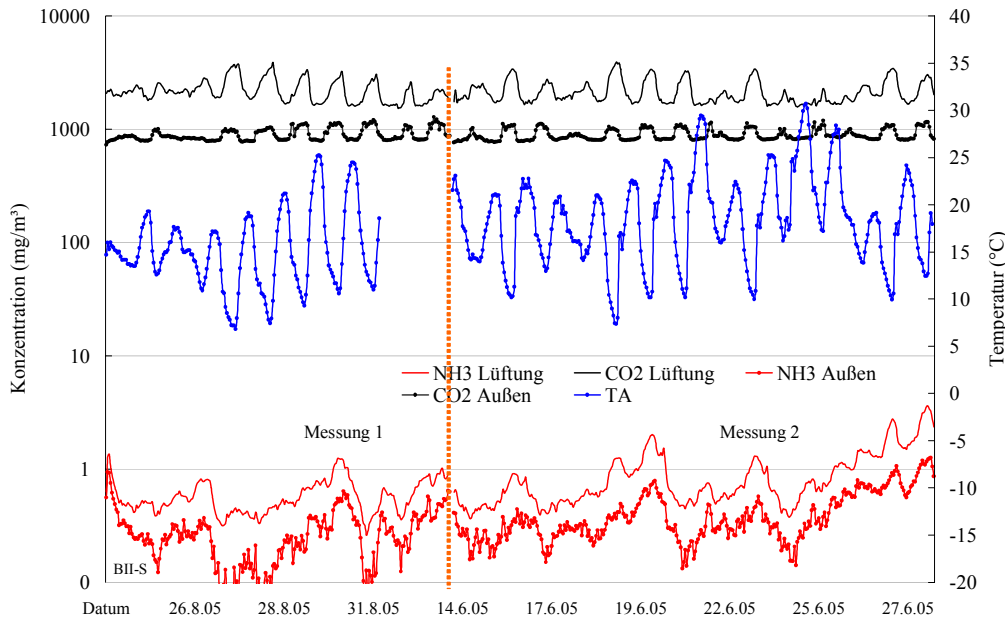


**Abbildung 15: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung II**

Entgegen bisherigen Befunden eigener Untersuchungen folgt die Stalllufttemperatur in der Bodenhaltung II nicht der Außentemperatur. Sie verläuft relativ konstant um 24 °C. Das ist auch die Zielgröße der Lüftungssteuerung. Im Winter wird die Absenkung im Außenbereich (Mittel auf -0,8 °C) durch das Lüftungsmanagement und die Stallhülle deutlich ausgeglichen (24,2 °C zentral, 12,0 °C im Scharrraum auf der unteren Ebene). Lediglich im Sommer werden die Stalllufttemperaturen bei ansteigenden Außentemperaturen erhöht. Beachtenswert ist dabei, dass bereits eine mittlere Außentemperatur von 25,2 °C die Stalllufttemperatur auf 29,8 °C ansteigen lässt. Hier werden die für diesen Klimabereich vorgeschriebenen 3 K Temperaturdifferenz nicht gewährleistet. Bereits steuerungsbedingt übersteigen die mittleren Kenndaten ganzjährig den für Hennen leistungsangepassten Temperaturbereich zwischen 12 und 22 °C (DIN 18910). Die Luftfeuchte im Stall variiert im Tagesmittel zwischen 37 und 72 Prozent. Sie liegt im Mittel jedoch nur um die 49 Prozent. Somit ist die zu geringe Luftfeuchte für die Staubbildung förderlich.

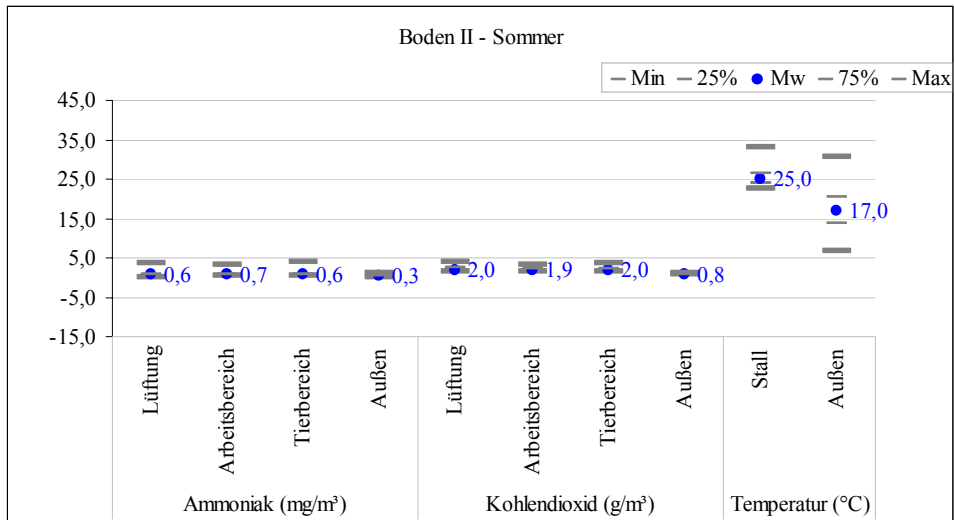


Ein etwas detailliertes Abbild wird durch die Analyse der Stallklimaparameter im Stundenmittel gegeben. In den Abbildungen 16 und 17 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Sommermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE7 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**

Im zeitlichen Verlauf ist zu erkennen, dass die Stallkenndaten den Außenkenndaten auf höherem Niveau gleichförmig folgen. Im Außenbereich der Hennenhaltung variiert der Kohlendioxidgehalt der Außenluft doch deutlich. Im Mittel aller Messungen liegt er bei  $852 \text{ mg/m}^3$  (von  $702 - 944 \text{ mg/m}^3$ ). Die Außenlufttemperatur (Mittel:  $17,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ist durch eine hohe Variation ( $6,8 - 30,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel  $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sie liegt damit bereits am oberhalb des für Hennen gut tolerierbaren Temperaturbereiches zwischen  $12$  und  $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999). Die Hennen müssen jedoch auch bis  $32,9^\circ\text{C}$  tolerieren (Min.  $22,5$ ). Hiermit ist es im Aufenthaltsbereich der Hennen auf der oberen Stallebene (ca.  $2,5 \text{ m}$  über Stallboden) konstant warm. Der als förderlich für die Hennen herausgestellte Temperaturwechsel im Tagesverlauf bleibt hier nahezu über die gesamte Legeperiode aus. Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen nahezu nicht (Mittel:  $0,6 - 0,7 \text{ mg/m}^3$ ). Die gemessene Konzentration liegt ungewöhnlich niedrig.

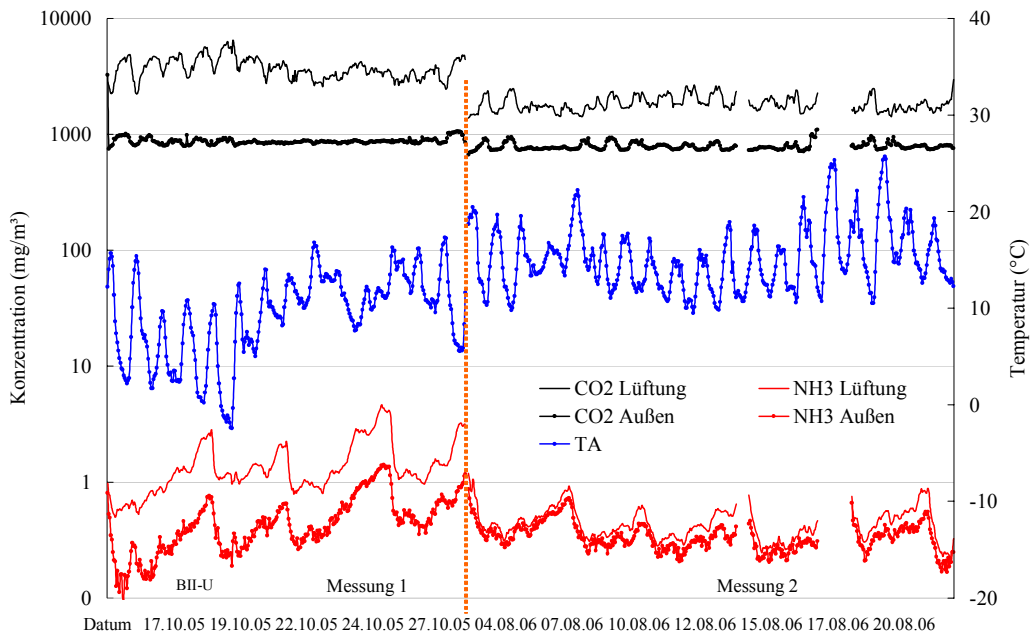


**Abbildung 17: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**

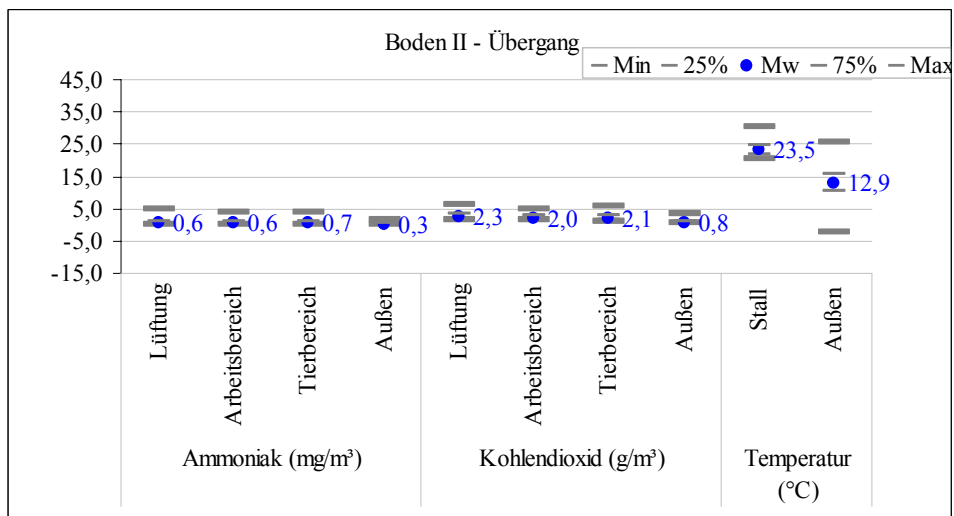
Sie erreichen im Maximum mit 3,6 mg/m<sup>3</sup> gerade das mittlere Niveau der Bodenhaltung I. Eine wesentliche Ursache hierfür ist die geringe Nutzung bezüglich Anzahl und Frequenz des Scharrraumes. Das intensive Durcharbeiten der mit Kot durchsetzten Einstreu verursacht mit großer Sicherheit die deutlich höheren Ammoniakkonzentrationen in der Bodenhaltung I. Ansonsten gleichen sich die Bewirtschaftungssysteme (insbesondere die Entfernung des Kotes aus dem Stall). Die mit den erhöhten Stalllufttemperaturen verbundene geringere Luftwechselrate lässt eine andere Tendenz erwarten. Die Kenndaten bleiben auch im Maximum (3,6 mg/m<sup>3</sup>) weit unterhalb des Grenzwertes (13,9 mg/m<sup>3</sup>). Die Außenluftkonzentration liegt unterhalb der Stalldaten.

Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere und der Lüftung bei 2,0 g/m<sup>3</sup>. Sie ist mit einer geringen Variationsbreite charakterisiert und deutlich unterhalb des Grenzwertes von 5,4 g/m<sup>3</sup> angesiedelt. Die Kohlendioxidwerte im Vergleich mit Bodenhaltung I zeigen, dass das Lüftungssystem – entgegen den Erwartungen – auch im Sommer ausreichend, aber etwas weniger Frischluft in den Stall befördert.

In den Abbildungen 18 und 19 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Übergangsmessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE9 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**



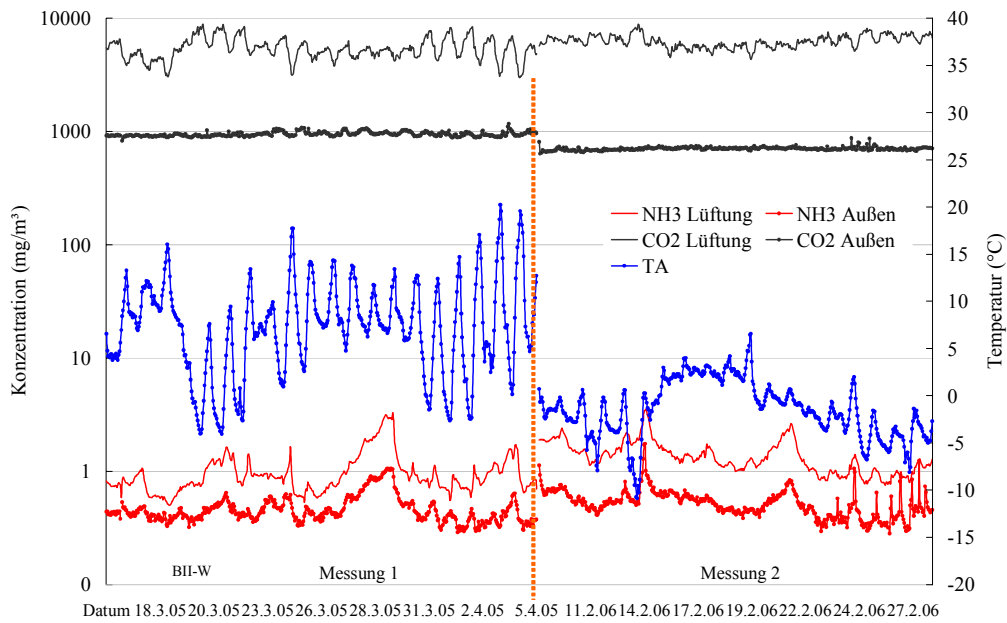
**Abbildung 19: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**

Der zeitliche Verlauf innerhalb der beiden Messzeitfenster weist auf deutliche Unterschiede im Temperaturverlauf hin. Die Messung Nummer 2 wurde wegen der Anzahl an Messtagen mit Tagesmitteltemperaturen unter 16 °C dem Messzeitfenster „Übergang“ zugeordnet. Der Temperaturverlauf liegt jedoch im oberen Bereich um ca. 15 °C. Hierdurch kann, vom Lüftungsmanagement ausgegangen, mit einer erhöhten Lüftungsrate gerechnet werden. Das Beispiel verdeutlicht, welche Anforderungen im thermischen Übergangsbereich des Außenklimas an die Stalllüftung zu stellen sind. Über das gesamte Zeitfenster variieren die Außentemperaturen zwischen -2,4 und 25,7 °C. Unabhängig davon wird im Stall wiederum eine Lufttemperatur von im Mittel 23,5 °C im Funktionsbereich (Nahrungsaufnahme, Eiablage und Ruhen) gehalten. Der niedrigste Wert liegt hier bei 20,6 °C. Demgegenüber herrscht im Scharraum auf der unteren Ebene des Stalls ein um fast 8 K niedrigeres Temperaturniveau (vgl. Tab. SE21, Anhang). Diesen Temperaturwechsel „gönnen“ sich jedoch nur wenige Tiere. Die Ursache hierfür kann nicht eindeutig bestimmt werden, Umweltnäivität oder Ressourcenoptimierung kommen dabei in Betracht.

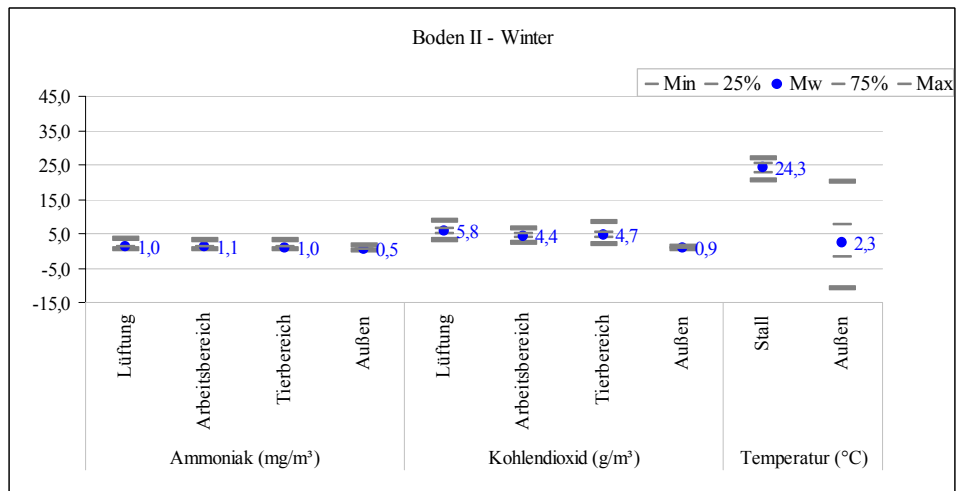
Die Ammoniakkonzentrationen variieren wiederum auf äußerst niedrigem Niveau zwischen 0,6 und 0,7 mg/m<sup>3</sup> im Mittel. Im Bereich der Lüftungsschächte („Lüftung“) ist mit 0,6 mg/m<sup>3</sup> der niedrigste Gehalt zu messen. Mit der Strategie im Lüftungsmanagement die Lufttemperatur im Aufenthaltsbereich der Hennen (hier sind auch die Sensoren etabliert) von 24 °C zu gewährleisten, nimmt die Lüftungsrate bereits bei Außentemperaturen um die 10 °C (1. Messung) deutlich ab. Infolgedessen steigt die Konzentration an Raumlasten deutlich an. Die Differenzen zwischen der Stall- und Außenluft nehmen damit zu. Der Grenzwert (13,9 mg/m<sup>3</sup>) wird auch hier weit unterschritten. Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel auf der Ebene der Tiere bei 2,1 g/m<sup>3</sup> und auf Ebene der Lüftung bei 2,3 g. Hierdurch wird die verminderte Stallbelüftung ebenfalls sichtbar. Der Grenzwert von 5,4 g/m<sup>3</sup> wird im Tier- und Lüftungsbereich nur von Extremwerten leicht überschritten.

In den Abbildungen 20 und 21 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Wintermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE11 (Anhang) zusammengestellt.

Auch hier entwickeln sich die Außentemperaturen zwischen der ersten und zweiten Messung innerhalb des Messzeitfensters „Winter“ verschieden. Während in der Messung 1 die Kenndaten einen mittleren Wert von 7,5 °C haben, liegt der Vergleichswert in Messung 2 bei -1,5 °C. Aufgrund dieser Kennwerte wurden beide Messungen im Zeitfenster „Winter“ zusammengefasst. Die Konzentrationsverläufe der Raumlasten Ammoniak und Kohlendioxid übertreffen in beiden Messungen die Außenluftkonzentrationen deutlich. Das sind typische Winterbedingungen, die in erster Linie durch eine Minimierung der Lüftung verursacht werden. Der Kohlendioxidgehalt der Außenluft verläuft relativ konstant bei 852 mg/m<sup>3</sup> (zwischen 702 und 944 mg/m<sup>3</sup>) Luft. Die Außenlufttemperatur (Mittel: 2,3°C) ist durch eine hohe Variation im für das Messzeitfenster fokussierten Temperaturbereich unterhalb 6 °C (75 Prozent der Werte liegen unter 7,7 °C, Minimum bei -10,9 und 25 Prozent liegen unterhalb -1,7 °C) charakterisiert.



**Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**

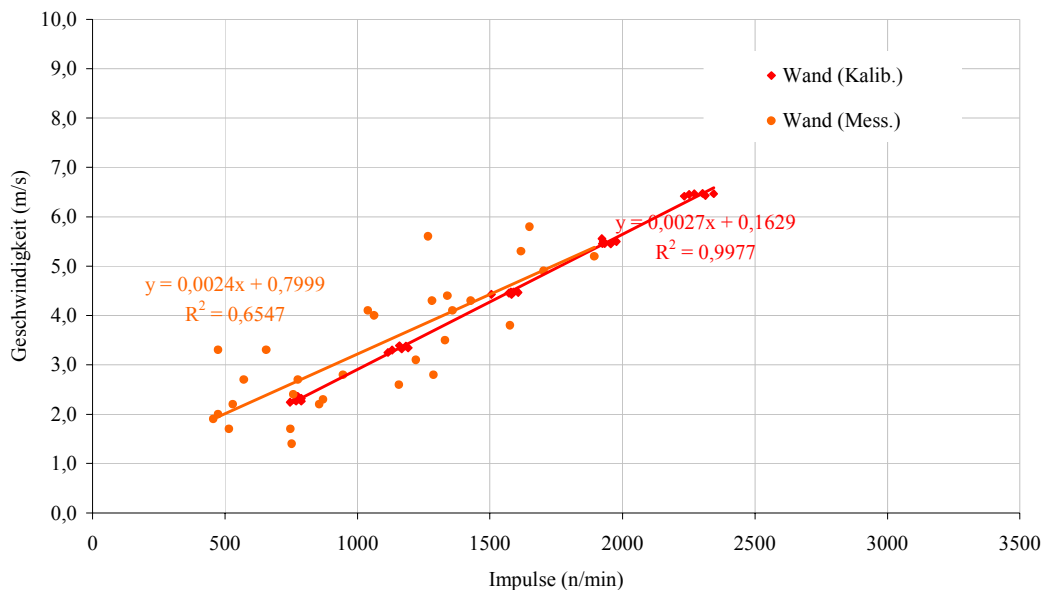


**Abbildung 21: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung II)**

Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel wiederum 24,3 °C. Zu 75 Prozent liegen die Kenndaten (im Mittel zwischen 20,6 und 25,3 °C) an der oberen Grenze der für Hennen gut tolerierbaren Temperaturen zwischen 12 und 25,5 °C (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999).

Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen erwartungsgemäß gering (Mittel: 1,0 – 1,1 mg/m<sup>3</sup>), liegen auf der Ebene „Lüftung“ bei 1,0 mg/m<sup>3</sup>. Die Außenluftkonzentration liegt bei 0,5 mg/m<sup>3</sup> im Mittel und damit leicht darunter. Die Kenndaten der Wintermessungen in der Bodenhaltung II erreichen selbst im Maximum (3,5 mg/m<sup>3</sup>) den Grenzwert (13,9 mg/m<sup>3</sup>) nicht annähernd. Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere bei 4,7 g/m<sup>3</sup> und auf Ebene der Lüftung bei 5,8 g/m<sup>3</sup>. Sie variiert geringer als Ammoniak und liegt aber bereits auf bzw. über dem Grenzwertniveau von 5,4 g/m<sup>3</sup>. 25 Prozent der Kenndaten liegen auf dieser Messebene oberhalb von 6,6 g/m<sup>3</sup> (im Maximum bei 8,8 g/m<sup>3</sup>). Hier wird der schlechte Belüftungszustand des Stalles deutlich. Im Mittel werden Lüftungsraten von 1,1 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. erreicht. Sie überschreiten zwar die vorgeschriebene Mindestlüftrate, reichen aber zur Abfuhr der Raumlust Kohlendioxid nicht aus.

Für die Berechnungen der Emissionswerte für Ammoniak und Kohlendioxid wurden wiederum die Volumenströme bestimmt. In der Abbildung 22 ist die jeweilige Funktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit der Labor- und Nachkalibrierung gegenübergestellt. Die ausführliche Vorgehensweise wurde auf den Seiten 48 und 49 vorgestellt.



**Abbildung 22: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung II)**

Die Vergleichsmessungen weichen nur im Anstieg und Ansprechverhalten leicht voneinander ab. Das war so nicht zu erwarten, weil die strömungstechnischen Gegebenheiten im Monoschacht nicht im Labor simuliert werden konnten. Die Kenndaten zeigen, dass die gewählte Rasterung der Austrittsöffnung verwertbare Messergebnisse hervorbringt (vgl. Methodik). Hierbei ist die Kalibrierung der Messventilatoren im Labor äußerst wichtig, weil im praktischen Einsatz ihr Ansprechverhalten und deren Synchronismus nicht mehr nachgeprüft werden kann. Für die Summenbildung aus den Teilströmen ist das jedoch Voraussetzung.

Nach der DIN 18910-1 befindet sich die Bodenhaltung II in der Klimazone 2. Hier liegen die Tageshöchsttemperaturen zumeist unterhalb 26 °C. Aufgrund der Sicherung des Abtransports von Raumlasten wie Wärme (Sommer), Luftfeuchte und insbesondere Kohlendioxid (Winter) aus dem Stoffumsatz im Tier und Einstreu gelten für die Bodenhaltung II eine Sommerluftrate von 3,9 m³/h\*Tpl. und eine Winterluftrate von 0,7 m³/h\*Tpl. In der Tabelle 9 sind die Anzahl Messtage, die mittlere Luftrate in den Messzeitfenstern und die zu erreichenden Mindestluftraten nach DIN 18910-1 gegenübergestellt.

**Tabelle 9: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung II)**

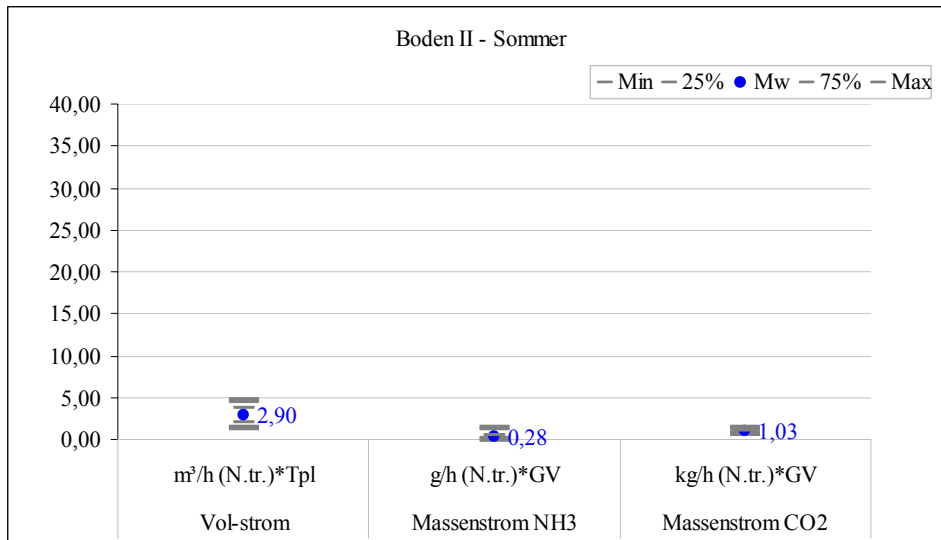
Boden III	Mittlere Luftraten		Luftraten m³/h*Tpl (2 kg LM)	
	n	m³/h*Tpl	Winter	Sommer
Winter	944	1,11	0,7	3,9
Übergang	515	1,89		
Sommer	527	2,90		

Bereits hier ist zu erkennen, dass die mittleren Luftraten je Tierplatz vor allem im Sommer nicht ausreichen. Von der Konzeption aus ist das Lüftungssystem theoretisch in der Lage, eine Luftrate bis zu 10,3 m³ je Tierplatz zu sichern. Aufgrund der Strömungswiderstände an den Zuluftklappen und insbesondere permanent im Monoschacht - der Luftstrom prallt nach der Passage der Lüfter im Abstand von 2,5 m auf die Schachtwand und wird gezwungen, die Richtung um 90 ° zu ändern – ist die Nettoleistung deutlich darunter. Eine Quantifizierung ist am gemessenen Abluftstrom zu sehen.

In den Abbildungen 23 bis 25 sind die für jedes Messzeitfenster ermittelten Volumenströme, Emissionsmassenströme für Ammoniak und Kohlendioxid zusammengestellt. Die entsprechenden Kennwerte sind in den Tabellen SE8, SE10 und SE12 im Anhang zu finden.

Der Volumenstrom variiert in den gemessenen Sommerzeitfenstern zwischen 1,33 und 4,55 m³ /h\*Tpl. Der Medianwert liegt bei 2,94 m³/h\*Tpl. Nur 25 Prozent der Kenndaten liegen über 3,8 m³/h\*Tpl. 75 Prozent der registrierten Raten liegen unterhalb der geforderten Maximalluftrate. Die Hauptursache für die herabgesetzte Frischluftzufuhr ist der hohe Steuerungswert zur Stalltemperatur von 24 °C. Im Sommer ist das aufgrund höherer Außenlufttemperaturwerte nicht so bedeutsam für das Stallklima. Welche Auswirkungen dieser Aspekt auf die Wintermonate hat, wird im Folgenden zu beurteilen sein. Im Maximalbe-

reich übersteigt die Stalltemperatur die Außenwerte jedoch nur um die geforderten 2 K. In der Legehennenhaltung wurden in Praxisbetrieben Minimalluftraten von 0,9 – 1,1 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. und Maximalluftraten von 1,3 – 5,3 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. gemessen (SEEDORF et al., 1998). Die Bodenhaltung II liegt im Sommermesszeitfenster im mittleren Bereich.

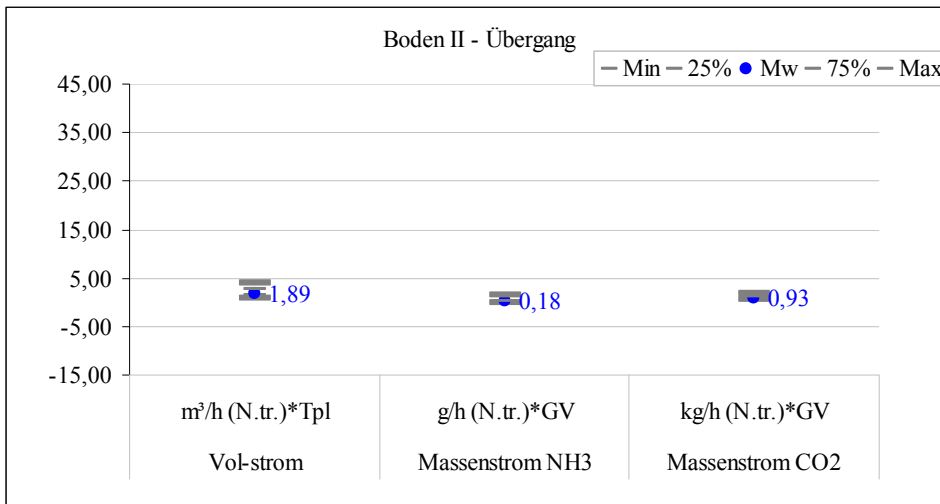


**Abbildung 23: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Massenstrom an Ammoniak bewegt sich aufgrund der äußerst geringen Stallluftkonzentrationen (0,6 mg/m<sup>3</sup>) auf sehr niedrigem Niveau. Im Mittel erreicht er 0,28 g/h\*GV (19,9 g/h). Die Maximalwerte liegen bei 1,37 g/h\*GV (97,3 g/h). Alle gemessenen Kenndaten liegen bereits deutlich unterhalb des Grenzwertes von 150 g/h (TA-Luft).

