



# Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen

Endbericht Teil 1 zum  
Forschungsvorhaben P2110



luft





# **Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen**

**Endbericht Teil 1 zum  
Forschungsvorhaben P2110**

UmweltSpezial

## Impressum

Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Projekt-Koordination:

LfU, Referat 21

### Bearbeitung, Text, Konzept:

LfU, Ref. 21, 24, 25, 72; LGL, bifa Umweltinstitut, Ingenieurbüro Janicke, Ingenieurbüro Lohmeyer

### Redaktion:

LfU, Ref. 21, 24, 25, LGL

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

### Druck:

Eigendruck der Druckerei Bayerisches Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

### Stand:

Oktober 2015

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Anlass und Ziel des Projekts</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>10</b>
3.1	Beschreibung der Anlage	10
3.2	Mess-/Probenahmestellen	12
3.2.1	Emissionsmessstellen	12
3.2.2	Immissionsmessstellen	14
3.3	Untersuchungsprogramm	17
3.4	Mess-, Probenahme- und Analyseverfahren	17
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Emissionsmessungen</b>	<b>20</b>
4.1	Betriebsdaten	20
4.2	Volumenstrom	20
4.3	Staubemission	21
4.4	Ammoniakemission	23
4.5	Klimagasemission	23
4.6	Bioaerosolemmission	23
4.6.1	Gesamtbakterien in der Emission	23
4.6.2	Staphylokokken in der Emission	24
4.6.3	Enterokokken, MRSA, ESBL, Viren in der Emission	25
4.7	Artenspektrum der Bioaerosole	26
4.8	Screening-Ergebnisse Stallstaub	28
4.9	Endotoxinemission	28
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Immissionsmessungen</b>	<b>29</b>
5.1	Ammoniak- und Feinstaubimmissionen	29
5.2	Bioaerosolimmissionen	31
5.3	Endotoxinimmissionen	32
<b>6</b>	<b>Vergleichende Bewertung der Immissions-Messwerte mit der Immissionsprognose für den Leitparameter Staphylokokken</b>	<b>33</b>
6.1	Messkampagne I: Bioaerosolmessung im April 2013	33
6.2	Messkampagne II: Bioaerosolmessung im Juli 2013	35

6.3	Messkampagne III: Bioaerosolmessung im Oktober 2013	36
6.4	Messkampagne IV: Bioaerosolmessung im Januar 2014	37
6.5	Messkampagne V: Bioaerosolmessung im März 2014 mit zeitgleicher Tracergasmessung	38
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse für Staphylokokken</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>Empfehlungen für zukünftige Immissionsuntersuchungen bez. Bioaerosolen bei Masthähnchenställen</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Bewertung von emissionsmindernden Maßnahmen</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>65</b>

# 1 Zusammenfassung

Im Zeitraum vom 01.10.2012 bis zum 30.09.2015 führte das Bayerische Landesamt für Umwelt das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanzierte Vorhaben „Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen sowie Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen“ durch.

Der vorliegende Teil 1 des Endberichts stellt die Ergebnisse der zeitgleichen Emissions- und Immissionsmessungen von fünf Messkampagnen (I bis V) für Bioaerosole im Umfeld einer genehmigungsbedürftigen Mastgeflügelanlage vor und diskutiert die Unterschiede zu den prognostizierten Werten. Zudem wurden Emissionen für Staub, Ammoniak und Klimagase unter nahezu max. Emissionsbedingungen ermittelt und teilweise auch immissionsseitig erfasst. Bei der letzten Messkampagne (V) fand zeitgleich eine Tracergasmessung statt, um evtl. Einflüsse der Meteorologie auf Unterschiede zu den prognostizierten Werten auszuschließen und Aussagen über mögliche Absterberaten der Bioaerosole während der Transmission zu erhalten.

Die zeitgleichen Emissions- und Immissionsmessungen erfolgten im April, Juli, Oktober 2013 und Januar, März 2014 an einer Anlage mit bis zu 39.500 Mastgeflügelplätzen jeweils gegen Ende der Mastperiode.

## Ergebnisse:

- Mastgeflügelanlagen emittieren hohe Frachten an **Bioaerosolen**, die unter bestimmten Voraussetzungen auch immissionsseitig in der direkten Abgasfahne nachgewiesen werden können.
- Die **Gesamtbakterienfrachten** zur Endmast lagen emissionsseitig zwischen  $2,8 \cdot 10^8$  –  $2,6 \cdot 10^9$  KBE/s (KBE: Koloniebildende Einheit) und damit in der vergleichbaren Größenordnung, wie sie auch bei den umfangreichen Messungen von Gärtner [1] festgestellt wurde.
- Die Gesamtbakterienzahl der Hintergrundmessungen lag zwischen Werten unterhalb der Nachweisgrenze (1 KBE/Agarplatte, etwa 6 KBE/m<sup>3</sup>) und maximal 82 KBE/m<sup>3</sup>.
- Im Lee der Anlage (Ablufffahne) fanden sich Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (10 KBE/Agarplatte, etwa 60 KBE/m<sup>3</sup>) bis max.  $5,6 \cdot 10^4$  KBE/m<sup>3</sup>. Der Nachweis von Gesamtbakterien ist zunächst zur Plausibilitätsprüfung der Messung notwendig. Da Bakterien auch im Hintergrund vorkommen, sind sie als Summenparameter nicht eindeutig der Anlage zuzuordnen.
- Der Anteil des Summenleitparameters „**Staphylokokken**“ lag emissionsseitig bei einer Fracht zwischen  $1,9 \cdot 10^8$  –  $1,7 \cdot 10^9$  KBE/s, auch diese Größenordnung ist vergleichbar mit den Messergebnissen von Gärtner [1]. Die Gesamtbakterien wurden überwiegend durch Staphylokokken bestimmt.
- Im Luv zur Anlage (Hintergrund) war der Summenleitparameter „Staphylokokken“ nicht nachweisbar, er ist daher als Leitparameter für die Mastgeflügelanlage geeignet.
- Im Lee der Anlage (Ablufffahne) kam der Summenleitparameter „Staphylokokken“ bei einigen Messkampagnen (2013 Frühjahr/Herbst, 2014 Winter) noch in hohen Konzentrationen insbesondere im Nahbereich vor. Zu anderen Jahreszeiten lagen die Werte dagegen im Bereich der Bestimmungsgrenze (2013 Sommer, 2014 Frühjahr).
- Die nachgewiesenen Staphylokokken bestanden ausschließlich aus diversen koagulase-negativen Vertretern. Die Arten konnten überwiegend der Risikogruppe 1 (apathogen) zugeordnet werden. Darüber hinaus wurden aber emissions- wie immissionsseitig auch die Risikogruppe 2 Vertreter (fakultativ pathogen), vor allem *Staphylococcus saprophyticus*, als Bioaerosolbestandteil nachgewiesen.

- **Staphylococcus aureus oder multiresistente Bakterien** (MRSA/ESBL) konnten weder in der Emission (ESBL nicht quantifizierbares, sporadisches Vorkommen) noch in der Immission nachgewiesen werden. Der untersuchte Stall war in Bezug auf Hygiene sehr vorbildlich geführt. Bei keinem der untersuchten Mastdurchgänge wurden nach Aussage des Betreibers Antibiotika verabreicht. Dies ist nach Studien des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen [2] außergewöhnlich.
- **Enterokokken** waren nur in der Emission im Konzentrationsbereich von  $9,0 \cdot 10^2$  –  $7,1 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> bestimmbar und lagen damit um etwa 4 - 5 Zehnerpotenzen unterhalb der Staphylokokkenkonzentrationen. Durch die Verdünnung in der Außenluft war erwartungsgemäß keine Detektion über der Nachweisgrenze immissionsseitig mehr möglich.
- Sowohl in den untersuchten Impingerproben als auch in den Staubproben und Kotproben konnten in der Virologie des LGL keine **Chlamydien** und **Influenza-A-Viren** nachgewiesen werden.
- Der **Vergleich** zwischen **Prognose** und **Messung** des Summenleitparameters „Staphylokokken“ zeigte zum Teil eine deutliche Abweichung um bis zu einem Faktor vor  $10^3$ , wobei die gemessenen Werte unterhalb der prognostizierten lagen, zum Teil kam es aber auch zu guten Übereinstimmungen.
- Eine zeitgleich durchgeführte **Tracergasmessung** bei der letzten Messkampagne (V) machte deutlich, dass diese Abweichungen nicht durch eine Fehleinschätzung des Prognosemodells zu erklären waren. Während bei den Tracergasmessungen die max. Unterschiede zur Prognose um den Faktor 2 - 3 lagen, konnten bei der Bioaerosolmessung kaum mehr Staphylokokken nachgewiesen werden.  
Der zeitweise hohe Minderbefund von bis zu einem Faktor von  $10^3$  erklärt sich weder durch eine vermehrte Deposition noch sind derart hohe systematische Messungenauigkeiten beim Nachweisverfahren zu vermuten, zumal der Minderbefund am Tag der Tracergasmessung bei allen fünf Messreihen auftrat.
- Es ist daher wahrscheinlicher, dass Bakterien bei der Transmission bestimmten meteorologischen Bedingungen ausgesetzt sein können, die ihre Reproduktionsfähigkeit beeinflussen bzw. zu vermehrten Absterbeprozessen führen können. Dabei war gerade die kurzwellige UV-B Strahlung auffällig signifikant, aber auch das Zusammenwirken mit anderen Effekten zwischen Stallinnen- und Außenluft, wie z. B. Feuchteunterschiede und Ozon, könnten zusätzliche Stressfaktoren darstellen.
- Bei Ausbreitungsrechnungen ist vermutlich das bisherige Vorgehen in der Prognose für die Berechnung eines Jahresmittelwertes sehr konservativ, da unter bestimmten Voraussetzungen mit deutlichen Einflüssen auf die Vermehrungsfähigkeit bzw. das Absterbeverhalten der Bakterien während der Transmission zu rechnen ist.
- **Endotoxine** waren in der Emission im Konzentrationsbereich von 57,8 – 916 EU/m<sup>3</sup> (EU: Endotoxin Unit) bestimmbar. In den Immissionsproben konnten nur in 3 von 23 Proben Endotoxine überhaupt nachgewiesen werden, obwohl die Nachweisgrenze deutlich unterhalb des Konzentrationsniveaus der unbelasteten Außenluft lag (Außenluft 0,75 – 1,99 EU/m<sup>3</sup> nach [3]). Da die dominierende Bakteriengruppe durch Staphylokokken bestimmt war, diese als grampositive Bakterien wegen der fehlenden äußeren Lipopolysaccharid-Zellmembran keine Endotoxine bilden und zudem auch die Bioaerosolfracht an Endotoxinen relativ gering war, ist das Ergebnis durchaus plausibel.
- Die Ergebnisse der **Staubmessungen** ergaben ebenfalls plausible Werte, die im Vergleich zum Durchschnittswert der VDI 3894 Blatt 1 [4] erwartungsgemäß um den Faktor 4 höher lagen, da die Messungen alle zur Endmastphase bei maximaler Emission stattfanden.



Rund 40 % des Gesamtstaubs lag durchschnittlich als Feinstaub der Fraktion PM<sub>10</sub> vor, ca. 17 % als Feinstaub der Fraktion PM<sub>2,5</sub>.

- Immissionsseitig konnten keine zeitgleichen Luv- und Leemessungen der Feinstaubbelastung durchgeführt werden, da nur ein Immissionsmesswagen zur Verfügung stand. Aufgrund der Schwankungsbreite der Hintergrundbelastung war es nicht möglich die Zusatzbelastung durch die Anlage genau zu bestimmen. Insgesamt deutet dies eher auf eine relativ geringe zusätzliche Konzentration hin (ca. 1,0 – 3 µg/m<sup>3</sup> abhängig vom Standort).
- Die Ergebnisse der **Ammoniak**emissionsmessungen lagen mit Konzentrationen von 0,9 mg/m<sup>3</sup> – 5,8 mg/m<sup>3</sup> deutlich unterhalb des in Nr. 5.2.4 TA Luft angegebenen Wertes von 30 mg/m<sup>3</sup> und damit im Schnitt mit 0,044 kg/TP\*a etwas höher als der Konventionswert der VDI 3894 Blatt 1 von 0,035 kg/TP\*a, der sich auf ein mittleres Tiergewicht bezieht.
- Immissionsseitig konnte je nach Abstand zur Anlage eine Zusatzbelastung von 2 -3 µg/m<sup>3</sup> ermittelt werden. Ohne Anlageneinfluss lag die Hintergrundbelastung im Lee bei ca. 3 – 3,5 µg/m<sup>3</sup>. Durch Düngetätigkeiten im Frühjahr und im Herbst konnten aber auch kurzzeitige Spitzenwerte von über 30 µg/m<sup>3</sup> gemessen werden.
- Während der fünf Messkampagnen befanden sich sämtliche erfassten Halbstundenmittelwerte der kontinuierlichen Emissionsmessung der **Lachgaskonzentrationen** (N<sub>2</sub>O) stets unter der Bestimmungsgrenze des Messverfahrens von 5,0 mg/m<sup>3</sup>.
- Die Halbstundenmittelwerte der kontinuierlichen Emissionsmessung der **Methankonzentrationen** lagen bei < 0,1 mg/m<sup>3</sup> bis zu 1,7 mg/m<sup>3</sup>. Der Anteil von Methan-Kohlenstoff (C<sub>CH4</sub>) am emittierten organischen Gesamtkohlenstoff (C<sub>ges</sub>) lag zwischen 10 und 40 %.

### Ausblick

In Bayern ist bisher keine Masthähnchenanlage mit einer Abgasreinigung ausgestattet, da die Systeme technisch und wirtschaftlich noch nicht dem Stand der Technik entsprachen. Derzeit ist sowohl für die Kurz- als auch für die Schwermast eine Abgasreinigungsanlage in Bezug auf Ammoniak und Staub bei der DLG [5] zertifiziert, über die Bioaerosol- und Geruchsabscheidung lagen bis dato keine abschließenden Untersuchungsergebnisse vor. Eine Bewertung von Sekundärmaßnahmen ist daher zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Grundsätzlich wird aber davon ausgegangen, dass eine Staubreduzierung auch zur Bioaerosolminderung beiträgt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Zur Abklärung, welchen Einfluss UV-Strahlung und Ozon auf die Tenazität von Bioaerosolen haben, sollten künftig gezielte Untersuchungen im Labormaßstab unter standardisierten Bedingungen erfolgen. Bei der Bewertung der Belastungssituation könnten dann – zumindest im Jahresmittel – die im Labor ermittelten Absterberaten berücksichtigt werden.

Mit zunehmenden Anforderungen an das Tierwohl ist zukünftig insbesondere auch das Emissionsverhalten von Auslaufhaltungen weitergehend zu untersuchen.

## 2 Anlass und Ziel des Projekts

Die TA Luft [6] verlangt in Bezug auf Bioaerosole [7] für genehmigungsbedürftige Anlagen eine dem Stand der Technik entsprechende Minimierung zu prüfen. Vorgaben hierzu sind jedoch nicht angegeben.

Bisher wird vermutet, dass Bakterien hauptsächlich mit dem Feinstaub getragen werden und daher eine Staubreduzierung auch zur Bioaerosolreduzierung beiträgt. Immissionsprognosen werden daher gemäß VDI 4251 Blatt 3 [8] vorerst konservativ in Anlehnung an die Feinstaubausbreitung der Korngrößenklasse 1 erstellt. Eine direkte Korrelation der Bakterienanzahl mit der Feinstaubkonzentration konnte aber in [9] bisher noch nicht nachgewiesen werden.

Bisherige Untersuchungen zu Bioaerosolen beschränkten sich häufig auf punktuelle Emissionsmessungen von Gesamtbakterien, die nicht mit standardisierten Messmethoden und zudem vorrangig im Innenbereich der Stallanlagen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse aus Literaturrecherchen sind daher oft nicht vergleichbar und weisen hohe Spannweiten auf [10] [11] [12] [13]. Insgesamt zeigt sich, dass bei staubintensiven Mastgeflügelanlagen die höchsten Bioaerosolfrachten auftreten. Dabei wurden die Bakterien zum Teil noch in 500 m Entfernung zur Stallanlage nachgewiesen [14]. Stallungen mit einstreuloser Schweinehaltung liegen ebenso wie Rinderhaltungen dagegen in Bezug auf die Gesamtbakterienemission deutlich niedriger, sodass für die Immissionsbetrachtung zunächst die Geflügelanlagen im Fokus stehen.

Über mögliche Absterbeprozesse von Bioaerosolen beim Übertritt aus den konstanten Stallbedingungen in die Außenluft ist ebenso wenig bekannt wie über deren genaues Ausbreitungsverhalten bei der Transmission, wie z. B. mögliche Depositionsraten.

VDI-Richtlinien zur einheitlichen Vorgehensweise von Bioaerosolmessungen wurden erst in den letzten Jahren erarbeitet. Die VDI Richtlinienreihe zu Bioaerosolen wird ständig weiterentwickelt und verbessert, sodass zukünftig eine durchgängig standardisierte Mess- und Auswertemethode zu erwarten ist. Derzeit fehlen insbesondere bei der Immissionsmessung noch praktische Erfahrungen mit der Umsetzung der einschlägigen Richtlinien. So sind die Anforderungen an die Fahnenmessung nach VDI 4251 Blatt 1 [15] wegen des hohen Aufwandes wirtschaftlich und personell schwer umsetzbar und müssten praxisingerechter werden.

Zudem sind kaum wissenschaftliche Untersuchungen bzw. Erkenntnisse über mögliche Dosis-Wirkungsbeziehungen vorhanden, sodass Grenzwerte für den Vollzug bis dato nicht abgeleitet werden können [16]. Eine Unterarbeitsgruppe der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat einen Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosolimmissionen erstellt [17], der derzeit in der Vollzugspraxis über zwei Jahre erprobt werden soll.

Um genauere Erkenntnisse über das Ausbreitungsverhalten von Bioaerosolen zu gewinnen, führte das Bayerische Landesamt für Umwelt im Zeitraum vom 01.10.2012 bis zum 30.09.2015 das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanzierte Vorhaben „Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen sowie Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen“ durch. Der vorliegende Teilbericht 1 befasst sich ausschließlich mit der Ermittlung von Bioaerosolen im Umfeld von Mastgeflügelanlagen und wurde in Zusammenarbeit mit dem

- Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Bestimmung von Bioaerosolen),
- bifa Umweltinstitut GmbH (Bestimmung von Endotoxinen),
- Ingenieurbüro Janicke (Ausbreitungsrechnungen) und
- Ingenieurbüro Lohmeyer (Tracergasmessung)

durchgeführt.

Ziel des Projektes war es

- durch zeitgleiche Emissions- und Immissionsmessungen das Belastungspotential im Umfeld einer Mastgeflügelanlage abzuschätzen,
- eine vergleichende Bewertung mit Hilfe einer Immissionsprognose durchzuführen und
- soweit möglich emissionsmindernde Maßnahmen zu diskutieren.

Dabei sollten unter Verwendung von standardisierten Messverfahren neben Bioaerosolen und deren relevanten Einzelspezies auch weitere Randparameter, wie z. B. Staub und Ammoniak sowie die Endotoxinbelastung, erfasst werden. Zudem erfolgte eine emissionsseitige Erfassung von Klimagasen.

Alle Messungen wurden jeweils gegen Ende der Mastperiode durchgeführt und geben daher den Zustand maximaler Emissionen und Immissionsbelastungen wieder. Es handelt sich bei den Werten demzufolge nicht um durchschnittliche, sondern maximale Emissionsfaktoren für Mastgeflügelanlagen.

Da sich im Laufe des Projektes hohe Diskrepanzen zwischen Messung und Prognose ergaben, wurden auch Tracergasmessungen und Rauchversuche durchgeführt (siehe Anlage II „Tracergasmessungen an einer Geflügelmastanlage“ und Anlage III „Ausbreitungsrechnungen für eine Masthähnchenanlage“).

Vorliegender Bericht fasst die Ergebnisse der fünf Messkampagnen der im Zeitraum vom 16.04.2013 bis 20.03.2014 an einer Masthähnchenanlage durchgeführten zeitgleichen Emissions- und Immissionsmessungen als Endbericht-Teil 1 zum o. g. Forschungsvorhaben zusammen.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Beschreibung der Anlage

In der untersuchten Masthähnchenanlage (siehe Abb. 1) werden bis zu 39.500 Tiere auf einer Stallfläche von 1.700 m<sup>2</sup> gehalten (siehe Anhang, Tab. 12).



Abb. 1: Außenansicht der Masthähnchenanlage



Abb. 2: Innenansicht des Stalles bei einem Tierbesatz von 38.000 Masthähnchen

Das nächste Wohngebiet befindet sich in einem Abstand von mehr als 550 m zur Anlage. Der Abstand zum nächsten benachbarten Wohnhaus im Gewerbegebiet beträgt ca. 340 m, zum nächsten Wohnhaus im Außenbereich ca. 335 m.

Zur Stallanlage gehören drei Futtersilos mit insgesamt 60 t Fassungsvermögen. Die Hähnchenmast erfolgt in Bodenhaltung. Die Tiere können sich auf einer ca. 6 cm dicken Einstreu aus gepressten Strohpellets auf der gesamten Stallfläche bewegen (siehe Abb. 2).

**Heizung.** Vor dem Einstellen wird der Stall mittels Gasgebläseheizung auf 32 °C vorgewärmt. Nach der Belegung soll die Stallinnentemperatur in der ersten Woche über 30 °C betragen und dann auf ca. 22 °C langsam abgesenkt werden. Je nach Außentemperatur ist daher eine Zusatzheizung in den ersten Tagen notwendig.

**Mastprinzip.** Die Tiere werden im Splittingverfahren (Vorfang) gemästet. Die Hähnchenküken werden mit einem Anfangsgewicht von ca. 50 g eingestallt. Um den 30. Masttag werden ca. 30 % der eingestellten Tiere herausgefangen und als Vormasttiere geschlachtet. Das Schlachtgewicht der Vormasttiere beträgt dabei ca. 1.500 g. Nach einer weiteren Mastwoche werden die Endmasttiere mit einem Gewicht von ca. 2.200 g dann zum Schlachten abgeholt (Abb. 3). Die max. Besatzdichte von ca. 35 kg/m<sup>2</sup> kann daher über den gesamten Mastverlauf eingehalten werden (Abb. 4).

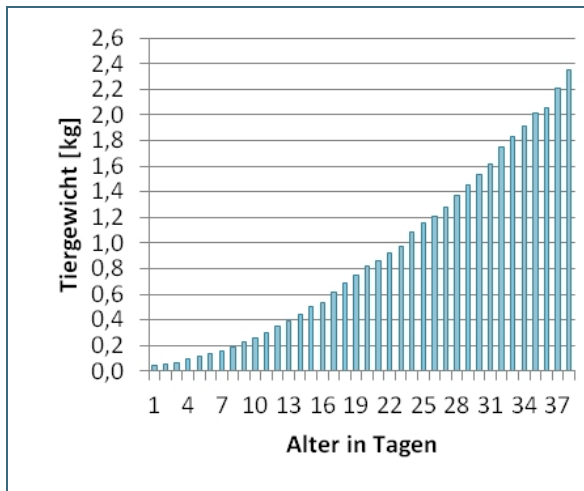


Abb. 3: Wachstumskurve eines Mastdurchganges

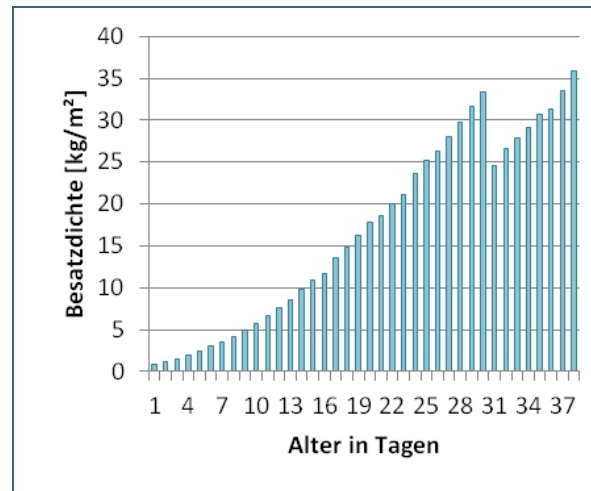


Abb. 4: Besatzdichte eines Durchganges

**Entmistung und Reinigung.** Nach Mastende am 37. Masttag wird der komplette Stall geleert, entmistet (Trockenmistanfall ca. 85 m<sup>3</sup>/Durchgang) und für die nächste Mastperiode mit einem Hochdruckreiniger gereinigt und desinfiziert. Zusätzlich werden die Innenwände der Abluftkamine mit einem eigens angefertigten Hochdruckreinigersystem von oben über das Dach gesäubert.

**Fütterung.** Die Futtermengen sind im Anhang in Tab. 7 zusammengestellt. Die Tiere fressen aus Kunststofffutterschalen, die über eine Förderkette mit den Futtersilos verbunden sind. Die Wasseraufnahme findet über Nippeltränken einer Strangtränkeanlage statt. Um tropfendes Wasser auf die Einstreu zu verhindern, befinden sich unter den Nippeln Auffangschalen.

**Tiergesundheit (Medikamenteneinsatz/Impfungen).** Die Tiere werden sprühgeimpft eingestallt und erhalten am 12. Tag mit N-D Lasota (Immunisierung gegen die Newcastle-Krankheit – atypische Geflügelpest) sowie am 16. Tag mit Gumboro (Immunisierung gegen die infektiöse Bursitis – Virusinfektion) die Impfstoffgabe über das Trinkwasser. Eine Antibiotikagabe erfolgte für die untersuchten Mastdurchgänge nach Aussage des Betreibers nicht.

**Lüftung.** Das Stallgebäude ist mit einer Unterdruck-Zwangsentlüftungsanlage ausgestattet. Die Lüftung (Frischlufzufuhr und Ablufführung) wird abhängig von der Außentemperatur und dem jeweiligen Tiergewicht gesteuert. Dabei wird die Abluft zentral über 6 Abluftkamine am Ende des Stalles abgeführt (Tunnellüftung Abb. 5).

Die Frischlufzufuhr erfolgt über eine Vielzahl von regelbaren Zuluftklappen (Wandventile) an den Seitenwänden längs des Stallgebäudes. Bei niedrigen Außentemperaturen kann die Frischluft zusätzlich über zwei im Stallinnenraum im Deckenbereich befindliche Gasheizungen erwärmt werden (Abb. 5). Seitlich der Anlage befindet sich ein Wärmetauscher. Im Luftvorwärmer wird die kühlere Frischluft aus der Umgebung mit Hilfe eines Luft/Luft-Kreuzstromwärmetauschers mit aus dem Stall stammender, wärmerer Abluft, die zuvor mit Filterpatronen von Staub befreit wurde, vorgewärmt. Beim Betrieb des Wärmetauschers gelangt ein Teil der Abluft über den Kamin auf dem Containeraufbau in die Außenluft (Abb. 6). Der Wärmetauscher dient zudem zur Entfeuchtung der Zuluft, um so das Stallklima weiter zu verbessern.



Abb. 5: Ansicht Stallgebäude



Abb. 6: Wärmetauscher

Während der Hitzeperioden im Sommer erfolgt eine zusätzliche Ablufführung über die in WNW-Richtung ausblasenden fünf Wandventilatoren an der Giebelseite (sog. Sommerlüftung) in die Umgebung (Abb. 11).

Der Klimacomputer der Lüftungsanlage steuert die Lüftung stufenlos über einen in der Leistung variablen (stufenlos bis 100 %) Dachventilator in Verbindung mit den weiteren Ventilatoren mit fixer Lüftungsleistung (nur 100 %). Erreicht der variable Ventilator die Leistungsstufe 100 % wird ein Ventilator mit fixer Leistungsstufe zugeschaltet und der variable Ventilator zurückgefahren (MultiStep®-Prinzip). Dieses Procedere gewährleistet eine nahezu stufenlose Regulierung der Lüftungsleistung bis zur maximalen Lüftungsrate, bei der alle sechs Ventilatoren in den Dachkaminen und fünf Wandventilatoren an der Giebelseite mit 100 % Leistung in Betrieb sind.

Bei großer Hitze lässt sich die Temperatur der Stallinnenraumluft zusätzlich durch Versprühen von Wasser mit Düsen im Deckenbereich senken (sog. Sprühkühlung).

Während der hier aufgeführten Untersuchungen war der Luftvorwärmer wegen des unerwünschten Beitrags als zusätzliche Emissionsquelle für die Ausbreitungsrechnungen bzw. Immissionsmessungen manuell in der Regel ausgeschaltet (nur während der Kampagne I vormittags bis 10:30 Uhr (MEZ) in Betrieb). Aus Gründen des Tierschutzes bzw. -wohls und um möglichst realistische Emissionssituationen zu erfassen, blieb die Lüftungsanlage auch während der Messung im Automatikbetrieb. Die Wandventilatoren an der Giebelseite des Stalles in WNW-Richtung waren aus diesem Grund bei den Messungen im April 2013 vereinzelt und im Juli 2013 z.T. komplett mit in Betrieb.

## 3.2 Mess-/Probenahmestellen

### 3.2.1 Emissionsmessstellen

Die Abgasmessungen und -probenahmen fanden stellvertretend an zwei der sechs Abluftkamine sowie ggf. an einem der fünf Wandventilatoren der Masthähnchenanlage statt (siehe Abb. 8 und Abb. 13). Sowohl der Kamin 1 mit regelbarem Ventilator als auch Kamin 2 mit nicht regelbarem Volumenstrom wurden mit Messöffnungen versehen.

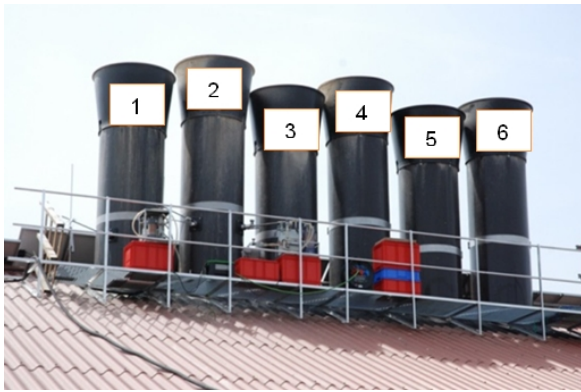


Abb. 7: Emissionsquellen der Masthähnchenanlage (Abluftkamine 1 bis 6)



Abb. 8: Bioaerosol-Probenahme mit einem Emissions-Impinger an Kamin 2

Der Abgasvolumenstrom wurde durch kontinuierliche und diskontinuierliche Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Kamin 1 mit variabler Leistungsstufe und im Kamin 2 mit fixer Leistungsstufe ermittelt. Die Strömungsprofile wurden anhand von Netzmessungen bestimmt.

Hinsichtlich der Ein- und Auslaufstrecken entsprachen die Messstellen (siehe Anhang, Tab. 8) aufgrund zu geringer Länge nicht den Empfehlungen der DIN EN 15259 [18]. Eine Überprüfung der Strömungsgeschwindigkeitsprofile in den Abgaskaminen ergab aber homogene Verhältnisse. Damit waren die Messquerschnitte für die Ermittlung der Emissionsparameter geeignet.

