

Differenzierte Bioaerosol- messungen

Schriftenreihe, Heft 5/2018



Größenfraktionierte und kontinuierliche Messung von Bioaerosolen in der Emission von Geflügelhaltungen

Marcus Clauß, Stefan Linke, Annette Christiane Springorum

1	Zusammenfassung .....	.9
2	Abstract .....	.9
3	Einleitung.....	10
4	Theoretischer Hintergrund.....	11
4.1	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	11
4.2	Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen	12
4.3	Partikelgröße luftgetragener Mikroorganismen	14
4.4	Tageszeitliche Schwankungen	15
5	Material und Methoden.....	16
5.1	Beschreibung der untersuchten Ställe.....	16
5.2	Versuchsaufbauten und Durchführung.....	18
5.2.1	Größenselektives Probenahmesystem.....	18
5.2.2	Automatischer Bioaerosolsammler	18
5.2.3	Versuchsaufbau	19
5.2.4	Versuchsdurchführung	20
5.2.5	Mikrobiologische Aufarbeitung der Proben.....	22
5.2.6	Berechnung des Abluftvolumenstroms.....	23
6	Ergebnisse und Diskussion.....	24
6.1	Emissionen von Gasen, Staub und Bioaerosolen gemessen nach Konvention.....	24
6.1.1	Legehennenhaltung 1 (LH1)	24
6.1.2	Legehennenhaltung 2 (LH2)	31
6.1.3	Mastputenhaltung (MP).....	38
6.2	Größenfraktionierte Bioaerosolmessungen	46
6.3	Kontinuierliche Bioaerosolmessungen.....	50
7	Vorschläge für die Nutzung der Erkenntnisse bei der Ausbreitungsrechnung.....	68
8	Ausblick.....	70
	Literaturverzeichnis.....	71
	Anhang	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufsicht auf Legehennenstall 1 (LH1), gemessen wurde am Stallgebäude ganz rechts. Der 12 Meter hohe Abluftturm mit den Abluftkaminen ist an der südlichen Giebelwand positioniert.....	16
Abbildung 2:	Aufsicht auf Legehennenstall 2 (LH2), gemessen wurde am linken Stallgebäude am mittleren Abluftkamin	17
Abbildung 3:	Aufsicht auf den Mastputenstall (MP), gemessen wurde am unteren linken Stallgebäude am dritten Abluftkamin von rechts	18
Abbildung 4:	Messmodul ausgerüstet mit den verschiedenen Probenahmesystemen	19
Abbildung 5:	Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und Außen während der Messungen an LH1 (*Daten vom DWD).....	26
Abbildung 6:	Zeitliche Verläufe der Volumenströme während der Messungen an LH1.	27
Abbildung 7:	Verlauf der Ammoniak- und CO ₂ -Konzentrationen in der Emission von LH1 während der Messungen	28
Abbildung 8:	Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und Außen während der Messungen an LH2 (*Daten vom DWD).....	33
Abbildung 9:	Verlauf der Volumenströme während der Messungen an LH2.....	34
Abbildung 10:	Verlauf der Ammoniak- und CO ₂ -Konzentrationen in der Emission von LH2 während der Messungen	35
Abbildung 11:	Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und Außen während der Messungen am MP (*Daten vom DWD).....	40
Abbildung 12:	Verlauf der Volumenströme während der Messungen am MP.....	41
Abbildung 13:	Verlauf der NH ₃ - und CO ₂ -Konzentrationen in der Emission vom MP während der Messungen	42
Abbildung 14:	Prozentuale Anzahlverteilung von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Partikelfractionen PM ₁₀ und PM _{2,5} in der Emission zweier Legehennenställe (n = 24) und eines Mastputenstalls (n = 12).....	49
Abbildung 15:	Prozentuale Anteile am Gesamtstaub von PM ₁₀ und PM _{2,5} in der Emission zweier Legehennenställe (jeweils n = 12) und eines Mastputenstalls (n = 10).....	49
Abbildung 16:	Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 19.06.2017 – 21.06.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM ₁₀ und PM _{2,5} an LH1.....	50
Abbildung 17:	Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 11.10.2017 – 12.10.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM ₁₀ und PM _{2,5} an LH2.....	51
Abbildung 18:	Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 21.08.2017 – 23.08.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM ₁₀ und PM _{2,5} am MP.....	51
Abbildung 19:	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von LH1 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	55
Abbildung 20:	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von LH1 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	56
Abbildung 21:	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von LH2 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	57
Abbildung 22:	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von LH2 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	58

Abbildung 23	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von der MP (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	59
Abbildung 24:	Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von der MP (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.....	60
Abbildung 25:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	61
Abbildung 26:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	62
Abbildung 27:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	63
Abbildung 28:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	64
Abbildung 29:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an der MP. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	65
Abbildung 30:	Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an der MP. Dunkelphasen sind grau hinterlegt	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eingesetzte Probenahme- und Messsysteme für die verschiedenen Messparameter	20
Tabelle 2:	Durchführung von Probenahmen und Messungen innerhalb einer dreitägigen Messkampagne....	21
Tabelle 3:	Minimum, Maximum und geometrisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck während der Messungen an LH 1 (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5000	25
Tabelle 4:	In der Emission von LH 1 gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und M2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub	29
Tabelle 5:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	30
Tabelle 6:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	31
Tabelle 7:	Minimum, Maximum und arithmetisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck währen der Messungen an LH 2 (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5000	32
Tabelle 8:	In der Emission von LH 2 gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und PM2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.....	36
Tabelle 9:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	37
Tabelle 10:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	38
Tabelle 11:	Minimum, Maximum und arithmetisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck währen der Messungen am MP (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5000	39
Tabelle 12:	In der Emission vom MP gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und PM2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.....	43
Tabelle 13:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien am MP, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	44
Tabelle 14:	Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken am MP, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.....	45
Tabelle 15:	In der Emission von LH 1 gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und PM2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.....	46
Tabelle 16:	In der Emission von LH 2 gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und PM2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.....	47
Tabelle 17:	In der Emission vom MP gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen „Gesamtstaub“, PM10 und PM2,5 sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.....	48

Tabelle 18: Berechnung des Unterschiedes zwischen ABiS und Emissionsimpinger bei zeitgleich durchgeführten Emissionsmessungen am MP zur Ermittlung eines Korrekturfaktors für die Anpassung der Konzentrationswerte des ABiS auf den Emissionsimpinger.	52
Tabelle 19: Maximale, minimale und mittlere Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien für verschiedene Zeiten innerhalb der 48 h-Messzyklen an den drei untersuchten Geflügelhaltungen	67
Tabelle 20: Maximale, minimale und mittlere Emissionsfaktoren für Staphylokokken für verschiedene Zeiten innerhalb der 48 h- Messzyklen an den drei untersuchten Geflügelhaltungen	68
Tabelle 21: Empfohlene Korngrößenklassen für künftige Ausbreitungsrechnungen für Staphylokokken	69
Tabelle 22: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	74
Tabelle 23: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	77
Tabelle 24: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	80
Tabelle 25: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	83
Tabelle 26: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien am MP basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	86
Tabelle 27: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken am MP basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.	89

Abkürzungsverzeichnis

ABiS	Automatischer Bioaerosolsammler
AD	aerodynamischer Durchmesser
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWD	Deutscher Wetterdienst
GV	Großvieheinheit
h	Stunde
hPa	Hektopascal
KBE	Koloniebildende Einheit
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
LAI	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
LH1	Legehennenhaltung 1
LH2	Legehennenhaltung 2
m ³	Kubikmeter
mL	Milliliter
MP	Mastputenhaltung
PM	engl.: Particulate matter
ppm	parts per million
rF	relative Feuchte
S	Sommermessung
S. aureus	Staphylococcus aureus
Stabw	Standardabweichung
TA	Technische Anleitung
TP	Tierplatz
TSP	Total Suspended Particles
Ü	Übergangszeitmessung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Wintermessung
°C	Grad Celsius
µl	Mikroliter

1 Zusammenfassung

Um die Prognosen zur Ausbreitung und gesundheitlichen Bewertung von Bioaerosol-Emissionen durch die Erhebung fehlender Eingangsdaten für die Ausbreitungsmodelle zu verbessern, wurden erstmals die Größenverteilungen von Bioaerosolen, sowie deren tageszeitlicher Konzentrationsverlauf in der Emission von Anlagen zur Geflügelhaltung bestimmt. Dazu wurden an zwei Legehennenhaltungen und einer Mastputenhaltung über das Jahr verteilt emissionsseitig die Menge von Gesamtbakterien und dem anlagenspezifischen Leitparameter Staphylokokken in den Partikelfractionen $PM_{2,5}$, PM_{10} und im Gesamtstaub bestimmt. Hierzu kam eine neuartige Kombination aus Emissionsimpinger und Impaktor als Vorabscheider zum Einsatz. Zudem wurden mit einem Automatischen Bioaerosolsammler (ABiS) die tageszeitlichen Schwankungen der Emissionen erfasst. Die prozentuale Anzahlverteilung von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Partikelfractionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ war bei den beiden Legehennenhaltungen mit durchschnittlich etwa 37 % und 16 % annähernd gleich. Bei den Mastputen gab es kleine Unterschiede, wobei die Staphylokokken mit 37 % in PM_{10} und 12 % in $PM_{2,5}$ fast identisch mit den Werten für Legehennen sind und lediglich die Gesamtbakterien mit durchschnittlich 28 % in PM_{10} und 12 % in $PM_{2,5}$ in höherem Maße auf größeren Partikeln vorliegen. Die Verteilung der Staubfractionen ist völlig anders als die der luftgetragenen Bakterien. Hier liegen die PM_{10} -Anteile bei den untersuchten Ställen alle bei etwa 85 % und die $PM_{2,5}$ -Anteile zwischen 40 % und 50 %. Dies zeigt, dass nicht allein über die Größenverteilung der Staubfractionen auf die Größenverteilung der Bioaerosole geschlossen werden kann. Es wurden deutliche tageszeitliche Fluktuationen festgestellt mit Unterschieden von bis zu 3 Zehnerpotenzen. Im Mittel waren die Emissionen zwischen 06:00 Uhr und 18:00 Uhr 4-mal höher als zu den entsprechenden Nachtzeiten. Aus diesem Grund sollten sowohl die Partikelgrößenverteilung, als auch die tageszeitlichen Emissionsschwankungen in Zukunft bei der Ausbreitungsrechnung von Bioaerosolen berücksichtigt werden.

2 Abstract

In order to improve the prognosis for the spread and health assessment of bioaerosol emissions, for the first time the size distributions of bioaerosols as well as their day-time concentration course in the emission of poultry production plants were determined to providing additional input data for dispersion models. For an enhanced accuracy of the prediction models, the amount of total bacteria and the system-specific key parameter staphylococci in particle fractions $PM_{2,5}$, PM_{10} and total dust were determined on the emission side of two laying hen units and turkey fattening unit throughout the year. For this purpose, a novel combination of emission impeller and impactor was used as preseparator. In addition, an automatic bioaerosol collector (ABiS) recorded the daily fluctuations in emissions. The percentage distribution of total bacteria and staphylococci in the particle fractions PM_{10} and $PM_{2,5}$ was approximately the same for the two laying hen husbandries, averaging about 37% and 16%, respectively. There were small differences in fattening turkeys, with staphylococci (37% in PM_{10} and 12% in $PM_{2,5}$) being almost identical to laying hens and only total bacteria (averaging 28% in PM_{10} and 12% in $PM_{2,5}$) to a greater share on larger particles. The distribution of the dust fractions is completely different than that of the airborne bacteria. Here, the PM_{10} shares in the stables studied are all at about 85%, the $PM_{2,5}$ shares between 40 % and 50 %. This shows that the size distribution of the bioaerosols cannot solely be concluded by the size distribution of the dust fractions. Significant daily fluctuations were noted with differences of up to 3 orders of magnitude. On average, emissions were 4 times higher between 6:00 am and 6:00 pm than at the respective times of the night. For this reason, both the particle size distribution and the daytime emission fluctuations should be taken into account in the future in dispersion modelling of bioaerosols.

3 Einleitung

Für Neubauten oder Erweiterungen von Tierhaltungsanlagen werden üblicherweise im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach BImSchG die Auswirkungen auf die Umwelt geprüft (siehe z.B. LAI-Bioaerosolleitfaden). In diesem Rahmen wird u. a. mit Hilfe von Computermodellen ermittelt, wie sich die aus den Anlagen emittierenden Bioaerosolleitparameter über die Luft ausbreiten. Hierbei mehren sich die Hinweise, dass die für die Berechnungen verwendeten Eingangsdaten, wie Partikelgröße oder Emissionsfaktoren, welche seinerzeit hilfsweise per Konvention konservativ festgelegt wurden, zur Prognose von deutlich zu hohen Immissionswerten führt. Dies legen auch zeitgleich durchgeführte Emissions- und Immissionsmessungen nahe (Gärtner et al. 2017a).

Als Eingabeparameter für die Ausbreitungsrechnungen werden im Bereich der Bioaerosole Konventionswerte für Emissionsfaktoren für definierte Leitparameter verwendet (VDI 4255 Blatt 3 und 4). Diese Werte sollen Emissionen repräsentativ darstellen, basieren jedoch wissentlich auf Messungen, die ausschließlich tagsüber durchgeführt wurden. Es ist bekannt, dass die Staubemissionen aus Nutztierställen durch die Tieraktivität nachts geringer sind als tagsüber. Da Bioaerosole quasi die „biologische Fraktion“ des Staubes darstellen, ist es mehr als wahrscheinlich, dass dies auch für die Bioaerosolleitparameter gilt. Bei der Ausbreitungsrechnung wird zudem per Definition davon ausgegangen, dass die Bakterien in Partikelgrößenklasse $< 2,5 \mu\text{m}$, also quasi als einzelne Zellen vorliegen. Die Partikelgröße ist ein wichtiger Faktor, der einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse von Immissionsprognosen hat. Große Bioaerosolpartikel können dabei zum einen eine hohe Anzahl an Mikroorganismen tragen, sedimentieren aber zum anderen viel schneller als kleine Partikel und werden daher deutlich weniger weit getragen. Kleine Bioaerosolpartikel enthalten wiederum weniger Bakterien, können aber viel weiter in die Umwelt gelangen und eingeatmet werden. Dies könnte dann, über die Ausbreitung hinaus, auch für die gesundheitliche Bewertung der aus den Emissionen resultierenden Immissionen zusätzliche Relevanz erlangen.

Dies führt bei Genehmigungsverfahren bei den zuständigen Behörden zu großen Unsicherheiten bezüglich der Bewertung der resultierenden Ergebnisse. Hier herrscht Forschungsbedarf.

Dieses Projekt hat zum Inhalt, für die künftige Verbesserung von Ausbreitungsberechnungen und die gesundheitliche Bewertung von Bioaerosol-Emissionen noch fehlende Eingangsdaten zu erheben. Hierzu wurden die Größenverteilung von luftgetragenen Bakterien, sowie deren tageszeitlicher Konzentrationsverlauf in der Emission von Anlagen zur Geflügelhaltung bestimmt. Dazu wurden an zwei Anlagen zur Legehennenhaltung und einer Mastputenhaltung emissionsseitig die Menge von Gesamtbakterien und dem Leitparameter Staphylokokken in den Partikelfractionen $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} und im Gesamtstaub bestimmt und gegenübergestellt. Zudem wurden mit einem Automatischen Bioaerosolsammler (ABiS) die tageszeitlichen Schwankungen der Emissionen vorgenannter Parameter erfasst. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass die Probenahme der Bioaerosole und die anschließende Aufarbeitung der Proben möglichst nach VDI-Richtlinien durchgeführt werden.

Die Untersuchung zeigt auf in welcher Partikelgrößenklasse die luftgetragene Bakterien vorliegen und wie groß der Unterschied der Emissionen zwischen Tag und Nacht ist. In einer abschließenden Bewertung der Ergebnisse werden Empfehlungen gegeben, wie die erhobenen Daten künftig in die bestehenden Ausbreitungsrechnungen implementiert werden können und sollten.

4 Theoretischer Hintergrund

Aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln hat sich die Tierproduktion in vielen Industrie- und Schwellenländern in den letzten 50 Jahren dramatisch verändert. Dabei geht der Trend weg von der traditionellen Nutztierhaltung mit verschiedenen Tierarten hin zu spezialisierten (intensivierten) Tierhaltungsanlagen mit steigenden Tierzahlen mit Fokus auf nur eine Art und hohen Besatzdichten (Ko et al. 2010, Millner 2009, Thorne 2007, Thu 2002). In Deutschland ist die Geflügelhaltung mit etwa 56.000 Betrieben (Statistisches Bundesamt 2017a) ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Von den etwa 201 Millionen Tierplätzen (TP) in der deutschen Geflügelhaltung befinden sich mit 101 Millionen TP die Hälfte davon in Niedersachsen, verteilt auf ca. 6.000 Betriebe. Im Bundesland Sachsen gibt es ca. 2.000 Geflügelhaltungsbetriebe mit etwa 7 Millionen TP. Die Legehennenhaltung in Deutschland umfasst in etwa 45.000 Betrieben ca. 58 Millionen Legehennenplätze. In Niedersachsen ergibt sich rechnerisch bei etwa 20 Millionen Plätzen in ca. 4.000 Betrieben eine durchschnittliche Betriebsgröße von 5.000 TP. In Sachsen beträgt die durchschnittliche Betriebsgröße etwa 3.000 TP bei 4 Millionen Legehennenplätzen in 1.500 Betrieben. Dies ist immer noch doppelt so hoch wie der rechnerische Bundesdurchschnitt mit 58 Millionen Legehennenplätzen. In der deutschen Geflügelhaltung werden die meisten TP für die Fleischproduktion vorgehalten. Prognosen erwarten einen weiteren Anstieg der Geflügelfleischproduktion auf weit über die derzeitigen 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr (Statistisches Bundesamt 2017b). Den höchsten Anteil am Geflügelfleisch haben die Masthähnchen (960.000 t im Jahr 2016), entsprechend hoch ist mit 110 Millionen Tierplätzen auch der Anteil der Masthähnchenhaltung an der deutschen Geflügelhaltung. Den zweithöchsten Anteil stellt die Putenmast mit knapp 500.000 t im Jahr 2016 (Statistisches Bundesamt 2016). Die Anzahl TP in der Putenmast in Deutschland mit ca. 13 Millionen verteilt sich auf etwa 2.000 Betriebe. In Sachsen finden sich 57 Betriebe zur Putenmast mit ca. 250.000 TP, in Niedersachsen sind es etwa 6 Millionen TP verteilt auf etwa 400 Betriebe. Das Gewicht pro Tierplatz ist aber im Vergleich zur Hähnchenmast deutlich höher (0,0222 vs. 0,0024 Großvieheinheiten (GV), jeweils schwerste Gewichtskategorie lt. KTBL GV-Rechner). Werden die Tierplätze in GV umgerechnet, nehmen Puten und Masthähnchen in der deutschen Fleischgeflügelhaltung den etwa gleichen Rang (Hähnchen 264.000, Pute 272.000 GV) ein.

Die Konzentrierung von immer mehr Tierplätzen pro Betrieb bzw. mehr Tieren in den Ställen stellt besondere Herausforderungen an den Stallbau in Bezug auf das Lüftungsregime und die Hygiene in den Ställen. So werden weltweit vor allem Hühner immer öfter in geschlossenen zwangsgelüfteten Ställen gehalten, mit oder ohne Einstreu, Puten dagegen meist in freibelüfteten Stallgebäuden. Die Steigerung der Tierzahlen in den Ställen führt dort zu einem Anstieg von Luftschadstoffen wie z. B. Ammoniak und Feinstaub. Zu diesen Luftschadstoffen gehören auch die Bioaerosole.

Als Bioaerosole bezeichnet man luftgetragene organische Partikel biologischer Herkunft (angelehnt an DIN EN 13098). Konkret sind dies u. a. luftgetragene Viren, Bakterien, Schimmelpilzsporen, Schimmelpilzhyphen und Pollen, deren Bruchstücke und Stoffwechselprodukte, wie z. B. Endotoxine und Mykotoxine, sowie Fragmente von Hautschuppen, Haaren, Federn, Fäkalien, Einstreumaterial und Futterresten. In Tierställen finden vor allem viele Mikroorganismen ideale Lebensbedingungen, aufgrund der dort vorherrschenden Temperaturen, Luftfeuchten, sowie dem Nährstoffangebot und den vielfältigen Lebensräumen (z. B. Fäkalien, Einstreu, Futter, Tiere). Gelangen diese Mikroorganismen in die Luft, können sie als Bioaerosole auch aus den Ställen in die Umwelt und in bewohnte Gebiete gelangen.

4.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

In Deutschland sind die Ermittlung und Bewertung von Emissionen und Immissionen von Partikeln im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und seinen Verordnungen, sowie in der TA-Luft geregelt. Ziel dieser Regelungen ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige

Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Die TA-Luft befindet sich aktuell in der Überarbeitung und es wird diskutiert, in welchem Rahmen Bioaerosole zukünftig in die Neufassung der TA-Luft aufgenommen werden. Für Bioaerosole findet auch der „Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen“ (LAI-Leitfaden, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz 2014) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz Anwendung, der eine bundesweit einheitliche, standardisierte Methodik zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosolbelastungen entwickelt hat. Ergänzend wurden zahlreiche Technische Regeln im Arbeitsschutz (Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe - TRBA) und Umweltschutz erstellt. Eines der weltweit umfassendsten Regelwerke zur Messung und Bewertung von Bioaerosolen hat der „Verein Deutscher Ingenieure“ (VDI) erstellt. Der Themenbereich „Bioaerosole und biologische Agenzien“ ist aufgrund seiner Komplexität in mehrere Richtlinienreihen unterteilt und umfasst zur Zeit 21 Richtlinien sowie acht europäische und internationale Normen, fünf weitere Richtlinien befinden sich aktuell in der Vorbereitung. Diese Regelungen finden in vielen deutschen Bundesländern Anwendung, insbesondere dort, wo Bioaerosole Gegenstand von Genehmigungsverfahren für Neu- oder Umbauten von Stallgebäuden sind (Betriebe mit mehr als 2.000 Mastschweinen oder 750 Sauen, Geflügelhaltungen mit mehr als 40.000 Tieren, siehe BImSchG bzw. 4. ImSchV). Dabei werden die im Umfeld zu erwartenden Immissionen von bestimmten luftgetragenen Mikroorganismen, die als „Anlagenspezifische Leitparameter“ bezeichnet werden, messtechnisch bestimmt oder über Ausbreitungsmodelle berechnet, um diese dann unter umweltmedizinischen Gesichtspunkten zu bewerten. Überschreitet die Bioaerosol-Konzentration an einem Ort in der Umgebung der Anlage das Niveau der natürlichen Hintergrundkonzentrationen, z. B. durch Emissionen aus einer zu beurteilenden Anlage, wird das als „hygienisch unerwünscht“ betrachtet. Dazu wurden sogenannte „Orientierungswerte“ und „Aufmerksamkeitswerte“ eingeführt (VDI Richtlinie 4250 Blatt 1). Für Gesamtbakterien wird beispielsweise der Aufmerksamkeitswert aus dem 90-Perzentilwert von gemessenen Hintergrundkonzentrationen abgeleitet. Werden diese Werte einzeln oder gemeinsam überschritten, kann eine Zusatzbelastung als relevant eingeschätzt werden. Eine Schwierigkeit bei der Bewertung besteht in der breiten Streuung möglicher Hintergrundkonzentrationen.

In der VDI 4250 Blatt 3 wird für die vorgegebenen Leitparameter *Staphylococcus aureus*, Staphylokokken, Enterokokken und *Enterobacteriaceae* ein einheitlicher Orientierungswert genannt: Dieser ist die per Konvention festgelegte Bestimmungsgrenze des in VDI 4253 Blatt 3 beschriebenen Impingerverfahrens (Waschflaschenverfahren zur Probenahme von Keimen aus Luft) von jeweils 80 KBE/m³ multipliziert mit einem Faktor 3. Die Faktorisierung dient dem Ausgleich von Messunsicherheiten sowie Unsicherheiten bei der Bewertung. Daraus ergibt sich für alle vier Leitparameter ein Orientierungswert von 240 KBE/m³. Die Messparameter *S. aureus*, Enterokokken und *Enterobacteriaceae* eignen sich im Bereich der Geflügelhaltung und für die betrachtete Fragestellung weniger gut als Leitparameter. *S. aureus* ist mit den standardisierten Methoden nur mit sehr großem Aufwand nachzuweisen und bereits im Messparameter „Staphylokokken“ enthalten, wo er ca. 0,1 % – 10 % ausmacht. Verglichen mit Staphylokokken sind Enterokokken in sehr viel geringeren Konzentrationen in der Luft vorhanden und es treten auf den Nährböden häufig Kontaminationen von z. B. von *Aerococcus spp.* auf. Enterobakterien sind sehr empfindlich und sterben bereits vor oder auch während der Probenahme ab.

Entsprechend des LAI-Bioaerosolleitfadens wird bei Überschreitung der Orientierungswerte eine Sonderfallprüfung nach TA Luft erforderlich. In dieser soll eine Gesamtwürdigung der vorhandenen Erkenntnisse innerhalb eines Fachgutachtens vorgenommen werden.

4.2 Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen

Die Ermittlung der Ausbreitung von luftgetragenen Mikroorganismen im Umfeld einer Emissionsquelle durch Immissionsmessungen ist sehr aufwändig. Sie kann aber auch mit Computermodellen simuliert werden. Bereits Müller et al. (1978) haben die Ausbreitung von Bakterien aus Tierställen mit einem einfachen Rechenmodell simuliert und dabei auch die Partikelgrößenverteilung und eine Absterbekonstante berücksichtigt. Viele

verschiedene Simulationsmodelle wurden in der Vergangenheit für die Vorhersage der Dispersions- und Dispositionsmustern (lebensfähiger) Bioaerosole aus Punkt- oder Flächenquellen entwickelt. Eine umfassende Übersicht dazu geben van Leuken et al. (2016). Über die Anwendbarkeit und Validität der verwendeten Modelle für die Ausbreitung von Mikroorganismen ist bisher aber kaum etwas bekannt. Auch Schulz (2007) fand im Umfeld von Masthähnchenställen für Staphylokokken teilweise gute Übereinstimmungen zwischen vor Ort gemessenen Konzentrationen und den mittels eines Gauß-Modells errechneten Zahlen. In einer Studie des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (2015) fanden sich hingegen in nur wenigen Fällen Übereinstimmungen in der Größenordnung bei Ausbreitungsrechnungen und Messwerten. Die Gründe für Abweichungen zwischen den Modellwerten und den Messwerten können sowohl in den Messungen als auch in der Güte der Eingabeparameter für die Modelle zu finden sein. Die Transportmechanismen für Aerosole sind kompliziert und noch nicht vollständig verstanden (Zhang & Chen 2007). Die Transmission von Stallluftpartikeln in der Außenluft wird durch die meteorologischen Bedingungen, die orographischen Gegebenheiten und durch die Partikeleigenschaften selbst bestimmt (Schulz et al. 2011). Diese finden mit der Ausbreitungsklasse, Rauigkeitslänge und Sedimentations- und Depositionsgeschwindigkeit der Partikel rechnerisch Eingang in die meisten Ausbreitungsmodelle. Die Parametrisierung solcher Modelle verfolgt in Deutschland derzeit einen konservativen Ansatz. So wird z. B. angenommen, dass die Bakterien den luftgetragenen Zustand unabhängig von dessen Dauer zu 100 % überleben. Dies entspricht nicht dem aktuellen Stand des Wissens. Bei der Ausbreitungsprognose von lebenden Mikroorganismen müssten auch die auf sie wirkenden Umweltfaktoren wie Temperatur, Luftfeuchte, UV-Strahlung, Komponenten der Umgebungsluft, der so genannte „open air factor“ (OAF), sowie die Kombination all dieser Faktoren berücksichtigt werden (Springorum & Clauß 2016).

Bisher ebenfalls unberücksichtigt sind die tierart- und haltungsformspezifischen mittleren Partikelgrößen von Bioaerosolen, die bisher konservativ mit $< 2,5 \mu\text{m}$ angenommen werden und auch so in die Berechnungen einfließen. Auch die für die Berechnungen empfohlenen Konventionswerte für Emissionsfaktoren (VDI 4255 Blatt 3, VDI 4255 Blatt 4) sind konservativ festgelegt. Diese Werte sollen repräsentative Jahresmittelwerte der Emissionen darstellen, basieren jedoch auf Messungen, die ausschließlich tagsüber durchgeführt wurden. In der Konsequenz führt dies dazu, dass bei Immissionsprognosen die angegebenen Orientierungswerte für die Stallspezifischen Leitparameter vor allem bei der Geflügelhaltung auch nach 2 km Entfernung von den untersuchten Ställen rechnerisch noch überschritten werden (Clauß et al. 2016), obwohl sie i. d. R. bereits nach einigen 100 m messtechnisch kaum noch nachzuweisen sind.

4.3 Partikelgröße luftgetragener Mikroorganismen

Größe und Form der meisten Mikroorganismen sind aus zahlreichen mikroskopischen Untersuchungen bekannt. Einen Überblick geben z. B. De Hoog et al. (2000), Bergey et al. (1974) und Winkle et al. (1979). Mikroorganismen sind in der Regel sehr klein, so haben Bakterien typischerweise Durchmesser von einem halben bis einigen wenigen μm . Seit dem vorletzten Jahrhundert ist aber bekannt, dass Bakterien in der Luft überwiegend in Aggregaten vorkommen oder auch auf größeren Staubpartikeln haften (Hesse 1884, Hesse 1888). Daher werden die meisten Mikroorganismen in der Luft in deutlich größeren Partikelgrößenfraktionen gefunden als es die Größe der Einzelzellen der Organismen vermuten lässt. Dies gilt insbesondere für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung (Clauß et al. 2011a, b.).

Natürliche Bioaerosolpartikel sind meist aus mehreren Komponenten zusammengesetzt und daher unregelmäßig aufgebaut. Aus diesem Grund ist die Angabe der Größe bzw. Abmessungen eines solchen Partikels, also Länge, Breite und Höhe, problematischer als bei einem klar definierten geometrischen Körper, wie z. B. einem kugel- oder stäbchenförmigen Bakterium. Bei luftgetragenen Partikeln wird meist die Größe ‚Aerodynamischer Durchmesser‘ (AD) angegeben. Diese ist definiert als der geometrische Durchmesser eines kugelförmigen, starren Vergleichspartikels der Dichte von 1 g/cm^3 , welcher die gleiche Sinkgeschwindigkeit in Luft von Normaldruck und -temperatur hätte, wie der betrachtete Partikel hat (Hinds 1999). Hierbei wird indirekt das Verhalten eines Partikels in der Luft berücksichtigt, für das neben seiner Form und Größe zusätzlich noch die Dichte relevant ist. Diese variiert bei Schimmelpilzsporen zwischen 0,56 und $1,44 \text{ g/cm}^3$ (Gregory 1973), bei Bakterien dürfte es ein ähnlicher Bereich sein.

Die Anzahl Mikroorganismen eines definierten Größenbereichs, die sich in einem bestimmten Luftvolumen befindet wird i. d. R. als Anzahlkonzentration (z. B. KBE/m³) angegeben. Im umwelt- und arbeitsmedizinischen Bereich wird zur Charakterisierung von luftgetragenen Partikeln (Staub) die Massenkonzentration angegeben (z. B. µg/m³) (Hinds 1999). Ein Bezug auf die Masse ist für Mikroorganismen nicht gebräuchlich. Wenn Mikroorganismen jedoch in einem gröÙenselektiven Sammelsystem aufgrund ihrer Masse aus dem Luftstrom abgetrennt werden, liegt dem ebenfalls eine massenbezogene Trennkurve zugrunde. Aus dem Verlauf dieser Trennfunktion leitet sich ein mittlerer Durchmesser ab, bei dem genau die Hälfte der Partikel dieser Größe in die Gewichtung eingehen. Die Trennfunktionen verschiedener Sammelsysteme sind teilweise sehr unterschiedlich, je nachdem wann und vor allem für welchen Anwendungsbereich sie entwickelt wurden. Derzeitig liegt im arbeitsmedizinischen Bereich den Trennkurven das Abscheideverhalten des menschlichen Atemtrakts zugrunde, im Umweltbereich dagegen wird versucht zwischen den Partikelgrößenfraktionen einen möglichst klaren Schnitt zu machen (steilere Trennkurven).

Im Umweltbereich wird ‚Gesamtstaub‘ definiert als alle von der Luft umgebenden Partikel innerhalb eines bestimmten Luftvolumens, wobei die obere Grenzgröße in der VDI 2463 (1999) auf 30 µm AD festgelegt wird. Die Staubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} haben ihren Namen vom jeweiligen Cutpoint und sind allgemein definiert als Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm bzw. 2,5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweisen (DIN EN 12341 1999, US EPA 2009).

Clauß (2015a) gibt einen umfassenden Überblick zur Partikelgrößenverteilung luftgetragener Mikroorganismen in verschiedenen Umweltbereichen. Messungen zur Partikelgrößenverteilung wurden am häufigsten mit Andersen-Sammlern durchgeführt. Diese geben jedoch nur die Anzahl „kultivierbarer Mikroorganismen“-tragender Partikel im Bereich von 0,65 µm bis 12 µm AD einigermaßen sicher an. Die meisten Bakterien-tragenden Partikel werden dabei in der Partikelgrößenfraktion von 7 µm bis 12 µm AD gefunden. Bei den Schimmelpilzen werden dagegen die meisten Sporen-tragenden Partikel in der Partikelgrößenfraktion zwischen 2 µm und 4 µm AD ermittelt. Die vorgefundenen Verhältnisse repräsentieren dabei die Größenverteilungen der Sporen der am häufigsten vorkommenden Schimmelpilzarten (Clauß 2015a). Die Anzahl aller Mikroorganismen in einem bestimmten Luftvolumen wurde bis- her kaum untersucht. Darüberhinausgehende Wissensdefizite existieren aufgrund der bisher eingesetzten Partikelgrößenverteilung von Bioaerosolen im Bereich > 12 µm AD. Daher empfahl Clauß (2015) in Zukunft Sammelsysteme einzusetzen, mit denen nicht nur die Anzahl Mikroorganismen-tragender Partikel im Bereich < 12 µm AD, sondern die Anzahl aller Mikroorganismen in den umwelt- und gesundheitlich relevanten Partikelfraktionen PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀ und Gesamtstaub erfasst werden können. Mittlerweile sind in Deutschland durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) in Nordrhein Westfalen (NRW) (Gärtner et al. 2017) und das Thünen-Institut für Agrartechnologie (Clauß et al., in Vorbereitung) entsprechende Messungen durchgeführt worden (Clauß & Gärtner 2017). Beide Institutionen nutzen dafür eine Kombination aus Emissionsimpingern und Impaktoren (PM_{2,5} und PM₁₀) als Vorabscheider für die Impinger. Nach erfolgreicher Messkampagne zeigte sich, dass bei Masthähnchen 39 % der luftgetragenen Bakterien in der Fraktion PM₁₀ vorkommen und 14 % in der Fraktion PM_{2,5}. Bei den Mastschweinen waren ca. 60 % der luftgetragenen Bakterien in PM₁₀ und ca. 30 % in PM_{2,5}. Es liegen weitere Daten für Staphylokokken vor, deren Verteilung ähnlich ist. Für Mastschweine und Broiler liegen zugleich Ergebnisse von parallel zu den Bioaerosolmessungen durchgeführten Staubbmessungen mit dem Johnas II Impaktor nach VDI 2066 Blatt 10 vor. Bei den Schweinen waren hier 65 % der Partikel im PM_{2,5}-Anteil und 85 % in PM₁₀ detektiert. Die Verteilung nach Bioaerosolmessungen unterscheidet sich also deutlich von der Verteilung der luftgetragenen Bakterien im Staub. Bei den Masthähnchen dagegen entspricht die Verteilung der Bakterien etwa die der Staubpartikel mit 12 % im PM_{2,5}-Anteil und 45 % in PM₁₀. Nach derzeitigem Kenntnisstand scheinen die Konzentrationen von Staub und luftgetragenen Bakterien in den PM-Fraktionen nicht einheitlich zu korrelieren, wobei hierzu noch weitere Daten erhoben werden müssen, um die bisherigen Ergebnisse abzusichern. Für Puten und Legehennen ist über die Größenverteilung von Bioaerosolbestandteilen in den umweltrelevanten PM-Fraktionen kaum etwas bekannt.

4.4 Tageszeitliche Schwankungen

Weltweit wurden Bioaerosole bisher fast nur tagsüber gemessen (Clauß & Springorum 2017). Dies gilt auch für die Nutztierhaltung. Bedingt durch den Aufenthalt der Nutztiere in den Tierställen kommen dort auch sehr viele Mikroorganismen vor. Durch die Aktivität in den Ställen gelangen diese in großer Zahl in die Luft. In der Nacht ruhen die Tiere und es finden keine Arbeiten statt, sodass die Konzentrationen deutlich absinken. Am Thünen-Institut für Agrartechnologie wurde in verschiedenen Tierhaltungen mit einem automatischen Bioaerosolsammler (ABiS) über 48 h kontinuierlich die Konzentration von luftgetragenen Bakterien im Stall gemessen (Clauß, in Vorbereitung). Dabei zeigt sich, dass in Hühnerställen die Konzentrationen nachts ca. eine Zehnerpotenz unter die der Tageskonzentrationen liegen. Bei Ziegen sind die Konzentrationen nachts um den Faktor 5 niedriger, bei Rindern um den Faktor 3 und bei Schweinen um den Faktor 2. In den Niederlanden wurden für eine andere Bioaerosolkomponente, die Endotoxine, nachts deutlich geringere Konzentrationen in Tierställen festgestellt (Ogink et al. 2016). Dieser Sachverhalt hat auch deutliche Auswirkungen auf die Emission. In Großbritannien reduzierten sich die Konzentrationen von Endotoxinen in der Emission von Geflügelställen nachts um die Hälfte (Wathes et al. 1997). Bis heute liegen keine Daten für die tageszeitlichen Schwankungen von luftgetragenen Mikroorganismen in der Emission von Nutztierställen vor. In einem vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie durchgeführten Forschungsvorhaben wurden von der Tieraktivität abhängige Fluktuationen der Staubkonzentrationen gemessen und zur Berechnung der Nachtabsenkung der Bioaerosolemissionen herangezogen (Lippmann et al. 2016). Hier wurde z. B. bei den untersuchten Legehennen nachts während der Herdenruhe eine Absenkung der Konzentrationen luftgetragener Partikel von 90 % gefunden. Da Bioaerosole die biologische Fraktion des Staubes darstellen, kann ein solches Vorgehen erste Hinweise liefern, sollte jedoch durch Bioaerosolmessungen verifiziert werden.

Weder die tageszeitlichen Schwankungen der Emissionen noch die tatsächliche Partikelgrößenverteilung der luft- getragenen Mikroorganismen werden momentan bei der Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen aus Anlagen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung berücksichtigt, da entsprechende valide Daten fehlen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Emissionen von Gesamtbakterien und Staphylokokken an Geflügelställen tagsüber und nachts gemessen, sowie deren Verteilung in den Partikelfractionen PM_{2,5}, PM₁₀ und „Gesamtstaub“ bestimmt, um diese Wissenslücke zu schließen und zukünftig die im Rahmen von Genehmigungsverfahren durchgeführten Immissionsprognosen deutlich zu verbessern.

5 Material und Methoden

5.1 Beschreibung der untersuchten Ställe

Die Messungen fanden an insgesamt drei Geflügelställen statt, zwei Haltungen für Legehennen und eine Haltung für Mastputen.

Legehennenstall 1 (LH1)

Der Stall LH1 liegt 44 Meter ü. NN in Niedersachsen und besteht aus einem etwa 92 Meter langen, 14,5 Meter breiten und 3,4 Meter hohen (Innenmaße) Stallgebäude (Abbildung 1, rechtes Gebäude), ausgestattet mit vier Volierenreihen Natura60 der Firma Big Dutchman mit acht Abteilen und insgesamt 20.000 Tierplätzen. Der Stall wird mit einer Tunnellüftung und giebelseitigem Abluftturm mit sieben Abluftkaminen zwangsbelüftet.



Abbildung 1: Aufsicht auf Legehennenstall 1 (LH1), gemessen wurde am Stallgebäude ganz rechts. Der 12 Meter hohe Abluftturm mit den Abluftkaminen ist an der südlichen Giebelwand positioniert.

Die 56 Zuluftschächte sind gleichmäßig über den Tierbereich verteilt, in den Seitenwänden eingebaut und werden über einen Stellmotor reguliert. Zusätzlich können im Sommer giebelseitige Zuluftöffnungen über eine Jalousie automatisch geöffnet werden. Die Steuerung erfolgt über den Klima- und Produktionscomputer Viper der Firma Big Dutchman.

Die 19.500 Legehennen der Rasse Lohmann LT wurden 2016 in KW 22 in der 17. Lebenswoche eingestallt. Das Beleuchtungsregime der Aufzucht, mit Beginn der Dunkelphase um 18 Uhr und einer Hellphase von 10 Stunden, wurde bis zur 20. Lebenswoche beibehalten und dann wöchentlich um eine Stunde und zuletzt eine halbe Stunde nach vorne verlängert, bis ab der 25. Lebenswoche die Hellphase um 2:30 Uhr begann und nach 15,5 Stunden um 18 Uhr endete. Fünf Futterzeiten mit einem Umlauf des Futterbandes von 20 Minuten waren hauptsächlich über den Vormittag verteilt mit den Startzeiten 1:00 Uhr, 9:00 Uhr, 9:25 Uhr, 12:00 Uhr und 15:30 Uhr. Die Entmistung des Kotbandes fand einmal wöchentlich statt, der anfallende Mist wurde direkt abtransportiert.

Legehennenstall 2 (LH2)

Das Stallgebäude (Abbildung 2, linkes Gebäude) der zweiten Legehennenherde LH2 mit 4.150 Legehennenplätzen liegt 101 Meter ü. NN in Niedersachsen, misst ca. 45 x 19 Meter und ist 6,3 Meter hoch (First), die Innenraumhöhe der Abteile misst etwa 3,5 Meter. Die Be- und Entlüftung erfolgt zwangsgelüftet über Zuluftklappen in den Außenwänden und 3 firstständige Abluftkamine mit je einer maximalen Lüftungsleistung von 11400 m³/h. Die Beleuchtung bestand während des gesamten Probenahmezeitraumes neben dem einfallenden Tageslicht durch das Fenster aus künstlichem Licht mit einer Dunkelphase zwischen 19:30 Uhr und 4:00 Uhr, um 4:00 Uhr und um 19:00 Uhr beginnt eine halbstündige Dämmerphase. Die Steuerung erfolgt über den Klima- und Produktionscomputer Viper der Firma Big Dutchman. Die Entmistung des Kotbandes fand alle 7 bis 10 Tage statt, der anfallende Mist wurde direkt abtransportiert.