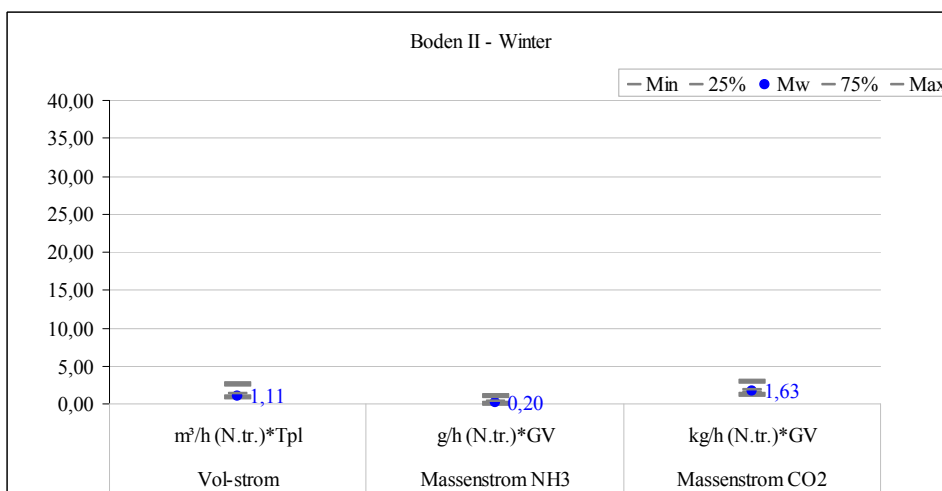
Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,03 kg/h\*GV. Im Maximum bei 1,43 kg/h\*GV. Eine abschließende Bewertung findet für die Kenndaten zum Jahresmassenstrom statt.





**Abbildung 24: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Volumenstrom im Messzeitfenster „Übergang“ liegt im Mittel bei 1,89 m³/h\*Tpl. (0,9 – 4,0 m³ /h\*Tpl). Der Kohlendioxidgehalt der Stallluft liegt in diesem Zeitfenster für 25 Prozent der Kenndaten bereits über 3,0 g/m³. Im Maximum überschreitet er bereits den Grenzwert. Damit ist eine Erhöhung der Luftwechselrate nötig. Die Bodenhaltung II rangiert in diesem Messzeitfenster im unteren Bereich praxisüblicher Luftraten. Der Massenstrom an Ammoniak erreicht im Mittel 0,18 g/h\*GV. Im Maximum mit 1,53 g/h\*GV (108,6 g/h) wird der Grenzwert von 150 g/h (TA-Luft) deutlich unterschritten. Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 0,93 kg/h\*GV. Er variiert nur in geringem Umfang (0,5 – 1,7 kg/h\*GV).

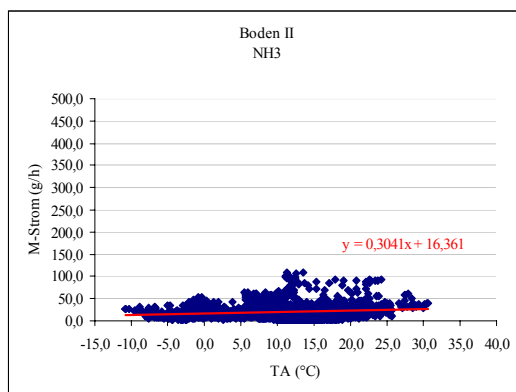


**Abbildung 25: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung II – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

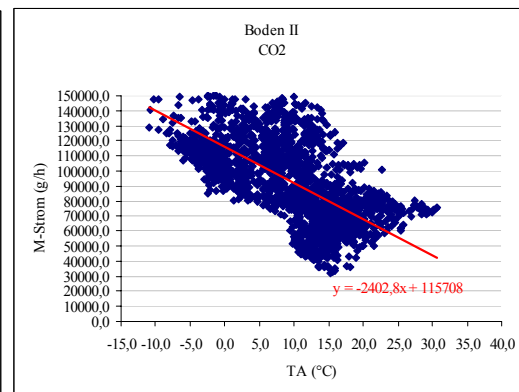
Innerhalb des Wintermesszeitfensters fällt der Volumenstrom erwartungsgemäß unter die Kenndaten der Außenklimabereiche Sommer und Übergang. Es werden im Mittel nur noch 1,11 m³/h\*Tpl. erreicht. 25 Prozent der Daten liegen unterhalb bzw. um 0,9 m³/h\*Tpl. Hiermit werden die Befunde zu Minimalluftfrachten von 0,9 – 1,1 m³/h\*Tpl. aus Praxis (SEEDORF et al., 1998) ebenfalls bestätigt. Der mittlere Massenstrom an Ammoniak (0,2 g/h\*GV) bleibt auf dem Niveau der Kenndaten aus Sommer und Übergangszeit. Selbst das Maximum (1,04 g/h\*GV, 73,8 g/h) unterschreitet sehr deutlich den Grenzwert von 150 g/h (TA-Luft). Das ist ein Resultat der ungewöhnlich niedrigen Konzentration und der gravierenden Herabsetzung des Volumenstromes. Die Kohlendioxidkonzentration steigt dabei im Bereich der Lüftung zur Hälfte der Kenndaten über 5,8 g/m³.

Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt demnach im Mittel bei 1,63 kg/h\*GV. Seine Variationsbreite erstreckt sich auf einen Bereich zwischen 1,13 und 2,93 kg/h\*GV.

Die Messungen innerhalb der bisher kurz dargestellten Messzeitfenster „ Sommer“, „Übergang“ und „Winter“ basierten auf Messungen aus zwei Jahren. Hier wurde analog zur Bodenhaltung I eine belastbare Datenbasis geschaffen, um die Bodenhaltung II bezüglich ihres Emissionsverhaltens zu charakterisieren und jährliche Emissionsmassenströme zu berechnen. Zu diesem Zweck wurde wie zur Bodenhaltung I vorgegangen. In den Abbildungen 26 und 27 werden die funktionalen Beziehungen dargestellt.



**Abb. 26: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung II)**



**Abb. 27: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung II)**

Mit den so ermittelten Funktionen wurden für jeden Stundenmittelwert der Außentemperatur entsprechende Massenströme an Ammoniak und Kohlendioxid errechnet. In den Tabellen 10 und 11 sind diese Kenndaten auf der Basis entsprechender Emissionsfaktoren aus der TA-Luft zusammengestellt.

**Tabelle 10: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung II und der TA-Luft**

Haltung	NH <sub>3</sub> Massenstrom			TA-Luft	TA-Luft
	n	g/h ; g/h*GV	kg/Tpl.*a	g/h	kg/Tpl.*a
Boden II	16042	18,8 ; 0,27	0,0075	150	0,0911

**Tabelle 11: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung II**

Haltung	CO <sub>2</sub> Massenstrom		
	n	kg/h	kg/Tpl.*a
Boden II	16042	96,6	38,8

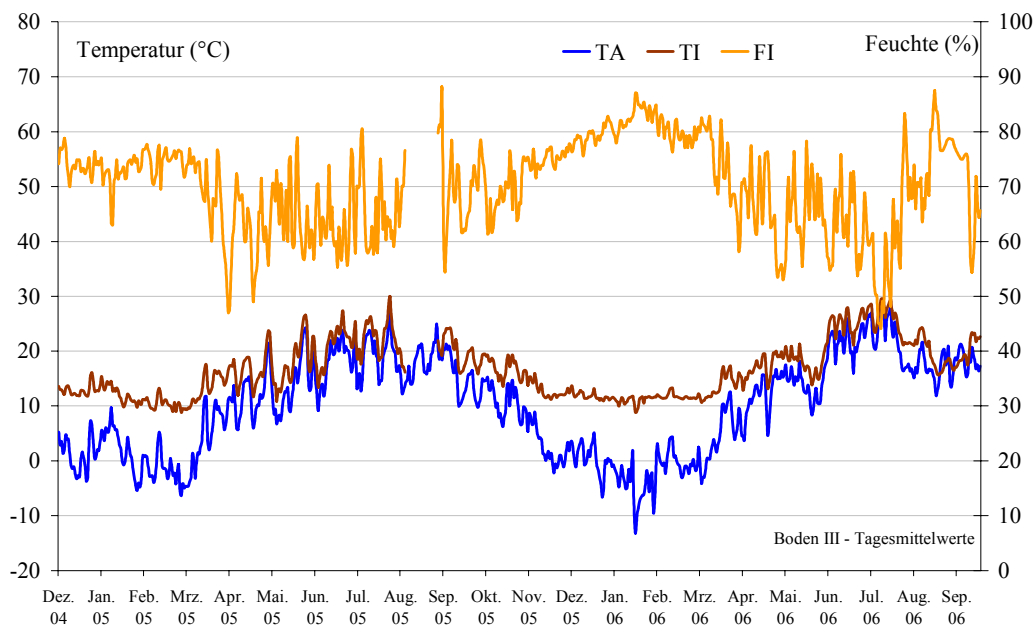
Die Bodenhaltung II erzeugt einen jährlichen Ammoniakausstoß von 157,5 kg. Das entspricht einem jährlichen Emissionsfaktor von 0,0075 kg je Tierplatz. Dabei treten im Jahresmittel nur 18,8 g je Stunde aus. Das entspricht 0,27 g/h\*GV. So werden die Emissionsfaktoren von 150 g/h bzw. 0,0911kg/Tpl.\*a deutlich unterschritten. Die gegenübergestellten Faktoren gelten für Bodenhaltungen ohne Kotlagerung im Stall (Volieresysteme). Vergleichswerte aus Käfiganlagen lagen bei 1 g/h\*GV und damit höher als die hier ermittelten. Das Haltungssystem ist keine typische Voliere und unterscheidet sich von einer klassischen Bodenhaltung durch die Existenz von zwei Funktionsebenen sowie der ständigen Kotbeseitigung aus dem Stall.

Der jährliche Ausstoß an Kohlendioxid beträgt 814,8 t. Hierbei werden im jährlichen Stundenmittel 96,6 kg ausgestoßen. Das entspricht 1,36 kg/h\*GV. NESER (2000) berichtet von 0,89 kg/h\*GV in Volierenhaltungen. Somit wird in der untersuchten Bodenhaltung etwas über das 1,5-Fache ausgestoßen.

#### 4.1.1.3 Bodenhaltung III

Die Bodenhaltung III ist als einzige der untersuchten Legehennenhaltungen eine klassische Bodenhaltung mit Kotkasten. Sie unterliegt bezüglich des Stallklimas und der Emission von Stallraumlasten etwas modifizierten Bewertungsgrundlagen gegenüber Haltung I und II.

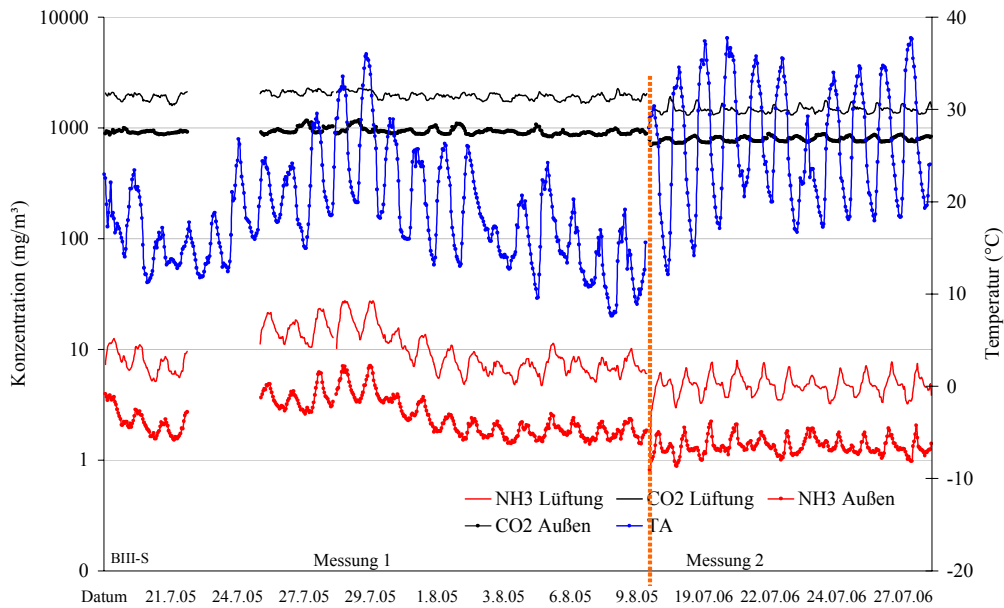
Der Verlauf der Lufttemperatur und -feuchte im Tagesmittel über nahezu zwei Jahre wird in der Abbildung 28 dargestellt. Die dazugehörigen Kenndaten sind in Tabelle SE22 (Anhang) zusammengestellt.



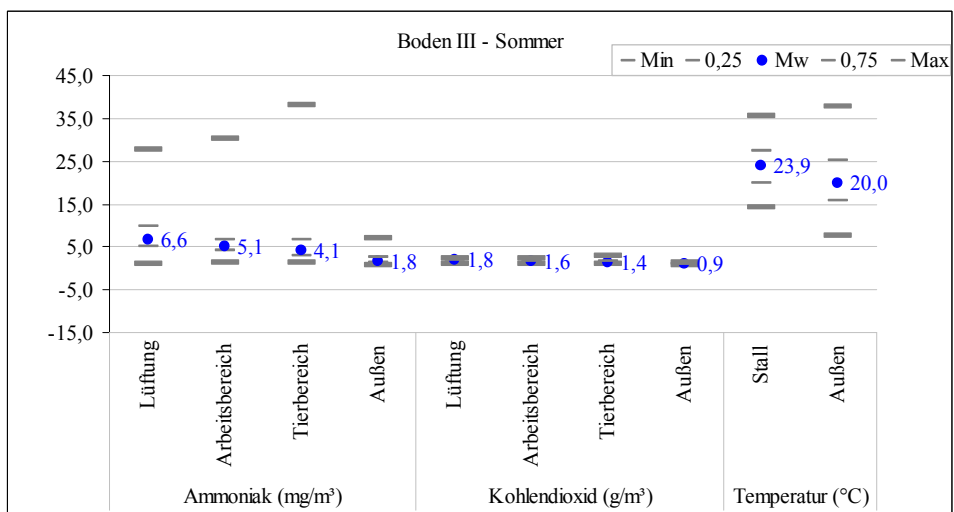
**Abbildung 28: Verlauf von Lufttemperatur im Stall (TI) und Außen (TA) sowie Luftfeuchte im Stall (FI) über den gesamten Messzeitraum in der Bodenhaltung III**

Die Stalllufttemperatur ist hier eng an die Außentemperatur gekoppelt. Insbesondere im Sommer ist durch Öffnung der Fensterbänder ein direkter Einfluss gegeben. Im Winter wird die Absenkung im Außenbereich (Mittel auf  $-0,1\text{ °C}$ ) durch das Lüftungsmanagement und die Stallhülle gemildert ( $11,6\text{ °C}$  zentral,  $10,6\text{ °C}$  im Zuluftbereich). Hierbei ist auffällig, dass gegenüber den Stalllufttemperaturwerten im Sommer eine geringere Varianz auftritt. In diesen Zeitfenstern können die Kenndaten im leistungsangepassten Temperaturbereich zwischen  $12$  und  $22\text{ °C}$  (DIN 18910) gehalten werden. Die geringe Varianz in diesem Bereich bestätigt die Befunde von WATHES (1998). Für den Sommerzeitraum liegen die Stalllufttemperaturdaten (Mittel:  $22,1\text{ °C}$  zentral,  $20,8\text{ °C}$  im Zuluftbereich; Max.  $30,0\text{ °C}$ ) im Mittel um  $4\text{ K}$ , im Maximum um  $2\text{ K}$  über den Kenndaten der Außentemperatur (Mittel:  $18,8\text{ °C}$ ; Max.  $28,3\text{ °C}$ ). Die Luftfeuchte im Stall variiert im Tagesmittel zwischen  $44$  und  $88$  Prozent, im Mittel um die  $70$  Prozent.

In den Abbildungen 29 und 30 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid auf der Basis des Stundenmittelwertes für die Sommermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE13 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**



**Abbildung 30: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Sommer“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**

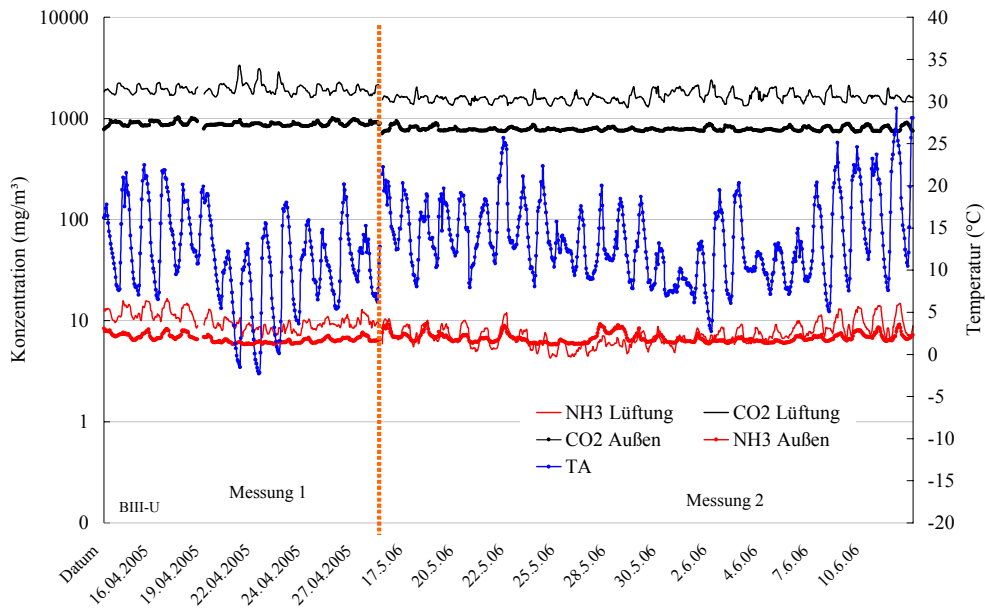
Im zeitlichen Verlauf ist zu erkennen, dass die Stalldaten den Außendaten auf deutlich höherem Niveau fast synchron folgen. Dabei ist der Kohlendioxidgehalt der Außenluft nur geringen Schwankungen unter-

worfen und erreicht im Mittel aller Messungen  $851 \text{ mg/m}^3$  (von  $786 - 935 \text{ mg/m}^3$ ). Die Außenlufttemperatur (Mittel:  $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ist durch eine hohe Variation ( $7,7 - 37,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel  $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sie liegt damit bereits im Mittel am oberen Grenzbereich des für Hennen gut tolerierbaren Temperaturbereiches zwischen  $12$  und  $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999). Die Hennen müssen sich jedoch auch an Stalltemperaturen bis zu  $35,5 \text{ }^\circ\text{C}$  adaptieren (Min.  $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Der Luftfeuchtegehalt liegt im Mittel bei 65 Prozent.

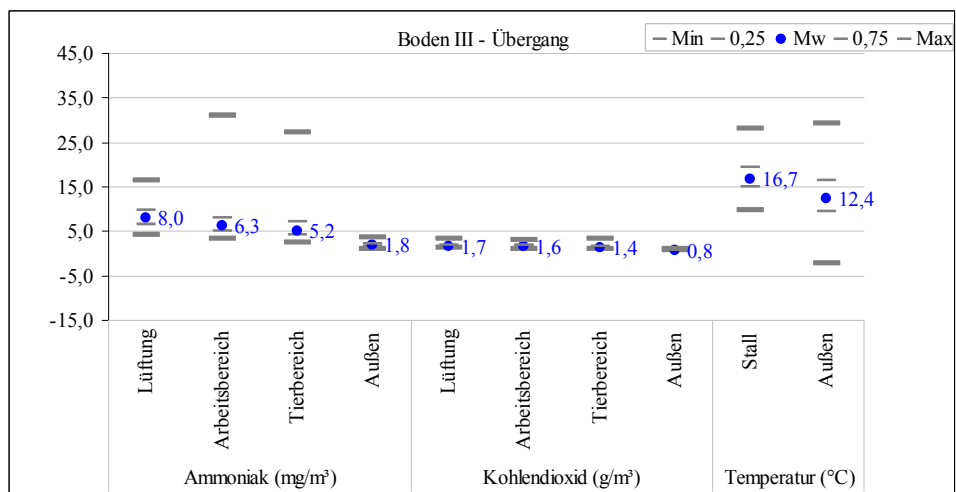
Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Messebenen recht deutlich (Mittel:  $4,1 - 6,6 \text{ mg/m}^3$ ), liegen auf der Ebene „Lüftung“ entgegen bisherigen Befunden höher ( $6,6 \text{ mg/m}^3$ ) als im Tierbereich ( $4,1 \text{ mg/m}^3$ ). Die Kenndaten rangieren im Maximum ( $27,7 - 38,1 \text{ mg/m}^3$ ) deutlich über dem Grenzwert ( $13,9 \text{ mg/m}^3$ ). 75 Prozent der Kenndaten liegen im Bereich der Lüftung unterhalb  $9,8 \text{ mg/m}^3$ . Ursache der bereits hier im Sommer hohen Werte ist die Luftführung. Über drei Abluftschächte, die direkt aus dem Kotkasten Luft abziehen, soll durch die Überströmung des Kotstapels eine Trocknung der Kotstapeldeckschicht erfolgen. Somit soll die Nachlieferung von Ammoniak verringert werden. Bei diesem System besteht die Gefahr, dass der Partialdruck über dem Stapel durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten abfällt und damit eine Nachlieferung forciert wird (MÜLLER, 2003). Die Außenluftkonzentration liegt deutlich unterhalb der Stalldaten.

Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere bei  $1,7 \text{ g/m}^3$  und auf Ebene der Lüftung bei  $1,4 \text{ g}$ . Sie variiert gering und liegt deutlich unterhalb des Grenzwertes von  $5,4 \text{ g/m}^3$ . Die Kohlendioxidwerte zeigen, dass das Lüftungssystem - erwartungsgemäß unter Sommerbedingungen - für ausreichend Frischluft im Stall sorgt.

In den Abbildungen 31 und 32 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Sommermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE15 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**



**Abbildung 32: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Übergang“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**

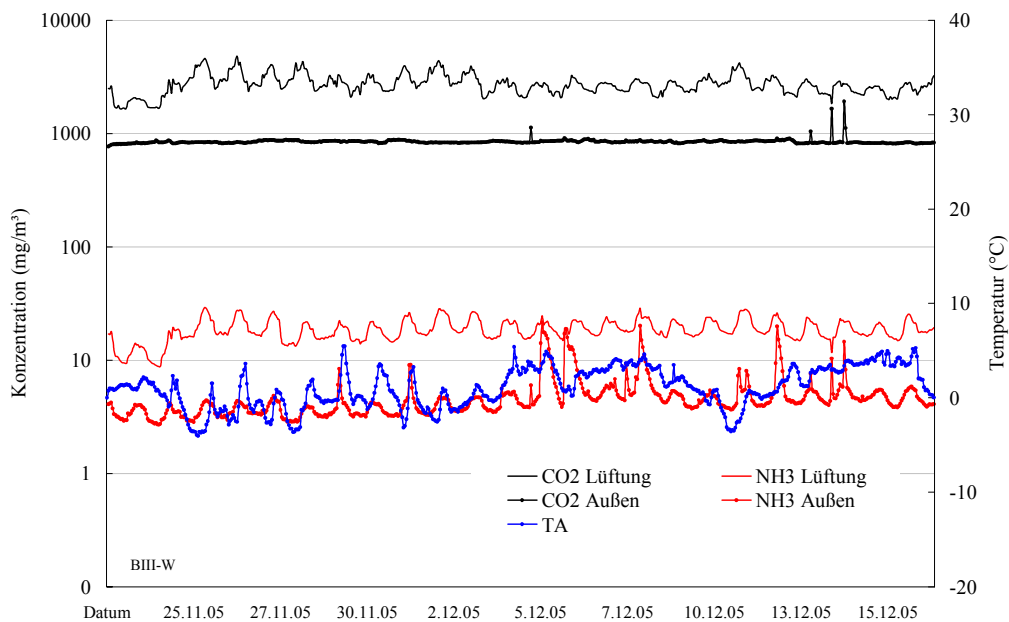
Der zeitliche Verlauf zeigt ein ähnliches Bild wie zur Sommermessung. Die Außenlufttemperatur (Mittel: 12,4 °C) ist durch eine sehr hohe Variation (-2,3 – 29,2 °C) charakterisiert. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel nur noch 16,7 °C. Sie bleibt im Maximalbereich 1 K unter der Außentemperatur. Mit Aus-

nahme des unteren und oberen Viertels liegen die Kenndaten innerhalb des für Legehennen optimalen Temperaturbereiches.

Augenscheinlich liegen die Ammoniakkonzentrationen im Stall und Außenbereich dichter beieinander. Ursache hierfür ist eine geringere Streuung der Stallwerte, insbesondere im Maximalbereich. So liegt die mittlere Konzentration im Bereich der Lüftung bei  $8,0 \text{ mg/m}^3$  (von  $4,3 - 16,5 \text{ mg/m}^3$ ). Die Kenndaten bleiben überwiegend und im Bereich der Luftaustauschstellen unterhalb des Grenzwertes ( $13,9 \text{ mg/m}^3$ ). Dagegen erreichen einzelne Maximalwerte bis zu  $16,5 \text{ mg/m}^3$ . Die Außenluftkonzentration liegt etwas über dem Sommerniveau.

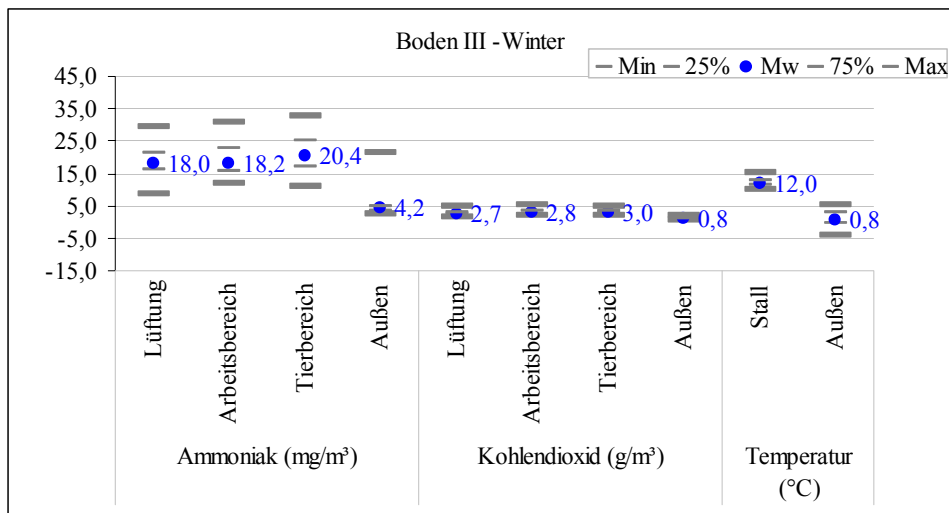
Der Kohlendioxidgehalt der Außenluft liegt innerhalb des Messzeitfensters auf dem niedrigen Sommerniveau. Im Mittel werden im Tierbereich  $1,4 \text{ g/m}^3$  und im Bereich der Lüftungsschächte  $1,7 \text{ g/m}^3$  gemessen. Die Kenndaten erreichen auch im Maximum den Grenzwert von  $5,4 \text{ g/m}^3$  nicht.

In den Abbildungen 33 und 34 werden die zeitlichen Verläufe und Kennwerte für Temperatur, Ammoniak und Kohlendioxid für die Wintermessungen zusammengestellt. Die dazugehörigen Daten sind in der Tabelle SE17 (Anhang) zusammengestellt.



**Abbildung 33: Zeitlicher Verlauf der Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf der Stallebene „Lüftung“ und im Außenbereich sowie die Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**





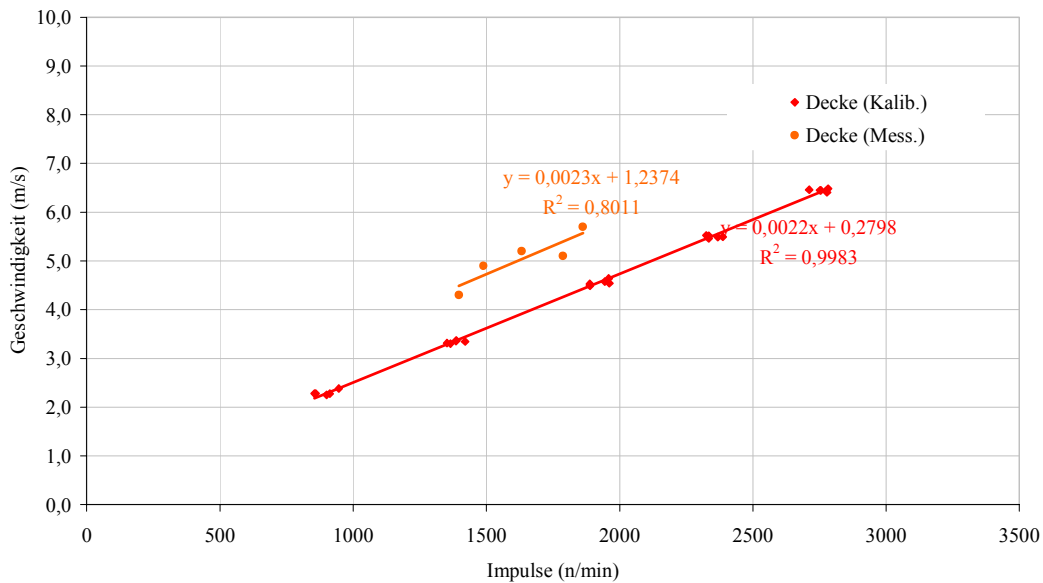
**Abbildung 34: Kenndaten (Stundenmittel) innerhalb der Messzeitfenster „Winter“ für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration auf den Stallebenen sowie die Stall- und Außenlufttemperatur (Bodenhaltung III)**

Bereits der zeitliche Verlauf der Konzentrationsdaten zeigt nunmehr eine deutliche Differenz zwischen Stall- und Außenluftkonzentrationen bei Ammoniak sowie bei Kohlendioxid. Dabei ist der Kohlendioxidgehalt der Außenluft sehr konstant. Er liegt zwischen 0,8 und 0,9 g/m³. Die Außenlufttemperatur (Mittel: -0,4 °C) streut im Messzeitfenster nur noch gering zwischen -4,1 und 5,5 °C. Die Stalllufttemperatur erreicht im Mittel 12,0 °C. Sie liegt damit bereits im Mittel an der unteren Grenze der für Hennen gut tolerierbaren Temperaturen zwischen 12 und 25,5 °C (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999). Es treten jetzt Extremwerte nur noch zwischen 10,0 und 15,2 °C auf. Unter diesen thermischen Bedingungen ist mit einer höheren Futteraufnahme zu rechnen (KOBYLINSKI, 1999). Die Differenz im täglichen Futterverbrauch gegenüber der im Mittel bei 24 °C relativ konstant gehaltenen Stalllufttemperatur (über alle Messzeitfenster) liegt auf dem Niveau der Bodenhaltung I.