Die Abgasmessungen und -probenahmen fanden jeweils an einem repräsentativen Punkt (maximale Abgasgeschwindigkeit) im Messquerschnitt im Kamin 2 statt. Für die kontinuierlichen Messungen wurde das Abgas direkt in den Emissionsmesswagen geleitet und analysiert (Abb. 9 und Abb. 10).

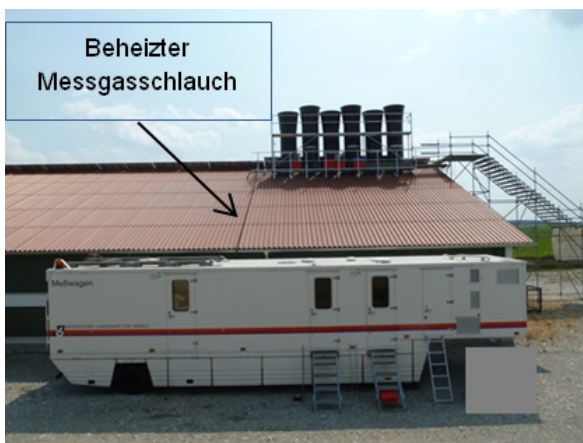


Abb. 9: Emissions-Messwagen für kontinuierliche Messungen



Abb. 10: Analyse/Aufzeichnung der kontinuierlichen Messparameter im Emissionsmesswagen

Während der ersten zwei Messkampagnen gingen zusätzlich zu den Dachkaminen auch einzelne Wandventilatoren an der Giebelseite in Betrieb. Die Anzahl und Uhrzeit der mit 100 % Leistung in Betrieb gehenden Wandventilatoren wurden dokumentiert und der zusätzliche Volumenstrom anhand Netzmessungen der Abgasströmungsgeschwindigkeiten berücksichtigt (Abb. 12, Abb. 13). Eine Überprüfung der Messwerte mit den Kennlinien der Ventilatoren ergab plausible Ergebnisse.



Abb. 11: Wandventilatoren 1 bis 5 an der Giebelseite



Abb. 12: Netzmessung mit einem Flügelradanemometer



Abb. 13: Bioaerosolprobenahme am Giebellüfter

Da an der Anlage keine automatische Datenaufzeichnung der gesamten Lüftungssteuerung vorhanden war, wurde ab der Messkampagne II die Betriebsanzeige der laufenden Lüfter am Klimacomputer (Abb. 15) jede Minute fotografisch dokumentiert (Abb. 14). Der Gesamtvolumenstrom wurde dann aus den erhobenen Daten für alle aktiven Emissionsquellen ermittelt.

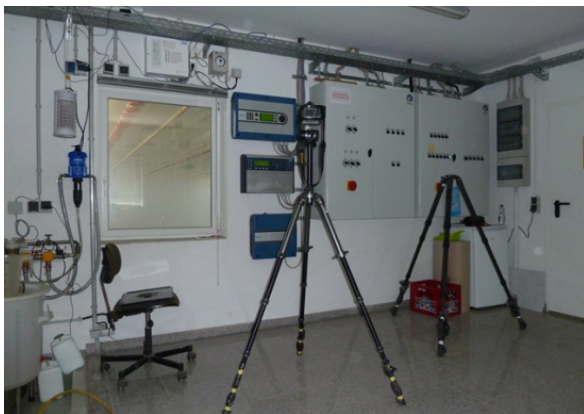


Abb. 14: Fotodokumentation der Betriebsanzeigen



Abb. 15: Display Klimacomputer und Schaltkasten

### 3.2.2 Immissionsmessstellen

Die **Immissionsmessungen** wurden in Anlehnung an die VDI 4251 Blatt1 „Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Planung von anlagenbezogenen Immissionsmessungen - Fahnenmessung“ durchgeführt [15]. Bisher wurden bei Mastgeflügelanlagen im Bereich von 40.000 Tierplätzen nach Nr. 5.4.7.1 TA Luft aufgrund der Geruchsbelastungen Mindestabstände von 250 m gefordert. Die VDI 4250 Blatt 1 spricht generell von 500 m Mindestabstand zu Geflügelanlagen in All-einlage; werden diese nicht eingehalten oder sind relevante Vorbelastungen durch andere bioaerosolemittierende Anlagen vorhanden, so ist tiefergehend zu prüfen.

Der Messfächer (siehe Abb. 16) nach VDI 4251 Blatt1 wurde daher so aufgebaut, dass i. d. R. der Mittelstrahl in 100 m (I1), 200 m (I2) und ca. 500 m (I3) Abstand zur Anlage lag. Zudem wurden zwei Seitenstrahlmessungen jeweils im 30° Winkel zum Mittelstrahl durchgeführt, die meist im Abstand von 200 m (I4 und I5) zur Anlage lagen. Für die Bioaerosol-Probenahmestellen wurden insgesamt fünf Immissionsorte im Lee, sowie ein Immissionsort im Luv (als Hintergrundmessung) ausgewählt.

Abb. 22 zeigt exemplarisch die Lage der einzelnen Messpunkte der Messkampagne im Frühjahr 2014.



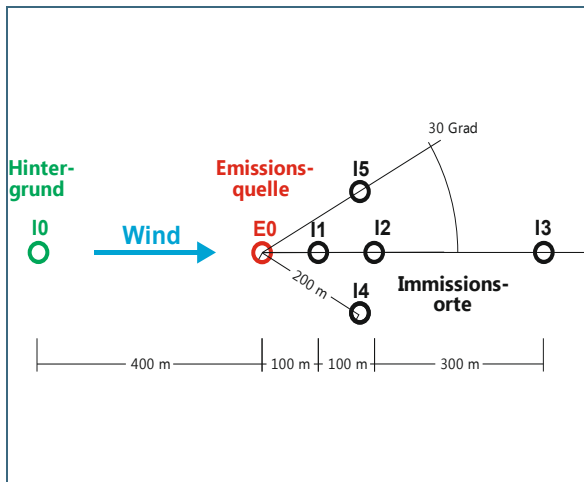


Abb. 16: Bioaerosol-Probenahmestandorte in Anlehnung an die VDI 4251 Blatt1 (I0 = Hintergrund, E0 = Emission, I1-I5 = Immission)



Abb. 17: Messaufbau des Mittelstrahles mit I1, I2 und I3 zur Messkampagne im März 2014

Das Untersuchungsprogramm an der Masthähnchenanlage begann in der 16. KW 2013 und wurde in der 29. und der 43. KW fortgesetzt. Im Jahr 2014 wurden eine Wintermessung in der 5. KW sowie eine Messung im Übergang vom Winter zum Frühling in der 12. KW mit einer zeitgleichen Tracergasmessung durchgeführt. Für jede Messstelle wurden ein Stromaggregat, eine Pumpe mit Trockenturm, ein Stativ (1,5 m Höhe), sowie 3 parallel geschaltete Impinger benötigt (Abb. 18). Im Winter musste die Impingerflüssigkeit in einem beheizten Wasserbad von dem Einfrieren geschützt werden (Abb. 19). Jede Messstelle erforderte eine Betreuungsperson während des Messzeitraumes.

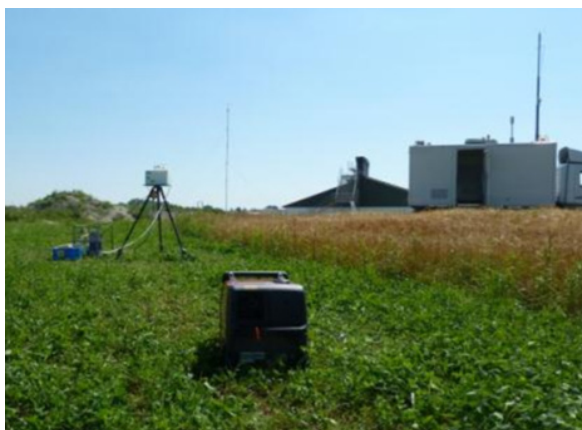


Abb. 18: Messequipment (Stromaggregat, Stativ, Trockenturm mit Pumpe und Gasuhr,..)

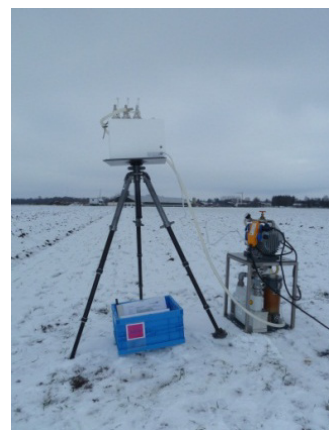


Abb. 19: Bioaerosol-Immissionsprobenahme im Winter mit beheiztem Wasserbad

Ammoniak, Staub und meteorologische Daten wurden im Umfeld der Anlage zusätzlich kontinuierlich an einem Messpunkt erfasst. Dabei wurde versucht den Immissions-Messwagen tagsüber möglichst gut ins Lee der Anlage zu stellen (siehe Abb. 20). Zur Erfassung der meteorologischen Bedingungen (Turbulenz, Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit) wurden während der Messkampagnen die 3 Minuten-Werte des USA1-Ultraschall-Anemometers in 10 m Höhe verwendet und mit den Datenaufzeichnungen des Immissionsmesswagens auf Plausibilität geprüft (Abb. 21).



Abb. 20: Standort des Immissionsmesswagens im Lee



Abb. 21: Standort des 10 m hohen Windmastes (USA1- Ultraschall-Anemometer)

Das Gelände um die Anlage war eben und gut zugänglich, Vorbelastungen durch andere Betriebe waren nicht vorhanden (siehe Abb. 22).

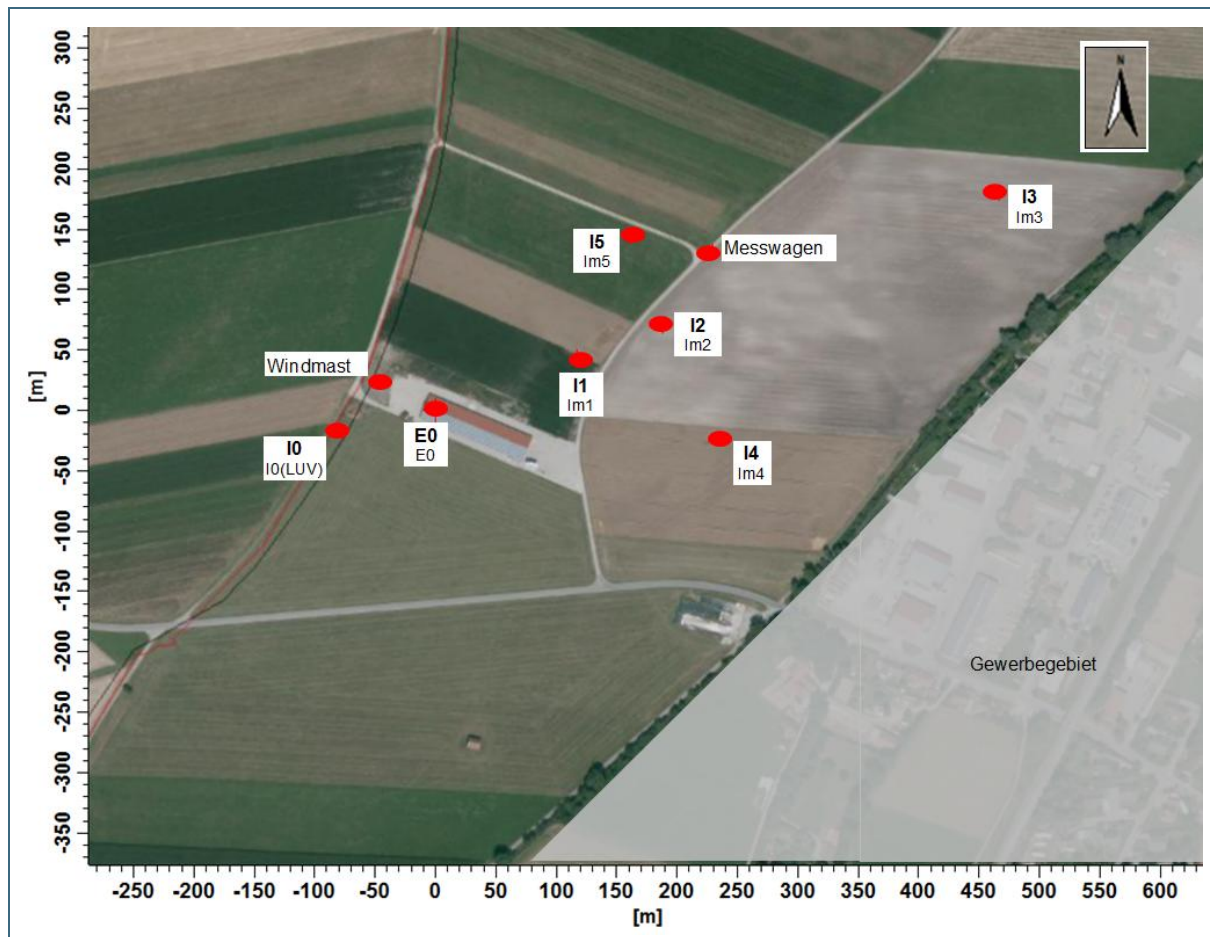


Abb. 22: Lage der Messpunkte vormittags am 18.03.2014 während der zeitgleichen Tracergas- und Bioaerosolmessungen (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [<http://www.geodaten.bayern.de>])

### 3.3 Untersuchungsprogramm

**Messstrategie Bioaerosole/Endotoxine/Viren.** Durch zeitgleiche Emissions- und Immissionsmessungen wurden die Bioaerosol- und Endotoxinbelastungen im Umfeld der Masthähnchenanlage zu Zeiten hoher Emissionen bestimmt. Dabei wurden durch Fahnenmessungen die Immissionskonzentrationen im Lee der Masthähnchenanlage ermittelt und mit der gleichzeitig gemessenen lokalen Hintergrundkonzentration, die in Luv der Anlage bestimmt wurde, verglichen. Insgesamt wurden fünf Messkampagnen zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt. Pro Messkampagne wurden 2 - 5 Wiederholungsmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurden Staubproben jeweils im Stallinneren von Ablagerungen auf leicht zugänglichen Oberflächen genommen, sowie aus der Innenwandung des Emissionskamins geschabt und auf verschiedenste Bioaerosolparameter und Viren untersucht.

**Untersuchungsparameter.** Zur Bestimmung der Volumenströme wurden die Abgastemperatur, die Abgasfeuchte und die Abgasströmungsgeschwindigkeit an den repräsentativen Emissionsquellen kontinuierlich bzw. diskontinuierlich erfasst. Auch die Bestimmung der Konzentrationen an organischen Stoffen (angegeben als Gesamtkohlenstoff,  $C_{ges}$ ) und an Methankohlenstoff ( $C_{CH_4}$ ) sowie Distickstoffmonoxid ( $N_2O$ ) erfolgte kontinuierlich.

Diskontinuierlich wurden pro Messkampagne die Emissionsgehalte an Gesamtstaub, Feinstaub ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ) und Ammoniak ( $NH_3$ ) bestimmt. Immissionsseitig wurde die Ammoniak- und Feinstaubkonzentration während der einzelnen Messkampagnen kontinuierlich an einem Messpunkt in der Fahne erfasst.

Die Bioaerosolmessungen fanden zeitgleich an den Emissionsquellen (am Kamin 2 mit fixem Abluftvolumenstrom auf dem Dach bzw. ggf. an einem der fünf Wandventilatoren auf der Giebelseite des Stalles) sowie an den sechs Immissionsorten statt. Um möglichst den Zustand mit hohen Emissionen und Immissionen während einer Mastperiode zu erfassen, wurden die Messkampagnen jeweils in der vierten bzw. fünften Mastwoche der Masthähnchen kurz vor dem Rausfangen durchgeführt.

### 3.4 Mess-, Probenahme- und Analyseverfahren

In Tab. 8 und Tab. 9 im Anhang sind die für die Abgasuntersuchungen angewandten Mess- und Probenahmeverfahren sowie die Analysenmethoden mit Angabe der einschlägigen DIN EN-Normen und VDI-Richtlinien aufgeführt. Die jeweiligen Messunsicherheiten werden ebenfalls im Anhang in Tab. 11 soweit möglich dargestellt bzw. unter Punkt 7 diskutiert.

Zur Anlage wurde ein detaillierter Emissionsmessbericht angefertigt. Dieser kann in anonymisierter Form beim Landesamt für Umwelt angefordert werden.

Die Erfassung luftgetragener **Endotoxine** erfolgte durch den quantitativen Nachweis in Impingerflüssigkeiten und Feinstaubfiltern. Die Probenahme zur Bestimmung der Endotoxine im Feinstaub ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ ) des Abgases erfolgte analog zum Feinstaub, jedoch mit steriler und pyrogenfreier Ausstattung in Anlehnung an die BIA 9450-Methodik. Die Endotoxinbestimmung wurde mit dem chromogen-kinetischen *Limulus*-Amoebocyten-Lysat-Test (LAL) durchgeführt. Die genaue Vorgehensweise kann der Anlage I im Endotoxin-Zwischenbericht „Bioaerosolbelastung und AGR-Anlagen: Quantifizierung luftgetragene Endotoxine“ entnommen werden.

**Bioaerosolprobenahme.** Für die Emissions-Untersuchung von **Bakterien** im Abgas wurde ein Emissions-Impinger [19] eingesetzt (Abb. 23). Bei den Immissionsmessungen wurden bei den ersten 4 Messkampagnen je Messpunkt drei Immissions-Impinger (AGI 30) [20] parallel betrieben und deren Sorptionslösungen zu einer Sammelprobe vereint, um eine ausreichend große Menge Probenlösung für die Analytik zu erhalten (Abb. 24). Während der letzten Messkampagne wurden je Messung nur ein Impinger verwendet und die Analytik auf den Leitparameter Staphylokokken beschränkt, um so den Aufwand der laborseitigen Auswertungen im möglichen Rahmen zu halten. Zur Qualitätssiche-

ung wurde pro Messtag je ein Feldblindwert am Emissionsmesspunkt sowie an einem Immissionsmesspunkt genommen.



Abb. 23: Probenahme mit einem Emissions-Impinger



Abb. 24: Eine Immissions-sammelprobe mit drei parallel angeordneten Immissions-Impingern

Um evtl. Absterberaten durch Antrocknen an den Bogen der Impinger während des Transportes zum Labor zu verhindern, wurde sofort nach jeder Messung eine Spülung sämtlicher Impinger und der Probenahmesonde im Laborwagen des Landesamtes (Abb. 25 u. Abb. 26) durchgeführt und die Spülflüssigkeit mit der Sammelflüssigkeit vereint (Abb. 27).



Abb. 25: Laborwagen des Landesamtes für Umwelt



Abb. 26: Laborwagen innen, Probenvorbereitung

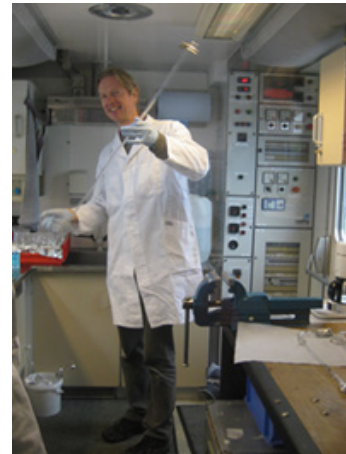


Abb. 27: Spülen der Messsonde

Mittels kulturabhängiger Nachweisverfahren wurden die Bioaerosolproben zeitnah mit Hilfe eines indirekten Verfahrens über serielle Verdünnungsstufen gemäß Richtlinie VDI 4253 Blatt 3 aufgearbeitet (Abb. 28). Das Ausplattieren erfolgte je in 3fach Parallelen mit je 100 µl Aliquots direkt aus der Sorptionslösung sowie mit je 100 µl Aliquots aus den Verdünnungsstufen. Zusätzlich wurde 1 ml Sorptionsflüssigkeit in Form von 4 x 250 µl auf feste Nährmedien verbracht. Bei Proben mit zu erwartenden niedrigen bakteriellen Belastungen/Ausbeuten wurde i.d.R. ein zusätzlicher Filtrationsansatz mit 10 ml der Sorptions-Stammlösung durchgeführt, wodurch die Bestimmungsgrenze hier weiter gesenkt wurde. Dieser Filtrationsansatz wurde insbesondere bei Immissionsproben sowie bei den Ansätzen mit Selektivnährböden gewählt, sofern hier ausreichend Probenmaterial zur Verfügung stand. Der mögliche Einfluss der Filtration auf die Ergebnisse der Immissionsproben (Minderbefund) wird unter Abschnitt 7 C) diskutiert.

Die Bakterienkonzentration wurde nach aerober Inkubation für 44 ( $\pm 4$ ) Stunden bei 36 ( $\pm 2$ ) °C auf CASO-Agar zur Plausibilität in ihrer „Gesamtheit“ bestimmt. Zudem kamen Selektivnährmedien zum Einsatz, um mögliche humanpathogene Bakterienstämme (wie z. B. *Staphylococcus aureus*, Enterokokken, Vertreter der Enterobacteriaceae, *Campylobacter spp.*) ggf. direkt aus den Proben zu identifizieren (siehe Anhang, Tab. 10).

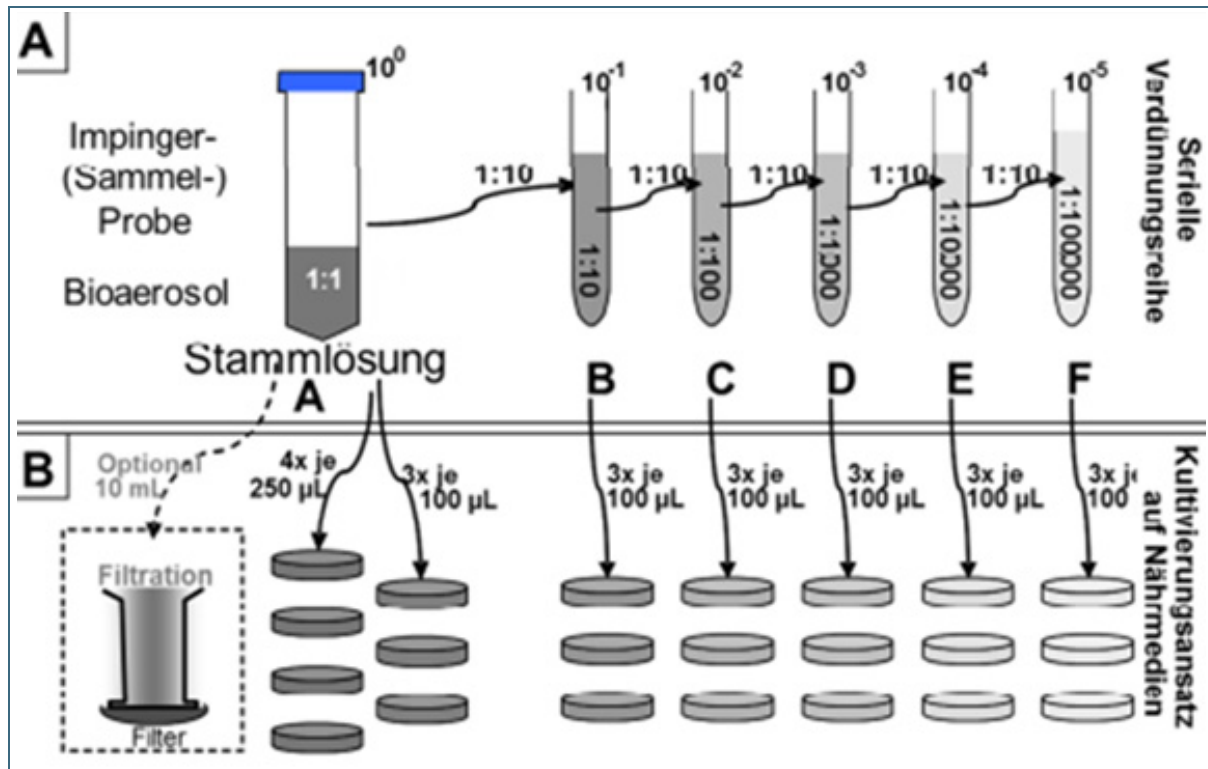


Abb. 28: Aufarbeitungsschema für Bioaerosolproben. (A) Erstellung serieller Verdünnungsreihen und (B) nachfolgender kultureller Ansatz über Filtration oder Ausplattieren auf Nähragarböden in 3fach Parallelen (Quelle: LGL)

Da es sich um verschiedene Nährböden handelt, kann es bei einer hohen Anzahl von Gesamtbakterien durchaus vorkommen, dass ein dominanter Bakterienstamm auf einem anderen Selektivnährmedium die Gesamtbakterienzahl übersteigt. Dieser Effekt erklärt sich durch die Wachstumskonkurrenz der Bakterien untereinander, die auf einem nicht selektiven Nährboden stärker auftritt, als bei selektiven Nährböden. Auch bei den vorliegenden Emissionsmessungen traten diese Effekte vereinzelt auf.

Die Bestimmungs- und die Nachweisgrenze wird beim kulturellen Nachweis durch das Koloniewachstum auf der untersten Verdünnungsstufe (bzw. bei Aufkonzentrierung durch Filtration auf den entsprechenden Filtern) bestimmt.

Die Nachweisgrenze ist hierbei generell durch Wachstum einer KBE / Agarplatte definiert.

Die Bestimmungsgrenze, die maßgeblich für die quantitative Auswertbarkeit ist, ist durch Wachstum von mindestens 10 Koloniebildenden Einheiten (KBE) auf den Platten der niedrigsten Verdünnungsstufe (bzw. auf den Filtern bei Aufkonzentrierung) definiert. Die realen Grenzen sind für jede Probe individuell verschieden und hängen neben der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufe, bei i.d.R. standardisierter Probenahmedauer, im Wesentlichen von der tatsächlich gesammelten Luftmenge ab. Ergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze sind quantitativ nicht zu bewerten.

Für die Virenanalytik wurde im LGL eine Nucleinsäureextraktion mit anschließender Real Time PCR sowohl für die Impingerproben als auch für die Staub- und Kotproben durchgeführt. Untersucht wurde auf Influenza A Virus und Chlamydien-DNA.

## 4 Ergebnisse der Emissionsmessungen

### 4.1 Betriebsdaten

Die Durchführung der Abgasmessungen fand bei allen Jahreszeiten jeweils zum Ende der Mastperiode vor dem Rausfangen der Tiere, d. h. etwa 7 – 13 Tage vor der Ausstallung der in der Endmast verbliebenen Tiere, statt (siehe Tab. 1). Nach Gärtner [21] ist bekannt, dass die Zeit kurz vor dem Rausfangen der Tiere am emissionsintensivsten ist. Die Tiere sind zu diesem Zeitpunkt noch relativ agil und haben auch noch Bewegungsfreiheit. Nach dem Rausfangen ist die Tieranzahl wesentlich geringer und die Aktivität der Tiere nimmt mit zunehmendem Tiergewicht i. d. R. ab.

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Anzahl der Tiere, den jeweiligen Masttag sowie das Gewicht während der einzelnen Messkampagnen.

Tab. 1: Zusammenstellung der Tierbestandszahlen über die fünf Messkampagnen an der Masthähnchenanlage

Masthähnchenanlage	Kampagne I	Kampagne II	Kampagne III	Kampagne IV	Kampagne V
Messzeitraum	15.-17.04.2013	15.-17.07.2013	21.-23.10.2013	27.-30.01.2014	17.-20.03.2014
<b>Tierzahl</b>	38.000	37.000	38.000	37.000	35.500
<b>Einstallen</b>	19.03.2013	24.06.2013	30.09.2013	04.01.2014	21.02.2014
<b>Rausfangen</b> (ca. 25 - 30% des Tierbestandes)	18.04.2013	24.07.2013	30.10.2013	03.02.2014	25.03.2014
<b>Ausstallen</b>	25.04.2013	31.07.2013	07.11.2013	12.02.2014	31.03.2014
<b>Messtag Bioaerosole</b>	16.04.2013	16.07.2013	22.10.2014	29.01.2014	18.03.2014
<b>Masttag am Messtag Bioaerosole</b>	28. Masttag	22. Masttag	22. Masttag	25. Masttag	25. Masttag
<b>Tiergewicht (Ø) am Messtag Bioaerosole</b>	1350 g	868 g	922 g	1183 g	1106 g
<b>Tierlebensmasse am Messtag Bioaerosole</b> (GV: Großvieheinheit = 500 kg Lebendtiermasse)	102,6 GV	64,2 GV	70,1 GV	87,5 GV	78,5 GV

Wesentliche Kenndaten der Masthähnchenanlage während der fünf Messkampagnen im April, Juli und Oktober 2013 sowie im Januar und März 2014 sind im Anhang in Tab. 14 bis Tab. 19 zusammengefasst.

### 4.2 Volumenstrom

Bei den Zusammenstellungen der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Frachten der einzelnen Parameter Gesamtstaub, Feinstaub, Ammoniak und Bioaerosole sind die temporär vorherrschenden Volumenströme jeweils mit angegeben (siehe Anhang, Tab. 20 bis Tab. 24). Bei hohen Temperaturen im Sommer 2013 (24°C) erreichte der Volumenstrom Werte von ca. 260.000 m³/h (s. nachfolgende Tab. 2), während bei niedrigen Temperaturen im Januar 2014 (-1°C) der Volumenstrom bei ca. 34.000 m³/h lag. Da die Lüftung temperaturgesteuert war, konnten auch während eines

einzelnen Messtages - insbesondere nach Zuschaltung von Wandlüftern an der Giebelseite bei steigenden Außentemperaturen – hohe Schwankungen zwischen Vormittags- und Nachmittagsmessungen auftreten (Tab. 2). Ansonsten ergaben sich die Unterschiede durch die jeweilige Auslastung des variablen Lüfters, die kontinuierlich an einem Messpunkt (Punktmessung) mit einem Flügelradanemometer festgehalten wurde. Anhand des Verhältnisses von Punkt- zur Netzmessung wurde die Unsicherheit der Punktmessung für jede Messung korrigiert.

Tab. 2: Volumenströme an den Dachkaminen und den Seitenwandlüftern während der fünf Messkampagnen (I-V) an der Masthähnchenanlage (MH) zur Bioaerosolprobenahme

Messkampagne	Datum (MEZ)	Zeitraum	Anzahl der betriebenen Dach- [D] bzw. Seitenwandlüfter [S]	Volumenstrom trocken, normiert [m³/h]
<b>I</b> Frühjahr	16.04.2013	10:15 h – 10:45 h	6 D+2 S	134.400
		14:30 h – 15:00 h	6 D+5 S	227.700
<b>II</b> Sommer	16.07.2013	10:00 h – 10:30 h	6 D+2 S	152.800
		13:45 h – 14:15 h	6 D+5 S	259.200
<b>III</b> Herbst	22.10.2013	10:15 h – 10:45 h	2 D	32.100
		13:45 h – 14:15 h	6 D	104.200
<b>IV</b> Winter	29.01.2014	10:45 h – 11:15 h	2 D	34.500
		11:30 h – 12:00 h		34.300
<b>V</b> Frühjahr	18.03.2014	10:00 h – 10:30 h		81.100
		11:00 h – 11:30 h		84.900
		12:00 h – 12:30 h	4 D	75.500
		13:15 h – 13:45 h		69.300
		14:15 h – 14:45 h		69.400

Anmerkung zur Lüftung während der 1. Messung im Frühjahr 2013: Aufgrund von Schäden an der Innenwand der Kamine kam es zu einer Kanalverengung, die Funktionseinschränkungen der Abluftklappen zur Folge hatte. Insgesamt kam es zu einer Beeinträchtigung der Abströmung, so dass der Abluftvolumenstrom dort geringer war. Da über die korrekte Funktion der übrigen Kamine keine genauen Erkenntnisse vorlagen, wurde die gleiche eingeschränkte Leistung für alle Kamine angenommen.