Abbildung 2: Aufsicht auf Legehennenstall 2 (LH2), gemessen wurde am linken Stallgebäude am mittleren Abluftkamin.

MP

Der Mastputenstall liegt in Sachsen in 102 m ü. NN und ist Teil einer größeren Anlage. Das Stallgebäude (Abbildung 3, Stallgebäude unten links) misst innen 11,65 m Breite, 59,25 m Länge und 3,00 m Höhe, abzüglich eines Vorrums mit ca. 12 m². Auf dem Dach sind acht Ventilatoren installiert, mit einer Luftförderleistung von jeweils 21.400 m³/Stunde bei 30 PA. Die Einstreu besteht aus Dinkelspelzenpellets, die zweimal in der Woche durchgefräst werden, in den letzten vier Wochen der Endmast entfällt dieses. Die Fütterung erfolgt automatisch in insgesamt 35 Futterschalen mit einem jeweiligen Umfang von 141,50 cm. Die Tränken sind ebenfalls automatisch, 20 Rundtränken mit einem jeweiligen Umfang von 144,50 cm. Das Lichtregime ist wie folgt: Hellphase von 05:00 Uhr morgens bis 20:00 Uhr abends, dann vier Stunden dunkel, von 00:00 Uhr bis 01:00 Uhr eine Stunde hell und danach wieder 4 Stunden dunkel. In der Endmast herrscht ganztägig gedimmtes Dauerlicht.



Abbildung 3: Aufsicht auf den Mastputenstall (MP), gemessen wurde am unteren linken Stallgebäude am dritten Abluftkamin von rechts.

5.2 Versuchsaufbauten und Durchführung

5.2.1 Größenselektives Probenahmesystem

Für die gröÙenselektive Probenahme von Bioaerosolen wurde eine Kombination aus zwei in Deutschland standardisierten Probenahmesystemen, dem Johnas II Impaktor (VDI 2066) und dem Emissionsimpinger (VDI 4257) eingesetzt. Der Johnas II Impaktor wird normalerweise für die gröÙenfraktionierte Messung der Staubemissionen von PM_{10} und $PM_{2,5}$ an geführten Quellen eingesetzt. Die entsprechenden Staubfraktionen impaktieren dabei in den einzelnen Stufen, z. B. auf Glasfaserfiltern, und können gewogen werden. Der Emissionsimpinger wird zur Ermittlung von Bioaerosolemissionen eingesetzt. Durch die Sammlung in einer Flüssigkeit und das Spülen der Impinger-sonden und des Emissionsimpingers werden alle Mikroorganismen in der Gesamtstaubfraktion erfasst. Für die folgenden Versuche wurden die $PM_{2,5}$ und PM_{10} Stufen des Johnas II Impaktors als Vorabscheider für den Emissionsimpinger verwendet. Die Stufen des Johnes II Impaktors wurden dabei modifiziert (die Anzahl Düsen wurde halbiert), um den Durchfluss von standardmäßig 2,3 m^3/h auf 1,15 m^3/h zu senken ohne die Abscheidecharakteristik wesentlich zu beeinflussen. Der modifizierte Impaktor zeigte in Vorversuchen im Vergleich zu einem originalen Johnas II Impaktor keine nennenswerten Abweichungen). Die 1,15 m^3/h liegen im zugelassenen Arbeitsbereich des Emissionsimpingers (1 m^3/h – 1,6 m^3/h), so dass die modifizierten PM_{10} und $PM_{2,5}$ Impaktorstufen direkt als Vorabscheider für den Emissionsimpinger eingesetzt werden können. Entsprechende Einlassdüsen gewährleisteten bei einem festgesetzten Durchfluss von 1,15 m^3/h die Probenahme unter isokinetischen Bedingungen. Alle Impaktorteile wurden aus V4A-Edelstahl gefertigt um die Überlebensfähigkeit der Bakterien nicht negativ zu beeinflussen.

5.2.2 Automatischer Bioaerosolsammler

Die genauen Spezifikationen dieses Systems finden sich in Clauß et al. (2015). Der Probenahmekopf des ABiS basiert dabei auf einem AGI-30 Impinger. Dieser wird bei jeder Probenahme automatisch mit Sammelflüssigkeit befüllt und die Proben nach der Sammlung in eine interne Kühleinheit jeweils in sterile 50 ml fassende Zentrifugenröhrchen gesaugt, wo sie bei 4 °C bis zur Aufarbeitung im Labor gelagert werden. Mit dem gegenwärtigen System können so nacheinander ein Dutzend Proben genommen werden.

5.2.3 Versuchsaufbau

An jedem der untersuchten Ställe wurde einer der Abluftkamine als Referenz ausgewählt. Die Probenahmen erfolgten dann an diesem Referenzkamin oberhalb der Ventilatoren an der Schnittstelle zwischen Stall und Umwelt. Der jeweils auf dem Abluftkamin montierte Diffusor wurde entfernt und der Kamin um ein weiteres Modul (Messmodul) mit einem Meter Höhe und passendem Durchmesser verlängert. Der Diffusor wurde anschließend wieder oben aufgesetzt. Das Messmodul (Abbildung 4) beinhaltet im oberen Bereich fünf Ports, welche die verschiedenen Probenahmesysteme aufnehmen können. Im unteren Bereich sind ein Gleichrichter mit 100 mm x 100 mm Raster und ein Messventilator zur kontinuierlichen Erfassung des Volumenstroms installiert. Bei der gröÙenfraktionierten Probenahme von Bioaerosolen werden mit dem Emissionsimpinger 1 alle Mikroorganismen in der Gesamtstaubfraktion gesammelt. In dem mit einem Vorabscheider für PM_{10} ausgestatteten Emissionsimpinger 2 landen alle Mikroorganismen in der PM_{10} Fraktion und in dem mit einem Vorabscheider für $PM_{2,5}$ ausgestatteten Emissionsimpinger 3, alle Mikroorganismen in der $PM_{2,5}$ Fraktion.

Die kontinuierliche Sammlung von luftgetragenen Mikroorganismen erfolgte an einem weiteren Port mit dem ABiS. An einem weiteren Port wurden ein Multigasmonitor (Innova) zur kontinuierlichen Erfassung der CO_2 Konzentrationen und ein Aerosolspektrometer (1.209, Fa. Grimm) zur kontinuierlichen Erfassung der Partikelgrößenfraktionen installiert. Für die diskontinuierliche Erfassung der Staubfraktionen nach VDI 2066 wurde ein originärer Johnas II Impaktor eingesetzt. Zusätzlich wurden an jedem Messtag die Temperatur, relative Feuchte und Luftdruck der Abluft und der Außenluft erfasst.

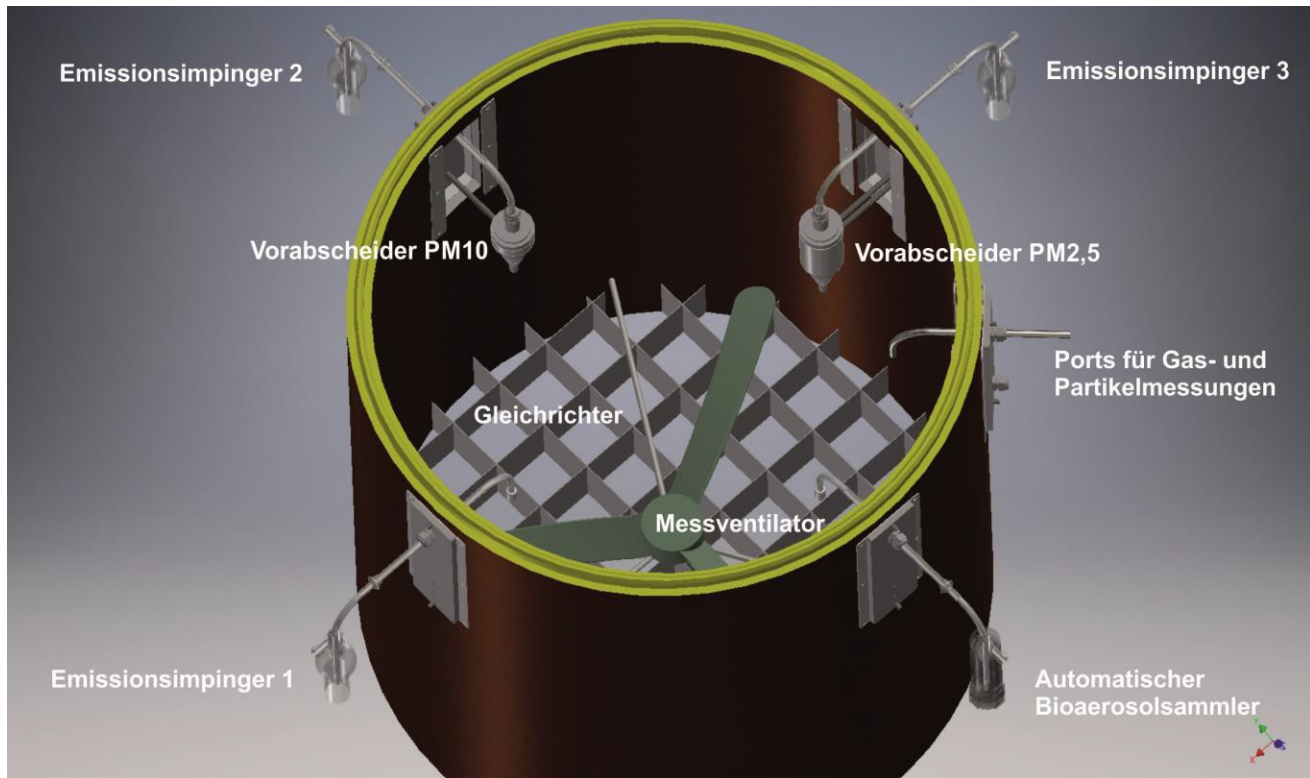


Abbildung 4: Messmodul ausgerüstet mit den verschiedenen Probenahmesystemen

Tabelle 1: Eingesetzte Probenahme- und Messsysteme für die verschiedenen Messparameter

Messparameter	Messsystem	Messintervalle
Gesambakterien und Staphylokokken im „Gesamtstaub“	Emissionsimpinger ohne Vorabscheider	Probenahme an Tag 1, 2 und 3, jeweils 2x für 30 Minuten
Gesambakterien und Staphylokokken in PM10	Emissionsimpinger mit Vorabscheider PM10	Probenahme an Tag 1 und 3, jeweils 2x für 30 Minuten
Gesambakterien und Staphylokokken in PM2,5	Emissionsimpinger mit Vorabscheider PM2,5	Probenahme an Tag 1 und 3, jeweils 2x für 30 Minuten
Gesambakterien und Staphylokokken kontinuierlich	Automatischer Bioaerosolsammler (ABiS)	Probenahme alle 2 Stunden für 30 Minuten (n = 24)
Staubfraktionen nach VDI 2066	Johnas II Impaktor	Probenahme an Tag 1 und 3, jeweils 2x für 15 - 30 Minuten
Partikelgrößenfraktionen kontinuierlich	Aerosolspektrometer 1.209, Fa. Grimm, Ainring	kontinuierlich
NH ₃ , CO ₂	Photoacoustic Gas Monitor INNOVA 1312, Fa. LumaSense Technologies, Inc.	kontinuierlich
Abluftgeschwindigkeit	Messventilator SMV-63-G (630 mm) bzw SMV-92-G (920 mm), Fa. Stienen Bedrijfselektronica B.V.	kontinuierlich
	Flügelradanemometer HFA 529, Höntsch Instruments, Waiblingen	
Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck	Präzisionsdatenlogger DK323 HumiBaroLog Plus "rugged", Fa. Driesen+Kern GmbH	kontinuierlich

5.2.4 Versuchsdurchführung

An jedem untersuchten Stall wurden drei 48-h dauernde Messkampagnen durchgeführt, jeweils eine im Winter (Durchschnittstemperatur < 10 °C), eine in der Übergangszeit (Durchschnittstemperatur 10 °C – 20 °C) und eine im Sommer (Durchschnittstemperatur > 20 °C). Das zeitliche Schema der Durchführung der Probenahmen und Messungen innerhalb einer dieser Messkampagnen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Nach dem Aufbau der Mess- und Probenahmeeinrichtungen vor Ort auf den Dächern der Ställe, erfolgten die Messungen der Partikelgrößenverteilung, NH₃, CO₂, relativer Feuchte, Temperatur, Luftdruck und Abluftgeschwindigkeit kontinuierlich. Die Partikelgrößenfraktionen wurden mit dem Aerosolspektrometer 1.209, Fa. Grimm, Ainring gemessen. Die Messsonden waren nicht temperiert. Die Gasmessungen wurden mit einem Photoacoustic Gas Monitor INNOVA 1312, Fa. LumaSense Technologies, Inc. durchgeführt, alle dazu eingesetzten Schlauchleitungen waren aus Teflon und wurden kontinuierlich beheizt. Relative Feuchte, Temperatur und Luftdruck wurden mit Präzisionsdatenloggern DK323 HumiBaroLog Plus "rugged", Fa. Driesen + Kern GmbH, alle 30 Sekunden erfasst, die an repräsentativen Stellen im Stall und außerhalb positioniert wurden. Die Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit erfolgte für die Festlegung der Messsondendurchmesser mit einem Flügelradanemometer, HFA 529, Höntsch Instruments, für die kontinuierliche Erfassung des Volumenstroms mit Messventilatoren (6 Impulse pro Sekunde) SMV-63-G (630 mm) bzw. SMV-92-G (920 mm), Fa. Stienen Bedrijfselektronica B.V. Die Anzahl der Impulse des Messventilators pro Minute wurden mit einem Datenlogger TinyTag TGPR1200, Gemini Data Loggers Ltd, aufgezeichnet.

Tabelle 2: Durchführung von Probenahmen und Messungen innerhalb einer dreitägigen Messkampagne

	Uhrzeit	Bio-aerosole (ABiS)	Bioaerosole Größen-fraktioniert	Staub VDI 2066	Partikel-größen-vertelung	NH ₃	CO ₂	Rel. F. und Temp.	Abluftgesc hwindigkeit
Tag 1	09:30 – 10:00								
	10:00 – 10:30				Aufbau der Messtechnik				
	10:30 – 11:00								
	11:00 – 11:30	Probe 1A	Probe A		Anfang Messung	Anfang Messung	Anfang Messung	Anfang Messung	Anfang Messung
	11:30 – 12:00			Probe A	...	...	...	...	...
	12:00 – 12:30				...	...	...	...	...
	12:30 – 13:00			Probe B	...	...	...	...	...
	13:00 – 13:30	Probe 2A	Probe B		...	...	...	...	...

Tag 2	09:00 – 09:30	Probe 12A	Emissions-impinger 1A		...	...	...	...	...
	09:30 – 10:00				...	...	...	...	...
	10:00 – 10:30				...	...	...	...	...
	10:30 – 11:00				...	...	...	...	...
	11:00 – 11:30	Probe 1B	Emissions-impinger 1B		...	...	...	...	...
	11:30 – 12:00				...	...	...	...	...
	12:00 – 12:30				...	...	...	...	...
	12:30 – 13:00				...	...	...	...	...
	13:00 – 13:30	Probe 2B			...	...	...	...	...

Tag 3	09:00 – 09:30	Probe 12B	Probe C		...	...	...	...	...
	09:30 – 10:00			Probe C	...	...	...	...	...
	10:00 – 10:30		Probe D		...	...	...	...	...
	10:30 – 11:00			Probe D	Ende Messung	Ende Messung	Ende Messung	Ende Messung	Ende Messung
	11:00 – 11:30								
	11:30 – 12:00				Abbau der Messtechnik				
	12:00 – 12:30								

Die Staubprobenahme erfolgte diskontinuierlich mit dem Johnas II Impaktor nach VDI 2066 Blatt 10 auf Quarz-Mikrofaserfiltern (Fa. Watham) und wurde in Doppelbestimmung (Probe A und Probe B) durchgeführt. Die kontinuierliche Sammlung der Bioaerosole erfolgte mit dem ABiS in einem Zeitraum von 48 h alle zwei Stunden für 30 Minuten, mit jeweils eineinhalbstündiger Unterbrechung zwischen den Probenahmen. Die ersten 12 Proben wurden nach 24 h am zweiten Messtag entnommen, das System gereinigt und für die nächste 24-h Probenahme neu bestückt. Die größtenfraktionierten Probenahmen erfolgte zweimal hintereinander, parallel zum ABiS wenn möglich, mit der beschriebenen Kombination aus Emissionsimpingern und Vorabscheider. Um möglichst unabhängige Stichproben zu gewährleisten, wurden die Positionen der einzelnen Impinger im Messmodul zwischen Probe A und Probe B gewechselt. Vor Beginn der Probenahme wurden die Emissionsimpinger mit sterilem 30 ml PBS nach Sørensen befüllt (4,3 g/L NaCl, 7,23 g/L Na₂HPO₄ x 2 H₂O, 3,56 g/L KH₂PO₄, pH-Wert 7,0 +/-0,2). Die Vorabscheider wurden mit sterilen Quarz-Mikrofaserfiltern (Fa. Watham) bestückt. Der Volumenstrom durch die Emissionsimpinger mit und ohne Vorabscheider wurde auf 1,15 m³/h fest eingestellt. Als Pumpen dienten einstellbare und automatisch nachregelnde Saugaggregate (GS050/3, Comeda-Derenda GmbH, Stahnsdorf bzw. EasyPFR-3 (3m³/h), Fa. MCZ Umwelttechnik GmbH). Für eine Probenahme unter möglichst isokinetischen Bedingungen wurden Einlasssonden mit geeigneten Öffnungsdurchmessern verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, dass im Zweifelsfall hyperkinetisch abgesaugt wurde um den Fehler zu minimieren.

Die Sonden der Vorabscheider für die Staubmessung wurden nach VDI 2066 Blatt 10 mit Hilfe des dort beigelegten Rechenprogramms ausgewählt, unter Berücksichtigung der veränderten Düsenanzahl und dem reduzierten Durchfluss. Dazu wurde direkt vor der Probenahme die Abluftgeschwindigkeit im Kamin mit einem Flügelradanemometer (HFA 529, Höntsch Instruments, Waiblingen) bestimmt. Die Sonden des Emissionsimpingers ohne Vorabscheider wurde nach VDI 4257 Blatt 2 festgelegt. Der eingestellte Volumenstrom und die Sondendurchmesser blieben während der 30-minütigen Probenahmezeit konstant. Der daraus resultierende Fehler kann später durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Abluftgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Nach der Probenahme wurden die Impingersonden dreimal mit 5 mL sterilem PBS nach Sørensen mit 0,1 % Tween 20 gespült und die Spülflüssigkeit zusammen mit der Impingerflüssigkeit in ein steriles 50 ml Zentrifugenröhrchen überführt. Alle Proben wurden bei 4 °C bis zur Aufarbeitung im Labor transportiert und gelagert.

5.2.5 Mikrobiologische Aufarbeitung der Proben

Alle Proben wurden nach maximal 24 h Lagerung bei 4 °C aufgearbeitet. Zur Bestimmung des Probenvolumens wurden alle Proben gewogen. Um die Bakterien in etwaigen Aggregaten zu vereinzeln wurden die Proben mindestens eine Minute lang mit einem Vortexer gründlich durchmischt. Danach wurde pro Probe eine Verdünnungsreihe in 0,65 % NaCl angelegt und jeweils auf zwei parallele Platten 100 µL aus den Verdünnungsstufen 10-1, 10-2 und 10-3 jeweils auf CASO-Agar (Carl Roth GmbH, Karlsruhe) zur Bestimmung der Gesamtbakterien und auf Mannit-Kochsalz-Agar (Carl Roth GmbH, Karlsruhe) zur Bestimmung der Staphylokokken ausplattiert (Endverdünnungen somit jeweils eine Zehnerpotenz höher). Alle beimpften Nährbodenplatten wurden aerob bei 36 °C für 48 h bebrütet.

Zur Verifizierung der auf Mannit gewachsenen Kolonien wurden pro Messtag von einer repräsentativen Platte mit 50 - 100 gewachsenen Kolonien mit Hilfe von sterilisierten Zahnstochern alle diese Kolonien per Verdünnungsausschlag auf CASO-Agar überführt und weitere 48 h bei 36 °C bebrütet. Danach wurden von den gewachsenen Einzelkolonien jeweils eine Gram-Färbung, ein Katalase-Test und ein Oxidase-Test (Bactident®Oxidase, Merck KGaA, Darmstadt) durchgeführt. Nur gleichzeitig Gram-positive, Katalase-positive und Oxidase-negative Kokken wurden als Staphylokokken gewertet.

5.2.6 Berechnung des Abluftvolumenstroms

LH1:

Der Klimacomputer stellt die anfallenden Daten auf einem Display dar. Dieses Display wurde mit einer Kamera über den Zeitraum der Messung im Zeitraffer (alle 30 Sekunden ein Bild) abgefilmt. Die Volumenstromdaten liegen als „Lüftungsstufen“ vor, d. h. der Stallklimacomputer gibt anhand des Stallklimaparameters „Innentemperatur“ eine Lüftungsstufe vor und wird über einen regelbaren und fünf nicht regelbare Ventilatoren in folgenden Stufen realisiert:

- Lüfter 1 läuft auf 25%
- Lüfter 1 läuft auf 50%
- Lüfter 1 läuft auf 75%
- Lüfter 1 läuft auf 100%
- Lüfter 1 läuft auf 25% und Lüfter 2 auf 100%
- Lüfter 1 läuft auf 50% und Lüfter 2 auf 100%
- Lüfter 1 läuft auf 75% und Lüfter 2 auf 100%
- Lüfter 1 und Lüfter 2 laufen auf 100%
- Lüfter 1, Lüfter 2 und Lüfter 3 laufen auf 100%
- Lüfter 1, Lüfter 2, Lüfter 3 und Lüfter 4 laufen auf 100%
- Lüfter 1, Lüfter 2, Lüfter 3, Lüfter 4 und Lüfter 5 laufen auf 100%
- Lüfter 1, Lüfter 2, Lüfter 3, Lüfter 4, Lüfter 5 und Lüfter 6 laufen auf 100%

Die Installierte Luftleistung der Ventilatoren ($18.410 \text{ m}^3/\text{h}$) geht aus den Bauunterlagen hervor und wird mit den jeweiligen Lüftungsstufen multipliziert. So wurde der Volumenstrom in m^3/h für den 30-sekündlichen Aufzeichnungsrythmus berechnet. Parallel dazu erfolgt die Überprüfung der berechneten Lüfterleistung mit dem im Messmodul installierten Messventilator auf dem untersuchten Abluftschacht.

LH2:

Der für die Stallklimasteuerung verwendete Klimacomputer speichert alle zwei Minuten die wesentlichen Klima- und Steuerungsdaten auf Festplatte. Diese lassen sich nachträglich für den Messzeitraum selektieren und abrufen.

Die Volumenstromdaten liegen als „Lüftungsbedarf“ vor, d. h. der Stallklimacomputer gibt anhand der Stallklimaparameter einen Lüftungsbedarf in % der Lüfterleistung vor. Es sind insgesamt drei Abluftkamine mit jeweils einem Lüfter installiert, wovon einer regelbar ist, die anderen beiden Lüfter schalten jeweils auf Volllast dazu. Unter Verwendung von Konventionenwerten (Abluftkamin mit 630 mm Durchmesser – $11.500 \text{ m}^3/\text{h}$) wurde hieraus der Volumenstrom kalkuliert. Dieser wird mit den Prozentwerten des Lüftungsbedarfs multipliziert. So wird der Volumenstrom in m^3/h für den zweiminütigen Aufzeichnungsrythmus berechnet und dargestellt. Parallel dazu erfolgt die Überprüfung der berechneten Lüfterleistung mit dem im Messmodul installierten Messventilator auf dem untersuchten Abluftschacht.

MP

Der Klimacomputer stellt die anfallenden Daten auf einem Display dar. Dieses wurde mit einer Kamera über den Zeitraum der Messung im Zeitraffer (alle 30 Sekunden ein Bild) abgefilmt. Die Volumenstromdaten liegen als „Lüftungsbedarf“ vor, d. h. der Stallklimacomputer gibt anhand der Stallklimaparameter einen Lüftungsbedarf in Prozent vor. Den Prozentbeträgen werden Bereiche zugewiesen in denen die sechs unregulierten Lüfter, die nur auf „Null“ oder unter Volllast laufen, wie folgt schalten:

- 0% bis 24,9% Lüfter 1 schaltet 15 Sekunden auf Volllast und 15 Sekunden auf „Null“
- 25% bis 49,95 Lüfter 1 läuft Volllast
- 50% bis 74,9% Lüfter 1 und Lüfter 2 laufen auf Volllast
- 75% bis 99,9% Lüfter 1, Lüfter 3 und Lüfter 4 laufen auf Volllast
- 100% Lüfter 1, Lüfter 2, Lüfter 5 und Lüfter 6 laufen auf Volllast

Die installierte Lüfterleistung der sechs Lüfter (11.500 m³/h) geht aus den Bauunterlagen hervor und wird mit dem Schaltmuster nach den Prozentwertbereichen des Lüftungsbedarfs multipliziert. So wurde der Volumenstrom in m³/h für den 30-sekündlichen Aufzeichnungsrhythmus berechnet. Parallel dazu erfolgt die Überprüfung der berechneten Lüfterleistung mit dem im Messmodul installierten Messventilator auf dem untersuchten Abluftschacht.

Berechnung der spezifischen Frachten und der Emissionsfaktoren

Um die Konzentrationen der Bakterien zu berechnen, wurde die Anzahl der auf den beiden parallel ausplattierten bebrüteten Nährbodenplatten gemittelt, durch die Verdünnungsstufe dividiert, mit dem Flüssigkeitsvolumen der Probe multipliziert und durch das beprobte Luftvolumen dividiert. Der Massenstrom luftgetragener mikrobieller Partikel wurde mit dem Produkt aus der Konzentration im Abluftstrom und dem Abluftvolumenstrom im jeweiligen Messzeitfenster berechnet. Eine klassenbezogene Berechnung erfolgte auf der Basis der eingestellten Tiere bzw. den Tierplätzen (TP) und einer GV (500 kg Lebendmasse).

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Emissionen von Gasen, Staub und Bioaerosolen gemessen nach Konvention

6.1.1 Legehennenhaltung 1 (LH1)

Zur Einordnung der Messtage an LH1 in Winter (W, Durchschnittstemperatur < 10 °C), Übergangszeit (Ü, Durchschnittstemperatur 10 °C – 20 °C) und Sommer (S, Durchschnittstemperatur > 20 °C) sind die in der Außenluft gemessenen meteorologischen Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte und Luftdruck sowie die Stallinnentemperatur und relative Luftfeuchte in Tabelle 3 dargestellt. Die gemessenen durchschnittlichen Temperaturen passen dabei in die gewählte Einteilung und somit können die Messtage als repräsentativ für die jeweilige Jahreszeit an- genommen werden.

Abbildung 5 zeigt dabei die zeitlichen Verläufe über die einzelnen Messzeiträume von jeweils 48 h. Sowohl bei Temperatur als auch bei der relativen Feuchte sind deutliche antizyklische Schwankungen zu erkennen, mit der Jahreszeit entsprechenden mittleren Temperaturen. Dabei sind diese erwartungsgemäß tagsüber höher als in der Nacht, bei der relativen Luftfeuchte verhält es sich anders herum. Die Schwankungen lassen sich in deutlich abgeschwächter Form meist auch im Stallgebäude messen. Dabei liegen die Temperaturen dort relativ gleichmäßig um die 20 °C, lediglich an einem Tag im Sommer erreichten diese kurzzeitig bis zu 28 °C.

Tabelle 3: Minimum, Maximum und geometrisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck während der Messungen an LH 1 (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5.000

Mess- kampagne		Im Stall						Außen								
		T in °C			rF in %			T in °C			rF in %			Luftdruck in hPa		
		min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
21.02.17 - 23.02.17	W	16,5	18,3	23,0	47,9	67,2	78,9	4,8*	7,5*	10,0*	90,3*	72,0*	100*	984	1002	1013
19.06.17- 21.06.17	S	19,1	22,6	28,0	41,2	64,8	83,8	9,5	22,2	34,2	20,2	63,6	92,7	1015	1019	1023
04.09.17- 06.09.17	Ü	18,8	22,0	22,3	46,2	75,3	90,4	5,1	14,7	22,2	30,9	76,7	96,6	1010	1015	1018

Den Temperaturen entsprechend schwanken auch die Lüftungsraten. In Abbildung 6 sind die zeitlichen Verläufe der Volumenströme während der Messungen an LH1 dargestellt. Der Gesamtvolumenstrom ist im Sommer am höchsten mit den größten Schwankungen und im Winter am niedrigsten mit den kleinsten Schwankungen. Eine volle Auslastung der Lüfter wurde nur bei Messungen tagsüber im Sommer erreicht.

Auch bei den in Abbildung 7 aufgezeigten Ammoniak- und Kohlendioxidwerten lässt sich ein negativ mit den Lüftungsraten korrelierender Konzentrationsverlauf feststellen. Die im Probenahmezeitraum gemessenen Ammoniak-Konzentrationen liegen dabei meist deutlich unter dem in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2001) geforderten Schwellenwert von 10 mg/m³. Im Winter (Februar), bei reduzierter Lüftungsrate, sind sie dabei im Vergleich am höchsten, mit einem kurzzeitigen Peak gegen Ende der Probenahmeperiode zum Zeitpunkt der Kotbandentleerung. Auch die Kohlendioxidwerte bleiben bis auf einen kurzfristigen Anstieg in der Übergangszeitmessung (September) unter dem vom Scientific Veterinary Committee (1996) empfohlenen Wert von 3.000 mg/m³.

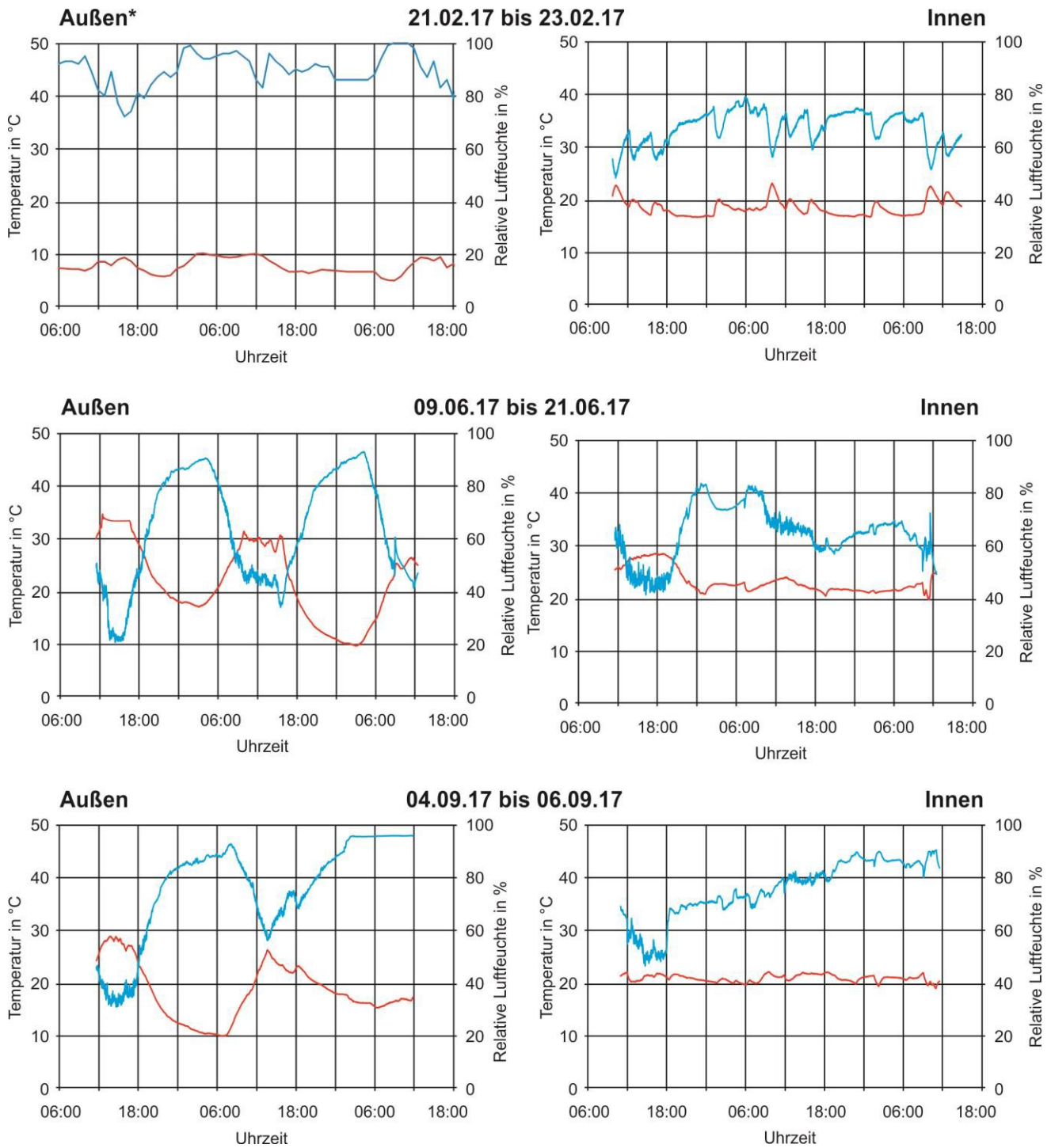


Abbildung 5: Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und außen während der Messungen an LH1 (*Daten vom DWD)

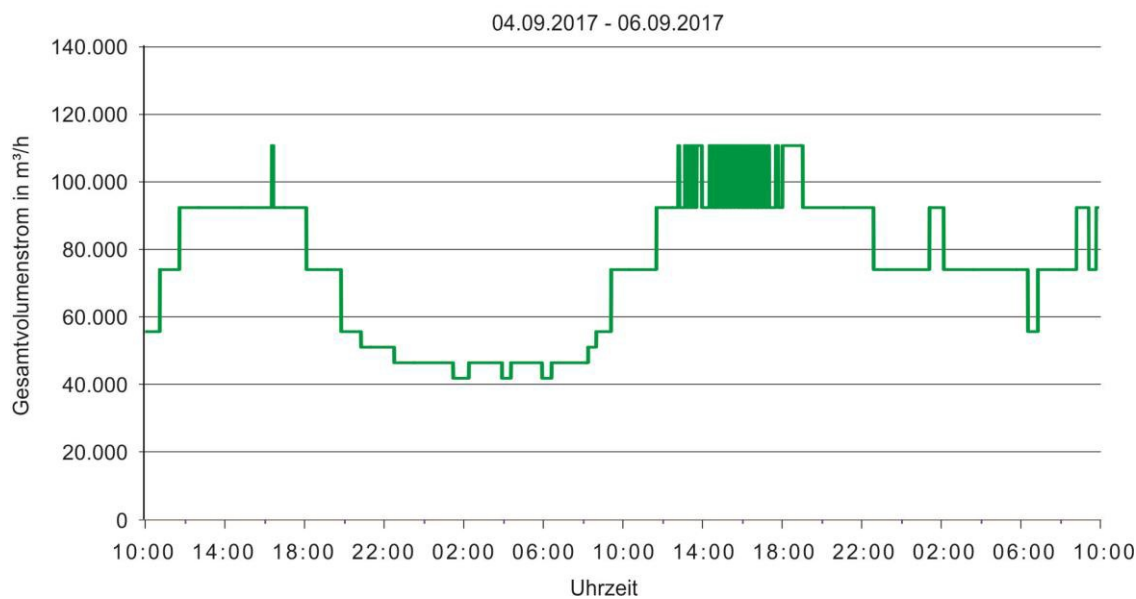
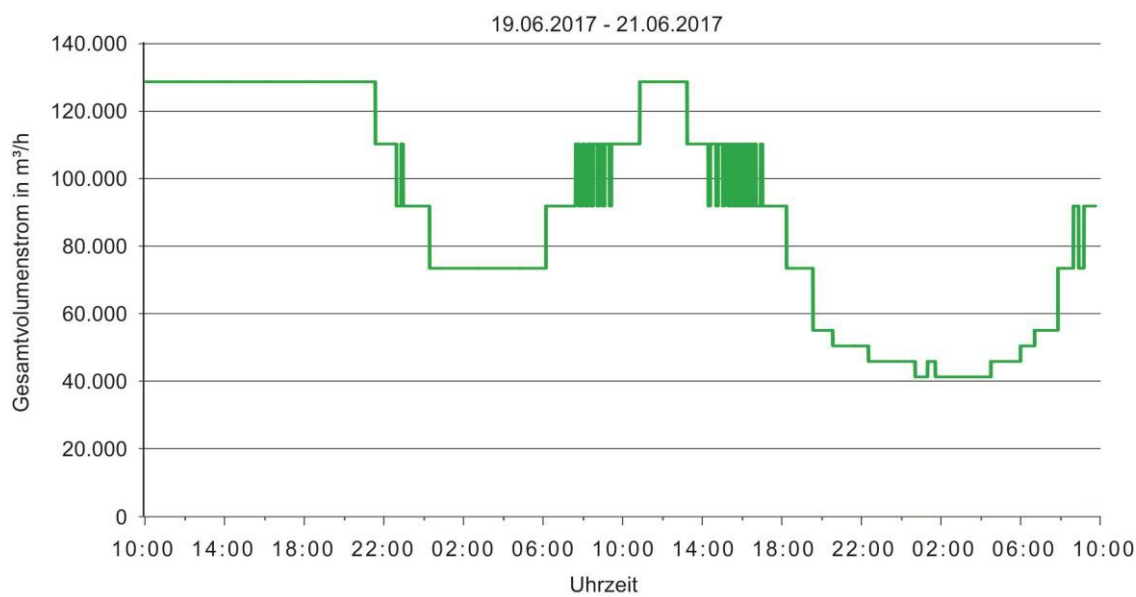
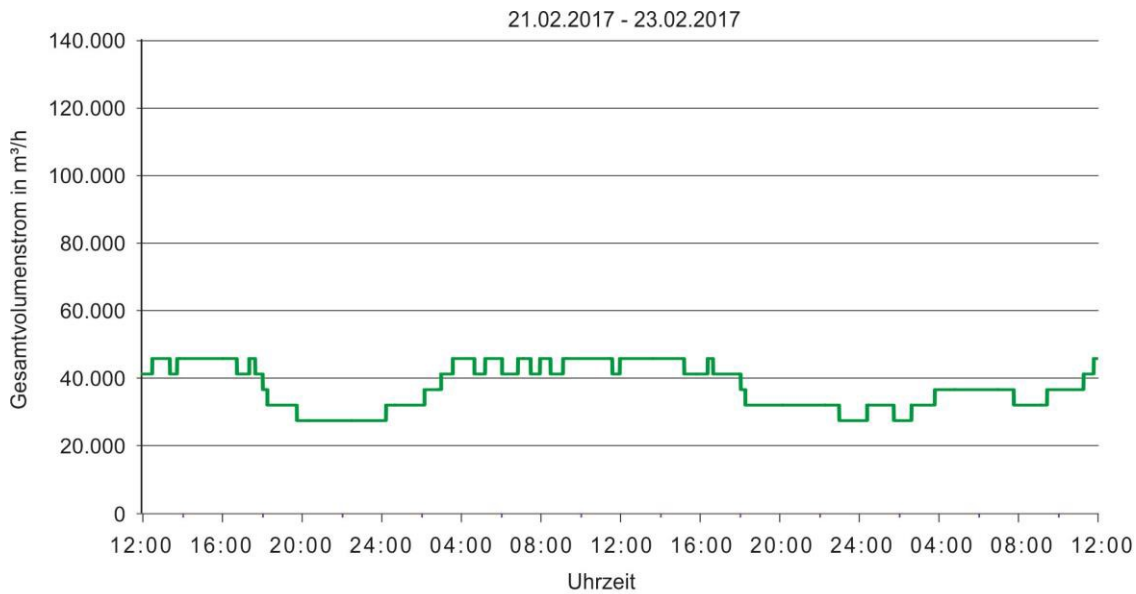


Abbildung 6: Zeitliche Verläufe der Volumenströme während der Messungen an LH1.