Die Ammoniakkonzentrationen variieren zwischen den Ebenen erwartungsgemäß gering, jedoch auf hohem Niveau (Mittel: 18,0 – 20,4 mg/m³). Der bisherige Trend, dass die Konzentrationen im Bereich der Abluftschächte über denen der Tierbereiche liegen, kehrt sich um. Es ist zu erwarten, dass mit der geringeren Frischluftzufuhr die Stallraumlasten ansteigen. Hierbei treten Maximalwerte bis 32,8 mg/m³ auf. Entscheidender ist jedoch, dass im Bereich der Lüftung 75 Prozent der Kenndaten über 16,2 mg/m³ liegen. Hiermit wird der Grenzwert von 13,9 mg/m³ fast permanent überschritten.

Die Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel im Bereich der Tiere bei 3,0 g/m³ und auf Ebene der Lüftung bei 2,7 g/m³. Sie variiert geringer als Ammoniak und liegt noch deutlich unterhalb des Grenzwertes von 5,4 g/m³. Die Luftqualität im Stall ist, das Kohlendioxid betreffend, gut. Hieraus kann auf eine gute Frischluftzufuhr geschlossen werden. Ob das so ist, wird sich bei der anschließenden Betrachtung der Luftraten zeigen.

Die Berechnungen der Emissionswerte für Ammoniak und Kohlendioxid erfolgte auf Basis der Volumenströme. Hierfür wurden Messventilatoren verwendet (vgl. Bodenhaltung I). In der Abbildung 35 wurde die jeweilige Funktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit der Labor- und Nachkalibrierung gegenübergestellt.



**Abbildung 35: Kalibrierfunktion zwischen Impulsanzahl und Strömungsgeschwindigkeit (Bodenhaltung III)**

Die Vergleichsmessungen für die Deckenventilatoren stimmen im Verlauf gut überein. In den Nachkalibrierungen wird jedoch eine höhere Geschwindigkeit ermittelt. Auch in der Bodenhaltung III wurde diese Funktion zur weiteren Berechnung benutzt. Die tatsächlich ermittelten Kenndaten liegen in etwa 30 Prozent über den Laborkenndaten. Nach der DIN 18910-1 liegt die Bodenhaltung III in der Klimazone 2. Hier liegen die Tageshöchsttemperaturen zumeist unterhalb 26 °C. Deshalb müssen die Stallanlagen hier so konzipiert sein, dass die Stalllufttemperatur die Außenlufttemperatur um maximal 3 K übersteigt. Hieraus und aus dem Tiergewicht leiten sich die im Sommer nötigen Luftraten je Tierplatz ab. Die Mindestluftrate im Winter sollte gewährleisten, dass die Luftqualität ausreichend gesichert ist und die Luftfeuchte unter 80 Prozent gehalten werden kann.

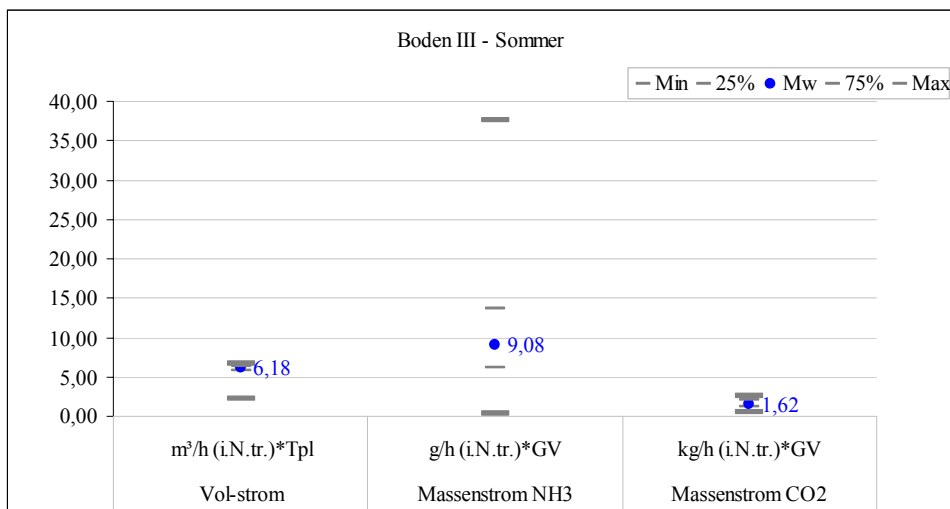
In der Bodenhaltung III sind demnach eine Sommerluftrate von 3,9 m³/h\*Tpl. und eine Winterluftrate von 0,7 m³/h\*Tpl. vorzusehen. In der Tabelle 12 sind die Anzahl Messtage, die mittlere Luftrate in den Messzeitfenstern und die zu erreichende Mindestluftrate nach DIN 18910-1 gegenübergestellt.

**Tabelle 12: Mittlere Luftraten innerhalb der Messzeiträume (Bodenhaltung III)**

Boden III	Mittlere Luftraten		Luftraten m³/h*Tpl (2 kg LM)	
	n	m³/h*Tpl	Winter	Sommer
Winter	646	2,06	0,7	3,9
Übergang	989	6,20		
Sommer	768	6,18		

Die theoretisch erreichbare Luftrate liegt aufgrund der Kenndaten der Lüfter bei 11,8 m³/h\*Tpl. Selbst bei dem Betrieb von nur drei Lüftern (Ganzjahresbetrieb über Kotbunker) stehen noch 7,0 m³/h\*Tpl. zur Verfügung. Weil die Maximalluftrate durchgehend auf 100 Prozent eingestellt war, steht hier selbst bei systembedingten Verlusten durch Strömungswiderstände ausreichend – wenn nicht zuviel – Lüfterkapazität zur Verfügung.

In den Abbildungen 36 bis 38 sind die für jedes Messzeitfenster ermittelten Volumenströme, Emissionsmassenströme für Ammoniak und Kohlendioxid zusammengestellt. Die entsprechenden Kennwerte sind in den Tabellen SE14, SE16 und SE18 im Anhang zu finden.



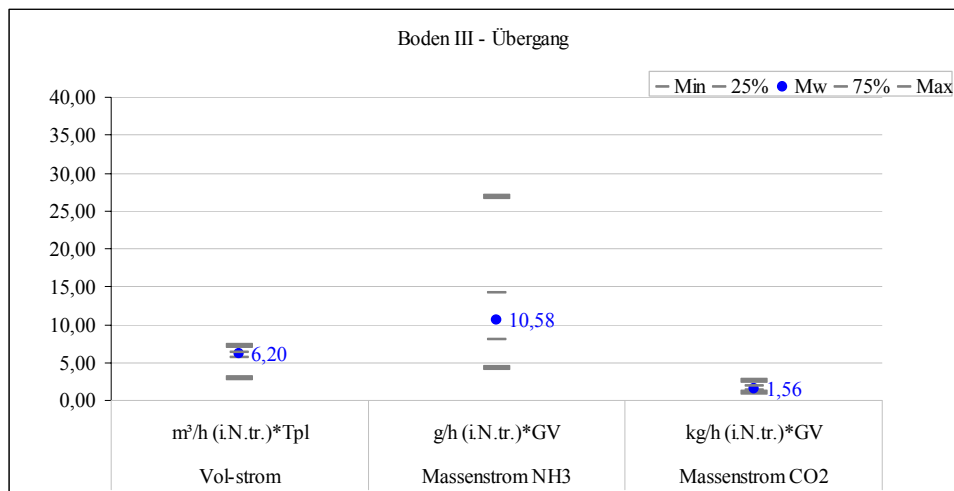
**Abbildung 36: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Volumenstrom variiert in den gemessenen Sommerzeitfenstern zwischen 2,31 und 6,68 m³ /h\*Tpl. Der Medianwert liegt bei 6,18 m³/h\*Tpl. 75 Prozent der Kenndaten liegen über 5,75 m³/h\*Tpl. Die registrierten Raten liegen deutlich über den geforderten Mindestluftraten. Berücksichtigt man eine evtl. messtechnisch bedingte Überschätzung von ca. 30 Prozent, liegen die Kennwerte ohne das untere Viertel mit 4,0 m³/h\*Tpl. (Mittelwerte) noch über den geforderten Raten. Im Temperaturmaximum mit 37,8 °C im Außenbereich bleibt die Stalltemperatur um 2,3 K unter diesem Niveau. In der Legehennenhaltung wur-

den in Praxisbetrieben Maximalluftraten von 1,3 – 5,3 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. gemessen (SEEDORF et al., 1998). Die Bodenhaltung III liegt im Sommermesszeitfenster noch über diesem Niveau.

Der Massenstrom an Ammoniak ist aufgrund der stallseitigen Kotlagerung deutlich höher. Untersuchungen in vergleichbaren Haltungen ergaben um die 7,6 g/h\*GV (LFL, 2004). Hier werden im Mittel bereits im Sommerhalbjahr 9,08 g/h\*GV emittiert. 50 Prozent der Kenndaten liegen zwischen 6,22 und 13,76 g/h\*GV. Im Mittel entspricht das einer Ammoniakfracht von 217,9 g/h. Auch eine Minderung um 30 Prozent verhindert nicht, dass die Anlage in diesem Messzeitfenster den Grenzwert von 150 g/h (TA-Luft) überschreitet.

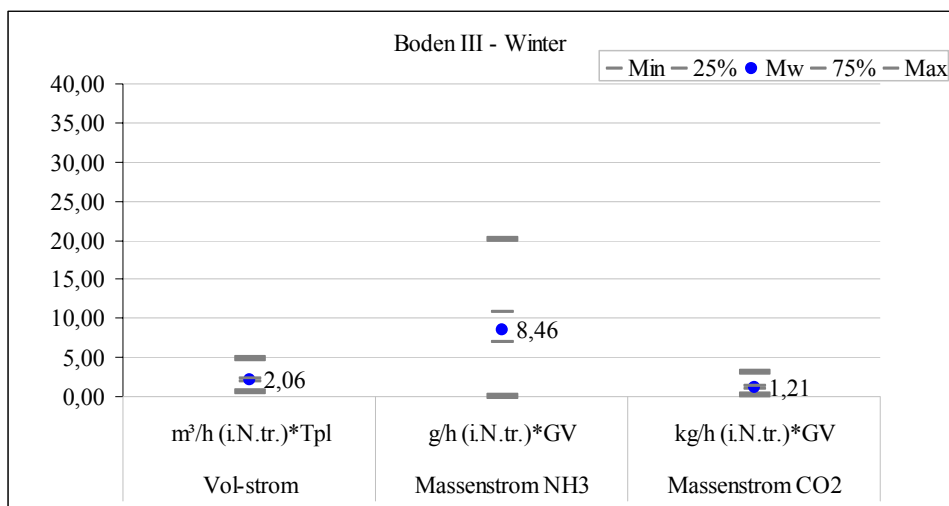
Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,62 kg/h\*GV. Eine direkte Wertung ist nicht möglich, weil Kohlendioxid zwar zu den umweltrelevanten Emissionen zählt, aber hier aufgrund fehlender Grenzwerte nur ein Minimierungsgebot hervorzuheben ist. Insgesamt sollte eine abschließende Bewertung bei der Darstellung der Kenndaten zum Jahresmassenstrom erfolgen.



**Abbildung 37: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

Der Volumenstrom im Messzeitfenstern „Übergang“ liegt im Mittel bei 6,20 m<sup>3</sup> /h\*Tpl. (2,91 – 7,24) m<sup>3</sup> /h\*Tpl). Nach Abschneiden der unteren und oberen Extremwertbereiche liegen 50 Prozent der Kennwerte zwischen 5,61 und 6,40 m<sup>3</sup>/h\*Tpl.

Der Massenstrom an Ammoniak erreicht im Mittel 10,58 g/h\*GV. Nur 25 Prozent der Kenndaten liegen unterhalb des Grenzwertes von 150 g/h (TA-Luft). Hierzu tragen hohe Konzentrationswerte und hohe Luftraten bei. Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,56 kg/h\*GV. Er variiert recht deutlich zwischen 0,96 und 2,54 kg/h\*GV.

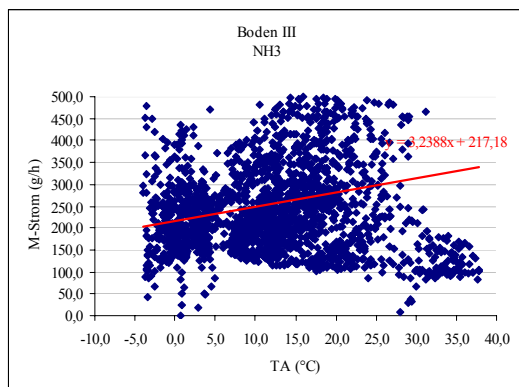


**Abbildung 38: Kenndaten zum Emissionsverhalten der Bodenhaltung III – Volumenstrom, Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid**

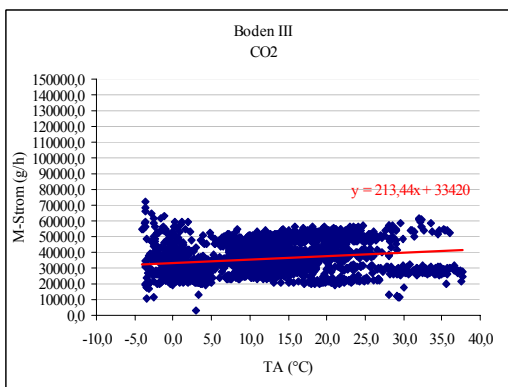
Innerhalb des Wintermesszeitfensters fällt der Volumenstrom erwartungsgemäß deutlich unter die Kenndaten der Außenklimabereiche Sommer und Übergang. Es werden im Mittel jedoch noch 2,06 m³/h\*Tpl. erreicht. Hierbei liegen nur 25 Prozent der Kenndaten unterhalb 1,97 m³/h\*Tpl. Somit übersteigen die gemessenen Luftraten die Befunde zu Minimalluftraten von 0,9 – 1,1 m³/h\*Tpl. aus Praxisbetrieben (SEEDORF et al., 1998). Bereits im unteren Viertel der Daten wird die geforderte Mindestluftrate von 0,7 m³/h\*Tpl. erreicht. Der mittlere Massenstrom an Ammoniak beträgt 8,46 g/h\*GV (203 g/h) und übersteigt den Grenzwert von 150 g/h (TA-Luft). Der Massenstrom an Kohlendioxid liegt im Mittel bei 1,21 kg/h\*GV; seine Variationsbreite zwischen 0,12 und 3,03 kg/h\*GV.

Die Messungen innerhalb der bisher kurz dargestellten Messzeitfenster „Sommer“, „Übergang“ und „Winter“ basierten auf Messungen aus zwei Jahren. Hiermit wurde eine belastbare Basis geschaffen, um die Bodenhaltung III bezüglich ihres Emissionsverhaltens zu charakterisieren und jährliche Emissionsmassenströme zu berechnen. Zu diesem Zweck wurden die in den Messzeiträumen ermittelten Stundenwerte der Außenlufttemperatur mit den parallel hierzu ermittelten Kenndaten zum Massenstrom an Ammoniak und Kohlendioxid in Beziehung gesetzt. Die Stallinnentemperatur als Steuergröße für die Lüftungsanlage und die Konzentrationen der Stallgase werden primär von Außentemperatur beeinflusst. In Verbindung mit der Möglichkeit, diese Kennzahl lückenlos über den Jahresverlauf zu erfassen, bietet sie sich als Kalkulationsbasis an.

In den Abbildungen 39 und 40 werden die funktionalen Beziehungen dargestellt.



**Abb. 39: Korrelation zwischen Außentemperatur und Ammoniakmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung III)**



**Abb. 40: Korrelation zwischen Außentemperatur und Kohlendioxidmassenstrom über alle Messzeitfenster (Bodenhaltung III)**

Mit den ermittelten Funktionen wurden für jeden Stundenmittelwert der Außentemperatur entsprechende Massenströme an Ammoniak und Kohlendioxid errechnet. In den Tabellen 13 und 14 sind diese Kenndaten auf der Basis entsprechender Emissionsfaktoren aus der TA-Luft zusammengestellt.

**Tabelle 13: Emissionsfaktoren für Ammoniak der Bodenhaltung III und der TA-Luft**

Haltung	NH <sub>3</sub> Massenstrom			TA-Luft	TA-Luft
	n	g/h ; g/h*GV	kg/Tpl.*a	g/h	kg/Tpl.*a
Boden III	16 043	249,3 ; 10,39	0,3120	150	0,3157

**Tabelle 14: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid der Bodenhaltung III**

Haltung	CO <sub>2</sub> Massenstrom		
	n	kg/h	kg/Tpl.*a
Boden III	16 043	35,5	44,5

Die Bodenhaltung III erzeugt einen jährlichen Ammoniakausstoß von 2 184,0 kg. Das entspricht einem jährlichen Emissionsfaktor von 0,3120 kg je Tierplatz. Dabei treten im Jahresmittel 249,3 g je Stunde aus. Das entspricht 10,39 g/h\*GV. Damit wird der Massenstrom von 150 g/h (TA-LUFT) deutlich überschritten. Der Emissionsfaktor liegt auf dem Niveau der TA-Luft.

Der jährliche Ausstoß an Kohlendioxid beträgt 311,5 t. Hierbei werden im jährlichen Stundenmittel 35,5 kg ausgestoßen. NESER (2000) berichtet von 1,15 kg/h\*GV als Referenzwert für klassische Bodenhaltungen mit Kotbunker. Der Vergleichswert für die Bodenhaltung III liegt bei 1,48 kg/h\*GV. Somit wird in der untersuchten Bodenhaltung etwas über das 1,5-Fache ausgestoßen.

Die ermittelten Volumenströme sind für die Bodenhaltung III deutlich zu hoch. Das ist auch eine Folge der projektbedingten Überdimensionierung. Im Kontext mit einer lückenhaften Unterweisung der Betriebsleitung resultieren hieraus die hohen Emissionsmassenströme. In der Tabelle 15 sind zum besseren Einblick nochmals nur die Volumenströme für die Messzeitfenster Winter und Sommer gegenübergestellt.

**Tabelle 15: Kenndaten der Modifikationsvarianten der Lüftungssteuerung - Volumenstrom je Tierplatz (Bodenhaltung III)**

	Vol.-Strom (m³/h*Tpl)	
	Sommer	Winter
Min	2,31	0,58
25%	5,75	1,97
Mittel	6,18	2,06
75%	6,41	2,30
Max	6,68	4,75

Bereits im Mittel übersteigen die Volumenströme die Normwerte um das Doppelte. So entstehen Massenströme, die unabhängig vom Konzentrationsniveau im Stall zu einer hohen Emissionsrate führen. Die Lüftungsanlage wird nach Aussage der Betriebsleitung unabhängig von den Außentemperaturen mit einer Minimalluftfrate von 30 Prozent und mit einer Maximalluftfrate von 100 Prozent betrieben. Zusätzlich ist der Regelbereich bisher mit 4 K eingestellt. Das heißt, dass die Anlage relativ sensibel auf Temperaturschwankungen reagiert. Probeweise wurde deshalb die Reaktion des Stallklimas und der Emissionsraten nach einer Modifikation der Steuerungsparameter abgefragt. In der Tabelle 16 sind die Ansatzvarianten und stallklimatische sowie emissionsrelevante Kenndaten gegenübergestellt.

**Tabelle 16: Kenndaten der Modifikationsvarianten der Lüftungssteuerung – Stallklima und Emissionsverhalten (Bodenhaltung III)**

Variante	Stallklima				Emission		
	Temperatur	Feuchte	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Vol.-Strom	M.-Strom NH <sub>3</sub>	M.-Strom CO <sub>2</sub>
	°C	%	mg/m³	mg/m³	m³/h	g/h	g/h
30/100/4/20	26,9	45,7	4,7	1492,3	37151	129,6	25643,7
30/100/6/20	28,7	51,7	4,7	1462,7	39370	141,1	26110,6
30/80/6/20	25,3	60,3	4,5	1650,2	35401	106,8	27543,9

Als Erprobungsvarianten wurden bei konstanter Stallluftvorgabetemperatur um 20 °C erstens der Ist-Zustand vor Veränderung (Minimalluftfrate 30 Prozent, Maximalluftfrate 100 Prozent), zweitens ein Erweitern des Regelbereiches auf 6 K bei sonst unveränderten Steuerungsparametern und drittens eine zusätzlich zu den bisherigen Veränderungen Reduzierung der Maximalluftfrate vorgenommen. Mit der Erweiterung des Regelbereiches erhöht sich die Stalllufttemperatur und Feuchte. Dabei bleibt die Ammoni-

ak- und Kohlendioxidkonzentration auf niedrigem Niveau nahezu konstant. Hierbei ist jedoch ein Anstieg des Volumenstromes festzuhalten. Ursache ist die ansteigende Stalltemperatur. Somit erzeugt diese Variante für das Stallklima keine gravierenden Veränderungen. Die Massenströme steigen jedoch bedingt durch den ansteigenden Volumenstrom. In der 3. Erprobungsvariante sinken Stalllufttemperatur und Ammoniakkonzentration. Der Anstieg der Luftfeuchte ist wegen dem Staubbildungspotenzial im Stall günstig, der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration auf diesem Niveau unproblematisch. Günstig wirkt der deutliche Rückgang des Volumenstromes auf die Massenströme. In diesem Ansatz wird eine Möglichkeit gesehen, die Emissionsraten bei der Beibehaltung eines guten Stallklimas abzusenken. Die relativ kurzen Erprobungszeiträume lassen nur eine tendenzielle Einschätzung zu. Es wurde jedoch eine aktive Auseinandersetzung mit der Lüftungssteuerung im Unternehmen initiiert.

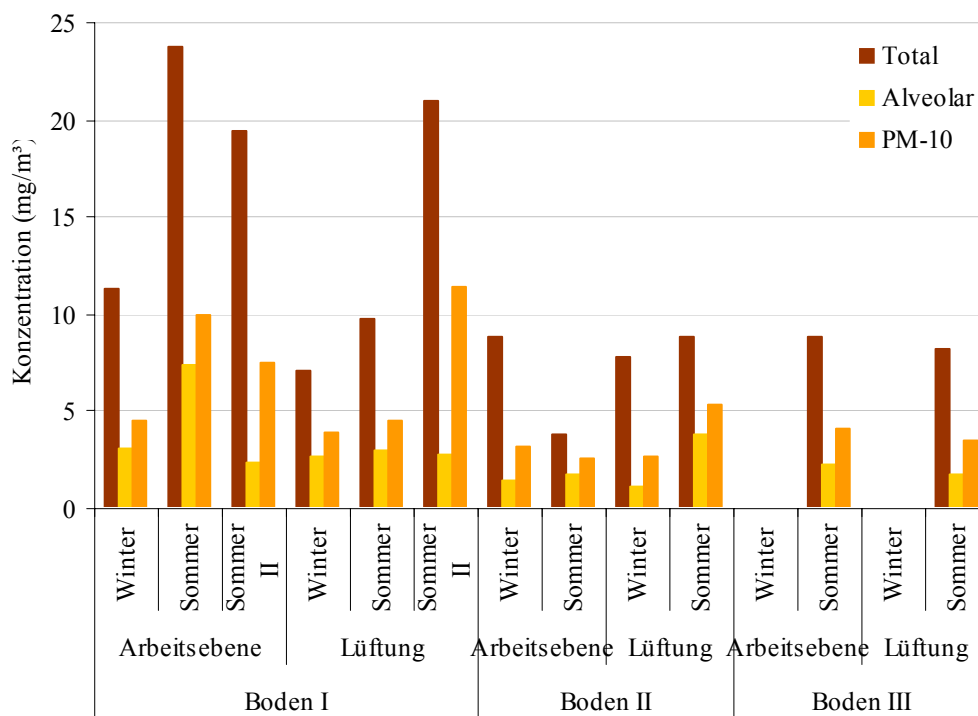
#### **4.1.2 Bioaerosol**

Die Kenndaten zum Bioaerosol in den drei Legehennenhaltungen wurden primär durch gravimetrische Bestimmungen der einatembaren (Total bzw. Gesamtschwebstaub) und alveolengängigen (lungengängig) Staubfraktionen sowie der Fraktion PM10 ermittelt. Die Zuordnung der Staubpartikel zu den Fraktionen erfolgt nach ihrem aerodynamischen Durchmesser und kann dabei differenziert erfolgen. So verweist HINZ (2005) darauf, dass PM10 und die thorakale Staubfraktion identisch bezüglich gleicher 50 Prozent Durchmesser der Teilchen sind. Während die thorakale Fraktion bezüglich der aerodynamischen Durchmesser bis 40 µm geht, ordnet man zur Fraktion PM10 Teilchen < 15 µm zu. Nach der DIN EN 481 ordnet man Teilchen > 3 µm der einatembaren Fraktion zu. Teilchen zwischen 3 und 1 µm zählen zur alveolargängigen Fraktion.

Weiterhin wurden parallel dazu luftgetragene einatembare Endotoxine, aerobe und aerobe gramnegative Bakterien sowie Schimmelpilze ermittelt. Im Folgenden werden die ermittelten Konzentrationen in Beziehung zu bestehenden Grenzwerten bzw. „no effect level“ und, falls vorhanden, zu Messergebnissen aus anderen Legehennenställen, die mittels gleicher Untersuchungsmethoden gewonnen wurden, gesetzt.

Die Konzentrationen der Staubfraktionen in den untersuchten Hennenhaltungen sind in der Abbildung 41 zusammengestellt. Die dazugehörigen Kenndaten sind in der Tabelle SE23 (Anhang) zu finden.





**Abbildung 41: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – gravimetrische Bestimmung der Staubfraktionen und Referenzwerte**

Für die einatembare Staubfraktion gilt aus arbeitsmedizinischer Sicht ein allgemeiner Staubgrenzwert von  $4,0 \text{ mg/m}^3$ . Überschreitungen dieses Grenzwertes sind zulässig, sollten aber das Zweifache nicht überschreiten. Bei der Bewertung dieses Parameters ist zu berücksichtigen, dass dieser vor unspezifischen Wirkungen im Atmungstrakt - z.B. Überladungseffekte - schützen soll. Bei Einhaltung dieses Grenzwertes ist mit einer Gesundheitsschädigung nur dann nicht zu rechnen, wenn sichergestellt ist, dass keine genotoxischen, krebserzeugenden, fibrinogenen, allergisierenden oder sonstige toxischen Wirkungen des Staubes zu erwarten sind (SENATSKOMMISSION ZUR PRÜFUNG GESUNDHEITSSCHÄDLICHER ARBEITSTOFFE, 2006).

Der allgemeine Staubgrenzwert wurde in 11 von 12 der durchgeführten Messungen überschritten. In 9 von 12 Messungen wurde der Grenzwert sogar um das Zweifache überschritten. Eine besonders hohe Staubbelastung wurde in der Bodenhaltung I beobachtet. Hier lagen die Kenndaten zwischen  $7,1 - 23,8 \text{ mg/m}^3$ . Die Vergleichswerte lagen in der Bodenhaltung II zwischen  $3,8 - 8,8 \text{ mg/m}^3$  sowie in der Bodenhaltung III zwischen  $8,2 - 8,8 \text{ mg/m}^3$  (nur eine Messung). Die emissionsrelevanten Kenndaten im Bereich der Lüftung bewegen sich unabhängig von der Haltung im unteren Datenbereich. Ein Verhältnis von  $1 : 1,8 - 2,1$  zwischen Abluft- und Stallkonzentration stellte HINZ (2005) fest. Die Grenzwertempfehlungen liegen für den einatembaren Staub bei  $2,4 - 2,8 \text{ mg/m}^3$  (SEEDORF U. HARTUNG, 2002). Bei der Zu-

sammenstellung von Literaturbefunden aus Geflügelhaltungen gaben die Autoren einen Medianwert von 2,45 mg/m<sup>3</sup> an.

In Legeställen mit Käfighaltung wurde im Mittel eine Konzentration von 0,65 mg/m<sup>3</sup> (0,4-1,7mg/m<sup>3</sup>) festgestellt (ZUCKER et al., 2000). Für die alveolengängige Staubfraktion gilt aus arbeitsmedizinischer Sicht ein allgemeiner Staubgrenzwert (SENATSKOMMISSION ZUR PRÜFUNG GESUNDHEITSSCHÄDLICHER ARBEITSSTOFFE, 2006) von 1,5 mg/m<sup>3</sup>. Hinsichtlich seiner Beurteilung unter arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten gelten die oben getroffenen Aussagen (Einatembare Staubfraktion) entsprechend. Dieser Wert wurde in 10 der 12 durchgeführten Messungen überschritten. Eine Überschreitung des Grenzwertes um den Faktor 2 erfolgte bei zwei Messungen. Für die untersuchten Bodenhaltungen I, II und III wurden Kenndaten zwischen 2,4 - 7,4 mg/m<sup>3</sup>, 1,1 - 3,8 mg/m<sup>3</sup> und 1,7 – 2,3 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Für die Fraktion PM10 lagen die Kenndaten für die Bodenhaltungen I, II und III zwischen 3,9 -11,4 mg/m<sup>3</sup>, 2,6 – 5,4 mg/m<sup>3</sup> und 3,5 – 4,1 mg/m<sup>3</sup>. Die Grenzwertempfehlungen liegen für den alveolengängigen Staub bei 0,16 – 0,23 mg/m<sup>3</sup> (SEEDORF U. HARTUNG, 2002). Bei der Zusammenstellung von Literaturbefunden aus Geflügelhaltungen gaben die Autoren einen Medianwert von 0,38 mg/m<sup>3</sup> an. Bezogen auf den Referenzwert für Käfighaltungen lagen alle Kenndaten z. T. erheblich darüber. In der nachfolgenden Abbildung 42 sind die Kenndaten zu Endotoxinen und Bakterien sowie Schimmelpilzen zusammengestellt. Die dazugehörigen Werte sind in der Tabelle SE24 (Anhang) zu sehen.