Die sechs Abluftkamine wurden am 17. Juni 2013 von der Herstellerfirma saniert und waren seither wieder voll funktionsfähig.

### 4.3 Staubemission

Die **Gesamtstaubkonzentrationen** der Einzelmessungen im Abgas der Masthähnchenanlage – jeweils gegen Ende der Mastperiode gemessen - bewegten sich zwischen 2,4 und 11,4 mg/m³ (siehe Tab. 20 im Anhang) und liegen deutlich unter dem Wert nach Nr. 5.2.1 TA Luft von 20 mg/m³ [6]. Die jeweiligen Durchschnittswerte je Messkampagne sind in Abb. 29 dargestellt.

Die Messergebnisse der Gesamtstaubkonzentrationen sind vergleichbar mit den zur gleichen Mastwoche vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) ermittelten Gesamtstaubemissionen aus zwei Masthähnchenanlagen [22].

Im Sommer wurden bei hohen Lüftungsraten erwartungsgemäß mit 1.214 g/h die höchsten Gesamtstaubmassenströme gemessen. Die niedrigsten Gesamtstaubfrachten lagen im Oktober 2013 mit 253 g/h bzw. im Januar 2014 mit 264 g/h bei geringen Lüftungsraten vor (s. Abb. 30).

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für Gesamtstaub an der Masthähnchenanlage befindet sich in Tab. 20 im Anhang.

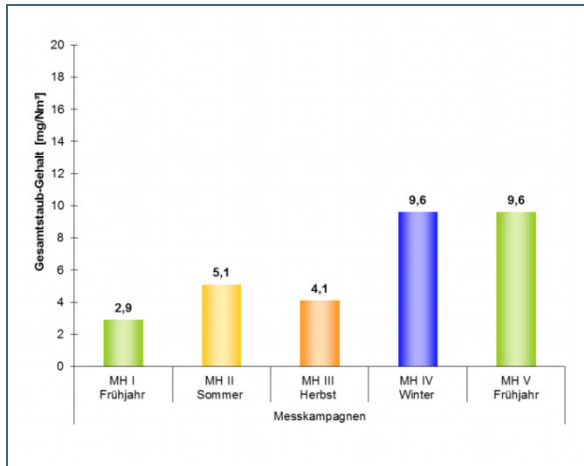


Abb. 29: durchschnittliche Konzentrationen an **Gesamtstaub**

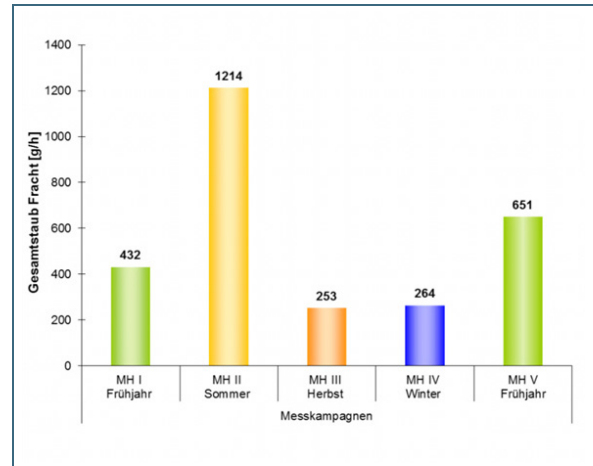


Abb. 30: durchschnittliche Massenströme **Gesamtstaub**

Zusätzlich zum Gesamtstaub wurden auch die Massenanteile der **Feinstaubgehalte**  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  der Abluft erfasst.

Die Feinstaubkonzentrationen im Abgas der Masthähnchenanlage betragen für die Fraktion  $PM_{10}$  von  $1,3 \text{ mg/m}^3$  bis zu  $3,8 \text{ mg/m}^3$ , für die Fraktion  $PM_{2,5}$  von  $0,4 \text{ mg/m}^3$  bis zu  $1,5 \text{ mg/m}^3$  (Anhang Tab. 21, Tab. 22; durchschnittliche Konzentrationen siehe Abb. 31). Rund 40% der Masse des Gesamtstaubs lagen durchschnittlich als Feinstaub der Fraktion  $PM_{10}$  vor, ca. 17 % als Feinstaub der Fraktion  $PM_{2,5}$ . Vom LfU in Auftrag gegebene Messungen über die Korngrößenverteilung im Abgas einer Masthähnchenanlage aus dem Jahre 2000 lagen bei ca. 60% der Masse für die Fraktion  $PM_{10}$  und bei ca. 9% der Masse für die Fraktion  $PM_{2,5}$  [23]. Über die Anzahlverteilung der verschiedenen Partikelgrößen liegen uns keine Daten vor.

Abb. 32 zeigt die durchschnittlichen Feinstaubmassenströme während der einzelnen Messkampagnen. Die höchsten Frachten traten erwartungsgemäß im Sommer (hohe Volumenströme) auf. Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für Feinstaub  $PM_{10}$  bzw.  $PM_{2,5}$  befinden sich in den Tab. 21 und Tab. 22 im Anhang.

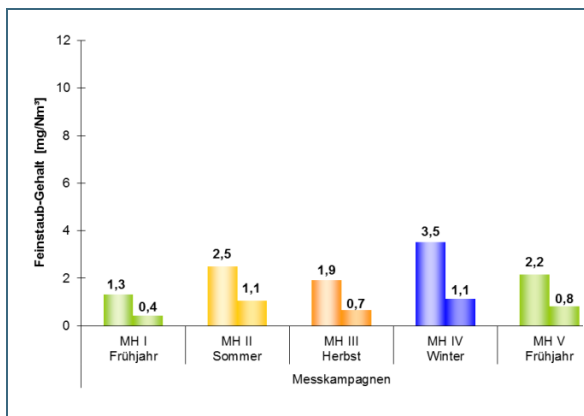


Abb. 31: durchschnittliche Konzentrationen an **Feinstaub** (linke Säule:  $PM_{10}$ , rechte Säule  $PM_{2,5}$ )

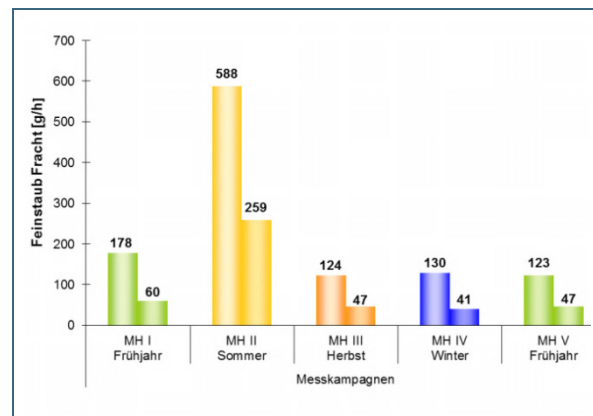


Abb. 32: durchschnittliche Massenströme an **Feinstaub** (linke Säule:  $PM_{10}$ , rechte Säule  $PM_{2,5}$ )



## 4.4 Ammoniakemission

Bei den fünf Messkampagnen wurden pro Einzelmessungen Ammoniakkonzentrationen im Abgas zwischen  $0,9 \text{ mg/m}^3$  und  $5,8 \text{ mg/m}^3$  ermittelt (Anhang Tab. 23). Abb. 33 zeigt die Durchschnittswerte pro Messkampagne. Die gemessenen Ammoniakkonzentrationen liegen unter dem nach Nr. 5.2.4 TA Luft angegebenen Wert von  $30 \text{ mg/m}^3$  und unter dem nach Tierschutzrecht [24] zulässigen Wert von  $14 \text{ mg/m}^3$  ( $20 \text{ ppm}$ ), der sich jedoch auf die Konzentration im Stall bezieht. Die Ammoniakkonzentrationen dürften über den Kotflächen etwas höher liegen.

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für Ammoniak befindet sich im Anhang in Tab. 23. Abb. 34 zeigt die durchschnittlichen Ammoniakfrachten während der einzelnen Messkampagnen. Die höchsten Frachten liegen mit  $266 \text{ g/h}$  bei der Messkampagne III im Oktober 2013 vor.

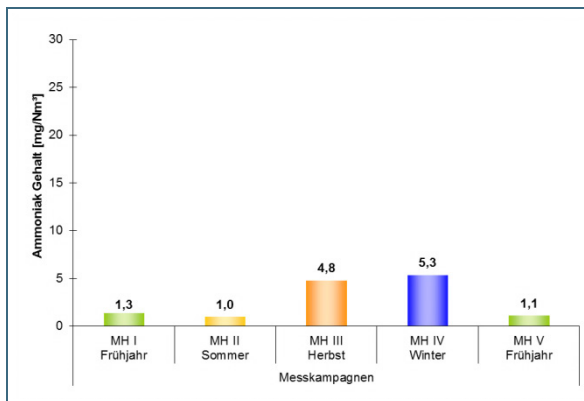


Abb. 33: durchschnittliche Konzentrationen an Ammoniak

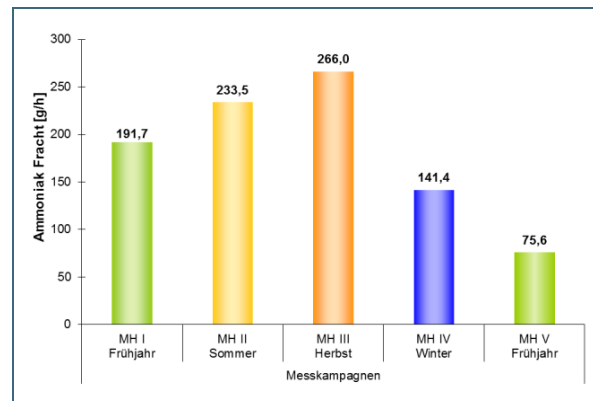


Abb. 34: durchschnittliche Massenströme an Ammoniak

## 4.5 Klimagasemission

Während der fünf Messkampagnen befanden sich sämtliche erfassten Halbstundenmittelwerte von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) stets unter der Bestimmungsgrenze von  $5,0 \text{ mg/m}^3$ .

Die Halbstundenmittelwerte von Methan lagen bei  $< 0,1 \text{ mg/m}^3$  bis zu  $1,7 \text{ mg/m}^3$ . Der Anteil von Methan-Kohlenstoff am emittierten organischen Gesamtkohlenstoff liegt zwischen 10 und 40 %. Dies ist umgerechnet vergleichbar mit dem in der Literatur angegebenen Wert für den Emissionsfaktor für Methan von  $0,026 \text{ kg/a}^* \text{TP}$  bei einem mittleren Gewicht von  $0,926 \text{ kg}$  pro Masthähnchen [25].

Die Gehalte an leichtflüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) weisen Halbstundenwerte von  $0,7 \text{ mg/m}^3$  bis zu  $5,6 \text{ mg/m}^3$  auf.

## 4.6 Bioaerosolemission

### 4.6.1 Gesamtbakterien in der Emission

Die Gesamtbakterienkonzentrationen im Abgas lagen bei den einzelnen Messungen zwischen  $1,1 \cdot 10^7 \text{ KBE/m}^3$  und  $9,7 \cdot 10^7 \text{ KBE/m}^3$  und sind vergleichbar mit den in Gärtner et al. [1] angegebenen Konzentrationswerten an Masthähnchenanlagen in Bereichen von  $10^5 \text{ KBE/m}^3$  bis  $10^8 \text{ KBE/m}^3$  für die gleiche Mastwoche.

Die Gesamtbakterienfrachten lagen zwischen Werten von  $3,5 \cdot 10^6$  und  $3,7 \cdot 10^7 \text{ KBE}/(\text{GV}\cdot\text{s})$  (siehe Anhang Tab. 24) und bestätigen die von Gärtner et al. gemessenen hohen Bioaerosolfrachten von Hähnchenmasthanlagen während der Endmastzeit [1]. Abb. 35 zeigt die durchschnittlichen Konzentra-

tionen der Gesamtbakterien in KBE/m<sup>3</sup> während der fünf Messkampagnen. In Abb. 36 sind die Massenströme der Gesamtbakterien in KBE/h während der einzelnen Messkampagnen dargestellt.

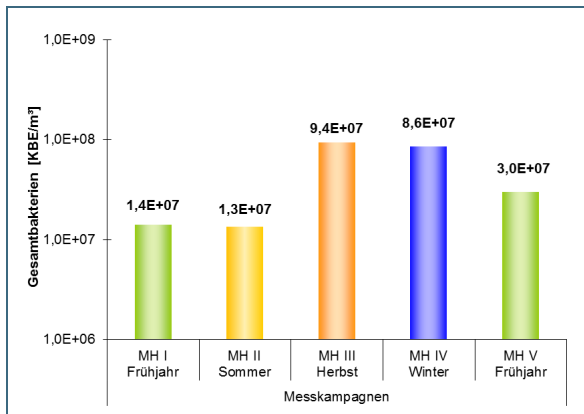


Abb. 35: durchschnittliche Konzentrationen an Gesamtbakterien

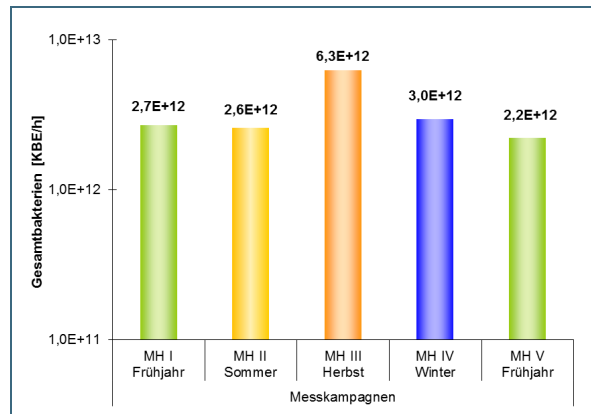


Abb. 36: durchschnittliche Massenströme der Gesamtbakterien

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen zum jeweiligen Messzeitpunkt für Gesamtbakterien, Staphylokokken und Enterokokken an der Masthähnchenanlage befindet sich in Tab. 24 im Anhang. Insgesamt lagen die Bakterienkonzentrationen in der Abluft der Masthähnchenanlage mit ca. 10<sup>7</sup> KBE/m<sup>3</sup> bis zu 6 Zehnerpotenzen über den Werten der Umgebungsluft im Luv der Anlage.

#### 4.6.2 Staphylokokken in der Emission

Im Artenspektrum der Gesamtbakterien dominieren Staphylokokken, die sich sehr gut als Leitparameter [15] für die Messung eignen, da sie im Hintergrund bisher nicht nachgewiesen werden konnten. Die Staphylokokken-Konzentrationen im Abgas lagen bei den einzelnen Messungen zwischen 8,1·10<sup>6</sup> und 1,7·10<sup>8</sup> KBE/m<sup>3</sup> (siehe Tab. 24 im Anhang) und sind vergleichbar mit den Untersuchungsergebnissen des LANUV NRW an Masthähnchenanlagen [1].

In Abb. 37 und Abb. 38 sind die mittleren Emissionskonzentrationen und Emissionsfrachten der Staphylokokken je Messkampagne dargestellt.

Analog zu den Emissionswerten der Gesamtbakterien bestätigen auch die Emissionswerte der Staphylokokken die von Gärtner et al. gemessenen hohen Bioaerosolfrachten von Masthähnchenanlagen [1].

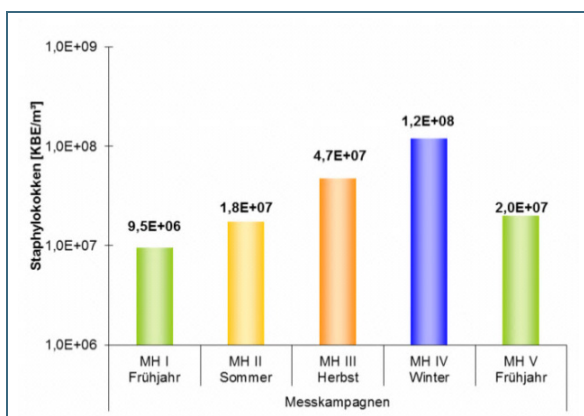


Abb. 37: durchschnittliche Konzentrationen an Staphylokokken

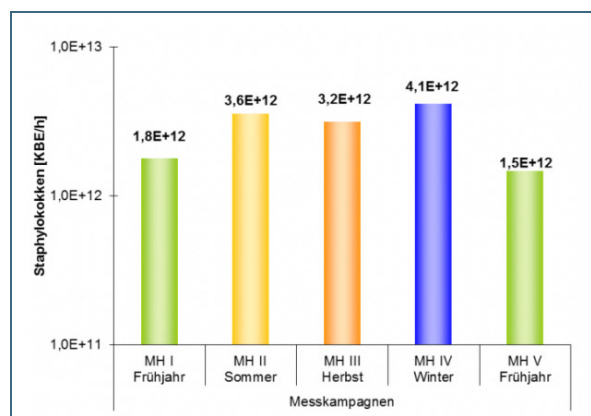


Abb. 38: durchschnittliche Massenströme der Staphylokokken

In nachfolgender Tab. 3 sind die Emissionsparameter für Gesamtbakterien und Staphylokokken während der fünf Messkampagnen im April, Juli und Oktober 2013, sowie im Januar und März 2014 dargestellt. Je nach Außentemperatur war eine verschiedene Anzahl von Lüftern in Betrieb, dadurch ergeben sich die hohen Schwankungen im Volumenstrom. Bei der Sommermessung im Juli und der Wintermessung im Januar (vormittags) lagen die Konzentrationen an Staphylokokken z. T. höher als die Gesamtbakterien. Dies ist, wie in Punkt 3.4 erläutert, nicht außergewöhnlich und deutet eher auf einen Minderbefund bei den Gesamtbakterien hin.

Tab. 3: Emissionsparameter bei den Bioaerosolen während der fünf Messkampagnen

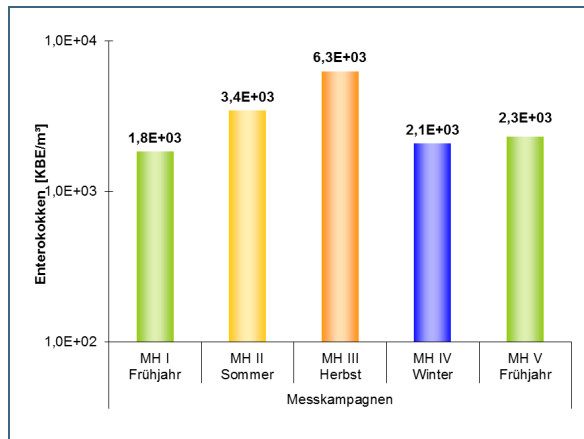
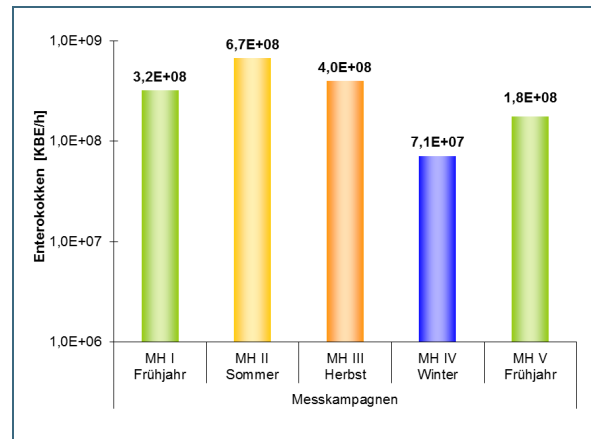
Datum/ Uhrzeit	Volumenstrom	Bakterien			Staphylokokken		
Messung		Konzentration	Massenstrom		Konzentration	Massenstrom <sup>1</sup>	
MEZ	m <sup>3</sup> /h	KBE/m <sup>3</sup> · 10 <sup>6</sup>	KBE/h · 10 <sup>12</sup>	KBE/s · 10 <sup>8</sup>	KBE/m <sup>3</sup> · 10 <sup>6</sup>	KBE/h · 10 <sup>12</sup>	KBE/s · 10 <sup>8</sup>
<b>16.04.2013</b>							
10:15 – 10:45	134.400	10,6	1,43	4,0	8,07	1,09	3,0
14:30 – 15:00	227.700	17,3	3,64	11	11,0	2,50	7,0
<b>16.07.2013</b>							
10:00 – 10:30	152.800	16,1	2,47	6,8	18,2	2,78	7,7
13:45 – 14:15	259.200	10,5	2,71	7,6	16,7	4,33	12
<b>22.10.2013</b>							
10:15 – 10:45	32.100	97,1	3,12	8,7	49,7	1,59	4,4
13:45 – 14:15	104.200	90,2	9,40	26	45,1	4,70	13
<b>29.01.2014</b>							
10:45 – 11:15	34.500	86,8	3,00	8,3	174	5,99	17
11:30 – 12:00	34.300	84,6	2,90	8,1	66,2	2,27	6,3
<b>18.03.2014</b>							
10:00- 10:30	81.100	12,4	1,00	2,8	8,67	0,70	2,0
11:00 -11:30	84.900	20,4	1,74	4,8	9,65	0,82	2,3
12:00 -12:30	75.500	32,0	2,42	6,7	29,7	2,24	6,2
13:15 -13:45	69.300	55,1	3,82	11	28,7	1,99	5,5
14:15 – 14:45	69.400	28,8	2,00	5,6	23,1	1,60	4,5

#### 4.6.3 Enterokokken, MRSA, ESBL, Viren in der Emission

Die **Enterokokken**konzentrationen im Abgas lagen bei den einzelnen Messungen zwischen  $9,0 \cdot 10^2$  und  $7,1 \cdot 10^3$  KBE/m<sup>3</sup>.

Emissionsseitig schwankten die einzelnen Massenströme von Enterokokken der Masthähnchenanlage zwischen  $9,8 \cdot 10^3$  und  $1,9 \cdot 10^5$  KBE/s (siehe Tab. 24 im Anhang). In Abb. 40 sind die durchschnittlichen Emissionsfrachten der Enterokokken in KBE/h der einzelnen Messkampagnen dargestellt.

<sup>1</sup> Die Volumenströme wurden nach Abschluss der Messungen nochmals überprüft (Vergleich der kontinuierlichen Punktmessungen mit den Netzmessungen führte zu etwas niedrigeren Volumenströmen). Die Massenströme weichen daher etwas von denen, für die Immissionsprognose vom Ingenieurbüro Janicke verwendeten, ab [siehe Anlage III: Ausbreitungsrechnungen für eine Masthähnchenanlage]. Da dies aber keinen Einfluss auf die Größenordnung des Immissionsergebnisses hat, wurde auf eine nochmalige Berechnung verzichtet. Zudem ist eine Linearität zwischen Emissionsmassenstrom und Immissionskonzentration gegeben, sodass die Minderung prozentual umgerechnet werden kann.

Abb. 39: durchschnittliche Konzentration an **Enterokokken**Abb. 40: durchschnittliche Massenströme der **Enterokokken**

Bei den untersuchten Bioaerosol-Proben konnten weder **MRSA-** noch **ESBL-bildende Bakterien** (nicht quantifizierbares, sporadisches Vorkommen in Probe I und IV Tab. 4) nachgewiesen werden (MRSA: methicillin resistenter staphylococcus aureus, ESBL: extended-spectrum-beta-lactamase).

Im Rahmen des Bioaerosolprojektes wurden zu den Messkampagnen II bis V sowohl Bioaerosolproben als auch Filterstaubproben und Kotproben zur Untersuchung an die Virologie am LGL zur Untersuchung auf **Chlamydien** und **Viren** weitergegeben. In keiner der untersuchten Proben konnten dabei Chlamydien und Influenza-A-Viren nachgewiesen werden.

#### 4.7 Artenspektrum der Bioaerosole

Das Artenspektrum der Anlage (Tab. 4) wurde emissions- sowie immissionsseitig von Koagulase-negativen Staphylokokken (KNS) dominiert. KNS fanden sich auch in den zusätzlich untersuchten Staubproben des Stalls und in Staubablagerungen des Emissionskamins zu erheblichen Anteilen wieder. Die Gruppe der KNS umfasst überwiegend apathogene Vertreter der Risikogruppe (RG) 1 (siehe auch Fußnote zur Tab. 4). Es konnten aber auch die fakultativ pathogenen *S. haemolyticus* und *S. saprophyticus* (Risikogruppe 2) nachgewiesen werden (Einstufung gemäß TRBA 466). Der humanpathogen relevante *Staphylococcus aureus* (RG2) konnte im Allgemeinen nicht nachgewiesen werden. Ausnahme bildet ein immissionsseitiger sporadischer Einzelnachweis, bei dem es sich aber nicht um einen MRSA handelte.

Fäkal-Enterokokken konnten im Stallstaub, in Staubablagerungen des Kamins sowie emissionsseitig im Bioaerosol nachgewiesen werden. Es dominierten *Enterococcus faecalis* und *Enterococcus faecium*. Immissionsseitig konnten Fäkal-Enterokokken jedoch nicht nachgewiesen werden. *Enterococcus hirae* war sporadisch, unterhalb der Bestimmungsgrenze, in zwei Proben der Sommermessung (Messkampagnen I und III) vertreten.

Als Vertreter der Enterobacteriaceae, konnten emissionsseitig nur *Escherichia coli* im Emissionsstrom und bei einer Messkampagne (Messung IV) sporadisch im Stallstaub nachgewiesen werden. Auch ESBL-Vertreter konnten, mit Ausnahme sporadischer Nachweise von *Acinetobacter* spp., bei den Emissionen i. d. R. nicht nachgewiesen werden. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die Gram-negativen Bakterien bereits anfällig gegenüber Luftaustrocknung im Emissionsstrom sind, wie auch schon in anderen Untersuchungen beobachtet wurde [26].

Tab. 4: Artenspektrum der Anlage über alle Messkampagnen (I – V) an der Masthähnchenanlage. Die Ergebnisse resultieren aus den Differenzierungen von Koloniematerial der Selektivnährmedien zwecks Qualitätssicherung, inkl. unspezifischer Begleitflora. Qualitative Nachweise sind unter Angabe der Messkampagne blau unterlegt (Quelle: Dr. Tuschak)

Artenspektrum	RG	Stallstaub					Kaminstaub					Emission					Immission				
<b>Staphylokokken</b>																					
KNS	1,v	II	III	IV	V	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
<i>*Staphylococcus aureus</i>	2																		IV		
MRSA	2																				
<b>Enterokokken</b>																					
<i>E. faecium</i>	2	II		IV		II		IV	V	II	III	IV	V								
<i>E. faecalis</i>	2	II		IV	V	II			V	II	III	IV	V								
<i>E. hirae</i>	2	II	III	IV	V		III	IV		I	II	III	IV	I		III					
<i>E. durans</i>	2									II		IV	V								
<b>Enterobacteriaceae</b>																					
<i>E. coli</i>	2			IV						I	II		IV								
<b>ESBL</b>																					
<i>*Acinetobacter</i> spp.	2									I			IV								
<b>Unspezifisch Begleitflora auf Selektivnährmedien, i.d.R. sporadisch vorkommend</b>																					
Aerobe Sporenbildner	1	II				II	III			I	II	III	IV	V	I	II	III		V		
Mikrokokken	1												IV				III	IV			
<i>*Aerococcus viridans</i>	2							IV							II						
<i>*Bacillus cereus</i>	2			IV																	
<i>*Corynebacterium matruchotii</i>	2																III				
<i>*Corynebacterium stationis</i>	1			IV				IV													
<i>*Delftia acidovorans</i> (NF)	1												IV	V							
<i>*Dermacoccus nishinomiyaensis</i>	1									II											
<i>*Macroccoccus caseolyticus</i>	2									II											
<i>*Ochrobactrum anthropi</i>	2									II											
<i>*Pantoea agglomerans</i>	2			IV																	
<i>*Pediococcus pentosaceus</i>	1									II											
<i>*Pseudochrobactrum asaccharolyticum</i>	1							IV											IV		
<i>*Rhizobium radiobacter</i>	1									II											
<i>*Stenotrophomonas rhizophila</i>	1							IV													
<i>*Streptococcus salivarius</i>	2																	III			
Schimmelpilze	v	II				II	III			I	II		IV	V	I	II	III				
Hefen (z.B. <i>Candida catenulata</i> )	1,v			IV				IV		II			IV					IV			

\*) sporadisches Vorkommen (RG) Risikogruppe gem. TRBA 466, v: variierend in der Gruppe  
 KNS = Koagulase-negative Staphylokokken. Es wurden nachgewiesen: *S. xylosus*, *S. arlettae*, ***S. haemolyticus***, *S. kloosii*, *S. lentus*, ***S. saprophyticus***, *S. equorum*, *S. condiment*, *S. warneri*, *S. carnosus*, *S. sciuri*  
 (Fettdruck = RG2-Organismen)

<sup>1)</sup> In Messkampagne I erfolgten keine Staubuntersuchungen. In Messkampagne V erfolgten immissionsseitig bis auf Staphylokokken keine selektiven Nachweise und somit nur eine auf Staphylokokken reduzierte Artendifferenzierung)

Immissionsseitig konnten keine der spezifisch untersuchten Messparameter: MRSA, Enterobacteriaceae mit und ohne ESBL-Eigenschaften, Campylobacter spp. (mittels Anreicherungsverfahren), sowie Chlamydien (mittels PCR-Verfahren) nachgewiesen werden. Hierbei sind für einige Parameter sicherlich die geringen Grundlasten im Emissionsstrom und der immissionsseitige Verdünnungseffekt von Bedeutung. Für andere Bakterien kommen hier sicherlich neben den Austrocknungseffekten durch die Luftverfrachtung auch weitere meteorologische Stressfaktoren zum Tragen.

Auf einigen Selektivnährmedien, vor allem dem chromogenen MRSA-Agar und dem für Enterobacteriaceae spezifischen MacConkey-Agar waren als unspezifische Begleitflora aerobe Sporenbildner und Schimmelpilze zu finden. Darüber hinaus konnten im Verlauf der Messung sporadisch verschiedenste Umweltkeime differenzialdiagnostisch nachgewiesen werden (Tab. 4). Die beiden hier genannten Selektivnährmedien sollten wegen des zum Teil erheblichen Anteils an unspezifischer Begleitflora für umweltdiagnostische Zwecke als kritisch betrachtet werden und erfordern einen hohen Grad diagnostischer Abklärung der gewachsenen Kolonien. Die eingeschränkte Selektivität von Selektivnährböden bei der Verwendung für Bioaerosol-Umweltproben wurde ebenfalls in einer Studie von GÄRTNER et al. 2014, [26] dokumentiert.