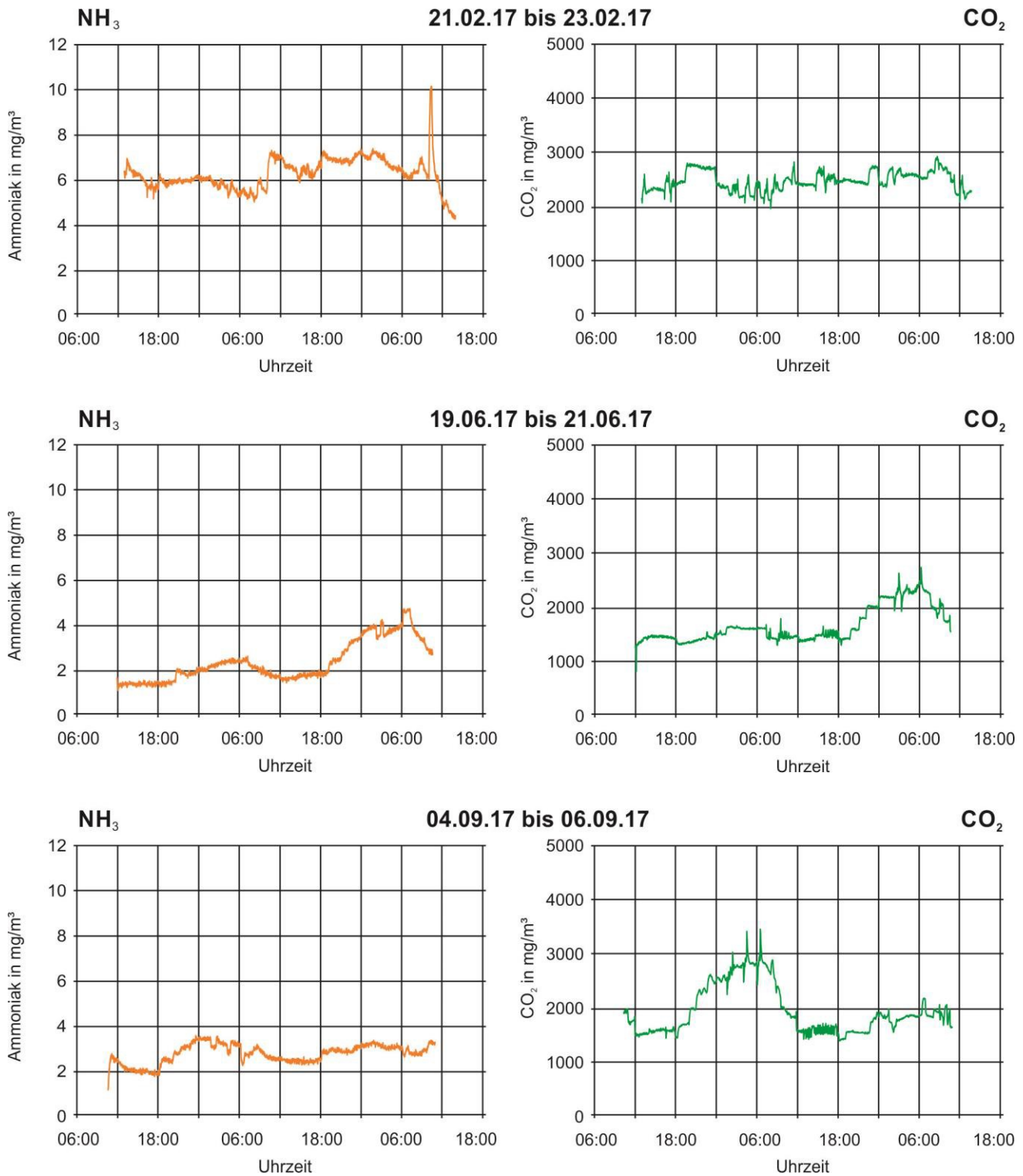


Abbildung 7: Verlauf der Ammoniak- und CO₂-Konzentrationen in der Emission von LH1 während der Messungen.

Die in der Emission von LH 1 mit dem Johnas II Impaktor gemessenen Staubkonzentrationen in den Fraktionen Gesamtstaub, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die jeweiligen prozentualen Verhältnisse anteilig vom Gesamtstaub sind in Tabelle 4 dargestellt. Die mittleren Gesamtstaubkonzentrationen liegen mit 4,79 mg/m³ in einem normalen Bereich. Der PM₁₀ Anteil am Gesamtstaub liegt mit 4,22 mg/m³ bei fast 90 %. Der Anteil von PM_{2,5} beträgt mit 1,88 mg/m³ 38 %. Die durch die Standardabweichung repräsentierten Schwankungsbreiten der Konzentrationen sind relativ hoch, d. h. die Menge des emittierten Staubes schwankt entsprechend zwischen den einzelnen Probenahmen. Die Schwankungsbreiten der prozentualen Verteilung in den PM-Klassen sind dagegen im Vergleich relativ konstant, d.h. die Größenverteilung des Staubes ändert sich nicht in dem Maße, wie es die Konzentrationen tun.

Tabelle 4: In der Emission von LH 1 gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

LH1	Konzentrationen in mg/m ³			Verhältnisse in %	
	Gesamtstaub	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
21.02.17 - 23.02.17	2,58	2,37	0,99	92	38
	2,23	2,03	0,78	91	35
	2,16	1,93	0,80	89	37
19.06.17- 21.06.17	2,65	2,31	0,89	87	34
	2,46	2,14	0,85	87	35
	2,84	2,50	1,03	88	36
	3,11	2,60	1,07	84	34
04.09.17- 06.09.17	9,38	8,08	4,00	86	43
	6,31	5,32	3,00	84	47
	2,03	1,85	0,93	91	46
	16,96	15,30	6,39	90	38
Arithm. Mittel (±Stabw)	4,79 (± 4,63)	4,22 (±4,14)	1,88 (±1,83)	88 (±3)	38 (±5)

Bei den Bioaerosolen zeigt Tabelle 5 für die Gesamtbakterien, die an den einzelnen Tagen VDI-Richtlinien konform mit dem Emissionsimpinger gemessenen Konzentrationen in der Emission von LH1, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren. Es wurde aus n = 18 Messungen eine mittlere Konzentration von $5,5 \times 10^6$ KBE/m³ ermittelt. Multipliziert man die Konzentrationen mit den Volumenströmen ergeben sich daraus ein mittlerer Emissionsmassenstrom von $4,7 \times 10^7$ KBE/s. Bezogen auf den Tierplatz bzw. die Großvieheinheit, ergeben sich entsprechende Emissionsfaktoren von $4,1 \times 10^3$ KBE/TP*s und $1,2 \times 10^6$ KBE/GV*s. Diese sind deutlich niedriger als dem für Legehennen in der VDI 4255 Blatt 3 angegebenen Emissionsfaktor für Gesamtbakterien von 2×10^4 KBE/TP*s.

Tabelle 5: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpfing.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstrom in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,0034)	Emissionsma	Emissionsfaktoren	
					ssenstrom	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.02.2017 – 23.02.2017	5,5 × 10 ⁵	46025	19500	66	7,1 × 10 ⁶	3,6 × 10 ²	1,1 × 10 ⁵
	6,6 × 10 ⁵	46025	19500	66	8,4 × 10 ⁶	4,3 × 10 ²	1,3 × 10 ⁵
	2,3 × 10 ⁶	46025	19500	66	2,9 × 10 ⁷	1,5 × 10 ³	4,4 × 10 ⁵
	3,1 × 10 ⁷	36820	19500	66	3,2 × 10 ⁸	1,6 × 10 ⁴	4,8 × 10 ⁶
	5,6 × 10 ⁶	41422	19500	66	6,4 × 10 ⁷	3,3 × 10 ³	9,6 × 10 ⁵
	3,8 × 10 ⁶	45572	19500	66	4,8 × 10 ⁷	2,5 × 10 ³	7,3 × 10 ⁵
19.06.2017 – 21.06.2017	1,2 × 10 ⁵	128870	19500	66	4,3 × 10 ⁶	2,2 × 10 ²	6,4 × 10 ⁴
	2,6 × 10 ⁵	128870	19500	66	9,4 × 10 ⁶	4,8 × 10 ²	1,4 × 10 ⁵
	1,2 × 10 ⁵	110460	19500	66	3,6 × 10 ⁶	1,8 × 10 ²	5,4 × 10 ⁴
	3,0 × 10 ⁵	36820	19500	66	3,1 × 10 ⁶	1,6 × 10 ²	4,7 × 10 ⁴
	1,1 × 10 ⁵	128870	19500	66	3,8 × 10 ⁶	2,0 × 10 ²	5,8 × 10 ⁴
	3,7 × 10 ⁵	110460	19500	66	1,1 × 10 ⁷	5,8 × 10 ²	1,7 × 10 ⁵
04.09.2017 – 04.09.2017	6,8 × 10 ⁶	77629	19500	66	1,5 × 10 ⁸	7,6 × 10 ³	2,2 × 10 ⁶
	1,9 × 10 ⁶	92050	19500	66	4,8 × 10 ⁷	2,5 × 10 ³	7,2 × 10 ⁵
	1,0 × 10 ⁷	65356	19500	66	1,9 × 10 ⁸	9,5 × 10 ³	2,8 × 10 ⁶
	3,9 × 10 ⁶	80697	19500	66	8,7 × 10 ⁷	4,5 × 10 ³	1,3 × 10 ⁶
	1,8 × 10 ⁷	55230	19500	66	2,7 × 10 ⁸	1,4 × 10 ⁴	4,1 × 10 ⁶
	7,0 × 10 ⁶	87448	19500	66	1,7 × 10 ⁸	8,7 × 10 ³	2,5 × 10 ⁶
Arithm. Mittel	5,5 × 10⁶	75814			7,9 × 10⁷	4,1 × 10³	1,2 × 10⁶

Tabelle 6 zeigt die gemessenen Konzentrationen, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren, für die Staphylokokken. Es wurde an n = 18 Messtagen eine mittlere Konzentration von $5,9 \times 10^6$ KBE/m³ ermittelt. Die Konzentrationen sind etwas höher als die des Messparameters Gesamtbakterien, was durchaus plausibel ist. In der Legehennenhaltung beinhalten die Gesamtbakterien fast ausschließlich Bakterien, die zur Gruppe der Staphylokokken, bzw. genauer zur Gruppe der *Staphylococaceae* gehören. Der eingesetzte Selektivnährboden Mannit-Agar begünstigt das Wachstum dieser Bakteriengruppe, so dass hier durchaus höhere Konzentrationen ermittelt werden können. Die Konzentrationen multipliziert mit den Volumenströmen ergeben hier einen mittleren Emissionsmassenstrom von $1,0 \times 10^8$ KBE/s. Bezogen auf den Tierplatz bzw. auf die Großvieheinheit, ergeben sich entsprechende Emissionsfaktoren von $5,2 \times 10^3$ KBE/TP*s und $1,5 \times 10^6$ KBE/GV*s. Auch diese Werte sind im Vergleich zu dem für Legehennen in der VDI 4255 Blatt 3 angegebenen Emissionsfaktor für Staphylokokken von ebenfalls 2×10^4 KBE/TP*s deutlich niedriger.

Tabelle 6: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpfing.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstrom in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,0034)	Emissionsma	Emissionsfaktoren	
					ssenstrom	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.02.2017 – 23.02.2017	6,1 × 10 ⁵	46025	19500	66	7,8 × 10 ⁶	4,0 × 10 ²	1,2 × 10 ⁵
	6,3 × 10 ⁵	46025	19500	66	8,1 × 10 ⁶	4,1 × 10 ²	1,2 × 10 ⁵
	2,9 × 10 ⁶	46025	19500	66	3,7 × 10 ⁷	1,9 × 10 ³	5,6 × 10 ⁵
	3,1 × 10 ⁷	36820	19500	66	3,2 × 10 ⁸	1,6 × 10 ⁴	4,8 × 10 ⁶
	4,0 × 10 ⁶	41422	19500	66	4,7 × 10 ⁷	2,4 × 10 ³	7,0 × 10 ⁵
	3,3 × 10 ⁶	45572	19500	66	4,1 × 10 ⁷	2,1 × 10 ³	6,2 × 10 ⁵
19.06.2017 – 21.06.2017	8,7 × 10 ⁴	128870	19500	66	3,1 × 10 ⁶	1,6 × 10 ²	4,7 × 10 ⁴
	1,3 × 10 ⁵	128870	19500	66	4,8 × 10 ⁶	2,5 × 10 ²	7,3 × 10 ⁴
	8,4 × 10 ⁴	110460	19500	66	2,6 × 10 ⁶	1,3 × 10 ²	3,9 × 10 ⁴
	2,7 × 10 ⁵	36820	19500	66	2,8 × 10 ⁶	1,4 × 10 ²	4,2 × 10 ⁴
	9,2 × 10 ⁴	128870	19500	66	3,3 × 10 ⁶	1,7 × 10 ²	5,0 × 10 ⁴
	6,7 × 10 ⁴	110460	19500	66	2,1 × 10 ⁶	1,1 × 10 ²	3,1 × 10 ⁴
04.09.2017 – 06.09.2017	1,1 × 10 ⁷	77629	19500	66	2,3 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁴	3,4 × 10 ⁶
	2,2 × 10 ⁶	92050	19500	66	5,5 × 10 ⁷	2,8 × 10 ³	8,4 × 10 ⁵
	6,2 × 10 ⁶	65356	19500	66	1,1 × 10 ⁸	5,7 × 10 ³	1,7 × 10 ⁶
	4,8 × 10 ⁶	80697	19500	66	1,1 × 10 ⁸	5,5 × 10 ³	1,6 × 10 ⁶
	1,2 × 10 ⁷	55230	19500	66	1,9 × 10 ⁸	9,8 × 10 ³	2,9 × 10 ⁶
	2,7 × 10 ⁷	87448	19500	66	6,6 × 10 ⁸	3,4 × 10 ⁴	1,0 × 10 ⁷
Arithm. Mittel	5,9 × 10⁶	75814			1,0 × 10⁸	5,2 × 10³	1,5 × 10⁶

6.1.2 Legehennenhaltung 2 (LH2)

Zur Einordnung der Messtage an LH2 im Winter (W, Durchschnittstemperatur < 10 °C), Übergangszeit (Ü, Durchschnittstemperatur 10 °C – 20 °C) und Sommer (S, Durchschnittstemperatur > 20 °C) sind die außen gemessenen meteorologischen Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte und Luftdruck sowie die Stallinnentemperatur und relative Luftfeuchte in Tabelle 7 dargestellt. Die durchschnittlichen Temperaturen passen dabei in die gewählte Einteilung, so dass die Messtage als repräsentativ für die jeweilige Jahreszeit angenommen werden können.

Tabelle 7: Minimum, Maximum und arithmetisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck während der Messungen an LH 2 (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5.000

Mess-kampagne		Im Stall						Außen								
		T in °C			rF in %			T in °C			rF in %			Luftdruck in hPa		
		min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
24.04.17 - 26.04.17	W	17,3	18,1	19,1	63,6	67,9	70,3	-0,6	8,4	17,8	39,0*	75,0*	99,0*	1003	1011	1023
29.05.17 - 01.06.17	S	19,5	23,3	30,1	71,9	76,3	80,9	7,2	20,8	30,5	35,0*	74,3*	100*	1009	1017	1023
11.10.17 - 13.10.17	Ü	19,6	20,2	20,8	71,5	74,2	77,8	8,9	13,8	16,4	65,0*	83,4*	94*	1012	1019	1025

Abbildung 8 zeigt dabei die zeitlichen Verläufe über die einzelnen Messzeiträume von jeweils 48 h. Sowohl bei der Außentemperatur als auch bei der relativen Feuchte sind gegenläufige Kurven deutlich zu erkennen, mit den der Jahreszeit entsprechenden Durchschnittswerten. Dabei sind die Temperaturwerte erwartungsgemäß tagsüber höher als in der Nacht, bei der relativen Luftfeuchte verhält es sich in vers. Diese antizyklischen Schwankungen lassen sich im Stallinneren während der Sommermessung in abgeschwächter Form wiederfinden. Im Winter und in der Übergangszeit liegen die Temperaturen gleichmäßig um die 20 °C, im Sommer schwankt die Innentemperaturkurve diurnal zwischen 20 und 30 °C.

Den Temperaturen entsprechend schwanken auch die Lüftungsraten. In Abbildung 9 sind die zeitlichen Verläufe der Volumenströme während der Messungen an LH2 dargestellt. Der Gesamtvolumenstrom ist im Sommer am höchsten mit den größten Schwankungen und im Winter am niedrigsten mit den kleinsten Schwankungen. Eine volle Auslastung der Lüfter wurde nur bei Messungen tagsüber während der Sommermessung (Mai/Juni) erreicht. Auch bei den in Abbildung 10 aufgezeigten Ammoniak- und Kohlendioxidwerten lässt sich ein zu den Lüftungsraten antizyklischer Konzentrationsverlauf, mit allerdings sehr starken kurzzeitigen Schwankungen, feststellen. Die im Probenahmezeitraum gemessenen Ammoniak-Konzentrationen liegen dabei mit kurzfristigen Überschreitungen meist unter dem in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2001) geforderten Schwellenwert von 10 mg/m³. Der Grenzwert von 20 ppm wird zu keinem Zeitpunkt überschritten. Auch die Kohlendioxidwerte zeigen einen fast identischen Verlauf mit den höchsten Konzentrationen während der Wintermessung (April) mit der im Vergleich niedrigsten Lüftungsrate.

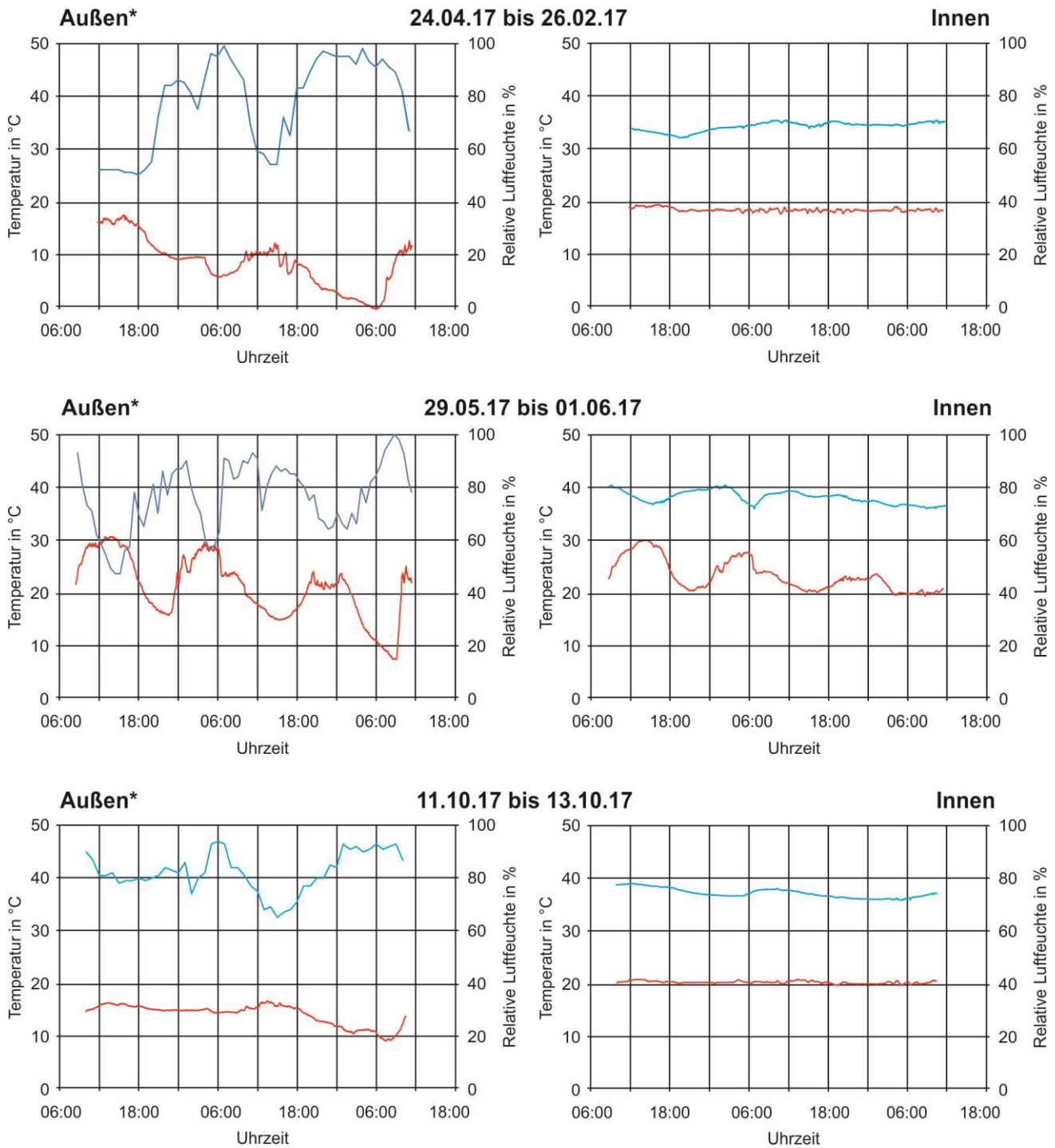


Abbildung 8: Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und außen während der Messungen an LH2 (*Daten vom DWD)

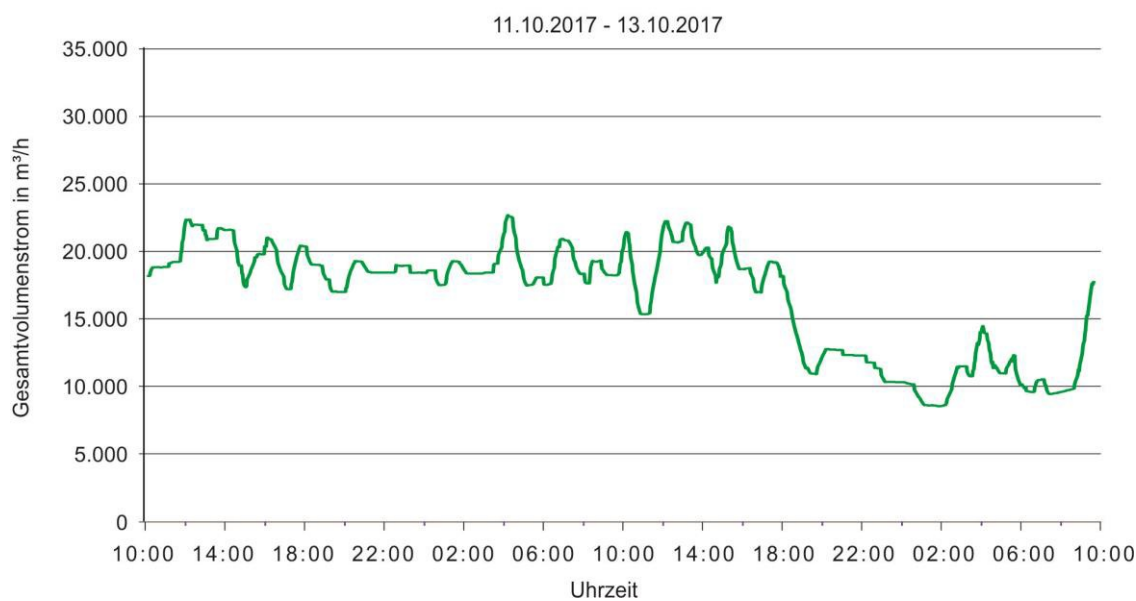
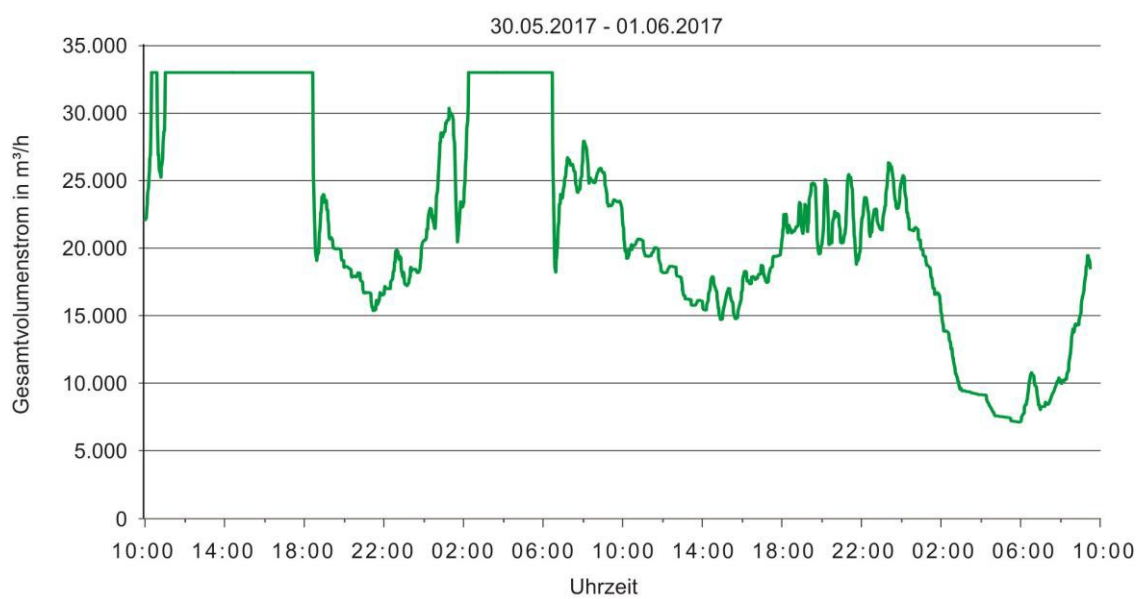
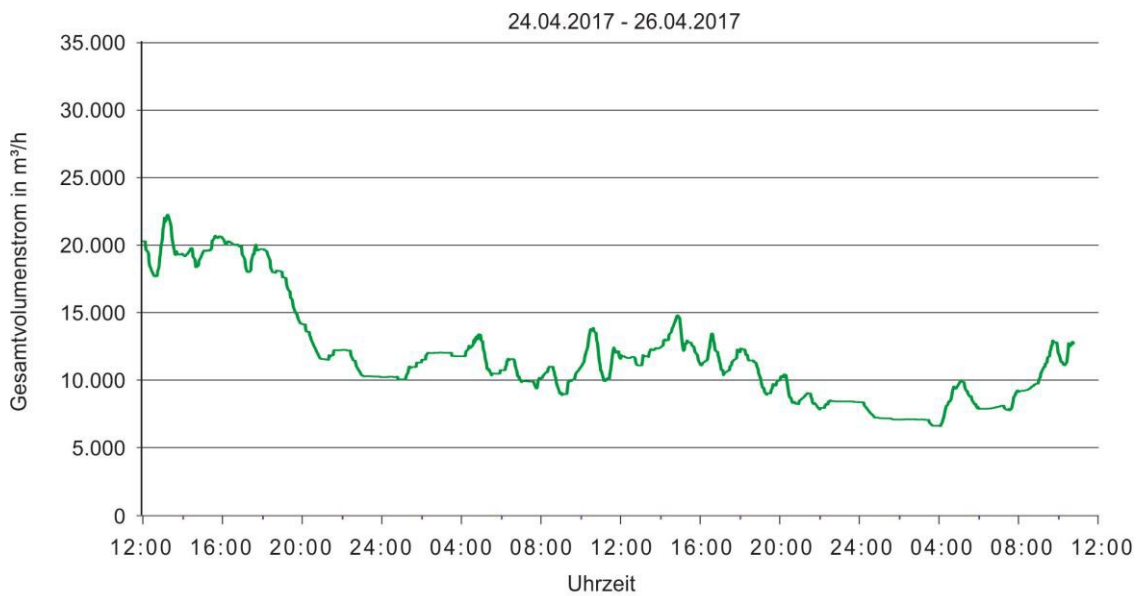


Abbildung 9: Verlauf der Volumenströme während der Messungen an LH2.

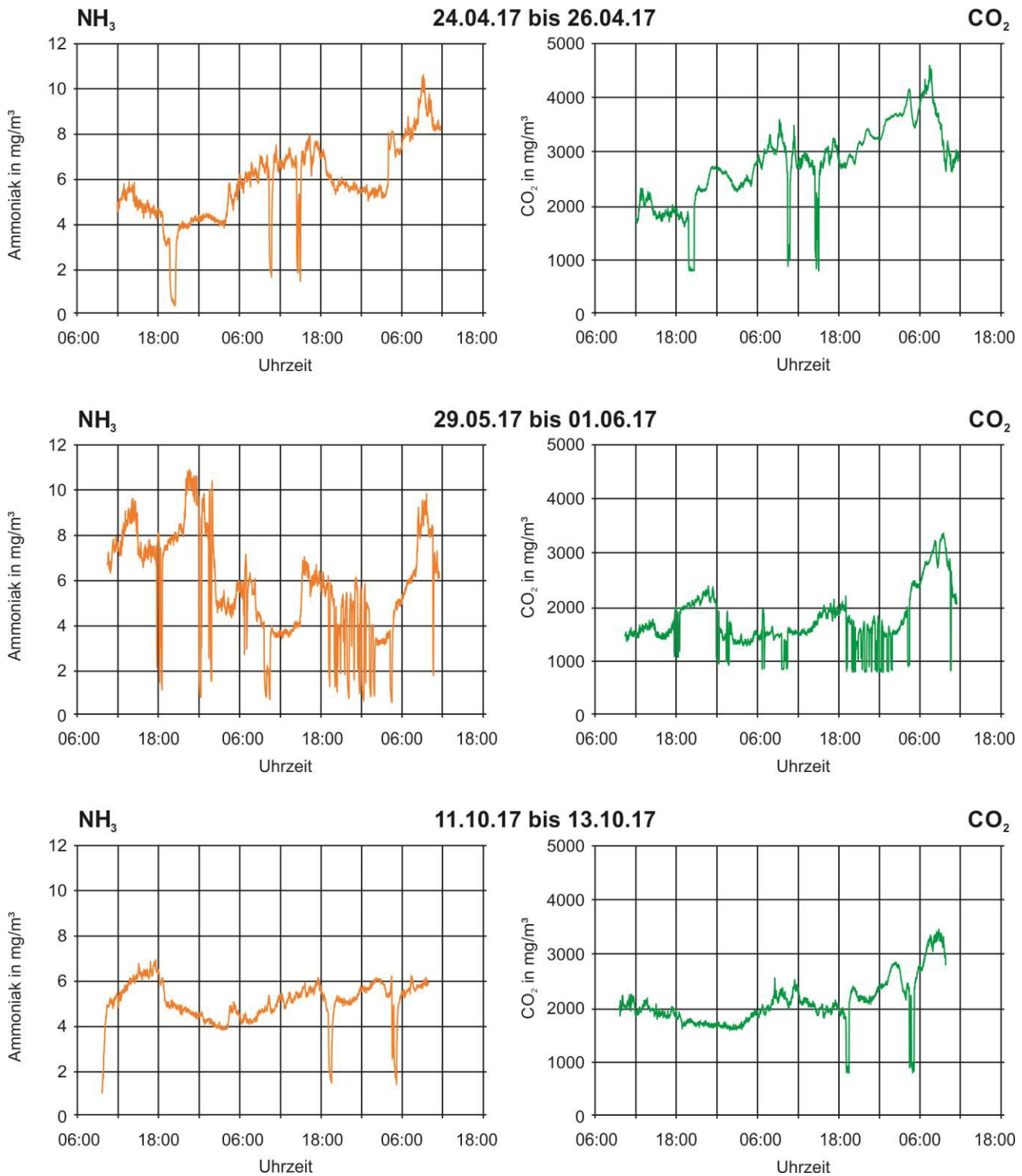


Abbildung 10: Verlauf der Ammoniak- und CO₂-Konzentrationen in der Emission von LH2 während der Messungen.

Die mit dem Johnas II Impaktor gemessenen Staubkonzentrationen in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die jeweiligen prozentualen Verhältnisse anteilig vom Gesamtstaub in der Emission von LH 2 sind in Tabelle 8 dargestellt. Die mittleren Gesamtstaubkonzentrationen sind mit 11,24 mg/m³ deutlich höher als in LH1. Der PM₁₀ Anteil am Gesamtstaub liegt mit im Mittel 9,89 mg/m³ wie bei LH 1 ebenfalls bei fast 90 %. Der Anteil

von PM_{2,5} beträgt mit 5,37 mg/m³ fast 50 %. Die durch die Standardabweichung repräsentierten Schwankungsbreiten der Konzentrationen sind hier deutlich niedriger als bei LH1. Die Schwankungsbreiten der prozentualen Verteilung in den PM-Klassen sind dagegen ähnlich und auch hier relativ konstant, d.h. die Größenverteilung des Staubes ändert sich auch an diesem Stall nicht in dem Maße, wie es die Konzentrationen tun.

Tabelle 8: In der Emission von LH 2 gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

LH1	Konzentration in mg/m ³			Verhältnisse in %	
	Gesamtstaub	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
24.04.17 - 26.04.17	13,72	13,24	6,82	96	50
	9,90	9,30	4,53	94	46
	16,63	14,55	7,70	88	46
	17,56	15,14	8,03	86	46
29.05.17 - 01.06.17	5,74	5,23	3,29	91	57
	4,57	3,86	2,35	85	51
	8,45	7,50	4,87	89	58
	8,74	7,77	4,97	89	57
11.10.17 - 13.10.17	12,87	11,83	6,04	92	47
	9,16	8,17	3,57	89	39
	10,86	9,72	5,51	89	51
	16,67	12,37	6,77	74	41
Arithm. Mittel (±Stabw)	11,24 (±4,29)	9,89 (±3,59)	5,37 (±1,78)	89 (±6)	49 (±6)

Tabelle 9 stellt für die Gesamtbakterien die an den einzelnen Tagen VDI-Richtlinien konform mit dem Emissionsimpinger gemessenen Konzentrationen in der Emission von LH2 dar, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren. Hier wurden aus n = 19 Messungen eine mittlere Konzentration von $2,1 \times 10^7$ KBE/m³ berechnet. Multipliziert mit den Volumenströmen ergibt sich ein mittlerer Emissionsmassenstrom von $5,7 \times 10^7$ KBE/s. Auf den Tierplatz bzw. die Großvieheinheit bezogen, ergeben sich entsprechende Emissionsfaktoren von $1,4 \times 10^4$ KBE/TP*s und $4,0 \times 10^6$ KBE/GV*s. Diese Werte liegen in einem ähnlichen Bereich wie der Emissionsfaktor für Gesamtbakterien, der in der VDI 4255 Blatt 3 für Legehennen angegeben wird (2×10^4 KBE/TP*s).

Tabelle 9: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstrom in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,0034)	Emissionsma	Emissionsfaktoren	
					ssenstrom	KBE/s	KBE/TP*s
24.04.17 - 26.04.17	1,2 × 10 ⁷	14510	4150	14	5,0 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁴	3,5 × 10 ⁶
	1,6 × 10 ⁷	13975	4150	14	6,0 × 10 ⁷	1,5 × 10 ⁴	4,3 × 10 ⁶
	8,3 × 10 ⁷	7783	4150	14	1,8 × 10 ⁸	4,3 × 10 ⁴	1,3 × 10 ⁷
	3,7 × 10 ⁷	7501	4150	14	7,7 × 10 ⁷	1,9 × 10 ⁴	5,4 × 10 ⁶
	3,3 × 10 ⁷	6252	4150	14	5,7 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	4,0 × 10 ⁶
	4,7 × 10 ⁷	7829	4150	14	1,0 × 10 ⁸	2,5 × 10 ⁴	7,3 × 10 ⁶
29.05.17 - 01.06.17	5,1 × 10 ⁶	22066	4150	14	3,1 × 10 ⁷	7,5 × 10 ³	2,2 × 10 ⁶
	4,4 × 10 ⁶	26263	4150	14	3,2 × 10 ⁷	7,8 × 10 ³	2,3 × 10 ⁶
	1,8 × 10 ⁷	17007	4150	14	8,5 × 10 ⁷	2,1 × 10 ⁴	6,0 × 10 ⁶
	1,2 × 10 ⁷	16984	4150	14	5,5 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁴	3,9 × 10 ⁶
	7,0 × 10 ⁶	12817	4150	14	2,5 × 10 ⁷	6,0 × 10 ³	1,8 × 10 ⁶
	1,1 × 10 ⁶	19534	4150	14	5,8 × 10 ⁶	1,4 × 10 ³	4,1 × 10 ⁵
11.10.17 - 13.10.17	5,9 × 10 ⁶	25804	4150	14	4,2 × 10 ⁷	1,0 × 10 ⁴	3,0 × 10 ⁶
	9,2 × 10 ⁶	13132	4150	14	3,4 × 10 ⁷	8,1 × 10 ³	2,4 × 10 ⁶
	7,1 × 10 ⁶	14242	4150	14	2,8 × 10 ⁷	6,8 × 10 ³	2,0 × 10 ⁶
	1,1 × 10 ⁷	12658	4150	14	3,9 × 10 ⁷	9,3 × 10 ³	2,7 × 10 ⁶
	5,5 × 10 ⁶	10792	4150	14	1,6 × 10 ⁷	3,9 × 10 ³	1,2 × 10 ⁶
	1,4 × 10 ⁷	7473	4150	14	3,0 × 10 ⁷	7,1 × 10 ³	2,1 × 10 ⁶
	6,6 × 10 ⁷	7048	4150	14	1,3 × 10 ⁸	3,1 × 10 ⁴	9,1 × 10 ⁶
Arithm. Mittel (±Stabw)	2,1 × 10⁷ (±2,3 × 10 ⁷)	13877 (±6180)			5,7 × 10⁷ (±4,3 × 10 ⁷)	1,4 × 10⁴ (±1,0 × 10 ⁴)	4,0 × 10⁶ (±3,0 × 10 ⁶)

Tabelle 10 zeigt die gemessenen Konzentrationen, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren, für Staphylokokken. Es wurde an n = 19 Messtagen eine mittlere Konzentration von $2,3 \times 10^7$ KBE/m³ ermittelt. Auch hier sind die mittleren Staphylokokken-Konzentrationen aus den bereits genannten Gründen etwas höher als die des Messparameters Gesamtbakterien. Der daraus berechnete mittlere Emissionsmassenstrom beträgt $6,5 \times 10^7$ KBE/s. Bezogen auf den Tierplatz bzw. die Großvieheinheit, ergeben sich die Emissionsfaktoren von $1,6 \times 10^4$ KBE/TP*s und $4,6 \times 10^6$ KBE/GV*s, die gut zu den 2×10^4 KBE/TP*s als Emissionsfaktor für Staphylokokken in der VDI 4255 Blatt 3 passen.

Tabelle 10: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstro m in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,0034)	Emissionsma ssenstrom		
					KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
24.04.17 - 26.04.17	1,1 × 10 ⁷	14510	4150	14	4,6 × 10 ⁷	1,1 × 10 ⁴	3,2 × 10 ⁶
	1,3 × 10 ⁷	13975	4150	14	5,2 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁶
	1,0 × 10 ⁸	7783	4150	14	2,2 × 10 ⁸	5,2 × 10 ⁴	1,5 × 10 ⁷
	4,6 × 10 ⁷	7501	4150	14	9,6 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁴	6,8 × 10 ⁶
	3,0 × 10 ⁷	6252	4150	14	5,3 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁶
	2,9 × 10 ⁷	7829	4150	14	6,2 × 10 ⁷	1,5 × 10 ⁴	4,4 × 10 ⁶
29.05.17 - 01.06.17	5,4 × 10 ⁶	22066	4150	14	3,3 × 10 ⁷	8,0 × 10 ³	2,3 × 10 ⁶
	5,1 × 10 ⁶	26263	4150	14	3,7 × 10 ⁷	8,9 × 10 ³	2,6 × 10 ⁶
	4,4 × 10 ⁷	17007	4150	14	2,1 × 10 ⁸	5,0 × 10 ⁴	1,5 × 10 ⁷
	8,2 × 10 ⁶	16984	4150	14	3,9 × 10 ⁷	9,3 × 10 ³	2,7 × 10 ⁶
	7,8 × 10 ⁶	12817	4150	14	2,8 × 10 ⁷	6,7 × 10 ³	2,0 × 10 ⁶
	1,0, × 10 ⁶	19534	4150	14	5,7 × 10 ⁶	1,4 × 10 ³	4,0 × 10 ⁵
11.10.17 - 13.10.17	5,7, × 10 ⁶	25804	4150	14	4,1 × 10 ⁷	9,8 × 10 ³	2,9 × 10 ⁶
	9,2 × 10 ⁶	13132	4150	14	3,4 × 10 ⁷	8,1 × 10 ³	2,4 × 10 ⁶
	7,3 × 10 ⁶	14242	4150	14	2,9 × 10 ⁷	7,0 × 10 ³	2,1 × 10 ⁶
	1,7 × 10 ⁷	12658	4150	14	5,9 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	4,2 × 10 ⁶
	8,4 × 10 ⁶	10792	4150	14	2,5 × 10 ⁷	6,0 × 10 ³	1,8 × 10 ⁶
	1,9, × 10 ⁷	7473	4150	14	3,8 × 10 ⁷	9,3 × 10 ³	2,7 × 10 ⁶
	6,9 × 10 ⁷	7048	4150	14	1,3 × 10 ⁸	3,2 × 10 ⁴	9,5 × 10 ⁶
Arithm. Mittel (±Stabw)	2,3 × 10⁷ (±2,6 × 10 ⁷)	13877 (±6180)			6,5 × 10⁷ (±5,9 × 10 ⁷)	1,6 × 10⁴ (±1,4 × 10 ⁴)	4,6 × 10⁶ (±4,2 × 10 ⁶)

6.1.3 Mastputenhaltung (MP)

Zur Einordnung der Messtage an MP in Übergangszeit (Ü, Durchschnittstemperatur 10 °C – 20 °C) und Sommer (S, Durchschnittstemperatur > 20 °C) sind die außen gemessenen meteorologischen Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte und Luftdruck sowie die Stallinnentemperatur und relative Luftfeuchte in Tabelle 11 dargestellt. Aufgrund der relativ späten Akquirierung des Putenmaststalls im Projektverlauf war es nicht mehr möglich, noch eine Wintermessung durchzuführen. Daher wurde einmal im Sommer und zweimal in der Übergangszeit gemessen. Die durchschnittlichen Temperaturen an diesem Standort entsprachen für diese Messperioden den entsprechenden definierten Temperaturbereichen.

Tabelle 11: Minimum, Maximum und arithmetisches Mittel von Temperatur, Feuchte und Luftdruck während der Messungen am MP (W = Wintermessung, S = Sommermessung und Ü = Messung in der Übergangszeit); n = jeweils ca. 5.000

Mess- kampagne		Im Stall						Außen								
		T in °C			rF in %			T in °C			rF in %			Luftdruck hPa		
		min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
21.08.17 - 23.08.17	S	17,5	20,4	23,6				7,9*	15,0*	21,6*	39,0*	68,0*	92,0*	1017	1021	1022
23.10.17 - 25.10.17	W	13,8	16,5	19,3	68,7	77,7	81,0	7,7	11,5	16,3	69,0	85,9	94,2	1014	1020	1024
25.10.17 - 27.10.17	Ü	15,7	17,8	20,2	69,2	76,9	79,8	9,5	13,0	19,4	64,4	83,6	94,9	1016	1021	1024

Abbildung 11 zeigt dabei die zeitlichen Verläufe über die einzelnen Messzeiträume von jeweils 48 h. Sowohl bei der Außentemperatur als auch bei der relativen Feuchte sind wieder antizyklische Verläufe deutlich zu erkennen. Dabei sind die Temperaturwerte erwartungsgemäß tagsüber höher als in der Nacht, bei der relativen Luftfeuchte verhält es sich invers. Diese gegenläufigen Schwankungen lassen sich im Stallinneren in abgeschwächter Form wiederfinden. Im Stallinnraum liegen die Temperaturen relativ gleichmäßig bei um die 20 °C, die Luftfeuchte schwankt ebenfalls nur in einem schmalen Bereich um 80 % rF.