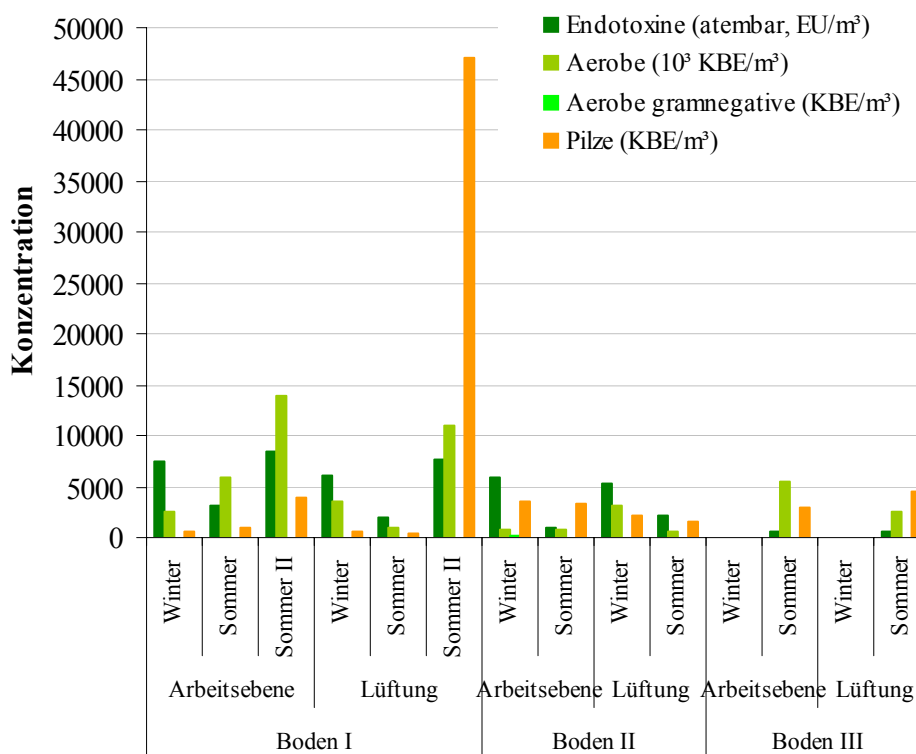


Abbildung 42: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – mikrobielle Bestimmung

Für die einatembare Endotoxinfraktion werden nach RYLANDER (1997) folgende „no effect level“ angegeben:

für die Toxische Pneumonitis: 2 000 EU/m<sup>3</sup> und  
für die Atemwegsentzündung: 100 EU/m<sup>3</sup>.

Der „no effect level“ für die Atemwegsentzündung wurde bei allen Messungen überschritten, der „no effect level“ für die toxische Pneumonitis in 8 von 12 durchgeführten Messungen. In Legeställen mit Käfighaltung wurden im Mittel Konzentrationen von 169 EU/m<sup>3</sup> (62-520 EU/m<sup>3</sup>) festgestellt (ZUCKER et al., 2000). Hierbei wurden für die Bodenhaltungen I, II und III 1900 – 8400 EU/m<sup>3</sup>, 900 – 5800 EU/m<sup>3</sup> und 520 – 540 EU/m<sup>3</sup> ermittelt.

Für luftgetragene Mikroorganismen in Tierställen existieren keine Richt- oder Grenzwerte. In Legehennenställen mit Käfighaltung wurden folgende Konzentrationen bestimmt (ZUCKER et al., 2000):

aerobe Gesamtkoloniezahl:

$1,1 \times 10^4$  KBE/m<sup>3</sup> ( $0,2 \times 10^4$  –  $2,6 \times 10^4$  KBE/m<sup>3</sup>)

aerobe gramnegative Gesamtkoloniezahl:

$4,9 \times 10^0$  KBE/m<sup>3</sup> ( $0,4 \times 10^0$  –  $2,7 \times 10^1$  KBE/m<sup>3</sup>).

Die gemessenen Kennwerte in den vorliegenden Untersuchungen übersteigen die Vergleichswerte aus der Käfighaltung deutlich. Hierbei ist eine große Variabilität festzuhalten. Die Kennwerte für aerobe Keime lagen in den Bodenhaltungen I, II und III bei  $1\ 037$  –  $14\ 000 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup>,  $647$  –  $3\ 188 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> und  $2\ 500$  –  $5\ 433 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup>. Für Geflügelhaltungen lag der Referenzwert bei  $28 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> aus Literaturbefunden (SEEDORF U. HARTUNG, 2002). Die Kennwerte für aerobe gram-negative Keime lagen in den Bodenhaltungen I, II und III bei  $3$  –  $65$  KBE/m<sup>3</sup>,  $30$  –  $190$  KBE/m<sup>3</sup> und  $1,8$  –  $7,2$  KBE/m<sup>3</sup>. Für Geflügelhaltungen lag der Referenzwert bei  $46 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> aus Literaturbefunden (SEEDORF U. HARTUNG, 2002). Die Kennwerte für luftgetragene Schimmelpilze lagen in den Bodenhaltungen I, II und III bei  $370$  –  $47\ 000$  KBE/m<sup>3</sup>,  $1\ 600$  –  $3\ 267$  KBE/m<sup>3</sup> und  $2\ 867$  –  $4\ 533$  KBE/m<sup>3</sup>. Für Geflügelhaltungen lag der Referenzwert bei  $1\ 300$  KBE/m<sup>3</sup> aus Literaturbefunden (SEEDORF U. HARTUNG, 2002).

Auf Grund der nur sehr geringen Anzahl von durchgeführten Messungen ist zu beachten, dass die vorliegenden Ergebnisse zur Charakterisierung der Bioaerosolbelastung in den untersuchten Ställen nur orientierenden Charakter haben. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung soll auf folgende Trends verwiesen werden:

1. Werden die erhobenen Ergebnisse unter arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten bewertet, ist zu berücksichtigen, dass die Messungen zum einen nicht über eine gesamte Schicht und zum anderen nicht personengetragen durchgeführt wurden. Es wird aber trotzdem deutlich, dass in den hier untersuchten alternativen Legehennenställen die Belastung mit Bioaerosolen deutlich höher als in der herkömmlichen Käfighaltung ist. Dieses gilt sowohl für das in den Ställen arbeitende Personal als auch für die aufgestellten Tiere. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass damit auch die Emissionen aus diesen Ställen höher als aus herkömmlichen Käfigställen sind.

2. Vergleicht man die Bioaerosolbelastungen in den drei untersuchten alternativen Legehennenställen, wird deutlich, dass für die verschiedenen Staubfraktionen sowie für die luftgetragenen Bakterien und Endotoxine die höchsten Werte in der Bodenhaltung I gemessen wurden.

Zusätzlich wurden Dauermessungen innerhalb unterschiedlich langer Zeitfenster zum Staubgehalt in den Bodenhaltungen durchgeführt. In der Tabelle 17 sind die Kennwerte für die Fraktionen und Haltungen gegenübergestellt.

**Tabelle 17: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – optische Bestimmung der Staubfraktionen (korr. mit Gravimetriefaktor)**

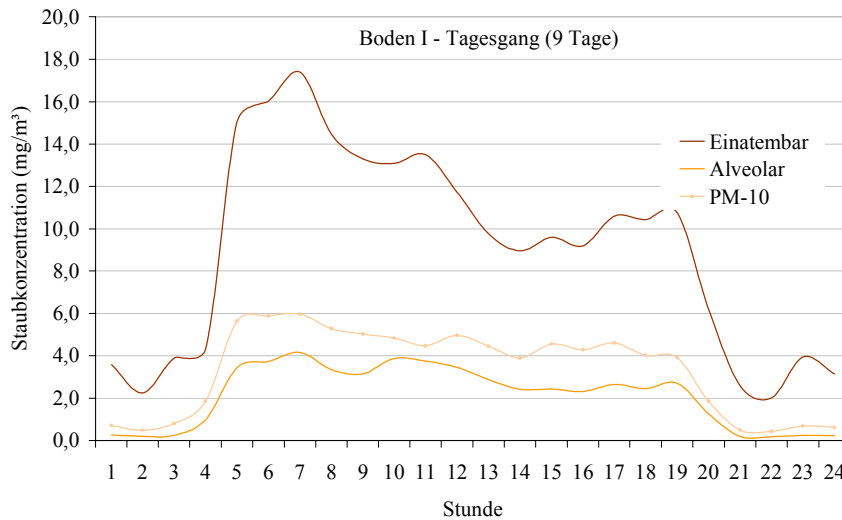
Fraktion	Zeitfenster	Boden I	Boden II	Boden III
		mg/m <sup>3</sup>		
Einatembar	Sommer	13,48	4,36	4,57
	Übergang	28,27	17,27	2,70
	Winter	16,76	12,59	3,50
	Gesamt	14,87	6,25	4,39
PM 10	Sommer	6,66	2,65	3,80
	Übergang	9,65	10,63	2,79
	Winter	11,06	4,39	2,09
	Gesamt	6,04	3,52	3,45
Alveolar	Sommer	3,28	1,06	1,21
	Übergang	5,90	3,26	0,58
	Winter	3,52	2,54	0,69
	Gesamt	3,46	1,39	1,13

Für die einatembare Staubfraktion wurden im Mittel der Messzeitfenster „Sommer“, „Übergang“ und „Winter“ für die Bodenhaltungen I, II und III 14,87 mg/m<sup>3</sup>, 6,25 mg/m<sup>3</sup> und 4,39 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Die gravimetrisch bestimmten Kenndaten lagen im Mittel für die Bodenhaltungen I, II und III bei 15,45 mg/m<sup>3</sup>, 6,30 mg/m<sup>3</sup> und 8,60 mg/m<sup>3</sup>. Die Messungen wurden nicht parallel durchgeführt. Mit Ausnahme der Bodenhaltung III – hier liegt gravimetrisch nur eine Momentaufnahme vor – korrespondieren die Werte beider Messungen gut. Beide Messverfahren sind anwendbar, bei der quasikontinuierlichen Messung muss über Rückwaage des systemimmanenten Filters ein Gravimetriefaktor zur Korrektur der Kenndaten bestimmt werden.

Auf der Basis der gravimetrisch im Bereich der Luftschächte bestimmten Staubkonzentration (einatembar, Tab. SE26, Anhang) wurde für die Haltungen ein Emissionsfaktor und die jährliche Gesamtemission berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass die Messungen jeweils zur Aktivphase der Hennen durchgeführt

wurden und die Staubbildung an diese Aktivität gekoppelt ist, wurden mehrere Messungen über mindestens 24 Stunden durchgeführt. Hieraus soll der Tagesgang der Staubkonzentrationen im Stall abgeschätzt werden.

In der Abbildung 43 ist exemplarisch für die Bodenhaltung I (höchste Staubgehalte) der mittlere Kurvenverlauf von neun 24-Stunden-Intervallen dargestellt. Die Kurven der Haltungen II und III sind im Anhang (Abb. SE1 und SE2) zu sehen.



**Abbildung 43: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung I**

Hieraus wurde ermittelt, wie hoch der Anteil an Ruhezeit und hier die Staubkonzentration innerhalb von 24 Stunden ist (Tab. SE 25, Anhang). Auf dieser Basis wurde unter Abzug von einer zweiwöchigen Serviceperiode die Jahresemission berechnet. In der Tabelle 18 sind die wichtigsten Kenndaten zusammengestellt.

**Tabelle 18: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – kalkulierte Staubemission**

	Volumenstrom	Gesamtstaub		
	m³/a	mg/a	kg/a	g/h
Boden I	418370155	3816055000	3816	436
Boden II	308937079	1881568520	1882	215
Boden III	283972490	1646319307	1646	188

Nach der TA-Luft wird zur Vorbeugung von Belastungen durch Staub ein maximaler Massenstrom von 200 g/h sowie eine Massenkonzentration von 20 mg/m³ Abluft vorgeschrieben. Die Bodenhaltungen unterschreiten alle die vorgeschriebene Massenkonzentration. Die höchste Konzentration ist in der Bodenhaltung I mit im Mittel 7,4 mg/m³ einatembaren Staub registriert worden. Lediglich die Bodenhaltung

III bleibt im jährlichen Mittel bei einem stündlichen Ausstoß unter 200 g. Die „Voliersysteme“ überschreiten den Wert z. T. um das Doppelte. Je GV bedeutet das für die Bodenhaltungen I, II und III einen Emissionsfaktor von 8,55 g/h, 3,03 g/h und 7,83 g/h. Für Käfighaltungen liegt der Referenzwert bei 0,64 g/h\*GV und für Bodenhaltungen 3,08 g/h\*GV (TAKAI, 1998). Mit Ausnahme der Bodenhaltung II liegen die hier ermittelten Werte über dem Referenzwert aus der Literatur. Das ist auch die Haltung in der vorliegenden Untersuchung mit der geringsten Nutzung des Scharranges. Es ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil des mit dem Luftvolumenstrom mitgerissenen Schwebstaubs im Monoschicht sedimentiert. Mit der bereits beschriebenen Richtungsänderung des Abluftstromes im Schacht wird die mitgeführte Staubfracht zum überwiegenden Teil abgelöst. Aufgrund der komplizierten Messbedingungen am oberen Schachtende wurden nur Einzelmessungen zur gravimetrischen Gesamtstaubbestimmung durchgeführt. Hierbei wurde kein auswertbarer Staub auf dem Filter des oberen Messpunktes gefunden. Die untersuchten Haltungen emittieren Staubfrachten zwischen 1,7 und 3,8 t im Jahr.

In der Bodenhaltung I – mit der höchsten Staubbildung – ist eine Wasserverrieselungsanlage zur Staubbindung installiert. Nach vorliegenden Ergebnissen ist ihre Effizienz in Frage gestellt. Deshalb wurden im Zuge der Auswertungen Modifikationen am Management dieser Anlage vorgenommen. Zu diesem Zweck wurden in Tabelle 19 zusammengestellte Versuchsansätze durchgeführt (siehe auch Tab. SE31 im Anhang).

**Tabelle 19: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Ansätze**

Variante	Frequenz (min)	Dauer (sec.)	l/h*m <sup>2</sup>
1	15	25	0,030
2	25	40	0,029
3	25	45	0,033
4	25	90	0,066

Die vernebelte Wassermenge ist äußerst gering. Hierbei wurde beobachtet, dass insbesondere im Sommer bei einer guten Luftdurchströmung im Stall kein Wasser in Variante 1 (bisheriger Ist-Zustand) niederschlägt, sondern vielmehr direkt vom Abluftvolumenstrom erfasst und aus dem Stall befördert wird. Deshalb wurde im ersten Ansatz die Frequenz der Inbetriebsetzung auf 25 Minuten angehoben und gleichzeitig die Sprühdauer auf 40 Sekunden verlängert. In den Varianten 3 und 4 wurde die Frequenz beibehalten und schrittweise die Dauer weiter erhöht. Insgesamt bleibt der Wasserabsatz je m<sup>2</sup> Stallfläche marginal.

In den Abbildungen 44 bis 46 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Die Kenndaten hierzu sind im Anhang (Tab. SE32 - SE34) zusammengestellt.

Die Untersuchungsbedingungen wurden anhand der Stallluftinnentemperatur, der Stallluftfeuchte, der Außentemperatur und dem Feuchtegehalt der Einstreu beurteilt. Als Zielparame- ter wurde der Ge-

samtstaubgehalt in der Stallluft bewertet. Zusätzlich wurden als Kontrollparameter die Ammoniakkonzentration und Ammoniakemission berücksichtigt. In der Ist-Variante (1) wurde ein Staubgehalt von 7,63 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Mit der Verlängerung der Sprühdauer bei gleichzeitiger Reduzierung der Sprühfrequenz je Stunde erhöhte sich die Stallluftkonzentration an Staub auf 9,11 mg/m<sup>3</sup>. Das wird primär durch die höhere Stalllufttemperatur (um 6 K) verursacht.

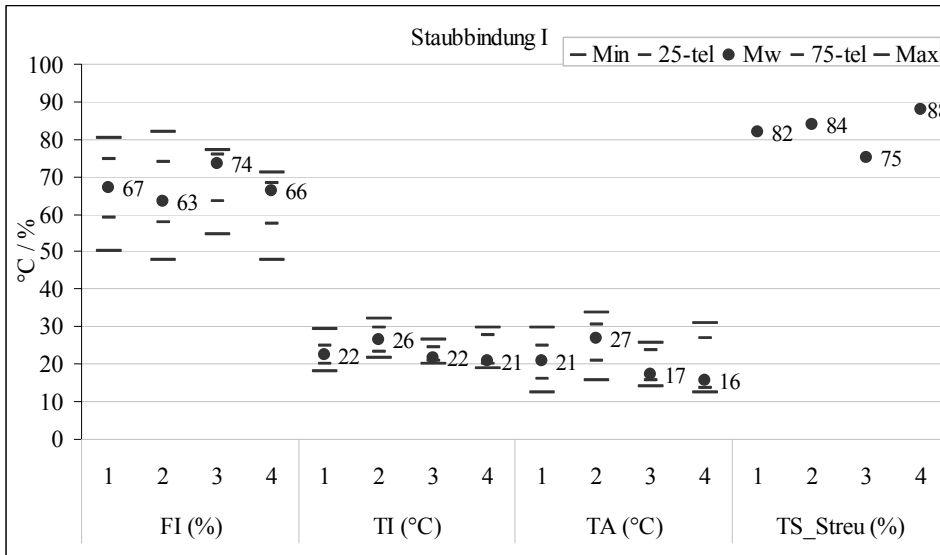


Abbildung 44: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Ansätze

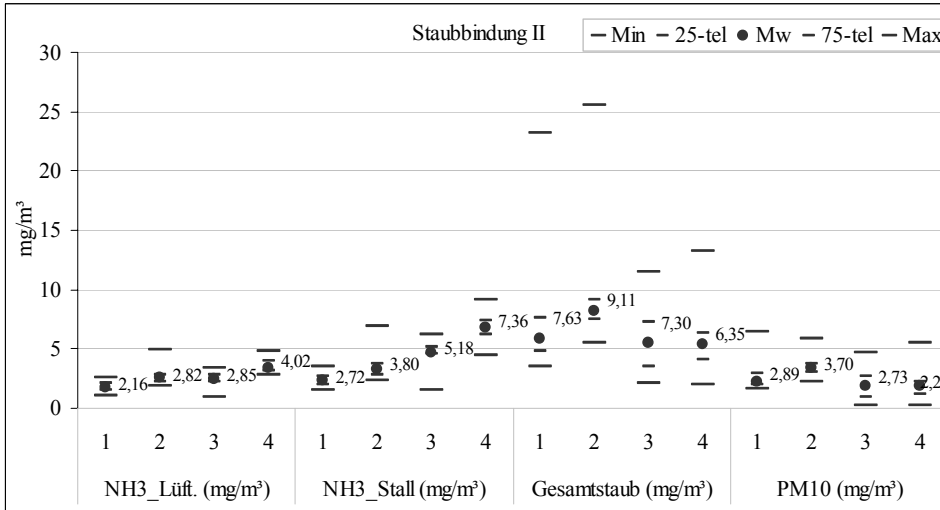
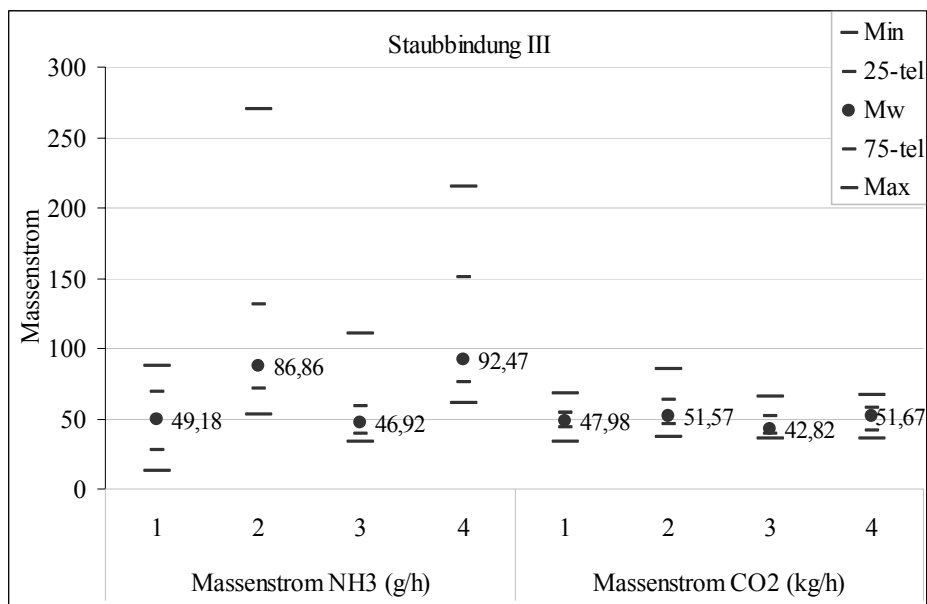


Abbildung 45: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Gas- und Staubgehalte

Hierdurch steigt auch die Lüftungsrate, was an den fast doppelt so hohen Ammoniakemissionen (bei nur leicht gesteigener Konzentration) gegenüber Variante 1 ersichtlich ist. Der Feuchtegehalt in der Einstreu sinkt unter Variante 1 ab. Diese Änderung hat also keine Auswirkungen auf die Staubbildung.

In Variante 3 wird bei unveränderter Frequenz die Dauer leicht angehoben. Die Stalllufttemperatur befindet sich wieder auf dem Niveau der Variante 1. Demgegenüber steigen Raumfeuchte und Feuchtegehalt in der Einstreu an. Bei ebenfalls doppelt so hoher Ammoniakkonzentration gegenüber Variante 1 ist die Ammoniakemission auf etwa gleichem Niveau. Daraus lässt sich ableiten, dass die Lüftungsrate gegenüber Variante 1 zurückfällt.



**Abbildung 46: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Emissionsverhalten**

Der Staubgehalt ist gegenüber Variante 1 auf vergleichbarem Niveau. Zusammenfassend kann auch in der Variante 3 keine Wirkung nachgewiesen werden.

In der Variante 4 wird nunmehr die Sprühdauer nochmals verdoppelt. Damit wird gegenüber dem Ist-Zustand der Wassereintrag mehr als verdoppelt. Die Stalltemperatur befindet sich auf vergleichbarem Niveau. Die Ammoniakkonzentration und -emission steigt auf die höchsten Werte im Variantenvergleich. Hierbei sinkt der Staubgehalt jedoch ebenfalls auf den niedrigsten Wert ab. Aus den Daten kann tendenziell abgeleitet werden, dass die Erhöhung der Sprühdauer den Feuchtegehalt der Stallluft und der Einstreu nicht nachhaltig beeinflusst hat. Mit dem Rückgang des Staubgehaltes in der Stallluft wird eine Erhöhung der Ammoniakkonzentration und -emission beobachtet. Keine der Ansatzvarianten ist geeignet, die Effizienz der Sprühanlage zu verbessern. Hier besteht jedoch dringender Untersuchungsbedarf.



#### 4.1.3 Geruchsstoffkonzentration

Zur Ermittlung der Geruchsstoffkonzentration wurden für die Außentemperaturbereiche „Winter“, „Sommer“ und „Übergang“ in der Bodenhaltung I und II jeweils zwei Probenserien á vier Proben gezogen. Für die Bodenhaltung III wurden zwei Probenserien im „Sommer“ gezogen. Diese Proben wurden unmittelbar am Abluftschacht im Stall genommen. Hierbei ist die Außenluft an einem von der Legehennenhaltung geruchlich nicht beeinflussten Probeort entnommen worden. In der Bodenhaltung II wurde der Monoschacht im unteren Bereich beprobt. Die am Olfaktometer bestimmten Geruchsstoffkonzentrationen und durch Hinzunahme der Lüftungsraten bestimmten Emissionsfaktoren sind in der Abbildung 47 graphisch gegenübergestellt. Die dazugehörigen Kenndaten sind in der Tabelle SE27 im Anhang zusammengestellt.

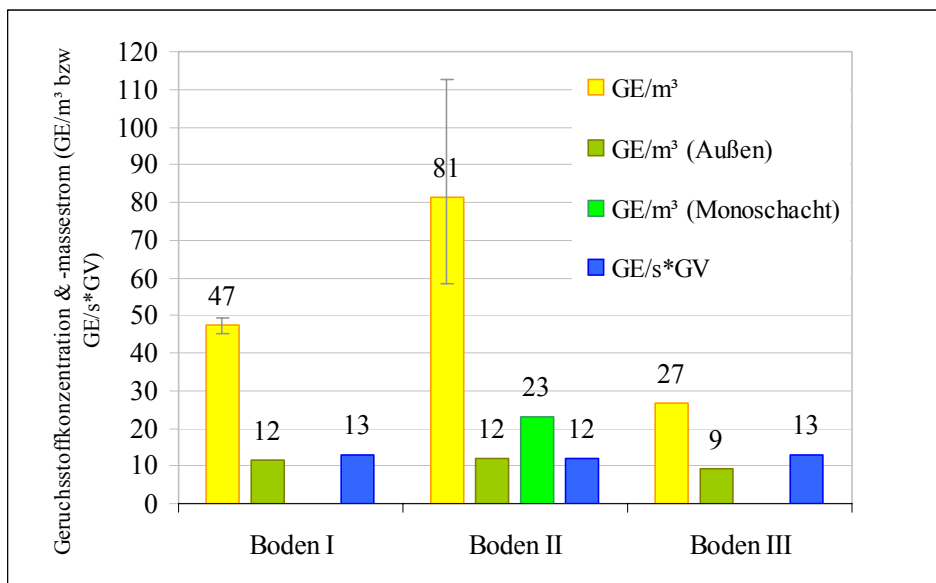


Abbildung 47: Kenndaten der Haltungen – Geruchsstoffkonzentration und -emission

Die Geruchsstoffkonzentrationen steigen mit der Bestandesgröße an. Hierbei werden im Mittel der Bodenhaltung I, II und III 47 GE/m<sup>3</sup>, 81 GE/m<sup>3</sup> und 27 GE/m<sup>3</sup> ermittelt. Der Kennwert für die Bodenhaltung III ist nicht repräsentativ, weil hier keine Messwerte aus dem Winterhalbjahr vorliegen. In klassischen Bodenhaltungen ist gerade dieser Zeitraum mit z. T. erheblicher Geruchsstoffbildung im Kotkasten verbunden. Die ermittelten Geruchsemissionen liegen für die Bodenhaltungen im Mittel zwischen 12 und 13 GE/s\*GV. Damit werden die Kenndaten aus Untersuchungen in Sachsen (LFL, 2004) weitgehend gestützt. Kenndaten von 43 bis 90 GE/s\*GV (LFU, 1996; KTBL, 1996) konnten nicht bestätigt werden.

#### 4.2 Tiergesundheit und Stallhygiene

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Eierzeugung ist die Gesundheit der Hennen. Als Backgroundbestimmung für die im Kern erfolgten Analysen zum Stallklima und dem Emissionsverhalten wurde deshalb ein Monitoring zum Herdenzustand durchgeführt. Hierzu wurden die Herden zur

ca. 35 Lebenswoche (Ende des Legestadiums1[LS]), 50. LW (Ende des LS 2), 65. LW (Ende des LS 3) und ab der 65. LW (LS 4) zum Verhalten der Hennen, Atemgeräusche, Gefiederzustand (Befiederung, Verschmutzung), Kotkonsistenz und Federbesatz im Einstreu bonitiert. Parallel dazu wurden zur Bewertung der Stallhygiene die Präsenz von Milben (Rote Vogelmilbe), Fliegen und Käfer sowie die Beschaffenheit der Einstreu bewertet. Zusätzlich wurden Herdenbehandlungen sowie Parasiten- und Lästlingsbekämpfungen erfasst. Wie in Sachsen üblich, wurden die Herden regelmäßig auf Salmonellen untersucht. Hier lagen keine positiven Befunde vor.

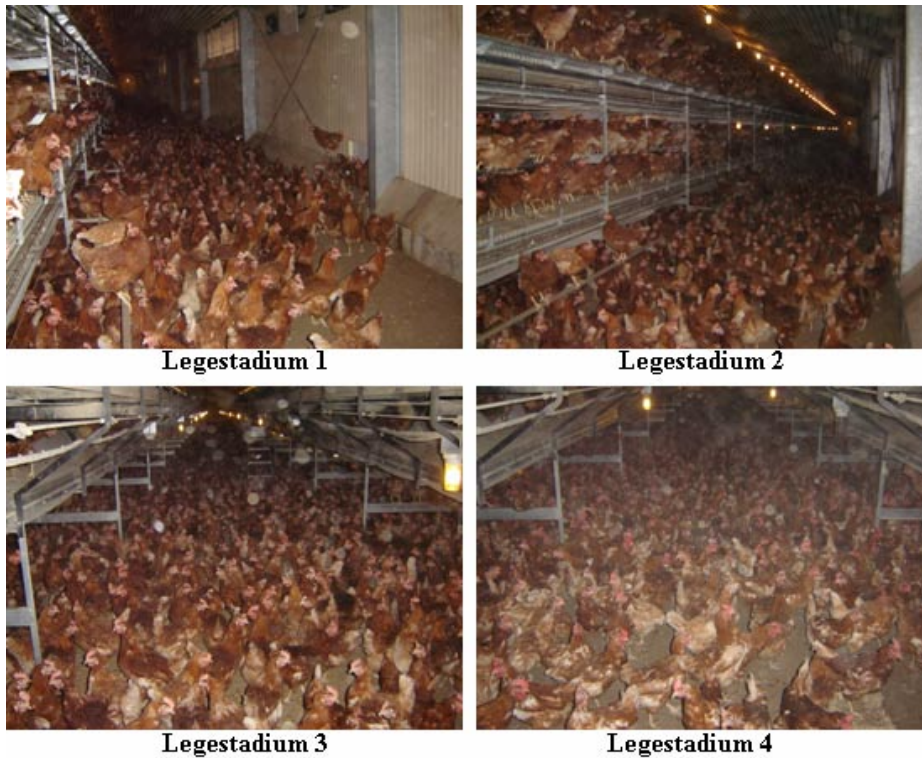
Die Herden in den untersuchten Bodenhaltungen (1. und 2. Stallbelegung) waren zur Einstellung schnabeltouchiert und mit einem Impfschutz versehen. Empfehlungen aus der Literatur zufolge sollten Legehennen insbesondere in alternativen Haltungen gegen Marek, Salmonella, Kokzidiose Gumboro, Newcastle Disease (atypische Geflügelpest), Infektiöse Bronchitis (IB) und aviäre Enzephalomyelitis (AE) vor der Einstellung in die Legehennenhaltungen geimpft werden (DAMME UND HILDEBRAND, 2002). Diese Impfungen wurden auch in den untersuchten Hennenherden durchgeführt. Zusätzlich wurde gegen infektiöse Laryngotracheitis (ILT) und zum Teil gegen Pocken, Rotlauf und Egg Drop Syndrom (EDS) geimpft. Die Auffrischungsimpfungen gegen IB und ND fanden nur eingeschränkt in den Haltungen mit über 10 000 Hennenplätzen statt.