Es sei darauf hingewiesen, dass das Artenspektrum der Anlage aufgrund der eingesetzten Selektivnährmedien kein umfassendes Bild darstellt.

#### 4.8 Screening-Ergebnisse Stallstaub

Das Screening des Stallstaubes ergab für die mikrobielle Belastung Orientierungswerte von ca.  $10^6$  – max.  $<10^{10}$  KBE pro g Staub. Vom Artenspektrum her dominierten vor allem auch die im Bioaerosol relevanten Staphylokokken sowie Enterokokken.

#### 4.9 Endotoxinemission

Erfasst wurden die luftgetragenen Endotoxine mittels Emissions-Impingerproben, um den Gesamtgehalt [19] zu ermitteln. Spezielle Feinstaubfilterproben sollten zudem Aussagen zu den Anteilen in den jeweiligen Staubfraktionen liefern.

Die Endotoxingehalte der Abluft (Impingement) der Messkampagnen I - IV waren mit Werten von 128,9 bis zu 916 EU/m<sup>3</sup> gegenüber den in der Literatur genannten Gehalten typischer Außenluft von 0,75 - 1,99 EU/m<sup>3</sup> erhöht [3]. Im Vergleich dazu lagen die Endotoxingehalte aus früheren Emissionsmessungen des LfU an Legehennenställen im Bereich von 128 bis 2.788 EU/m<sup>3</sup> [27].

Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen (Gesamtstaubanteil gemessen mit dem Emissions-Impinger) pro Messkampagne sind in Abb. 41 dargestellt. Abb. 42 zeigt die Endotoxinmassenströme (Impingement) je Messkampagne.

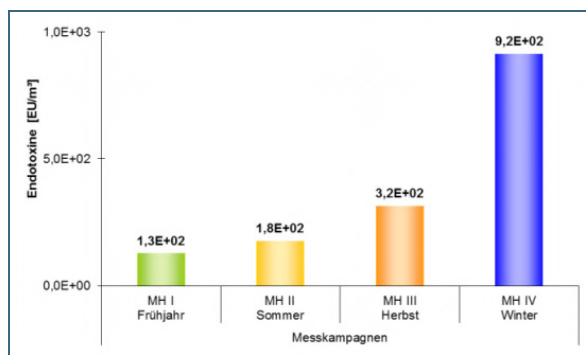


Abb. 41: Konzentration an **Endotoxinen** im Gesamtstaub

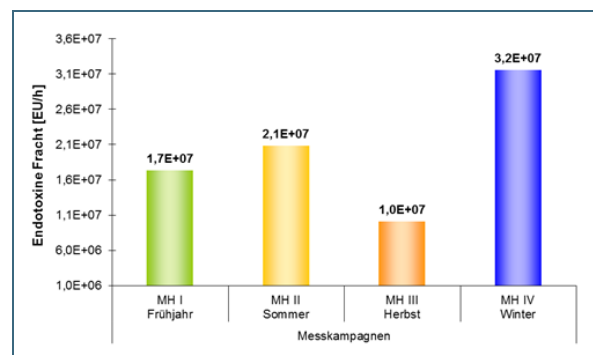


Abb. 42: Massenströme der **Endotoxine** im Gesamtstaub

Die Endotoxin-Gehalte in den Feinstaubfilter-Proben der Messkampagnen I - IV lagen in der PM<sub>2,5</sub>-Fraktion im Bereich von 22,9 bis 47,0 EU/Nm<sup>3</sup>, in der PM<sub>10</sub>-Fraktion im Bereich von 82,9 bis 244,9 EU/Nm<sup>3</sup> [siehe Anlage III, Endotoxin-Zwischenbericht]. In Abb. 43 sind die Endotoxinkonzentrationen je Messkampagne in den Feinstaubfraktionen, in Abb. 44 die Endotoxinmassenströme der Feinstaubfraktionen dargestellt.

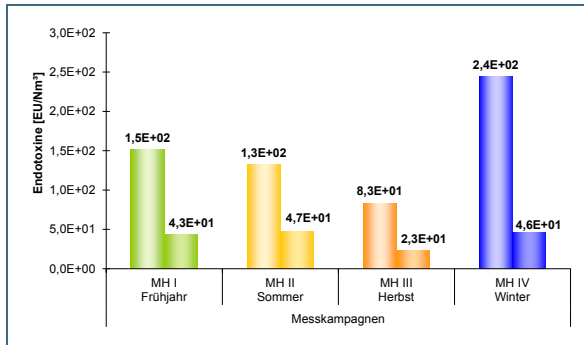


Abb. 43: Konzentration an Endotoxinen im Feinstaub (linke Säule: PM<sub>10</sub>, rechte Säule PM<sub>2,5</sub>)

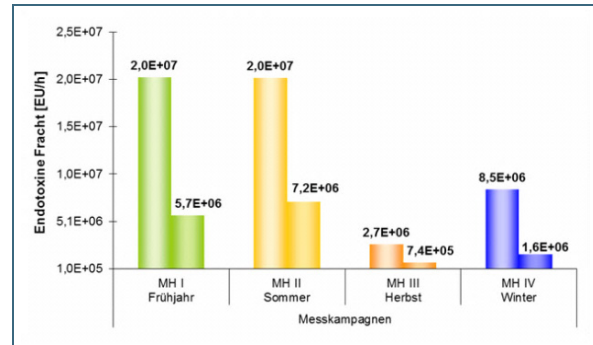


Abb. 44: Massenströme der Endotoxine im Feinstaub (linke Säule: PM<sub>10</sub>, rechte Säule PM<sub>2,5</sub>)

Der ausführliche Bericht zur Quantifizierung der luftgetragenen Endotoxine mittels Impingerflüssigkeiten und Feinstaubfiltern befindet sich in Anlage I (Endotoxin-Zwischenbericht).

## 5 Ergebnisse der Immissionsmessungen

Die zeitgleichen Emissions-/Immissionsmessungen fanden bei allen Messkampagnen jeweils gegen Ende der Mastperiode kurz vor dem Rausfangen der ersten Tiere statt, um möglichst einen Zustand mit hohen Emissionen und Immissionen während einer Mastperiode zu erfassen.

### 5.1 Ammoniak- und Feinstaubimmissionen

Da nur ein Messwagen mit jeweils einem kontinuierlichen aktiven Messgerät für Feinstaub und Ammoniak zur Verfügung stand, konnten keine zeitgleichen Luv/Lee-Messungen durchgeführt werden. Je nachdem, ob der Messwagen in der Fahne stand oder nicht, wurden die Messwerte der Fahne bzw. dem Hintergrund zugeordnet (Tab. 5). In der Nacht musste der Messwagen zur Aufladung der Batterien in direkte Anlagennähe versetzt werden.

Bei der **Feinstaubmessung** liegen die Hintergrundwerte in den für ländliche Gebiete üblichen Bereichen um ca. 15 µg/m<sup>3</sup>. Eine Zuordnung der Belastungen aus der Masthähnchenanlage lässt sich auf Grund der hohen Hintergrundbelastung zu dem vergleichsweise geringen Anteil an Feinstaub aus der Anlage selbst nicht durchführen.

Ganz anders sieht die Situation bei den zeitgleich gemessenen **Ammoniak-Immissionskonzentrationen** aus. Hier ist der Unterschied zwischen Luv- und Leemessung zu erkennen (Abb. 45). Die hohen Werte im Herbst decken sich mit den höheren Konzentrationen, die bei der Emissionsmessung auftraten. Dabei war die Abluffahne insgesamt konzentrierter bzw. weniger aufgefächert, da keine Seitenwandlüfter liefen. Zum anderen waren aber auch die Hintergrundwerte durch die Düngetätigkeiten an den umliegenden Feldern erhöht. Interessant waren auch die hohen Werte, die am 23. Oktober 2013 nach reger Düngetätigkeit auf einem nahen Maisfeld gemessen wurden (siehe Abb. 46).

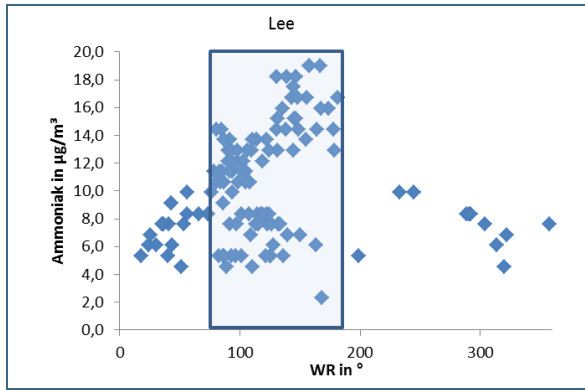


Abb. 45: Ammoniakmessung in Abhängigkeit von der Windrichtung (WR) am 22.10.2013 im Lee der Anlage

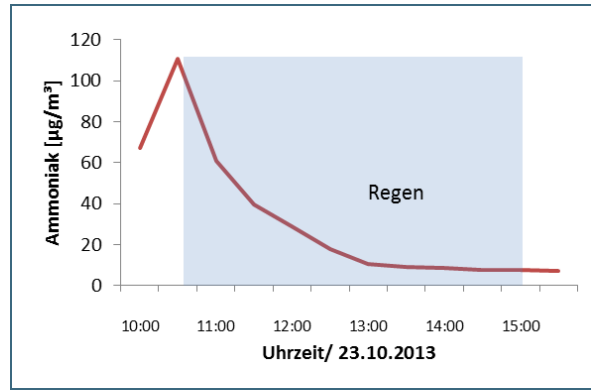


Abb. 46: Ammoniakpeak nach Düngetätigkeiten und beginnendem Nieselregen am 23.10.2013

Obwohl der Messwagen nicht im Lee des gedüngten Feldes stand, konnten auf Grund der z. T. geringen Windgeschwindigkeit hohe diffuse Ammoniakkonzentrationen erfasst werden. Dies zeigt auch auf, wie wichtig eine schnelle Einarbeitung der ausgebrachten Gülle für den Immissionsschutz ist. Die Werte im Lee des Feldes dürften noch wesentlich höher liegen. Ammoniak ist gut wasserlöslich und sehr reaktiv. Durch den einsetzenden Nieselregen bzw. die hohe Luftfeuchtigkeit kam es dann zu einem schnellen Abfall der Ammoniakkonzentration.

Tab. 5: Vergleich der Aktivmessungen in Luv und Lee der Anlage bei den verschiedenen Messkampagnen

Mittelwerte aus 3-Minutenmessungen bzw. 1/2 –h- Werte im direkten Luv und Lee der Anlage an verschiedenen Standorten		Meteorologie		Ammoniak in µg/m³	
		Windgeschwindigkeit [m/s]	Temp. [°C]	Anlagengelände bzw. Luv/HG	Fahne-Lee*1)
<b>Messung 1</b> Frühjahr 16.04.13 – 19.04.13	Anlagengelände / nachts	0 - 2	14 – 17	9 - 11	
	200 m nordost / tags <b>Fahne</b>	3 - 6	19 – 21		<b>8 - 13</b>
<b>Messung 2</b> Sommer 10.07.13 – 18.07.13	Anlagengelände / nachts	1,3	17 - 19	2 – 3	
	<b>Fahne</b> 200 m südwest / tags	3 - 5	24 - 25		<b>5 - 6</b>
	<b>Hintergrund</b> 80 m nordwest / tags	2,5		<b>3</b>	
<b>Messung 3</b> Herbst 22.10.13 - 24.10.13	Anlagengelände / nachts	1,5	11 – 12	3 - 10	
	<b>Fahne</b> 116 m nordwest / tags	1,4	17		<b>9,5</b>
	<b>Fahne</b> 200 m nordost / starke Düngetätigkeit / tags/	2,8	13 - 16		<b>31 *2)</b>
	<b>Hintergrund</b> 200 m nordost / tags	1,4		<b>3,5</b>	
<b>Messung 4</b> Winter 30.01.14 – 31.01.14	Anlagengelände/nachts	2,5	-2	3	
	<b>Fahne</b> 70 m westlich	3	-1		<b>6</b>
	<b>Hintergrund</b> 70 m westlich	3		<b>3</b>	

\*1) Bei der Lee-Auswertung wurden nur Windrichtungen herangezogen, die die Anlage und den Messpunkt überstreichen.

\*2) Die hohen Werte sind auf Düngetätigkeiten am 23.10.2013 im Umkreis der Anlage zurückzuführen.



Beim Vergleich zwischen Hintergrund- und Fahnenmessung wird deutlich, dass je nach Standort ca. 2 - 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als Zusatzbelastung durch die Anlage in Nahbereich erfasst werden.

Während der letzten Messkampagne im Frühjahr 2014 wurde der Schwerpunkt auf die Bioaerosolbetrachtung gelegt, sodass hier keine auswertbaren Daten für die Ammoniakbelastung vorlagen.

## 5.2 Bioaerosolimmissionen

Die mit Hilfe von Immissionsimpingern (AGI 30) [20] gewonnenen Proben der Immissionsmessungen wurden vom Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) auf die Messparameter - Gesamtbakterien, Staphylokokken, MRSA, Enterokokken, Enterobacteriaceae, ESBL und *Campylobacter spp.*, Chlamydien und Viren - hin analysiert und ausgewertet.

Aus früheren Messungen ist bekannt, dass Staphylokokken typische Leitparameter für Tierhaltungsanlagen sind, da sie im unbelasteten Hintergrund nicht nachweisbar sind. Gesamtbakterien werden zur Plausibilitätsprüfung mitbestimmt. Pilze spielen in der Tierhaltung eine eher untergeordnete Rolle und eignen sich daher nicht als Leitparameter, da sie die natürliche Hintergrundbelastung um eine Anlage nicht relevant erhöhen [27].

Zur Bestimmung der verschiedenen Keimzahlen (Gesamtbakterien, Staphylokokken, etc.) wurden entsprechende Nährböden (Agarplatten) mit Probenlösung beimpft, bebrütet und anschließend die entstandenen Kolonien ausgezählt. Laut der geltenden Richtlinien VDI 4253 Blatt 2 [28] und Blatt 3 [29] müssen auf einer Platte mindestens zehn Kolonien bildende Einheiten (KBE) vorhanden sein, um das Ergebnis quantitativ auswerten zu können (Bestimmungsgrenze). Die Bestimmungsgrenze ist in den nachfolgenden Graphiken in Abb. 48 und Abb. 49 gekennzeichnet.

Die Bestimmungsgrenze hängt individuell von der Probenahmedauer, der beprobten Abluftmenge sowie der bei der Kultivierung eingesetzten niedrigsten Verdünnungs- / Aufkonzentrierungsstufe ab. Als Größenordnung für die Bestimmungsgrenze (Wachstum von mind. zehn Kolonien pro Agarplatte) ergibt sich bei einer standardisierten Probenahmedauer von 30 Minuten und einer beprobten Luftmenge von rd. 0,5  $\text{m}^3$  in rd. 30 ml Impingerflüssigkeit eine theoretische Bestimmungsgrenze von ca.  $6 \times 10^1$  KBE/ $\text{m}^3$  je Impinger.

Abb. 47 zeigt die bei den Messungen typischerweise gefundenen Messparameter (Beispiel: Messkampagne IV, Oktober 2013, 10:15 – 10:45 Uhr) und beispielhaft deren Konzentrationshöhen in Abhängigkeit vom Probenahmeort (dunkelblau = Emission, graublau = Hintergrund, Immissionsorte = unterschiedlich farbig).

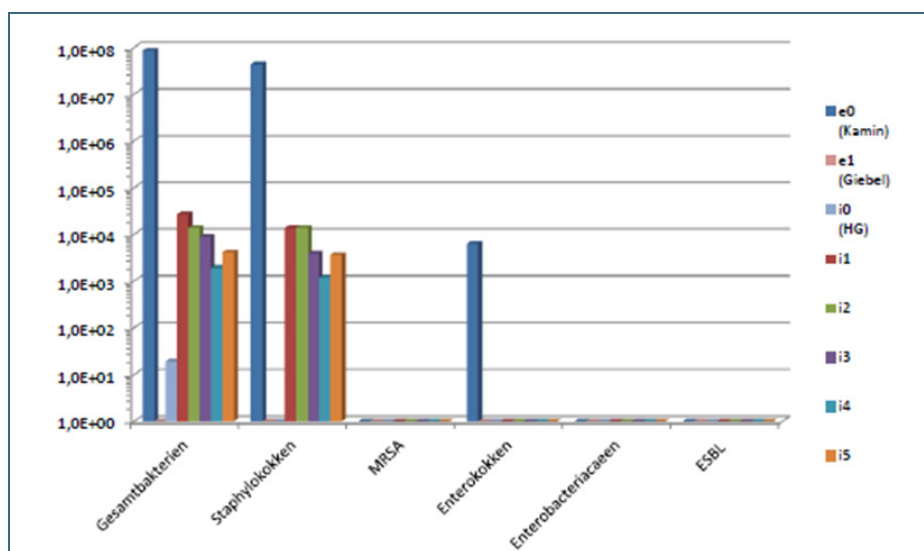


Abb. 47: typischerweise gefundene Messparameter bei den Bioaerosolprobenahmen im Oktober 2013, 10:15 – 10:45 h (Darstellung: Dr. Tuschak, LGL e0 = Emission (dunkelblau), i0 = Hintergrund (grau), i1 – i5 = Immissionsstandorte)

Exemplarisch sind hier die Bioaerosol-Messergebnisse für die Konzentrationen der einzelnen Messparameter in KBE/m<sup>3</sup> bei der Herbstmessung (22.10.2013 10:00 h – 10:45 h) und einer Frühjahrsmessung (18.03.2014, 14:15 h – 14:45 h) in Abb. 48 und Abb. 49 dargestellt.

Während keiner Messkampagne konnten die Parameter MRSA und ESBL, weder emissionsseitig noch immissionsseitig, nachgewiesen werden. Enterokokken fanden sich meist nur auf der Emissionsseite in Konzentrationen weit unter denen der Staphylokokken. Die Plausibilitätsprüfung anhand der Gesamtbakterien ergab sowohl auf der Emissionsseite als auch auf der Immissionsseite ein einheitliches Bild: Die Gesamtbakterien werden hauptsächlich durch Staphylokokken bestimmt.

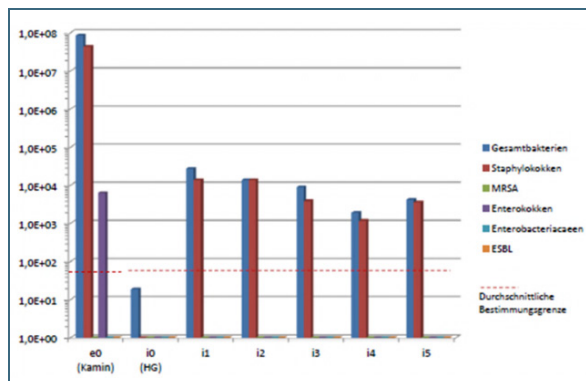


Abb. 48: Bioaerosolmessung der dritten Messkampagne im Oktober 2013 am Vormittag (Quelle: Dr.Tuschak, LGL)

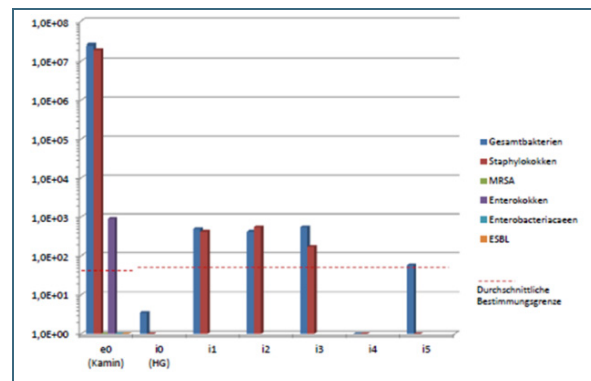


Abb. 49: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne im März 2014 am Nachmittag (Quelle: Dr.Tuschak, LGL)

Die Ergebnisse der einzelnen Bioaerosolproben der Masthähnchenanlage sind im Anhang in den Abbildungen Abb. 108 bis Abb. 120 dargestellt. Die einzelnen Messkampagnen werden für Staphylokokken unter Punkt 6 dargestellt und die Ergebnisse unter Punkt 7 diskutiert.

### 5.3 Endotoxinimmissionen

Nach Abschluss der ersten vier Messkampagnen erfolgte die Aufbereitung der mittels Immissions-Impingern AGI 30 [20] gesammelten Endotoxin-Proben.

Die Auswertung der 23 Endotoxin-Proben ergab, dass nur bei drei Immissionsproben Endotoxingehalte oberhalb der niedrig gewählten Nachweisgrenze gemessen wurden. Die Messwerte liegen in einem Bereich von 0,383 und 0,733 EU/m<sup>3</sup> und sind vergleichbar mit den Endotoxingehalten typischer Außenluft (0,75 – 1,99 EU/m<sup>3</sup> nach Kolk et al. [3]). Da der Gehalt an Endotoxinen in der Abluft der Masthähnchenanlage vergleichsweise niedrig war, sind die niedrigen Endotoxingehalte in der Umgebungsluft plausibel (siehe Anlage I: bifa Zwischenbericht zur Quantifizierung der luftgetragenen Endotoxine mittels Impingerflüssigkeiten und Feinstaubfiltern). Bedenkt man, dass sich Endotoxine nur aus gramnegativen Bakterien (d.h. Bakterien mit Lipopolysaccharid-haltiger äußerer Zellmembran), wie Enterobakterien (z.B. E. coli) bilden, der größte Anteil der Bakterien im Abgas jedoch von grampositiven Staphylokokken (ohne Lipopolysaccharid-haltige äußere Zellmembran) bestimmt war, erscheint das Ergebnis durchaus plausibel.

Im Hintergrund lagen die die Endotoxingehalte alle unterhalb der Nachweisgrenze.

## 6 Vergleichende Bewertung der Immissions-Messwerte mit der Immissionsprognose für den Leitparameter Staphylokokken

Die gemessenen Konzentrationen an Staphylokokken (Leitparameter) an den einzelnen Immissionsorten wurden mit berechneten Immissionskonzentrationen verglichen. In die Ausbreitungsrechnung der Kurzzeitwerte (30 min) flossen die während der Messung vorherrschenden meteorologischen Verhältnisse ein.

Die Bioaerosole werden in der Ausbreitungsrechnung wie Feinstaub der Klasse 1 (PM<sub>2,5</sub>; Depositionsgeschwindigkeit 0,001 m/s) behandelt. Für Details der Ausbreitungsrechnungen wird auf die Berichte des Ingenieurbüros Janicke „Ausbreitungsrechnungen für eine Masthähnchenanlage“ (Anlage III) sowie des Ingenieurbüros Lohmeyer zu den „Tracergasmessungen an einer Geflügelmastanlage“ (Anlage II) verwiesen.

Der Vergleich zwischen den Messwerten und nach VDI 4251 Blatt 3 [8] – Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen - prognostizierten Werten zeigt z.T. deutliche Überschätzungen durch die Prognose, z. T. aber auch eine sehr gute Übereinstimmung. Dargestellt wurden nur Messwerte von dem relevanten Leitparameter „Staphylokokken“, die über der Nachweisgrenze lagen.

### 6.1 Messkampagne I: Bioaerosolmessung im April 2013

Während der ersten Messungen im **Frühjahr** (siehe nachfolgende [Abb. 52](#) und [Abb. 53](#)) zeigte sich eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Werte nur im Nahbereich der Anlage (Im1) bei der Vormittagsmessung. Hier könnte es sein, dass die bodennahe Abgasfahne des Wärmetauschers, der während der ersten 15 Minuten noch in Betrieb war, die gemessene Höhe mitbestimmte. Weiter entfernte Messpunkte lagen bis zu 2 Zehnerpotenzen unterhalb der prognostizierten Werte. Insgesamt ist eine Abnahme der Konzentration von Im1 bis Im3 am Vormittag erkennbar.

Der Messpunkt 4 (Im4) lag nicht in der Abgasfahne. Er sollte abklären, ob von der ca. 200 m entfernten Silage eines Fahrsilos evtl. Bioaerosole emittiert werden, da 60° östlich des Mittelstrahls (d. h. außerhalb der Abluftfahne des Masthähnchenstalls) z. T. Silagegerüche wahrnehmbar waren. Es konnten an diesem Messort aber keine Staphylokokken nachgewiesen werden, sodass hier ein Störeinfluss ausgeschlossen werden kann. [Abb. 50](#) und [Abb. 51](#) zeigen vergleichend nochmals die Darstellung der Ausbreitungsprognose aus Anlage III „Ausbreitungsrechnungen für eine Masthähnchenanlage“. Die Windrichtungsverteilung während der 30-minütigen Messung um den Mittelstrahl der Messtransekte ist in [Abb. 54](#) und [Abb. 55](#) aufgezeigt. Die gelb hinterlegten Rechtecke zeigen den Messzeitraum und die roten Kästchen den 60° Winkel um den Mittelstrahl der Immissionsorte zum Abgaskamin. Hier sind die Zeitanteile zu erkennen, in denen der Wind optimal zum Messfächer lag.

Die Messorte lagen relativ gut in Lee der Abgasfahne der Dachkamine ([Abb. 50](#), [Abb. 51](#)). Durch die bodennahen Emissionen der 5 Wandventilatoren an der Giebelseite kam es jedoch zu einer vermehrten Beaufschlagung des Immissionsortes Im5 am Nachmittag, dies ist sowohl bei der Prognose als auch bei der Messung tendenziell erkennbar. Am Vormittag waren nur 2 der 5 Giebellüfter in Betrieb.

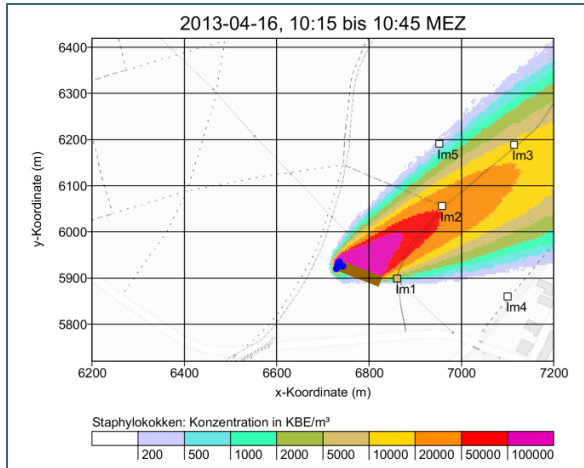


Abb. 50: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

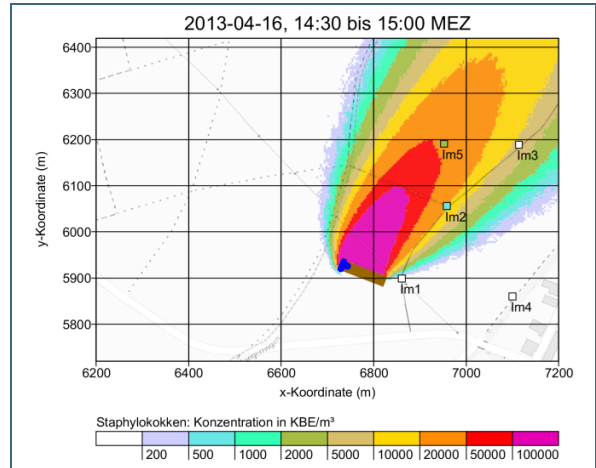


Abb. 51: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

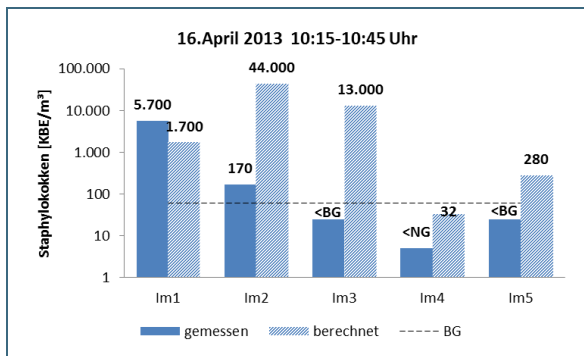


Abb. 52: Vergleich Messung und Prognose

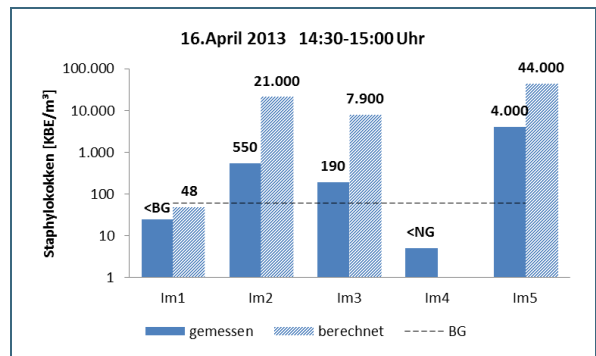


Abb. 53: Vergleich Messung und Prognose

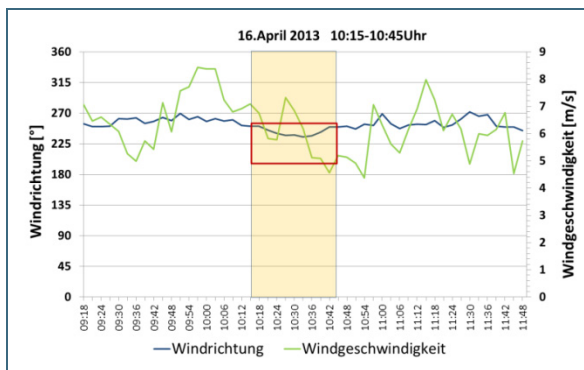


Abb. 54: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

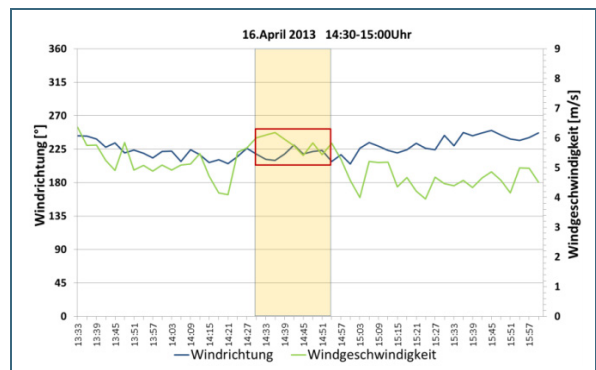


Abb. 55: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

## 6.2 Messkampagne II: Bioaerosolmessung im Juli 2013

Bei der **Sommerrmessung** waren alle gemessenen Werte nur entweder knapp über der Nachweisgrenze (NG) oder konnten quantitativ überhaupt nicht bestimmt werden. Dabei drehte während der Nachmittagsmessung der Wind, sodass die Messstellen kaum in der Fahne lagen. Am Nachmittag ergaben sich daher sehr niedrige Prognosewerte mit zunehmender statistischer Unsicherheit am Fahnenrand. Dies deckte sich auch mit den Messwerten. Insbesondere am Im5 konnten am Vormittag die hohen prognostizierten Werte von 42.000 KBE/m<sup>3</sup> nicht gefunden werden (Messwerte kleiner BG).