Ein den Außentemperaturen folgender Verlauf zeigt auch die Lüftungsraten. In Abbildung 12 sind die zeitlichen Verläufe der Volumenströme während der Messungen am MP dargestellt. Auch bei den in Abbildung 13 aufgezeigten Ammoniak- und Kohlendioxidwerten lässt sich ein zu den Lüftungsraten antizyklischer Konzentrationsverlauf, in der Sommermessung (August) allerdings mit starken Schwankungen, feststellen. Die im Probenahmezeitraum gemessenen Ammoniak-Konzentrationen liegen dabei, mit einer kurzfristigen Überschreitung während der Sommermessung zum Zeitpunkt der Einstreubearbeitung, meist unter dem in der Vereinbarung zur Haltung von Mastputen (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1999) festgelegten Schwellenwert von 10 mg/m³. Auch die Kohlendioxidwerte zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf und bleiben vor allem während der Winter- und Übergangszeitmessung meist deutlich unterhalb des empfohlenen Konzentrationswertes von 3.000 mg/m³.

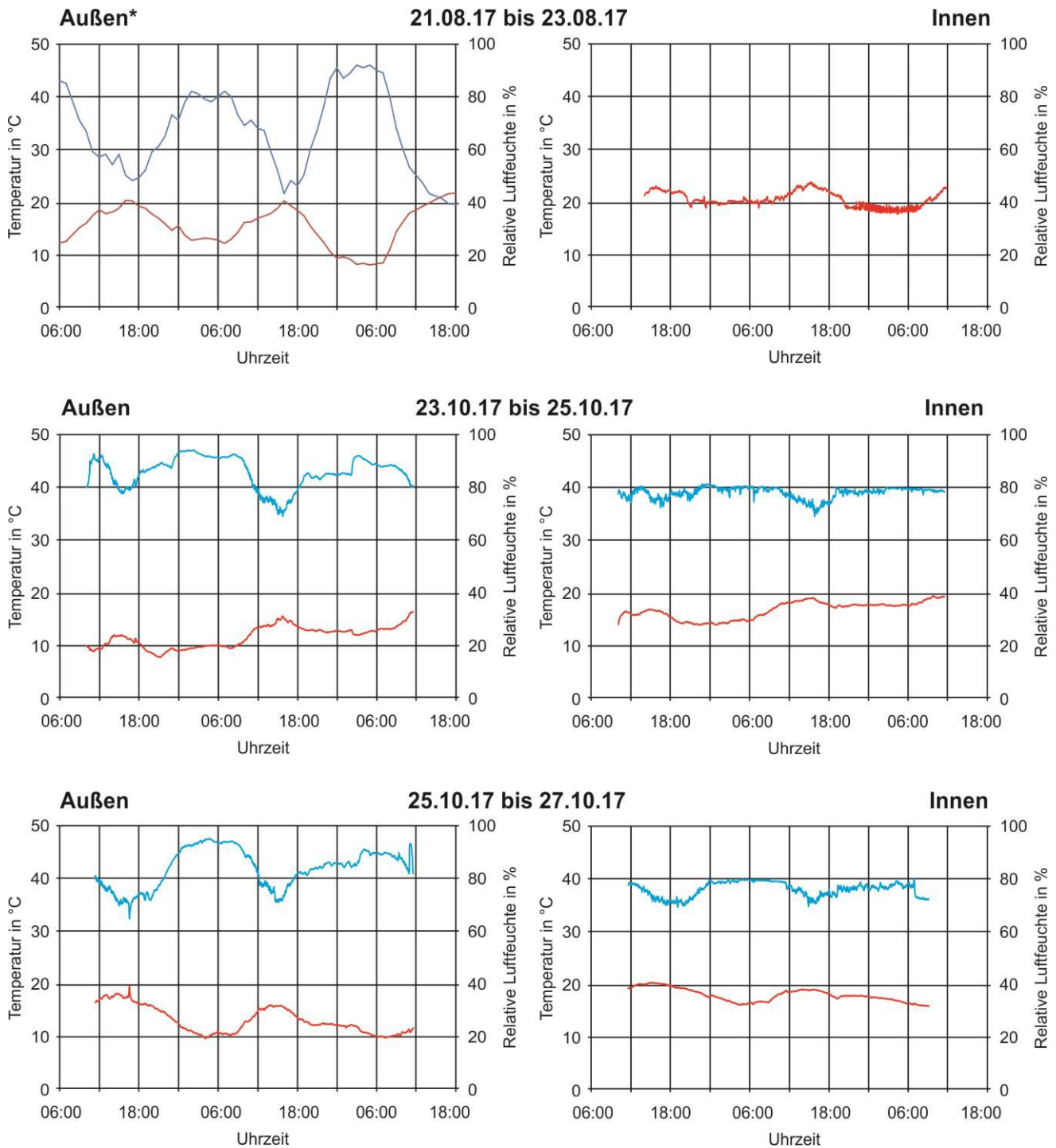


Abbildung 11: Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte im Stall und außen während der Messungen am MP (*Daten vom DWD)

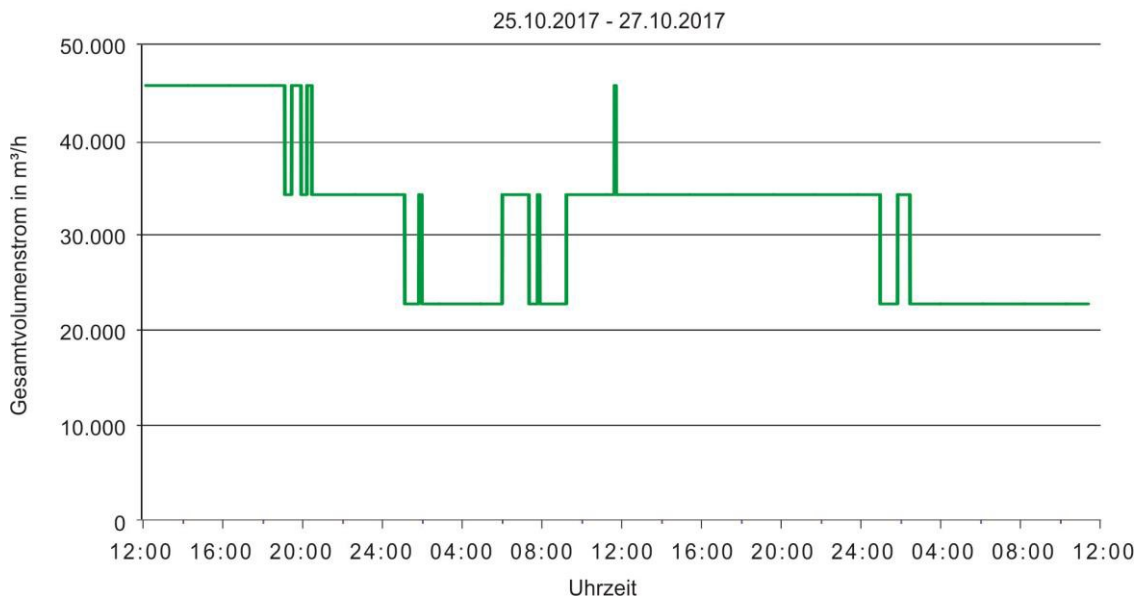
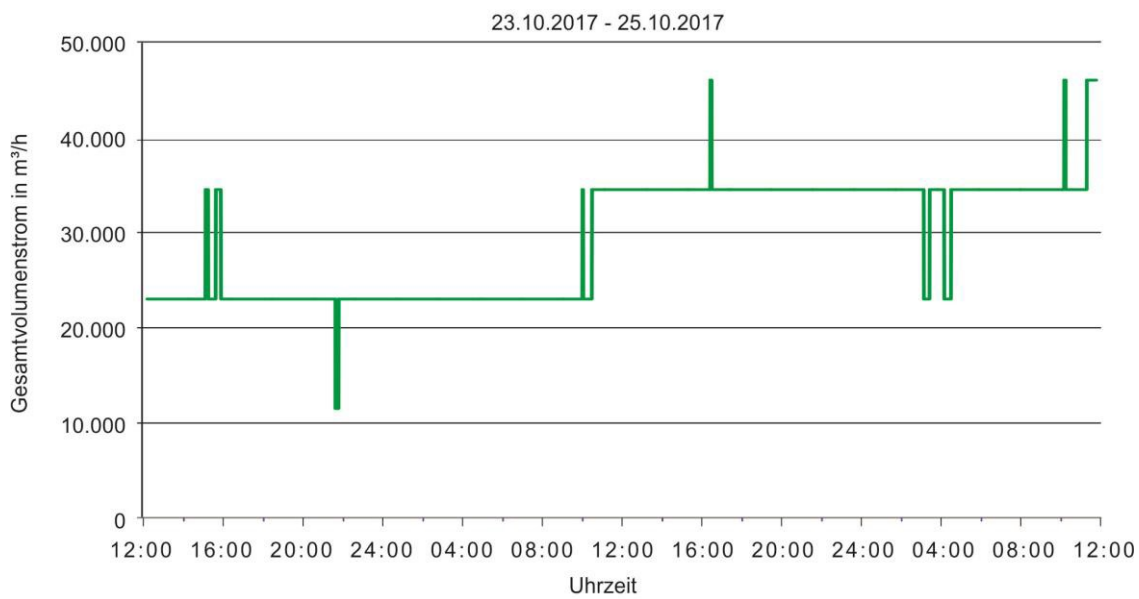
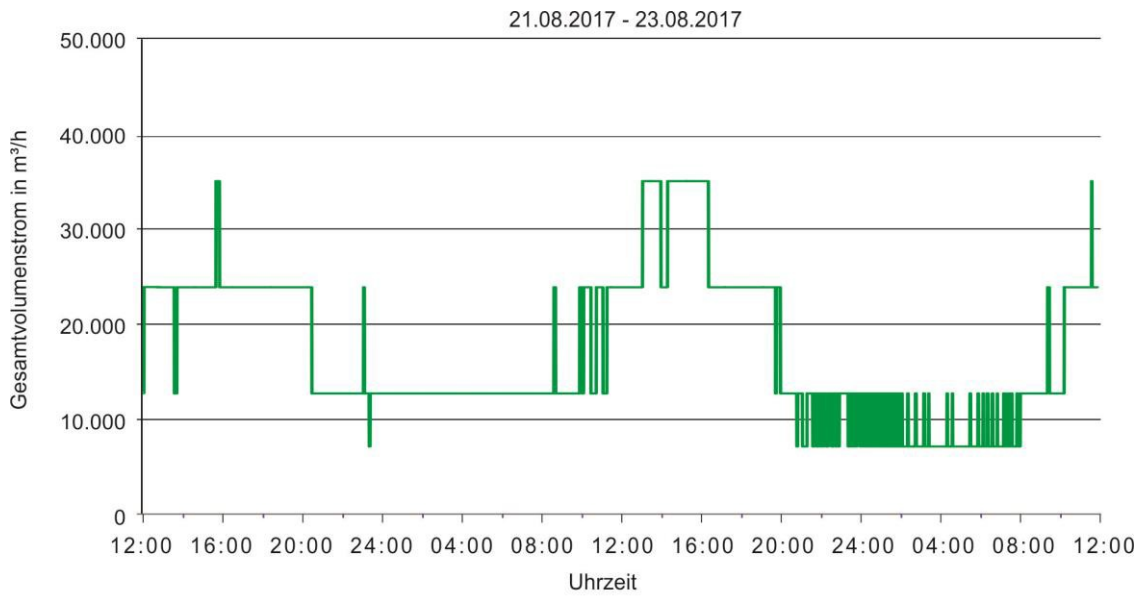


Abbildung 12: Verlauf der Volumenströme während der Messungen am MP

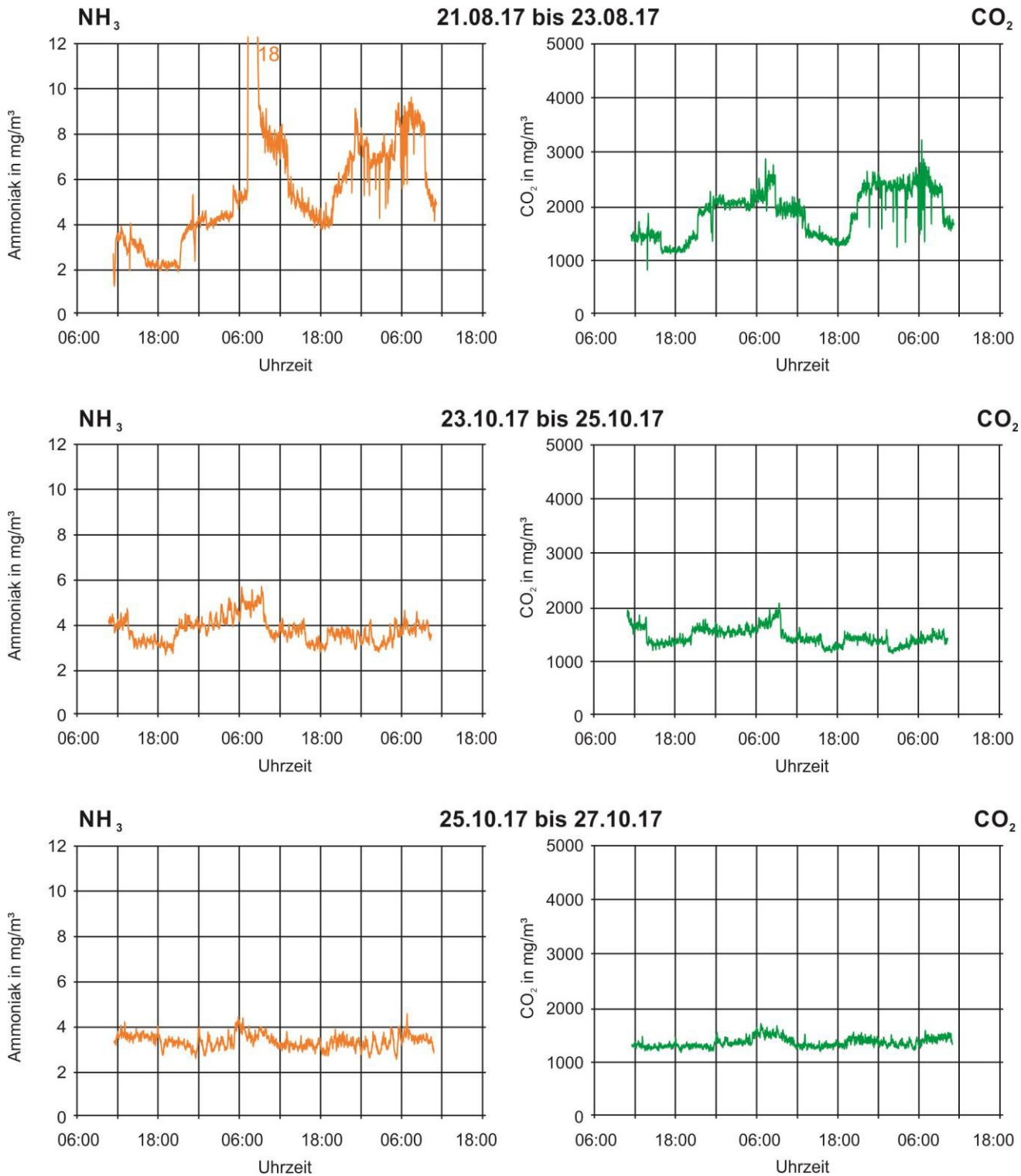


Abbildung 13: Verlauf der NH₃- und CO₂-Konzentrationen in der Emission vom MP während der Messungen.

Für die MP sind die mit dem Johnas II Impaktor gemessenen Staubkonzentrationen in den Fraktionen Gesamtstaub, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die jeweiligen prozentualen Verhältnisse anteilig vom Gesamtstaub in Tabelle 12 dargestellt. Die mittleren Gesamtstaubkonzentrationen sind mit 1,67 mg/m³ deutlich niedriger als in den Legehennenhaltungen. Der PM₁₀ Anteil am Gesamtstaub liegt mit im Mittel 1,37 mg/m³ bei ca. 80 %. Der Anteil von PM_{2,5} beträgt mit 0,98 mg/m³ genau 55 %. Auch hier sind die Schwankungsbreiten der prozentualen Verteilung in den PM-Klassen niedriger als die der Konzentrationen, d.h. die Größenverteilung des Staubes ändert sich auch in diesem Mastputenstall nicht in dem Maße, wie es die Konzentrationen tun.

Tabelle 12: In der Emission vom MP gemessene Staubkonzentrationen in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

MP	Konzentrationen in mg/m ³			Verhältnisse in %	
	Gesamtstaub	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
21.08.17 - 23.08.17	0,64	0,53	0,28	82	44
	0,58	0,46	0,14	79	24
23.10.17 - 25.10.17	1,82	1,46	0,65	80	36
	1,45	1,19	0,78	82	54
	1,81	1,58	1,23	87	68
	1,93	1,64	1,23	85	64
25.10.17 - 27.10.17	1,16	1,04	0,70	89	60
	2,06	1,50	1,23	73	60
	2,29	1,99	1,59	87	69
	2,92	2,35	1,99	81	68
Arithm. Mittel (± Stabw)	1,67 (±0,73)	1,37 (±0,59)	0,98 (±0,58)	83 (±5)	55 (±15)

Tabelle 13 stellt für die Gesamtbakterien die an den einzelnen Tagen VDI-Richtlinien konform mit dem Emissionsimpinger gemessenen Konzentrationen in der Emission des MP dar, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren. Hier wurden aus n = 17 Messungen eine mittlere Konzentration von $2,3 \times 10^7$ KBE/m³ berechnet. Multipliziert mit den Volumenströmen ergibt sich ein mittlerer Emissionsmassenstrom von $1,8 \times 10^8$ KBE/s. Auf den Tierplatz bzw. die Großvieheinheit bezogen, ergeben sich die Emissionsfaktoren $9,3 \times 10^4$ KBE/TP*s und $9,3 \times 10^6$ KBE/GV*s. Diese Werte sind deutlich höher als der Emissionsfaktor für Gesamtbakterien, der in der VDI 4255 Blatt 3 für Mastputen angegeben wird (9×10^3 KBE/TP*s). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Emissionsfaktor in der VDI-Richtlinie auf Messungen beruht, die eine gesamte Mastperiode abbilden. Die hier präsentierten Daten beruhen auf drei Messkampagnen, von denen eine am Anfang und zwei am Ende der Mastperiode, kurz vor der Ausstallung zu Zeiten der höchsten Emissionen durchgeführt wurden.

Tabelle 14 zeigt die gemessenen Konzentrationen, sowie die darauf basierende Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren, für Staphylokokken. Es wurde an n = 17 Messtagen eine mittlere Konzentration von $2,0 \times 10^7$ KBE/m³ ermittelt. Der daraus berechnete mittlere Emissionsmassenstrom beträgt $1,6 \times 10^8$ KBE/s.

Bezogen auf den Tierplatz bzw. die Großvieheinheit, ergeben sich die Emissionsfaktoren von $9,3 \times 10^4$ KBE/TP*s und $9,3 \times 10^6$ KBE/GV*s. Auch diese Werte sind aus den oben genannten Gründen deutlich höher, als die 2×10^4 KBE/TP*s, die in der VDI 4255 Blatt 3 als Emissionsfaktor für Staphylokokken in der Mastputenhaltung angegeben sind.

Tabelle 13: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien am MP, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstrom in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,01)	Emissionsma	Emissionsfaktoren	
					ssenstrom	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.08.2017 – 23.08.2017	4,2 × 10 ⁶	17250	1930	19	2,0 × 10 ⁷	1,0 × 10 ⁴	1,0 × 10 ⁶
	2,2 × 10 ⁷	16483	1930	19	1,0 × 10 ⁸	5,2 × 10 ⁴	5,2 × 10 ⁶
	2,5 × 10 ⁷	13033	1930	19	9,2 × 10 ⁷	4,8 × 10 ⁴	4,8 × 10 ⁶
	1,3 × 10 ⁷	17156	1930	19	6,1 × 10 ⁷	3,2 × 10 ⁴	3,2 × 10 ⁶
	1,6 × 10 ⁷	21868	1930	19	9,5 × 10 ⁷	4,9 × 10 ⁴	4,9 × 10 ⁶
23.10.2017 – 25.10.2017	1,2 × 10 ⁷	23000	1930	19	7,9 × 10 ⁷	4,1 × 10 ⁴	4,1 × 10 ⁶
	2,4 × 10 ⁷	26067	1930	19	1,8 × 10 ⁸	9,2 × 10 ⁴	9,2 × 10 ⁶
	3,0 × 10 ⁷	27217	1930	19	2,3 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷
	2,4 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,3 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷
	1,6 × 10 ⁷	34500	1930	19	1,5 × 10 ⁸	7,9 × 10 ⁴	7,9 × 10 ⁶
25.10.2017 – 27.10.2017	2,4 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,3 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷
	2,5 × 10 ⁷	46000	1930	19	3,2 × 10 ⁸	1,7 × 10 ⁵	1,7 × 10 ⁷
	4,0 × 10 ⁷	34500	1930	19	3,9 × 10 ⁸	2,0 × 10 ⁵	2,0 × 10 ⁷
	2,9 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,8 × 10 ⁸	1,5 × 10 ⁵	1,5 × 10 ⁷
	3,4 × 10 ⁷	23000	1930	19	2,2 × 10 ⁸	1,1 × 10 ⁵	1,1 × 10 ⁷
	1,6 × 10 ⁷	34500	1930	19	1,5 × 10 ⁸	8,0 × 10 ⁴	8,0 × 10 ⁶
	3,7 × 10 ⁷	23000	1930	19	2,4 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷
Arithm. Mittel	2,3 × 10⁷				1,8 × 10⁸	9,3 × 10⁴	9,3 × 10⁶

Tabelle 14: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken am MP, basierend auf den VDI-konform durchgeführten Probenahmen mit dem Emissionsimpinger.

	Konzentration in KBE/m ³	Volumenstrom in m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP × 0,01)	Emissionsmassenstrom		
					KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.08.2017 – 23.08.2017	3,1 × 10 ⁶	17250	1930	19	1,5 × 10 ⁷	7,6 × 10 ³	7,6 × 10 ⁵
	6,6 × 10 ⁶	16483	1930	19	3,0 × 10 ⁷	1,6 × 10 ⁴	1,6 × 10 ⁶
	3,1 × 10 ⁷	13033	1930	19	1,1 × 10 ⁸	5,7 × 10 ⁴	5,7 × 10 ⁶
	6,7 × 10 ⁶	17156	1930	19	3,2 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	1,7 × 10 ⁶
	1,3 × 10 ⁷	21868	1930	19	8,0 × 10 ⁷	4,2 × 10 ⁴	4,2 × 10 ⁶
23.10.2017 – 25.10.2017	2,3 × 10 ⁷	23000	1930	19	1,5 × 10 ⁸	7,6 × 10 ⁴	7,6 × 10 ⁶
	2,0 × 10 ⁷	26067	1930	19	1,4 × 10 ⁸	7,5 × 10 ⁴	7,5 × 10 ⁶
	1,9 × 10 ⁷	27217	1930	19	1,4 × 10 ⁸	7,5 × 10 ⁴	7,5 × 10 ⁶
	2,5 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,4 × 10 ⁸	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷
	1,6 × 10 ⁷	34500	1930	19	1,6 × 10 ⁸	8,0 × 10 ⁴	8,0 × 10 ⁶
25.10.2017 – 27.10.2017	2,3 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,2 × 10 ⁸	1,1 × 10 ⁵	1,1 × 10 ⁷
	2,0 × 10 ⁷	46000	1930	19	2,6 × 10 ⁸	1,3 × 10 ⁵	1,3 × 10 ⁷
	3,1 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,9 × 10 ⁸	1,5 × 10 ⁵	1,5 × 10 ⁷
	2,9 × 10 ⁷	34500	1930	19	2,8 × 10 ⁸	1,4 × 10 ⁵	1,4 × 10 ⁷
	4,0 × 10 ⁷	23000	1930	19	2,6 × 10 ⁸	1,3 × 10 ⁵	1,3 × 10 ⁷
	9,2 × 10 ⁶	34500	1930	19	8,8 × 10 ⁷	4,5 × 10 ⁴	4,5 × 10 ⁶
	3,1 × 10 ⁷	23000	1930	19	2,0 × 10 ⁸	1,0 × 10 ⁵	1,0 × 10 ⁷
Arithm. Mittel	2,0 × 10⁷				1,6 × 10⁸	8,2 × 10⁴	8,2 × 10⁶

6.2 Größenfraktionierte Bioaerosolmessungen

Tabelle 15, Tabelle 16 und Tabelle 17 präsentieren die in den einzelnen Messkampagnen in der Emission von LH1, LH2 und der MP gemessenen Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen Gesamtstaub, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub. Dabei zeigen sich bei allen drei Ställen sowohl bei den Gesamtbakterien, als auch bei den Staphylokokken große Schwankungsbreiten.

Tabelle 15: In der Emission von LH 1 gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

Datum	Gesamtbakterien					Staphylokokken					
	Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		
	Gesamt	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	Gesamt	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	
21.02.17 - 23.02.17	A	5,5 × 10 ⁵	2,1 × 10 ⁵	1,3 × 10 ⁵	37	24	6,1 × 10 ⁵	1,7 × 10 ⁵	1,4 × 10 ⁵	28	23
	B	6,6 × 10 ⁵	3,4 × 10 ⁵	-	51	-	6,3 × 10 ⁵	2,2 × 10 ⁵	-	35	-
	C	3,1 × 10 ⁷	4,5 × 10 ⁵	7,0 × 10 ⁵	1	2	3,1 × 10 ⁷	3,7 × 10 ⁵	4,6 × 10 ⁵	1	1
	D	3,8 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁶	1,9 × 10 ⁵	27	5	3,3 × 10 ⁶	6,8 × 10 ⁵	2,4 × 10 ⁵	21	7
19.06.17 - 21.06.17	A	1,2 × 10 ⁵	6,8 × 10 ⁴	2,1 × 10 ⁴	57	18	8,7 × 10 ⁴	2,4 × 10 ⁴	1,6 × 10 ⁴	28	19
	B	2,6 × 10 ⁵	9,8 × 10 ⁴	1,9 × 10 ⁴	37	7	1,3 × 10 ⁵	5,3 × 10 ⁴	4,8 × 10 ³	40	4
	C	1,2 × 10 ⁵	3,9 × 10 ⁴	1,6 × 10 ⁴	33	14	8,4 × 10 ⁴	6,0 × 10 ⁴	2,4 × 10 ⁴	71	29
	D	1,1 × 10 ⁵	7,4 × 10 ⁴	2,6 × 10 ⁴	69	24	9,2 × 10 ⁴	6,6 × 10 ⁴	7,7 × 10 ³	72	8
04.09.17 - 06.09.17t	A	6,8 × 10 ⁶	6,3 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁶	91	21	1,1 × 10 ⁷	4,3 × 10 ⁶	1,8 × 10 ⁶	41	17
	B	1,9 × 10 ⁶	9,1 × 10 ⁵	2,3 × 10 ⁵	48	12	2,2 × 10 ⁶	9,8 × 10 ⁵	4,5 × 10 ⁵	45	21
	C	7,0 × 10 ⁶	1,6 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶	23	25	2,7 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁶	2,8 × 10 ⁶	8	10
	D	1,8 × 10 ⁷	7,2 × 10 ⁶	6,2 × 10 ⁵	40	3	1,2 × 10 ⁷	8,9 × 10 ⁶	9,8 × 10 ⁵	71	8
Arithm. Mittel (±Stabw)	5,9 × 10⁶ (±9,5 × 10 ⁶)	1,5 × 10⁶ (±2,5 × 10 ⁶)	3,4 × 10⁵ (±5,1 × 10 ⁵)	43 (±23)	14 (±9)	7,3 × 10⁶ (±1,1 × 10 ⁷)	1,5 × 10⁶ (±2,7 × 10 ⁶)	6,3 × 10⁵ (±9,0 × 10 ⁵)	38 (±24)	13 (±9)	

Tabelle 16: In der Emission von LH 2 gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

Datum	Gesamtbakterien					Staphylokokken					
	Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		
	Gesamt	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	Gesamt	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	
24.04.17 - 26.04.17	A	1,2 × 10 ⁷	-	3,9 × 10 ⁶	-	31	1,7 × 10 ⁷	-	3,4 × 10 ⁶	-	30
	B	1,6 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁶	5,4 × 10 ⁶	15	35	1,3 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁶	3,6 × 10 ⁶	17	27
	C	3,3 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁷	7,2 × 10 ⁶	35	22	3,0 × 10 ⁷	9,1 × 10 ⁶	6,6 × 10 ⁶	30	22
	D	4,7 × 10 ⁷	8,8 × 10 ⁶	3,4 × 10 ⁶	19	7	2,9 × 10 ⁷	6,1 × 10 ⁶	3,1 × 10 ⁶	21	11
29.05.17 - 01.06.17	A	1,1 × 10 ⁶	-	2,9 × 10 ⁵	-	27	1,0 × 10 ⁶	-	2,1 × 10 ⁵	x	20
	B	5,9 × 10 ⁶	2,6 × 10 ⁶	3,8 × 10 ⁵	45	6	5,7 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶	2,9 × 10 ⁵	31	5
	C	1,8 × 10 ⁷	1,6 × 10 ⁶	2,1 × 10 ⁶	9	12	4,4 × 10 ⁷	9,9 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁶	2	3
	D	1,2 × 10 ⁷	6,8 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶	58	15	8,2 × 10 ⁶	5,8 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	71	24
11.10.17 - 13.10.17	A	9,2 × 10 ⁶	2,4 × 10 ⁶	9,9 × 10 ⁵	26	11	9,2 × 10 ⁶	3,7 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁶	40	12
	B	7,1 × 10 ⁶	2,9 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁶	41	14	7,3 × 10 ⁶	3,3 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	45	28
	C	1,1 × 10 ⁷	2,8 × 10 ⁶	1,6 × 10 ⁶	25	14	1,7 × 10 ⁷	4,6 × 10 ⁶	1,9 × 10 ⁶	27	11
	D	5,5 × 10 ⁷	2,1 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	38	37	5,9 × 10 ⁶	3,1 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁶	52	23
Arithm. Mittel (±Stabw)	1,9 × 10⁷ (±1,7 × 10 ⁷)	4,4 × 10⁶ (±3,5 × 10 ⁶)	2,5 × 10⁵ (±2,1 × 10 ⁶)	31 (±15)	19 (±11)	1,6 × 10⁷ (±1,3 × 10 ⁷)	4,1 × 10⁶ (±2,4 × 10 ⁶)	2,2 × 10⁶ (±1,8 × 10 ⁵)	34 (±19)	18 (±9)	

Die prozentuale Anzahlverteilung von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} ist bei den Legehennen mit durchschnittlich etwa 37 % und 16 % annähernd gleich (Abbildung 14). Dies ist plausibel, da in der Legehennenhaltung nahezu 100 % der dort in der Luft nachweisbaren Bakterien der Gruppe der Staphylokokken zugerechnet werden können (Springorum et al. 2015). Die Werte stützen zudem die Untersuchungen von Gärtner et al. (2017), die bei Masthähnchen 39 % der luftgetragenen Bakterien in der Fraktion PM₁₀ fanden und 14 % in PM_{2,5}. Bei den Mastputen unterscheiden sich die Gesamtbakterien und Staphylokokken geringfügig, wobei bei die Staphylokokken mit 37 % in PM₁₀ und 12 % in PM_{2,5} fast identisch mit den Werten für Legehennen sind und lediglich die Gesamtbakterien mit durchschnittlich 28 % in PM₁₀ und 12 % in PM_{2,5} etwas mehr auf größeren Partikeln liegen. Zu berücksichtigen ist hier aber auch die relativ breite Streuung der Werte, so dass auf Grundlage der bisherigen Erkenntnisse für die untersuchten Geflügelhaltungen eine relativ einheitliche Partikelgrößenverteilung für die luftgetragenen Bakterien angenommen werden kann. Zum Vergleich sind in Abbildung 15 die prozentualen Anteile der Staubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} am Gesamtstaub dargestellt. Die Verteilung der Staubfraktionen ist völlig anders als die der luftgetragenen Bakterien. Hier liegen die PM₁₀-Anteile bei den untersuchten Ställen alle bei etwa 85 %. Die PM_{2,5}-Anteile schwanken etwas stärker zwischen 40 % und 50 %. Dies zeigt, dass man nicht allein über die Verteilung der Staubfraktionen auf die Größenverteilung der Bioaerosole schließen kann.

Tabelle 17: In der Emission vom MP gemessene Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Fraktionen ‚Gesamtstaub‘, PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Verhältnisse in % anteilig vom Gesamtstaub.

Datum	Gesamtbakterien					Staphylokokken					
	Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		Konzentrationen in KBE/m ³			Verhältnisse in %		
	Gesamt	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	Gesamt	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	
21.08.17 - 23.08.17	A	2,2 × 10 ⁷	4,9 × 10 ⁶	8,6 × 10 ⁵	22	4	6,6 × 10 ⁶	5,5 × 10 ⁶	1,3 × 10 ⁶	83	20
	B	1,3 × 10 ⁷	6,6 × 10 ⁶	6,9 × 10 ⁵	51	5	6,7 × 10 ⁶	4,9 × 10 ⁶	7,7 × 10 ⁵	73	11
	C	2,5 × 10 ⁷	7,2 × 10 ⁶	4,2 × 10 ⁶	28	16	3,1 × 10 ⁷	1,0 × 10 ⁷	2,9 × 10 ⁶	33	9
	D	1,6 × 10 ⁷	5,5 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	35	13	1,3 × 10 ⁷	5,5 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	41	15
23.10.17 - 25.10.17	A	1,2 × 10 ⁷	5,6 × 10 ⁶	4,0 × 10 ⁶	46	32	2,3 × 10 ⁷	6,0 × 10 ⁶	2,6 × 10 ⁶	26	11
	B	2,4 × 10 ⁷	5,7 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	23	8	2,0 × 10 ⁷	5,0 × 10 ⁶	3,0 × 10 ⁶	25	15
	C	3,0 × 10 ⁷	4,0 × 10 ⁶	1,9 × 10 ⁶	13	6	1,9 × 10 ⁷	4,3 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁶	23	10
	D	2,4 × 10 ⁷	3,0 × 10 ⁶	4,6 × 10 ⁶	12	18	2,5 × 10 ⁷	3,6 × 10 ⁶	4,4 × 10 ⁶	14	17
25.10.17 - 27.10.17	A	4,0 × 10 ⁷	1,1 × 10 ⁷	3,4 × 10 ⁶	28	8	3,1 × 10 ⁷	9,5 × 10 ⁶	2,3 × 10 ⁶	31	8
	B	2,9 × 10 ⁷	9,5 × 10 ⁶	4,0 × 10 ⁶	32	14	2,9 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁷	2,8 × 10 ⁶	46	9
	C	3,4 × 10 ⁷	8,0 × 10 ⁶	3,9 × 10 ⁶	23	11	4,0 × 10 ⁷	8,8 × 10 ⁶	3,7 × 10 ⁶	22	9
	D	3,7 × 10 ⁷	9,7 × 10 ⁶	4,7 × 10 ⁶	26	13	3,1 × 10 ⁷	9,4 × 10 ⁶	3,2 × 10 ⁶	31	11
Arithm. Mittel (±Stabw)	2,6 × 10⁷ (±9,0 × 10 ⁶)	6,7 × 10⁶ (±2,4 × 10 ⁶)	3,0 × 10⁶ (±1,4 × 10 ⁶)	28 (±12)	12 (±8)	2,3 × 10⁷ (±1,0 × 10 ⁷)	7,1 × 10⁶ (±2,9 × 10 ⁶)	2,6 × 10⁶ (±1,0 × 10 ⁶)	37 (±21)	12 (±4)	

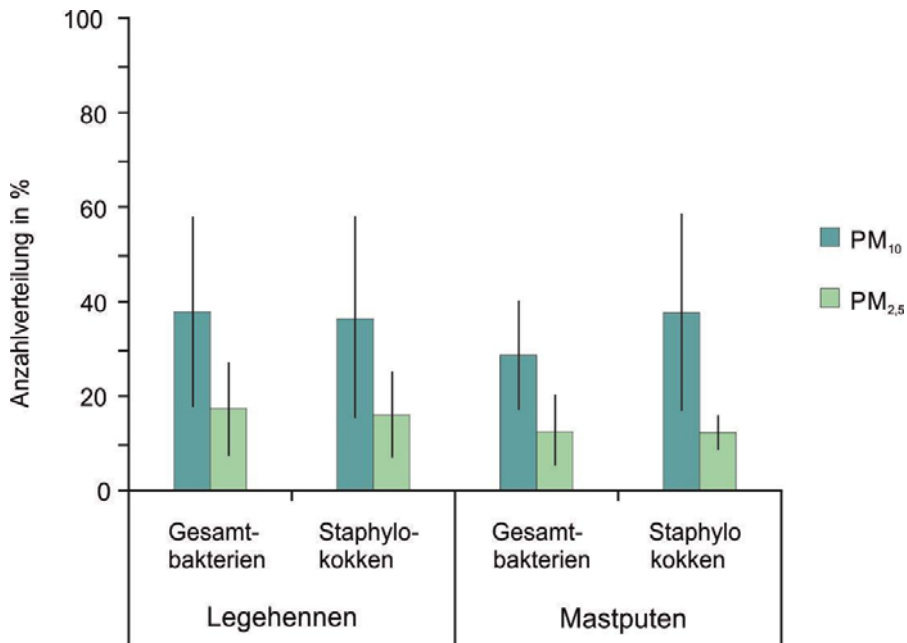


Abbildung 14: Prozentuale Anzahlverteilung von Gesamtbakterien und Staphylokokken in den Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} in der Emission zweier Legehennenställe (n = 24) und eines Mastputenstalls (n = 12)

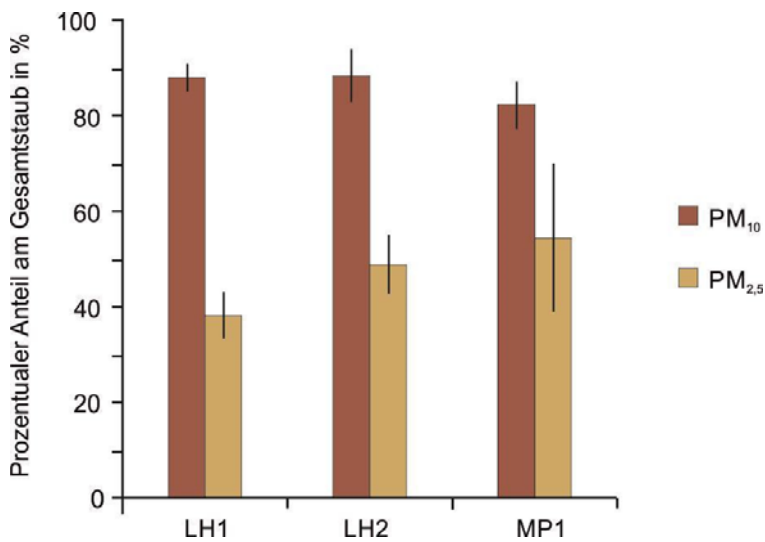


Abbildung 15: Prozentuale Anteile am Gesamtstaub von PM₁₀ und PM_{2,5} in der Emission zweier Legehennenställe (jeweils n = 12) und eines Mastputenstalls (n = 10)

6.3 Kontinuierliche Bioaerosolmessungen

Bioaerosole sind die biologische Fraktion des Staubs. Erste Hinweise über die tageszeitlichen Schwankungen der Bioaerosolkonzentrationen können somit kontinuierliche Staubmessungen liefern, auch wenn wie in Kapitel 6.2 dargestellt, die Größenverteilung von Staub und Bioaerosolen in den untersuchten PM-Fractionen unterschiedlich war. Dies wurde auch in der eingangs erwähnten Untersuchung des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie im Auftrag des Freistaates Sachsen genutzt, um über den Verlauf der Staubkonzentrationen für Geflügelställe auf den Verlauf der Bioaerosolkonzentrationen zu schließen (Lippmann et al. 2016). Abbildungen 14 - 16 stellen exemplarisch die zeitlichen Verläufe der mit dem Aerosolspektrometer kontinuierlich gemessenen Staubkonzentrationen von PM₁₀ und PM_{2,5} an LH1, LH2 und dem MP dar. Es sind bei allen Ställen deutliche tageszeitliche Schwankungen zu erkennen mit niedrigeren Konzentrationen nachts. Da der Staub maßgeblich durch die Aktivität der Tiere im Stall generiert wird, repräsentieren die gefundenen Verläufe auch die Tieraktivität. Zum Beispiel lässt sich an LH1 ein gleichmäßiger Verlauf erkennen, während es bei der MP nachts zu deutlichen Peaks kam. Dies begründet sich in dem Lichtprogramm des MP. Hier wurde nachts das Licht von 00:00 Uhr bis 01:00 Uhr angestellt, um den Tieren das Fressen zu ermöglichen.

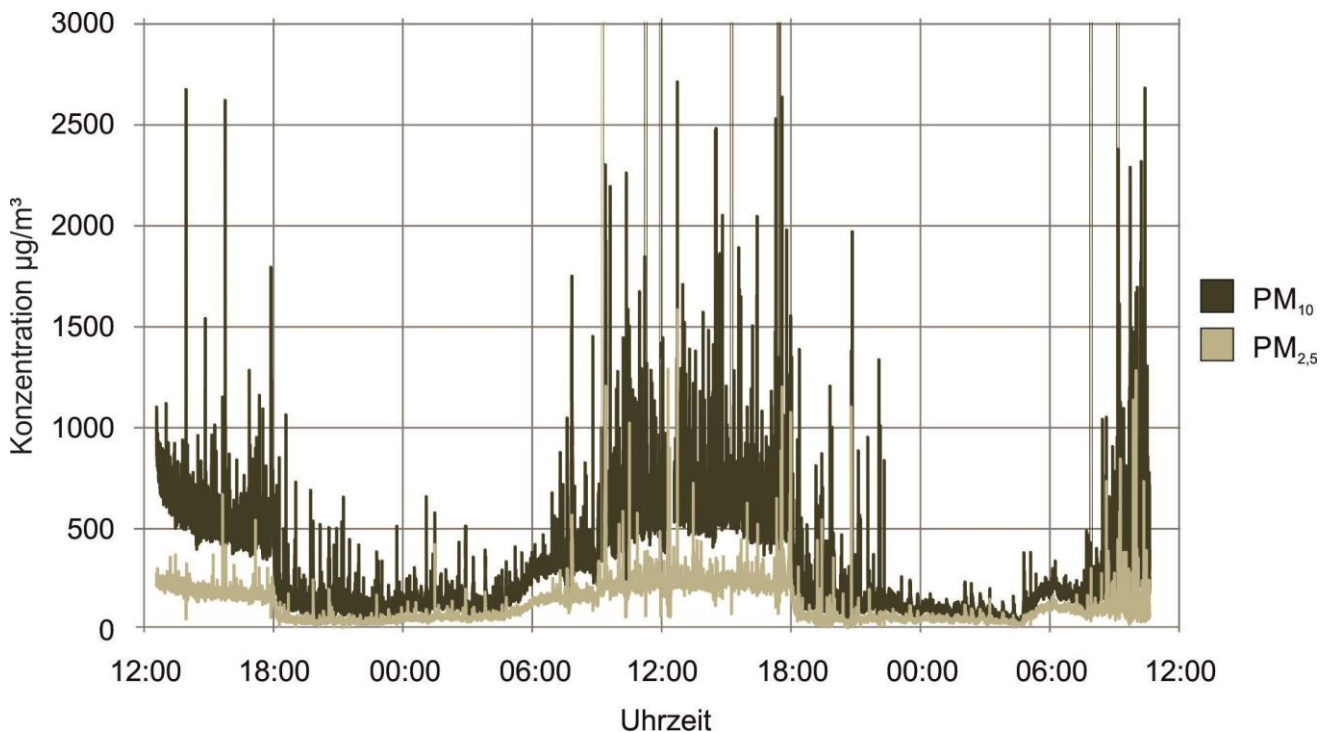


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 19.06.2017 – 21.06.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM₁₀ und PM_{2,5} an LH1.