Obligat werden Maßnahmen zur Minderung des Milbenbestandes (rote Vogelmilbe) und zur Schadnagerbekämpfung durchgeführt. In den Beständen mit über 10 000 Hennenplätzen wird auch eine Zwischendesinfektion der Stallinnenausrüstung durchgeführt. Die Einstreu (Sand, Stroh und Holzspäne) wird - wenn überhaupt – entsprechend ihrem Zustand erneuert.

In den Haltungen mit über 10 000 Hennenplätzen wurde entsprechend dem Gesundheitszustand mindestens einmal je Belegung Antibiotika, in erster Linie Colistin und Neomycin, eingesetzt. Das ist in alternativen gehaltenen Herden unumgänglich, wie Befunde aus der Literatur zeigen (LFL, 2004; KREIENBROCK et al., 2003). In diesem Kontext wurden auch Vitaminpräparate verabreicht.

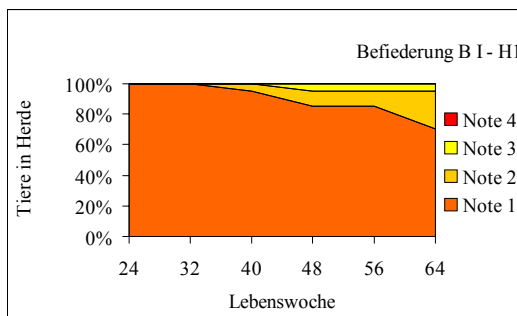
In der nachfolgenden Abbildung wird die Entwicklung des äußeren Erscheinungsbildes der Hennenherde in der Bodenhaltung I über die Haltungsperiode abgebildet.

Die Hennen reagierten zu jedem Besuchstermin aktiv auf ihre Umwelt. Dabei bestimmte in den ersten beiden Legestadien auch Neugier das Verhalten. Atemgeräusche traten nicht auf, woraus ein guter Zustand der Atmungsorgane abgeleitet wird. Die Tiere scheinen die zum Teil hohen Staubgehalte in der Stallluft weitgehend zu tolerieren. Während der gesamten Haltungsperiode wurden Federn in der Einstreu gefunden. Das lässt den Schluss zu, dass Federpicken und -fressen nur geringfügig auftrat. Aufgrund der kupierten bzw. touchierten Schnäbel wurden kaum ernsthafte Hautverletzungen gefunden; Kannibalismus in der Herde wurde nicht festgestellt. Das stützt die in der Literatur beschriebene Kausalität zwischen Federpicken, Schnabelbehandlung und Ausbleiben von Kannibalismus (GEISER, 2001; DAMME, 2003; KEPPLER, 2003). Der bis zur Ausstallung gute Gefiederzustand bekräftigt diese Aussagen.

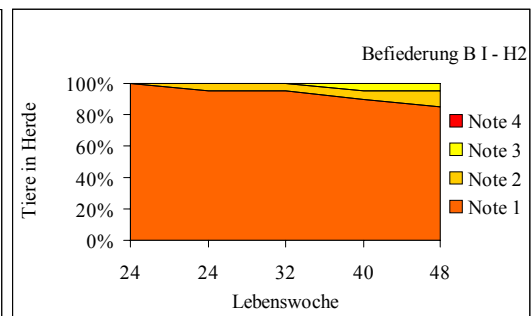


**Abbildung 1: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 B1**

Ein vergleichbares Bild bot auch die Herde in der 2. Stallbelegung (Anhang Abb. TG1). In den Abbildungen 2 und 3 wird der Anteil an Hennen in den Herden der Bodenhaltung I (1. und 2. Belegung) nach dem Befiederungszustand im Verlauf des Haltungszeitraumes grafisch dargestellt.



**Abb. 2: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B I**



**Abb. 3: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B I**

Die Tiere haben nahezu bzw. etwas über 80 Prozent bis zur Ausstellung ein intaktes Gefieder. Direkte Gefiederbeschädigungen zeigen nur ca. 5 Prozent der Hennen. Dabei ist bei 90 Prozent der Tiere keine

deutliche Gefiederbeschmutzung festzustellen. Nur ca. 10 Prozent haben leichte Verschmutzungen. Damit präsentieren sich die Herden in der Bodenhaltung I bis zur Ausstellung in einem sehr guten Zustand. Der Kot kann über die gesamte Belegung als typisch mit normaler Konsistenz eingeschätzt werden. Milben, Fliegen und Käfer treten nicht erkennbar in Erscheinung. Insbesondere bei der Milbe ist das mit Sicherheit auf die geringe „Stallmüdigkeit“ zurückzuführen. Der Stall durchlebt seine ersten Belegungen. Die Einstreu zeigt sich trocken und locker mit Neigung zur Plattenbildung auf den Bodenarealen an den Zugängen zu Wintergarten und Auslauf.

Parasitologische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt. In alternativen Haltungen ist aus den eigenen, bereits abgeschlossenen Untersuchungen bekannt, dass mit bis zu 45 Prozent ein gering bis hochgradiger Spulwurmbefall sowie mit bis zu 6 Prozent Haarwürmer und mit bis zu 9 Prozent Bandwürmer auftreten können (LFL, 2004). Diese Befunde bestätigen auch die deutschlandweiten Erhebungen in alternativen Legehennenhaltungen (KREIENBROCK et al., 2003). Das Verhalten der Tiere zeigte keine Auffälligkeiten, die einen massiven Endoparasitenbefall vermuten lassen. Jedoch zeigten die Befunde einer kleinen - zufällig untersuchten - Stichprobe der Tiere, die für weitere Versuche gegen Ende der Belegung getötet und einer tierärztlichen Beschau unterzogen wurden, einen erheblichen Befall mit Endoparasiten. Hier wäre mit Sicherheit eine Wurmbehandlung anzuraten. Diese erweist sich z. Zt. wegen einzuhaltender Sperrzeiten für die Eier als recht kompliziert. Zur Behandlung wurden während der Haltungsperiode Antibiotika eingesetzt; Nachimpfungen gegen die infektiöse Bronchitis (IB) durchgeführt. Nach Bedarf wurden auch Vitaminpräparate und Kalzium zur Stabilisierung der Eiqualität verabreicht. Das ist insbesondere in Hochleistungsphasen und zum Ende der Legeperiode notwendig und üblich. Der Ernährungszustand der Tiere war kurz vor der Ausstellung gut bis sehr gut.

In der Bodenhaltung II präsentieren sich die beiden im Untersuchungszeitraum eingestellten Herden wie nachfolgend zusammengestellt. Abbildung 4 und Abbildung TG2 (Anhang) zeigt die Entwicklung des Erscheinungsbildes der Tiere in der Herde im Verlauf der Haltungsperiode auf.

Die Hennen reagierten zum ersten Boniturzeitpunkt in ihrem Verhalten normal bis unauffällig auf ihre Umwelt. Bei den nachfolgenden Boniturzeitpunkten nimmt die Aktivität in der Herde deutlich zu. Darin wird ein Indiz dafür gesehen, dass die Tiere doch recht verhalten den eine Ebene tiefer liegenden Scharrraum finden und somit auch aufsuchen. So nutzte im Untersuchungszeitraum innerhalb beider Belegungen nur ein Teil der Herde diesen Funktionsbereich. Die Hauptursache wird in den recht konditionierungsbedürftig gestalteten und angeordneten Scharrraumzugängen zu finden sein. Insbesondere nach den ersten sechs Wochen ist ein erheblicher Trainingsaufwand nötig, um den Tieren die Scharrmöglichkeit bekannt zu machen. Innerhalb dieses ersten Haltungszeitraumes ist das Management bemüht, die Hennen an Versorgungsstellen und Nest zu gewöhnen. Deshalb werden praxisüblich die Scharrräume sowie Ausläufe verschlossen gehalten, um die Tiere nicht mit Umweltreizen zu überfordern.

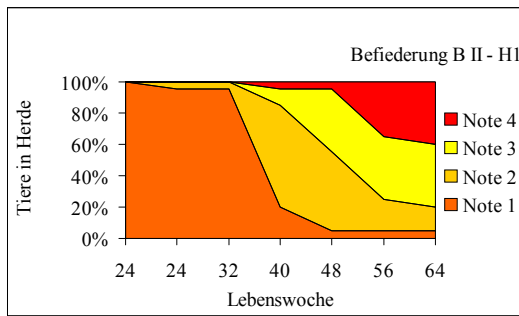


**Abbildung 4: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 BII**

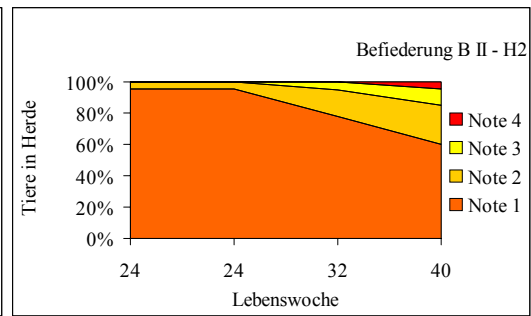
Diese Maßnahme wird zunehmend einschränkbarer, je ähnlicher die Haltungssysteme in der Aufzucht der Legehennen werden. Atemgeräusche konnten nicht festgestellt werden.

Während der gesamten Haltungsperioden wurden Federn in der Einstreu gefunden. Es wurden auch keine ernsthaften Hautverletzungen festgestellt. Das lässt den Schluss zu, dass auch in der Bodenhaltung II kein Federpicken und -fressen sowie Kannibalismus auftrat. Ein vereinzelt Auftreten dieser Verhaltensanomalien ist nicht zu erwarten, weil mit einzelnen federpickenden Tieren ein Lernprozess in der Herde ausgelöst wird, der dieses Verhalten schnell auf die gesamte Herde überträgt (KEPPLER, 2003).

In den Abbildungen 5 und 6 wird der Anteil an Hennen in den Herden nach dem Grad ihrer Befiederung grafisch im zeitlichen Verlauf der Haltungsperioden dargestellt.



**Abb. 5: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B II**



**Abb. 6: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B II**

Der Gefiederzustand verschlechtert sich in Herde 1 bereits nach der 50. Lebenswoche erheblich. Die Tiere haben bereits zu ca. 80 Prozent ein defektes Gefieder. In der zweiten Stallbelegung normalisiert sich dieses Erscheinungsbild weitgehend. In der Herde 1 kann man bei einem geringen Anteil der Hennen das Gefieder als zerstört bezeichnen. Ab der 65. Lebenswoche besitzen nur noch ungefähr 5 Prozent ein intaktes Gefieder. Eine Ursache hierfür kann nicht definiert werden. Die Legeleistungen sind auf einem guten Niveau. Die Futtermittelversorgung ist dem Leistungsniveau der Herde angepasst. Weil dieses Haltungssystem nur mit Kunstlicht ausgeleuchtet wird, ist hier auch kein Stressfaktor zu suchen.

Das noch vorhandene Gefieder ist zu 80 Prozent der Tiere nicht verschmutzt. Ca. 5 Prozent haben jedoch starke Verschmutzungen. Damit präsentiert sich die Herde bis zur Ausstellung in einem deutlich sich verschlechternden Zustand. Besser zeigt sich Herde 2 bei vergleichbaren Haltungsbedingungen. Hiermit wird die Aussage vieler Praktiker gestützt, dass jede Stallbelegung eine eigene dynamische Entwicklung nimmt - und das auch unter vergleichbaren Bedingungen.

Der Kot kann über die gesamten Belegungen als typisch mit normaler Konsistenz eingeschätzt werden. Fliegen und Käfer treten nicht in Erscheinung, jedoch Milben in jeder Belegung ab dem 2. Boniturzeitpunkt. In mehrjährig genutzten Legehennenställen mit bereits aufgetretenem Milbenbefall ist das eine typische Entwicklung. Das Management steuert dieser Entwicklung mit Milbenbekämpfungsmaßnahmen während der Belegung und unmittelbar nach Ausstellung im noch warmen Stall entgegen, wird sie jedoch nicht nachhaltig ändern können.

Die Einstreu zeigt sich trocken und locker. Sie besteht hier aus Sand. Die Nutzhäufigkeit des Scharrraumes ist deutlich vermindert. Parasitologische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt. Eine systematische Wurmbehandlung ist aus den Erfahrungen mit einer Vielzahl anderer alternativer Haltungen aber auch hier anzuraten. Zur Behandlung von bakteriellen Erkrankungen wurden während der Haltungsperioden ebenfalls Antibiotika eingesetzt sowie Nachimpfungen gegen die infektiöse Bronchitis (IB) durchge-

führt. Nach Bedarf erfolgte eine Verabreichung von Vitaminpräparaten und Kalzium zur Stabilisierung der Eiqualität. Der Ernährungszustand der Tiere war kurz vor der Ausstallung gut.

Die Bodenhaltung III mit 7 000 Hennenplätzen hat eine ganzjährige Kotlagerung im Stallraum (Kotkasten). In Abbildung 7 und im Anhang (Abb. TG3) wird die Entwicklung des Erscheinungsbildes der Tiere über die Haltungsperiode in der Herde 1 bzw. 2 zusammengestellt.



**Legestadium 1**

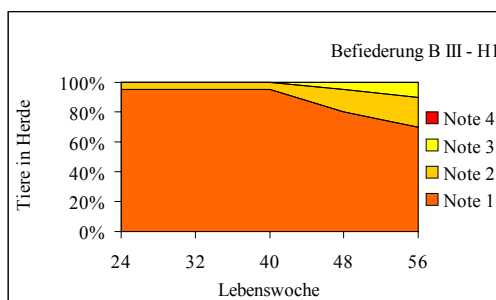


**Legestadium 2**

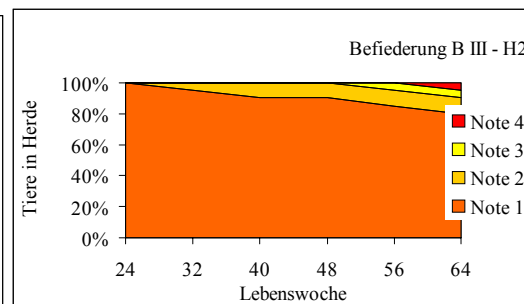


**Abbildung 7: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 1 BIII**

Die Hennen reagierten zu den Herdenbesuchen überwiegend aktiv auf ihre Umwelt und das bereits in der ersten Legeperiode bis ca. 35. Lebenswoche. Die Tiere waren augenscheinlich gesund und es traten keine vernehmbaren Atemgeräusche auf. In der Bodenhaltung III ist die Staubbildung in der Stallluft - subjektiv beurteilt - gering. Als Einstreu werden Holzhobelspäne genutzt, deren Wechsel mehrmals während der Belegung des Stalles nach Bedarf erfolgt. Während der gesamten Haltungsperiode waren Federn in der Einstreu zu finden. In Verbindung mit dem Gefiederzustand und registrierter Hautverletzungen lässt das auch hier den Schluss zu, dass weitgehend kein Federpicken und -fressen auftrat. Der bis zur Ausstellung gute Gefiederzustand bekräftigt diese Aussage. In den Abbildungen 8 und 9 wird der Anteil an Hennen in den Herden der ersten und zweiten Stallbelegung nach dem Grad ihrer Befiederung grafisch im zeitlichen Verlauf dargestellt.



**Abb. 8: Anteil an Hennen in der Herde 1 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B III**



**Abb. 9: Anteil an Hennen in der Herde 2 mit intaktem, defektem, beschädigtem oder zerstörtem Federkleid B III**

Die Tiere haben zu nahezu 70 Prozent bis zur Ausstellung ein intaktes Gefieder. Direkte Gefiederbeschädigungen zeigen nur ca. 10 Prozent der Hennen. In der Herde 2 trat kurz vor der Ausstellung ein geringer Anteil an Hennen mit zerstörtem Federkleid in Erscheinung. 90 Prozent der Tiere haben keine Gefiederbeschmutzung, die restliche Herde hat ein leicht verschmutztes Gefieder. Damit präsentieren sich die Herden bis zur Ausstellung in einem sehr guten Zustand. Der Kot hatte über die gesamten Belegungen eine als normal einzustufende Konsistenz und war hennentypisch.

Fliegen und Käfer traten nicht in Erscheinung. Ein latenter Milbenbefall ist in der Haltung festzustellen. Dieser wird gegen Ende der Stallbelegungen deutlich sichtbar. Der Stall ist seit 2000 im Einsatz. Über Bekämpfungsmaßnahmen wird das Befallsniveau niedrig gehalten. Die Einstreu ist während der gesamten Belegung trocken und locker. Der Wechsel nach Bedarf fördert den Einstreuzustand.

Parasitologische Untersuchungen wurden auch hier nicht durchgeführt. Das zu Bodenhaltung I und II Gesagte trifft in diesem Kontext auch auf Bodenhaltung III zu. Hervorzuheben ist, dass während beider Stallbelegungen keine Behandlungen, insbesondere mit Antibiotika, erfolgten. Der Ernährungszustand der Tiere war kurz vor der Ausstellung gut bis sehr gut.

Nachfolgend werden die durch das Institut für Bakteriologie und Mykologie erarbeiteten und bewerteten Befunde dargestellt.



Die **Bestimmung von Avidin und IgY** gegen LPS (*E. coli* J5) im Blutplasma von Legehennen wurde für zwei Belegungen und in zwei Hennenhaltungen zu verschiedenen Lebenswochen durchgeführt. Für die Blutuntersuchung zur Beurteilung der Gesundheit oder des Gesundheitsstatus hat sich die sondierende quantitative Bestimmung von Entzündungsparametern in der Humanmedizin und Veterinärmedizin bewährt. Weil eine Erhöhung sog. positiver Akute-Phase-Proteine (APP) im Blut das Resultat immunologischer Regelmechanismen sind, stellen solche Blutparameter Effekt- oder Summenparameter für eine Vielzahl verschiedener und einander beeinflussender Regelkreisläufe dar. Weil die Induktion der APP insbesondere durch endogene proinflammatorische Mediatoren, z. B. Zytokine erfolgt, sind solche Parameter auch als unspezifische, aber sensitive Entzündungsmarker charakterisiert.

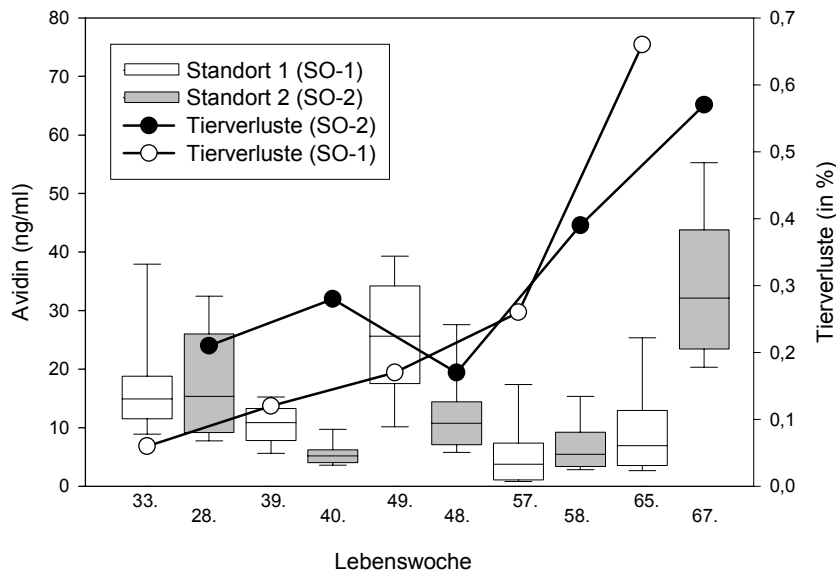
Eine akute Entzündung wird unter anderem mit einem massiven Anstieg der Blutkonzentration der positiven APP angezeigt. Chronische Entzündungen bewirken in der Regel eine anhaltend erhöhte Blutkonzentration. Für das Huhn sind bisher wenige Informationen zu einem solchen effektiven, diagnostisch sensitiven Entzündungsparameter vorhanden.

Das Avidin, bisher vor allem als typisches Protein im Eiklar bekannt, kommt auch im Blut vor. Wie von SCHRÖDL et al. (2001, Vortrag, Stendal) vorgestellt, kann das Avidin sensitiv im Blutplasma mittels ELISA bestimmt werden und steigt nach oraler Infektion mit Salmonellen mehrfach in der Blutkonzentration an. ELO et al. beschrieben bereits 1979 die verstärkte Avidininduktion bei Gewebeerstörung (Traumata) und Entzündung. KUNNAS et al. (1993) wiesen die verstärkte Induktion von aviärem Avidin und dessen mRNA nach bakterieller Infektion nach. Zusammenfassende Untersuchungen zu den Avidin-Genen beim Huhn wurden von AHLROTH et al. (2000) publiziert. Aus den bisherigen Publikationen zum Avidin beim Huhn wird deutlich, dass dieses Protein nicht nur im Eileiter (Oviduct) produziert und abgegeben wird, sondern auch in anderen Organen, Geweben und Zellen, insbesondere in Folge bakterieller oder viraler Infektionen, Gewebetraumata oder entzündungsassoziiert induziert wird.

Des Weiteren sollten die Antikörperspiegel (aviäres IgY) gegen Endotoxin der R-Form (LPS von *E. coli* J5, LPS-Rc-Typ) im Blutplasma erfasst werden, um Hinweise auf eine natürlich erhöhte Auseinandersetzung mit LPS von *E. coli*, als typischer Vertreter der *Enterobacteriaceae* und Bestandteil der Darmflora, zu erhalten. Andererseits reflektiert der antigenspezifische Antikörperspiegel auch die Fähigkeit der Tiere, Antikörper adaptiv freisetzen zu können, was ebenfalls komplex funktionierende, immunologische Regelmechanismen voraussetzt.

Von zufällig ausgewählten Hühnern einer ersten (in 2005) und zweiten Stallbelegung (Belegung 1 und 2) am Standort 1 bzw. 2 wurden zur jeweiligen Lebenswoche von 20 Tieren Blutproben genommen und diese auf Avidin und IgY-anti-LPS (s. o.) quantitativ untersucht. Dabei wurden mit früheren Ergebnissen aus anderen Untersuchungen vergleichbare Konzentrationen bestimmt. Für die Auswertung wurde ein erster laborinterner diagnostischer score-Wert (laborinterner Grenzwert) von größer 25 ng/ml - für erhöhte Avidinkonzentrationen im Blutplasma - definiert.

In den nachfolgenden sechs Abbildungen sind die Ergebnisse vergleichend dargestellt. Die Avidinkonzentrationen (n = 20 je LW) und die relativen Anti-LPS Antikörperkonzentrationen (n = 20 je LW) sowie deren Gegenüberstellung sind als Boxplotgraphik (Median, 25 – 50 Prozent Interquartilbereich, 10 – 90 Prozent Interzentilbereich) dargestellt. Die Tierverluste je LW wurden in der Graphik punktuell hinzugefügt.

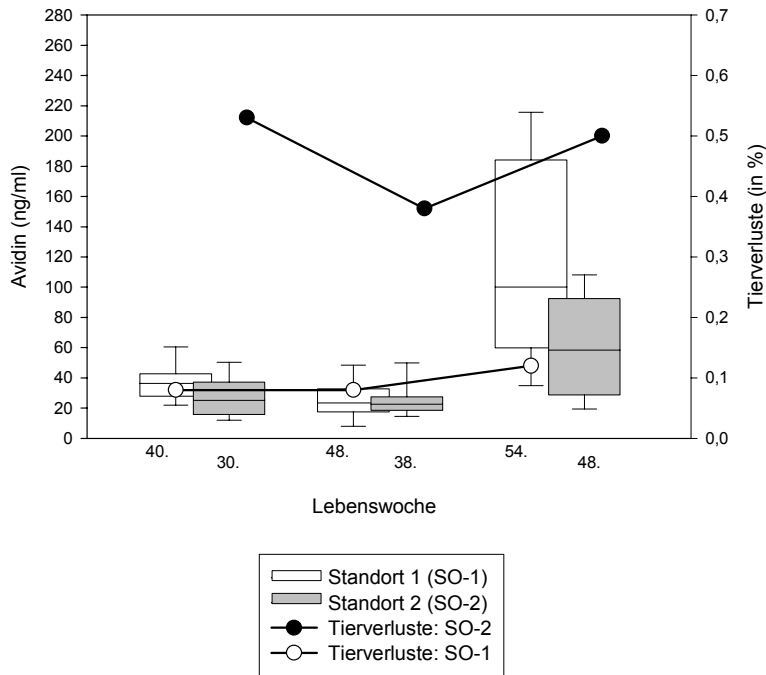


**Abbildung 10: Avidinkonzentrationen im Blutplasma von Hühnern (1. Belegung in 2005) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)**

In Abbildung 10 sind die Avidinkonzentrationen der ersten Belegungen vergleichend zwischen Standort (SO) 1 und 2 zusammengefasst. In der 28. und 33. Lebenswoche (LW) bestehen vergleichbare Konzentrationen zwischen SO-1 und -2. In der 49. LW war die Avidinkonzentration verglichen zu den anderen LW deutlich erhöht (Median über 25 ng/ml). Am SO-2 war in der 67. LW eine drastische Erhöhung der Avidinkonzentrationen im Blutplasma vorhanden. In dem Zeitraum von der 48. zur 67. LW (SO-2) bestand auch eine Erhöhung der prozentualen Tierverluste, wobei dieser Zusammenhang am SO-1 so nicht zu beobachten war.

Verglichen zur 2. Stallbelegung in 2006 fällt auf, dass die Medianwerte der Avidinkonzentrationen sowohl am SO-1 als auch SO-2 insgesamt höher sind als bei der 1. Stallbelegung (s. Abb. 2, 5 und 6). Am SO-2 zur 2. Belegung waren dabei auch relativ erhöhte Tierverluste in der 30., 38. und 48. LW vorhanden. Am SO-1 war die drastische Erhöhung der Avidinkonzentrationen von der 48. zur 54. LW nicht von einer deutlichen Zunahme der Tierverlustszahl begleitet. Bei Wertung der Erhöhung der Avidinkonzentration im Blutplasma als Hinweis für erhöhte Entzündungsreaktionen, Traumata und Infektionen sind folgende Zeitpunkte auffallend (s. Abb. 14 und 15):

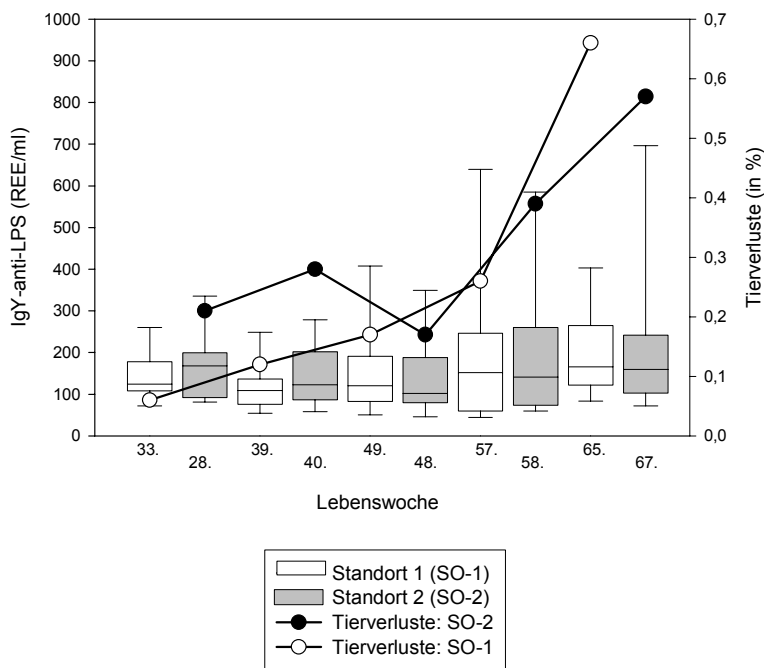
1. die 2. Stallbelegung in 2006 am Standort 1 und 2
2. besonders markant die 48. (SO-2) und 54. Lebenswoche (SO-1) der 2. Stallbelegung
3. in der 1. Stallbelegung die 49. LW am SO-1 und die 67. LW am SO-2 und
4. mit den insgesamt höchsten Avidinkonzentrationen die 54. LW der 2. Belegung am SO-1.



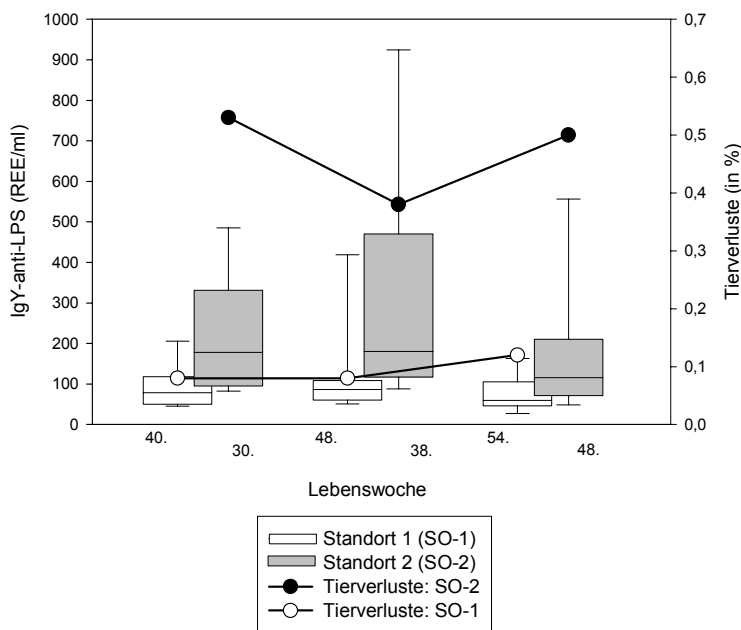
**Abbildung 11: Avidinkonzentrationen im Blutplasma von Hühnern (2. Belegung in 2006) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)**

Parallel zu den Avidinkonzentrationen wurde der Antikörper (Ak)-Spiegel (hier IgY) gegen R-Form LPS (Endotoxin) von *Escherichia coli* (*E. coli*) in den Plasmaproben bestimmt. In allen Plasmen war IgY gegen LPS (*E. coli* J5) nachweisbar. Im Fall einer erhöhten Exposition oder endogenen Auseinandersetzung mit Endotoxin (z. B. von *E. coli*) ist im perakuten Zweitraum (erste Stunden) zunächst mit einem Abfall der Anti-LPS-Spiegel und später mit einem Anstieg bzw. erhöhten Ak-Spiegeln gegen Endotoxin zu rechnen.