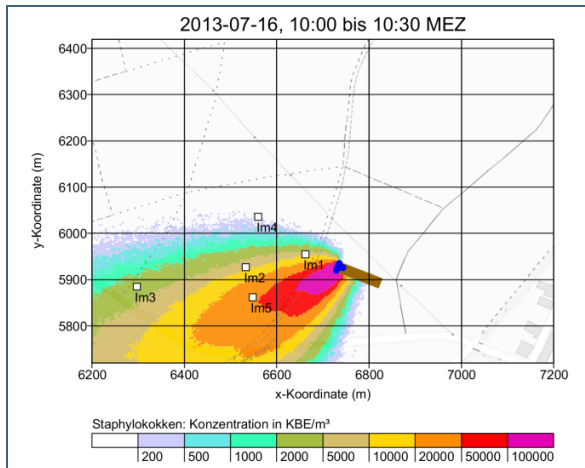


Abb. 56: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

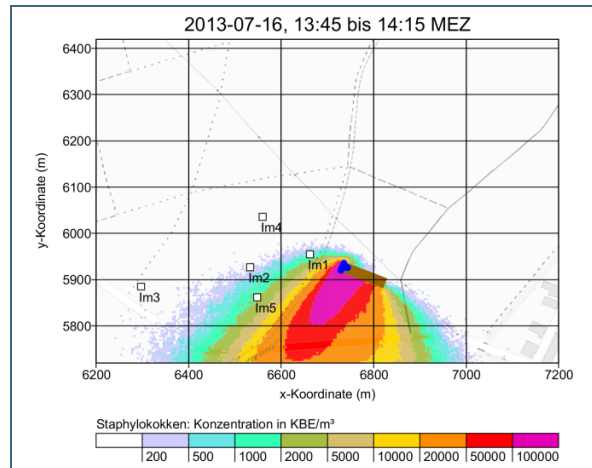


Abb. 57: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

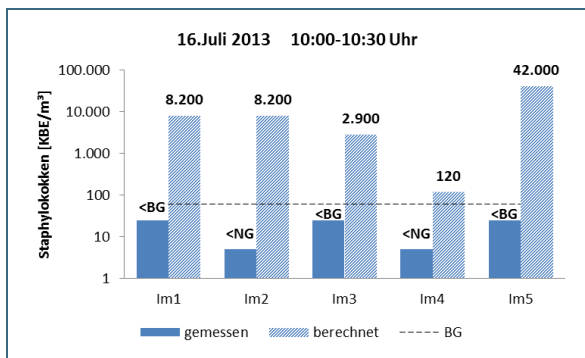


Abb. 58: Vergleich Messung und Prognose

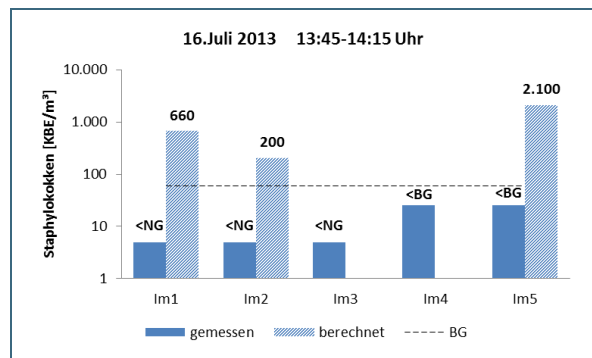


Abb. 59: Vergleich Messung und Prognose

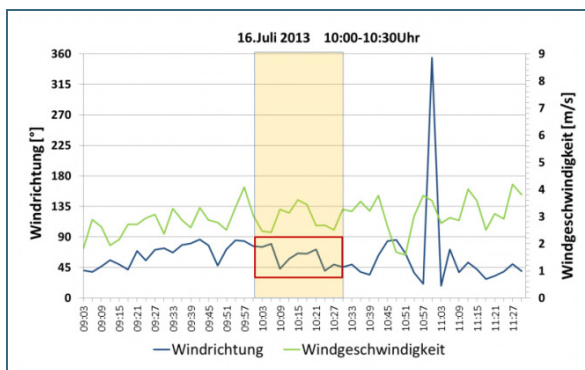


Abb. 60: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

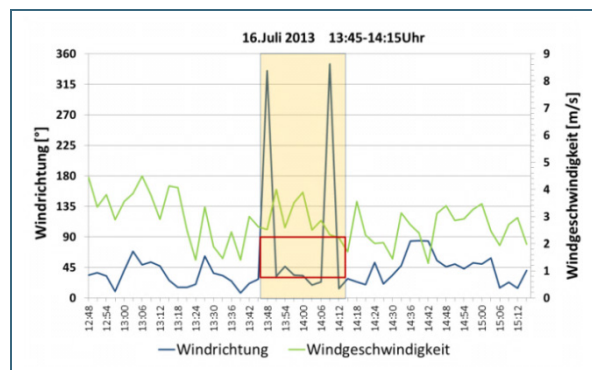


Abb. 61: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

### 6.3 Messkampagne III: Bioaerosolmessung im Oktober 2013

Die **Herbst**messkampagne zeigte zwei ganz unterschiedliche Situationen: Während bei der Vormittagsmessung noch sehr gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Prognose vorlagen, waren am Nachmittag wieder deutlich niedrigere Messwerte zu finden als prognostiziert. Am Vormittag herrschte noch leichter Frühnebel mit hoher Feuchte (82 %), geringer Windgeschwindigkeit, geringer Globalstrahlung und geringer Ozonkonzentration. Dagegen klarte es gegen Mittag auf und die Temperaturen stiegen von 12 °C auf 22 °C, während die Feuchte auf 52 % zurückging. Allein die Globalstrahlung verdreifachte sich. Dies ließ vermuten, dass die Bakterien nachmittags äußeren Einflüssen ausgesetzt waren, die evtl. die Absterberaten bei der Transmission deutlich erhöhten.

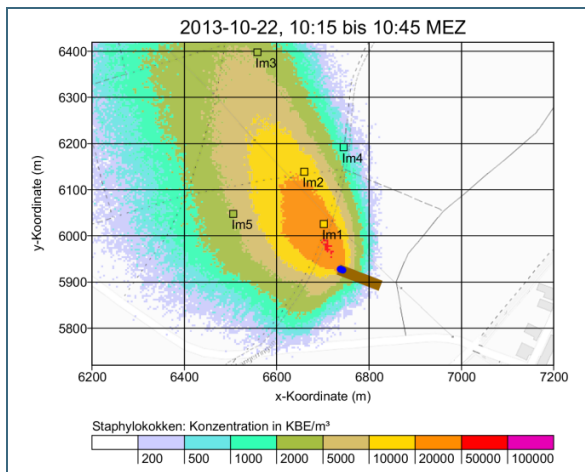


Abb. 62: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

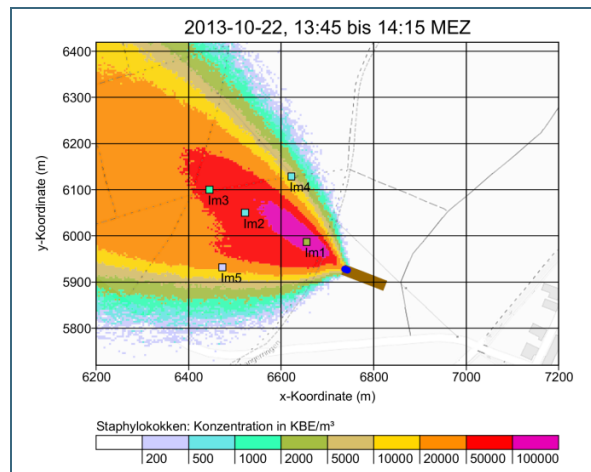


Abb. 63: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

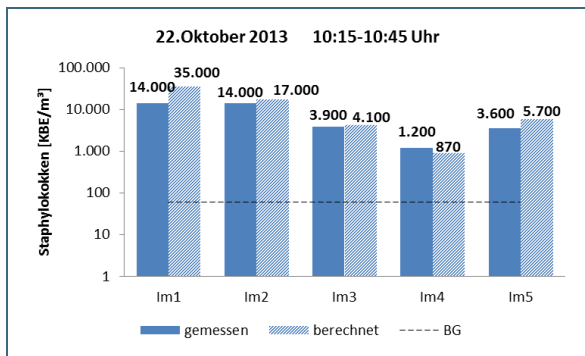


Abb. 64: Vergleich Messung und Prognose

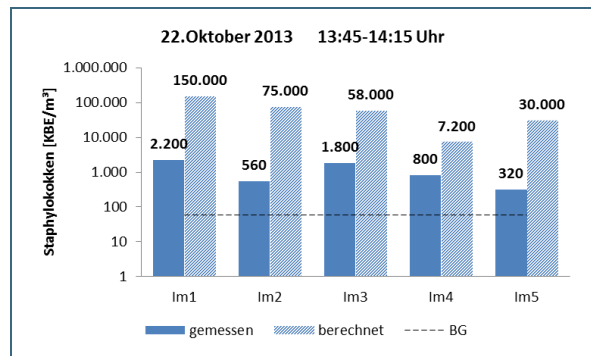


Abb. 65: Vergleich Messung und Prognose

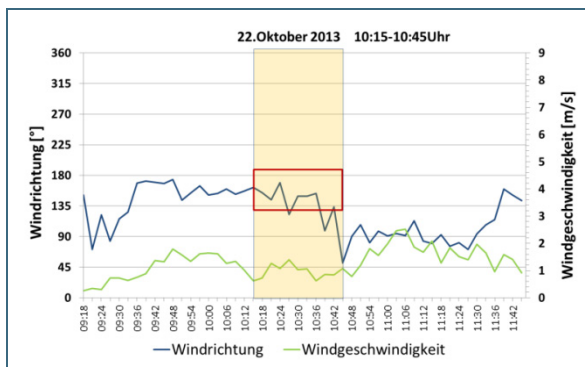


Abb. 66: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

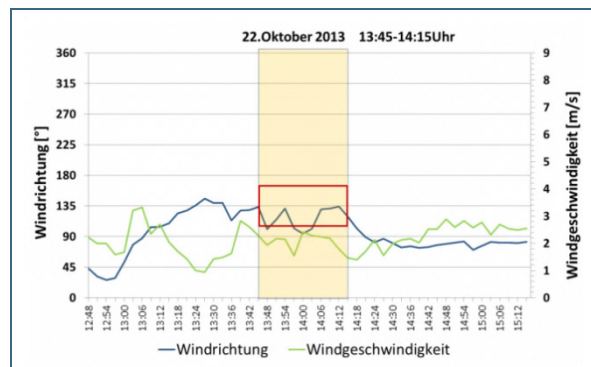


Abb. 67: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

## 6.4 Messkampagne IV: Bioaerosolmessung im Januar 2014

Die höchsten Werte an Staphylokokken wurden im **Winter** mit 40.000 KBE/m<sup>3</sup> (Abb. 71) gemessen. Obwohl sich die Bedingungen durch die kurze zeitliche Distanz zwischen den Messungen nicht gravierend änderten, ergab sich für die erste Messung (Abb. 70) ein Unterschied zwischen Prognose und Messung, während die zweite Messung (Abb. 71) sich mit der Prognose relativ gut deckte. Da die Messungen kurz hintereinander stattfanden, waren die meteorologischen Bedingungen annähernd konstant. Die Werte der zweiten Messung lagen aber deutlich besser in der sehr konzentrierten Fahne (Abb. 69), während sich in der ersten Messung die Abgasfahne breiter nach Norden weitete (Abb. 68). Trotzdem sind die deutlich höheren Diskrepanzen zwischen Prognose und Messung am Vormittag nicht nur durch die Windverhältnisse allein erklärbar.

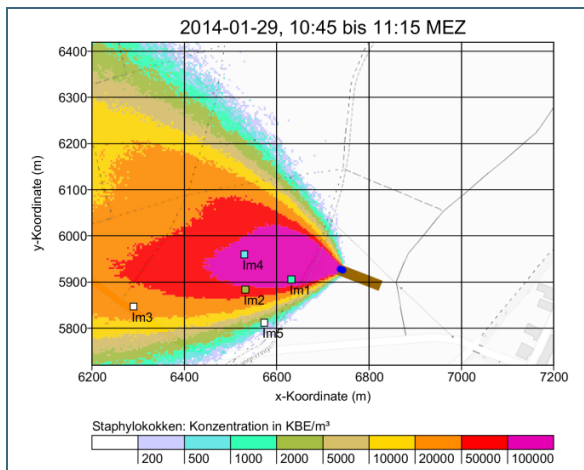


Abb. 68: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

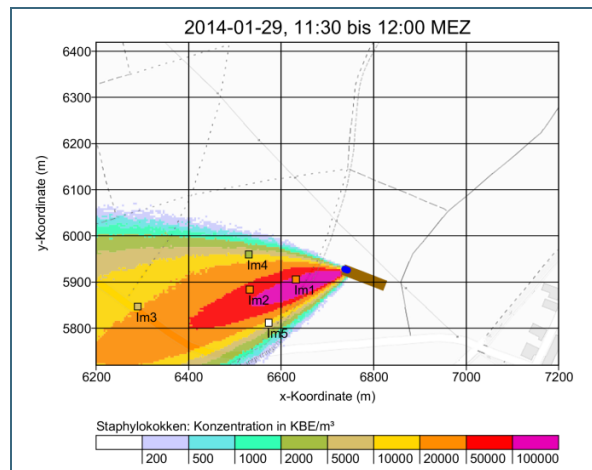


Abb. 69: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

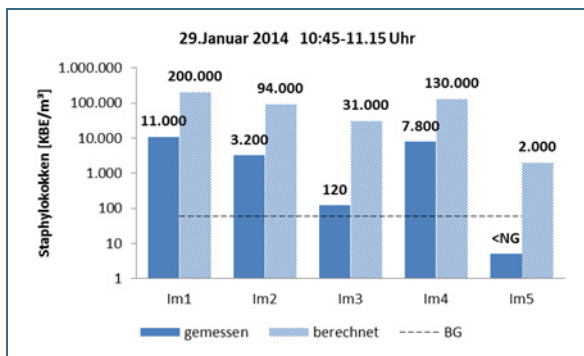


Abb. 70: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

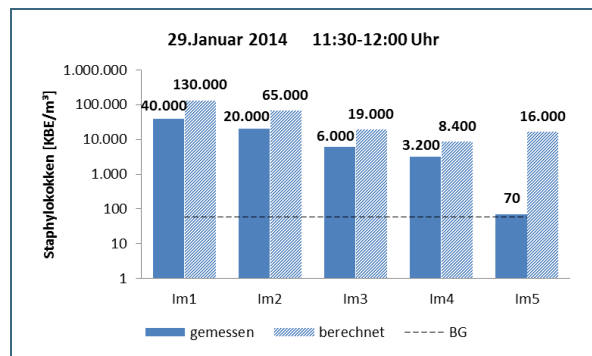


Abb. 71: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

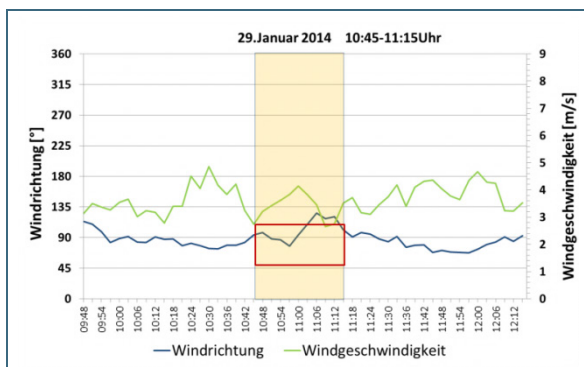


Abb. 72: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

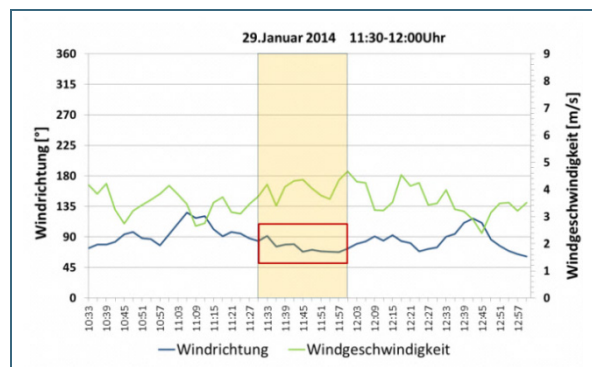


Abb. 73: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

## 6.5 Messkampagne V: Bioaerosolmessung im März 2014 mit zeitgleicher Tracergasmessung

Um die unterschiedlichen Ergebnisse im Hinblick auf evtl. Absterberaten besser interpretieren zu können, sollte zunächst die Prognose anhand einer **Tracergasmessung** abgesichert werden. Es wurde daher eine erneute Frühjahrmessung, beschränkt auf die Leitparameter Staphylokokken und Gesamtbakterien, zeitgleich mit einem Tracergas ( $\text{SF}_6$ ) durchgeführt (Abb. 74). Die genaue Vorgehensweise und die Einzelergebnisse hierzu sind Anlage II (Bericht Ingenieurbüro Lohmeyer: „Tracergasmessungen an einer Geflügelmastanlage“) und Anlage III (Bericht Ingenieurbüro Janicke: „Ausbreitungsrechnungen für eine Hähnchenmastanlage“) zu entnehmen.

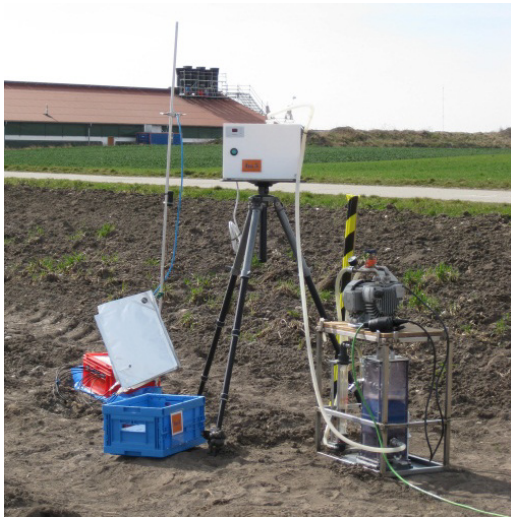


Abb. 74: Tracergasmessung auf der Immissionsseite



Abb. 75: Rauchversuche zur Sichtbarmachung der Abgasfahnenüberhöhung bzw. -ausbreitung

Wie aus den nachfolgenden Bildreihen ersichtlich ist, zeigten die Tracergasmessungen (10 Halbstundenmessungen mit insgesamt 60 Einzelwerten) für eine 30 min-Kurzzeitprognose (Abb. 80) eine relativ gute Übereinstimmung mit den prognostizierten Werten für das inerte Gas  $\text{SF}_6$ . Zwar traten Abweichungen um den Faktor 2 – 3 auf, an weiter entfernten Messorten (Im3) kam es fast durchweg zu einer konservativen Einschätzung durch die Prognose. Für eine Kurzzeitprognose ist die Immissionsituation daher sehr gut wiedergegeben. Die durchgeführten Rauchversuche zeigten ein deutliches Herabwirbeln der Abgasfahne entlang der Längsachse der Stallanlage (Abb. 75), dies wurde in der Prognose z. T. durch Verschiebung des Quellmittelpunktes und dem Verzicht auf Fahnenüberhöhung bei Windgeschwindigkeiten über 7 m/s simuliert (siehe Bericht „Ausbreitungsrechnungen für eine Hähnchenmastanlage“, Bild 5; Anlage III). Die am Immissionsort Im4 höher gemessenen als berechneten Tracergasergebnisse (s. Abb. 80) deuten ebenfalls auf das Herabwirbeln der Abgasfahne längs des Stallgebäudes hin. Die gemessenen Immissionskonzentrationen an  $\text{SF}_6$  zeigten, dass die gewählten Immissionsorte von der Abluftfahne z. T. deutlich beaufschlagt waren.

Die zeitgleichen Messungen von Staphylokokken lagen dagegen bei allen Einzelmessungen (5 Halbstundenmessungen mit insg. 30 Einzelmesswerten) mit max. 560 KBE/m<sup>3</sup> (Abb. 92) weit unter den prognostizierten Werten. Hier waren Abweichungen um 2 – 3 Zehnerpotenzen, d.h. Faktor 100 – 1000 vorhanden. Ein Großteil der Messergebnisse an Staphylokokken lag unter der Nachweisgrenze bzw. Bestimmungsgrenze von ca. 60 KBE/m<sup>3</sup> und damit bis zu einem Faktor 1000 unterhalb der Prognosewerte.

Der Vergleich der Tracergasmessung mit der Bioaerosolmessung macht deutlich, dass die niedrigen Messergebnisse bei der Bioaerosolmessung nicht durch eine Standortwahl außerhalb der momentanen Abgasfahne erklärt werden können. Zudem waren an einigen Messpunkten auch deutliche Geruchswahrnehmungen vorhanden, die i. d. R. auch hohe Bioaerosolmesswerte erwarten ließen.



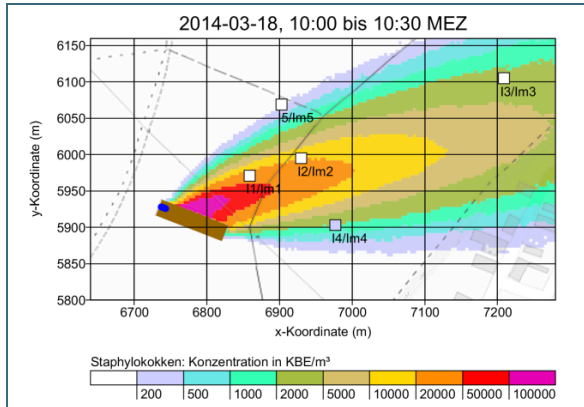


Abb. 76: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

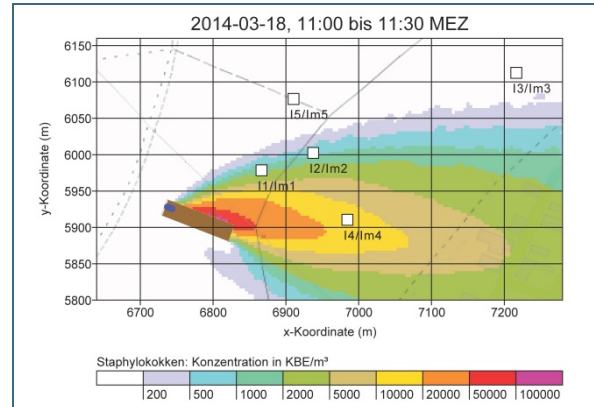


Abb. 77: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

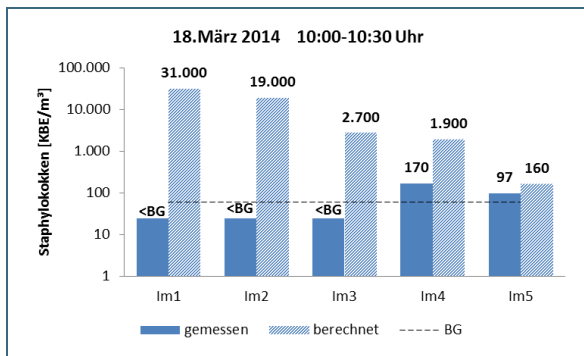


Abb. 78: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

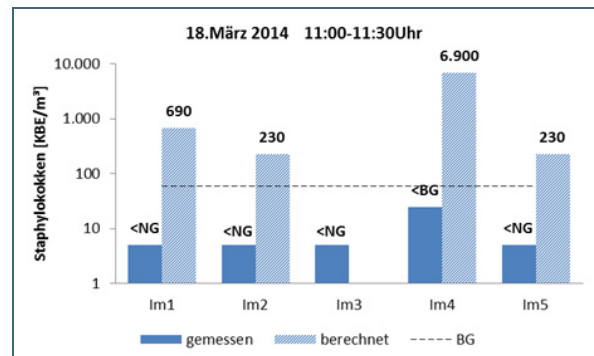


Abb. 79: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

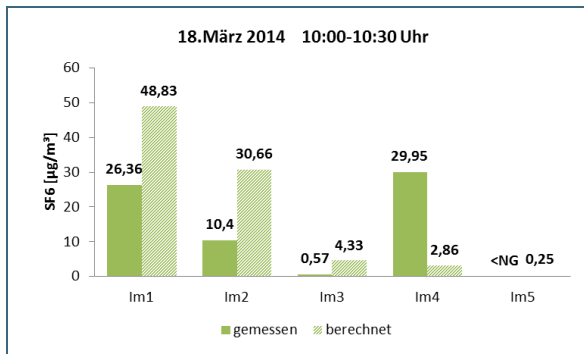


Abb. 80: Vergleich des gemessenen SF<sub>6</sub>-Gases [µg/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

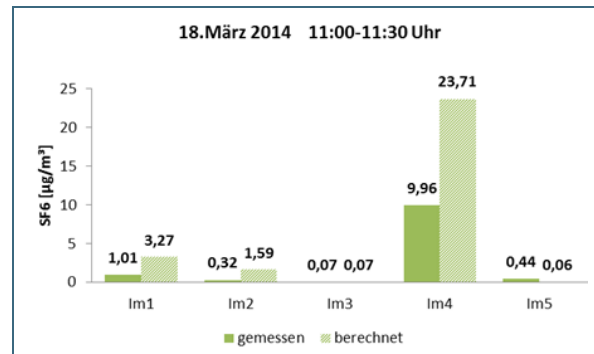


Abb. 81: Vergleich des gemessenen SF<sub>6</sub>-Gases [µg/m<sup>3</sup>] mit den prognostizierten Werten

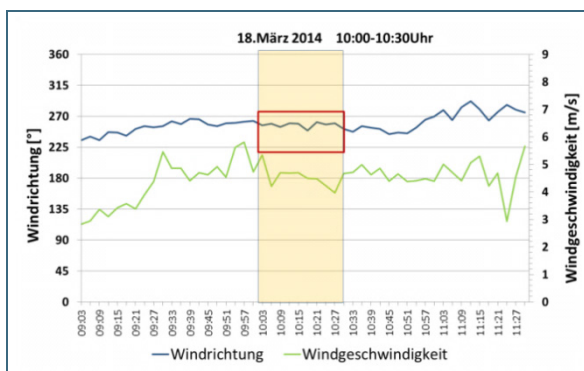


Abb. 82: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

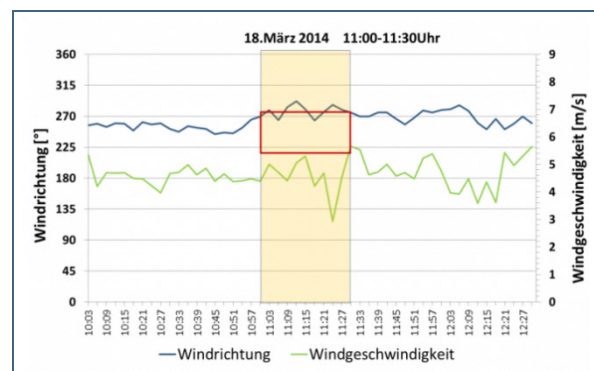


Abb. 83: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

Die Mittagsmessung um 12:00 Uhr zeigte für die Tracergasmessung eine sehr gute Übereinstimmung mit der Immissionsprognose (rechte Bildreihe Abb. 85 und Abb. 87), wohingegen die Staphylokokkenkonzentration (linke Bildreihe Abb. 84 und Abb. 86) für die meisten Punkte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

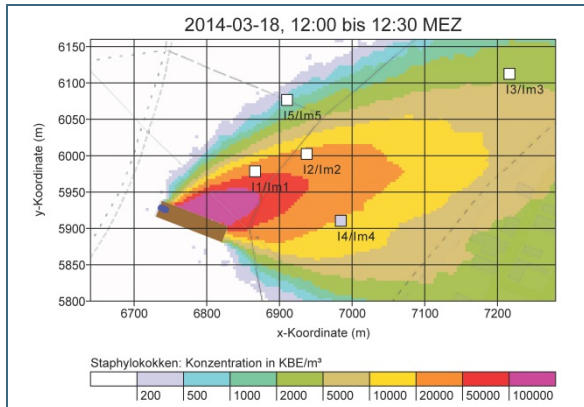


Abb. 84: Immissionsprognose der **Staphylokokken** [30]

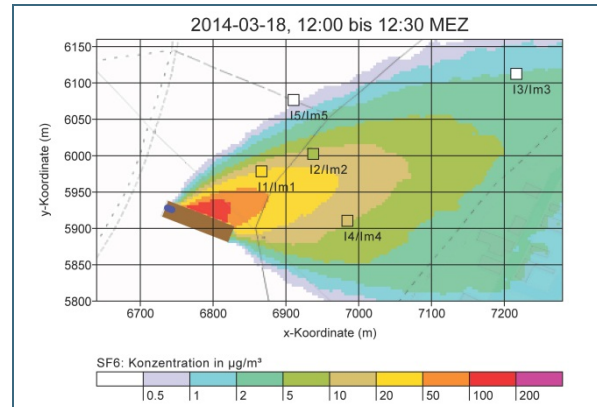


Abb. 85: Immissionsprognose für das **Tracergas** [30]

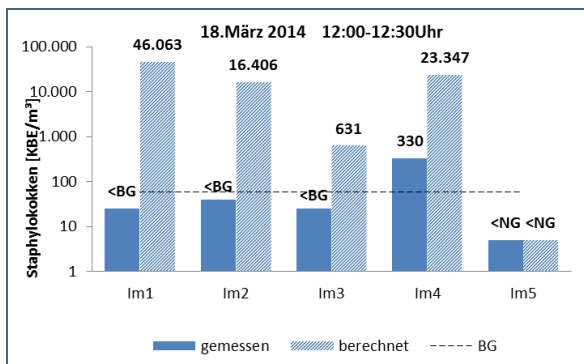


Abb. 86: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m³] mit den prognostizierten Werten

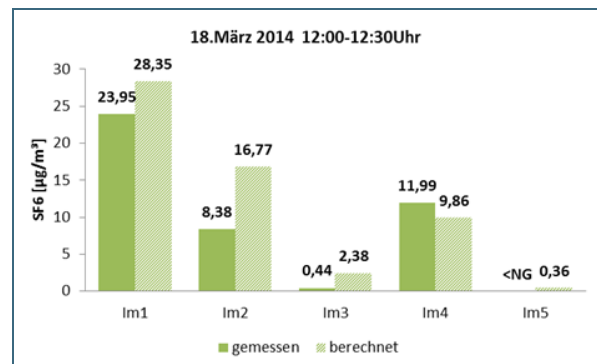


Abb. 87: Vergleich des gemessenen SF<sub>6</sub>-Gases [µg/m³] mit den prognostizierten Werten

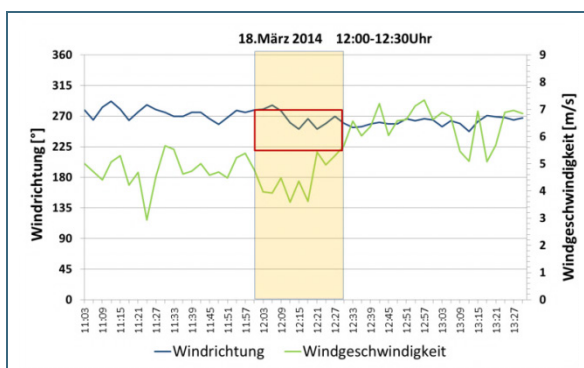


Abb. 88: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

Gegen Nachmittag wurden die Immissionsorte etwas südöstlich versetzt, um besser in der Abgasfahne zu liegen. Da die Windgeschwindigkeit über 7 m/s anstieg und der Rauchversuch einen deutlichen Downwash-Effekt zeigte (Abb. 75) wurde für die Prognose die Quelle verschoben und eine Abgasfahnenüberhöhung nicht mehr berücksichtigt.