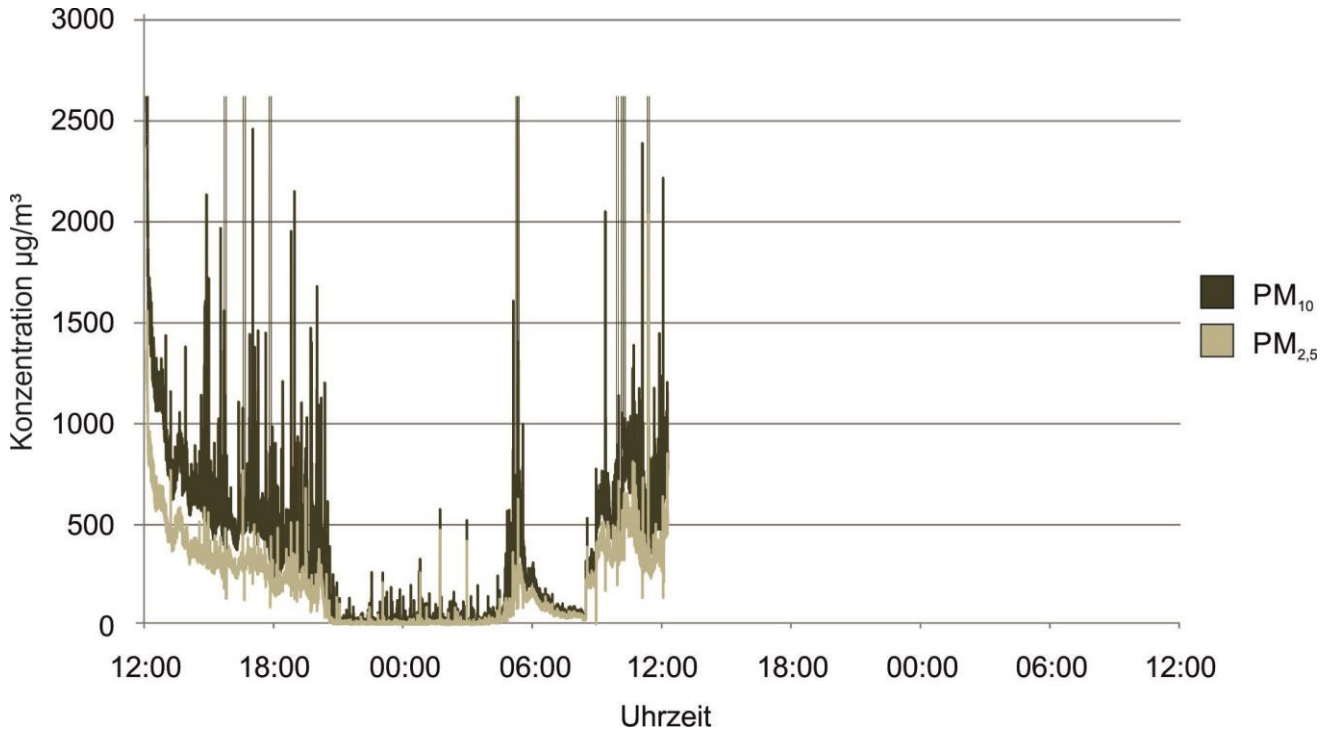


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 11.10.2017 – 12.10.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ an LH2.

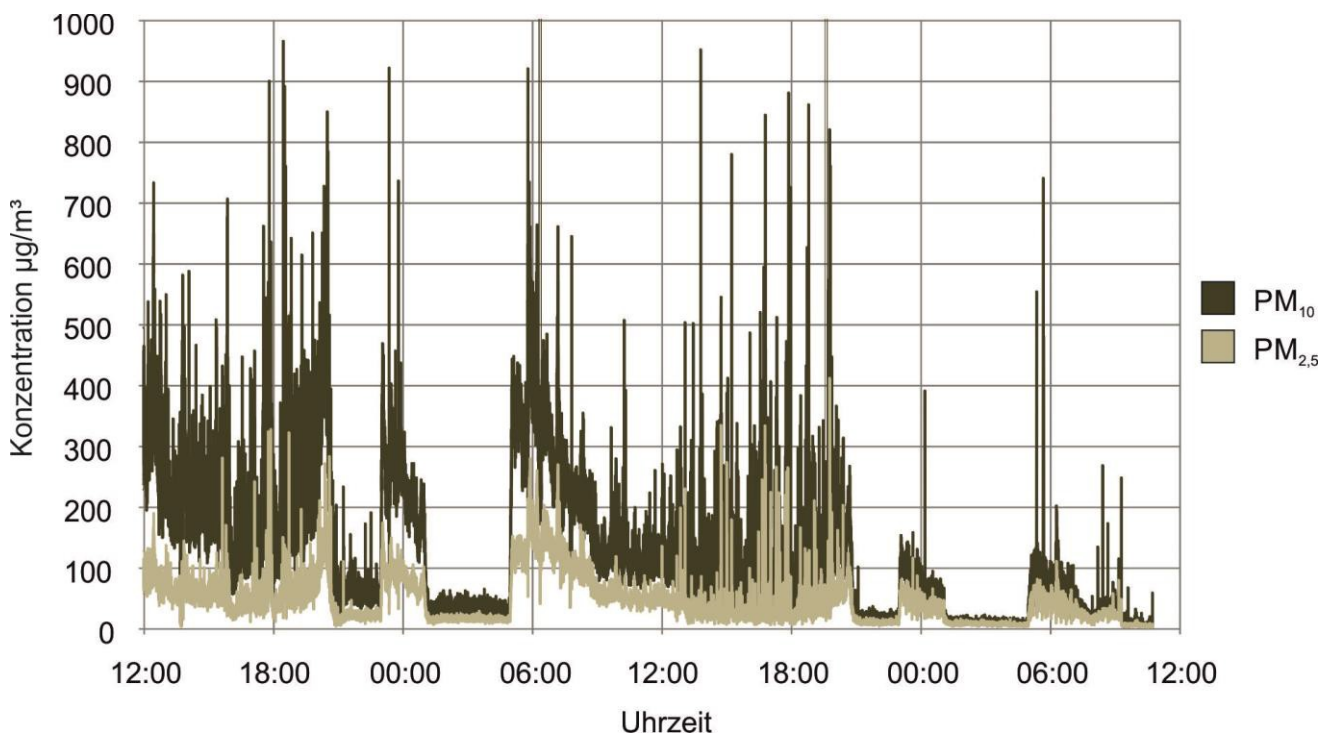


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der mit dem Aerosolspektrometer vom 21.08.2017 – 23.08.2017 kontinuierlich gemessene Staubkonzentrationen von PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ am MP.

Die meisten zeitlichen Verläufe der hier gemessenen Staubkonzentrationen liegen nur lückenhaft vor, da es zu großen Problemen mit Staubablagerungen in den Messschläuchen und zur Kondensation von Feuchtigkeit im Aerosolspektrometer kam. Aufgrund der zwar niederschlagsgeschützten aber ansonsten offenen und nicht und isolierten Aufhängung des Messgeräts Außen auf dem Dach der Stallgebäude waren vermutlich trotz beheizter Schläuche vor allem in den kalten Nächten die Temperaturunterschiede zu groß, so dass die feuchte warme Stallluft im Gerät kondensierte. Hier wäre bei zukünftigen Messungen auch das Messgerät zu beheizen. Anstelle von gebogenen Messsonden aus Kunststoffschlauch in denen sich über die 48 h große Mengen Staub absetzen können, sollte auf ungekrümmte Edelstahlsonden zurückgegriffen werden. Daher stellen auch die hier präsentierten Verläufe nur einen Eindruck dar, erlauben aber nicht die exakte Berechnung der Staubkonzentrationen in den PM-Fractionen wie bei den in Kapitel 6.1 präsentierten Messergebnisse für Staub mit dem Johnas II Impaktor.

Mit Hilfe des ABiS wurden Bioaerosole kontinuierlich gesammelt und auf die Messparameter Gesamtbakterien und Staphylokokken untersucht. Die daraus ermittelten Werte geben die entsprechenden Konzentrationsverläufe wieder. Nach Konvention ist es vorgeschrieben Bioaerosole in der Emission mit dem Emissionsimpinger zu sammeln. Der ABiS basiert jedoch auf einem AGI-30 Impinger (Immissionsimpinger). Der wichtigste Unterschied ist, dass bei dem Emissionsimpinger die Sonden gespült werden um anhaftende und in den Krümmungen impaktierte Partikel mit der Spülflüssigkeit in die Probenflüssigkeit zu waschen und somit mit zu erfassen. Beim AGI-30 und auch beim ABiS entfällt die Spülung. Dies resultiert in deutlichen Unterschieden beim Ergebnis zwischen AGI-30 und Emissionsimpinger. Die Größe des Unterschieds ist primär abhängig von den vorherrschenden Partikelgrößenfraktionen, da sie die Deposition und Impaktion in den Sonden und Krümmern der Probenahmesysteme bedingen.

Die Partikelgrößenfraktionen waren bei den untersuchten Geflügelställen annähernd gleich (Abbildung 14). Daher wurde aus allen Ergebnissen von mit dem Emissionsimpinger und dem ABiS parallel durchgeführten Messungen ein Korrekturfaktor ermittelt, der es ermöglichen soll, die Ergebnisse des ABiS auf den Emissionsimpinger umzurechnen. Die Berechnung der Korrekturfaktoren ist in Tabelle 18 dargestellt. Dieser ist für Gesamtbakterien Faktor 4,4 (n = 40) und für Staphylokokken Faktor 4,2 (n = 40).

Tabelle 18: Berechnung des Unterschiedes zwischen ABiS und Emissionsimpinger bei zeitgleich durchgeführten Emissionmessungen am MP zur Ermittlung eines Korrekturfaktors für die Anpassung der Konzentrationswerte des ABiS auf den Emissionsimpinger.

	Gesamtbakterien			Staphylokokken		
	ABiS	Emissionsimpinger	Faktor	ABiS	Emissionsimpinger	Faktor
LH1 21.02.2017 – 23.07.2017	2,3 x 10 ⁵	5,5 x 10 ⁵	2,4	2,7 x 10 ⁵	6,1 x 10 ⁵	2,2
	2,5 x 10 ⁵	6,6 x 10 ⁵	2,7	3,0 x 10 ⁵	6,3 x 10 ⁵	2,1
	5,0 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁶	4,5	5,4 x 10 ⁵	2,9 x 10 ⁶	5,3
LH1 19.06.2017 – 21.06.2017	2,5 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁷	12,8	1,9 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁷	16,5
	8,4 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁵	0,1	1,3 x 10 ⁵	8,7 x 10 ⁴	0,7
	5,2 x 10 ⁵	2,6 x 10 ⁵	0,5	3,9 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵	0,3
LH1 04.09.2017 – 06.09.2017	2,1 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁵	0,1	1,7 x 10 ⁶	8,4 x 10 ⁴	0,0
	1,5 x 10 ⁶	3,0 x 10 ⁵	0,2	2,2 x 10 ⁶	2,7 x 10 ⁵	0,1
	7,6 x 10 ⁶	6,8 x 10 ⁶	0,9	8,5 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁷	1,2
LH1 04.09.2017 – 06.09.2017	2,2 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁶	0,8	2,1 x 10 ⁶	2,2 x 10 ⁶	1,0
	1,7 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁷	6,1	1,8 x 10 ⁶	6,2 x 10 ⁶	3,4
	3,3 x 10 ⁶	3,9 x 10 ⁶	1,2	4,0 x 10 ⁶	4,8 x 10 ⁶	1,2
LH2 24.04.2017 – 26.04.2017	2,4 x 10 ⁶	8,6 x 10 ⁶	3,7	3,1 x 10 ⁶	2,7 x 10 ⁷	8,8
	1,4 x 10 ⁷	1,2 x 10 ⁷	0,9	7,9 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁷	1,4
	4,3 x 10 ⁶	1,6 x 10 ⁷	3,7	3,2 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁷	4,2
LH2 24.04.2017 – 26.04.2017	4,7 x 10 ⁶	8,3 x 10 ⁷	17,6	4,0 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁸	25,4
	5,7 x 10 ⁶	3,7 x 10 ⁷	6,5	4,1 x 10 ⁶	4,6 x 10 ⁷	11,3
	1,9 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁷	17,0	5,7 x 10 ⁶	3,0 x 10 ⁷	5,3
LH2 30.05.2017- 01.06.2017	1,1 x 10 ⁶	4,7 x 10 ⁷	4,4	5,6 x 10 ⁶	2,9 x 10 ⁷	5,2
	1,3 x 10 ⁶	5,1 x 10 ⁶	3,8	4,5 x 10 ⁶	5,4 x 10 ⁶	1,2
	8,0 x 10 ⁵	4,4 x 10 ⁶	5,6	7,5 x 10 ⁶	5,1 x 10 ⁶	0,7
LH2 11.10.2017 – 13.10.2017	2,7 x 10 ⁶	1,8 x 10 ⁷	6,8	4,9 x 10 ⁶	4,4 x 10 ⁷	9,1
	1,8 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁷	6,4	3,1 x 10 ⁵	8,2 x 10 ⁶	26,2
	2,0 x 10 ⁶	7,0 x 10 ⁶	3,6	1,4 x 10 ⁶	7,8 x 10 ⁶	5,5
MP 21.08.2017 – 23.08.2017	1,6 x 10 ⁶	9,2 x 10 ⁶	5,9	1,8 x 10 ⁶	9,2 x 10 ⁶	5,1
	1,5 x 10 ⁶	7,1 x 10 ⁶	4,6	1,6 x 10 ⁶	7,3 x 10 ⁶	4,6
	1,5 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁷	7,4	4,2 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁷	4,1
MP 23.10.2017 – 25.10.2017	1,8 x 10 ⁶	5,5 x 10 ⁶	3,0	3,9 x 10 ⁶	4,2 x 10 ⁶	1,1
	2,1 x 10 ⁶	6,6 x 10 ⁷	31,2	1,3 x 10 ⁶	6,9 x 10 ⁷	51,8
	3,1 x 10 ⁶	4,2 x 10 ⁶	1,4	2,4 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁶	2,3
MP 25.10.2017 – 27.10.2017	2,6 x 10 ⁶	2,2 x 10 ⁷	8,5	1,5 x 10 ⁶	6,6 x 10 ⁶	2,8
	2,6 x 10 ⁶	2,5 x 10 ⁷	9,7	4,2 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁷	20,8
	9,6 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁷	1,3	1,3 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁷	5,4
MP 25.10.2017 – 27.10.2017	3,7 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁷	6,6	5,6 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁷	15,4
	7,0 x 10 ⁶	3,0 x 10 ⁷	4,4	6,1 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁷	3,4
	1,1 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁷	2,2	1,4 x 10 ⁶	2,5 x 10 ⁷	4,1
MP 25.10.2017 – 27.10.2017	3,4 x 10 ⁶	1,6 x 10 ⁷	4,7	6,3 x 10 ⁶	1,6 x 10 ⁷	11,4
	2,8 x 10 ⁷	2,5 x 10 ⁷	0,9	1,1 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁷	3,2
	2,3 x 10 ⁶	4,0 x 10 ⁷	17,7	4,9 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁷	27,7
Median	6,7 x 10 ⁶	2,9 x 10 ⁷	4,4	1,1 x 10 ⁶	2,9 x 10 ⁷	6,0
	4,6 x 10 ⁶	3,4 x 10 ⁷	7,3	1,1 x 10 ⁶	4,0 x 10 ⁷	37,1
Median	2 x 10⁶	1 x 10⁷	4,4	2E x 10⁶	1 x 10⁷	4,2

Abbildung 19–24 zeigen die zeitlichen Verläufe der Konzentrationen von Gesamtbakterien und Staphylokokken sowie die beschriebene rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 in der Emission von LH1, LH2 und dem MP, sowie die Hell- und Dunkelphasen in den Ställen während der jeweiligen Messungen. Wie beim Staub sind auch bei den Gesamtbakterien und Staphylokokken deutliche tageszeitliche Schwankungen zu erkennen, mit höchsten Konzentrationen tagsüber meist zur Mittagszeit und niedrigeren Konzentrationen nachts. Die Fluktuationen scheinen erstmal abhängig von Hell- und Dunkelphasen zu sein. Jedoch zeigen sich auch bei den letzten Messungen in der Putenmast (Abbildung 24) deutliche Unterschiede zwischen Tag und Nacht, obwohl im Stall gemäß dem Lichtregime in der Endmast kontinuierlich gedimmtes Dauerlicht herrschte. Es ist ebenfalls zu beobachten, dass die Höhe der Unterschiede zwischen Tag und Nacht vom Klima abhängig ist. So sind die

Unterschiede zwischen Tag und Nacht im Sommer bei hohen Temperaturen weniger stark ausgeprägt als im Winter (siehe z. B. Abb. 19). Auch die Fütterungszeiten haben einen Einfluss auf die Höhe der Peaks, wie z. B. nachts bei den Mastputen (Abbildung 24) dargestellt ist.

Die bei den Konzentrationen beobachteten Verläufe spiegeln sich auch in den Verläufen der daraus berechneten Emissionsfaktoren wieder (Abbildungen 25 bis 30), in die neben der Konzentration auch der jeweilige Luftvolumenstrom eingeht und der in den Abbildungen auf GV bezogen ist.

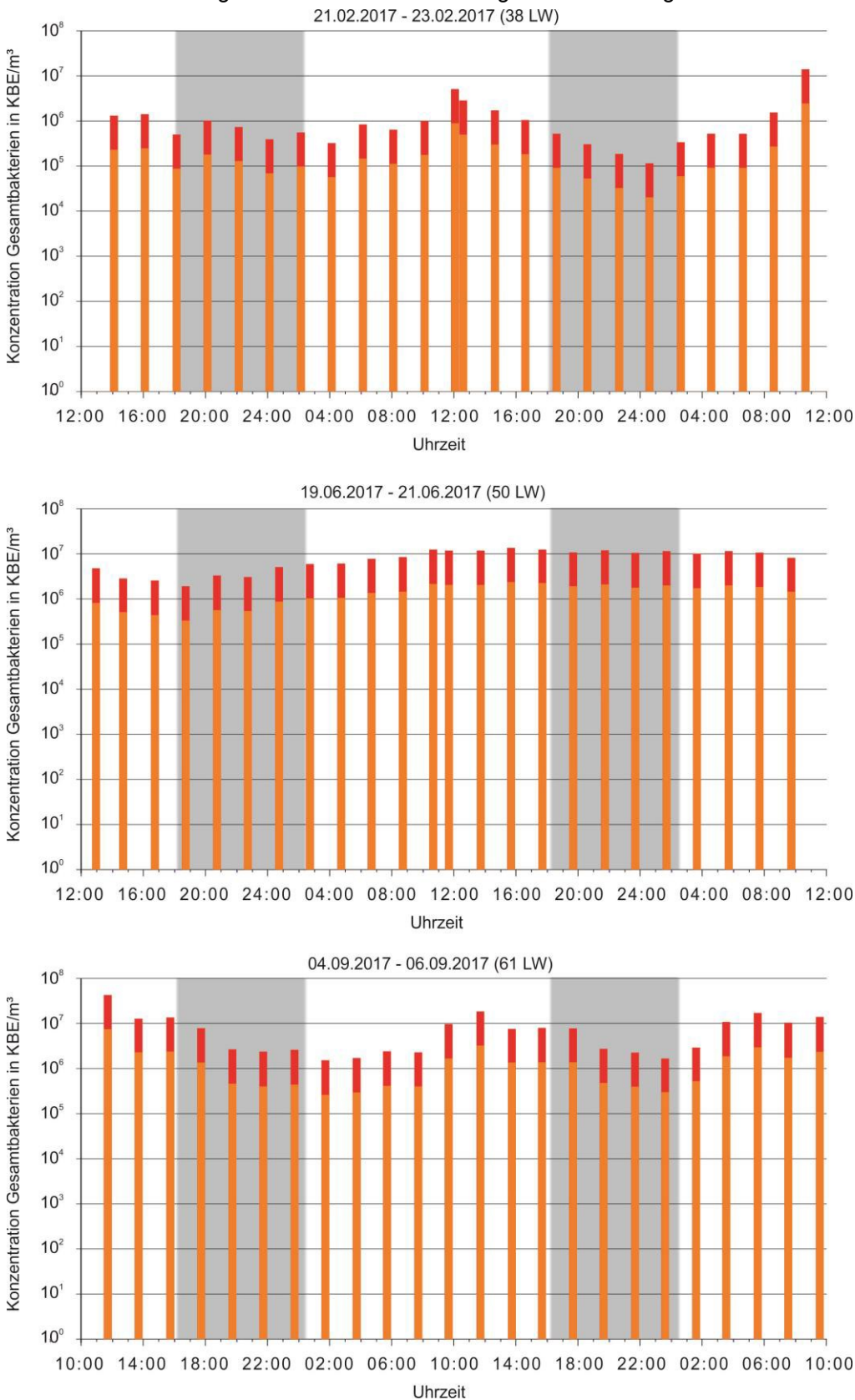


Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von

LH1 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

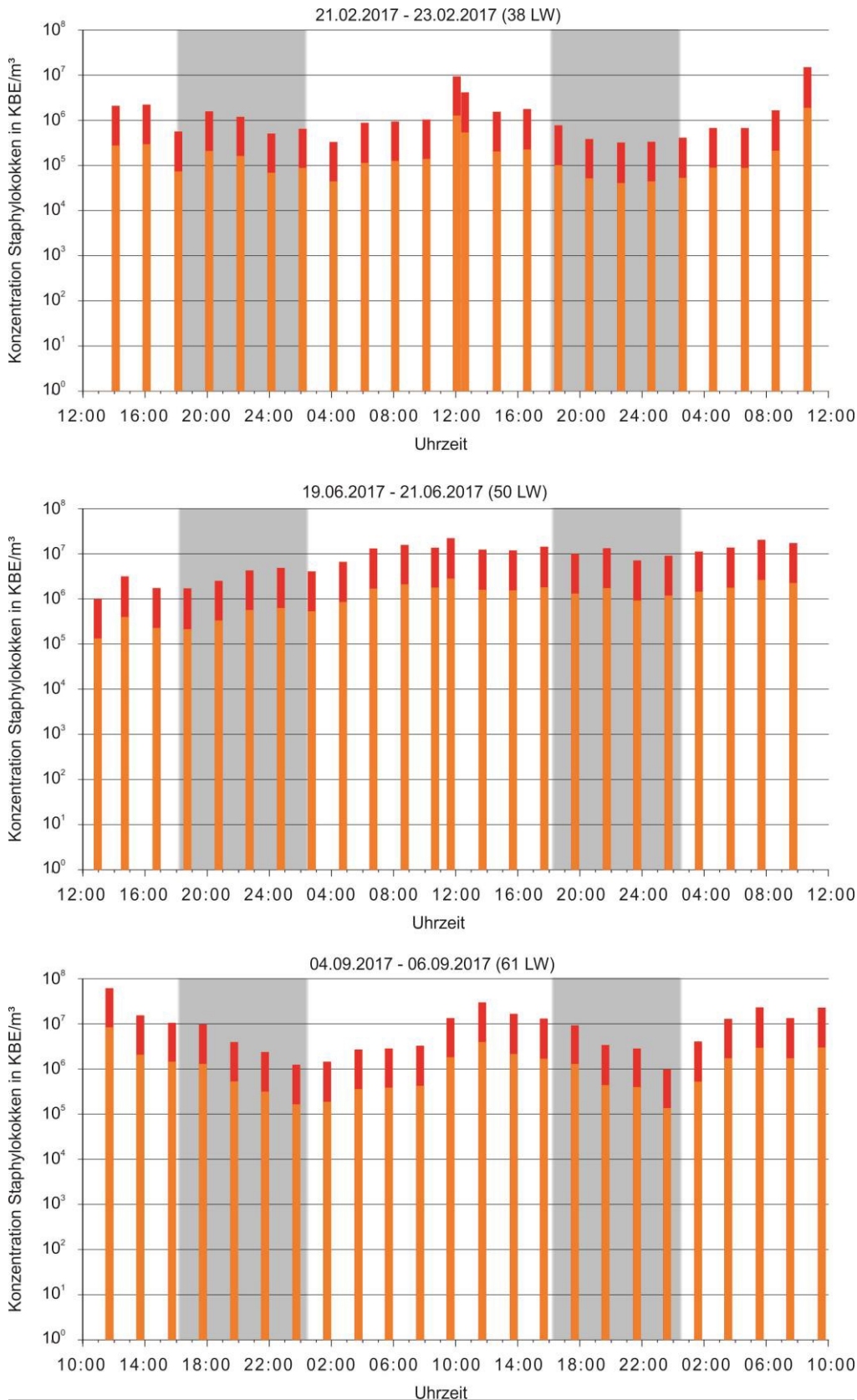


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von LH1 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

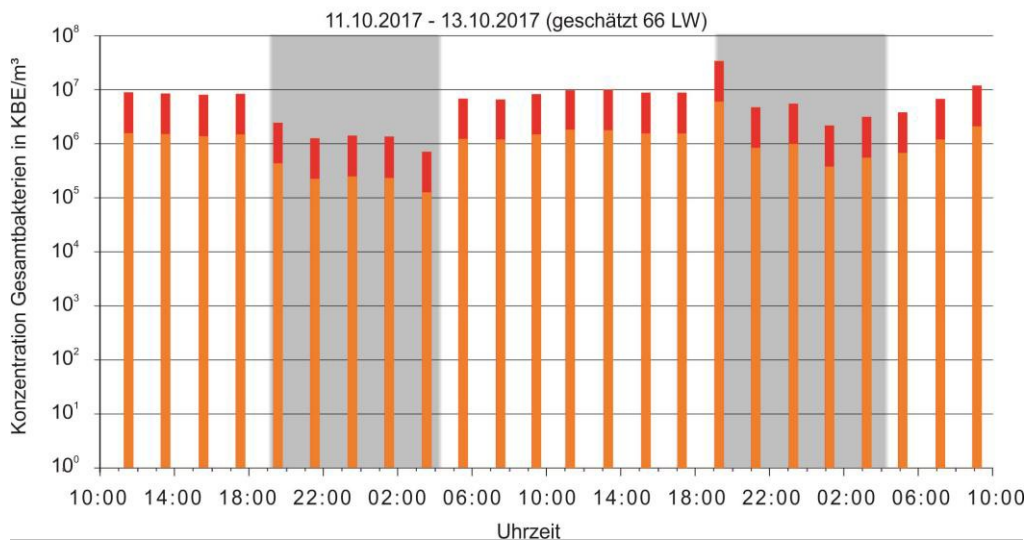
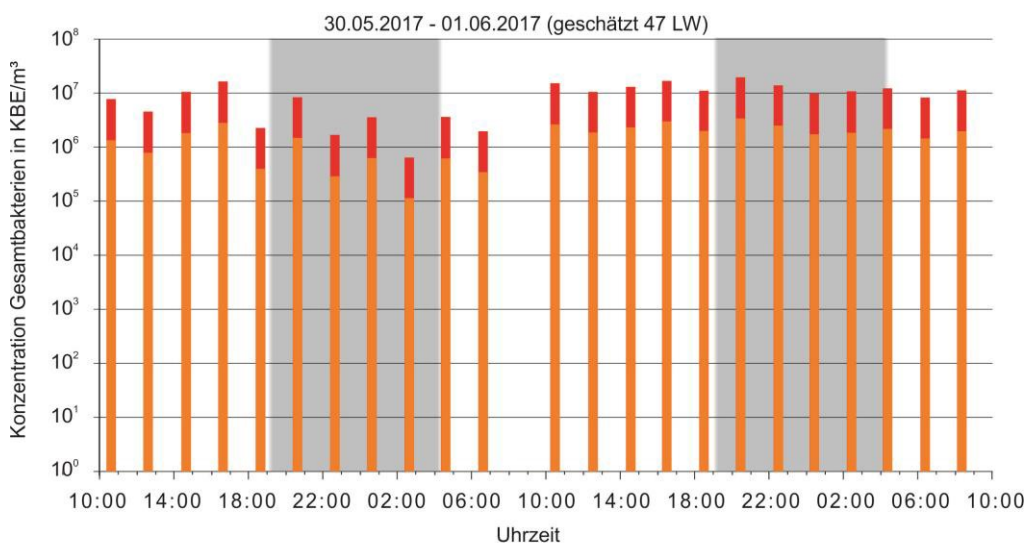
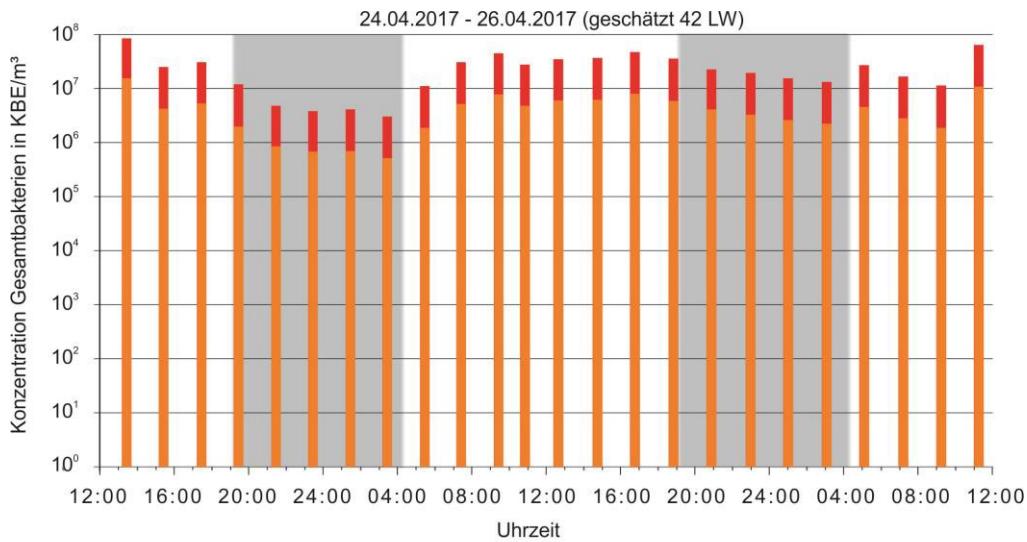


Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von LH2 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

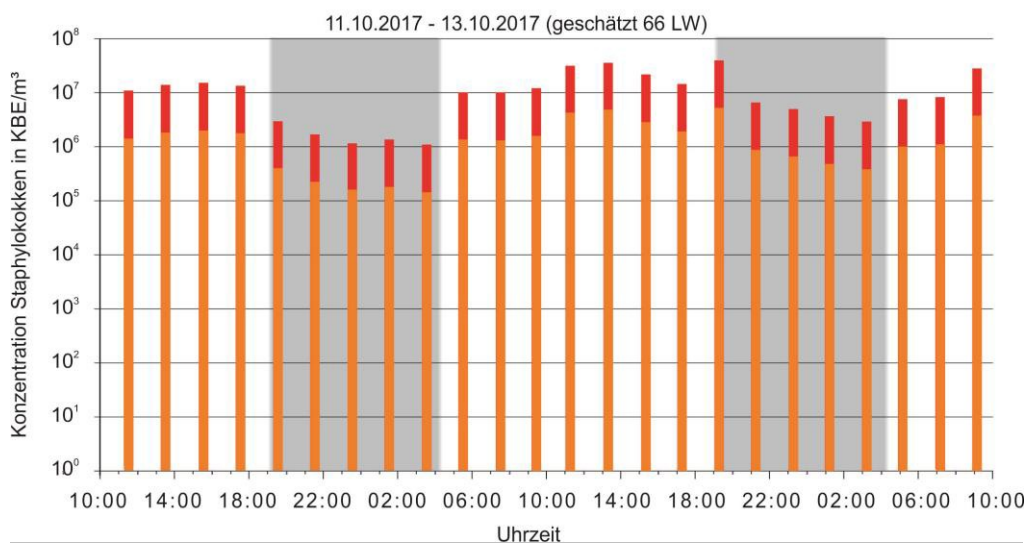
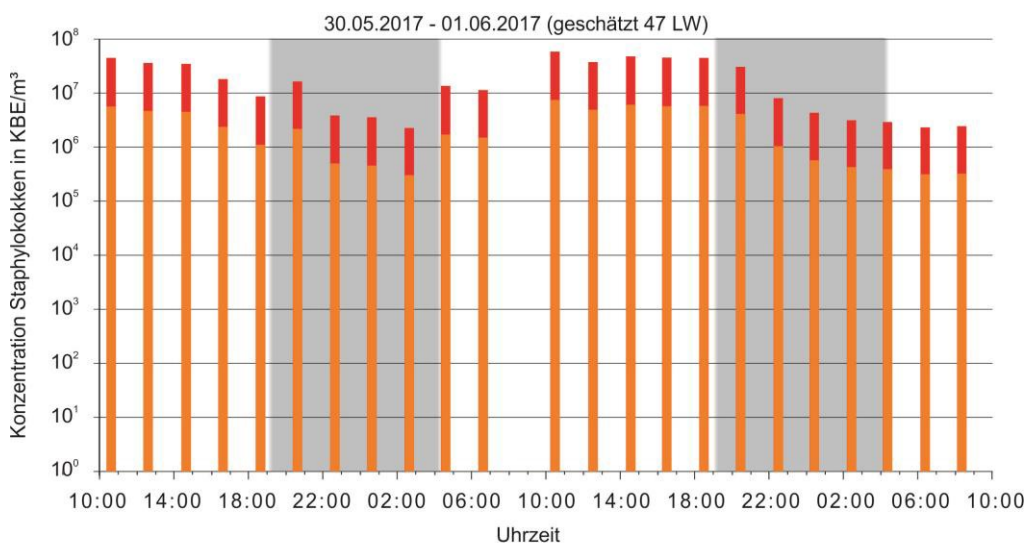
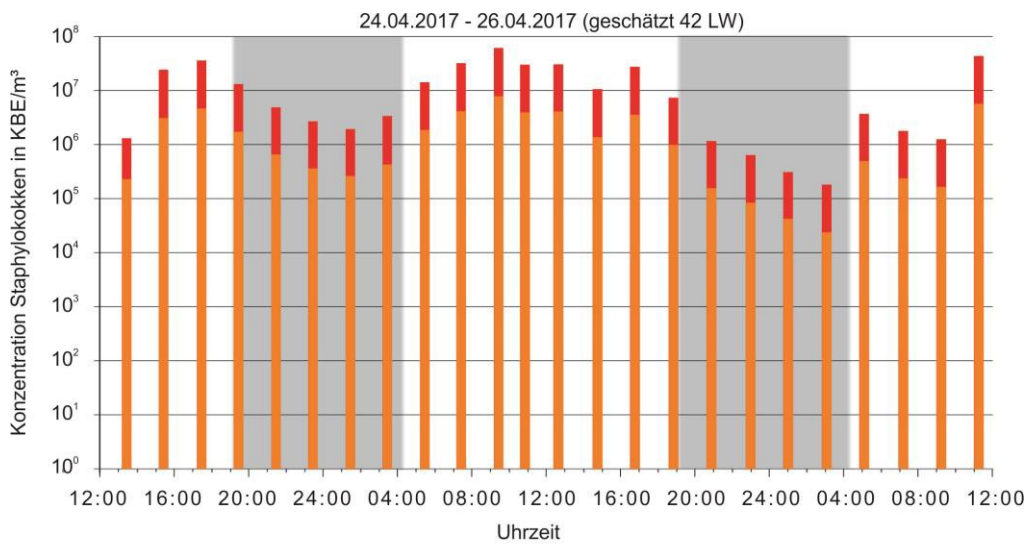


Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von LH2 (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

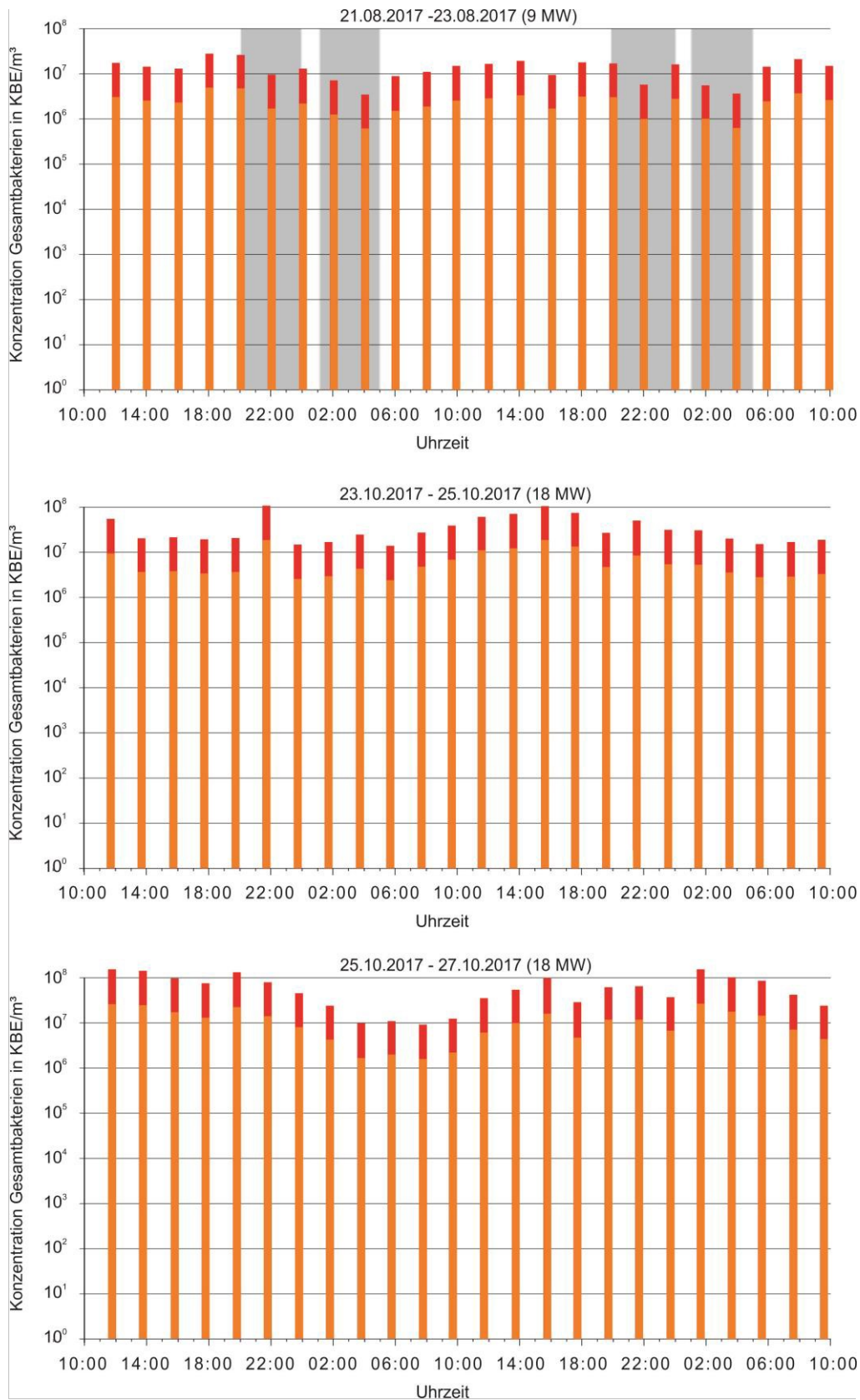


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Gesamtbakterien in der Emission von der MP (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