In Abbildung 12 und 13 sind die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

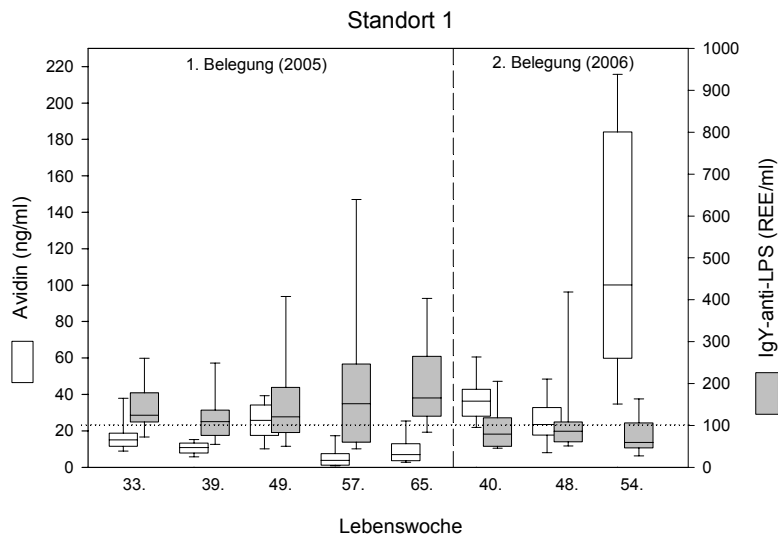


**Abbildung 12:** Relative Konzentrationen an IgY-anti-LPS (*E. coli* J5) im Blutplasma von Hühnern (1. Belegung in 2005) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)



**Abbildung 13:** Relative Konzentrationen an IgY-anti-LPS (*E. coli* J5) im Blutplasma von Hühnern (2. Belegung in 2006) an zwei verschiedenen Stallstandorten im Vergleich zu den prozentualen Tierverlusten in der jeweiligen Lebenswoche (LW)

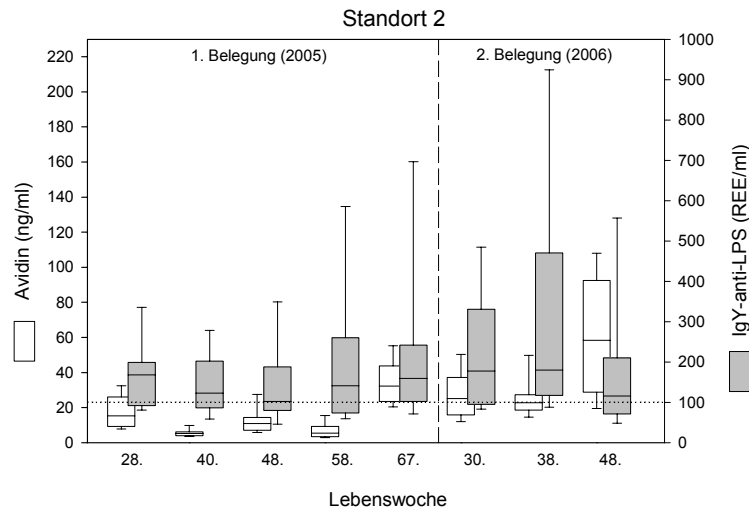
In der 1. Stallbelegung sind die Anti-LPS-IgY-Spiegel nicht deutlich different zwischen den zwei Standorten (SO-1 und SO-2). Ansatzweise ist ein Trend zur Erhöhung der Antikörperspiegel zur 57. bis 67. LW erkennbar (s. Median und größerer Interzentilbereich, Abb. 12). Bei der 2. Stallbelegung fällt der SO-2 mit erhöhten IgY-anti-LPS-Spiegeln verglichen zu SO-1 auf, wobei in der 30. und 38. LW deutliche Antikörpererhöhungen vorhanden sind (größerer Interquartilbereich, s. Abb. 13 und 15). Am SO-1 sind zur 2. Belegung keine wesentlichen Erhöhungen der Anti-Endotoxin-Spiegel erkennbar (s. Abb. 13), verglichen zur 1. Belegung sind die Anti-LPS-IgY-Konzentrationen im Blutplasma dabei eher niedriger (s. Abb. 14).



**Abbildung 14: Vergleichende Darstellung der Avidinkonzentrationen und relativen Anti-LPS-Antikörperspiegel (IgY-anti-LPS von *E. coli* J5) im Blutplasma von Hühnern der ersten (in 2005) und zweiten (in 2006) Stallbelegung am Stallstandort 1**

Bei vergleichender Betrachtung der Avidin- und Anti-LPS-IgY-Konzentrationen am SO-1 der 1. und 2. Belegung (s. Abb. 14) fällt folgender relativer Trend auf: Je niedriger der Anti-LPS-Antikörperspiegel, desto höher die Avidinkonzentrationen. Dies ist insbesondere beim Vergleich der 1. zur 2. Belegung auffallend. Die Tiere der 1. Stallbelegung zeigen eine tendenziell zunehmende immunologische Auseinandersetzung mit *E. coli*-LPS (Median der 39. zu 49. und 57. LW) an, während in der 2. Belegung keine wesentlichen Veränderungen bei IgY-anti-LPS im Bereich der 40. zur 54. LW erkennbar sind.

Diese Zusammenhänge deuten darauf hin, dass die Tiere der 1. Belegung (SO-1) sich mit dem Lebensalter (LW) zunehmend mit bakteriellem Endotoxin auseinandersetzten, immunologisch (adaptiv) darauf reagieren konnten und somit die Avidinkonzentration relativ niedrig blieb (protektive Wirkung). In der zweiten Belegung besteht ein enormer Anstieg der Avidinkonzentration zur 54. LW, der aber nicht mit einer verstärkten Bildung von Antikörpern gegen *E. coli*-LPS in Zusammenhang steht. In dem Fall wären andere Ursachen für die Erhöhung der Avidinspiegel im Blut in Betracht zu ziehen.



**Abbildung 15: Vergleichende Darstellung der Avidinkonzentrationen und relativen Anti-LPS-Antikörperspiegel (IgY-anti-LPS von *E. coli* J5) im Blutplasma von Hühnern der ersten (in 2005) und zweiten (in 2006) Stallbelegung am Stallstandort 2**

Am Standort 2 ist überwiegend ein positiver Trend zwischen erhöhter Avidinkonzentration und IgY-anti-LPS (*E. coli*) zu sehen (s. Abb. 15). Exogen hohe Endotoxinkonzentrationen, erhöhte intestinale *E. coli*-Keimzahlen oder intestinale Barrierestörungen könnten hier mit den erhöhten Avidinkonzentrationen in Zusammenhang stehen. In der 2. Belegung wäre dann aber in der 48. LW ein noch deutlicherer Anstieg der Anti-LPS-Antikörper zu erwarten gewesen. Zu diesem Zeitpunkt sind evtl. weitere oder andere Faktoren als das *E. coli* -LPS bezüglich einer Ursache für die verstärkte Avidininduktion im Tier vorhanden gewesen oder es erfolgte zu diesem Zeitpunkt ein massiver LPS-Ak-Verbrauch.

### 4.3 Betriebswirtschaft

#### Naturalleistungen der Herden

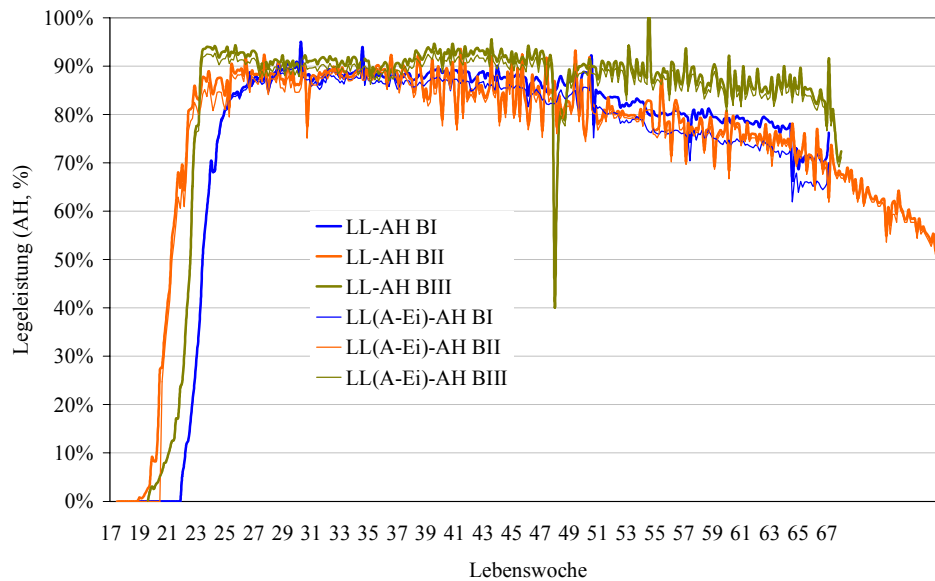
Die Tiere wurden im Alter von 17 bis 18 Wochen geimpft und schnabelküpelt eingestallt. Die erste Bonitur in den Herden nach ca. sechs Wochen bestätigte das zur Einstellung beschriebene Erscheinungsbild. Die Tiere waren gut entwickelt und hatten die geforderte Lebendmasse. Mit Ausnahme einer kleinen Teilherde in der Bodenhaltung III entstammen die Herden aus Herkünften mit braunschaligen Eiern (Lohmann Braun, Hissex Braun). Aus Herkunftsvergleichen unter Praxisbedingungen ist bekannt, dass hier mit einer Legeleistung von 77 Prozent je Durchschnittshenne gerechnet werden kann (DAMME, 2003). In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Kenndaten zum Herdenmanagement zusammengestellt.

**Tabelle 1: Produktionstechnische Kennwerte der untersuchten Unternehmen**

Kennwert (Kw)	Unit	von	bis	Berechnung
Produktion	Tage	337	401	
Service	Tage	15	26	
Hennenverluste	%	3,8	9,2	Anzahl eingestallter Tiere – tgl. aus Stall verbrachter
Anteil verlegter Eier	%	0,4	2,3	aufgelistete Bodeneier
Anteil Knick/Schmutzeier	%	0,3	3,3	aufgelistete Verlusteier
Futtermverzehr /DH	g/Tag	111	125	Futtermverzehr/Haltungstage/ Durchschnittsbestand
Wasserverbrauch / DH	l/Tag	0,180	0,202	Wasserverbrauch/Haltungstage /Durchschnittsbestand
Bezugsbasis 365 Tage				
Legeleistung gesamt/ AnfangsHenne	Stck	272	307	Gesamteizahl/eingestellte Hennenzahl
Legeleistung A-Ei/AnfangsHenne	Stck	272	303	Gesamteizahl – KnickSchmutz /eingestellte Hennenzahl

Die Haltungsperioden erstreckten sich über 337 bis 401 Tage. Wegen des deutlichen Leistungsabfalls ab der 65. Lebenswoche der Hennen fokussieren die Unternehmen eine Nutzungsdauer der Herden, die einen Produktionszyklus von ca. einem Jahr gewährleistet. Der Einstalltermin muss so gewählt werden, dass zum Oster- und Weihnachtsgeschäft die maximale Produktbereitstellung in geforderter Qualität gesichert ist. Die Strategien in den Unternehmen sind hierfür sehr differenziert. Nach betriebsindividueller Gewichtung variieren Einstalltermin und Haltungsdauer auch innerhalb der Unternehmen. In den Bodenhaltungen wurden an 309 bis 373 Legetagen auf ein Jahr bezogen zwischen 272 und 303 vermarktungsfähige Eier je Henne produziert. Eigene Untersuchungen zeigten bisher, dass die mittleren Legeleistungen in alternativen Systemen zwischen 64,4 und 92,5 Prozent (mittlere Nutzungsdauer 368 Tage) lagen (LFL, 2004). Das Leistungsniveau in den jetzt untersuchten Haltungen war zwischen den Haltungen deutlich ausgeglichener und auf hohem Niveau. Die primäre Ursache ist hier im Haltungsmanagement zu suchen. In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die im zeitlichen Verlauf über die Legeperiode realisierten Legeleistungen je Anfangshenne in den Herden gegenübergestellt. Mit dem Bezug zur Hennenzahl bei der Einstallung der Herde werden die Leistungen unter Berücksichtigung der Verluste abgebildet.

Die Tiere beginnen zwischen der 20. und 22. Woche mit der Eiablage. Hierzu synchron wird die Legereife erreicht. Das erreichte Niveau ab der 25. Woche liegt im Mittel oberhalb der erwarteten Werte. Während in den Bodenhaltungen I und II ab der 50. Lebenswoche ein deutlicher Rückgang festzuhalten ist, verbleibt das Leistungsniveau in der Bodenhaltung III auf hohem Niveau.



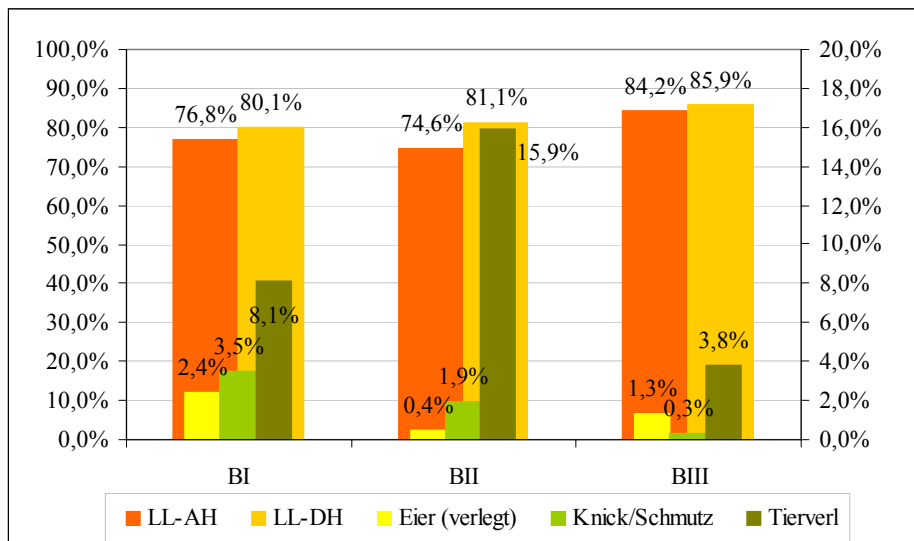
**Abbildung 1: Legeleistung (gesamt und A-Ei) je Anfangshenne in den Haltungen (1. Belegung) im zeitlichen Verlauf**

Der Leistungseinbruch in der 48. Woche ist hier die Auswirkung einer Störung in der Futtermittellieferung. Es ist deutlich zu sehen, welche nachhaltigen Auswirkungen der Ausfall der Fütterung auf die Legehennen hat. Das ursprüngliche Leistungsniveau wird erst nach zwei Wochen erreicht. Die geringsten täglichen Leistungsschwankungen sind in der Bodenhaltung I festzuhalten. Hierbei sollte der tägliche Zeitpunkt der Eiabgabe beachtet werden. Ein zeitlicher Versatz kann derartige Schwankungen ebenfalls erzeugen. Der weitere Leistungsabfall in der Bodenhaltung II ab der 61. Woche auf bis zu 55 Prozent in der 74. Woche verdeutlicht, dass der in der Praxis übliche Ausstellungszeitpunkt um die 68. Woche hierin seine Berechtigung findet. Vergleichbare Leistungsentwicklungen wurden auch in der 2. Stallbelegung in den Bodenhaltungen sichtbar (Anhang, Abb. BW1). Im Gegensatz zur 1. Stallbelegung hält die Herde in der Bodenhaltung I über einen längeren Zeitraum das hohe Niveau.

Der tägliche Futteraufwand liegt in den Herden zwischen 111 und 125 g je Tier. Die Tiere nehmen im Mittel zwischen 0,182 und 0,202 l Wasser täglich auf. Damit wird der benötigte Wasserbedarf von ca. 0,200 l (JEROCH UND DÄNICKE, 2003) gedeckt und auch der erwartete Futterverbrauch erreicht. Hierbei ist festzuhalten, dass die niedrige Stalltemperatur von 12 °C im Winter in der Bodenhaltung I zu keiner nennenswerten Erhöhung des Futterverbrauches geführt hat und auch die Legeleistung davon nicht nachteilig beeinflusst wurde. Hier zeigen die Tiere eine erhöhte Toleranz gegenüber niedrigeren Stalltemperaturen mit Bezug auf die Befunde von MÜLLER (2003).

In der Abbildung 2 sind neben der bereits besprochenen Legeleistung auch Tierverluste, Anteile verlegter Eier und Knick-/Schmutzeier aus der ersten Stallbelegung gegenübergestellt (vgl. Anhang Tab. BW1).



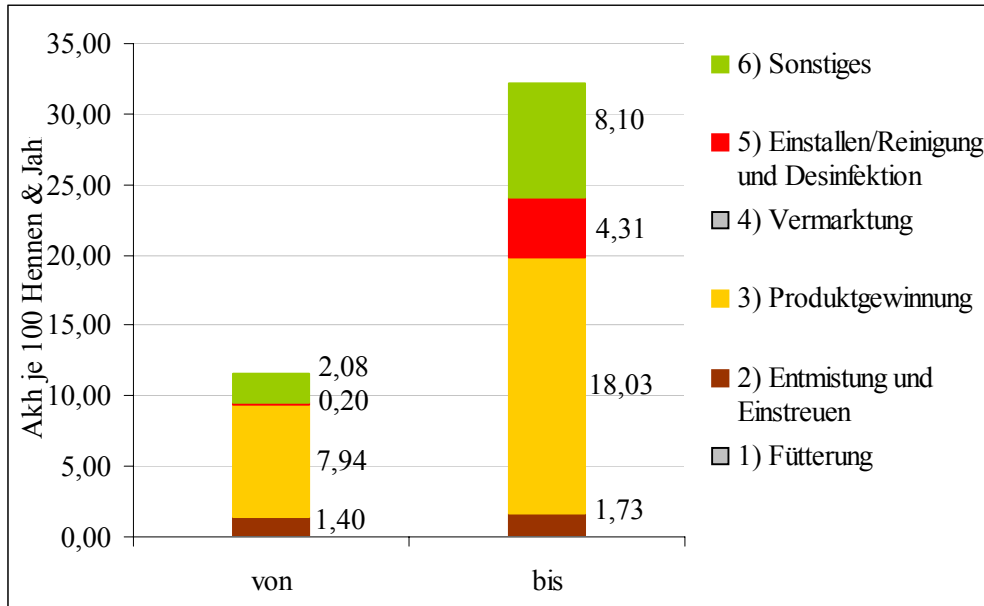


**Abbildung 2: Legeleistung je eingestellte Henne und Durchschnittsbestand sowie Tierverluste, verlegte Eier und Knick-/Schmutzeier in den Haltungen (1. Belegung)**

Die Tierverluste liegen zwischen 3,8 und 15,9 Prozent. Der obere Wert hat seine Ursache in der deutlich verlängerten Haltungsperiode in der Bodenhaltung II bis zu 401 Tagen. Im Vergleich mit der 2. Stallbelegung (Anhang, Abb. BW2, Tab. BW2) ist festzuhalten, dass bei sonst vergleichbarem Abbild die Tierverluste in der Bodenhaltung II wiederum auf hohem Niveau rangieren. Hier könnte mit Vorsicht eine systemimmanente Tendenz abgeleitet werden. In der Bodenhaltung I beenden nur halb so viele Tiere die Legetätigkeit in der 2. Belegung gegenüber der ersten. Die Verluste im Auslauf werden hierbei nicht abgebildet, weil keine Auswertung von Schlachtprotokollen erfolgte. Die Bodenhaltung III hat in der 2. Stallbelegung mit fast 11 Prozent Tierverlusten gegenüber der 1. Belegung ein fast dreifach so hohes Niveau. Die Tierverluste liegen insgesamt zwischen 3,8 und 15,9 Prozent. Im Schrifttum werden Verluste zwischen 2,3 und 34,8 Prozent (KREIENBROCK et al., 2003), mit Schwerpunkt zwischen 12 und 18 Prozent (PETERMANN, 2003; WEBER et al., 2002) beschrieben. Die in vorliegender Untersuchung festgehaltenen Verluste liegen deutlich unter diesem Niveau, sind jedoch durch eine hohe Varianz gekennzeichnet. Im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen (LFL, 2004), aus denen der Anteil an verlegten Eiern mit im Mittel 3,6 Prozent beziffert werden konnte, liegen die hier gewonnenen Kennwerte mit 0,4 bis 2,3 Prozent niedriger. Dagegen ist der Anteil an Knick-/Schmutzeiern im Mittel vergleichbar. Mit 0,2 bis 2,4 Prozent verlegte Eier ist ein günstiges Niveau erreicht, was für ein gutes Herdenmanagement insbesondere im ersten Legeabschnitt spricht.

### Arbeitswirtschaft

Der zeitliche Gesamtaufwand resultiert aus den Teilzeitaufwänden für Fütterung, Pflege der Einstreu, Produktgewinnung (Eiabsammlung, Auflesen verlegter Eier), der Vermarktung sowie dem Aufwand für Reinigung und Desinfektion des Stalles, der in der Hauptsache während der Serviceperiode anfällt. Die Spanne des Aufwandes an Arbeitszeit zur Frischeierproduktion in den untersuchten Unternehmen wird in der Abbildung 3 gegenübergestellt.



**Abbildung 3: Struktur und zeitlicher Aufwand für durchzuführende Arbeitsgänge**

Die Fütterung erfolgt in den Haltungen automatisch. Dabei entstehen unmittelbar keine Arbeitszeitaufwendungen. Eventuelle Instandhaltungen fließen als Aufwand für Reparaturleistungen in den Zeitkomplex „Sonstiges“ ein. Der zeitliche Aufwand in den Voliersystemen liegt im Mittel bei zwischen 13,6 Akh je 100 Hennen im Jahr. Im Schrifttum werden zeitliche Aufwendungen für zwischen 15,6 und 32,4 Akh je 100 Hennen im Jahr (KLEMM UND UHLMANN, 2000) festgehalten. Hierbei wächst der Aufwand mit einem nachgeordneten Auslaufsystem innerhalb der angegebenen Spanne. Eigene Erhebungen in mehreren Haltungen (LFL, 2004) ergaben zeitliche Aufwendungen von im Mittel 23,96 Akh je 100 Hennen im Jahr in Bodenhaltungssystemen (> 10 000 Tier, Volieren) mit Auslauf. Hieraus wird deutlich, dass in den jetzt untersuchten Unternehmen bezüglich der Arbeitszeit maximale Einsparungspotenziale ausgeschöpft wurden. Mit der Abnahme des Tierbestandes wird der zeitliche Aufwand größer. So wird der zeitliche Aufwand von 31,84 Akh je 100 Hennen im Jahr in der Bodenhaltung mit weniger als 10 000 Hennenplätzen benötigt. Für diese Bestandsgrößen (meist klassische Bodenhaltungen) werden Arbeitszeitaufwendungen zwischen 20,76 und 38,21 Akh je 100 Hennen im Jahr beschrieben. Eigene Untersuchungen (LFL, 2004) in der alternativen Legehennenhaltung ergaben einen mittleren jährlichen Zeitaufwand von 31,92 Akh je 100 Hennen.

Dabei wurden für die bewerteten Arbeitsgänge

Entmistung/Einstreu	1,60
Produktgewinnung	19,36
Einstellung/R&D	4,20
Sonstiges	4,00
Auslaufpflege	2,76

Akh je Henne im Jahr aufgewendet. Demgegenüber ergaben sich in den aktuellen Erhebungen im Mittel zeitliche Aufwendungen für die Arbeitsgänge

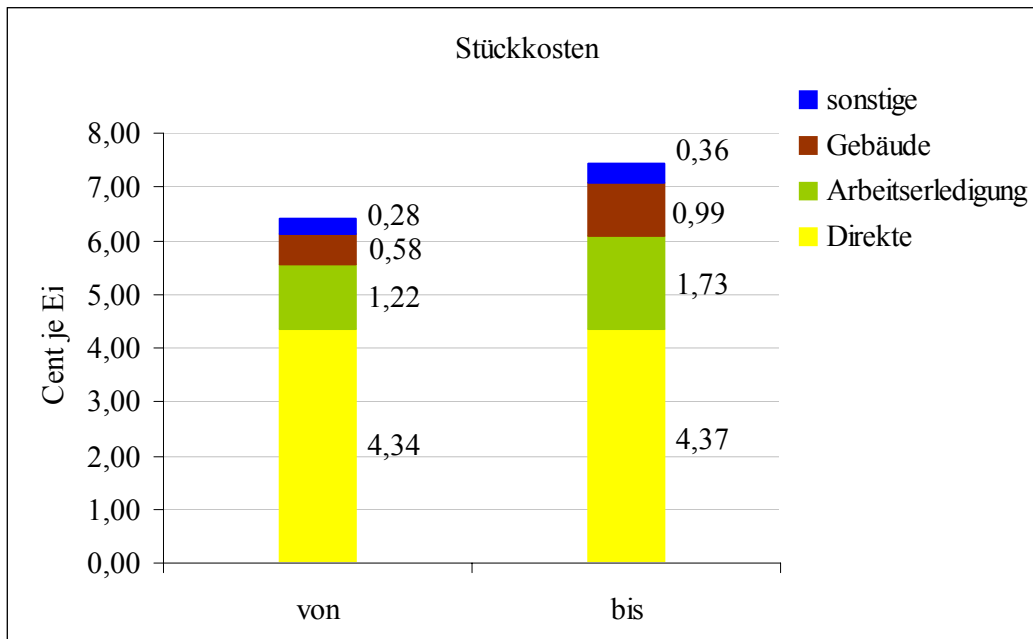
Entmistung/Einstreu	1,51
Produktgewinnung	11,64
Einstellung/R&D	1,60
Sonstiges	4,92

Akh je Henne im Jahr. Die derzeit untersuchten Haltungen haben zum überwiegenden Anteil keinen Auslauf und Wintergarten, wodurch sich der Aufwand in den Arbeitsgängen „Sonstiges“ gegenüber bisherigen Befunden reduziert. Beim Vergleich beider Datenpools ist zu berücksichtigen, dass in den zurückliegenden Untersuchungen die Haltungen deutlich heterogener waren und zum überwiegenden Anteil auch kleinere Bodenhaltungen die Stichprobe charakterisierten. In den jetzigen Erhebungen sind Legehennenbestände mit im Mittel 15 000 Hennenplätzen bestimmend für die Stichprobe. Diese sind durch die realisierte Tierkonzentration arbeitszeitbezogen effektiver. So wird z. B. das Aufsetzen der unsortierten Eier auf die Pappen überwiegend mittels Farmpacker realisiert. Hierüber begründet sich der deutlich geringere jährliche Zeitaufwand für die Arbeitsgänge im Komplex „Produktgewinnung“. Servicearbeiten werden überwiegend als Dienstleistung bezogen, wodurch auch der Komplex „Einstellung/R&D“ unter das Niveau bisheriger Erhebungen fällt.

#### Stückkosten

Die finanzielle Bewertung der ermittelten zeitlichen Aufwendungen fließt in die Ermittlung der Stückkosten je unsortiertes, vermarktungsfähiges Ei ab Stalltür ein. Der betriebswirtschaftliche Erfolg ist einerseits von dem im Haltungssystem ausnutzbaren genetischen Leistungspotenzial der Herde und andererseits von dem auf dieses Potenzial ausgerichteten Kostenmanagement abhängig. Einen erheblichen Einfluss haben auch die Vermarktungsstrategie mit dem dafür nötigen finanziellen und personellen Aufwand sowie der am Markt erzielte Erlös. Weil letzterer deutlich betriebsspezifisch determiniert ist, finden die Vermarktungsstrategien der Unternehmen keinen Eingang in die Bewertung. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass der finanzielle Aufwand inklusive der Vermarktung z. T. deutlich über den hier dargestellten Erzeugungsstückkosten von unsortierter Ware ab Stalltür liegt.

In der Abbildung 4 werden die hierfür kalkulierten Stückkosten in den untersuchten Haltungen in ihrer Spannweite gegenübergestellt.



**Abbildung 4: Kostenblockstruktur und Stückkosten der Erzeugung von frischen Eiern in den Bodenhaltungen**

Erwartungsgemäß ist der finanzielle Aufwand zur Erzeugung von unsortierten Frischeiern in den Haltungen mit mehr als 10 000 Hennenplätzen und ohne Auslauf mit 6,42 Cent je vermarktetes Ei am geringsten. Die Angliederung eines Auslaufs erhöht hier die Stückkosten insgesamt um ca. 0,13 auf 6,45 Cent. So liegt die bezogene Lohnarbeit in der Bodenhaltung I um 0,03 Cent je Ei gegenüber Bodenhaltung II höher. Der tägliche Futteraufwand liegt gegenüber Haltung II um 12 g je Henne höher. Das sind 0,1 Cent höhere Kosten je Ei. Eine primäre Ursache hierfür dürfte in dem erhöhten Erhaltungsbedarf durch die Auslaufnutzung zu finden sein. Eine weitere Kostenerhöhung verursacht der finanzielle Aufwand für die zugekaufte Fläche für den Auslauf. Bei 4 m<sup>2</sup> je Huhn werden insgesamt ca. 6 ha zusätzliche Fläche benötigt.

Die Haltung unter 10 000 Henneplätzen liegt in den Stückkosten im oberen Bereich. Sie liegt auf einem im Schrifttum beschriebenen Niveau. So werden hier 6,5 bis 8,2 Cent je Ei für alternative Bodenhaltungssysteme ohne Auslauf beschrieben (DAMME, 2006). In den bereits zitierten eigenen Untersuchungen entstanden Stückkosten in Bodenhaltungen über 10 000 Hennenplätze (Volieren) um ca. 6 Cent und über die gesamte Stichprobe um ca. 8 Cent je Ei. Hier lagen die Legeleistungen unterhalb des jetzt ermittelten Niveaus, woraus eine weitere Kostenreduzierung zu begründen ist.