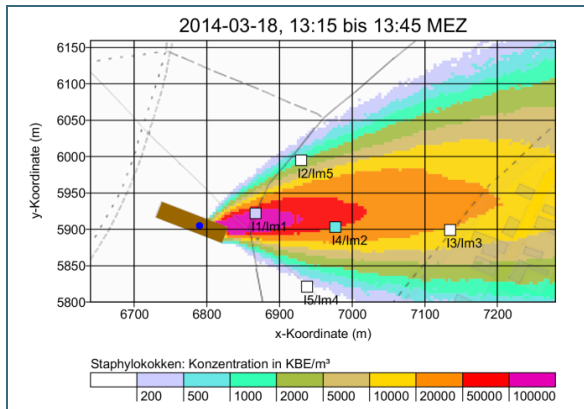


Abb. 89: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

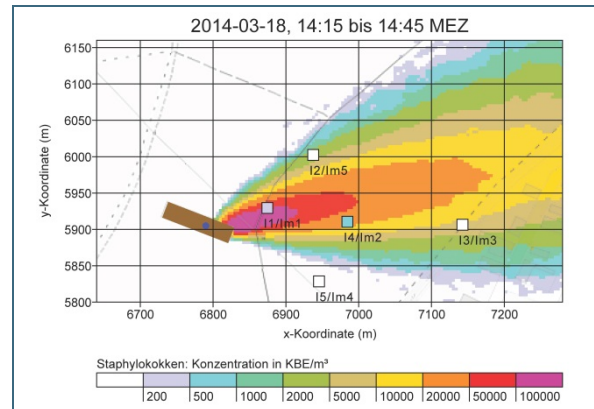


Abb. 90: Immissionsprognose der Staphylokokken [30]

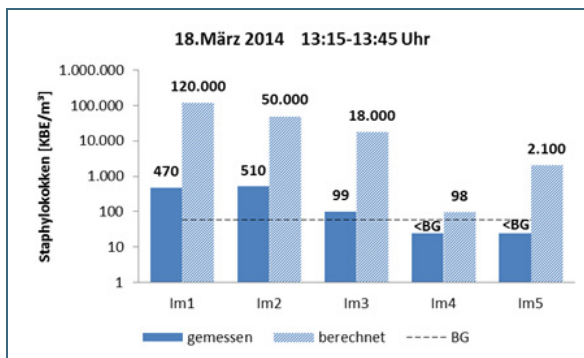


Abb. 91: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m³] mit den prognostizierten Werten

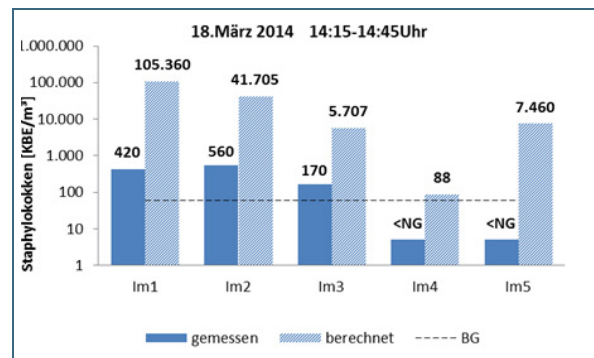


Abb. 92: Vergleich der gemessenen Staphylokokken [KBE/m³] mit den prognostizierten Werten

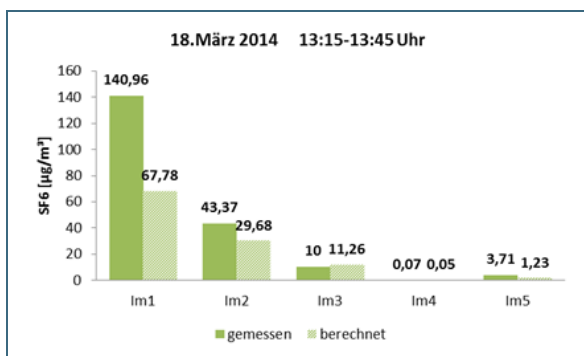


Abb. 93: Vergleich des gemessenen SF<sub>6</sub>-Gases [µg/m³] mit den prognostizierten Werten

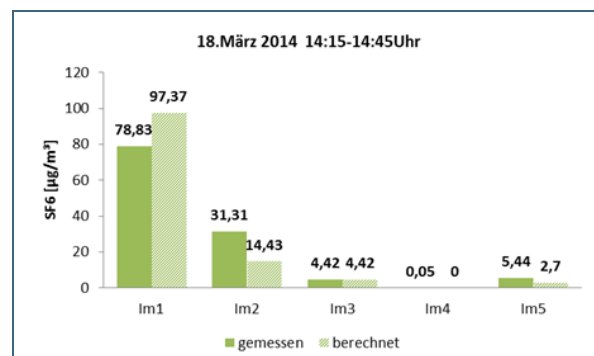


Abb. 94: Vergleich des gemessenen SF<sub>6</sub>-Gases [µg/m³] mit den prognostizierten Werten

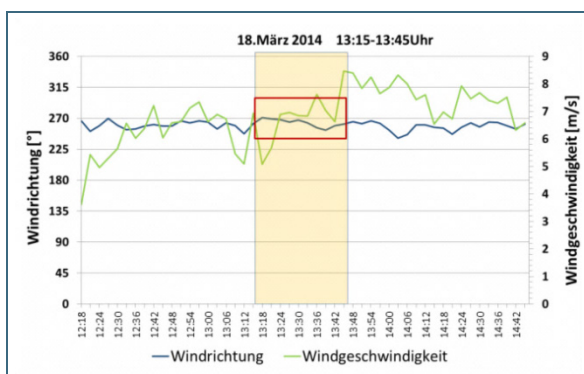


Abb. 95: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

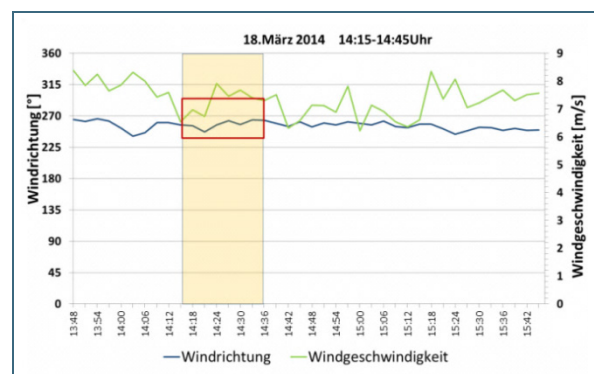


Abb. 96: Windrichtung und -geschwindigkeit (rotes Kästchen optimale Windrichtung zum Messfächer)

## 7 Diskussion der Ergebnisse für Staphylokokken

Bei dem Versuch, die unterschiedlichen Ergebnisse zu erklären, werden folgende Aspekte im Einzelnen diskutiert:

- Messungenauigkeiten bei der Emissionsmessung von Bioaerosolen,
- Unterschätzung der Deposition durch die Prognose,
- Messungenauigkeiten, die bei der Kultivierung im Labor auftreten können,
- Messungenauigkeiten bei der Immissionsmessung von Bioaerosolen und
- Einflüsse auf die Bioaerosole während der Transmission in der Atmosphäre, die evtl. Auswirkungen auf die Überlebensrate haben.

### A) Kann durch Messfehler bei der Emission die Fracht insgesamt deutlich überschätzt werden?

Ein Vergleich der **Emissionen** zeigte Emissionsmassenströme zwischen  $7 \cdot 10^{11}$  bis  $6 \cdot 10^{12}$  KBE/h, die in der gleichen Größenordnung liegen, wie sie auch von Gärtner et al. in einem umfangreichen Emissionsprojekt gemessen wurden [1]. Die Emissionswerte erscheinen daher plausibel, korrelieren aber nicht mit den Immissionskonzentrationen (Abb. 97). Dies ist auch nicht allein durch mäandernde Fahnen zu erklären, da ja insbesondere die Tracergasmessung gezeigt hat, dass die Immissionsstellen von der Abgasfahne beaufschlagt waren. Selbst eine Überschätzung des Volumenstromes ist max. im Bereich des Faktors 1,3 anzusetzen. Eine Überschätzung in der Immissionsprognose um den Faktor 100 – 1.000 erklärt sich daraus nicht. Zudem wurden bei hohen Volumenströmen tendenziell nicht höhere Emissionsmassenströme gefunden (Abb. 98).

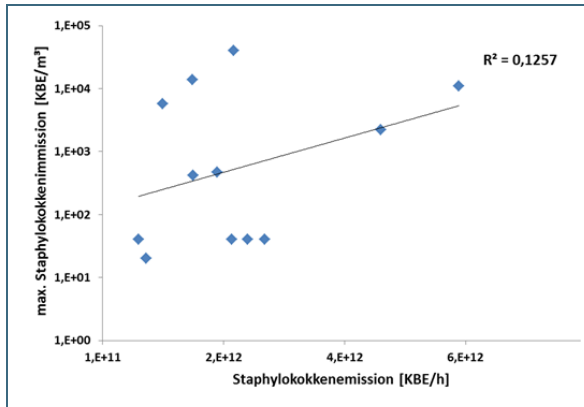


Abb. 97: max. gemessene Immissionskonzentration an Staphylokokken in Abhängigkeit vom Emissionsmassenstrom

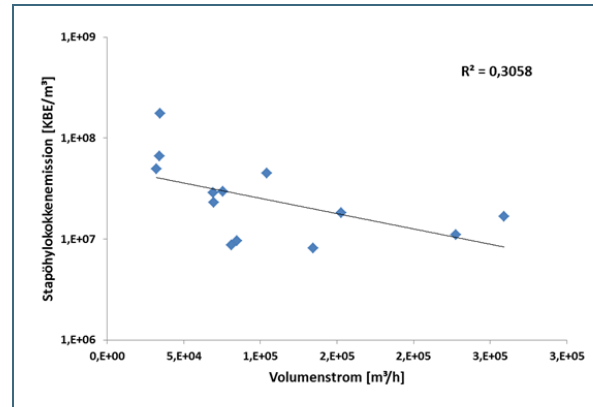


Abb. 98: Emissionsmassenstrom an Staphylokokken in Abhängigkeit vom Volumenstrom

### B) Kann es durch eine vermehrte Deposition von großen Bioaerosolpartikeln im Anlagenumfeld zu einer Überschätzung der Prognose kommen?

Es wurde davon ausgegangen, dass Bioaerosole mit dem Staub transportiert werden. Dabei ist noch nicht bekannt, an welchen Staubfraktionen der Großteil der Bioaerosole haftet. Solange darüber keine Erkenntnisse vorliegen, wird in der Immissionsprognose nach VDI 4251 Blatt 3 ein konservativer Ansatz mit der Staubfraktion Klasse 1 gewählt. In Fachkreisen tauchte daher die Frage auf, ob dieser Ansatz dazu führt, dass die Prognose die Belastungssituation deutlich überschätzt, etwa dadurch, dass im Abgaskanal durch die isokinetische Absaugung mit dem Emissionsimpinger größere, stark bioaerosolhaltige Fraktionen erfasst werden, die nach Austritt aus dem Abgaskanal rasch absinken

und damit der größte Anteil der emissionsseitig erfassten Bioaerosole im direkten Umfeld der Kamine deponiert wird. Diese Möglichkeit wird durch die vorliegende Messung nicht gestützt. So kam es unter bestimmten Bedingungen durchaus zu einer guten Übereinstimmung von Prognose und Messung (siehe Abb. 69, Januarermessung: 11:30-12:00 Uhr). Testrechnungen vom Ingenieurbüro Janicke unter Vernachlässigung der Deposition (aerodynamischer Durchmesser der Trägerpartikel kleiner  $1\ \mu\text{m}$ , Sinkgeschwindigkeit kleiner  $0,01\ \text{cm/s}$ , Depositionsgeschwindigkeit kleiner  $0,05\ \text{cm/s}$ ) und mit starker Deposition (aerodynamischer Durchmesser  $100\ \mu\text{m}$ , Sinkgeschwindigkeit  $25\ \text{cm/s}$ , Depositionsgeschwindigkeit zwischen  $30$  und  $50\ \text{cm/s}$ ) zeigen in der Entfernung von  $300\ \text{m}$  eine Reduktion der luvseitigen Konzentration um den Faktor  $2 - 3$ . Ein Reduktionsfaktor von  $100 - 1.000$  ist dadurch nicht erklärbar (siehe Abb. 99).

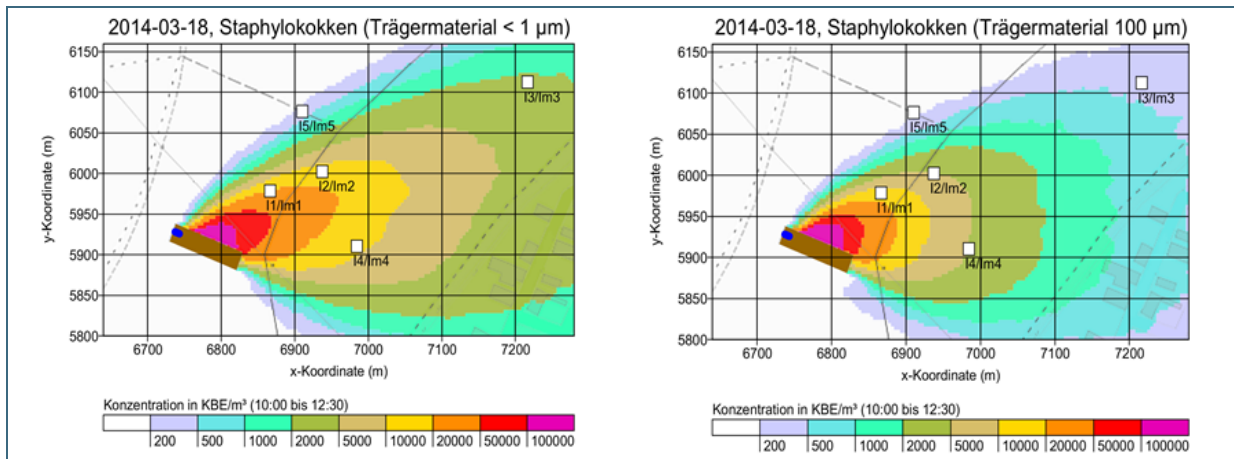


Abb. 99: Depositionsberechnungen [Quelle: [30] für unterschiedliche Partikelgrößen (links:  $< 1\ \mu\text{m}$ ; rechts  $100\ \mu\text{m}$  als Trägermaterial)

### C) Können Unsicherheiten bei der kulturbedingten Messung zu einer deutlichen Unterschätzung der Immissionsbelastung führen?

Die Genauigkeit der quantitativen Bestimmung von kultivierbaren Bakterien hängt hauptsächlich von der Wahl der Kultivierungsbedingungen ab. Da bei den Untersuchungen sowohl emissionsseitig als auch immissionsseitig die gleichen Kultivierungsbedingungen gewählt wurden, würde sich ein möglicher Fehler relativieren. Während die Emissionsproben für die Bestimmung verdünnt werden müssen, kommt bei der Immissionsmessung eine Aufkonzentrierung durch Filtration zum Einsatz. Untersuchungen von Kath und Mietke-Hofmann [31] ergaben jedoch, dass die dadurch entstehenden Verluste tolerierbar sind ( $< 10\%$ ). Insgesamt ist daher eine Unterschätzung um  $10^2 - 10^3$  nicht durch das Auswerteverfahren erklärbar. Das auswertende Labor geht von einer max. möglichen Unterschätzung von einem Faktor  $5$  bis maximal  $10$  aus. Zudem wäre dann nicht erklärbar, warum bei einzelnen Messkampagnen durchaus eine hohe Anzahl an Staphylokokken an allen beaufschlagten Messorten gefunden wurde (z. B. Jan. 2014 bis  $40.000\ \text{KBE/m}^3$ , siehe Abb. 71)

### D) Können systematische Messfehler durch das Immissionsmesssystem auftreten, die zu Minderbefunden führen?

Durch das Sammelsystem sind die Bakterien unterschiedlichen Stressoren ausgesetzt. Das sind zum einen physikalische Größen, wie z.B. eine unvollständige Abscheidung in der Sammelflüssigkeit [20] zudem können die Mikroorganismen auch in ein „Viable but not culturable“-Stadium [32] übergehen. Unter Umständen sind die Bioaerosole durch die isokinetiche Absaugung am Emissionsimpinger geringeren Belastungen ausgesetzt als beim Immissionsimpinger AGI 30, bei dem die Bakterien mit hoher Geschwindigkeit auf die Flüssigkeitsoberfläche aufprallen („kritische Düse“). Dabei dürften sich derartige Effekte auf die Wiederfindungsrate aller Messstandorte auswirken. Gegen eine starke Beein-

flussung durch das Sammelsystem sprechen die Messkampagnen im Oktober 2013 10:15 – 10:45 Uhr (Abb. 64) sowie im Januar 2014 11:30-12:00 Uhr (Abb. 71), die bis zu 40.000 KBE/m<sup>3</sup> Staphylokokkenkonzentration aufwiesen und über alle Messorte eine gute Übereinstimmung mit der Prognose zeigten. Da die Messmethode nicht variierte und bei den o.g. Messkampagnen am gleichen Messtag auch deutliche Minderbefunde auftraten, lässt sich ein systematischer Einfluss durch das Messsystem nicht bestätigen. Denkbar wäre hier nur, dass durch die Durchströmung mit unbelasteter Luft zur zweiten Hälfte des Messzeitraums der Vormittagsmessung (Abb. 72) bereits abgeschiedene Partikel bzw. Mikroorganismen wieder ausgeblasen wurden (Durchreißeffekt) oder hohem physikalischen Stress (z. B. Aufprall unbelasteter Luft) ausgesetzt waren.

### E) Können die vorhandenen meteorologischen Bedingungen zu erhöhten Absterberaten führen?

Um die Frage zu klären, welche Einflussparameter für die Absterberaten bei der Transmission während des halbstündigen Probenahmezeitraums noch eine Rolle spielen könnten, wurden Korrelationen mit allen wichtigen Einflussparametern durchgeführt. Hierbei wurde immer die höchste gemessene Immission einer Messkampagne in Korrelation mit dem jeweiligen Einflussparameter gesetzt.

Dabei zeigte sich ein signifikanter exponentieller Zusammenhang (Korrelationskoeffizient: 0,81) insbesondere mit der Strahlungsstärke (Halbstundendosis über den Messzeitraum) im kurzwelligen UV-B Wellenlängenbereich (Abb. 100). Da die Übereinstimmung der globalen Strahlung am Messort mit der 60 km entfernten Messstation des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) sehr gut war (Korrelationskoeffizient: 0,85), wurden die von der BfS gemessenen Dosen der kurzwelligen Strahlungen auf den Messort übertragen und interpretiert. Insbesondere während der Tracergasmessung war die UV-Strahlung für den 18. März ungewöhnlich hoch.

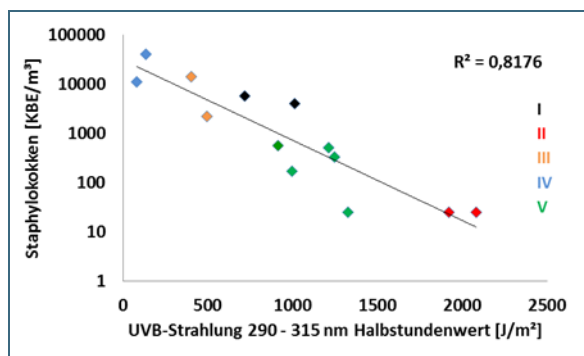


Abb. 100: max. gemessene Staphylokokkenkonzentration der Immission in Abhängigkeit von der UV-B Strahlung (Messkampagnen I bis V farblich markiert)

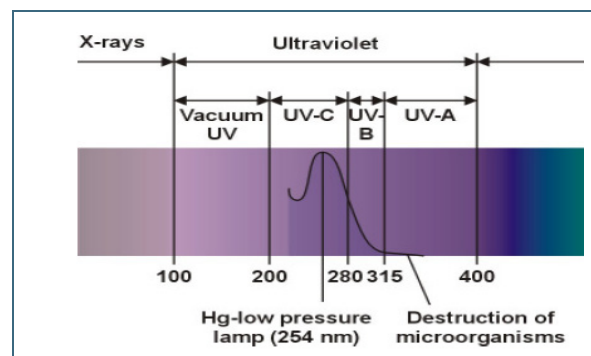


Abb. 101: Bereich des UV Lichtes, der auf Mikroorganismen schädlich wirkt (Xylem) [33]

Aus der Abwassertechnik ist bekannt, dass Mikroorganismen durch UV-Strahlung inaktiviert werden. Dabei liegt das Maximum bei 254 nm (Wellenlängenbereich der Quecksilber-Niederdrucklampe, s. Abb. 101). Während durch Oxidation die Zellhülle zerstört werden kann, greift die UV Strahlung direkt die DNA-Struktur des Zellkerns an und verhindert so die Reproduktion. Das Wachstum der Mikroorganismen wird gehemmt, es können sich weniger Kolonien bilden. So erfordert eine Desinfektion in der Wassertechnik um bis zu 10<sup>4</sup> KBE/l eine Bestrahlung im UV-C Bereich (253,7 nm) von 400 J/m<sup>2</sup>. UV-C Strahlung wird fast vollständig durch die oberen Luftschichten absorbiert und gelangt nicht bis zur Erdoberfläche. Für Desinfektionszwecke wird sie daher künstlich erzeugt.

Aber auch im längerwelligen UV-Bereich ist nicht ausgeschlossen, dass noch erhebliche Zell-Inaktivierungen vorliegen. So sehen Davis-Colley et al. (2000) [34] als wichtigen Mechanismus der solaren Desinfektion die Absorption von solarer UV-B-Strahlung im Bereich von 300 – 320 nm durch die DNS.

Die Folge ist ebenso wie bei der kurzwelligigen UV-C Strahlung eine direkte Schädigung der Vermehrungsfähigkeit. Verstärkt wird diese direkte Schädigung durch indirekte Vorgänge. So kann durch Absorption von kurzwelliger solarer UV-Strahlung an den Zellbestandteilen eine Reaktion mit Sauerstoff stattfinden wodurch hochreaktive photooxidierende Bestandteile entstehen, die dann wiederum Schäden im Innern der Zelle verursachen. Diese Vorgänge sind auch extrazellulär in einem weiten Spektrum von UV- bis zum sichtbaren Sonnenlicht festgestellt worden.

Die mikrobizide Wirkung ist neben der Dosis und der Wellenlänge auch von der Bestrahlungsdauer und der Abschirmung durch das Umgebungsmedium abhängig. So wird in [33] beschrieben: „UV-Strahlen besitzen eine geringe Eindringtiefe, da sie von der Materie sehr schnell absorbiert werden und somit nur eine Keimverminderung auf der Oberfläche von festen und flüssigen Materialien bewirken“.

Während die obigen Untersuchungen alle im dichteren Medium Wasser abliefen, dürfte sich in der Umgebungsluft die mikrobizide Wirkung durch UV Strahlung nochmals verstärken.

Bei gasförmigen Bioaerosolen oder an der Oberfläche von Partikeln anhaftenden Bioaerosolen könnte mit zunehmender Bestrahlungsdauer auch eine Auswirkung auf die Reproduktion zu vermuten sein. Neben der Bestrahlungsstärke und der Wellenlänge spielt auch die Bestrahlungsdauer (Dosis) eine wichtige Rolle. Die Zeit, bis das Bioaerosol die Messöffnung des nächstgelegenen Immissionsimpingers in 100 m Entfernung erreicht, schwankt je nach Windgeschwindigkeit zwischen ca. 20 und 120 Sekunden; in der Trinkwassertechnik laufen die Desinfektionsvorgänge zwar mit höheren Bestrahlungsstärken im kürzeren Wellenlängenbereich, aber meist nur in einem Bruchteil von Sekunden ab [35] [36].

Untersuchungen von Jones und Harrison [37] bestätigen diese Theorie. Zwar kennt man aus Untersuchungen einen sogenannten „Reparatureffekt“, doch ist bisher wenig über dessen Größe und zeitlichen Ablauf bekannt [38].

Untersuchungen des antimikrobiellen Wirkspektrums des UV-Lichtes ergaben eine hohe Empfindlichkeit bei gramnegativen Bakterien (z.B. Enterobakterien wie E. coli), gefolgt von grampositiven Bakterien (z.B. Staphylokokken), Bazillussporen, Mikrokokken, Hefen, Schimmelpilzen und Viren [33].

Bei den Untersuchungen am Masthähnchenstall durch das LfU wurde bei langwelligerer Strahlung (UV-A) eine geringere Korrelation festgestellt (Korrelationskoeffizient: 0,64; Abb. 102), was darauf schließen lässt, dass die Absterberate vom Wellenlängenbereich abhängt (Globalstrahlung Abb. 103).

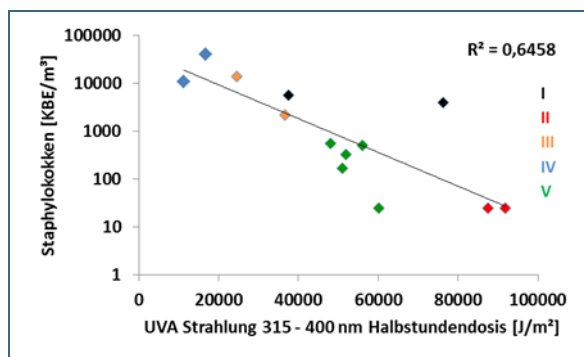


Abb. 102: Korrelation von Staphylokokken und UV-A Strahlung

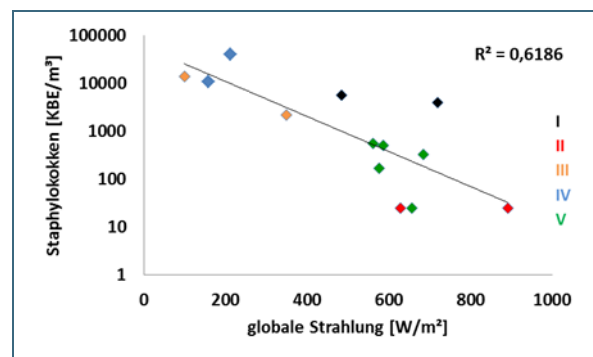


Abb. 103: Korrelation von Staphylokokken und Globalstrahlung

Als weitere mögliche Einflussfaktoren wurden die Ergebnisse mit den Vorortmessungen von **Ozon**, **Feuchte** und **Temperatur** verglichen; hier zeigten sich weniger signifikante Zusammenhänge, ein gewisser Einfluss kann aber nicht ausgeschlossen werden (s. nachfolgende Abb. 104 bis Abb. 106).

**Ozon** ist sehr reaktiv und könnte auf die äußere Hülle der Bakterien einwirken. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration und Staphylokokkenkonzentration konnte jedoch bei den

Messkampagnen nicht festgestellt werden (Abb. 104), da im Bereich von 80 – 100 µg/m³ Ozon sowohl hohe als auch niedrige Werte an Staphylokokken vorlagen.

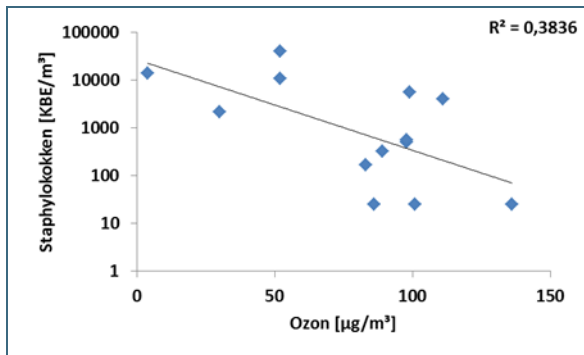


Abb. 104: Korrelation von Staphylokokken und Ozon

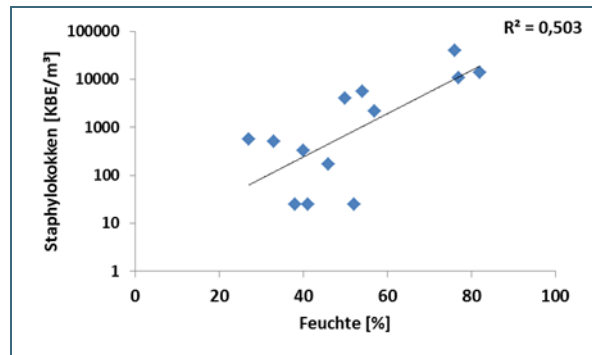


Abb. 105: Korrelation von Staphylokokken und Feuchte

Der Einfluss der **Feuchte** spielt gerade im Austrocknungsprozess eine wichtige Rolle. Laborversuche hierzu zeigten jedoch für die Vermehrungsfähigkeit von *Staph. albus* und *Staph. aureus* bei 50 % Luftfeuchte und 22 °C nach 250 s einen Verlust von < 1 % der Vermehrungsfähigkeit, d.h. die untersuchten Staphylokokkengruppen waren sehr stabil [39]. Zwischen der Spanne von 30 % - 80 % Feuchte ist ein gewisser Einfluss trotz geringer Korrelation nicht ausschließbar (Abb. 105).

Bei der Korrelation mit der **Temperatur** war kein signifikanter Zusammenhang mehr erkennbar (Abb. 106). Dies ist plausibel, da der Temperaturbereich von bis 25 °C in einem für Bakterien günstigen Bereich liegt, das bestätigte sich auch durch Laborversuche von Müller und Gröning (1980), die kaum Verluste bei Temperaturen von 22 °C und 50 % Feuchte fanden [40].

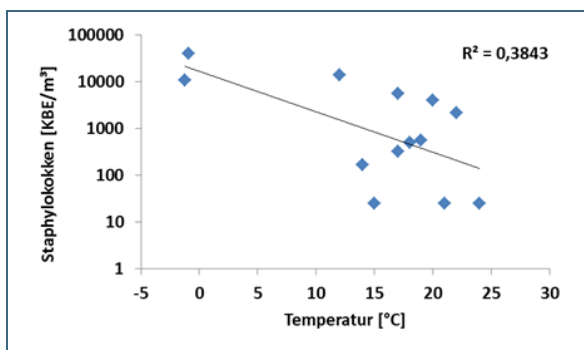


Abb. 106: Korrelation von Staphylokokken und Temperatur

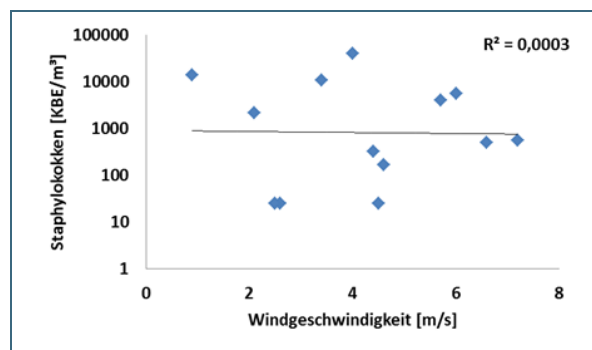


Abb. 107: Korrelation von Staphylokokken und Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit zeigte erwartungsgemäß keinerlei Einfluss auf die gemessenen Staphylokokkenkonzentrationen (siehe Abb. 107).