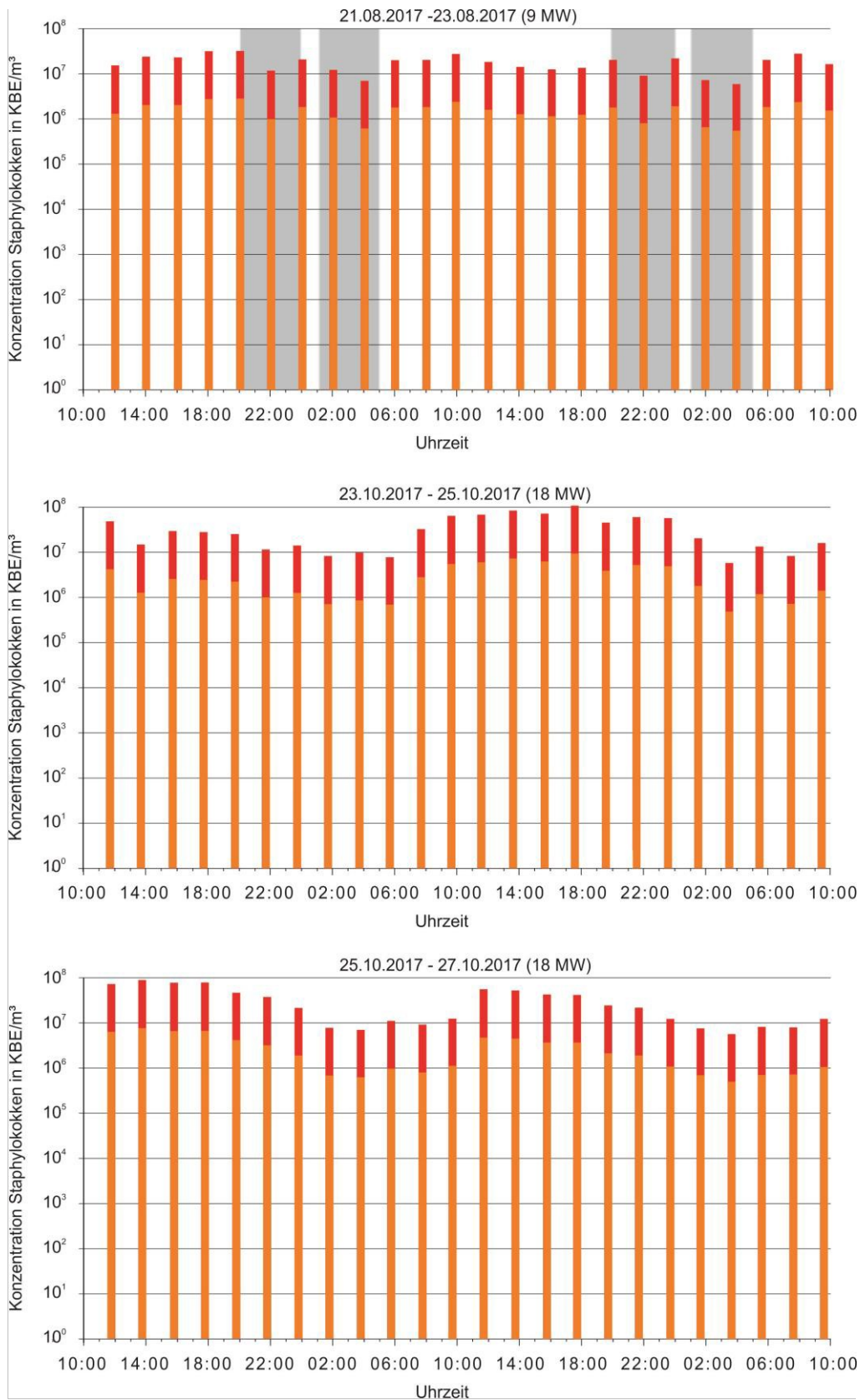


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Staphylokokken in der Emission von der MP (orange) sowie die rechnerische Anpassung der Werte mit dem Korrekturfaktor aus Tabelle 18 (rot). Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

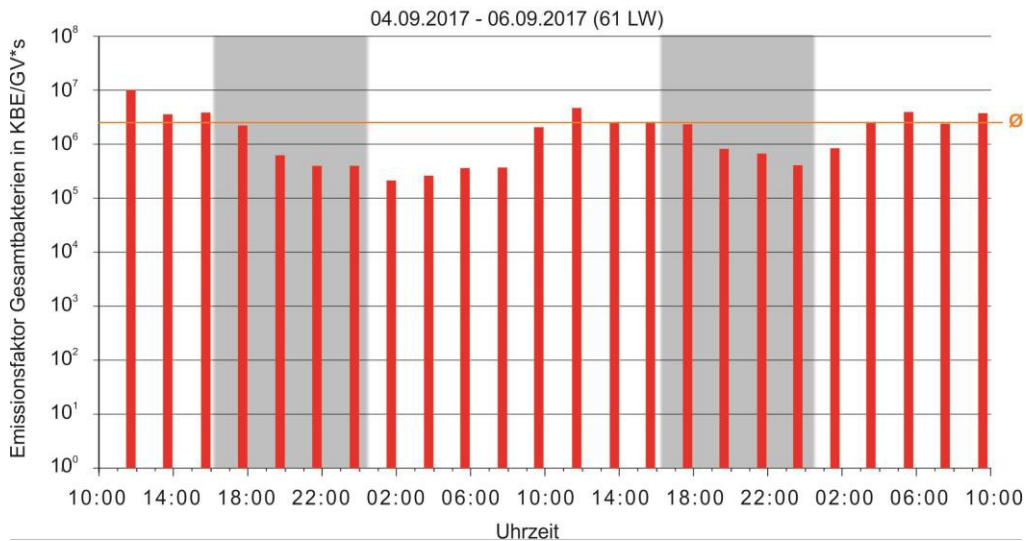
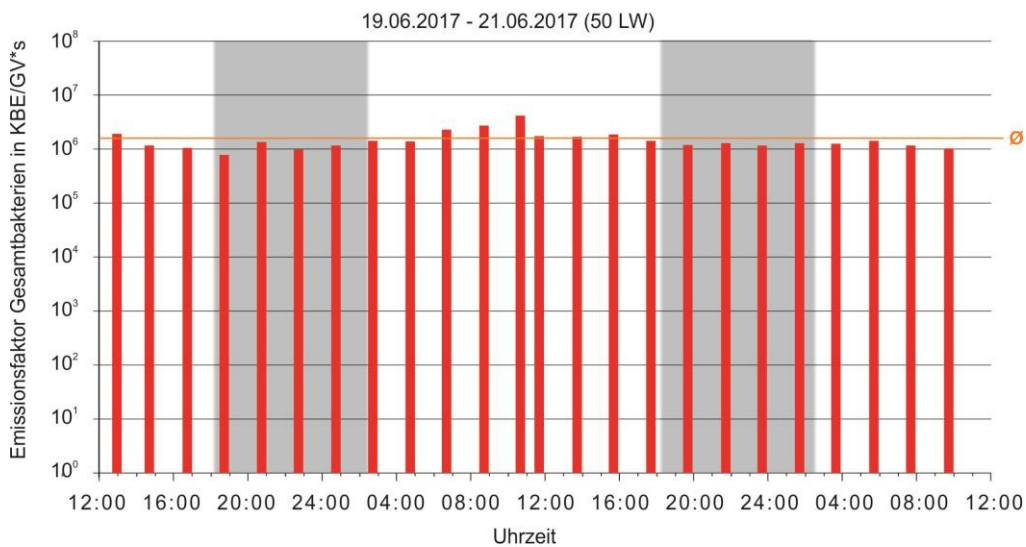
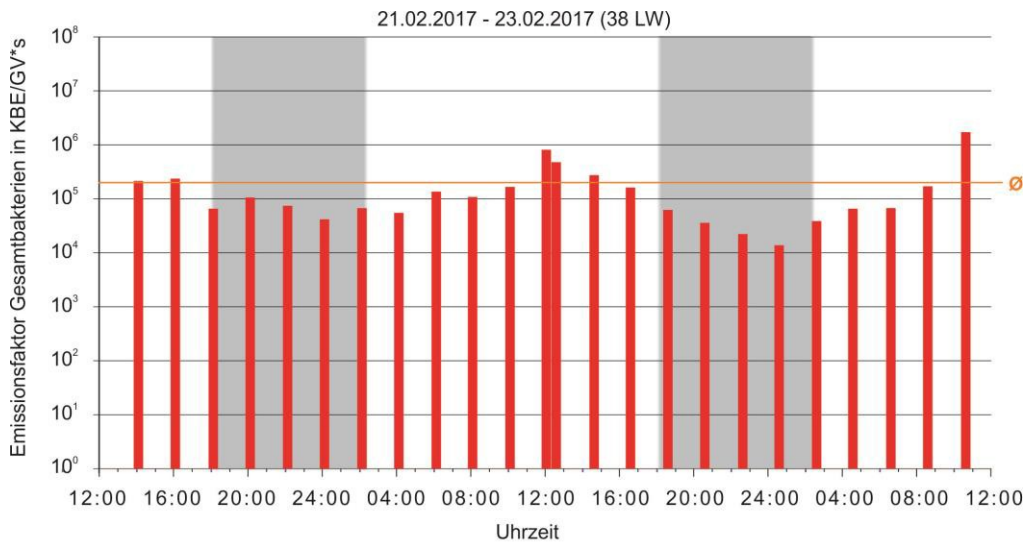


Abbildung 25: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

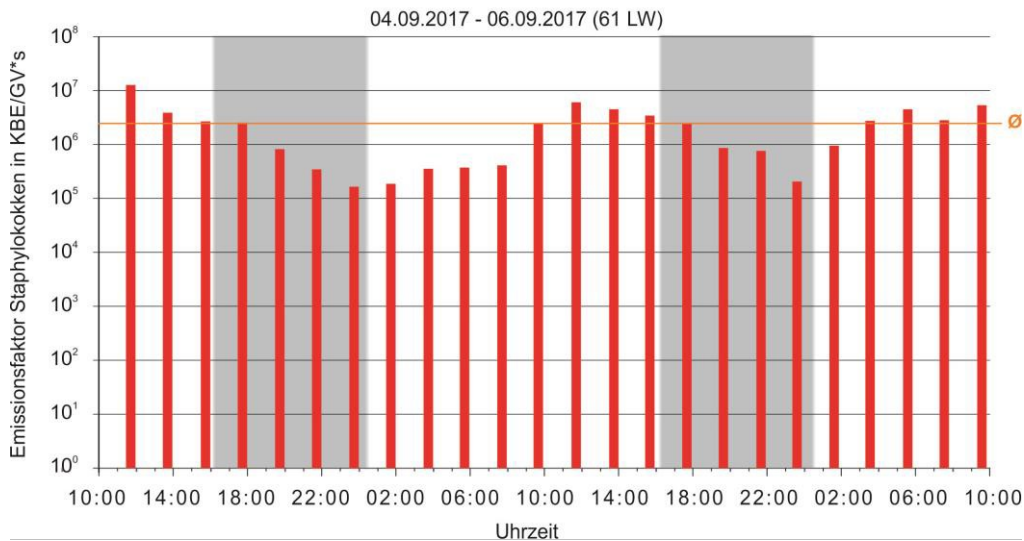
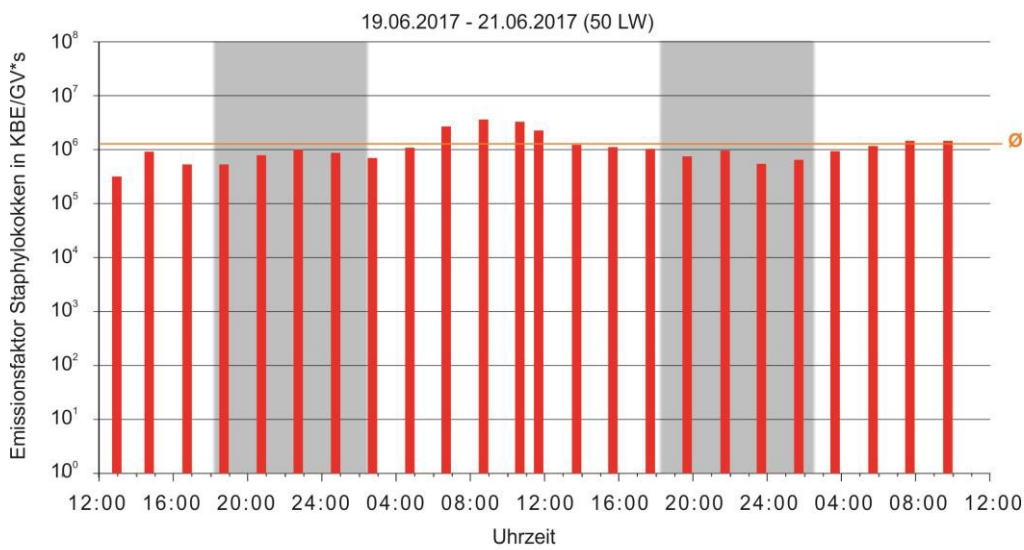
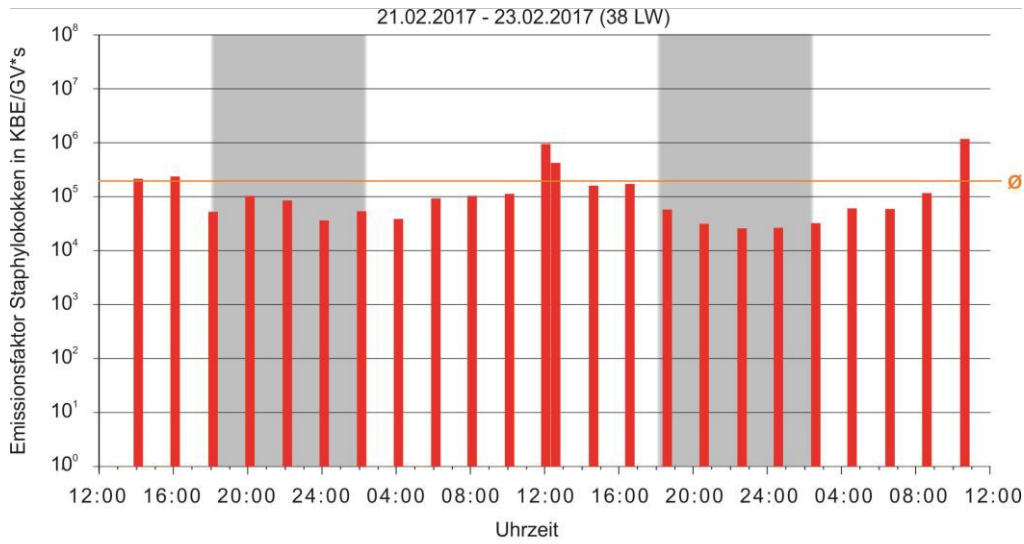


Abbildung 26: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

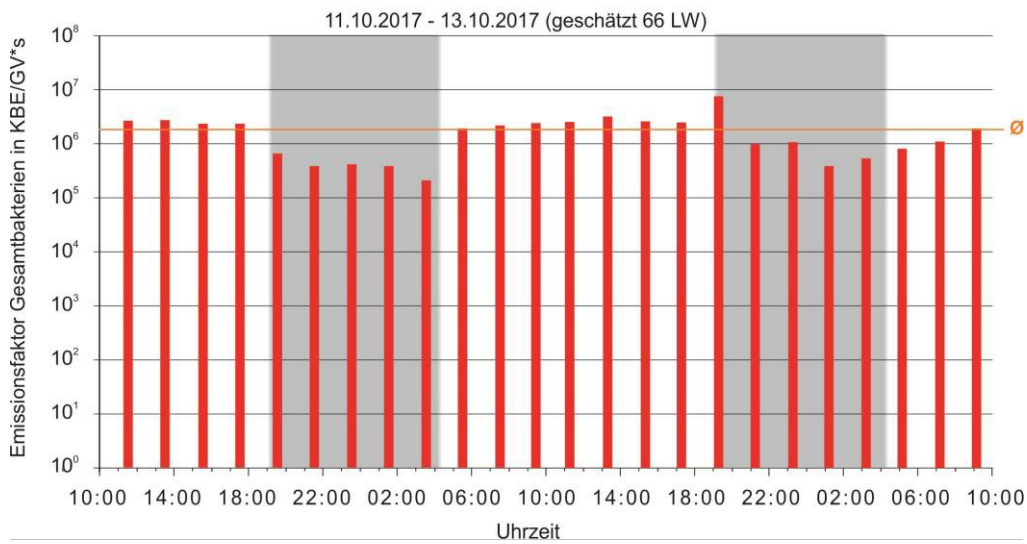
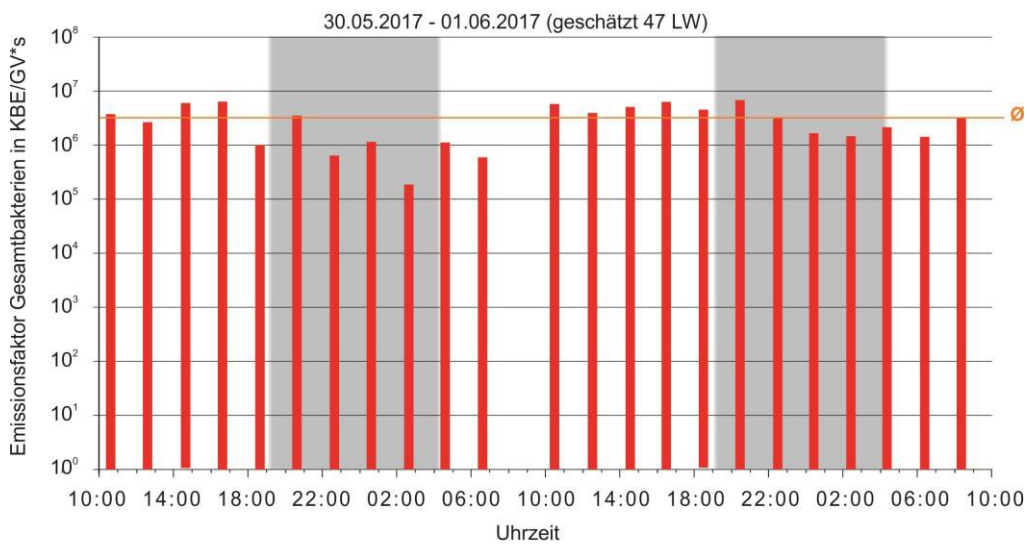
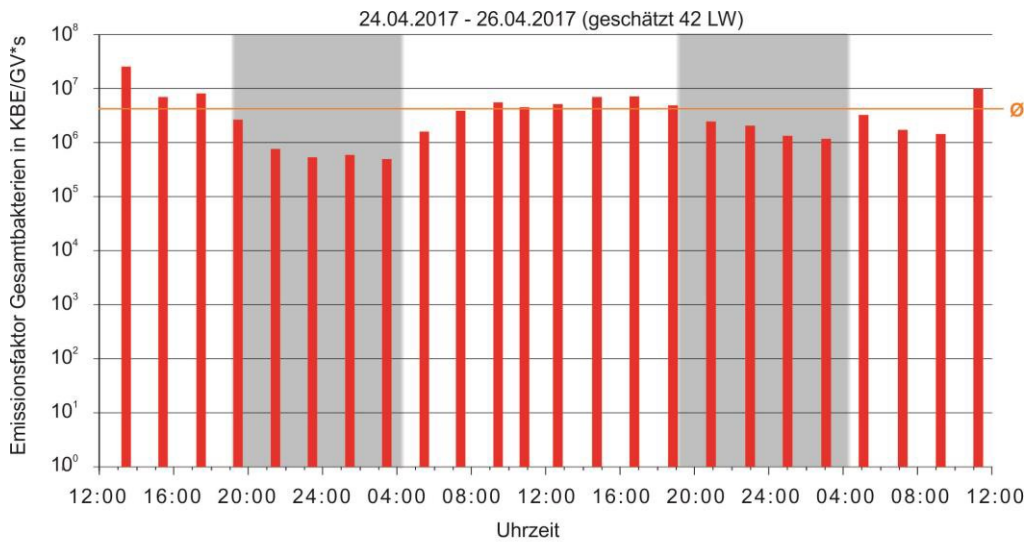


Abbildung 27: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

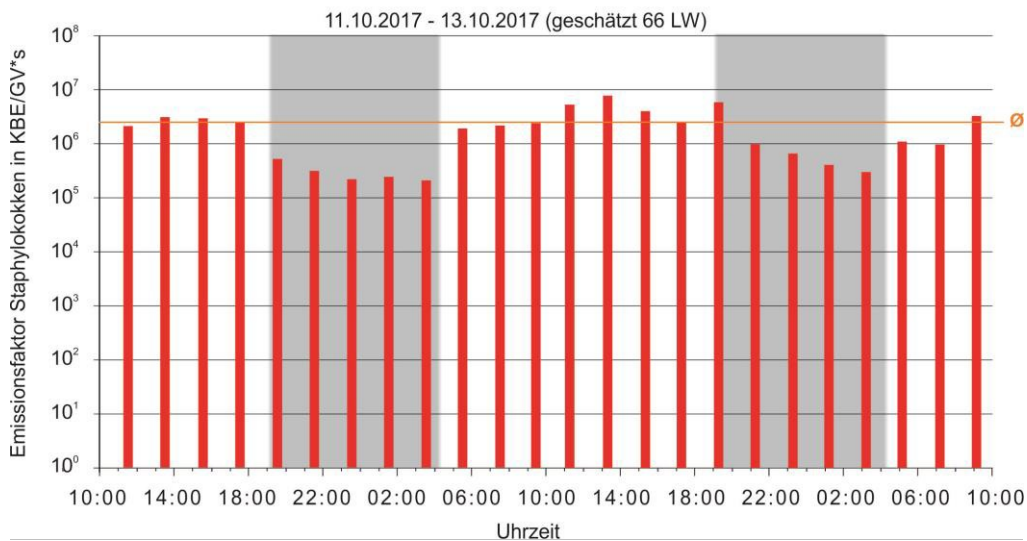
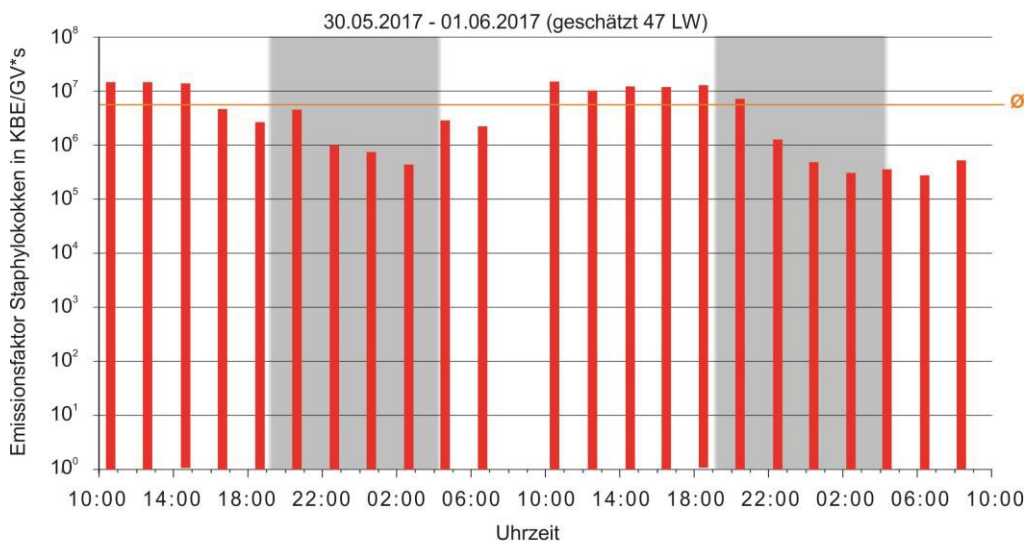
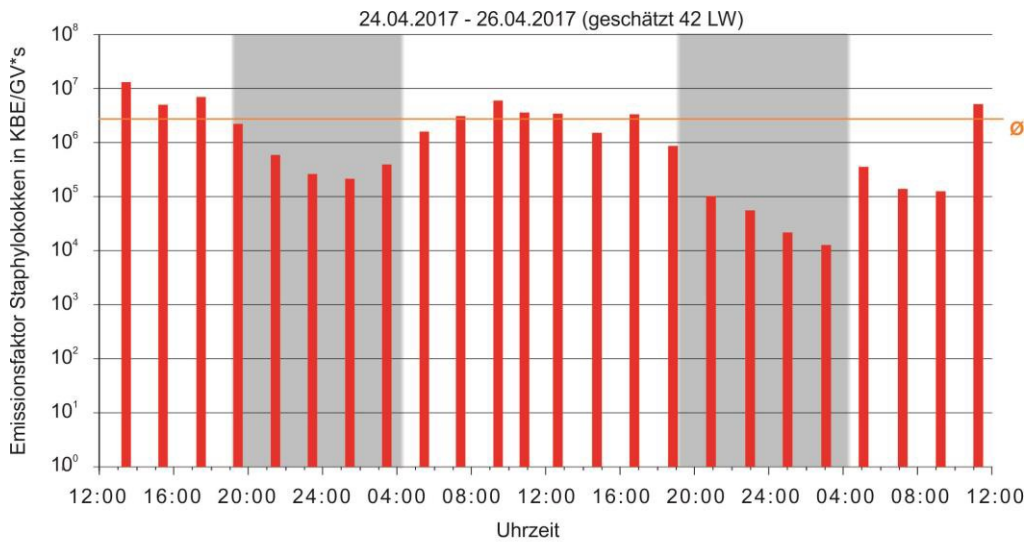


Abbildung 28: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

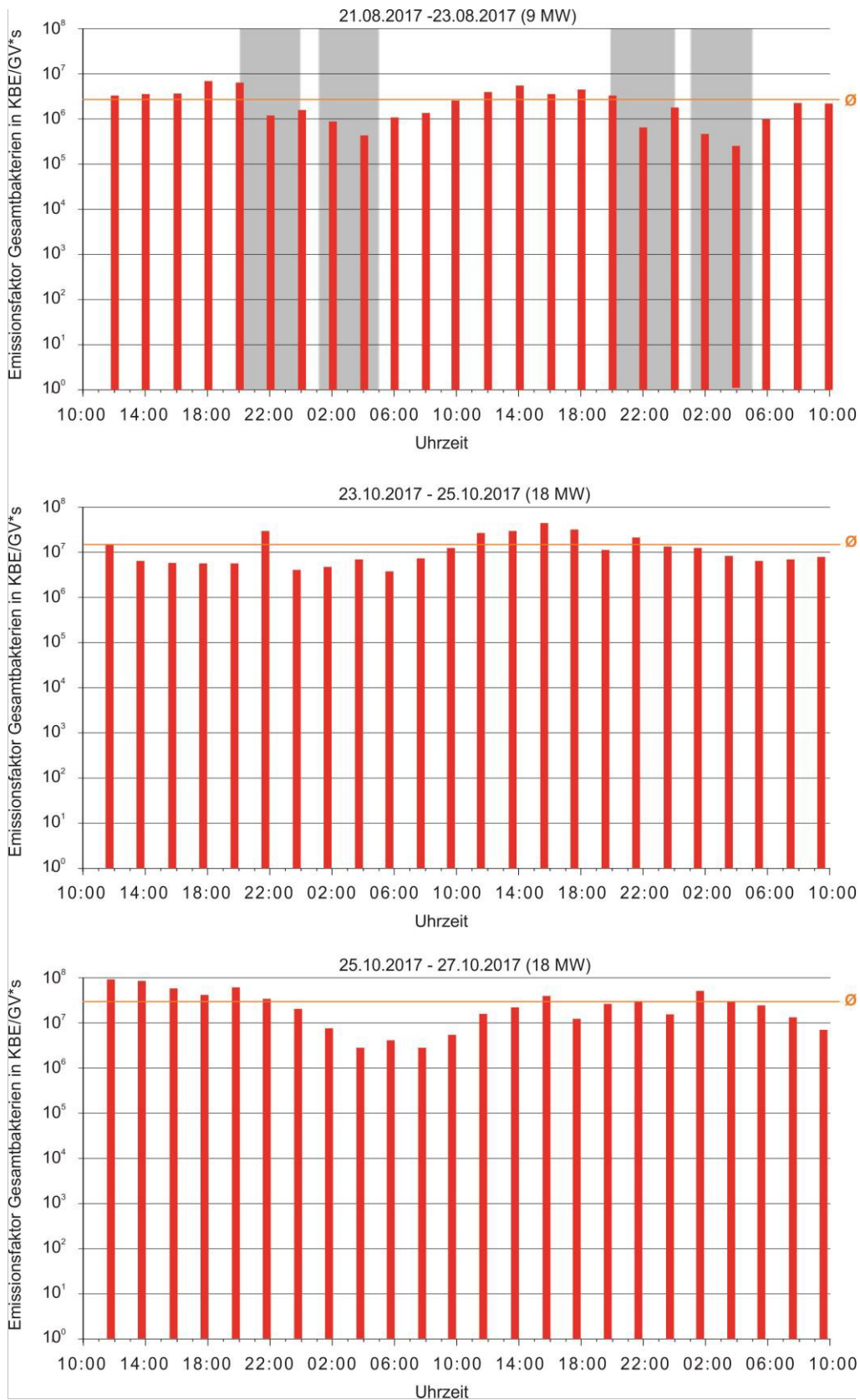


Abbildung 29: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an der MP. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

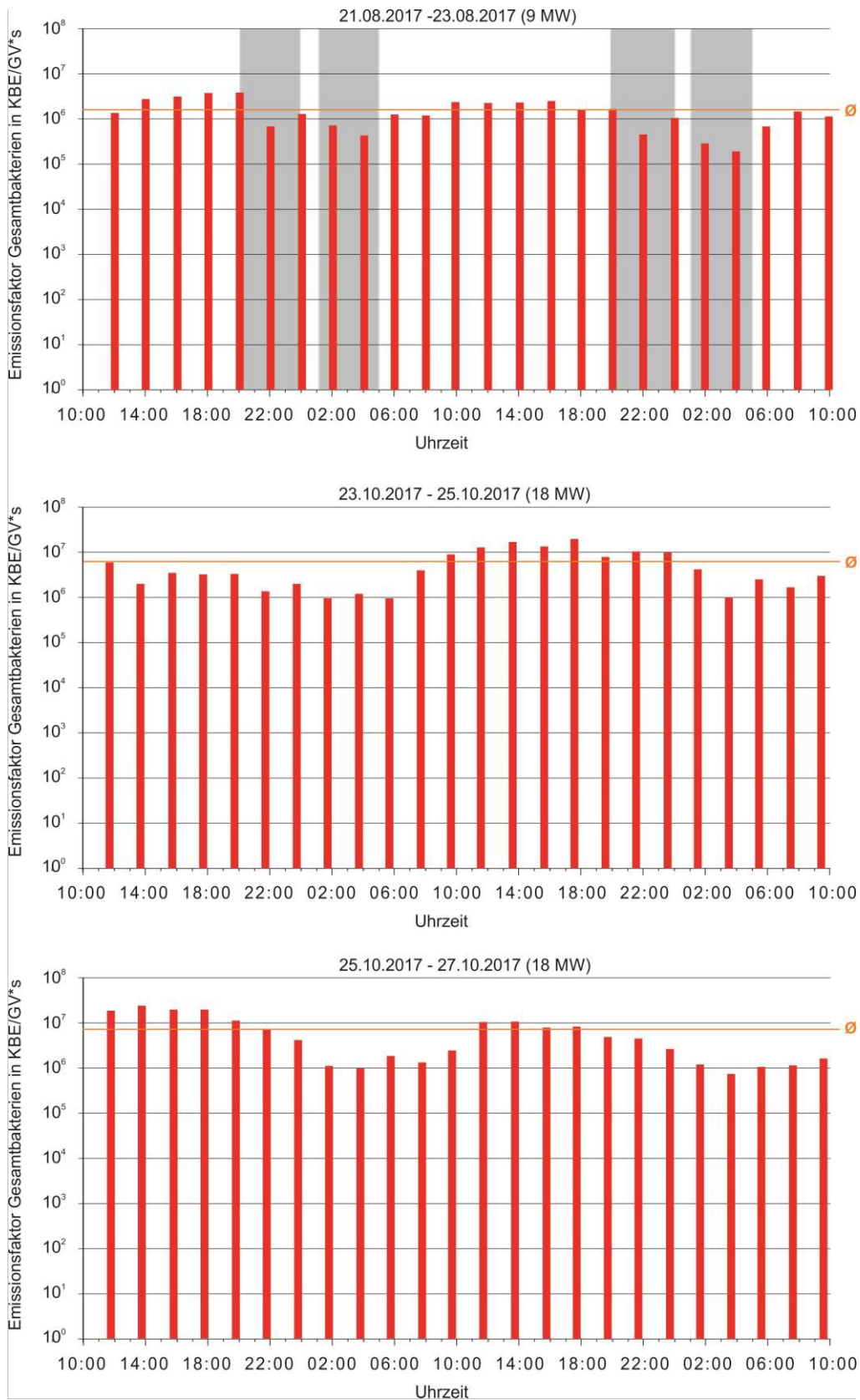


Abbildung 30: Zeitlich aufgelöste Darstellung der Emissionsfaktoren für Staphylokokken an der MP. Dunkelphasen sind grau hinterlegt.

Die Fluktuationen in den tageszeitlichen Verläufen der Bioaerosolemissionen sind deutlich erkennbar. Wegen der beobachteten jahreszeitlichen und managementbedingten Unterschiede in den Verläufen, sowie dem mutmaßlichen Einfluss weiterer Faktoren wie z. B. dem natürlichen Biorhythmus der Tiere, können auf Grundlage der vorliegenden Datenbasis nur erste Hinweise gegeben werden. Primär stellt sich die Frage, ob die in der VDI-Richtlinie 4255 Blatt 3 genannten Konventionenwerte für Emissionsfaktoren als Jahresmittelwert repräsentativ sind. Die Messungen zu deren Ermittlung fanden ausschließlich tagsüber zwischen 06:00 Uhr und 18:00 Uhr statt. Daher bleibt zu klären, ob eine Differenz im Zeitraum zwischen 18:00 Uhr bis 06:00 Uhr erkennbar ist. In Tabelle 19 sind die maximalen, minimalen und mittleren Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien für verschiedene Zeiträume innerhalb der 48 h-Messzyklen an den drei untersuchten Geflügelhaltungen dargestellt. Dabei differieren die ermittelten Emissionsfaktoren bis maximal um den Faktor 138, d. h., dass die Emissionsfaktoren nachts bis zu 138-mal niedriger sein können als am Tag. Vergleicht man den Zeitraum von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr mit 18:00 Uhr bis 06:00 Uhr, ergibt sich ein mittlerer Faktor von 3. Nachts sind also die mittleren Emissionsfaktoren von Gesamtbakterien um den Faktor 3 niedriger. Dasselbe ist in Tabelle 20 für den stallspezifischen Leitparameter Staphylokokken dargestellt. Hier wurde gefunden, dass die Staphylokokken-Emissionen nachts bis zu über 1000-fach geringer sein können, als am Tag. Im Mittel betragen jedoch die Emissionen nachts zwischen 18:00 Uhr und 06:00 Uhr nur ein Viertel der Emissionen als die, die tagsüber ermittelten wurden.

Tabelle 19: Maximale, minimale und mittlere Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien für verschiedene Zeiten innerhalb der 48 h-Messzyklen an den drei untersuchten Geflügelhaltungen.

Stall	Datum	Emissionsfaktor in KBE/GV*s			Emissionsfaktor in KBE/GV*s			
		Ø	Min	Max	Faktor Max/Min	Mittelwert 06:00 – 18:00 Uhr	Mittelwert 18:00 – 06:00 Uhr	Faktor Max/Min
LH1	21.02.2017 – 23.02.2017	$2,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^4$	$1,7 \times 10^6$	138	$3,5 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	7
	19.06.2017 – 21.06.2017	$1,5 \times 10^6$	$8,1 \times 10^5$	$4,4 \times 10^6$	5	$1,9 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	2
	04.09.2017 – 06.09.2017	$2,3 \times 10^6$	$2,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	51	$3,5 \times 10^6$	$9,7 \times 10^5$	4
LH2	24.04.2017 – 26.04.2017	$4,7 \times 10^6$	$5,0 \times 10^5$	$2,6 \times 10^7$	51	$7,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	4
	30.05.2017 – 01.06.2017	$3,1 \times 10^6$	$1,8 \times 10^5$	$6,6 \times 10^6$	36	$4,0 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	2
	11.10.2017 – 13.10.2017	$1,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^5$	$7,4 \times 10^6$	38	$2,3 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	2
MP	21.08.2017 – 23.08.2017	$2,7 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$	$7,2 \times 10^6$	31	$3,8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	2
	23.10.2017 – 25.10.2017	$1,4 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$	$4,7 \times 10^7$	12	$1,7 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	2
	25.10.2017 – 27.10.2017	$2,9 \times 10^7$	$2,6 \times 10^6$	$8,9 \times 10^7$	34	$3,3 \times 10^7$	$2,6 \times 10^7$	1
Mittlerer Faktor				44	Mittlerer Faktor			3

Tabelle 20: Maximale, minimale und mittlere Emissionsfaktoren für Staphylokokken für verschiedene Zeiten innerhalb der 48 h-Messzyklen an den drei untersuchten Geflügelhaltungen.

Stall	Datum	Emissionsfaktor in KBE/GV*s			Faktor	Emissionsfaktor in KBE/GV*s		
		Ø	Min	Max		Mittelwert 06:00 – 18:00 Uhr	Mittelwert 18:00 – 06:00 Uhr	Faktor
LH1	21.02.2017 – 23.02.2017	$1,9 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$	$1,2 \times 10^6$	52	$3,3 \times 10^5$	$4,8 \times 10^4$	7
	19.06.2017 – 21.06.2017	$1,2 \times 10^6$	$3,0 \times 10^5$	$3,7 \times 10^6$	12	$1,7 \times 10^6$	$8,0 \times 10^5$	2
	04.09.2017 – 06.09.2017	$2,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	88	$3,7 \times 10^6$	$8,8 \times 10^5$	4
LH2	24.04.2017 – 26.04.2017	$2,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^4$	$1,4 \times 10^7$	1092	$4,4 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$	8
	30.05.2017 – 01.06.2017	$5,8 \times 10^6$	$2,7 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$	56	$9,1 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	3
	11.10.2017 – 13.10.2017	$2,2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^5$	$8,0 \times 10^6$	38	$3,3 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	3
MP	21.08.2017 – 23.08.2017	$1,6 \times 10^6$	$1,8 \times 10^5$	$3,9 \times 10^6$	21	$2,0 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	2
	23.10.2017 – 25.10.2017	$6,3 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$	$2,1 \times 10^7$	21	$8,4 \times 10^6$	$4,1 \times 10^6$	2
	25.10.2017 – 27.10.2017	$6,9 \times 10^6$	$7,4 \times 10^5$	$2,3 \times 10^7$	32	$1,1 \times 10^7$	$3,3 \times 10^6$	3
Mittlerer Faktor					157	Mittlerer Faktor		4

7 Vorschläge für die Nutzung der Erkenntnisse bei der Ausbreitungsrechnung

Mit der vorliegenden Untersuchung stehen erstmals valide und unmittelbar gemessene Daten zur Partikelgrößenverteilung von luftgetragenen Bakterien und Staphylokokken, sowie zu den tageszeitlichen Verläufen der Emissionen dieser Mikroorganismen aus Legehennen- und Mastputenhaltungen zur Verfügung. Des Weiteren sind in 2017 am Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen Messungen zur Größenverteilung von Bioaerosolen an Hähnchenmastställen durchgeführt worden, sowie bereits im Jahr 2016 durch das Thünen-Institut für Agrartechnologie an Schweinemastställen.

In vielen Bundesländern wird der „Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz“ (Stand vom 31.01.14) bei Genehmigungsverfahren von geplanten Stallbauten angewendet. In Kapitel 3 des Leitfadens ist das Vorgehen beschrieben, ob eine Sonderfallprüfung durchzuführen ist. Dabei wird eine Abschätzung der Gesamtbelastung mit Bioaerosolen (Summe aus Vor- und Zusatzbelastung) über nach VDI 4251 Blatt 3 durchzuführende Ausbreitungsrechnung für anlagenbezogene Leitparameter (hier Staphylokokken) gefordert. In Kapitel 4.1.3 steht dazu:

„...Ist weder die Verteilung auf die Korngrößenklassen noch ein mittlerer aerodynamischer Durchmesser bekannt, sind die Bioaerosole wie Staub der Korngrößenklasse 1 zu behandeln. Dies entspricht einer konservativen Abschätzung der luftseitigen Konzentration, da die Deposition hiermit eher unterschätzt wird... **...Liegen dagegen belastbare Informationen zur Korngröße vor, sollten diese berücksichtigt werden, damit die Konvention nicht zu einer unverhältnismäßig hohen konservativen Abschätzung führt, insbesondere wenn der Messparameter hauptsächlich in den Korngrößenklassen 3 oder 4 vorliegen sollte.**“

Da dies nun der Fall ist, wird empfohlen folgende Korngrößenklassen für die Ausbreitungsberechnung von Staphylokokken zu verwenden (Tabelle 21):

Tabelle 21: Empfohlene Korngrößenklassen für künftige Ausbreitungsrechnungen für Staphylokokken.

	Ermittelte Verteilung der Bioaerosole auf die PM-Fractionen in % (gerundet)			Anteil der Bioaerosole an der Korngrößenklasse nach Anhang 3 TA Luft (2002) in % der Gesamtanzahl (gerundet)		
	PM 2,5	PM10	>PM10	Klasse 1	Klasse 2	Klassen 3 und 4, unbestimmt
Legehennen	15	35	65	15	20	65
Mastputen	10	35	65	10	25	65
Masthähnchen*	15	40	60	15	25	60
Mastschweine**	30	60	40	30	30	40

*Gärtner et al. 2017

** Clauß et al. 2018 (in Vorbereitung)

Soll der Parameter Gesamtbakterien mit berechnet werden, können dieselben Werte genommen werden. Für nicht in der Tabelle genannte Tierarten empfiehlt die Richtlinie VDI 4251 Blatt 3 weiterhin ein konservatives Verfahren bei der Modellierung der Bioaerosolausbreitung und die Berechnung als Partikel der Klasse 1 (PM_{2,5}).

Grundlage für die Ermittlung der Bioaerosolemissionen sind die Emissionsfaktoren der Richtlinien VDI 4255 Bl. 3 (Emissionsfaktoren für Geflügelhaltung) und VDI 4255 Blatt 4 (Emissionsfaktoren für Schweinehaltung). Diese sollen Jahresmittelwerte repräsentieren, basieren aber nur auf tagsüber durchgeführten Messungen. Es wurde hier bereits gezeigt, dass die Emissionen im Tagesverlauf stark schwanken. Für den Leitparameter Staphylokokken wurden in der Nachthälfte im Mittel 4-mal niedrigere Emissionen festgestellt. Der tageszeitliche Verlauf der Bioaerosolemissionen ist scheinbar von vielen Faktoren abhängig, deren Einfluss allein auf Grundlage der vorliegenden Daten noch nicht genau quantifiziert werden konnte. Andererseits steht fest, dass nur tagsüber durchgeführte Messungen zu einer deutlichen Überschätzung der Emissionen führen können. Daher wird empfohlen, die Nachtabsenkung der Emissionen zu berücksichtigen. Am elegantesten kann diese über die Berechnung von Zeitreihen geschehen, bei denen für die Zeit von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr die Konventionenwerte für Emissionsfaktoren aus der VDI-Richtlinie als Grundlage genommen werden können und für die Zeit von 18:00 Uhr bis 06:00 Uhr nur ein Viertel dieser Emissionen angesetzt werden. Dadurch könnten auch die nachts unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen mit berücksichtigt werden. Ansonsten wäre auch ein pragmatisches Vorgehen denkbar, bei dem die Konventionenwerte für Emissionsfaktoren für die Geflügelhaltung aus der VDI 4255 Blatt 3 für die Berechnungen eines Tagesmittelwertes einfach halbiert werden.