Um die analysierten Kostenarten besser mit den bereits erhobenen Befunden und dem Schrifttum vergleichen zu können, werden die Kostenarten im Folgenden nochmals umstrukturiert. So wurden in eigenen Erhebungen (LFL, 2004) für die Blöcke

Direktkosten und Lohnarbeitskosten von	5,00 Cent,
Kapitalkosten (AfA, Zins, Unterhalt) von	0,90 Cent,
Personalkosten von	1,00 Cent,
sonstige Kosten von	0,30 Cent

je Ei ermittelt. In den jetzigen Untersuchungen ergeben sich im Mittel für

Direktkosten und Lohnarbeitskosten	4,28 Cent,
Kapitalkosten (AfA, Zins, Unterhalt) von	1,38 Cent,
Personalkosten von	0,69 Cent,
sonstige Kosten von	0,32 Cent

je vermarktetes Ei. Bisherige Erhebungen weisen im Mittel Stückkosten von 7,20 Cent aus, 70 Prozent davon betragen die Direktkosten und Lohnarbeitskosten. Hierunter entfallen auf das Futter 60 Prozent und auf die Tiereinsatzkosten weiter 28 Prozent. In den aktuellen Erhebungen entstehen bei der Produktion von Frischeiern im Mittel Stückkosten in Höhe von 6,67 Cent. Die Reduzierung resultiert primär aus geminderten Direktkosten bzw. Personalkosten. Die Direktkosten haben einen Anteil von 64 Prozent an den Stückkosten. Innerhalb der Direktkosten nimmt das Futter einen Anteil von ebenfalls 60 Prozent und die Tiereinsatzkosten einen Anteil von ebenfalls 28 Prozent im Mittel aller untersuchten Haltungen ein. Als kurzfristig beeinflussbare Kostenblöcke wurden von den Unternehmen Reduzierungen im Bereich der Direktkosten und der Personalkosten realisiert. Hier sind nunmehr weitere Anpassungsräume weitgehend ausgeschöpft. Weil die jetzt untersuchten Haltungen zeitnah in ihre Haltungen investiert haben, erhöht sich der Aufwand im Bereich der Kapitalkosten im Mittel der untersuchten Haltungen gegenüber bisherigen Befunden.

## **5 Zusammenfassung**

Die Untersuchungen zu den emissionsmindernden Maßnahmen in Legehennenhaltungen wurden über zwei Jahre durchgeführt. Es erfolgte die Untersuchung dreier Bodenhaltungssysteme. Die Bodenhaltung I mit 15 000 Legehennenplätzen ist ein Volieresystem mit Scharrraum, Wintergarten und Auslauf. Der Kot wird zweimal in der Woche aus dem Stall verbracht (Kotbänder). Als emissionsmindernde Maßnahme ist hier eine Stallluftbefeuchtungsanlage zur Minderung der Staubbildung installiert.

Die Bodenhaltung II mit 21 000 Legehennenplätzen ist ein Bodenhaltungssystem mit zwei Funktionsebenen. Auf der oberen Ebene befindet sich der Funktionsbereich für Nahrungsaufnahme, Eiablage und Ruhen, auf der unteren Ebene befindet sich der Scharrraum. Der Kot wird zweimal in der Woche aus

dem Stall verbracht (Kotbänder). Als emissionsmindernde Maßnahme ist eine modifizierte Tunnellüftung mit Monoschacht zur effektiven Erhöhung der Quellhöhe (12,5 m) umgesetzt.

Die Bodenhaltung III mit 7 000 Legehennenplätzen ist eine klassische Bodenhaltung mit Kotkasten und Scharrraum. Der Kot wird ganzjährig im Stall gelagert. Als emissionsmindernde Maßnahme wurde die Ablufführung so verändert, dass sie vor Verlassen des Stallraumes den Kotstapel überströmt. Hierdurch soll eine Abtrocknung der Oberfläche des Kotstapels befördert werden.

Alle Haltungen haben ein Unterdrucklüftungssystem mit temperaturabhängiger Steuerung.

Während des Untersuchungszeitraumes wurden die Lufttemperatur und -feuchte im Stall und Stallumfeld kontinuierlich gemessen. Innerhalb von Zeitfenstern wurden für die Außenlufttemperaturbereiche  $< 6\text{ °C}$  (Winter),  $6 - 18\text{ °C}$  (Übergang) und  $>18\text{ °C}$  (Sommer) im Tagesmittel die gasförmigen Raumlasten (Ammoniak, Kohlendioxid, Lachgas und Methan), der Abluffvolumenstrom sowie die Luftdruckverhältnisse (innerhalb und außerhalb des Stalls) gemessen. Die Raumlast „Staub“ (Staub, Endotoxine, Bakterien, Pilze) wurde gravimetrisch jährlich an zwei Tagen (Sommer, Winter) bestimmt. Zusätzlich erfolgten in Zeitfenstern von bis zu 48 Stunden kontinuierliche Staubmessungen. Auf dieser Basis wurden das Stallklima und das Emissionsverhalten der Haltungen bezüglich der ermittelten Parameter bewertet.

Weiterhin erfolgten Herdenbonituren, Zusammenstellungen von Daten zur Herdengesundheit und Untersuchungen der Blutparameter Avidin zur Abschätzung einer immunologischen Belastung. Hieraus wurde ein Gesamtbild zur Herdengesundheit erarbeitet.

Die Naturalleistungen, Arbeitsaufwand und Kostenstruktur wurden zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der Hennenhaltungen erfasst.

Die Ergebnisse bestätigen, dass in den untersuchten Hennenhaltungen im Mittel die für Hennen gut tolerierbaren Temperaturen zwischen  $12$  und  $25,5\text{ °C}$  (FREEMANN, 1969; TÜLLER, 1999) erreicht wurden. Die Extremwerte im Stall lagen dabei im Winter bei  $10\text{ °C}$  und im Sommer bei bis zu  $35,5\text{ °C}$ . Dabei ist es über das Lüftungsmanagement und die Stallisolation im Sommer weitgehend gelungen, die Temperaturen im Stall  $1,7$  bis  $4,6\text{ K}$  über den Außentemperaturen zu halten. Ein sehr differenziertes Klimamanagement mit Sollwerttemperaturen von  $12 - 24\text{ °C}$  im Winter und ab  $18\text{ °C}$  im Sommer mit außentemperaturangepassten Sollwerten führt zu haltungstypischen Klimaten. Die Luftfeuchte im Stall variierte zwischen  $43 - 91$  Prozent. Im Mittel lag sie zwischen  $49 - 70$  Prozent und damit im unteren Bereich bzw. unterhalb der Optimalwerte zwischen  $60$  und  $80$  Prozent.

Die Lachgaskonzentrationen unterschieden sich in den untersuchten Haltungen nicht von den Werten im Außenbereich. Methan trat nur vereinzelt in marginalem Umfang auf. Die Ammoniakkonzentration lag im Sommermittel zwischen  $0,6 - 3,9\text{ mg/m}^3$  in den Haltungen ohne und bei  $5,3\text{ mg/m}^3$  mit stallseitiger Kotlagerung. Im Winter lagen die Werte zwischen  $1,0 - 5,5$  bzw. bei  $18,9\text{ mg/m}^3$  im Mittel der Messebenen

Lüftung, Personal und Tier. Im emissionsrelevanten Bereich der Lüftung wurden überwiegend um 10 – 30 Prozent niedrigere Werte als im Tierbereich gemessen. Der Grenzwert liegt für die Ammoniakkonzentration bei 13,9 mg/m<sup>3</sup>. Die Kohlendioxidkonzentration lag im Sommermittel zwischen 1,6 – 1,9 g/m<sup>3</sup>. Im Winter lagen die Werte zwischen 2,8 – 5,0 g/m<sup>3</sup> in allen Haltungen. Der Grenzwert liegt für die Kohlendioxidkonzentration bei 5,4 g/m<sup>3</sup>.

Die Haltungen waren mit Lüftungsanlagen ausgestattet, die eine theoretische Lüfrate um die 10 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. ermöglichen. Tatsächlich wurden im Sommer mittlere Lüfraten zwischen 2,9 – 5,8 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. bzw. im Winter zwischen 1,1 – 2,1 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. gemessen. Nach DIN 18910-1 sind für die Haltungen Mindestlüfraten im Winter von 0,7 und im Sommer von bis zu 3,9 – 5,8 m<sup>3</sup>/h\*Tpl. vorzusehen. Für Ammoniak wurde ein Massenstrom von 0,27 – 1,97 g/h\*GV ohne bzw. 10,39 g/h\*GV mit stallseitiger Kotlagerung ermittelt. Die Emissionsfaktoren lagen zwischen 0,0075 – 0,0565 kg/Tpl.\*a bzw. 0,3120 kg/Tpl.\*a. Der Grenzwert bzw. Emissionsfaktor für den Massenstrom je Stunde und Jahresausstoß je Tierplatz beträgt 150 g bzw. 0,0911 kg ohne und 0,3157 kg mit Kotlager im Stall.

Für Kohlendioxid ist kein Grenzwert vorhanden. Als umweltrelevantes Gas sollte hier jedoch eine Minimierung erfolgen. Es wurde ein stündlicher Massenstrom von 1,34 – 1,48 kg/h\*GV im Jahresmittel ermittelt. Die Emissionsfaktoren je Tierplatz und Jahr lagen zwischen 38,3 – 44,5 kg. Der Staubgehalt wurde für die Fraktionen einatembar, alveolengängig und PM10 ermittelt. In den untersuchten Haltungen wurden 3,8 – 23,8 mg/m<sup>3</sup> einatembaren Staub ermittelt. Der aus arbeitsmedizinischer Sicht bestehende „Grenzwert“ liegt bei 4 mg/m<sup>3</sup>. Für Käfighaltungen liegt der Referenzwert bei 0,65 mg/m<sup>3</sup> Stallluft. Im Bereich der Lüftung wurden Konzentrationen zwischen 6,3 – 15,5 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Die TA-Luft legt hier einen Grenzwert von 20 mg/m<sup>3</sup> fest. Die ermittelten Werte für den alveolengängigen Staub lagen zwischen 1,1 – 7,4 mg/m<sup>3</sup>. Hierfür ist der „Grenzwert“ 1,5 mg/m<sup>3</sup>. Für PM10 wurde ein Konzentrationsniveau zwischen 2,6 – 11,4 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Hiermit überschreiten der überwiegende Teil der Kenndaten die Grenz- und Empfehlungswerte. Für Endotoxine existiert nur ein „no effect level“ für Erkrankungen der Atemwege zwischen 100 – 2 000 EU/m<sup>3</sup>. Die in den Haltungen gemessenen luftgetragenen Endotoxine hatten ein Niveau zwischen 520 – 8 400 EU/m<sup>3</sup>.

Für luftgetragene Bakterien und Schimmelpilze gibt es keine Richtwerte. In den untersuchten Haltungen wurden 647 – 14 000 x10<sup>3</sup> KBE/m<sup>3</sup> Gesamtkeime und 1,8 – 190 KBE/m<sup>3</sup> gram-negative Bakterien nachgewiesen. Referenzwerte zur Geflügelhaltung aus Literaturbefunden liegen im Mittel bei 28 x10<sup>3</sup> KBE/m<sup>3</sup> GKZ bzw. 46 x10<sup>3</sup> KBE/m<sup>3</sup> gram-negative Bakterien. Für Käfighaltungen bei 11 x10<sup>3</sup> KBE/m<sup>3</sup> GKZ und 4,9 KBE/m<sup>3</sup> gram-negative Bakterien. Schimmelpilze wurden in Konzentrationen zwischen 370 – 4 532 KBE/m<sup>3</sup> ermittelt.

Für die Staubemissionen werden in der TA-Luft maximale Massenströme von 200 g/h vorgeschrieben. In den untersuchten Haltungen wurden Massenströme von 188 – 436 g/h im Jahresdurchschnitt ermittelt. Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen lagen zwischen 47 – 81 GE/m<sup>3</sup>. Sie reihen sich damit in die

Befunde aus der Literatur ein. Niedriger als bisher beschrieben liegen die errechneten Geruchsemissionsfaktoren. Hier wurde ein Wert zwischen 12 – 13 GE/s\*GV ermittelt.

Die Tiergesundheit kann insgesamt mit gut bis sehr gut eingeschätzt werden. Der Einsatz von Antibiotika nahm mit der Größe des Tierbestandes zu. Die rote Vogelmilbe ist in allen Beständen zu finden. Die ersten Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen zum Avidin an Hühnern stellen erste orientierende Untersuchungs- und Interpretationsmöglichkeiten dar. Erkennbar ist, dass die quantitative Untersuchung sog. unspezifischer Entzündungsparameter (Widerspiegelung bestehender Entzündungsreaktionen, Traumata und Infektionen) wie z. B. des Avidins im Blut vom Huhn und parallel der indirekte Erregernachweis als messbarer Parameter der Auseinandersetzung zwischen Wirt und Erreger (Huhn und Endotoxin von *E. coli*) sinnvolle und interpretationsmögliche Untersuchungsebenen darstellen. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn Stress- und Belastungssituationen im Bestand erfasst werden sollen. Dabei sind weitere umwelt- und stallhygienische Parameter, insbesondere bei Leistungstieren bzw. -herden unbedingt mit zu erfassen und zu berücksichtigen.

Die Verluste lagen zwischen 3,8 – 9,0 Prozent. Bei einer Legeleistung von 77 – 84 Prozent je Anfangshenne wurden 272 – 303 vermarktungsfähige Eier produziert. Der Aufwand an Arbeitszeit lag dabei zwischen 13,3 – 32,4 Akh/100 Hennen im Jahr. Hierbei rangieren die Haltungen mit einem größeren Bestand im unteren Segment. Die ermittelten Stückkosten lagen zwischen 6,42 – 7,47 Cent (ohne Vermarktung). Die Auswertung der ermittelten Parameter ergab für die zu prüfenden emissionsmindernden Maßnahmen:

Das Stallklima und Emissionsverhalten der Haltung mit modifizierten Tunnellüftungssystem und Monoschicht ist für Tier und Umwelt gut geeignet. Hier wurden bezüglich Konzentration und Emission die niedrigsten Kenndaten ermittelt. Eine Reduzierung der Sollwerttemperatur (24°C) ist empfehlenswert, weil hier die Kohlendioxidgehalte teilweise auf hohem Niveau liegen. Die Stallluftbefeuchtung zeigte auch nach der Modifikation von Frequenz und Sprühdauer keine eindeutige Wirkung. Diese Bodenhaltung hat die höchsten Staubkonzentrationen. Hier besteht dringend weiterer Untersuchungsbedarf.

Die konzipierte Überströmung des Kotstapels im Kotkasten zur Abtrocknung der Oberfläche ist an ein sicheres Lüftungsmanagement gebunden. Die Untersuchungen zeigten, dass hier die Gefahr besteht, durch zu hohe Luftströme eine Ammoniakfreisetzung zusätzlich zu induzieren. Das Stallklima ist dabei weiterhin gut, es werden jedoch unbemerkt die Emissionsraten nach oben gesetzt. In den Untersuchungen erbrachte die Verminderung der Lüftungsraten bei unverändertem Stallklima eine deutliche Senkung des Massenstromes. Und ganz beiläufig hilft es auch, Energie zu sparen.



## 6 Fazit

- Der Stallklimaparameter Lufttemperatur ist in alternativen Bodenhaltungen über die Außenklimaerflüsse sehr eng an die Außentemperatur gekoppelt.
- In den untersuchten Haltungen wird dennoch weitgehend der für Hennen gut tolerierbare Temperaturbereich zwischen 12 – 25 °C gesichert. Extremwerte (zeitlich begrenzt) liegen bei 10 und 36 °C im Stall.
- Die Luftfeuchte liegt im Mittel zwischen 49 – 70 Prozent. Als optimal gilt ein Bereich zwischen 60 – 80 Prozent. Hiermit sind die Haltungen, insbesondere die Volieren deutlich zu trocken und befördern somit auch die Staubbildung.
- Das Lüftungsmanagement und die Stallisolation garantieren überwiegend, dass die Stalltemperatur bei hohen Außenwerten unterhalb dieser rangiert.
- Hierzu wird in den untersuchten Haltungen eine in der Regel überdimensionierte Lüfrate vorgehalten und mit Folgen für die Emissionsraten auch über Maximalraten eingesetzt.
- Die Stalltemperatur allein ist als Steuerungsparameter für die Lüftung zunehmend kritisch zu bewerten. Im Sommer muss diese ab ca. 20 °C dem Außenklimaniveau permanent angeglichen werden, um eine Regelung der Lüftung zu gewährleisten. Im Winter führt das Sichern einer ausreichenden Raumtemperatur für die Hennen zu reduziertem Abtransport der Raumlasten.
- Die Konzentration von Stalllasten liegt auf der Ebene der Abluftschächte – emissionsrelevanter Bereich - unterhalb der im Tierbereich. In Abhängigkeit von der Abluftführung wurden 10 – 30 Prozent niedrigere Werte ermittelt.
- Lachgas und Methan traten in den untersuchten Herden auf Außenluftniveau bzw. in marginalem Umfang auf. Diese Gase werden nicht emissionsrelevant.
- Die Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration liegt im Mittel z. T. deutlich unter den Grenzwerten. In Haltungssystemen mit Kotbunker werden diese insbesondere im Winter übertroffen.
- Die Ammoniakkonzentration im Stall ist neben Staub eine weitere Stallraumlast, die durch die Aktivität der Hennen – insbesondere im Scharraum – beeinflusst wird.
- Der Unterdruck über 10 Pa gewährleistet eine ausreichende Lüfrate auch bei geöffneten Auslaufzugängen. Es wäre sinnvoll und technisch bereits machbar, diese zusätzlichen Stallöffnungen in die Lüftungssteuerung zu integrieren (z. B. über automatische Ventildrosselung).
- Für Haltungssysteme ohne Kotlagerung im Stall scheinen die Ammoniakemissionsfaktoren der TA-Luft deutlich zu hoch. Dagegen liegen die Faktoren bezüglich der Haltungen mit Kotbunker auf praxisrelevantem Niveau.
- Die Grenzwerte der TA-Luft für die Konzentration an Staub können auch in alternativen Bodenhaltungssystemen eingehalten werden. Massenströme überschreiten dagegen überwiegend die Grenzwerte. Der Staubgehalt in der Stallluft unterliegt dabei einem Tagesrhythmus, weil er an die Aktivität der Hennen – insbesondere im Scharraum – gekoppelt ist.
- Der Keimgehalt der Stallluft in alternativen Haltungen für Legehennen unterliegt großen Schwankungen. Er übertrifft - wo vorhanden - Grenz- und Richtwerte und ist somit arbeitschutzrelevant.

- Hennen in alternativen Haltungen haben eine z. T. sehr gute Legeleistung. Hierbei können die Verluste auch unter 5 Prozent gehalten werden. Die bonitierten Herden zeigten ein gutes Erscheinungsbild.
- Der Blutparameter Avidin ist als ein möglicher labordiagnostischer Herdengesundheitsparameter (Sondierungsparameter) beim Huhn interessant und kann in Kombination mit sinnvoll ausgewählten antigendefinierten (spezifischen) Antikörperspiegeln (indirekter Erregernachweis) wesentliche bzw. zusätzliche Informationen über die Leistungstiergruppe, deren Interaktionen mit Stall- und Umweltfaktoren u. a. geben.
- Die modifizierte Tunnellüftung mit Monoschacht ermöglicht, den Emissionsschwerpunkt und die Quellhöhe planerisch zu optimieren. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sie auch in der Lage sind, ein gutes Stallklima zu gewährleisten. Der Monoschacht kann bezüglich der Staubemissionen als eine Art „Abscheider“ für Schwebstaub wirken. Hierzu sind noch detaillierte Untersuchungen nötig.
- Der Wasserverrieselungsanlage zur Staubbindung konnte in vorliegender Untersuchung keine adäquate Wirkung nachgewiesen werden. Hier wäre dringend ein Untersuchungsbedarf gegeben. Bei angepasster Frequenz und Sprühdauer (hierfür existieren keine Anleitungen) sollte sich dieses System in der Legehennenhaltung bewähren. Dabei kann sie auch einen Beitrag zur Befeuchtung der zu trockenen Stallluft in Volieren leisten.
- Das Überspülen des Kotstapels in Kotkastensystemen mit dem Abluftstrom zur Trocknung der Oberfläche kann zur Minderung der Ammoniakbildung im Stall beitragen. Zum Einsatz als emissionsmindernde Maßnahme müssten Luftführung und Strömungsgeschwindigkeit in weiteren Untersuchungen optimiert werden.

## Literatur

- 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
- AHLROTH, M. K., KOLA, E. H., EWALD, D., MASABANDA, J., SAZANOV, A., FRIES, R., KULOMAA, M. S. Characterization and chromosomal localization of the chicken avidin gene family. Anim. Genet., 2000, 31(6):367-75.
- AL-MASHHADANI, E. H., BECK, M. (1985): Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of lung and trachea of broiler chicks. Poultry Sci. 64: 2056 - 2061
- ANONYM (2002): Feinstaub – Neue Herausforderung für saubere Luft? Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
- ANGERSBACH-HEGER, SINA (2002): Untersuchungen zur Emission und Verfrachtung luftgetragener Mikroorganismen von Auslaufflächen einer Legehennenfreilandhaltung. Diss. TiHo Hannover
- BACHMANN, K. UND FROSCH, W.: Ratgeber Stallklimatisierung. Sächs. Landeskuratorium Ländlicher Raum / Universität Halle
- BESSEI, W.; DAMME, K. (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 378

- BIOSTOFFVO (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, B Arb.BI 1/2006, S 41
- BÖTTCHER, W. UND SCHMIDT, UTA, 2006: Statistische Angaben zum Eier- und Geflügelmarkt. In: Geflügeljahrbuch 2006: 42 ff, Ulmer Verlag Stuttgart, 2005
- 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. UND HILDEBRAND, R.-A., 2002: Geflügelhaltung. Ulmer Verlag Stuttgart, 2002
- DAMME, K. (2003): Eiererzeugung in alternativen Haltungssystemen. Wie sich verschiedene Legehybriden dafür eignen. DGS Magazin 27/2003, 12-18
- DAMME, K. (2006): Faustzahlen der Betriebswirtschaft. In Geflügeljahrbuch 2006. Ulmer Verlag Stuttgart
- DBV (2005): Situationsbericht 2006. DBV Berlin
- DEATON, I. W. (1982): Effect of atmospheric ammonia on laying hen performance. Poultry Sci. 61 (9): 1815-1817
- DIN 18910-1 (2004): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlage für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Beuth Verlag Berlin, 2002
- DIN EN 481 (1993): Festlegung der Teilchengrößeverteilung 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., TUOHIMAA, P. J. (1979): Avidin induction by tissue injury and Inflammation in male and female chickens. Comp. Biochem. Physiol. B. 1979. 62(3):237
- 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
- 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., A. MAZAHERI, C. PRUSAS, K. BÖHLAND, M. PÖPPEL, 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, S. 90 - 97
- HARTUNG, J. (2005): So vermeiden Sie Staub und Pilze. DLG-Mitteilung 9/2005, 16-18
- HENNENHALTUNGS-VO, 1. VO zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2001). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 16, Bonn, 12.3.2002
- HINZ, T. (2005): Messungen luftgetragener Partikel in und aus der Geflügelhaltung. Landtechnik 2/2005, 100-101

- HONGWEI, X.; DE SHAZER, J. A.; BECK, M. M. (1987): Post effect of ammonia on energetics of laying hens at high temperatures. *Transactins of ASAE* 30: 1121 - 1125
- HOOP, R. (2002): Escherichia coli-Infektionen des Huhnes. Eine unterschätzte Gefahr in der alternativen Geflügelhaltung. *DGS Magazin* 40/2002, 38-40
- HÖRNING, B. UND FÖLSCH, D. W. (1999): Bewertung ausgestalteter Käfige für Legehennenhaltung unter Tierschutzaspekten. *Gutachten Univ. Kassel*
- JEROCH, H. und 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
- KLEMM, R.; S. UHLMANN (2000): Arbeitszeitbedarf in der Boden- und Freilandhaltung, *DGS-Magazin* 9/2000, S. 24 ff., Ulmer Verlag Stuttgart
- KOBYLINSKI, H. (1999): Außenklimastall für Hühner – etwas für Spezialisten. *DGS Magazin* 44: 18-20
- KROODSMA ET AL. (1988): zitiert in Isermann, K. (1994): Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft, ihre Auswirkungen auf die Umwelt und ursachenorientierte Lösungsansätze sowie Lösungsaussichten zur hinreichenden Minderung. Studie E: In: Enquete Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages.
- KTBL (1996): Bericht „Abstandsregel für Geflügelhaltungsanlagen zu benachbarten Waldökosystemen“. (unveröffentlicht)
- KTBL (1996): KTBL-Arbeitspapier 126
- KTBL (2002): KTBL-Schrift 399, Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung
- KANSWOHL, N. und 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
- KNIERIEM, (2003): Merbitzer Geflügeltagung. Vortrag Celle 2003
- KREYENBROCK, L., B. SCHNEIDER, J. SCHÄL, S. GLASER (2003): EpiLeg - Epidemiologische Studie. TiHo Hannover
- KUNNAS, T. A., WALLEN, M. J., KULOMAA, M. S.(1993): Induction of chicken avidin and related mRNAs after bacterial infection. *Biochim. Biophys. Acta.* ,1993, 1216(3): 441-5.
- LfUG (2002): Anlage zum Erlass vom 30.7.2002, Az 53-8823.07
- MAHBOUB, H., E. von Borell, J. MÜLLER (2002): Feather pecking in laying hens with free access to outdoor enclosures. *Archiv für Geflügelkunde* 66 Sonderheft II, 79
- MEHLHORN, G. (1979): Lehrbuch der Tierhygiene. Bd.1, G. Fischer Verlag Jena (zit. bei Seedorf und Hartung, 2002)
- MÜLLER, H.-J. (2003): Stallluftqualität und Emissionen. *Landtechnik* 58: 198 – 199
- MÜLLER, W., WIESER, P, KÜHNE, H. (1978): Zur Frage der Ausbreitung von Luftkeimen aus Tierställen. *Zbl. Vet. Mes. B.* 25: 216 – 224 (zit. bei Seedorf und Hartung, 2002)
- NESER, S. (2000): Gasförmige Emissionen aus Haltungssystemen für Legehennen. *Diss. Uni*

München

- NIGHOT, P. K., G. N. KOLTE, G. R. GHALSASI (2003): Ursachen von Atemwegserkrankungen. DGS Magazin 31/2003, 31
- 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
- PÖPPEL, M. (2003): Hennenhalter stehen fast vergessenen Krankheiten hilflos gegenüber. DGS intern 8/2003, 2
- PREISINGER, R. (2004): Struktur und Entwicklung in der Legehennenhaltung. DGfZ-Schriftenreihe 36: 70 - 75
- PRIESMANN, T. (1991): Untersuchungen zu Stickstoffumwandlungen und –verlusten im Legehennenkot, Dissertation Univ. Bonn
- PUPPE, B. (2003): Stressbewältigung und Wohlbefinden – verhaltensphysiologische Ansatzpunkte einer Gesundheitssicherung bei Tieren. Arch. Tierz., Dummerstorf 46 Sonderheft, 52-56  
RL89/427/EWG: Gesamtschwebstaub  
RL1999/30/EG: Atembarer Staub
- RYLANDER, R. (1997): Evaluation of the risks of endotoxin exposures. Int. J. Occup. Environ. Health Suppl. 3: 32-36.
- SÄCHS. LANDESANSTALT F. LANDWIRTSCHAFT, 2004: Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen. Schriftenreihe 9, Heft 8
- SCHIEK, W. (1998): Keimmessungen in der Umgebung einer Hühnermastanlage. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 105, 246
- SCHOBRIES, H., SCHULZE, L., ROTT, M. UND REETZ, G.(1986): Geflügelkrankheiten. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- SCHOLTYSSEK, S.(1968): Handbuch der Geflügelproduktion. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart
- SCHRÖDL, W., IMAD, M., KRÜGER, M., HAFEZ, H. M. (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.
- SEEDORF, J. UND HARTUNG, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 393, Münster
- SEEDORF, J., ET AL. (1998): A survey of ventilation rates in livestock buildings in northern Europe. J. agric. Engng Res. 70, 39 – 47
- SENATSKOMMISSION zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (2006): Aerosole. In: Deutsche Forschungsgemeinschaft, (ed). MAK- und BAT-Werte-Liste 2002. Weinheim. Wiley-VCH. S. 166-173.
- TAKAI, (1998): Journal of Agric. Engineering Research, Vol. 70, 1.
- TA-LUFT (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S.511 –

- TÜLLER, R. (1999): Alternativen in der Geflügelhaltung. Ulmer, Stuttgart
- VDI-RICHTLINIE 3472 „Emissionsminderung Tierhaltung, Hühner“
- VDI-RICHTLINIE 3881 „Olfaktometrie und Geruchsschwellenbestimmung“, Blatt 1-4
- 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., G. GLÜNDER, M. NOGOSSEK, I. SANDER, U. NEUMANN (2002): Observations on causes of death in laying hens kept in three different housing systems. Archiv für Geflügelkunde 66 Sonderheft II, 146
- WIKIPEDIA: Internet-Enzyklopädi
- 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

## Anhang

### Stallklima und Emission

**Tabelle SE1: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 1**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	1,1	1,4	1,3	0,9	1,2	1,1	1,1	0,7	17,0	8,5
25 %	2,2	2,7	2,8	1,5	1,5	1,4	1,5	0,8	20,4	14,7
Mw	3,0	4,5	4,3	1,9	1,9	1,7	1,7	0,8	21,8	17,6
75 %	4,1	6,5	6,2	2,3	2,2	1,9	2,0	0,9	23,6	22,8
Max	6,8	11,4	9,3	3,4	3,1	2,7	3,9	1,1	32,1	33,8

**Tabelle SE2: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 1**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	1,75	0,08	0,51
25 %	2,97	0,77	0,98
Mw	3,84	1,41	1,23
75 %	6,01	2,13	1,53
Max	7,72	7,00	2,54

**Tabelle SE3: Kenndaten d. Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 1**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	1,0	1,8	1,6	0,8	1,3	1,3	1,1	0,7	12,6	-1,6
25 %	2,4	3,7	3,8	1,2	1,6	1,6	1,6	0,7	16,8	8,7
Mw	2,9	4,7	4,8	1,4	2,0	1,8	1,9	0,8	18,9	13,2
75 %	4,1	6,2	6,7	1,8	2,4	2,1	2,2	0,9	21,9	19,1
Max	10,2	22,6	22,6	3,7	4,9	4,1	5,3	1,3	32,2	39,3

**Tabelle SE4: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 1**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	0,4	0,2	0,5
25 %	2,7	1,2	1,1
Mw	3,3	1,7	1,4
75 %	4,9	2,7	1,7
Max	8,3	9,2	2,6

**Tabelle SE5: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 1**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	1,9	2,4	2,0	0,8	2,1	1,7	1,6	0,7	9,3	-16,8
25 %	3,9	4,4	4,5	1,0	3,0	2,8	2,6	0,8	12,2	-5,0
Mw	5,0	5,5	6,0	1,2	3,6	3,2	3,0	0,9	12,7	-1,4
75 %	6,6	7,1	8,3	1,8	4,6	3,8	3,5	0,9	13,3	1,4
Max	15,1	13,2	11,8	3,4	7,6	6,2	7,2	1,9	15,4	7,7