Der Einfluss von meteorologischen Parametern, insbesondere von UV Strahlung erscheint signifikant zu einer erhöhten Absterberate beizutragen. Nicht erklärbar ist jedoch, warum bei der Januarermessung am frühen Vormittag (Abb. 70) trotz gleicher Einflussparameter bei der Zweitmessung am späten Vormittag (Abb. 71) um bis zu 2 Zehnerpotenzen niedrigere Werte gefunden wurden. Hier war einzig die Windrichtung stark schwankend, sodass die Fahne nur zur Hälfte der Zeit die Immissionsmessorte beaufschlagte (Abb. 72). Daraus allein erklären sich aber nicht die geringen Messwerte bzw. die deutliche Überschätzung der Prognose. Trotzdem waren bei dieser Messung noch Konzentrationen bis zu 10<sup>3</sup> KBE/m³ messbar, während bei den Sommermessungen im Juli (Abb. 58 und Abb. 59) und der Tracergasmessung im März (Abb. 78 und Abb. 79) mit relativ hohen UV-Einstrahlungen die Konzentrationen größtenteils unter der Bestimmungsgrenze lagen oder gar nicht nachgewiesen werden konnten.



ten. Gemäß VDI 4252 Blatt 3 [20] wäre es auch denkbar, dass durch die in der zweiten Hälfte der Messphase am frühen Vormittag (Abb. 72) fortgesetzte Durchströmung mit unbeaufschlagter Umgebungsluft die bereits abgeschiedenen Partikel bzw. Mikroorganismen wieder ausgeblasen wurden (Durchreißeffekt).

In Tab. 6 sind die Parameter Feuchtigkeit, Temperatur und der Meteorologie während der fünf Messkampagnen aufgeführt, die möglicherweise einen Einfluss auf die Überlebensfähigkeit, bzw. die Absterberate der Bioaerosole haben könnten. Zudem könnte die 15-minütige Durchströmung mit unbelasteter Luft auch zu einem erheblichen physikalischen Stress (Aufprallgeschwindigkeit, Durchströmungsturbulenzen, etc.) geführt haben.

Tab. 6: Vergleich der Parameter Feuchtigkeit, Temperatur und Witterungsverhältnisse während der fünf Messkampagnen für Bioaerosole

Datum/ Uhrzeit	Rel. Feuchtigkeit		Temperatur		Globalstrahlung	UV-A Strahlung 315-400nm (J/m <sup>2</sup> )	UV-B Strahlung 290-315nm (J/m <sup>2</sup> )	Ozon	Wind
	außen	im Stall	außen	im Stall					
MEZ	in %	in %	in °C	in °C	in W/m <sup>2</sup>	in J/m <sup>2</sup>	in J/m <sup>2</sup>	in µg/m <sup>3</sup>	in m/s
<b>16.04.2013</b>									
10:15 – 10:45	54,5	59,0	17,5	23,9	484	37.517	716	99	6
14:30 – 15:00	50,0	61,0	20,0	24,5	719	76.266	1.011	111	5,7
<b>16.07.2013</b>									
10:00 – 10:30	52,2	52,1	20,8	24,0	628	87.489	1.919	101	2,6
13:45 – 14:15	37,9	44,8	24,0	26,6	891	91.820	2.080	136	2,5
<b>22.10.2013</b>									
10:15 – 10:45	81,7	77,0	12,1	24,1	100	24.561	401	4	0,9
13:45 – 14:15	56,5	66,8	21,6	25,4	349	36.637	494	30	2,1
<b>29.01.2014</b>									
10:45 – 11:15	77,0	75,9	-1,2	21,4	158	11.324	80	52	3,4
11:30 – 12:00	76,0	75,5	-0,9	21,4	213	16.809	134	52	4,0
<b>18.03.2014</b>									
10:00 – 10:30	46,3	62,1	13,9	23,1	576	51.023	995	83	4,6
11:00 – 11:30	41,4	57,1	15,1	24,1	656	60.133	1.325	86	4,5
12:00 – 12:30	39,5	54,4	16,5	25,1	684	51.900	1.245	89	4,4
13:15 – 13:45	32,8	52,5	17,7	26,3	586	56.040	1.211	98	6,6
14:15 – 14:45	26,5	48,0	18,5	26,5	561	48.051	913	98	7,2

## 8 Empfehlungen für zukünftige Immissionsuntersuchungen bez. Bioaerosolen bei Masthähnchenställen

- Während bei der Emissionsmessung für einen Überblick über das vorkommende Erregerspektrum durchaus eine Vielzahl von unterschiedlichen Bioaerosolen bestimmt werden sollen, ist bei der Immissionsmessung auf den dominierenden Leitparameter (hier Staphylokokken) zu Gunsten einer höheren Anzahl von Wiederholungsmessungen abzustellen. Damit erhöht sich auch die statistische Sicherheit der Messergebnisse. Anderenfalls kann die Vielzahl der zu bestimmenden Parameter die Laborkapazitäten sprengen. Zudem sind bestimmte Parameter bereits emissionsseitig in so niedriger Konzentration vorhanden, dass ein Nachweis auf der Immissionsseite nicht mehr möglich ist (z. B. Enterokokken, Endotoxine, etc.).
- Um die Unsicherheit der Probenahme zu verbessern, sind regelmäßig auf der Immissionsseite Doppelbestimmungen durchzuführen. Auch Unsicherheiten beim Auswerteverfahren müssen noch genauer ermittelt werden. Dabei ist zu klären, ob es bei der Immissionsmessung im Vergleich zur Emissionsmessung zu einer systematischen Unterschätzung der Bioaerosolbelastung kommen kann, die methodisch bedingt ist (z. B. infolge verschiedener Impingertypen und Probenahmebedingungen).
- Zur Abklärung, ob evtl. Störeinflüsse – wie z. B. Downwash-Effekte, Abdriften der Fahne, etc. – vorliegen, sind Rauchversuche oder Tracergasmessungen sehr empfehlenswert. So kann die Ausbreitung der Abgasfahne besser interpretiert werden. Außerdem sollte parallel zur Messung eine Aufzeichnung der Geruchswahrnehmungen stattfinden.
- Damit die oft sehr konzentrierte Fahne nicht zwischen den Längstransekten des Messnetzes durchzieht, sollten statt 3 Längstransekten besser mit Quertransekten (z.B. 5 Messpunkte auf einer Querachse) gemessen werden.
- Um etwaige Unterschätzungen bei der kultivierungsabhängigen Auswertung zu erkennen, sollten Parallelmessungen mit unterschiedlichen Methoden stattfinden. Dies bezieht sich auf die einzelnen Nährböden, Auswerteverfahren und Probenahmeverfahren.
- Es ist wichtig, mögliche Absterbeprozesse und ihren zeitlichen Verlauf während der Probenahme und während des Probentransportes bis zu Kultivierung näher zu untersuchen (z. B. Überlebensfähigkeit und Durchreißeffekt der bereits abgeschiedenen Bakterien bei anschließender Durchströmung mit unbelasteter Luft).
- Die Immissionsmessungen sollten insbesondere auch im Winter durchgeführt werden, da dann meist die Ozon- und UV-Belastung niedriger ist, d.h. evtl. Absterbeprozesse verzögert sind. Das gleiche gilt für Bedingungen, die für die Überlebensfähigkeit besonders ideal erscheinen, wie z. B. Nebeltage.
- Um ein Einfrieren der Impingerflüssigkeit bei Wintermessungen zu verhindern, ist ein beheizbares Wasserbad unabdingbar.
- Neben den bisherigen Untersuchungen zu Feuchte- und Temperatureinflüssen [39] müssten weitere Forschungen zur UV- und Ozon-Empfindlichkeit von Staphylokokken im Labormaßstab durchgeführt werden, da hier ein relevanter Einfluss auf die Reproduktionsfähigkeit (UV-B Strahlung) und den Absterbemechanismus durch Zellwandschädigungen (z.B. durch Ozon) zu vermuten ist. Dabei ist insbesondere auch auf die Verweilzeit der Bioaerosole in der Luft zu achten, die je nach Windgeschwindigkeit und Abstand der Wohnbebauung bzw. der Messstandorte ca. 15 s – 500 s betragen kann.

- Hier ist insbesondere auf die Reproduktionsfähigkeit von Einzelspezies zu achten. So wird angenommen, dass z. B. Staphylokokken weniger empfindlich [41] auf Umwelteinflüsse reagieren, während z. B. Enterobakterien als gramnegative Bakterien sehr empfindlich sein können.

## 9 Bewertung von emissionsmindernden Maßnahmen

Eine direkte Korrelation zwischen Bioaerosolemission und Staubemission konnte aber bisher nicht festgestellt werden [9].

Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung sind besonders wichtig, um die Bakterienfracht insgesamt einzuschränken und das Gefahrenpotential zu vermindern. Generell ist in der Geflügelhaltung zu vermuten, dass eine schnelle Kotabfuhr und staubarme Einstreumaterialien im Stall auch die Fracht an Bioaerosolen mindern. Eine quantitative Aussage dieser Einflussfaktoren bedarf weiterer Forschungsarbeit und konnte in diesem Projekt nicht weiter untersucht werden.

Im Hinblick auf Kurzzeitemissionen multiresistenter Bakterien ist eine Tierhaltung, die mit möglichst geringen Antibiotikagaben auskommt und somit die Gefahr von Resistenzbildungen einschränkt, in jedem Falle zielführend. Im vorliegenden Projekt war während der ganzen Messphase nach Angabe des Betreibers eine Antibiotikagabe nicht notwendig. Der Betreiber legte größten Wert auf eine tiefgehende hygienische Reinigung nach jedem Durchgang, die selbst die Innenräume der Kamine mit einbezog. Hier könnten evtl. für alle Betreiber verbindliche Maßnahmen in Bezug auf die Hygiene festgelegt werden, um so die Antibiotikagaben zu reduzieren. Auch kleinere Stallgrößen könnten die Antibiotikagaben verringern, da bei einem Krankheitsbefall immer der ganze Bestand behandelt werden muss. Damit würde nicht nur einem möglichen Emissionseintrag über den Luftpfad entgegenwirkt, sondern vor allem die erhöhte Belastung in der Einstreu und auch an der „Produktoberfläche“ selbst gemindert.

Anmerkung: Derzeit entwickeln sich die Bestände pro Stall über die bisher üblichen ca. 40.000 Tierplätze hinaus auf bis zu 60.000 Tierplätze pro Stall.

Der Betreiber des vom LfU untersuchten Stalles hat sich nach dem Messprogramm – unabhängig von den bis dahin noch nicht vorliegenden Ergebnissen – überlegt, auf eine tiergerechtere Haltungsform (Tierwohllabel) umzustellen. Hierbei werden geringere Tierzahlen eingestallt und robustere, langsam wachsende Tiere gemästet. Es ist zu erwarten, dass damit auch die Emissionen etwas zurückgehen und der Druck für Antibiotikagaben weiter abnimmt. Hier wären weitere Untersuchungen anzustreben, um zu sehen, wie artgerechtere Haltungsformen, z. B. mit Auslaufflächen, in Bezug auf den Umweltschutz zu bewerten sind.

Abgesehen davon ist durch eine artgerechte kleinstrukturierte Tierhaltung neben einer geringeren Emission von Bioaerosolen und Gerüchen im Umfeld auch mit einer deutlich höheren Akzeptanz in der Bevölkerung zu rechnen. Voraussetzung hierfür ist aber eine höhere Wertschätzung der erzeugten Produkte, damit der Landwirt wirtschaftlich im regionalen Kreislauf produzieren kann.

## 10 Anhang

Tab. 7: Zusammensetzung des Futters

<b>Futter pro Mastperiode:</b>	<b>ca. 2,6 kg pro Tier</b>
Aufzuchtfutter (23 % Rohprotein) bis ca. 10. Tag:	ca. 0,3 kg pro Tier
Mastfutter (22 % Rohprotein) ab 11. bis 18. Tag:	ca. 1,5 kg pro Tier
Absetzfutter (18 % Rohprotein) Systemmast (80 % Mastfutter, 20 % eigener Weizen) von 19. bis ca. 30. Tag:	ca. 0,8 kg pro Tier
Trinkwasser pro Mastperiode:	ca. 5 Liter pro Tier

Tab. 8: Mess-, Probenahme- und Analysenverfahren nach bzw. in Anlehnung an DIN EN-Normen, VDI-Richtlinien für die **Emission**

	<b>Messgröße</b>	<b>Mess-, Probenahmeverfahren</b>	<b>Analysenverfahren</b>
Kontinuierlich	Abgastemperatur	NiCr-Ni-Thermoelement	–
	Abgasfeuchte	Feuchtefühler	–
	$C_{ges}$ $C_{CH_4}$	Edelstahlprobenahmesonde mit Sinterkeramikfilter	Flammenionisation, DIN EN 12619 0, VDI 3481 Blatt 4 [43]
	$N_2O$	Edelstahlprobenahmesonde mit Sinterkeramikfilter	Nichtdispersive Infrarotadsorption, DIN EN ISO 21258 [44]
	Abgasgeschwindigkeit	Flügelradanemometer VDI 2066 Blatt 1 [47]	
Diskontinuierlich	Abgasgeschwindigkeit	Flügelradanemometer VDI 2066 Blatt 1 [47]	–
	$NH_3$	VDI 3496 Blatt 1 [50]	Ionenchromatographie, DIN EN ISO 14911 [45]
	Gesamtstaub	DIN EN 13284-1[46], VDI 2066 Blatt 1 [47]	Gravimetrie, DIN EN 13284-1 [46], VDI 2066 Blatt 1 [47]
	Feinstaub $PM_{10}$ , $PM_{2,5}$	VDI 2066 Blatt 10 [48]	Gravimetrie, VDI 2066 Blatt 10 [48]
	Endotoxine	VDI 2066 Blatt 10 [48], BIA 9450 [49]	Chromogenkinetischer Test, BIA 9450 [49]
	Bakterien	VDI 4257 Blatt 2 [19]	Kultureller Wachstumsnachweis, VDI 4253 Blatt 3 (für Bakterien) [29]

Tab. 9: Mess-, Probenahme- und Analysenverfahren nach bzw. in Anlehnung an DIN EN-Normen, VDI-Richtlinien für die **Immission**

	Messgröße	Mess-, Probenahmeverfahren	Analysenverfahren
Kontinuierlich	Meteorologie: Turbulenzen, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temp.	USA1 Ultraschall-Anemometer	Messintervalle: Aufzeichnung der 3 Minuten – Werte während der Messkampagnen
	NH <sub>3</sub>		Chemilumineszenz
	Feinstaub		Beta-Absorption
	Ozon		
	Globalstrahlung	Immissions-Messwagen des LfU	
	Temperatur, Feuchte, Druck Windgeschwindigkeit		
Diskontinuierlich	Endotoxine	VDI 2066 Blatt 10 [48], BIA 9450 [49]	BIA 9450 [49]
	Bakterien	VDI 4252 Blatt 3 [52]	VDI 4253 Blatt 3 (für Bakterien) [29]

Tab. 10: Eingesetzte Nährmedien zur Bestimmung von Bakterien in Luftproben

Nährmedium	Bezugsquelle / Vorschrift	Inkubationsbedingungen (aerob)	Selektionsspezifität / Parameter
CASO-Agar (mit Natamycin, 0,1 g/l)	Fertigmedium mit Natamycin (Fa. VWR, Art.-Nr. 111114NF)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	Gesamt Bakterien
Mannit-Kochsalz-Agar	Fertigmedium (Fa. Oxoid, Art.-Nr. PO 5027A)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	Staphylokokken
chromogener MRSA-Agar	Fertigmedium (Fa. Oxoid, Art.-Nr. PO 5196A)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	MRSA
Slanetz-Bartley-Agar	Fertigmedium (Fa. Heipha, Art.-Nr. 2192e)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	Enterokokken
MacConkey-Agar	Fertigmedium (Fa. Oxoid, Art.-Nr. PO 5002 A)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	Enterobacteriaceae
MacConkey-Agar (mit Selektionsantibiotikum Cefotaxim, 1µg/l)	Eigenherstellung (NBK-OSH)	36 (±2) °C / 44 (±4) h	ESBL-bildende Enterobacteriaceae
CampyFood Broth	Fertigmedium (Fa. BioMerieux, Art.-Nr. 42643)	41 (±2) °C / 43 (±1) h (mikroaerob)	Campylobacter

Tab. 11: Messunsicherheiten der Emissionsmessungen im Abgas

Messkomponente	Einheit	Maximaler Messwert $y_{\max}$	Max. Mess- unsicherhei t $U_p$	$y_{\max} - U_p$	$y_{\max} + U_p$	Bestim- mungs- method e
Abgastemperatur	°C	27,6	2 %	27,0	28,2	indirekt
Abgasfeuchte	Vol.-%	2,1	10 %	1,9	2,3	indirekt
Abgasvolumenstrom	m <sup>3</sup> /h	259.212	10 %	233.290	285.133	indirekt
Sauerstoff	Vol.-%	21,2	5 %	20,1	22,3	indirekt
Kohlenstoffdioxid	Vol.-%	0,37	5 %	0,35	0,39	indirekt
Kohlenstoffmonoxid	mg/m <sup>3</sup>	< 5,0	5 %	< 5,0	< 5,0	indirekt
Schwefeldioxid	g/m <sup>3</sup>	< 0,005	5 %	< 0,005	< 0,005	indirekt
Stickstoffmonoxid	g/m <sup>3</sup>	< 0,005	5 %	< 0,005	< 0,005	indirekt
Stickstoffdioxid	g/m <sup>3</sup>	< 0,005	5 %	< 0,005	< 0,005	indirekt
Stickstoffmonoxid und -dioxid (angegeben als NO <sub>2</sub> )	g/m <sup>3</sup>	< 0,010	5 %	< 0,010	< 0,010	indirekt
Distickstoffmonoxid (N <sub>2</sub> O)	mg/m <sup>3</sup>	< 5,0	5 %	< 5,0	< 5,0	indirekt
Organische Stoffe (Gesamtkohlenstoff)	mg/m <sup>3</sup>	6,7	5 %	6,4	7,0	indirekt
Organische Stoffe ohne Methan (NMVOC-Kohlenstoff)	mg/m <sup>3</sup>	5,6	5 %	5,3	5,9	indirekt
Methan (Methankohlenstoff)	mg/m <sup>3</sup>	1,3	5 %	1,2	1,4	indirekt
Methan	mg/m <sup>3</sup>	1,7	5 %	1,6	1,8	indirekt
Ammoniak	mg/m <sup>3</sup>	5,8	10 %	5,2	6,4	indirekt
Gesamtstaub	mg/m <sup>3</sup>	11,4	15 %	9,7	13,1	indirekt
Feinstaub PM <sub>10</sub>	mg/m <sup>3</sup>	3,8	25 %	2,9	4,8	indirekt
Feinstaub PM <sub>2,5</sub>	mg/m <sup>3</sup>	1,5	25 %	1,1	1,9	indirekt
Bioaerosole						
Gesamtbakterien	KBE/m <sup>3</sup>	97,1 × 10 <sup>6</sup>	n. b.	–	–	n. b.
Staphylokokken	KBE/m <sup>3</sup>	174 × 10 <sup>6</sup>	n. b.	–	–	n. b.
Enterokokken	KBE/m <sup>3</sup>	7,10 × 10 <sup>3</sup>	n. b.	–	–	n. b.
Endotoxine						
Gesamt (Absorptionslösung)	EU/m <sup>3</sup>	945	n. b.	–	–	n. b.
Feinstaub PM <sub>10</sub>	EU/m <sup>3</sup>	215	n. b.	–	–	n. b.
Feinstaub PM <sub>2,5</sub>	EU/m <sup>3</sup>	47	n. b.	–	–	n. b.

Tab. 12: Daten zum Stallgebäude und zum Anlagenbetrieb

Stalllänge (außen)	91 m
Stalllänge (innen)	85 m
Stallbreite (innen)	20 m
Höhe	8 m
Stallfläche	1.700 m <sup>2</sup>
Dachneigung	22°
Dachhaut	Wellfaserzementplatten
Fußbodenaufbau	Stahlbetonbodenplatte
Fenster	Kunststofffenster mit Isolierverglasung
Tierplatzzahl (max.)	39.500 Mastplätze
Mastplätze (max.)	23,2 Tiere/m <sup>2</sup>
Mastendgewicht Vormast	ca. 1.500 g pro Tier
Mastendgewicht Endmast	ca. 2.200 g pro Tier
Mastdauer (Endmast)	ca. 37 Tage

Tab. 13: Charakteristische Daten der Abgasmessstellen der Masthähnchenanlage

<b>Lage</b>	<b>Dachkamin 1 (var)</b>	<b>Dachkamin 2 (fix)</b>	<b>Wandventilator 3 (fix)</b>
Strömungsrichtung	vertikal von unten nach oben	vertikal von unten nach oben	horizontal
Kanalgeometrie	rund	rund	Kastenförmige Wand- einbauten, quadratisch
Durchmesser hydraulisch (D <sub>h</sub> )	0,92 m	0,92 m	1,37 m
Kanalquerschnitt	0,665 m <sup>2</sup>	0,665 m <sup>2</sup>	1,877m <sup>2</sup>
empfohlene Einlaufstrecke DIN EN 15259	4,60 m	4,60 m	mindestens 5-facher hydraulischer Durch- messer
empfohlene Auslaufstrecke DIN EN 15259	4,60 m	4,60 m	mindestens 5-facher hydraulischer Durch- messer
Einlaufstrecke	3,15 m	3,15 m	0,10 m
Auslaufstrecke	1,80 m	1,80 m	0,10 m

Tab. 14: gleichbleibende Betriebsdaten während der Messkampagnen (Quelle: Betreiberangaben)

<b>Arbeitsgänge Tierhalter</b>	Während der Probenahmen keine Beunruhigung der Tiere durch Kontrollgänge des Betreibers im Stall
<b>Tieraktivitäten</b>	Laufen, Trinken, Fressen, Ruhen, Schlafen
<b>Wasserverbrauch</b>	5l/Tier/Mastperiode
<b>Einstreu</b>	Strohpellets, Höhe 3-7cm
<b>Entmistung</b>	Im Anschluss an jede Mastperiode nach dem Ausstallen, (externe Verwertung des Mists in einer Biogasanlage)
<b>Beleuchtung</b>	kein Tageslicht, Innenbeleuchtung an, intermittierendes Lichtprogramm nach Bundeseinheitlichen Leitlinien [53]
<b>Medikamentengabe</b>	2 Impfungen
<b>Impfstoffe/Zeitpunkt</b>	Impfstoffgabe über das Trinkwasser am 12. Tag: N-D Lasota; am 16. Tag: Gumboro
<b>Tierverluste pro Mastperiode</b>	3,7 - 4 % im Durchschnitt

Tab. 15: Betriebsdaten der Masthähnchenanlage während der ersten Messkampagne im April 2013

<b>Messkampagne I</b>	<b>vormittags</b>	<b>nachmittags</b>
<b>Datum (MEZ)</b>	16.04.2013 10:15 Uhr bis 10:45 Uhr	16.04.2013 14:30 Uhr bis 15:00 Uhr
<b>Tierzahl</b>	38.000	
<b>Tieralter</b>	28. Masttag	
<b>Mittleres Tiergewicht</b>	1.350 g	
<b>Besatzdichte</b>	23,2 Tiere/m <sup>2</sup> bzw. 0,046 GV/m <sup>2</sup>	
<b>Futtermittelverbrauch</b>	1,51 kg / pro kg Tier	
<b>Tiergesundheit</b>	gesund	
<b>Anzahl der Lüfter Dachkamin [D]</b>	1 variabel, 5 fix	1 variabel, 5 fix
<b>Anzahl der Lüfter Seitenwand [S]</b>	2	5
<b>Klimatisierung</b>	Wärmetauscher ein bis 11:30 Uhr	Wärmetauscher aus
<b>Einstalldatum</b>	19.03.2013	
<b>Ausstalldatum</b>	25.04.2013	
<b>Stallinnentemperatur (Skov)</b>	23,9 °C	24,5 °C
<b>Stallaußentemperatur (Skov)</b>	20,2 °C	23,0 °C
<b>Stallinnenfeuchte (Skov)</b>	59 %	61 %



Tab. 16: Betriebsdaten der Masthähnchenanlage während der zweiten Messkampagne im Juli 2013

Messkampagne II	vormittags	nachmittags
Datum (MEZ)	16.07.2013 10:00 Uhr bis 10:30 Uhr	16.07.2013 13:45 Uhr bis 14:15 Uhr
Tierzahl	37.000	
Tieralter	22. Masttag	
Mittleres Tiergewicht	868 g	
Besatzdichte	23,2 Tiere/m <sup>2</sup> bzw. 0,040 GV/m <sup>2</sup>	
Futtermverbrauch	1,59 kg / pro kg Tier	
Tiergesundheit	gesund	
Anzahl der Lüfter Dachkamin [D]	1 variabel, 5 fix	1 variabel, 5 fix
Anzahl der Lüfter Seitenwand [S]	2	5
Klimatisierung	Wärmetauscher aus	
Einstalldatum	24.06.2013	
Ausstalldatum	31.07.2013	
Stallinnentemperatur (Skov)	26,3 °C	27,9 °C
Stallaußentemperatur (Skov)	24,1 °C	26,1 °C
Stallinnenfeuchte (Skov)	52 %	44 %

Tab. 17: Betriebsdaten der Masthähnchenanlage während der dritten Messkampagne im Oktober 2013

Messkampagne III	vormittags	nachmittags
Datum (MEZ)	22.10.2013 10:15 Uhr bis 10:45 Uhr	22.10.2013 13:45 Uhr bis 14:15 Uhr
Tierzahl	38.000	
Tieralter	22. Masttag	
Mittleres Tiergewicht	922 g	
Besatzdichte	23,2 Tiere/m <sup>2</sup> bzw. 0,046 GV/m <sup>2</sup>	
Futtermverbrauch	1,48 kg / pro kg Tier	
Tiergesundheit	gesund	
Anzahl der Lüfter Dachkamin [D]	1 variabel, 1 fix	1 variabel, 5 fix
Anzahl der Lüfter Seitenwand [S]	-	-
Klimatisierung	Wärmetauscher aus	
Einstalldatum	30.09.2013	
Ausstalldatum	07.11.2013	
Stallinnentemperatur (Skov)	26,3 °C	27,9 °C
Stallaußentemperatur (Skov)	24,1 °C	26,1 °C
Stallinnenfeuchte (Skov)	52 %	44 %

Tab. 18: Betriebsdaten der Masthähnchenanlage während der vierten Messkampagne im **Januar** 2014

Messkampagne IV	vormittags	nachmittags
Datum (MEZ)	29.01.2014 10:45 Uhr bis 11:15 Uhr	29.01.2014 11:30 Uhr bis 12:00 Uhr
Tierzahl	37.000	
Tieralter	25. Masttag	
Mittleres Tiergewicht	1183 g	
Besatzdichte	23,2 Tiere/m <sup>2</sup> bzw. 0,046 GV/m <sup>2</sup>	
Futtermittelverbrauch	1,40 kg / pro kg Tier	
Tiergesundheit	ab dem 15. Masttag wurde ein Ergänzungsfuttermittel (Schaumacid Drink K, 1150-1210 g/l von der Firma Schaumann) über das Trinkwasser verabreicht; gesunde Tiere; zur Hygienisierung des Trinkwassers	
Anzahl der Lüfter Dachkamin [D]	1 variabel, 1 fix	1 variabel, 1 fix
Anzahl der Lüfter Seitenwand [S]	-	-
Klimatisierung	Wärmetauscher aus	
Einstalldatum	04.01.2014	
Ausstalldatum	12.02.2014	
Stallinnentemperatur (Skov)	21,3 °C	21,4 °C
Stallaußentemperatur (Skov)	minus 0,2 °C	0,5 °C
Stallinnenfeuchte (Skov)	76 %	76 %

Tab. 19: Betriebsdaten der Masthähnchenanlage während der fünften Messkampagne im **März** 2014

Messkampagne V	vormittags	nachmittags
Datum (MEZ)	18.03.2014 10:00 Uhr bis 12:30 Uhr	18.03.2014 13:15 Uhr bis 14:45 Uhr
Tierzahl	35.500	
Tieralter	25. Masttag	
Mittleres Tiergewicht	1106 g	
Besatzdichte	23,2 Tiere/m <sup>2</sup> bzw. 0,046 GV/m <sup>2</sup>	
Futtermittelverbrauch	1,57 kg / kg Tier	
Tiergesundheit	ab dem 15. Masttag wurde ein Ergänzungsfuttermittel (Schaumacid Drink K, 1150-1210 g/l von der Firma Schaumann) über das Trinkwasser verabreicht; gesunde Tiere; zur Hygienisierung des Trinkwassers	
Anzahl der Lüfter Dachkamin [D]	1 variabel, 3 fix	1 variabel, 3 fix
Anzahl der Lüfter Seitenwand [S]	-	-
Klimatisierung	Wärmetauscher aus	
Einstalldatum	21.02.2014	
Ausstalldatum	31.03.2014	
Stallinnentemperatur (Skov)	23,1 °C – 25,8 °C	26,2 °C – 26,5 °C
Stallaußentemperatur (Skov)	15,7 °C - 19,9 °C	20,1 °C - 20,5 °C
Stallinnenfeuchte (Skov)	65 %-54 %	54 %-47 %

Tab. 20: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für **Gesamtstaub** an der Masthähnchenanlage (MH)  
(1 GV (Großvieheinheit) = 500 kg)