In jedem Fall sollten die hier gewonnenen Erkenntnisse und Empfehlungen schnellstmöglich umgesetzt werden, um realitätsnähere Ausbreitungsberechnungen zu gewährleisten. Welchen Einfluss dies auf die Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen haben kann, wurde bereits von Clauß et al. (2016) gezeigt, welche die damals noch fiktiven, heute aber bestätigten, Verhältnisse bei der Partikelgrößenverteilung und den tageszeitlichen Fluktuationen der Bioaerosole berücksichtigten und in den Computermodellen zu deutlich geringeren Immissionskonzentrationen und damit auch zu geringeren Abständen kamen, bei denen die im LAI-Leitfaden genannten „kritischen“ Werte im Umfeld eines simulierten Tierstalls überschritten wurden.

8 Ausblick

Wenn es in naher Zukunft bei der Ausbreitungsrechnung zu der Berücksichtigung der hier neu gewonnen Erkenntnisse zur Partikelgrößenverteilung und den tageszeitlichen Verläufen der Emissionen kommt, werden die tatsächlichen Verhältnisse im Umfeld von Tierhaltungsanlagen viel realistischer dargestellt werden können, als es bisher der Fall war. Es fehlt jedoch nach wie vor ein letzter wichtiger Faktor, der vor allem während der Transmission der Mikroorganismen von der Emissionsquelle bis zur Immission im Umfeld der Anlagen beeinflusst, die sogenannte Tenazität. Diese beschreibt die Überlebensfähigkeit der Mikroorganismen im luftgetragenen Zustand und ist abhängig von sehr vielen Faktoren, wie Temperatur, Feuchte, Strahlung, Partikelgröße, Ozonkonzentration, Spezies und diversen weiteren Faktoren, die auch synergistisch wirken. Da sich einige besonders wichtige Einflussfaktoren im Labor nicht simulieren lassen, ist es bis heute nicht gelungen, die Tenazität von luftgetragenen Bakterien unter realen Außenluftbedingungen zu untersuchen (Springorum & Clauß 2016). Eine Lösung bieten neuartige Bioaerosolkammern, die sich aktuell jedoch noch in der Evaluation befinden. Die ersten Ergebnisse sind jedoch vielversprechend (Clauß et al. 2016).

Neben der Untersuchung der Tenazität wäre aus wissenschaftlicher Sicht auch eine Identifizierung der Einflussfaktoren auf die Bioaerosolfluktuationen im Tagesverlauf interessant. Um das ganze statistisch zu erfassen wären weitere Untersuchungen nötig. Ein am Thünen-Institut für Agrartechnologie entwickelte und für Emissionsmessungen nach VDI-Richtlinien optimierte Version des ABiS kann dies in Zukunft ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen - Endbericht Teil 1 zum Forschungsvorhaben P 2110, (2015)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: Bundeseinheitliche Eckwerte für eine freiwillige Vereinbarung zur Haltung von Jungmasthühnern und Mastputen, (1999)
- BURGE, H. P., BOISE, J. R., RUTHERFORD, J. A., SOLOMON, W. R.: Comparative recoveries of airborne fungus spores by viable and non-viable modes of volumetric collection. *Mycopathologia* 61 (1977), 1, S. 27-33
- CLAUß, M., SPRINGORUM, A. C., HARTUNG, J.: Size and composition of airborne bacteria aggregates collected in animal house air. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, (2011a), 2, S. 797-799
- CLAUß, M., SPRINGORUM, A. C., HARTUNG, J. : Microscopic analysis of size, structure and amount of particulate bioaerosols directly sampled from raw and clean gas of an exhaust air bio-washer in a pig fattening unit. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, (2011b), 2, S. 789-791.
- CLAUß, M.: Particle size distribution of airborne microorganisms in the environment - a review. *Landbauforschung - Applied Agriculture and Forestry Research* 65 (2015a), 2, S. 77-100
- CLAUß, M., GEBUREK, F., HEBBINGHAUS, H.: Was wäre wenn...? Immissionsprognose für Bioaerosole fernab der derzeitigen Konvention. 12. Informationsveranstaltung „Umweltverträgliche Landwirtschaft“, 12. – 13. Mai 2016, Schönefeld, Berlin (2016)
- CLAUß, M., HUF, A., SPRINGORUM, A. C.: An unconventional bioaerosol chamber for tenacity studies of airborne microorganisms under almost ambient air conditions. Book of Abstracts, Bioaerosol Chamber Expert Meeting, April 14 - 15, 2016, Vienna/Austria, 4.
- CLAUß, M., SPRINGORUM, A.: Bioaerosol measurements with an automated sampler – Experiences and results. 9th International Symposium on Modern Principles of Air Monitoring and Biomonitoring (AIRMON 2017) in Dresden, Germany (2017)
- DE HOOG, G. S., CUARRO, G. J., GENE, J., FIGUERAS, M. J.: Atlas of clinical fungi. 2nd Edition (2000), ASM Press
- DIN EN 12341: Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2.5} mass concentration of suspended particulate matter. Beuth Verlag (1999), Berlin
- DIN EN 13098:2001-02: Arbeitsplatzatmosphäre; Leitlinien für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxinen in der Luft, Deutsche Fassung EN 13098:2000 (Workplace atmospheres; Guidelines for measurement of airborne microorganisms and endotoxin; German version EN 13098: 2000). Beuth Verlag (2000), Berlin
- GÄRTNER, A., GESSNER, A., GEIGER, J., GLADTKE, D., HEBBINGHAUS, H., KNUST, S., WURZLER, S.: Bioaerosole bei der Hähnchenmast: Emissionen, Immissionen, Ausbreitungsrechnung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 77 (2017a), 10, S. 443-450
- GÄRTNER, A., GESSNER, A., GEUEKE, K.-J., KNUST, S.: Emissionen aus Hähnchenmastanlagen. Untersuchung des Bioaerosolanteils in den Partikelfractionen PM_{2,5} und PM₁₀. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 77 (2017b), 6, S. 249-256
- GREGORY, P. H.: The microbiology of the atmosphere, 2nd Edition (1973), Leonard Hill Books, Plymouth, S. 21.
- HESSE, W.: Ueber Abscheidung der Mikroorganismen aus der Luft. *Deutsche Medizinische Wochenschrift* (1884), 2, S. 17-20
- HESSE, W.: Bemerkungen zur quantitativen Bestimmung der Mikroorganismen in der Luft. *Zeitschrift für Hygiene* 4 (1888), 1, S. 19-21
- HINDS, W. C.: Aerosol technology. 2nd Edition (1999), John Wiley and Sons, Inc., New York.
- KO, G., SIMMONS, O. D., LIKIRDOPULOS, C. A., WORLEY-DAVIS, L., WILLIAMS, C. M., SOBSEY, M. D.: Endotoxin levels at Swine farms using different waste treatment and management technologies. *Environmental Science and Technology* 44 (2010), 9, S. 3442-3448
- LAI, BUND/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ (LAI): Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen (2014)

- LIPPMANN, J., MIETKE-HOFMANN, H., DEICHMANN, J., HEIDENREICH, T.: Bestimmung und Beurteilung wichtiger Bestandteile des Bioaerosols in der Stall- und Abluft sowie im Stallumfeld (Luv/Lee) zur Bereitstellung von Kenndaten und Bewertung des Emissions- und Immissionsverhaltens mikrobieller Luftbestandteile aus Tierställen (Geflügel). LfULG Schriftenreihe, Heft 13/2016.
- MILLNER, P. D.: Bioaerosols associated with animal production operations. *Bioresource Technology* 100 (2009), S. 5379-5385
- MÜLLER, W., WIESNER, P., KÜHME, H.: Zur Frage der Ausbreitung von Luftkeimen aus Tierställen. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe B*, 25 (1978), S. 216-224
- OGINK, N. W. M., ERBRINK, J. J., HEEDERIK, D. J. J., WINKEL, A., WOUTERS, I. M.: Emissions of endotoxins from animal production: emission measurements and dispersion modelling. *Livestock Research Rapport 959* (2016), Wageningen, NL. (in Niederländisch)
- SCHULZ, J.: Zur Charakterisierung der Ausbreitungsentfernung von Bioaerosolen aus Masthühnerställen. Dissertation (2007), Universität Bielefeld.
- SCHULZ, J., FORMOSA, L., SEEDORF, J., HARTUNG, J.: Measurement of culturable airborne staphylococci downwind from a naturally ventilated broiler house. *Aerobiologia* 27 (2011), S. 311-318
- SPRINGORUM, A. C., CLAUß, M., RIEGER, M. A., HINZ, T., HARTUNG, J.: Mikrobielle Belastung der Luft in verschiedenen alternativen Haltungsformen für Legehennen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 75 (2015), 9, S. 331-335
- SPRINGORUM, A. C., CLAUß, M.: Das Überleben von Bakterien im luftgetragenen Zustand – Ein Literaturüberblick zur Tenazität. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 76 (2016), 9, S. 351-358
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Land und Forstwirtschaft, Fischerei - Zahlen und Fakten, Gewerbliche Schlachtungen (2016), (<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/TiereundtierischeErzeugung/Tabellen/GewerbSchlachtJahr.html>)
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Land und Forstwirtschaft, Fischerei - Viehhaltung der Betriebe, Agrarstrukturerhebung, Fachserie 3 Reihe 2.1.3 (2017a) (<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaftViehbestandTierischeErzeugung/Viehhaltung.html>)
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Land und Forstwirtschaft, Fischerei - Zahlen und Fakten, Tiere und tierische Erzeugung (2017b) (<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/TiereundtierischeErzeugung/TiereundtierischeErzeugung.html>)
- TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG (TIERSCHNUTZTV): Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung. In der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), geändert durch Artikel 3 Absatz 2 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2147) (2001)
- THORNE, P. S.: Environmental health impacts of concentrated animal feeding operations: anticipating hazards searching for solutions. *Environ. Health Perspect.* 115 (2007), 2, S. 296–297
- THU, K. M.: Public health concerns for neighbors of large-scale swine production operations. *Journal of Agricultural Safety and Health* 8 (2002), 2, S. 175–184
- US EPA: Integrated science assessment for particulate matter. U.S. Environmental Protection Agency. LXXVI (2009)
- VAN LEUKEN, J. P. G., SWARTA, A. N., HAVELAARA, A. H., VANPULD, A., VAN DER HOEK, W., HEEDERIK, D.: Atmospheric dispersion modelling of bioaerosols that are pathogenic to humans and livestock – A review to inform risk assessment studies. *Microbial Risk Analysis* 1 (2016), S. 19–39
- VDI 2066 BLATT 10: Messen von Partikeln - Staubmessung in strömenden Gasen - Messung der Emissionen von PM₁₀ und PM_{2,5} an geführten Quellen nach dem Impaktionsverfahren. Beuth Verlag (2004), Berlin
- VDI 2463 BLATT 1: Gravimetric determination of the mass concentration of suspended particulate matter in ambient air – general principles. Beuth Verlag (1999), Berlin
- VDI 4250 BLATT 3: Bioaerosole und biologische Agenzien - Anlagenbezogene umweltmedizinisch relevante Messparameter und grundlegende Beurteilungswerte. Beuth Verlag (2015), Berlin
- VDI 4250 BLATT 1: Bioaerosole und biologische Agenzien - Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen - Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen. Beuth Verlag (2014), Berlin

- VDI 4253 BLATT 3 (Entwurf): Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft - Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten. Beuth Verlag (2017), Berlin
- VDI 4255 BLATT 3: Bioaerosole und biologische Agenzien - Emissionsfaktoren für Geflügelhaltung. Beuth Verlag (2016) Berlin.
- VDI 4255 BLATT 4: Bioaerosole und biologische Agenzien - Emissionsfaktoren für Schweinehaltung. Beuth Verlag (2017), Berlin
- VDI 4257 BLATT 2: Bioaerosole und biologische Agenzien - Messen von Emissionen - Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten. Beuth Verlag (2011), Berlin
- VDI 4257 BLATT 1: Bioaerosole und biologische Agenzien - Messen von Emissionen - Planung und Durchführung von Emissionsmessungen. Beuth Verlag (2013), Berlin
- SCIENTIFIC VETERINARY COMMITTEE: Report, Animal Welfare Section on the Welfare of Laying Hens, Commission of the European Communities (1996)
- WATHES, C. M., HOLDEN, M. R., SNEATH, R. W., WHITE, R. P., PHILLIPS, V. R.: Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British Poultry Science* 38 (1997), S. 14–28
- Winkle, S., Rohde, R., Adam, W., Aleksic, S., Fischer, K., Koch, I., Lennartz, H., Wehrspann, P., Wilcke, R., Winkle, I., Wokatsch, R.: *Mikrobiologische und serologische Diagnostik mit Berücksichtigung der Pathogenese und Epidemiologie*. Gustav Fischer Verlag (1997), Stuttgart, New York
- ZHANG, Z., CHEN, Q.: Comparison of the Eulerian and Lagrangian Methods for Predicting Particle Transport in Enclosed Spaces. *Atmospheric Environment* 41 (2007), S. 5236-5248

Anhang

Tabelle 22: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH1 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.

Datum/Zeit	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert (Konz. x Korr.-F 4,4)	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV (TP x 0,0034)	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
						KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.02.2017 – 23.02.2017								
13:50	2,3 × 10 ³	1,0 × 10 ³	46025	19500	66	1,3 × 10 ¹	6,7 × 10 ²	2,0 × 10 ³
15:50	2,5 × 10 ³	1,1 × 10 ³	46025	19500	66	1,4 × 10 ¹	7,2 × 10 ²	2,1 × 10 ³
17:50	8,8 × 10 ⁴	3,9 × 10 ³	37280	19500	66	4,0 × 10 ²	2,1 × 10 ²	6,0 × 10 ⁴
19:50	1,8 × 10 ³	7,9 × 10 ³	27615	19500	66	6,1 × 10 ³	3,1 × 10 ²	9,1 × 10 ⁴
21:50	1,3 × 10 ³	5,7 × 10 ³	27615	19500	66	4,4 × 10 ³	2,2 × 10 ²	6,6 × 10 ⁴
23:50	6,9 × 10 ⁴	3,0 × 10 ³	29149	19500	66	2,5 × 10 ³	1,3 × 10 ²	3,7 × 10 ⁴
01:50	9,8 × 10 ⁴	4,3 × 10 ³	34365	19500	66	4,1 × 10 ³	2,1 × 10 ²	6,2 × 10 ⁴
03:50	5,7 × 10 ⁴	2,5 × 10 ³	46025	19500	66	3,2 × 10 ³	1,6 × 10 ²	4,8 × 10 ⁴
05:50	1,5 × 10 ³	6,5 × 10 ³	42803	19500	66	7,7 × 10 ³	3,9 × 10 ²	1,2 × 10 ³
07:50	1,1 × 10 ³	5,0 × 10 ³	45565	19500	66	6,3 × 10 ³	3,2 × 10 ²	9,5 × 10 ⁴
09:50	1,8 × 10 ³	7,8 × 10 ³	46025	19500	66	1,0 × 10 ¹	5,1 × 10 ²	1,5 × 10 ³
11:50	8,9 × 10 ³	3,9 × 10 ³	45565	19500	66	5,0 × 10 ¹	2,5 × 10 ²	7,5 × 10 ³
12:26	5,0 × 10 ³	2,2 × 10 ³	46025	19500	66	2,8 × 10 ¹	1,4 × 10 ²	4,2 × 10 ³
14:26	3,0 × 10 ³	1,3 × 10 ³	46025	19500	66	1,7 × 10 ¹	8,7 × 10 ²	2,6 × 10 ³
16:26	1,8 × 10 ³	8,1 × 10 ³	42573	19500	66	9,6 × 10 ³	4,9 × 10 ²	1,4 × 10 ³
18:26	9,2 × 10 ⁴	4,0 × 10 ³	32218	19500	66	3,6 × 10 ³	1,9 × 10 ²	5,4 × 10 ⁴
20:26	5,3 × 10 ⁴	2,4 × 10 ³	32218	19500	66	2,1 × 10 ³	1,1 × 10 ²	3,2 × 10 ⁴
22:26	3,3 × 10 ⁴	1,4 × 10 ³	31681	19500	66	1,3 × 10 ³	6,5 × 10 ¹	1,9 × 10 ⁴
00:26	2,0 × 10 ⁴	8,9 × 10 ⁴	32218	19500	66	8,0 × 10 ³	4,1 × 10 ¹	1,2 × 10 ⁴
02:26	6,0 × 10 ⁴	2,6 × 10 ³	31604	19500	66	2,3 × 10 ³	1,2 × 10 ²	3,5 × 10 ⁴
04:26	9,2 × 10 ⁴	4,0 × 10 ³	36820	19500	66	4,1 × 10 ³	2,1 × 10 ²	6,2 × 10 ⁴
06:26	9,1 × 10 ⁴	4,0 × 10 ³	36820	19500	66	4,1 × 10 ³	2,1 × 10 ²	6,2 × 10 ⁴
08:26	2,7 × 10 ³	1,2 × 10 ³	32218	19500	66	1,1 × 10 ¹	5,5 × 10 ²	1,6 × 10 ³
10:26	2,5 × 10 ³	1,1 × 10 ¹	36820	19500	66	1,1 × 10 ³	5,7 × 10 ²	1,7 × 10 ³
19.06.2017 – 21.06.2017								

12:44	$8,4 \times 10^3$	$3,7 \times 10^5$	128870	19500	66	$1,3 \times 10^8$	$6,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^5$
14:25	$5,2 \times 10^3$	$2,3 \times 10^5$	128870	19500	66	$8,3 \times 10^7$	$4,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
16:25	$4,5 \times 10^3$	$2,0 \times 10^5$	128870	19500	66	$7,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
18:25	$3,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^5$	128870	19500	66	$5,4 \times 10^7$	$2,8 \times 10^6$	$8,1 \times 10^4$
20:25	$5,9 \times 10^3$	$2,6 \times 10^5$	128870	19500	66	$9,2 \times 10^7$	$4,7 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$
22:25	$5,5 \times 10^3$	$2,4 \times 10^5$	97266	19500	66	$6,6 \times 10^7$	$3,4 \times 10^6$	$9,9 \times 10^4$
00:25	$9,1 \times 10^3$	$4,0 \times 10^5$	73640	19500	66	$8,2 \times 10^7$	$4,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
02:25	$1,1 \times 10^4$	$4,6 \times 10^5$	73640	19500	66	$9,5 \times 10^7$	$4,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$
04:25	$1,1 \times 10^4$	$4,7 \times 10^5$	73640	19500	66	$9,6 \times 10^7$	$4,9 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$
06:25	$1,4 \times 10^4$	$6,0 \times 10^5$	92050	19500	66	$1,5 \times 10^8$	$7,9 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$
08:25	$1,5 \times 10^4$	$6,5 \times 10^5$	102176	19500	66	$1,8 \times 10^8$	$9,4 \times 10^6$	$2,8 \times 10^5$
10:25	$2,1 \times 10^4$	$9,4 \times 10^5$	110460	19500	66	$2,9 \times 10^8$	$1,5 \times 10^7$	$4,4 \times 10^5$
11:24	$2,0 \times 10^4$	$8,9 \times 10^5$	46025	19500	66	$1,1 \times 10^8$	$5,9 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$
13:24	$2,1 \times 10^4$	$9,1 \times 10^5$	46025	19500	66	$1,2 \times 10^8$	$6,0 \times 10^6$	$1,8 \times 10^5$
15:24	$2,5 \times 10^4$	$1,1 \times 10^6$	42573	19500	66	$1,3 \times 10^8$	$6,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$
17:24	$2,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^6$	32218	19500	66	$9,0 \times 10^7$	$4,6 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$
19:24	$1,9 \times 10^4$	$8,4 \times 10^5$	32218	19500	66	$7,5 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
21:24	$2,1 \times 10^4$	$9,4 \times 10^5$	31681	19500	66	$8,2 \times 10^7$	$4,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
23:24	$1,8 \times 10^4$	$8,1 \times 10^5$	32218	19500	66	$7,3 \times 10^7$	$3,7 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
01:24	$2,0 \times 10^4$	$8,9 \times 10^5$	31604	19500	66	$7,8 \times 10^7$	$4,0 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
03:24	$1,8 \times 10^4$	$7,7 \times 10^5$	36820	19500	66	$7,9 \times 10^7$	$4,1 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
05:24	$2,0 \times 10^4$	$8,9 \times 10^5$	36820	19500	66	$9,1 \times 10^7$	$4,7 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$
07:24	$1,9 \times 10^4$	$8,3 \times 10^5$	32218	19500	66	$7,4 \times 10^7$	$3,8 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
09:24	$1,5 \times 10^4$	$6,5 \times 10^5$	36820	19500	66	$6,7 \times 10^7$	$3,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$
U4.09.2017 / – 04.09.2017								
11:33	$7,6 \times 10^3$	$3,3 \times 10^6$	77629	19500	66	$7,2 \times 10^8$	$3,7 \times 10^7$	$1,1 \times 10^6$
13:31	$2,2 \times 10^4$	$9,8 \times 10^5$	92050	19500	66	$2,5 \times 10^8$	$1,3 \times 10^7$	$3,8 \times 10^5$
15:30	$2,4 \times 10^4$	$1,1 \times 10^6$	92050	19500	66	$2,7 \times 10^8$	$1,4 \times 10^7$	$4,1 \times 10^5$
17:29	$1,4 \times 10^4$	$6,1 \times 10^5$	92050	19500	66	$1,6 \times 10^8$	$8,0 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$
19:28	$4,7 \times 10^3$	$2,1 \times 10^5$	73640	19500	66	$4,2 \times 10^7$	$2,2 \times 10^6$	$6,4 \times 10^4$
21:26	$4,2 \times 10^3$	$1,8 \times 10^5$	50628	19500	66	$2,6 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	$3,9 \times 10^4$
23:25	$4,5 \times 10^3$	$2,0 \times 10^5$	46025	19500	66	$2,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	$3,8 \times 10^4$
01:24	$2,7 \times 10^3$	$1,2 \times 10^5$	43417	19500	66	$1,4 \times 10^7$	$7,2 \times 10^5$	$2,1 \times 10^4$

03:23	$3,0 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	46025	19500	66	$1,7 \times 10^7$	$8,7 \times 10^2$	$2,6 \times 10^3$
05:21	$4,2 \times 10^3$	$1,9 \times 10^3$	46025	19500	66	$2,4 \times 10^7$	$1,2 \times 10^2$	$3,6 \times 10^3$
07:20	$4,2 \times 10^3$	$1,9 \times 10^3$	46025	19500	66	$2,4 \times 10^7$	$1,2 \times 10^2$	$3,6 \times 10^3$
09:19	$1,7 \times 10^3$	$7,4 \times 10^2$	65356	19500	66	$1,3 \times 10^8$	$6,9 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$
11:30	$3,3 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	80697	19500	66	$3,3 \times 10^8$	$1,7 \times 10^4$	$4,9 \times 10^3$
13:28	$1,4 \times 10^3$	$6,1 \times 10^2$	102789	19500	66	$1,7 \times 10^8$	$8,9 \times 10^2$	$2,6 \times 10^3$
15:27	$1,4 \times 10^3$	$6,3 \times 10^2$	100948	19500	66	$1,8 \times 10^8$	$9,1 \times 10^2$	$2,7 \times 10^3$
17:26	$1,4 \times 10^3$	$6,1 \times 10^2$	96959	19500	66	$1,6 \times 10^8$	$8,5 \times 10^2$	$2,5 \times 10^3$
19:25	$4,9 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$	92050	19500	66	$5,5 \times 10^7$	$2,8 \times 10^2$	$8,3 \times 10^3$
21:23	$4,0 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	92050	19500	66	$4,6 \times 10^7$	$2,3 \times 10^2$	$6,9 \times 10^3$
23:22	$3,0 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	73640	19500	66	$2,7 \times 10^7$	$1,4 \times 10^2$	$4,1 \times 10^3$
01:21	$5,2 \times 10^3$	$2,3 \times 10^3$	87448	19500	66	$5,6 \times 10^7$	$2,9 \times 10^2$	$8,5 \times 10^3$
03:20	$1,9 \times 10^3$	$8,4 \times 10^2$	73640	19500	66	$1,7 \times 10^8$	$8,8 \times 10^2$	$2,6 \times 10^3$
05:18	$3,0 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	73640	19500	66	$2,7 \times 10^8$	$1,4 \times 10^4$	$4,1 \times 10^3$
07:17	$1,8 \times 10^3$	$8,0 \times 10^2$	73640	19500	66	$1,6 \times 10^8$	$8,3 \times 10^2$	$2,5 \times 10^3$
09:16	$2,4 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	87448	19500	66	$2,5 \times 10^8$	$1,3 \times 10^4$	$3,8 \times 10^3$
Arithm. Mittel (±Staby)	$1,1 \times 10^3$ ($\pm 1,2 \times 10^3$)	$4,8 \times 10^2$ ($\pm 5,2 \times 10^2$)	61411 (±30245)			$8,8 \times 10^7$ ($\pm 1,1 \times 10^8$)	$4,5 \times 10^2$ ($\pm 5,6 \times 10^2$)	$1,3 \times 10^3$ ($\pm 1,7 \times 10^3$)

Tabelle 23: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH1 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.

	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
Datum/Zeit	(Konz. × Korr.-F 4,2)				(TP × 0,0034)	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.02.2017 – 23.02.2017								
13:50	1,1 × 10 ⁵	1,1 × 10 ⁵	46025	19500	66	1,5 × 10 ¹	7,5 × 10 ²	2,2 × 10 ³
15:50	1,2 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁵	46025	19500	66	1,6 × 10 ¹	8,1 × 10 ²	2,4 × 10 ³
17:50	3,1 × 10 ⁵	3,1 × 10 ⁵	37280	19500	66	3,2 × 10 ¹	1,6 × 10 ²	4,8 × 10 ⁴
19:50	8,6 × 10 ⁵	8,6 × 10 ⁵	27615	19500	66	6,6 × 10 ¹	3,4 × 10 ²	1,0 × 10 ³
21:50	6,6 × 10 ⁵	6,6 × 10 ⁵	27615	19500	66	5,1 × 10 ¹	2,6 × 10 ²	7,7 × 10 ⁴
23:50	2,8 × 10 ⁵	2,8 × 10 ⁵	29149	19500	66	2,3 × 10 ¹	1,2 × 10 ²	3,4 × 10 ⁴
01:50	3,6 × 10 ⁵	3,6 × 10 ⁵	34365	19500	66	3,4 × 10 ¹	1,8 × 10 ²	5,2 × 10 ⁴
03:50	1,9 × 10 ⁵	1,9 × 10 ⁵	46025	19500	66	2,4 × 10 ¹	1,2 × 10 ²	3,6 × 10 ⁴
05:50	4,9 × 10 ⁵	4,9 × 10 ⁵	42803	19500	66	5,8 × 10 ¹	3,0 × 10 ²	8,7 × 10 ⁴
07:50	5,2 × 10 ⁵	5,2 × 10 ⁵	45565	19500	66	6,6 × 10 ¹	3,4 × 10 ²	1,0 × 10 ³
09:50	5,8 × 10 ⁵	5,8 × 10 ⁵	46025	19500	66	7,4 × 10 ¹	3,8 × 10 ²	1,1 × 10 ³
11:50	5,2 × 10 ⁵	5,2 × 10 ⁵	45565	19500	66	6,6 × 10 ¹	3,4 × 10 ²	9,9 × 10 ³
12:26	2,3 × 10 ⁵	2,3 × 10 ⁵	46025	19500	66	2,9 × 10 ¹	1,5 × 10 ²	4,4 × 10 ³
14:26	8,5 × 10 ⁵	8,5 × 10 ⁵	46025	19500	66	1,1 × 10 ¹	5,6 × 10 ²	1,6 × 10 ³
16:26	9,5 × 10 ⁵	9,5 × 10 ⁵	42573	19500	66	1,1 × 10 ¹	5,7 × 10 ²	1,7 × 10 ³
18:26	4,3 × 10 ⁵	4,3 × 10 ⁵	32218	19500	66	3,8 × 10 ¹	2,0 × 10 ²	5,8 × 10 ⁴
20:26	2,2 × 10 ⁵	2,2 × 10 ⁵	32218	19500	66	1,9 × 10 ¹	1,0 × 10 ²	2,9 × 10 ⁴
22:26	1,8 × 10 ⁵	1,8 × 10 ⁵	31681	19500	66	1,6 × 10 ¹	8,1 × 10 ¹	2,4 × 10 ⁴
00:26	1,8 × 10 ⁵	1,8 × 10 ⁵	32218	19500	66	1,6 × 10 ¹	8,4 × 10 ¹	2,5 × 10 ⁴
02:26	2,2 × 10 ⁵	2,2 × 10 ⁵	31604	19500	66	2,0 × 10 ¹	1,0 × 10 ²	3,0 × 10 ⁴
04:26	3,8 × 10 ⁵	3,8 × 10 ⁵	36820	19500	66	3,8 × 10 ¹	2,0 × 10 ²	5,8 × 10 ⁴
06:26	3,7 × 10 ⁵	3,7 × 10 ⁵	36820	19500	66	3,8 × 10 ¹	1,9 × 10 ²	5,7 × 10 ⁴
08:26	8,8 × 10 ⁵	8,8 × 10 ⁵	32218	19500	66	7,9 × 10 ¹	4,0 × 10 ²	1,2 × 10 ³
10:26	8,0 × 10 ⁵	8,0 × 10 ⁵	36820	19500	66	8,2 × 10 ¹	4,2 × 10 ²	1,2 × 10 ³
19.06.2017 – 21.06.2017								
12:44	5,5 × 10 ⁵	5,5 × 10 ⁵	128870	19500	66	2,0 × 10 ¹	1,0 × 10 ²	3,0 × 10 ³
14:25	1,6 × 10 ⁵	1,6 × 10 ⁵	128870	19500	66	5,9 × 10 ¹	3,0 × 10 ²	8,9 × 10 ³

16:25	$9,3 \times 10^3$	$9,3 \times 10^3$	128870	19500	66	$3,3 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	$5,0 \times 10^3$
18:25	$9,0 \times 10^3$	$9,0 \times 10^3$	128870	19500	66	$3,2 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^3$
20:25	$1,4 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	128870	19500	66	$4,9 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$	$7,5 \times 10^3$
22:25	$2,3 \times 10^3$	$2,3 \times 10^3$	97266	19500	66	$6,3 \times 10^7$	$3,2 \times 10^6$	$9,4 \times 10^3$
00:25	$2,6 \times 10^3$	$2,6 \times 10^3$	73640	19500	66	$5,4 \times 10^7$	$2,8 \times 10^6$	$8,2 \times 10^3$
02:25	$2,2 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$	73640	19500	66	$4,4 \times 10^7$	$2,3 \times 10^6$	$6,7 \times 10^3$
04:25	$3,5 \times 10^3$	$3,5 \times 10^3$	73640	19500	66	$7,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^4$
06:25	$7,0 \times 10^3$	$7,0 \times 10^3$	92050	19500	66	$1,8 \times 10^8$	$9,1 \times 10^6$	$2,7 \times 10^4$
08:25	$8,5 \times 10^3$	$8,5 \times 10^3$	102176	19500	66	$2,4 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$	$3,7 \times 10^4$
10:25	$7,3 \times 10^3$	$7,3 \times 10^3$	110460	19500	66	$2,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$	$3,4 \times 10^4$
11:24	$1,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	46025	19500	66	$1,5 \times 10^8$	$7,5 \times 10^6$	$2,2 \times 10^4$
13:24	$6,4 \times 10^3$	$6,4 \times 10^3$	46025	19500	66	$8,2 \times 10^7$	$4,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^4$
15:24	$6,4 \times 10^3$	$6,4 \times 10^3$	42573	19500	66	$7,5 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$	$1,1 \times 10^4$
17:24	$7,5 \times 10^3$	$7,5 \times 10^3$	32218	19500	66	$6,7 \times 10^7$	$3,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^4$
19:24	$5,5 \times 10^3$	$5,5 \times 10^3$	32218	19500	66	$4,9 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$	$7,4 \times 10^3$
21:24	$7,1 \times 10^3$	$7,1 \times 10^3$	31681	19500	66	$6,2 \times 10^7$	$3,2 \times 10^6$	$9,4 \times 10^3$
23:24	$3,8 \times 10^3$	$3,8 \times 10^3$	32218	19500	66	$3,4 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	$5,1 \times 10^3$
01:24	$4,8 \times 10^3$	$4,8 \times 10^3$	31604	19500	66	$4,3 \times 10^7$	$2,2 \times 10^6$	$6,4 \times 10^3$
03:24	$5,9 \times 10^3$	$5,9 \times 10^3$	36820	19500	66	$6,0 \times 10^7$	$3,1 \times 10^6$	$9,1 \times 10^3$
05:24	$7,4 \times 10^3$	$7,4 \times 10^3$	36820	19500	66	$7,5 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$	$1,1 \times 10^4$
07:24	$1,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	32218	19500	66	$9,8 \times 10^7$	$5,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^4$
09:24	$9,3 \times 10^3$	$9,3 \times 10^3$	36820	19500	66	$9,5 \times 10^7$	$4,9 \times 10^6$	$1,4 \times 10^4$
04.09.2017 – 04.09.2017								
11:33	$3,6 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	77629	19500	66	$7,7 \times 10^8$	$4,0 \times 10^7$	$1,2 \times 10^7$
13:31	$8,7 \times 10^3$	$8,7 \times 10^3$	92050	19500	66	$2,2 \times 10^8$	$1,1 \times 10^7$	$3,4 \times 10^4$
15:30	$6,1 \times 10^3$	$6,1 \times 10^3$	92050	19500	66	$1,6 \times 10^8$	$8,0 \times 10^6$	$2,4 \times 10^4$
17:29	$5,6 \times 10^3$	$5,6 \times 10^3$	92050	19500	66	$1,4 \times 10^8$	$7,3 \times 10^6$	$2,2 \times 10^4$
19:28	$2,2 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$	73640	19500	66	$4,6 \times 10^7$	$2,4 \times 10^6$	$6,9 \times 10^3$
21:26	$1,3 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	50628	19500	66	$1,8 \times 10^7$	$9,5 \times 10^5$	$2,8 \times 10^3$
23:25	$6,8 \times 10^3$	$6,8 \times 10^3$	46025	19500	66	$8,8 \times 10^7$	$4,5 \times 10^6$	$1,3 \times 10^4$
01:24	$8,1 \times 10^3$	$8,1 \times 10^3$	43417	19500	66	$9,8 \times 10^7$	$5,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^4$
03:23	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	46025	19500	66	$2,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^6$	$3,0 \times 10^3$
05:21	$1,6 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	46025	19500	66	$2,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^6$	$3,1 \times 10^3$

07:20	$1,8 \times 10^5$	$1,8 \times 10^5$	46025	19500	66	$2,3 \times 10^7$	$1,2 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$
09:19	$7,7 \times 10^5$	$7,7 \times 10^5$	65356	19500	66	$1,4 \times 10^8$	$7,2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^5$
11:30	$1,7 \times 10^7$	$1,7 \times 10^7$	80697	19500	66	$3,8 \times 10^8$	$2,0 \times 10^7$	$5,7 \times 10^5$
13:28	$9,4 \times 10^5$	$9,4 \times 10^5$	102789	19500	66	$2,7 \times 10^8$	$1,4 \times 10^7$	$4,0 \times 10^5$
15:27	$7,1 \times 10^5$	$7,1 \times 10^5$	100948	19500	66	$2,0 \times 10^8$	$1,0 \times 10^7$	$3,0 \times 10^5$
17:26	$5,3 \times 10^5$	$5,3 \times 10^5$	96959	19500	66	$1,4 \times 10^8$	$7,3 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$
19:25	$1,9 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	92050	19500	66	$4,8 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$	$7,3 \times 10^5$
21:23	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	92050	19500	66	$4,2 \times 10^7$	$2,1 \times 10^6$	$6,3 \times 10^5$
23:22	$5,7 \times 10^5$	$5,7 \times 10^5$	73640	19500	66	$1,2 \times 10^7$	$6,0 \times 10^6$	$1,8 \times 10^5$
01:21	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	87448	19500	66	$5,5 \times 10^7$	$2,8 \times 10^6$	$8,3 \times 10^5$
03:20	$7,6 \times 10^5$	$7,6 \times 10^5$	73640	19500	66	$1,5 \times 10^8$	$7,9 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$
05:18	$1,3 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	73640	19500	66	$2,7 \times 10^8$	$1,4 \times 10^7$	$4,0 \times 10^5$
07:17	$7,7 \times 10^5$	$7,7 \times 10^5$	73640	19500	66	$1,6 \times 10^8$	$8,1 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$
09:16	$1,3 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	87448	19500	66	$3,2 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$4,8 \times 10^5$
Arithm. Mittel (\pmStabw)	$4,3 \times 10^5$ ($\pm 5,4 \times 10^5$)	$4,3 \times 10^5$ ($\pm 5,4 \times 10^5$)	61411 (± 30245)			$8,2 \times 10^7$ ($\pm 1,2 \times 10^8$)	$4,2 \times 10^6$ ($\pm 6,1 \times 10^6$)	$1,2 \times 10^5$ ($\pm 1,8 \times 10^5$)

Tabelle 24: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien an LH2 basierend auf den Probenahmen mit dem ABiS.