**Tabelle SE6: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 1**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	0,00	0,00	0,00
25 %	0,82	1,18	0,95
Mw	1,58	1,83	1,42
75 %	2,16	2,65	1,62
Max	3,78	5,77	2,44

**Tabelle SE7: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 2**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	0,3	0,3	0,3	0,1	1,5	1,4	1,4	0,7	22,5	6,8
25 %	0,5	0,5	0,5	0,2	1,8	1,7	1,7	0,8	23,9	13,8
Mw	0,6	0,7	0,6	0,3	2,0	1,9	2,0	0,8	25,0	17,0
75 %	0,9	1,0	0,9	0,4	2,4	2,1	2,2	1,0	26,6	20,6
Max	3,6	3,2	3,8	1,3	3,9	3,3	3,5	1,3	32,9	30,7

**Tabelle SE8: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 2**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	1,33	0,04	0,64
25 %	2,03	0,19	0,92
Mw	2,90	0,28	1,03
75 %	3,78	0,44	1,10
Max	4,55	1,37	1,43



**Tabelle SE9: Kenndaten des Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 2**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
<b>Min</b>	0,2	0,2	0,2	0,1	1,4	1,3	1,3	0,7	20,6	-2,4
<b>25 %</b>	0,4	0,4	0,4	0,3	1,8	1,6	1,7	0,8	22,1	10,6
<b>Mw</b>	0,6	0,6	0,7	0,3	2,3	2,0	2,1	0,8	23,5	12,9
<b>75 %</b>	1,2	1,1	1,2	0,5	3,5	2,9	3,0	0,9	24,6	15,5
<b>Max</b>	4,6	3,7	3,9	1,4	6,5	5,0	6,0	3,3	30,2	25,7

**Tabelle SE10: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 2**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	0,90	0,00	0,45
25 %	1,54	0,06	0,77
Mw	1,89	0,18	0,93
75 %	2,65	0,36	1,22
Max	3,97	1,53	1,68

**Tabelle SE11: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 2**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	0,5	0,6	0,6	0,3	3,0	2,4	2,1	0,6	20,6	-10,9
25 %	0,8	0,9	0,9	0,4	5,1	3,9	3,8	0,7	22,7	-1,7
Mw	1,0	1,1	1,0	0,5	5,8	4,4	4,7	0,9	24,3	2,3
75 %	1,4	1,4	1,3	0,6	6,6	4,9	5,5	0,9	25,3	7,7
Max	3,5	3,1	3,2	1,7	8,8	6,5	8,3	1,2	27,1	20,2

**Tabelle SE12: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 2**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (N.tr.)*Tpl	g/h (N.tr.)*GV	kg/h (N.tr.)*GV
Min	0,80	0,01	1,13
25 %	0,94	0,14	1,49
Mw	1,11	0,20	1,63
75 %	1,40	0,29	1,85
Max	2,48	1,04	2,93

**Tabelle SE13: Kenndaten des Stallklimas während der Sommermessung in der Bodenhaltung 3**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	1,0	1,3	1,2	0,8	1,1	0,9	0,9	0,7	14,4	7,7
25 %	5,0	4,2	3,0	1,4	1,5	1,5	1,3	0,8	20,0	15,9
Mw	6,6	5,1	4,1	1,8	1,8	1,6	1,4	0,9	23,9	20,0
75 %	9,8	6,7	6,7	2,5	2,0	1,7	1,6	0,9	27,5	25,3
Max	27,7	30,2	38,1	7,1	2,4	2,4	3,1	1,2	35,5	37,8

**Tabelle SE14: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Sommermessung in der Bodenhaltung 3**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (i.N.tr.)*T <sub>pl</sub>	g/h (i.N.tr.)*GV	kg/h (i.N.tr.)*GV
Min	2,31	0,35	0,47
25 %	5,75	6,22	1,21
Mw	6,18	9,08	1,62
75 %	6,41	13,76	2,06
Max	6,68	37,65	2,58

**Tabelle SE15: Kenndaten des Stallklimas während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 3**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur (°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	4,3	3,2	2,6	1,1	1,3	1,2	1,1	0,7	9,9	-2,3
25 %	6,5	5,2	4,1	1,5	1,6	1,5	1,3	0,8	15,1	9,5
Mw	8,0	6,3	5,2	1,8	1,7	1,6	1,4	0,8	16,7	12,4
75 %	9,7	8,1	7,1	2,2	1,9	1,8	1,6	0,9	19,2	16,5
Max	16,5	31,2	27,1	3,7	3,4	3,1	3,4	1,0	28,2	29,2

**Tabelle SE16: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Übergangsmessung in der Bodenhaltung 3**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (i.N.tr.)*T <sub>pl</sub>	g/h (i.N.tr.)*GV	kg/h (i.N.tr.)*GV
Min	2,91	4,29	0,96
25 %	5,61	8,03	1,39
Mw	6,20	10,58	1,56
75 %	6,40	14,14	1,81
Max	7,24	26,75	2,54

**Tabelle SE17: Kenndaten des Stallklimas während der Wintermessung in der Bodenhaltung 3**

	Ammoniak (mg/m <sup>3</sup> )				Kohlendioxid (g/m <sup>3</sup> )				Temperatur(°C)	
	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Lüftung	Arbeitsebene	Tierebene	Außen	Stall	Außen
Min	8,7	11,7	11,1	2,7	1,6	1,9	2,1	0,8	10,0	-4,1
25 %	16,2	15,5	17,3	3,6	2,4	2,5	2,7	0,8	11,4	-0,4
Mw	18,0	18,2	20,4	4,2	2,7	2,8	3,0	0,8	12,0	0,8
75 %	21,4	22,8	25,1	4,9	3,0	3,2	3,3	0,9	12,8	2,8
Max	29,2	31,0	32,8	21,6	4,8	5,2	5,0	1,9	15,2	5,5

**Tabelle SE18: Kenndaten des Emissionsverhaltens während der Wintermessung in der Bodenhaltung 3**

	Vol-strom	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /h (i.N.tr.)*Tpl	g/h (i.N.tr.)*GV	kg/h (i.N.tr.)*GV
Min	0,58	0,00	0,12
25 %	1,97	6,94	1,00
Mw	2,06	8,46	1,21
75 %	2,30	10,80	1,38
Max	4,75	20,08	3,03

**Tabelle SE19: Kenndaten des Emissionsverhaltens der Haltungen – Ammoniak und Kohlendioxid**

	BI		BII		BIII	
	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>	Massenstrom NH <sub>3</sub>	Massenstrom CO <sub>2</sub>
Min (g/h)	70,4	60198,2	11,1	34247,1	162,7	29828,9
Max (g/h)	132,6	76774,2	26,7	157372,6	339,5	41477,9
g/a	847807,2	575043607,3	158192,3	813795844,8	2183869,5	311301926,3
kg/Tpl*a	0,0565	38,34	0,0075	38,75	0,3120	44,47
kg/GV*a	16,6	11270,9	2,2	11393,1	91,7	13074,7
g/h	100,6	68262,5	18,8	96604,4	249,3	35536,7
Anzahl	16049	16049	16042	16042	16043	16043
Anzahl Messwerte	2031	2031	2176	2176	2268	2268

**Tabelle SE20: Kenndaten zu Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung I – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen-(TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (Zentrum) und am Stallrand (peripher)**

Boden I						
Zeitfenster	Quartil	TA (°C)	TI (zentr., °C)	FI (zentr., %)	TI (periph., °C)	FI (periph., %)
Winter	Min	-12,5	10,4	52,5	9,1	63,0
	25 %	-2,0	12,5	62,5	10,3	70,7
	Mittel	0,3	12,8	65,5	10,8	72,5
	75 %	2,8	13,3	68,2	11,3	75,3
	Max	9,8	14,4	74,9	13,5	82,2
Übergang	Min	-4,2	12,8	45,5	9,9	46,8
	25 %	6,4	14,9	60,1	14,0	62,4
	Mittel	11,0	16,4	64,1	16,4	67,6
	75 %	14,4	18,7	67,7	19,2	71,1
	Max	25,6	25,7	82,8	25,9	87,3
Sommer	Min	10,5	15,7	43,0	15,9	46,1
	25 %	16,4	21,1	59,6	21,2	61,2
	Mittel	19,5	22,4	64,7	22,7	65,9
	75 %	21,9	24,1	68,4	24,5	70,3
	Max	27,8	28,3	91,2	28,4	95,1

**Tabelle SE21: Kenndaten zu Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung II – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen-(TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (Zentrum) und im Scharrraum (SR)**

Boden II						
Zeitfenster	Quartil	TA (°C)	TI (zentr., °C)	FI (zentr., %)	TI (SR, °C)	FI (SR, %)
Winter	Min	-14,7	15,4	43,1	4,7	58,3
	25 %	-4,4	22,6	48,8	10,1	69,5
	Mittel	-0,8	23,8	50,5	12,0	71,2
	75 %	1,4	24,2	54,0	13,7	74,3
	Max	11,2	25,8	72,2	16,2	93,8
Übergang	Min	-6,5	22,0	38,0	9,4	51,1
	25 %	5,5	23,6	45,3	14,9	64,1
	Mittel	9,4	24,2	47,5	16,5	67,7
	75 %	12,5	24,9	50,5	17,9	72,3
	Max	22,6	28,5	64,6	24,2	81,9
Sommer	Min	6,6	21,8	37,2	15,7	48,3
	25 %	13,8	24,0	46,4	19,0	62,1
	Mittel	16,4	25,3	50,3	20,6	66,4
	75 %	18,8	26,4	53,5	21,9	70,6
	Max	25,2	29,8	67,1	26,5	86,6

**Tabelle SE22: Kenndaten zu Stallklima und Außentemperatur der Bodenhaltung III – Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (Außen-(TA), Stalltemperatur (TI), Stallluftfeuchte (FI) in der Stallmitte (Zentrum) und im Zuluftbereich (ZL)**

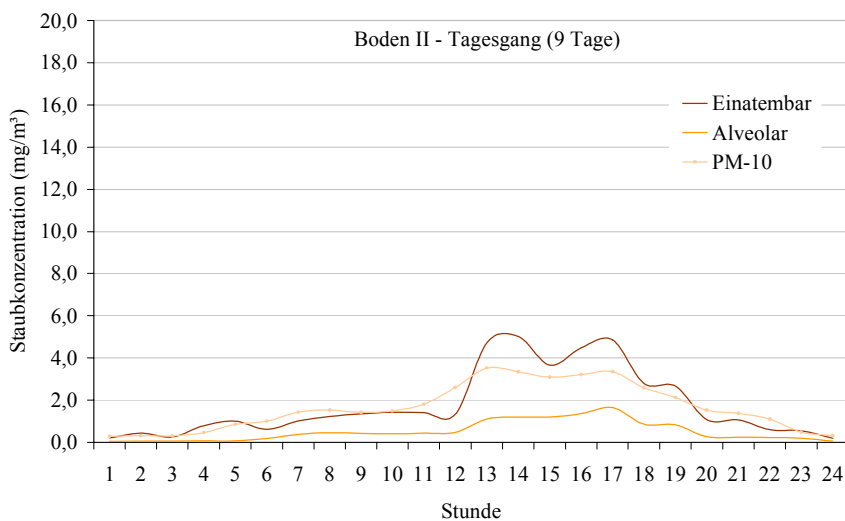
Boden III						
Zeitfenster	Quartil	TA (°C)	TI (zentr., °C)	FI (zentr., %)	TI (ZL., °C)	FI (ZL., %)
Winter	Min	-13,2	8,8	58,0	7,1	60,1
	25 %	-2,7	11,0	73,5	9,7	79,3
	Mittel	-0,1	11,6	76,3	10,6	84,0
	75 %	3,1	12,7	79,4	11,0	86,8
	Max	11,7	17,5	87,0	15,8	95,7
Übergang	Min	-4,1	10,7	47,0	9,3	47,5
	25 %	5,9	13,6	64,0	12,5	67,2
	Mittel	10,2	16,1	69,6	14,7	73,9
	75 %	13,8	18,3	74,5	16,8	80,2
	Max	20,9	24,3	82,7	22,9	87,2
Sommer	Min	6,7	10,8	44,2	9,8	44,0
	25 %	15,5	18,3	59,9	17,5	62,1
	Mittel	18,8	22,1	64,7	20,8	67,9
	75 %	21,6	24,5	71,3	23,5	75,3
	Max	28,3	30,0	87,5	28,9	87,7

**Tabelle SE23: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – gravimetrische Bestimmung der Staubfraktionen und Referenzwerte**

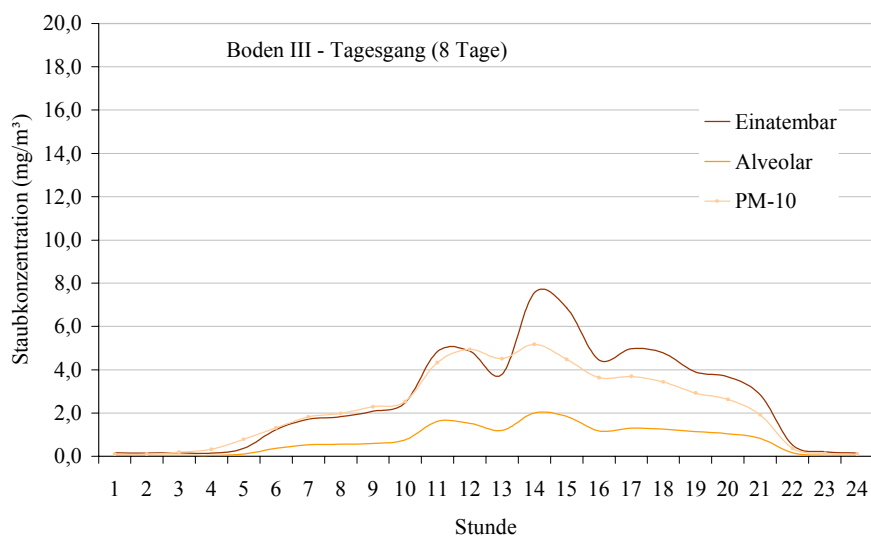
Haltung	Ebene	Zeitfenster	Einatembar	Alveolar	PM-10
			mg/m <sup>3</sup>		
Boden I	Arbeitsebene	Winter	11,3	3,1	4,5
		Sommer	23,8	7,4	10
		Sommer II	19,4	2,4	7,5
	Lüftung	Winter	7,1	2,7	3,9
		Sommer	9,8	3	4,5
		Sommer II	21	2,8	11,4
Boden II	Arbeitsebene	Winter	8,8	1,4	3,2
		Sommer	3,8	1,7	2,6
	Lüftung	Winter	7,8	1,1	2,7
		Sommer	8,8	3,8	5,4
Boden III	Arbeitsebene	Winter			
		Sommer	8,8	2,3	4,1
	Lüftung	Winter			
		Sommer	8,2	1,7	3,5
	Referenz (Käfig)		0,7		
	Grenzwert		4	1,5	

**Tabelle SE24: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – mikrobielle Bestimmung und Referenzwerte**

Haltung	Ebene	Zeitfenster	Endotoxine (atembar, EU/m <sup>3</sup> )	Aerobe (10 <sup>3</sup> KBE/m <sup>3</sup> )	Aerobe gramnegative (KBE/m <sup>3</sup> )	Pilze (KBE/m <sup>3</sup> )
Boden I	Arbeitsebene	Winter	7400	2467	5	610
		Sommer	3100	5800	65	930
		Sommer II	8400	14000	36	3900
	Lüftung	Winter	6000	3600	3	577
		Sommer	1900	1037	60	370
		Sommer II	7700	11000	47	47000
Boden II	Arbeitsebene	Winter	5800	780	190	3533
		Sommer	900	723	30	3267
	Lüftung	Winter	5300	3188	43	2200
		Sommer	2200	647	45	1600
Boden III	Arbeitsebene	Winter				
		Sommer	520	5433	7,2	2867
	Lüftung	Winter				
		Sommer	540	2500	1,8	4533
	Referenz (Käfig)		169	11	5	
	Grenzwert					



**Abbildung SE1: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung II**



**Abbildung SE2: Mittlerer Tagesgang der Staubkonzentration in der Bodenhaltung III**

**Tabelle SE25: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – Aktivitäts- und Ruhephasen**

Haltung	Zeitfenster		Herdenstatus	MW Staub	Anteil Ruhe
Boden I	20:00	03:00	Ruhe	763	17 %
	03:00	20:00	Aktiv	4598	
Boden II	21:00	05:00	Ruhe	432	20 %
	05:00	21:00	Aktiv	2146	
Boden III	22:00	06:00	Ruhe	384	12 %
	06:00	22:00	Aktiv	3173	

**Tabelle SE26: Kenndaten der Bewertung des Bioaerosols im Stall – emissionsrelevante Staubkonzentration**

Staub Gravimetrie				
Herde	Ebene	Total	PM-10	Alveolar
		mg/m³		
Boden I	Lüftung	2,1	1,1	0,5
		12,6	6,6	2,8
Boden II	Lüftung	1,7	0,8	0,5
		8,3	4,1	2,5
Boden III	Lüftung	1,0	0,4	0,2
		8,2	3,5	1,7

**Tabelle SE27: Kenndaten der Haltungen – Geruchstoffkonzentration und -emission**

	GE/m <sup>3</sup>	GE/s*GV	GE/m <sup>3</sup> (Außen)	GE/m <sup>3</sup> (Monoschacht)
Boden I	47	13	12	
Boden II	81	12	12	23
Boden III	27	13	9	

**Tabelle SE28: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 1**

Einstreu				
Zeitfenster	TS (%)	N (total, %)	N (NH <sub>4</sub> , %)	Glühverlust (%)
Winter	77,6	2,9	0,4	64,5
Übergang	79,0	2,7	0,4	64,9
Sommer	84,0	2,8	0,3	65,8
Kot				
Winter	27,3	1,3	0,2	70,5
Übergang	29,0	1,4	0,5	68,0
Sommer	31,7	1,4	0,4	65,4

**Tabelle SE29: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 2**

Einstreu				
Zeitfenster	TS (%)	N (total, %)	N (NH <sub>4</sub> , %)	Glühverlust (%)
Winter	99,7	0,1	0,0	1,0
Übergang	93,0	2,8	0,3	42,9
Sommer	92,0	3,7	0,4	56,5
Kot				
Winter	28,0	1,7	0,9	74,5
Übergang	29,0	1,7	0,4	75,6
Sommer	41,4	2,0	0,8	75,7



**Tabelle SE30: Kenndaten von Einstreu und Kot während der Messzeitfenster in der Bodenhaltung 3**

Einstreu				
Zeitfenster	TS (%)	N (total, %)	N (NH <sub>4</sub> , %)	Glühverlust (%)
Winter	68,2	2,0	0,4	77,0
Übergang	73,3	1,5	0,5	75,0
Sommer	84,3	2,2	0,3	69,2
Kot				
Winter				
Übergang	51,3	1,8	0,8	73,6
Sommer	79,3	3,6	0,5	71,7

**Tabelle SE31: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Ansätze**

Variante	Frequenz (min)	Dauer (sec.)	Menge (l/h*Düse)	Düsen/Stall	l/h*Stall	Stallfläche (m <sup>2</sup> )	l/h*m <sup>2</sup>
1	15	25	5,3	212	31,2	1027	0,030
2	25	40	5,3	212	30,0	1027	0,029
3	25	45	5,3	212	33,7	1027	0,033
4	25	90	5,3	212	67,4	1027	0,066

**Tabelle SE32: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Stallklima**

Variante	FI (%)				TI (°C)				TA (°C)				TS Streu (%)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	50	48	55	48	18	22	20	19	13	16	14	12				
25 %	59	58	64	57	20	23	21	20	16	21	16	14				
Mw	67	63	74	66	22	26	22	21	21	27	17	16	82	84	75	88
75 %	75	74	76	68	25	30	24	28	25	31	24	27				
Max	81	82	77	71	29	32	26	30	30	34	26	31				

**Tabelle SE33: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung – Gas- und Staubgehalte**

Variante	NH <sub>3</sub> _Lüft. (mg/m <sup>3</sup> )				NH <sub>3</sub> _Stall (mg/m <sup>3</sup> )				Gesamtstaub (mg/m <sup>3</sup> )				PM10 (mg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	1,08	1,89	0,97	2,78	1,48	2,31	1,56	4,51	3,56	5,48	2,17	2,03	1,62	2,23	0,28	0,21
25 %	1,54	2,27	2,24	3,17	2,02	2,83	4,52	6,22	4,86	7,53	3,51	4,05	1,97	3,04	0,92	1,18
Mw	1,75	2,55	2,46	3,37	2,29	3,28	4,72	6,74	5,83	8,21	5,55	5,45	2,24	3,35	1,89	1,84
75 %	2,16	2,82	2,85	4,02	2,72	3,80	5,18	7,36	7,63	9,11	7,30	6,35	2,89	3,70	2,73	2,28
Max	2,56	4,92	3,37	4,82	3,47	6,92	6,15	9,10	23,24	25,59	11,44	13,22	6,49	5,81	4,70	5,55

**Tabelle SE34: Kenndaten der Optimierungsvarianten zur Stallluftbefeuchtung - Emissionsverhalten**

Variante	Massenstrom NH <sub>3</sub> (g/h)				Massenstrom CO <sub>2</sub> (kg/h)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	13,10	53,10	33,13	60,38	33,13	37,14	35,08	36,17
25 %	27,85	70,91	38,73	75,61	43,32	46,25	38,67	41,82
Mw	49,18	86,86	46,92	92,47	47,98	51,57	42,82	51,67
75 %	68,92	131,28	59,03	151,04	54,14	62,99	52,14	57,74
Max	87,84	269,58	110,00	215,13	67,83	84,90	65,02	66,51

*Tiergesundheit und Stallhygiene*



**Legestadium 1**



**Legestadium 2**



**Legestadium 3**



**Legestadium 4**

**Abbildung TG1: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 Bl**



**Legestadium 1**



**Legestadium 2**



**Legestadium 3**

**Abbildung TG2: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 BII**

Legestadium 1



Legestadium 2



Legestadium 3



Legestadium 4



Abbildung TG3: Entwicklung des Gefiederzustandes jeweils am Ende der Legestadien in Herde 2 BIII

Betriebswirtschaft

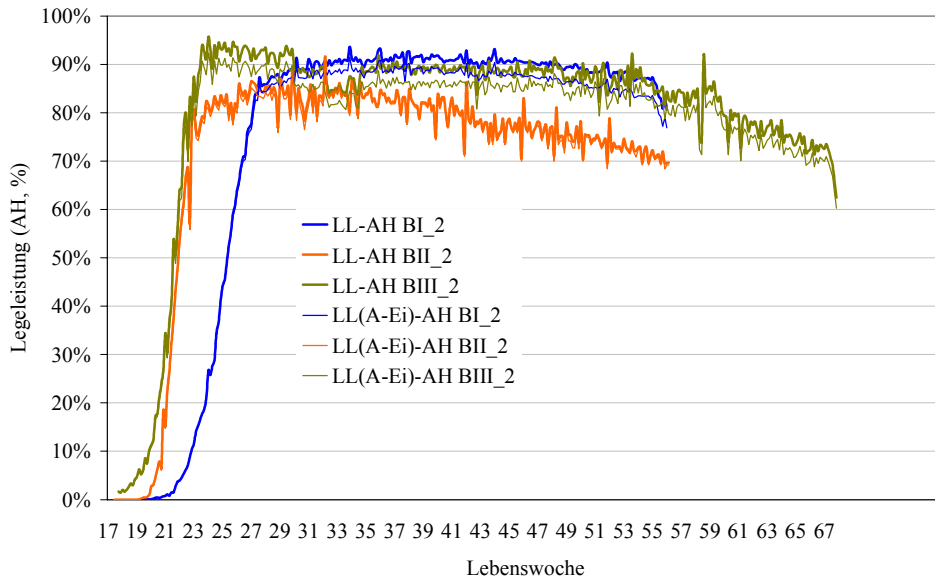


Abbildung BW1: Legelleistung (gesamt und A-Ei) je Anfangshenne in den Haltungen (2. Belegung) im zeitlichen Verlauf

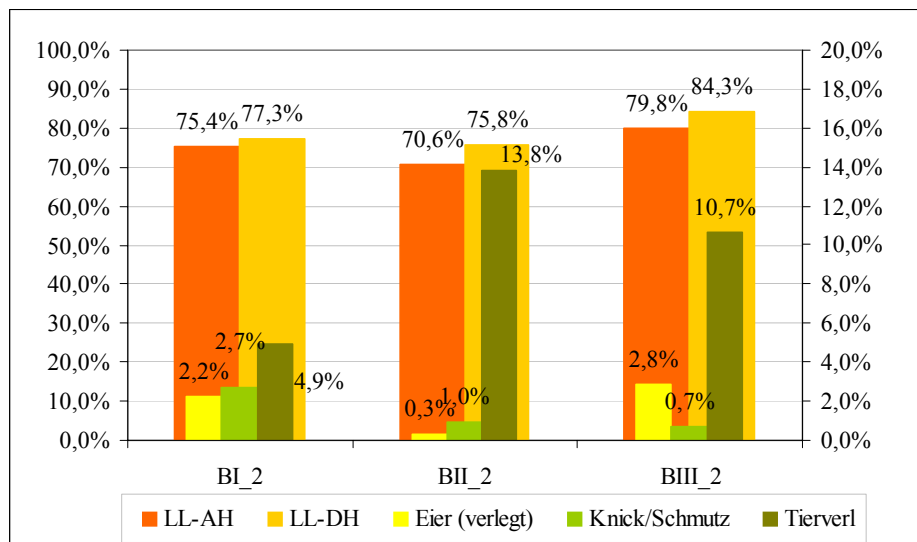


Abbildung BW2: Legelleistung je eingestellte Henne und Durchschnittsbestand sowie Tierverluste, verlegte Eier und Knick-/Schmutzeier in den Haltungen (2. Belegung)

**Tabelle BW1: Kenndaten der Haltungen (erste Stallbelegung) – Leistungsdaten, Tierverluste und Haltungstage**

	BI	BII	BIII
LL-AH	76,8 %	74,6 %	84,2 %
LL-DH	80,1 %	81,1 %	85,9 %
Eier (verlegt)	2,4 %	0,4 %	1,3 %
Knick/Schmutz	3,5 %	1,9 %	0,3 %
Tierverluste	8,1 %	15,9 %	3,8 %
Tage	280	272	307

**Tabelle BW2: Kenndaten der Haltungen (zweite Stallbelegung) – Leistungsdaten, Tierverluste und Haltungstage**

	BI_2	BII_2	BIII_2
LL-AH	75,4 %	70,6 %	79,8 %
LL-DH	77,3 %	75,8 %	84,3 %
Eier (verlegt)	2,2 %	0,3 %	2,8 %
Knick/Schmutz	2,7 %	1,0 %	0,7 %
Tierverluste	4,9 %	13,8 %	10,7 %
Tage	261	272	352

**Tabelle BW3: Kenndaten zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der untersuchten Bodenhaltungen – Arbeitswirtschaft**

	von	bis
1) Fütterung	0,00	0,00
2) Entmistung und Einstreuen	1,73	1,40
3) Produktgewinnung	7,94	18,03
4) Vermarktung	0,00	0,00
5) Einstellen/Reinigung und Desinfektion	0,29	4,31
6) Sonstiges	2,08	8,10
Arbeitszeitaufwand insgesamt	12,64	31,84

**Tabelle BW4: Kenndaten zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der untersuchten Bodenhaltungen – Stückkosten**

Cent/Ei	von	bis
Direkte	3,88	4,37
Arbeitserledigung	1,22	2,07
Gebäude	0,02	0,99
sonstige	0,28	0,36
Gesamtkosten	6,30	7,48

### **Danksagung**

Die Arbeiten wurden mit finanziellen Mitteln des Freistaates Sachsen durchgeführt. Für die jederzeit konstruktive technische Projektbegleitung sei Herrn Dr. Uwe Bergfeld und Herrn Dr. Manfred Golze von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung, gedankt. Insbesondere möchte ich mich bei Frau Dr. Ute Wanka für die fachliche Begleitung und Bewertung der Berichte bedanken.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn PD Dr. Bert-Andree Zucker vom Institut für Tier- und Umwelthygiene der Freien Universität Berlin für die Durchführung der gravimetrischen Staubmessungen und Bestimmung luftgetragener Mikroorganismen sowie des in diesen Bericht eingeflossenen Teilberichtes. Ebenso danke ich Herrn Dr. Wieland Schrödl vom Institut für Bakteriologie und Mykologie der Veterinärmedizinischen Fakultät an der Universität Leipzig für die immunologischen Untersuchungen des Hennenblutes und der Erstellung des entsprechenden Berichtsteils im Abschnitt Tiergesundheit und Stallhygiene.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. W. Frosch vom Institut für Agrarwissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Durchführung der Olfaktometrie und Laborkalibrierung der Messventilatoren. Vom Landesamt für Umwelt und Geologie bedanke ich mich bei Herrn Dr. Johannes Jacob für die gewährte Unterstützung.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Roland Kretschmann und Herrn Frank Rothe der Umweltbetriebsgesellschaft Sachsen für die konsequente Umsetzung des Untersuchungskonzeptes und die Sicherung der hohen Qualität bei der Gewinnung der Klima- und Lüftungsdaten in den untersuchten Haltungen. Die jederzeit anregende Diskussion zu Grundlagen der verwendeten Messtechnik hat entscheidend zur Belastbarkeit der gewonnenen Kenndaten beigetragen.

Last but not least möchte ich Herrn Klaus Bachmann vom Stallklimaprüfdienst für die anregende Diskussion und Beratung zu Fragen der Lüftungssteuerung danken.



## **Impressum**

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden  
Internet: [www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen)
- Autor:** Dr. Jens Lippmann  
Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Agrarwissenschaften e.V.  
an der Universität Leipzig  
Gustav-Kühn-Straße 8  
04159 Leipzig  
Telefon: 0341/9738-482  
Telefax: 0341/9738-489  
E-Mail: [jens.lippmann@uni-leipzig.de](mailto:jens.lippmann@uni-leipzig.de)
- Redaktion:** siehe Autor
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig  
Telefon: 0351/2612-345  
Telefax: 0351/2612-151  
E-Mail: [birgit.seeber@smul.sachsen.de](mailto:birgit.seeber@smul.sachsen.de)
- ISSN:** **1861-5988**
- Redaktionsschluss:** Februar 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

### **Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.