	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
Datum/Zeit		(Konz. × Korrr.-F 4,4)			(TP × 0,0034)	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
24.04.2017 – 26.04.2017								
13:10	1,4 × 10 ⁷	6,3 × 10 ⁷	20859	4150	14	3,7 × 10 ⁶	8,8 × 10 ⁴	2,6 × 10 ⁷
15:09	4,3 × 10 ⁶	1,9 × 10 ⁷	20088	4150	14	1,0 × 10 ⁶	2,5 × 10 ⁴	7,4 × 10 ⁶
17:08	5,2 × 10 ⁶	2,3 × 10 ⁷	18739	4150	14	1,2 × 10 ⁶	2,9 × 10 ⁴	8,4 × 10 ⁶
19:07	2,0 × 10 ⁶	8,6 × 10 ⁶	16028	4150	14	3,8 × 10 ⁷	9,2 × 10 ⁶	2,7 × 10 ⁶
21:06	8,1 × 10 ⁶	3,6 × 10 ⁷	11261	4150	14	1,1 × 10 ⁷	2,7 × 10 ⁶	7,9 × 10 ⁶
23:05	6,5 × 10 ⁶	2,9 × 10 ⁷	9659	4150	14	7,7 × 10 ⁶	1,9 × 10 ⁶	5,4 × 10 ⁶
01:04	7,0 × 10 ⁶	3,1 × 10 ⁷	10051	4150	14	8,6 × 10 ⁶	2,1 × 10 ⁶	6,1 × 10 ⁶
03:03	5,1 × 10 ⁶	2,2 × 10 ⁷	11468	4150	14	7,1 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶	5,0 × 10 ⁶
05:02	1,9 × 10 ⁶	8,2 × 10 ⁶	10507	4150	14	2,4 × 10 ⁷	5,7 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶
07:01	5,1 × 10 ⁶	2,3 × 10 ⁷	9259	4150	14	5,8 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	4,1 × 10 ⁶
09:00	7,6 × 10 ⁶	3,3 × 10 ⁷	8722	4150	14	8,1 × 10 ⁷	2,0 × 10 ⁴	5,7 × 10 ⁶
10:37	4,7 × 10 ⁶	2,1 × 10 ⁷	11188	4150	14	6,4 × 10 ⁷	1,5 × 10 ⁴	4,5 × 10 ⁶
12:36	5,7 × 10 ⁶	2,5 × 10 ⁷	10783	4150	14	7,5 × 10 ⁷	1,8 × 10 ⁴	5,3 × 10 ⁶
14:35	6,1 × 10 ⁶	2,7 × 10 ⁷	13592	4150	14	1,0 × 10 ⁶	2,4 × 10 ⁴	7,2 × 10 ⁶
16:34	7,8 × 10 ⁶	3,4 × 10 ⁷	11304	4150	14	1,1 × 10 ⁶	2,6 × 10 ⁴	7,6 × 10 ⁶
18:34	5,8 × 10 ⁶	2,5 × 10 ⁷	10094	4150	14	7,1 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	5,1 × 10 ⁶
20:33	3,9 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁷	7614	4150	14	3,7 × 10 ⁷	8,8 × 10 ⁶	2,6 × 10 ⁶
22:32	3,2 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁷	7672	4150	14	3,0 × 10 ⁷	7,3 × 10 ⁶	2,2 × 10 ⁶
00:31	2,5 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁷	6437	4150	14	2,0 × 10 ⁷	4,8 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁶
02:30	2,2 × 10 ⁶	9,8 × 10 ⁶	6238	4150	14	1,7 × 10 ⁷	4,1 × 10 ⁶	1,2 × 10 ⁶
04:30	4,4 × 10 ⁶	2,0 × 10 ⁷	8685	4150	14	4,7 × 10 ⁷	1,1 × 10 ⁴	3,3 × 10 ⁶
06:29	2,9 × 10 ⁶	1,3 × 10 ⁷	7182	4150	14	2,5 × 10 ⁷	6,1 × 10 ⁶	1,8 × 10 ⁶
08:28	1,9 × 10 ⁶	8,4 × 10 ⁶	8987	4150	14	2,1 × 10 ⁷	5,1 × 10 ⁶	1,5 × 10 ⁶
11:04	1,1 × 10 ⁷	4,7 × 10 ⁷	11253	4150	14	1,5 × 10 ⁶	3,6 × 10 ⁴	1,1 × 10 ⁷
30.05.2017 – 01.06.2017								
10:25	1,3 × 10 ⁶	5,9 × 10 ⁶	31719	4150	14	5,2 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁶

12:25	$8,0 \times 10^3$	$3,5 \times 10^6$	37753	4150	14	$3,7 \times 10^7$	$8,8 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$
14:25	$1,8 \times 10^3$	$8,1 \times 10^6$	37753	4150	14	$8,5 \times 10^7$	$2,0 \times 10^6$	$6,0 \times 10^6$
16:25	$2,8 \times 10^3$	$1,3 \times 10^7$	25128	4150	14	$8,7 \times 10^7$	$2,1 \times 10^6$	$6,2 \times 10^6$
18:25	$3,9 \times 10^3$	$1,7 \times 10^6$	29833	4150	14	$1,4 \times 10^7$	$3,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$
20:25	$1,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^6$	26995	4150	14	$4,8 \times 10^7$	$1,2 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$
22:25	$2,9 \times 10^3$	$1,3 \times 10^6$	23254	4150	14	$8,2 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	$5,8 \times 10^6$
00:25	$6,2 \times 10^3$	$2,7 \times 10^6$	21429	4150	14	$1,6 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$
02:25	$1,1 \times 10^3$	$4,9 \times 10^6$	18654	4150	14	$2,6 \times 10^6$	$6,2 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$
04:25	$6,2 \times 10^3$	$2,7 \times 10^6$	19874	4150	14	$1,5 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$
06:25	$3,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^6$	18628	4150	14	$8,0 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$5,7 \times 10^6$
10:16	$2,7 \times 10^3$	$1,2 \times 10^7$	24448	4150	14	$8,0 \times 10^7$	$1,9 \times 10^6$	$5,6 \times 10^6$
12:16	$1,8 \times 10^3$	$8,0 \times 10^6$	24414	4150	14	$5,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	$3,9 \times 10^6$
14:16	$2,3 \times 10^3$	$1,0 \times 10^7$	24639	4150	14	$6,9 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^6$
16:16	$2,9 \times 10^3$	$1,3 \times 10^7$	25119	4150	14	$8,9 \times 10^7$	$2,1 \times 10^6$	$6,3 \times 10^6$
18:16	$1,9 \times 10^3$	$8,4 \times 10^6$	26916	4150	14	$6,3 \times 10^7$	$1,5 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$
20:16	$3,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^7$	22452	4150	14	$9,3 \times 10^7$	$2,2 \times 10^6$	$6,6 \times 10^6$
22:16	$2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^7$	14996	4150	14	$4,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^6$	$3,1 \times 10^6$
00:16	$1,7 \times 10^3$	$7,6 \times 10^6$	10625	4150	14	$2,3 \times 10^7$	$5,4 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$
02:16	$1,9 \times 10^3$	$8,2 \times 10^6$	8688	4150	14	$2,0 \times 10^7$	$4,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$
04:16	$2,2 \times 10^3$	$9,5 \times 10^6$	11281	4150	14	$3,0 \times 10^7$	$7,2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$
06:16	$1,4 \times 10^3$	$6,3 \times 10^6$	11250	4150	14	$2,0 \times 10^7$	$4,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$
08:16	$2,0 \times 10^3$	$8,7 \times 10^6$	18424	4150	14	$4,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^6$	$3,1 \times 10^6$
11.10.2017 – 13.10.2017								
11:15	$1,6 \times 10^3$	$7,0 \times 10^6$	18878	4150	14	$3,6 \times 10^7$	$8,8 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$
13:14	$1,5 \times 10^3$	$6,8 \times 10^6$	20473	4150	14	$3,8 \times 10^7$	$9,3 \times 10^6$	$2,7 \times 10^6$
15:13	$1,4 \times 10^3$	$6,2 \times 10^6$	18702	4150	14	$3,2 \times 10^7$	$7,7 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$
17:12	$1,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^6$	17544	4150	14	$3,2 \times 10^7$	$7,7 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$
19:11	$4,4 \times 10^3$	$1,9 \times 10^6$	16920	4150	14	$9,0 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	$6,4 \times 10^6$
21:10	$2,2 \times 10^3$	$9,8 \times 10^6$	18009	4150	14	$4,9 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$
23:09	$2,5 \times 10^3$	$1,1 \times 10^6$	18183	4150	14	$5,6 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$
01:08	$2,4 \times 10^3$	$1,0 \times 10^6$	17976	4150	14	$5,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$3,7 \times 10^6$
03:07	$1,3 \times 10^3$	$5,6 \times 10^6$	17934	4150	14	$2,8 \times 10^6$	$6,7 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$
05:06	$1,2 \times 10^3$	$5,4 \times 10^6$	17446	4150	14	$2,6 \times 10^7$	$6,2 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$

07:05	$1,2 \times 10^3$	$5,2 \times 10^5$	20061	4150	14	$2,9 \times 10^7$	$7,0 \times 10^6$	$2,1 \times 10^8$
09:04	$1,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^5$	18196	4150	14	$3,3 \times 10^7$	$7,9 \times 10^6$	$2,3 \times 10^8$
11:00	$1,8 \times 10^3$	$8,0 \times 10^5$	15514	4150	14	$3,4 \times 10^7$	$8,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^8$
12:59	$1,8 \times 10^3$	$7,9 \times 10^5$	20178	4150	14	$4,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$3,1 \times 10^8$
14:58	$1,6 \times 10^3$	$6,9 \times 10^5$	18161	4150	14	$3,5 \times 10^7$	$8,3 \times 10^6$	$2,5 \times 10^8$
16:57	$1,6 \times 10^3$	$6,9 \times 10^5$	16919	4150	14	$3,2 \times 10^7$	$7,8 \times 10^6$	$2,3 \times 10^8$
18:56	$6,1 \times 10^3$	$2,7 \times 10^7$	14072	4150	14	$1,0 \times 10^8$	$2,5 \times 10^7$	$7,4 \times 10^8$
20:55	$8,4 \times 10^3$	$3,7 \times 10^5$	12837	4150	14	$1,3 \times 10^7$	$3,2 \times 10^6$	$9,4 \times 10^7$
22:54	$9,9 \times 10^3$	$4,4 \times 10^5$	11850	4150	14	$1,4 \times 10^7$	$3,5 \times 10^6$	$1,0 \times 10^8$
00:53	$3,9 \times 10^3$	$1,7 \times 10^5$	10420	4150	14	$4,9 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$3,5 \times 10^7$
02:52	$5,5 \times 10^3$	$2,4 \times 10^5$	10176	4150	14	$6,9 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^7$
04:51	$6,7 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5$	12880	4150	14	$1,1 \times 10^7$	$2,6 \times 10^6$	$7,5 \times 10^7$
06:50	$1,2 \times 10^3$	$5,3 \times 10^5$	10152	4150	14	$1,5 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^8$
08:49	$2,1 \times 10^3$	$9,3 \times 10^5$	10131	4150	14	$2,6 \times 10^7$	$6,3 \times 10^6$	$1,9 \times 10^8$
Arithm. Mittel (\pmStabw)	$2,4 \times 10^3$ ($\pm 2,5 \times 10^3$)	$1,1 \times 10^7$ ($\pm 1,1 \times 10^7$)	16416 (± 7067)			$4,5 \times 10^7$ ($\pm 5,1 \times 10^7$)	$1,1 \times 10^7$ ($\pm 1,2 \times 10^7$)	$3,2 \times 10^8$ ($\pm 3,6 \times 10^8$)

Tabelle 25: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken an LH2 basierend auf den Probenahmen mit dem ABIS.

	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
Datum/Zeit		(Konz. × Korr.-F 4,2)			(TP × 0,0034)	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
24.04.2017 – 26.04.2017								
13:10	7,9 × 10 ⁵	3,3 × 10 ⁷	20859	4150	14	1,9 × 10 ⁵	4,6 × 10 ⁴	1,4 × 10 ⁷
15:09	3,2 × 10 ⁵	1,4 × 10 ⁷	20088	4150	14	7,6 × 10 ⁴	1,8 × 10 ⁴	5,4 × 10 ⁵
17:08	4,8 × 10 ⁵	2,0 × 10 ⁷	18739	4150	14	1,0 × 10 ⁵	2,5 × 10 ⁴	7,4 × 10 ⁵
19:07	1,8 × 10 ⁵	7,4 × 10 ⁶	16028	4150	14	3,3 × 10 ⁴	8,0 × 10 ³	2,3 × 10 ⁵
21:06	6,4 × 10 ⁵	2,7 × 10 ⁷	11261	4150	14	8,5 × 10 ⁵	2,0 × 10 ⁵	6,0 × 10 ⁵
23:05	3,6 × 10 ⁵	1,5 × 10 ⁷	9659	4150	14	4,0 × 10 ⁵	9,6 × 10 ³	2,8 × 10 ⁵
01:04	2,6 × 10 ⁵	1,1 × 10 ⁷	10051	4150	14	3,0 × 10 ⁵	7,3 × 10 ³	2,2 × 10 ⁵
03:03	4,4 × 10 ⁵	1,9 × 10 ⁷	11468	4150	14	5,9 × 10 ⁵	1,4 × 10 ⁴	4,2 × 10 ⁵
05:02	1,9 × 10 ⁵	7,9 × 10 ⁶	10507	4150	14	2,3 × 10 ⁴	5,6 × 10 ³	1,6 × 10 ⁵
07:01	4,2 × 10 ⁵	1,8 × 10 ⁷	9259	4150	14	4,6 × 10 ⁴	1,1 × 10 ⁴	3,2 × 10 ⁵
09:00	8,1 × 10 ⁵	3,4 × 10 ⁷	8722	4150	14	8,3 × 10 ⁴	2,0 × 10 ⁴	5,9 × 10 ⁵
10:37	4,0 × 10 ⁵	1,7 × 10 ⁷	11188	4150	14	5,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁵
12:36	4,1 × 10 ⁵	1,7 × 10 ⁷	10783	4150	14	5,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁵
14:35	1,4 × 10 ⁵	5,8 × 10 ⁶	13592	4150	14	2,2 × 10 ⁴	5,3 × 10 ³	1,6 × 10 ⁵
16:34	3,7 × 10 ⁵	1,6 × 10 ⁷	11304	4150	14	4,9 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁴	3,5 × 10 ⁵
18:34	9,7 × 10 ⁵	4,1 × 10 ⁷	10094	4150	14	1,1 × 10 ⁵	2,8 × 10 ⁴	8,1 × 10 ⁵
20:33	1,6 × 10 ⁵	6,6 × 10 ⁶	7614	4150	14	1,4 × 10 ⁵	3,4 × 10 ³	9,9 × 10 ⁴
22:32	8,4 × 10 ⁴	3,5 × 10 ⁶	7672	4150	14	7,5 × 10 ³	1,8 × 10 ³	5,3 × 10 ⁴
00:31	4,2 × 10 ⁴	1,8 × 10 ⁶	6437	4150	14	3,2 × 10 ³	7,6 × 10+01	2,2 × 10 ⁴
02:30	2,4 × 10 ⁴	1,0 × 10 ⁶	6238	4150	14	1,8 × 10 ³	4,2 × 10+01	1,2 × 10 ⁴
04:30	5,0 × 10 ⁵	2,1 × 10 ⁷	8685	4150	14	5,0 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁴	3,6 × 10 ⁵
06:29	2,4 × 10 ⁵	1,0 × 10 ⁷	7182	4150	14	2,0 × 10 ⁵	4,8 × 10 ³	1,4 × 10 ⁵
08:28	1,7 × 10 ⁵	7,1 × 10 ⁶	8987	4150	14	1,8 × 10 ⁵	4,2 × 10 ³	1,2 × 10 ⁵
11:04	5,7 × 10 ⁵	2,4 × 10 ⁷	11253	4150	14	7,5 × 10 ⁴	1,8 × 10 ⁴	5,3 × 10 ⁵
30.05.2017 – 01.06.2017								
10:25	5,6 × 10 ⁵	2,3 × 10 ⁷	31719	4150	14	2,1 × 10 ⁵	5,0 × 10 ⁴	1,5 × 10 ⁷
12:25	4,5 × 10 ⁵	1,9 × 10 ⁷	37753	4150	14	2,0 × 10 ⁵	4,8 × 10 ⁴	1,4 × 10 ⁷

14:25	$4,4 \times 10^3$	$1,8 \times 10^7$	37753	4150	14	$1,9 \times 10^3$	$4,7 \times 10^4$	$1,4 \times 10^7$
16:25	$2,3 \times 10^3$	$9,6 \times 10^6$	25128	4150	14	$6,7 \times 10^7$	$1,6 \times 10^4$	$4,8 \times 10^3$
18:25	$1,1 \times 10^3$	$4,6 \times 10^6$	29833	4150	14	$3,8 \times 10^7$	$9,2 \times 10^6$	$2,7 \times 10^3$
20:25	$2,1 \times 10^3$	$8,8 \times 10^6$	26995	4150	14	$6,6 \times 10^7$	$1,6 \times 10^4$	$4,7 \times 10^3$
22:25	$5,0 \times 10^3$	$2,1 \times 10^6$	23254	4150	14	$1,4 \times 10^7$	$3,3 \times 10^6$	$9,6 \times 10^3$
00:25	$4,4 \times 10^3$	$1,9 \times 10^6$	21429	4150	14	$1,1 \times 10^7$	$2,7 \times 10^6$	$7,9 \times 10^3$
02:25	$3,0 \times 10^3$	$1,2 \times 10^6$	18654	4150	14	$6,5 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$4,6 \times 10^3$
04:25	$1,7 \times 10^3$	$7,1 \times 10^6$	19874	4150	14	$3,9 \times 10^7$	$9,5 \times 10^6$	$2,8 \times 10^3$
06:25	$1,4 \times 10^3$	$6,1 \times 10^6$	18628	4150	14	$3,1 \times 10^7$	$7,6 \times 10^6$	$2,2 \times 10^3$
10:16	$7,5 \times 10^3$	$3,1 \times 10^7$	24448	4150	14	$2,1 \times 10^3$	$5,1 \times 10^4$	$1,5 \times 10^7$
12:16	$4,9 \times 10^3$	$2,0 \times 10^7$	24414	4150	14	$1,4 \times 10^3$	$3,3 \times 10^4$	$9,8 \times 10^3$
14:16	$6,1 \times 10^3$	$2,6 \times 10^7$	24639	4150	14	$1,8 \times 10^3$	$4,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^7$
16:16	$5,8 \times 10^3$	$2,4 \times 10^7$	25119	4150	14	$1,7 \times 10^3$	$4,1 \times 10^4$	$1,2 \times 10^7$
18:16	$5,7 \times 10^3$	$2,4 \times 10^7$	26916	4150	14	$1,8 \times 10^3$	$4,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^7$
20:16	$3,9 \times 10^3$	$1,6 \times 10^7$	22452	4150	14	$1,0 \times 10^3$	$2,4 \times 10^4$	$7,2 \times 10^3$
22:16	$1,0 \times 10^3$	$4,3 \times 10^6$	14996	4150	14	$1,8 \times 10^7$	$4,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^3$
00:16	$5,5 \times 10^3$	$2,3 \times 10^6$	10625	4150	14	$6,8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$4,8 \times 10^3$
02:16	$4,0 \times 10^3$	$1,7 \times 10^6$	8688	4150	14	$4,1 \times 10^6$	$9,9 \times 10^6$	$2,9 \times 10^3$
04:16	$3,7 \times 10^3$	$1,6 \times 10^6$	11281	4150	14	$4,9 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$3,5 \times 10^3$
06:16	$2,9 \times 10^3$	$1,2 \times 10^6$	11250	4150	14	$3,8 \times 10^6$	$9,2 \times 10^6$	$2,7 \times 10^3$
08:16	$3,1 \times 10^3$	$1,3 \times 10^6$	18424	4150	14	$6,7 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$4,7 \times 10^3$
11.10.2017 – 13.10.2017								
11:15	$1,4 \times 10^3$	$5,9 \times 10^6$	18878	4150	14	$3,1 \times 10^7$	$7,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^3$
13:14	$1,8 \times 10^3$	$7,7 \times 10^6$	20473	4150	14	$4,4 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$	$3,1 \times 10^3$
15:13	$2,0 \times 10^3$	$8,4 \times 10^6$	18702	4150	14	$4,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^4$	$3,1 \times 10^3$
17:12	$1,7 \times 10^3$	$7,3 \times 10^6$	17544	4150	14	$3,6 \times 10^7$	$8,6 \times 10^6$	$2,5 \times 10^3$
19:11	$3,9 \times 10^3$	$1,6 \times 10^6$	16920	4150	14	$7,7 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$5,5 \times 10^3$
21:10	$2,2 \times 10^3$	$9,1 \times 10^6$	18009	4150	14	$4,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$3,2 \times 10^3$
23:09	$1,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^6$	18183	4150	14	$3,3 \times 10^6$	$7,9 \times 10^6$	$2,3 \times 10^3$
01:08	$1,8 \times 10^3$	$7,5 \times 10^6$	17976	4150	14	$3,7 \times 10^6$	$9,0 \times 10^6$	$2,6 \times 10^3$
03:07	$1,4 \times 10^3$	$6,0 \times 10^6$	17934	4150	14	$3,0 \times 10^6$	$7,3 \times 10^6$	$2,1 \times 10^3$
05:06	$1,3 \times 10^3$	$5,5 \times 10^6$	17446	4150	14	$2,7 \times 10^7$	$6,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^3$
07:05	$1,3 \times 10^3$	$5,4 \times 10^6$	20061	4150	14	$3,0 \times 10^7$	$7,2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^3$

09:04	$1,6 \times 10^5$	$6,7 \times 10^5$	18196	4150	14	$3,4 \times 10^7$	$8,1 \times 10^8$	$2,4 \times 10^9$
11:00	$4,2 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$	15514	4150	14	$7,5 \times 10^7$	$1,8 \times 10^8$	$5,3 \times 10^9$
12:59	$4,8 \times 10^5$	$2,0 \times 10^7$	20178	4150	14	$1,1 \times 10^8$	$2,7 \times 10^8$	$8,0 \times 10^9$
14:58	$2,8 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	18161	4150	14	$6,0 \times 10^7$	$1,4 \times 10^8$	$4,2 \times 10^9$
16:57	$1,9 \times 10^5$	$8,0 \times 10^5$	16919	4150	14	$3,8 \times 10^7$	$9,1 \times 10^8$	$2,7 \times 10^9$
18:56	$5,3 \times 10^5$	$2,2 \times 10^7$	14072	4150	14	$8,6 \times 10^7$	$2,1 \times 10^8$	$6,1 \times 10^9$
20:55	$8,9 \times 10^5$	$3,7 \times 10^5$	12837	4150	14	$1,3 \times 10^7$	$3,2 \times 10^8$	$9,4 \times 10^9$
22:54	$6,7 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	11850	4150	14	$9,3 \times 10^5$	$2,2 \times 10^6$	$6,6 \times 10^7$
00:53	$5,0 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	10420	4150	14	$6,1 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$	$4,3 \times 10^7$
02:52	$3,9 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	10176	4150	14	$4,6 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$3,3 \times 10^7$
04:51	$1,0 \times 10^5$	$4,3 \times 10^5$	12880	4150	14	$1,6 \times 10^7$	$3,7 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$
06:50	$1,1 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	10152	4150	14	$1,3 \times 10^7$	$3,2 \times 10^8$	$9,5 \times 10^9$
08:49	$3,9 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$	10131	4150	14	$4,6 \times 10^7$	$1,1 \times 10^8$	$3,3 \times 10^9$
Arithm. Mittel (\pmStabw)	$2,2 \times 10^5$ ($\pm 2,2 \times 10^5$)	$9,2 \times 10^5$ ($\pm 9,2 \times 10^5$)	16416 (± 7067)			$4,9 \times 10^7$ ($\pm 6,0 \times 10^7$)	$1,2 \times 10^8$ ($\pm 1,4 \times 10^8$)	$3,5 \times 10^9$ ($\pm 4,2 \times 10^9$)

Tabelle 26: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Gesamtbakterien am MP basierend auf den Probenahmen mit dem ABIS.

	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
Datum/Zeit		(Konz. × Korrr.-F 4,4)			(TP × 0,0034)	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.08.2017 – 23.08.2017								
11:45	3,1 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁷	17250	1930	19	6,5 × 10 ⁷	3,4 × 10 ⁴	3,4 × 10 ⁹
13:45	2,5 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁷	22233	1930	19	6,9 × 10 ⁷	3,6 × 10 ⁴	3,6 × 10 ⁹
15:45	2,3 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁷	26833	1930	19	7,6 × 10 ⁷	3,9 × 10 ⁴	3,9 × 10 ⁹
17:45	5,0 × 10 ⁶	2,2 × 10 ⁷	23000	1930	19	1,4 × 10 ⁸	7,2 × 10 ⁴	7,2 × 10 ⁹
19:45	4,7 × 10 ⁶	2,1 × 10 ⁷	23000	1930	19	1,3 × 10 ⁸	6,8 × 10 ⁴	6,8 × 10 ⁹
21:45	1,7 × 10 ⁶	7,4 × 10 ⁶	11500	1930	19	2,4 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁹
23:45	2,3 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁷	11500	1930	19	3,2 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	1,7 × 10 ⁹
01:45	1,3 × 10 ⁶	5,5 × 10 ⁶	11500	1930	19	1,8 × 10 ⁷	9,1 × 10 ³	9,1 × 10 ⁸
03:45	6,3 × 10 ⁶	2,8 × 10 ⁷	11500	1930	19	8,8 × 10 ⁷	4,6 × 10 ⁴	4,6 × 10 ⁹
05:45	1,5 × 10 ⁶	6,8 × 10 ⁶	11500	1930	19	2,2 × 10 ⁷	1,1 × 10 ⁴	1,1 × 10 ⁹
07:45	1,9 × 10 ⁶	8,5 × 10 ⁶	11500	1930	19	2,7 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	1,4 × 10 ⁹
09:45	2,6 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁷	16483	1930	19	5,2 × 10 ⁷	2,7 × 10 ⁴	2,7 × 10 ⁹
11:45	2,9 × 10 ⁶	1,3 × 10 ⁷	23000	1930	19	8,1 × 10 ⁷	4,2 × 10 ⁴	4,2 × 10 ⁹
13:45	3,4 × 10 ⁶	1,5 × 10 ⁷	28750	1930	19	1,2 × 10 ⁸	6,1 × 10 ⁴	6,1 × 10 ⁹
15:45	1,7 × 10 ⁶	7,4 × 10 ⁶	34500	1930	19	7,0 × 10 ⁷	3,7 × 10 ⁴	3,7 × 10 ⁹
17:45	3,2 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁷	23000	1930	19	9,0 × 10 ⁷	4,7 × 10 ⁴	4,7 × 10 ⁹
19:45	3,1 × 10 ⁶	1,4 × 10 ⁷	16100	1930	19	6,1 × 10 ⁷	3,1 × 10 ⁴	3,1 × 10 ⁹
21:45	1,0 × 10 ⁶	4,4 × 10 ⁶	9456	1930	19	1,2 × 10 ⁷	6,0 × 10 ³	6,0 × 10 ⁸
23:45	2,9 × 10 ⁶	1,3 × 10 ⁷	9392	1930	19	3,3 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	1,7 × 10 ⁹
01:45	9,9 × 10 ⁶	4,4 × 10 ⁷	7475	1930	19	9,0 × 10 ⁷	4,7 × 10 ⁴	4,7 × 10 ⁹
03:45	6,5 × 10 ⁶	2,8 × 10 ⁷	5750	1930	19	4,5 × 10 ⁷	2,4 × 10 ⁴	2,4 × 10 ⁹
05:45	2,5 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁷	6517	1930	19	2,0 × 10 ⁷	1,0 × 10 ⁴	1,0 × 10 ⁹
07:45	3,7 × 10 ⁶	1,6 × 10 ⁷	9775	1930	19	4,5 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁴	2,3 × 10 ⁹
09:45	2,6 × 10 ⁶	1,2 × 10 ⁷	13033	1930	19	4,2 × 10 ⁷	2,2 × 10 ⁴	2,2 × 10 ⁹
23.10.2017 – 25.10.2017								
11:30	9,6 × 10 ⁶	4,2 × 10 ⁷	23000	1801	18	2,7 × 10 ⁸	1,5 × 10 ⁵	1,5 × 10 ¹⁰
13:29	3,7 × 10 ⁶	1,6 × 10 ⁷	26067	1801	18	1,2 × 10 ⁸	6,6 × 10 ⁴	6,6 × 10 ⁹

15:28	$3,8 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$	23000	1801	18	$1,1 \times 10^6$	$6,0 \times 10^4$	$6,0 \times 10^5$
17:27	$3,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$	23000	1801	18	$9,8 \times 10^7$	$5,5 \times 10^4$	$5,5 \times 10^5$
19:26	$3,7 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$	23000	1801	18	$1,1 \times 10^6$	$5,8 \times 10^4$	$5,8 \times 10^5$
21:25	$1,9 \times 10^7$	$8,5 \times 10^7$	23000	1801	18	$5,4 \times 10^6$	$3,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^7$
23:24	$2,7 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	23000	1801	18	$7,5 \times 10^7$	$4,2 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$
01:23	$3,0 \times 10^5$	$1,3 \times 10^7$	23000	1801	18	$8,4 \times 10^7$	$4,7 \times 10^4$	$4,7 \times 10^5$
03:22	$4,4 \times 10^5$	$1,9 \times 10^7$	23000	1801	18	$1,2 \times 10^6$	$6,9 \times 10^4$	$6,9 \times 10^5$
05:21	$2,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	23000	1801	18	$7,0 \times 10^7$	$3,9 \times 10^4$	$3,9 \times 10^5$
07:20	$4,9 \times 10^5$	$2,2 \times 10^7$	23000	1801	18	$1,4 \times 10^6$	$7,6 \times 10^4$	$7,6 \times 10^5$
09:19	$7,0 \times 10^5$	$3,1 \times 10^7$	27217	1801	18	$2,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^7$
11:30	$1,1 \times 10^7$	$4,9 \times 10^7$	34500	1801	18	$4,7 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$2,6 \times 10^7$
13:28	$1,3 \times 10^7$	$5,5 \times 10^7$	34500	1801	18	$5,3 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$	$2,9 \times 10^7$
15:27	$1,9 \times 10^7$	$8,4 \times 10^7$	36225	1801	18	$8,4 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	$4,7 \times 10^7$
17:25	$1,4 \times 10^7$	$5,9 \times 10^7$	34500	1801	18	$5,7 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$3,2 \times 10^7$
19:24	$4,9 \times 10^5$	$2,1 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$
21:22	$8,9 \times 10^5$	$3,9 \times 10^7$	34500	1801	18	$3,8 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	$2,1 \times 10^7$
23:21	$5,5 \times 10^5$	$2,4 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^7$
01:19	$5,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^7$
03:18	$3,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$	32200	1801	18	$1,4 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$	$7,9 \times 10^5$
05:16	$2,8 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,2 \times 10^5$	$6,5 \times 10^4$	$6,5 \times 10^5$
07:15	$3,0 \times 10^5$	$1,3 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,2 \times 10^5$	$6,9 \times 10^4$	$6,9 \times 10^5$
09:13	$3,4 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,4 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$	$7,9 \times 10^5$
25.10.2017 – 27.10.2017								
11:30	$2,8 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$	46000	1801	18	$1,6 \times 10^7$	$8,9 \times 10^5$	$8,9 \times 10^7$
13:29	$2,7 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$	46000	1801	18	$1,5 \times 10^7$	$8,5 \times 10^5$	$8,5 \times 10^7$
15:29	$1,8 \times 10^7$	$8,1 \times 10^7$	46000	1801	18	$1,0 \times 10^7$	$5,8 \times 10^5$	$5,8 \times 10^7$
17:29	$1,4 \times 10^7$	$6,2 \times 10^7$	46000	1801	18	$7,9 \times 10^5$	$4,4 \times 10^5$	$4,4 \times 10^7$
19:28	$2,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^8$	37950	1801	18	$1,1 \times 10^7$	$6,2 \times 10^5$	$6,2 \times 10^7$
21:28	$1,5 \times 10^7$	$6,5 \times 10^7$	34500	1801	18	$6,2 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,4 \times 10^7$
23:28	$8,6 \times 10^5$	$3,8 \times 10^7$	34500	1801	18	$3,6 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^7$
01:27	$4,4 \times 10^5$	$1,9 \times 10^7$	25300	1801	18	$1,4 \times 10^5$	$7,6 \times 10^4$	$7,6 \times 10^5$
03:27	$1,7 \times 10^5$	$7,4 \times 10^5$	23000	1801	18	$4,8 \times 10^7$	$2,6 \times 10^4$	$2,6 \times 10^5$
05:27	$2,0 \times 10^5$	$9,0 \times 10^5$	29900	1801	18	$7,5 \times 10^7$	$4,2 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$

07:26	$1,6 \times 10^6$	$7,3 \times 10^6$	25492	1801	18	$5,1 \times 10^7$	$2,9 \times 10^4$	$2,9 \times 10^6$
09:26	$2,3 \times 10^6$	$1,0 \times 10^7$	34500	1801	18	$9,6 \times 10^7$	$5,3 \times 10^4$	$5,3 \times 10^6$
11:30	$6,7 \times 10^6$	$3,0 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$
13:29	$9,8 \times 10^6$	$4,3 \times 10^7$	34500	1801	18	$4,1 \times 10^8$	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^7$
15:29	$1,8 \times 10^7$	$7,9 \times 10^7$	34500	1801	18	$7,6 \times 10^8$	$4,2 \times 10^5$	$4,2 \times 10^7$
17:29	$5,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$
19:28	$1,2 \times 10^7$	$5,1 \times 10^7$	34500	1801	18	$4,9 \times 10^8$	$2,7 \times 10^5$	$2,7 \times 10^7$
21:28	$1,2 \times 10^7$	$5,5 \times 10^7$	34500	1801	18	$5,3 \times 10^8$	$2,9 \times 10^5$	$2,9 \times 10^7$
23:28	$6,9 \times 10^6$	$3,0 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,9 \times 10^8$	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$
01:27	$2,9 \times 10^7$	$1,3 \times 10^8$	26642	1801	18	$9,3 \times 10^8$	$5,2 \times 10^5$	$5,2 \times 10^7$
03:27	$1,9 \times 10^7$	$8,4 \times 10^7$	23000	1801	18	$5,4 \times 10^8$	$3,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^7$
05:27	$1,5 \times 10^7$	$6,8 \times 10^7$	23000	1801	18	$4,4 \times 10^8$	$2,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^7$
07:26	$7,8 \times 10^6$	$3,4 \times 10^7$	23000	1801	18	$2,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$
09:26	$4,6 \times 10^6$	$2,0 \times 10^7$	23000	1801	18	$1,3 \times 10^8$	$7,2 \times 10^4$	$7,2 \times 10^6$
Arithm. Mittel (\pmStabw)	$7,2 \times 10^6$ ($\pm 7,1 \times 10^5$)	$3,2 \times 10^7$ ($\pm 3,1 \times 10^6$)	26103 (± 10126)			$2,8 \times 10^8$ ($\pm 3,4 \times 10^8$)	$1,5 \times 10^5$ ($\pm 1,9 \times 10^5$)	$1,5 \times 10^7$ ($\pm 1,9 \times 10^7$)

Tabelle 27: Berechnung der Emissionsmassenströme und Emissionsfaktoren für Staphylokokken am MP basierend auf den Probenahmen mit dem ABIS.

	Konzentration KBE/m ³	Korrigiert	Volumenstrom m ³ /h	Tierplätze (TP)	GV	Emissionsmassenstrom		Emissionsfaktor
Datum/Zeit		(Konz. × Korr.-F 4,2)			(TP × 0,0034)	KBE/s	KBE/TP*s	KBE/GV*s
21.08.2017 – 23.08.2017								
11:45	1,3 × 10 ⁵	5,6 × 10 ⁵	17250	1930	19	2,7 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	1,4 × 10 ⁵
13:45	2,1 × 10 ⁵	8,7 × 10 ⁵	22233	1930	19	5,4 × 10 ⁷	2,8 × 10 ⁴	2,8 × 10 ⁵
15:45	2,0 × 10 ⁵	8,6 × 10 ⁵	26833	1930	19	6,4 × 10 ⁷	3,3 × 10 ⁴	3,3 × 10 ⁵
17:45	2,8 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷	23000	1930	19	7,5 × 10 ⁷	3,9 × 10 ⁴	3,9 × 10 ⁵
19:45	2,8 × 10 ⁵	1,2 × 10 ⁷	23000	1930	19	7,6 × 10 ⁷	3,9 × 10 ⁴	3,9 × 10 ⁵
21:45	1,0 × 10 ⁵	4,3 × 10 ⁵	11500	1930	19	1,4 × 10 ⁷	7,1 × 10 ³	7,1 × 10 ³
23:45	1,8 × 10 ⁵	7,6 × 10 ⁵	11500	1930	19	2,4 × 10 ⁷	1,3 × 10 ⁴	1,3 × 10 ⁵
01:45	1,1 × 10 ⁵	4,5 × 10 ⁵	11500	1930	19	1,4 × 10 ⁷	7,4 × 10 ³	7,4 × 10 ³
03:45	6,2 × 10 ⁵	2,6 × 10 ⁶	11500	1930	19	8,3 × 10 ⁶	4,3 × 10 ⁴	4,3 × 10 ⁵
05:45	1,8 × 10 ⁵	7,4 × 10 ⁵	11500	1930	19	2,3 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁵
07:45	1,8 × 10 ⁵	7,5 × 10 ⁵	11500	1930	19	2,4 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁵
09:45	2,4 × 10 ⁵	9,9 × 10 ⁵	16483	1930	19	4,5 × 10 ⁷	2,4 × 10 ⁴	2,4 × 10 ⁵
11:45	1,6 × 10 ⁵	6,8 × 10 ⁵	23000	1930	19	4,3 × 10 ⁷	2,2 × 10 ⁴	2,2 × 10 ⁵
13:45	1,2 × 10 ⁵	5,2 × 10 ⁵	28750	1930	19	4,2 × 10 ⁷	2,2 × 10 ⁴	2,2 × 10 ⁵
15:45	1,1 × 10 ⁵	4,7 × 10 ⁵	34500	1930	19	4,5 × 10 ⁷	2,3 × 10 ⁴	2,3 × 10 ⁵
17:45	1,2 × 10 ⁵	5,0 × 10 ⁵	23000	1930	19	3,2 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	1,7 × 10 ⁵
19:45	1,8 × 10 ⁵	7,5 × 10 ⁵	16100	1930	19	3,4 × 10 ⁷	1,7 × 10 ⁴	1,7 × 10 ⁵
21:45	7,9 × 10 ⁵	3,3 × 10 ⁶	9456	1930	19	8,7 × 10 ⁶	4,5 × 10 ³	4,5 × 10 ³
23:45	1,9 × 10 ⁵	8,1 × 10 ⁵	9392	1930	19	2,1 × 10 ⁷	1,1 × 10 ⁴	1,1 × 10 ⁵
01:45	6,5 × 10 ⁵	2,7 × 10 ⁶	7475	1930	19	5,7 × 10 ⁶	2,9 × 10 ³	2,9 × 10 ³
03:45	5,3 × 10 ⁵	2,2 × 10 ⁶	5750	1930	19	3,6 × 10 ⁶	1,8 × 10 ³	1,8 × 10 ³
05:45	1,8 × 10 ⁵	7,6 × 10 ⁵	6517	1930	19	1,4 × 10 ⁷	7,1 × 10 ³	7,1 × 10 ³
07:45	2,4 × 10 ⁵	1,0 × 10 ⁷	9775	1930	19	2,7 × 10 ⁷	1,4 × 10 ⁴	1,4 × 10 ⁵
09:45	1,5 × 10 ⁵	6,2 × 10 ⁵	13033	1930	19	2,2 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁴	1,2 × 10 ⁵
23.10.2017 – 25.10.2017								
11:30	4,2 × 10 ⁵	1,8 × 10 ⁷	23000	1801	18	1,1 × 10 ⁸	6,3 × 10 ⁴	6,3 × 10 ⁵
13:29	1,3 × 10 ⁵	5,4 × 10 ⁵	26067	1801	18	3,9 × 10 ⁷	2,2 × 10 ⁴	2,2 × 10 ⁵

15:28	$2,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	23000	1801	18	$6,8 \times 10^7$	$3,8 \times 10^4$	$3,8 \times 10^5$
17:27	$2,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^7$	23000	1801	18	$6,5 \times 10^7$	$3,6 \times 10^4$	$3,6 \times 10^5$
19:26	$2,2 \times 10^5$	$9,4 \times 10^6$	23000	1801	18	$6,0 \times 10^7$	$3,3 \times 10^4$	$3,3 \times 10^5$
21:25	$9,9 \times 10^5$	$4,2 \times 10^8$	23000	1801	18	$2,7 \times 10^7$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$
23:24	$1,2 \times 10^5$	$5,2 \times 10^6$	23000	1801	18	$3,3 \times 10^7$	$1,9 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$
01:23	$7,2 \times 10^5$	$3,0 \times 10^8$	23000	1801	18	$1,9 \times 10^7$	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$
03:22	$8,8 \times 10^5$	$3,7 \times 10^8$	23000	1801	18	$2,4 \times 10^7$	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$
05:21	$6,8 \times 10^5$	$2,9 \times 10^8$	23000	1801	18	$1,8 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
07:20	$2,9 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	23000	1801	18	$7,8 \times 10^7$	$4,3 \times 10^4$	$4,3 \times 10^5$
09:19	$5,6 \times 10^5$	$2,3 \times 10^7$	27217	1801	18	$1,8 \times 10^8$	$9,8 \times 10^4$	$9,8 \times 10^5$
11:30	$6,1 \times 10^5$	$2,5 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,4 \times 10^8$	$1,4 \times 10^5$	$1,4 \times 10^7$
13:28	$7,3 \times 10^5$	$3,1 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,9 \times 10^8$	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^7$
15:27	$6,3 \times 10^5$	$2,6 \times 10^7$	36225	1801	18	$2,6 \times 10^8$	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$
17:25	$9,5 \times 10^5$	$4,0 \times 10^7$	34500	1801	18	$3,8 \times 10^8$	$2,1 \times 10^5$	$2,1 \times 10^7$
19:24	$4,0 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,6 \times 10^8$	$8,9 \times 10^4$	$8,9 \times 10^5$
21:22	$5,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,1 \times 10^8$	$1,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$
23:21	$4,9 \times 10^5$	$2,1 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,0 \times 10^8$	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$
01:19	$1,8 \times 10^5$	$7,6 \times 10^6$	34500	1801	18	$7,2 \times 10^7$	$4,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^5$
03:18	$5,0 \times 10^5$	$2,1 \times 10^8$	32200	1801	18	$1,9 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
05:16	$1,2 \times 10^5$	$5,1 \times 10^6$	34500	1801	18	$4,9 \times 10^7$	$2,7 \times 10^4$	$2,7 \times 10^5$
07:15	$7,4 \times 10^5$	$3,1 \times 10^8$	34500	1801	18	$3,0 \times 10^7$	$1,7 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$
09:13	$1,4 \times 10^5$	$6,0 \times 10^6$	34500	1801	18	$5,7 \times 10^7$	$3,2 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5$
25.10.2017 – 27.10.2017								
11:30	$6,3 \times 10^5$	$2,7 \times 10^7$	46000	1801	18	$3,4 \times 10^8$	$1,9 \times 10^5$	$1,9 \times 10^7$
13:29	$7,8 \times 10^5$	$3,3 \times 10^7$	46000	1801	18	$4,2 \times 10^8$	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^7$
15:29	$6,7 \times 10^5$	$2,8 \times 10^7$	46000	1801	18	$3,6 \times 10^8$	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^7$
17:29	$6,8 \times 10^5$	$2,9 \times 10^7$	46000	1801	18	$3,6 \times 10^8$	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^7$
19:28	$4,1 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$	37950	1801	18	$1,8 \times 10^8$	$1,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^7$
21:28	$3,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,3 \times 10^8$	$7,3 \times 10^4$	$7,3 \times 10^5$
23:28	$1,9 \times 10^5$	$7,9 \times 10^6$	34500	1801	18	$7,6 \times 10^7$	$4,2 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$
01:27	$6,8 \times 10^5$	$2,9 \times 10^8$	25300	1801	18	$2,0 \times 10^7$	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$
03:27	$6,4 \times 10^5$	$2,7 \times 10^8$	23000	1801	18	$1,7 \times 10^7$	$9,5 \times 10^4$	$9,5 \times 10^5$
05:27	$9,7 \times 10^5$	$4,1 \times 10^8$	29900	1801	18	$3,4 \times 10^7$	$1,9 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$

07:26	$8,1 \times 10^3$	$3,4 \times 10^3$	25492	1801	18	$2,4 \times 10^7$	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^3$
09:26	$1,1 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$	34500	1801	18	$4,4 \times 10^7$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^3$
11:30	$4,9 \times 10^3$	$2,0 \times 10^7$	34500	1801	18	$2,0 \times 10^8$	$1,1 \times 10^3$	$1,1 \times 10^7$
13:29	$4,6 \times 10^3$	$1,9 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,9 \times 10^8$	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^7$
15:29	$3,7 \times 10^3$	$1,6 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,5 \times 10^8$	$8,3 \times 10^4$	$8,3 \times 10^3$
17:29	$3,7 \times 10^3$	$1,6 \times 10^7$	34500	1801	18	$1,5 \times 10^8$	$8,3 \times 10^4$	$8,3 \times 10^3$
19:28	$2,1 \times 10^3$	$9,0 \times 10^3$	34500	1801	18	$8,6 \times 10^7$	$4,8 \times 10^4$	$4,8 \times 10^3$
21:28	$1,9 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	34500	1801	18	$7,6 \times 10^7$	$4,2 \times 10^4$	$4,2 \times 10^3$
23:28	$1,1 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	34500	1801	18	$4,3 \times 10^7$	$2,4 \times 10^4$	$2,4 \times 10^3$
01:27	$6,5 \times 10^3$	$2,7 \times 10^3$	26642	1801	18	$2,0 \times 10^7$	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$
03:27	$5,0 \times 10^3$	$2,1 \times 10^3$	23000	1801	18	$1,3 \times 10^7$	$7,4 \times 10^4$	$7,4 \times 10^3$
05:27	$7,1 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	23000	1801	18	$1,9 \times 10^7$	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$
07:26	$7,0 \times 10^3$	$2,9 \times 10^3$	23000	1801	18	$1,9 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
09:26	$1,1 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	23000	1801	18	$2,9 \times 10^7$	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$
Arithm. Mittel (±Stabw)	$2,5 \times 10^3$ ($\pm 2,1 \times 10^3$)	$1,1 \times 10^7$ ($\pm 8,8 \times 10^3$)	26103 (± 10126)			$9,0 \times 10^7$ ($\pm 1,0 \times 10^8$)	$4,9 \times 10^4$ ($\pm 5,7 \times 10^4$)	$4,9 \times 10^3$ ($\pm 5,7 \times 10^3$)

Herausgeber:

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

Autoren:

Marcus Clauß, Annette Christiane Springorum, Stefan Linke
Thünen-Institut für Agrartechnologie, Bundesallee 47, 38116 Braunschweig
Telefon: +49 531 4253
Telefax: +49 531 4299
E-Mail: marcus.clauss@thuenen.de

Redaktion:

Michael Lohberger
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-5216
Telefax: +49 351 2612-5099
E-Mail: michael.lohberger@smul.sachsen.de

Fotos:

Marcus Clauß, Stefan Linke

Redaktionsschluss:

31.01.2018

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

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

Verteilerhinweis

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

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

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

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