Masthähnchenanlage	Datum (MEZ)	$C_{\text{Partikel}}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	TP	Tiergewicht [kg]	GV	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	$M_{\text{Partikel}}$ [g/h]	Fracht Staub [mg/(TP*h)]	$Z_{\text{Partikel}}$ [g/(GV*h)]
MH, I Frühjahr	16.04.2013 11:50 h – 12:20 h	3,0	38.000	1,350	103	134.300	397	10,4	3,9
	16.04.2013 15:13 h – 15:43 h	2,4	38.000	1,350	103	230.800	565	14,9	5,5
	17.04.2013 08:57 h – 09:27 h	3,2	38.000	1,350	103	104.700	334	8,8	3,3
MH, II Sommer	16.07.2013 13:00 h – 13:30 h	4,1	37.000	0,868	64	235.200	960	25,9	14,9
	17.07.2013 10:45 h – 11:15 h	4,7	37.000	0,868	64	238.100	1121	30,3	17,5
	17.07.2013 12:36 h – 13:06 h	6,6	37.000	0,868	64	236.600	1562	42,2	24,3
MH, III Herbst	22.10.2013 15:00 h – 15:30 h	3,9	38.000	0,922	70	106.200	411	10,8	5,9
	23.10.2013 08:20 h – 08:50 h	4,4	38.000	0,922	70	26.800	117	3,1	1,7
	23.10.2013 10:15 h – 10:45 h	4,1	38.000	0,922	70	56.200	232	6,1	3,3
MH, IV Winter	29.01.2014 14:05 h – 14:35 h	11,4	37.000	1,183	88	34.500	395	10,7	4,5
	30.01.2014 09:40 h – 10:10 h	8,6	37.000	1,183	88	21.400	185	5,0	2,1
	30.01.2014 11:20 h – 11:50 h	8,7	37.000	1,183	88	24.600	214	5,8	2,4
MH, V Frühjahr	19.03.2014 10:55 h – 11:25 h	10,6	35.500	1,106	79	57.100	605	17,0	7,7
	19.03.2014 12:45 h – 13:15 h	9,0	35.500	1,106	79	75.100	679	19,1	8,6
	19.03.2014 14:45 h – 15:15 h	9,1	35.500	1,106	79	73.800	668	18,8	8,5

Tab. 21: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für **Feinstaub PM<sub>10</sub>** an der Masthähnchenanlage (MH)  
(1 GV (Großvieheinheit) = 500 kg)

Masthähnchenanlage	Datum (MEZ)	PM <sub>10</sub> C <sub>Partikel</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TP	Tiergewicht [kg]	GV	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	PM <sub>10</sub> M <sub>Partikel</sub> [g/h]	PM <sub>10</sub> Fracht [mg/(TP*h)]	PM <sub>10</sub> Z <sub>Partikel</sub> [g/(GV*h)]
<b>MH, I Frühjahr</b>	16.04.2013 11:50 h – 12:20 h	1,3	38.000	1,350	103	134.000	174	4,6	1,7
	16.04.2013 15:13 h – 15:43 h	1,4	38.000	1,350	103	133.100	186	4,9	1,8
	17.04.2013 08:57 h – 09:27 h	1,3	38.000	1,350	103	131.600	171	4,5	1,7
	16.07.2013 13:00 h – 13:30 h	2,3	37.000	0,868	64	235.300	541	14,6	8,4
<b>MH, II Sommer</b>	17.07.2013 10:45 h – 11:15 h	2,7	37.000	0,868	64	234.400	633	17,1	9,9
	17.07.2013 12:36 h – 13:06 h	2,5	37.000	0,868	64	237.800	595	16,1	9,3
	22.10.2013 15:00 h – 15:30 h	2,0	38.000	0,922	70	108.900	218	5,7	3,1
<b>MH, III Herbst</b>	23.10.2013 08:20 h – 08:50 h	2,0	38.000	0,922	70	102.400	205	5,4	2,9
	23.10.2013 10:15 h – 10:45 h	1,8	38.000	0,922	70	107.500	194	5,1	2,8
<b>MH, IV Winter</b>	29.01.2014 14:05 h – 14:35 h	3,2	37.000	1,183	88	34.800	111	3,0	1,3
	30.01.2014 09:40 h – 10:10 h	3,6	37.000	1,183	88	36.800	132	3,6	1,5
	30.01.2014 11:20 h – 11:50 h	3,8	37.000	1,183	88	38.300	146	3,9	1,7
<b>MH, V Frühjahr</b>	19.03.2014 10:55 h – 11:25 h	2,4	35.500	1,106	79	57.100	137	3,9	1,7
	19.03.2014 12:45 h – 13:15 h	2,4	35.500	1,106	79	69.200	166	4,7	2,1
	19.03.2014 14:45 h – 15:15 h	1,7	35.500	1,106	79	53.200	90	2,5	1,1

Tab. 22: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für **Feinstaub PM<sub>2,5</sub>** an der Masthähnchenanlage (MH)  
(1 GV (Großvieheinheit) = 500 kg)

Masthähnchenanlage	Datum (MEZ)	PM <sub>2,5</sub> C <sub>Partikel</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TP	Tiergewicht [kg]	GV	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	PM <sub>2,5</sub> M <sub>Partikel</sub> [g/h]	PM <sub>2,5</sub> Fracht [mg/(TP*h)]	PM <sub>2,5</sub> Z <sub>Partikel</sub> [g/(GV*h)]
<b>MH, I Frühjahr</b>	16.04.2013 11:50 h – 12:20 h	0,4	38.000	1,350	103	134.000	54	1,4	0,5
	16.04.2013 15:13 h – 15:43 h	0,5	38.000	1,350	103	133.100	67	1,8	0,6
	17.04.2013 08:57 h – 09:27 h	0,4	38.000	1,350	103	131.600	53	1,4	0,5
<b>MH, II Sommer</b>	16.07.2013 13:00 h – 13:30 h	1,0	37.000	0,868	64	235.300	235	6,4	3,7
	17.07.2013 10:45 h – 11:15 h	1,3	37.000	0,868	64	234.400	305	8,2	4,7
	17.07.2013 12:36 h – 13:06 h	0,9	37.000	0,868	64	237.800	214	5,8	3,3
<b>MH, III Herbst</b>	22.10.2013 15:00 h – 15:30 h	0,9	38.000	0,922	70	108.900	98	2,6	1,4
	23.10.2013 08:20 h – 08:50 h	0,6	38.000	0,922	70	102.400	61	1,6	0,9
	23.10.2013 10:15 h – 10:45 h	0,5	38.000	0,922	70	107.500	54	1,4	0,8
<b>MH, IV Winter</b>	29.01.2014 14:05 h – 14:35 h	0,9	37.000	1,183	88	34.800	31	0,8	0,4
	30.01.2014 09:40 h – 10:10 h	1,0	37.000	1,183	88	36.800	37	1,0	0,4
	30.01.2014 11:20 h – 11:50 h	1,5	37.000	1,183	88	38.300	57	1,6	0,7
<b>MH, V Frühjahr</b>	19.03.2014 10:55 h – 11:25 h	0,9	35.500	1,106	79	57.100	51	1,4	0,7
	19.03.2014 12:45 h – 13:15 h	0,8	35.500	1,106	79	69.200	55	1,6	0,7
	19.03.2014 14:45 h – 15:15 h	0,8	35.500	1,106	79	53.200	43	1,2	0,5

Tab. 23: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen für **Ammoniak** an der Masthähnchenanlage (MH)  
(1 GV (Großvieheinheit) = 500kg)

Masthähnchenanlage	Datum (MEZ)	$C_{\text{Ammoniak}}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	TP	Tiergewicht [kg]	GV	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	$M_{\text{Ammoniak}}$ [g/h]	Fracht Ammoniak [mg/(TP*h)]	$Z_{\text{Ammoniak}}$ [g/(GV*h)]
<b>MH, I Frühjahr</b>	16.04.2013 11:50 h – 12:20 h	1,0	38.000	1,350	103	134.300	133	3,5	1,3
	16.04.2013 15:13 h – 15:43 h	1,0	38.000	1,350	103	230.800	231	6,1	2,3
	17.04.2013 08:57 h – 09:27 h	2,0	38.000	1,350	103	104.700	211	5,5	2,1
<b>MH, II Sommer</b>	16.07.2013 13:00 h – 13:30 h	1,0	37.000	0,868	64	235.200	242	6,5	3,8
	17.07.2013 10:45 h – 11:15 h	0,9	37.000	0,868	64	238.100	220	5,9	3,4
	17.07.2013 12:36 h – 13:06 h	1,0	37.000	0,868	64	236.600	239	6,5	3,7
<b>MH, III Herbst</b>	22.10.2013 15:00 h – 15:30 h	3,2	38.000	0,922	70	106.200	343	9,0	4,9
	23.10.2013 08:20 h – 08:50 h	5,8	38.000	0,922	70	26.800	155	4,1	2,2
	23.10.2013 10:15 h – 10:45 h	5,3	38.000	0,922	70	56.200	299	7,9	4,3
<b>MH, IV Winter</b>	29.01.2014 14:05 h – 14:35 h	4,9	37.000	1,183	88	34.500	168	4,5	2,5
	30.01.2014 09:40 h – 10:10 h	5,4	37.000	1,183	88	21.400	116	3,1	1,3
	30.01.2014 11:20 h – 11:50 h	5,7	37.000	1,183	88	24.600	141	3,8	1,6
<b>MH, V Frühjahr</b>	19.03.2014 10:55 h – 11:25 h	1,0	35.500	1,106	79	57.100	58	1,6	0,7
	19.03.2014 12:45 h – 13:15 h	1,1	35.500	1,106	79	75.100	80	2,3	1,0
	19.03.2014 14:45 h – 15:15 h	1,2	35.500	1,106	79	73.800	89	2,5	1,1

Tab. 24: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen, Frachten und spezifischen Emissionen von **Gesamtbakterien**, **Staphylokokken** und **Enterokokken**

Masthähnchenanlage	Datum (MEZ)	Bakterien			Staphylokokken			Enterokokken			Volumenstrom [m³/h]
		$C_{\text{Bakterien}}$ [KBE/m³]	$\dot{q}_{\text{Bakterien}}$ [KBE/s]	$\dot{z}_{\text{Bakterien}}$ [KBE/(GV*s)]	$C_{\text{Staphyl.}}$ [KBE/m³]	$\dot{q}_{\text{Staphyl.}}$ [KBE/s]	$\dot{z}_{\text{Staphyl.}}$ [KBE/(GV*s)]	$C_{\text{Enterok.}}$ [KBE/m³]	$\dot{q}_{\text{Enterok.}}$ [KBE/s]	$\dot{z}_{\text{Enterok.}}$ [KBE/(GV*s)]	
MH, I Frühjahr	16.04.2013 10:15 h – 10:45 h	1,1E+07	4,0E+08	3,86E+06	8,1E+06	3,0E+08	2,94E+06	2,1E+03	7,8E+04	1,07E+03	134.400
	16.04.2013 14:30 h – 15:00 h	1,7E+07	1,1E+09	1,07E+07	1,1E+07	7,0E+08	6,78E+06	1,6E+03	9,9E+04	2,96E+03	227.700
MH, II Sommer	16.07.2013 10:00 h – 10:30 h	1,6E+07	6,8E+08	1,06E+07	1,8E+07	7,7E+08	1,20E+07	4,2E+03	1,8E+05	2,96E+03	152.800
	17.07.2013 13:45 h – 14:15 h	1,1E+07	7,6E+08	1,18E+07	1,7E+07	1,2E+09	1,87E+07	2,7E+03	1,9E+05	3,27E+03	259.200
MH, III Herbst	22.10.2013 10:15 h – 10:45 h	9,7E+07	8,7E+08	1,24E+07	5,0E+07	4,4E+08	6,32E+06	7,1E+03	6,3E+04	3,43E+03	32.100
	22.10.2013 13:45 h – 14:15 h	9,0E+07	2,6E+09	3,73E+07	4,5E+07	1,3E+09	1,86E+07	5,5E+03	1,6E+05	1,03E+04	104.200
MH, IV Winter	29.01.2014 10:45 h – 11:15 h	8,7E+07	8,3E+08	9,50E+06	1,7E+08	1,7E+09	1,90E+07	1,0E+03	9,8E+03	2,64E+03	34.500
	29.01.2014 11:30 h – 12:00 h	8,5E+07	8,1E+08	9,21E+06	6,6E+07	6,3E+08	7,20E+06	3,1E+03	3,0E+04	2,56E+03	34.300
MH, V Frühjahr	18.03.2014 10:00 h – 10:30 h	1,24E+07	2,8E+08	3,56E+06	8,7E+06	2,0E+08	2,49E+06	3,1E+03	7,1E+04	9,88E+02	81.100
	18.03.2014 11:00 h – 11:30 h	2,04E+07	4,8E+08	6,13E+06	9,7E+06	2,3E+08	2,90E+06	9,0E+02	2,1E+04	1,70E+03	84.900
	18.03.2014 12:00 h – 12:30 h	3,20E+07	6,7E+08	8,55E+06	3,0E+07	6,2E+08	7,93E+06	5,1E+03	1,1E+05	2,37E+03	75.500
	18.03.2014 13:15 h – 13:45 h	5,61E+07	1,1E+09	1,38E+07	2,9E+07	5,5E+08	7,04E+06	1,4E+03	2,7E+04	3,82E+03	69.300
	18.03.2014 14:15 h – 14:45 h	2,88E+07	5,6E+08	7,07E+06	2,3E+07	4,5E+08	5,67E+06	1,0E+03	2,0E+04	1,96E+03	69.400

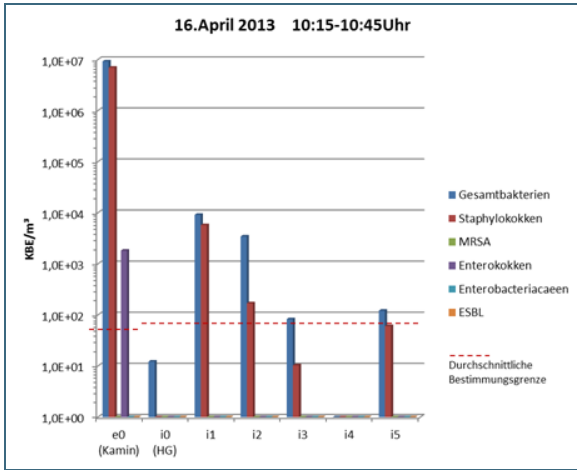


Abb. 108: Bioaerosolmessung der ersten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

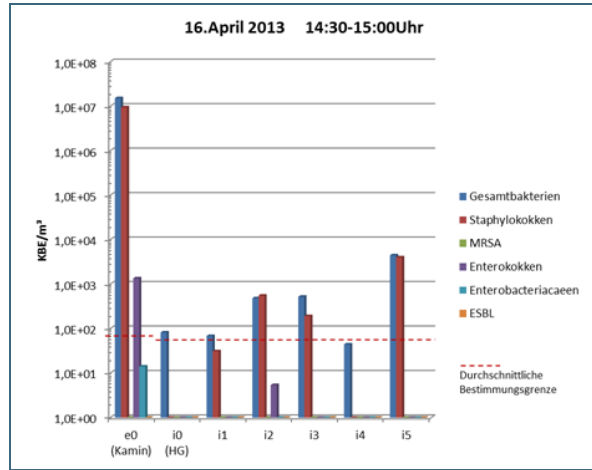


Abb. 109: Bioaerosolmessung der ersten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

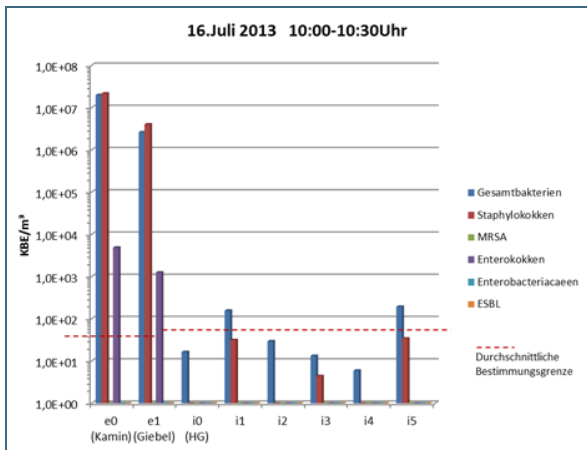


Abb. 110: Bioaerosolmessung der zweiten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

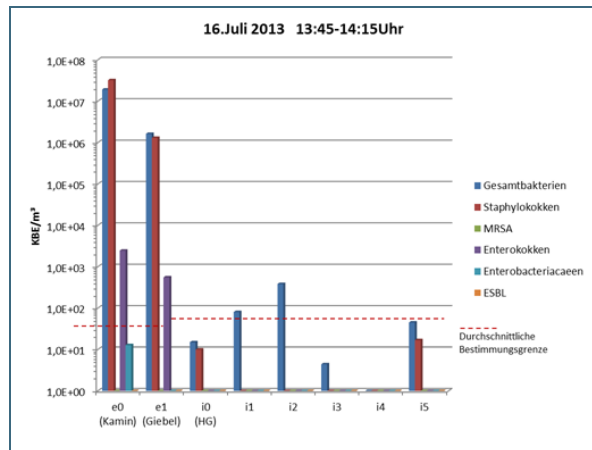


Abb. 111: Bioaerosolmessung der zweiten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

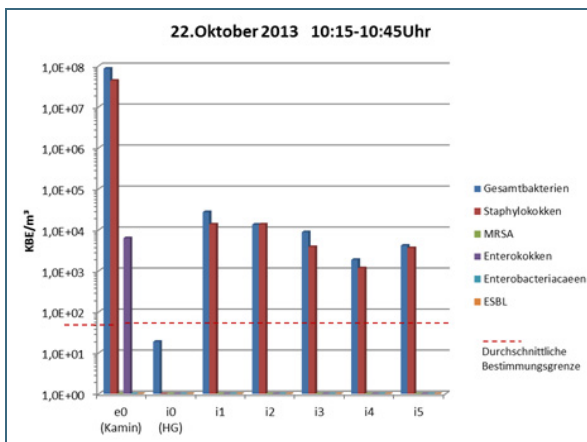


Abb. 112: Bioaerosolmessung der dritten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

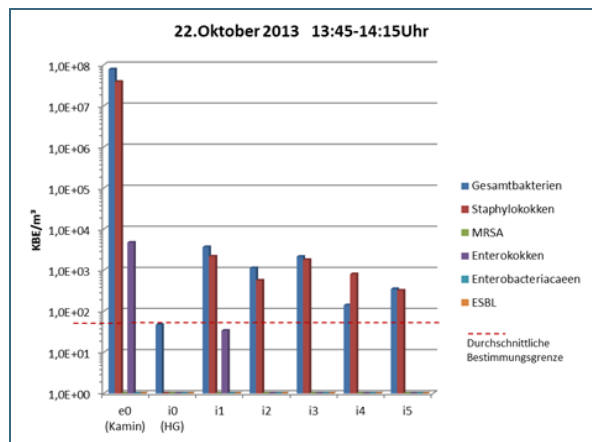


Abb. 113: Bioaerosolmessung der dritten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)



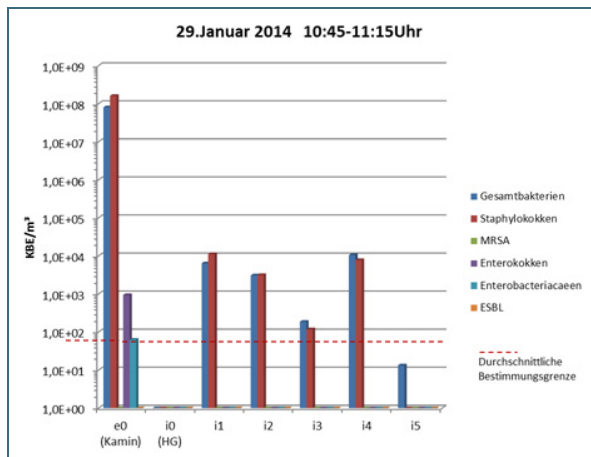


Abb. 114: Bioaerosolmessung der vierten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

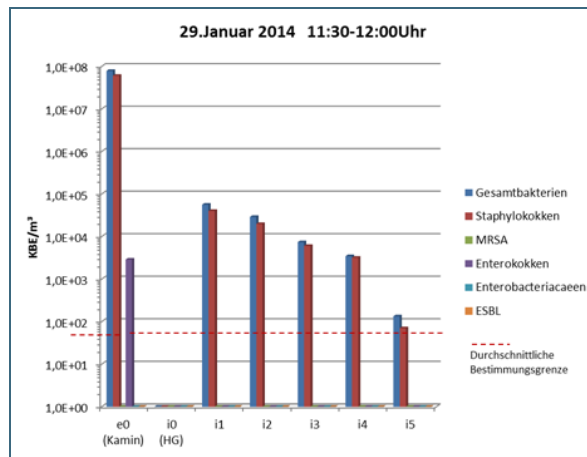


Abb. 115: Bioaerosolmessung der vierten Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

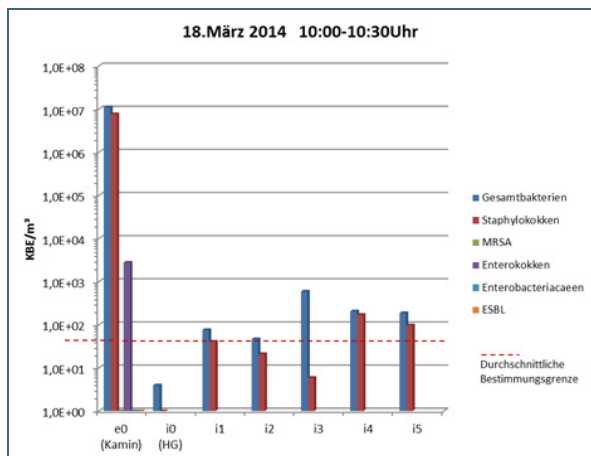


Abb. 116: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

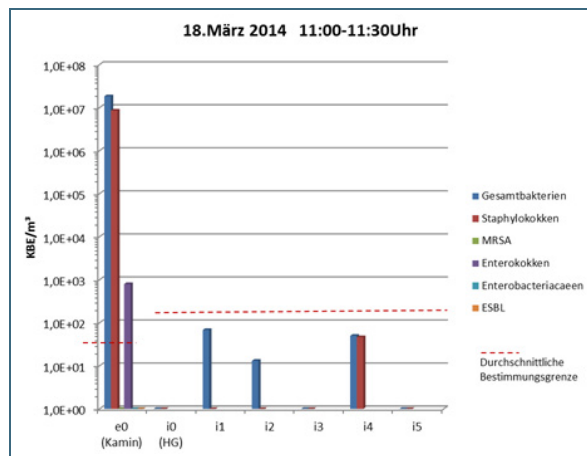


Abb. 117: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

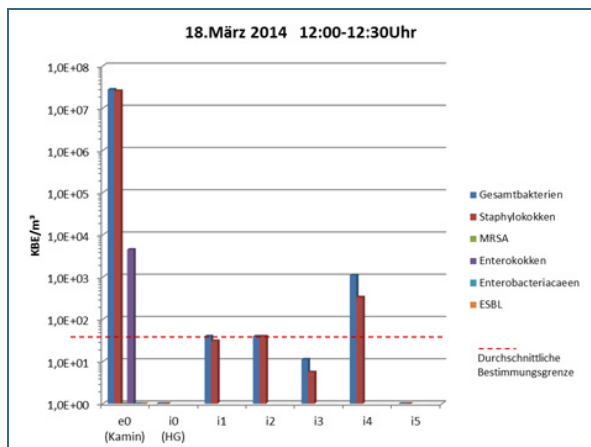


Abb. 118: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

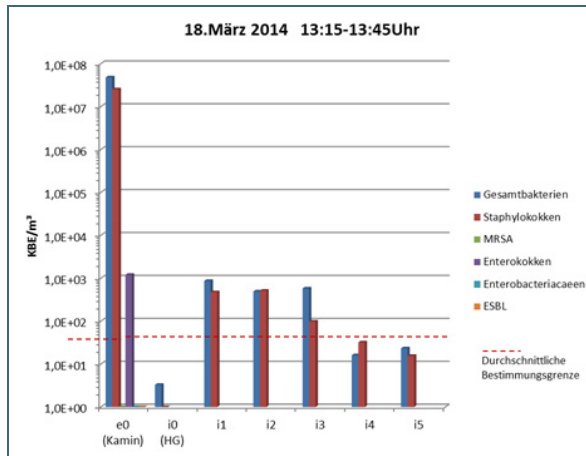


Abb. 119: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

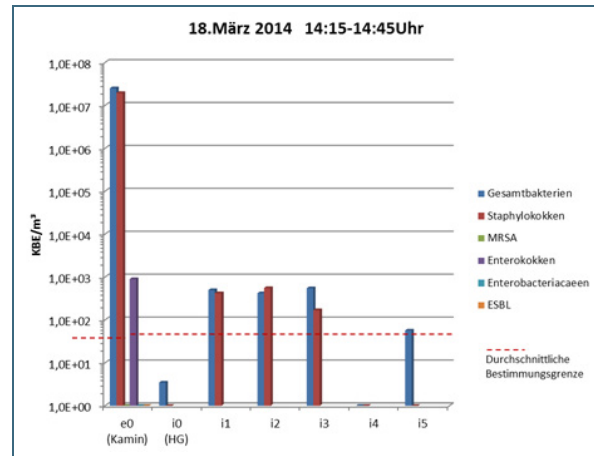


Abb. 120: Bioaerosolmessung der fünften Messkampagne (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

## 11 Literaturverzeichnis

- [1] GÄRTNER, A.; GESSNER, A.; JÄCKEL, U.; MARTIN, E.:  
Emissionsmessung von Mikroorganismen aus Hähnchenmastanlagen,  
Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71 (2011) Nr.9, S. 362-366.
- [2] Überarbeiteter Abschlussbericht (2012) – Evaluierung des Antibiotikaeinsatzes in der Hähnchenhaltung (aufgerufen am 18.02.2015)  
[http://www.lanuv.nrw.de/agrar/tiergesundheit/arzneimittel/antibiotika/120403\\_Masthähnchenstudie\\_Überarbeitung\\_Evaluation\\_Endfassung.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/agrar/tiergesundheit/arzneimittel/antibiotika/120403_Masthähnchenstudie_Überarbeitung_Evaluation_Endfassung.pdf)
- [3] KOLK, A.; VAN GELDER, R.; SCHNEIDER, G.; GABRIEL, S.:  
Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertungen der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 69 (2009), Nr.4, S. 130-136
- [4] VDI 3894 Blatt1: 2011-09 (D) Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen  
Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde, Beuth Verlag, Berlin, 84 S.
- [5] <http://www.dlg.org/gebäude.html#Abluft>
- [6] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Vom 24.Juli 2002. GMBI. (2002) 25-29, S. 511-606.
- [7] DIN EN 13098:2001-02 (D) – Arbeitsplatzatmosphäre – Leitlinie für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxin in der Luft; Deutsche Fassung EN 13098:2000  
Beuth Verlag, Berlin 2001, 23 S.
- [8] VDI 4251 Blatt 3 2015-08 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen
- [9] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE):  
Abschlussbericht – Prüfung und Bewertung der biologischen Sicherheit von anerkannten Abluftreinigungsanlagen in der Nutztierhaltung – (Kurztitel: BioAluRein), (2014)
- [10] HARTUNG, J.; SCHULZ, U.; SEEDORF, J.:  
Bioaerosolemissionen aus einem Masthühnerstall, KRdL Schriftenreihe 35, Freising (2005)
- [11] VDI 4255 Blatt2 : 2009-12 (D) – Emissionsquellen und -minderungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung – Übersicht
- [12] SALEH, M.:  
Untersuchung zur Luftqualität in verschiedenen Systemen der Geflügelhaltung mit besonderer Berücksichtigung von Staub und Luftkeimen, Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation (2006)
- [13] BLACKALL, P.J.; CHINIVASAGAM, H.N.; RISTOVSKI, Z.:  
Evaluating Risks Posed by Pathogen and Dust Emissions from Meat Chicken Sheds, Australien Government, Queensland, (September 2010)
- [14] SCHULZ, J.:  
Zur Charakterisierung der Ausbreitungsentfernung von Bioaerosolen aus Masthühnerställen, Dissertation, Universität Bielefeld, (Dezember 2007)
- [15] VDI 4251 Blatt1: 2007-02 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Planung von anlagenbezogenen Immissionsmessungen – Fahnenmessung, 58 S.

- [16] HERR, C. ET AL.:  
Ableitung gesundheitsbasierter Beurteilungswerte für luftgetragene Bioaerosole, Bioaerosole in der Landwirtschaft – Bedeutung für Mensch und Umwelt, VDI Expertenforum, 30. September 2014 Berlin S. 117.
- [17] [http://www.hlug.de/fileadmin/downloads/luft/Leitfaden-Bioaerosole\\_31-01-2014.pdf](http://www.hlug.de/fileadmin/downloads/luft/Leitfaden-Bioaerosole_31-01-2014.pdf)
- [18] DIN EN 15259: 2008-01 (D) – Luftbeschaffenheit – Messung von Emissionen aus stationären Quellen – Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplatz und den Messbericht, 80 S.
- [19] VDI 4257 Blatt 2: 2009-11 (D) – Emissionsmessung von Bioaerosolen und biologischen Agenzien – Probenahme von Bioaerosolen. Abscheidung von Flüssigkeiten. Beuth Verlag, Berlin, 31 S.
- [20] VDI 4252 Blatt 3: 2008-08 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse. Beuth Verlag, Berlin, 15 S.
- [21] GÄRTNER, A.; GESSNER, A.; MARTIN, E.; JÄCKEL, U.:  
Emissionsmessung von Mikroorganismen: Messtechnische Vorgehensweise und Untersuchungsergebnisse an Hähnchenmastanlagen, Immissionsschutz 1 (2011), S. 24-30
- [22] GÄRTNER, A.; GESSNER, A.:  
Ermittlung der Gesamtstaubemissionen und der Feinstaubanteile PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71 (2011) Nr. 9, S. 357-361.
- [23] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, TÜV SÜDDEUTSCHLAND (2000):  
Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten (<PM<sub>2,5</sub> und <PM 10), S.18
- [24] TierSchNutzV (2006):  
Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl.S.2043)
- [25] <https://wiki.prtr.bund.de/wiki/Emissionsfaktoren>
- [26] GÄRTNER, A; GESSNER, A; MARTIN, E; SCHNEIDER, D; JÄCKEL, U.:  
Emissionen aus der Hähnchenmast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakterieneigenschaften und Antibiotikaresistenz, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 9, S. 377 - 383
- [27] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:  
Intensivtierhaltung: Umweltrelevante Emissionen und Immissionen (Feinstaub –PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NMVOC, Keime, Pilze, Endotoxine), Endbericht zum Forschungsvorhaben, Augsburg (2011)  
<http://www.lfu.bayern.de/luft/index.htm>
- [28] VDI 4253 Blatt 2: 2004-06 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilzkonzentrationen in der Luft – Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine / Polycarbonat-Filtern
- [29] VDI 4253 Blatt 3: 2008-08 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten

- [30] JANICKE, U.:  
Abschlussbericht im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt – Ausbreitungsrechnungen für eine Masthähnchenanlage –  
Ingenieurbüro Janicke GbR, Gesellschaft für Umweltphysik  
Überlingen (2014)
- [31] VORTRAG KATH, H.-G.; MIETKE-HOFMANN, H.:  
KRdL-Schriftenreihe S. 57, VDI-Expertenforum „Bioaerosole in der Landwirtschaft – Bedeutung für Mensch und Umwelt, 30.09 -01.10.2014, Berlin,137 S.
- [32] VORTRAG JÄCKEL, U.; SCHNEIDER, D.; MARTIN, E.; GESSNER, A.; GÄRTNER, A.:  
KRdL-Schriftenreihe S. 29-37, VDI-Expertenforum „Bioaerosole in der Landwirtschaft – Bedeutung für Mensch und Umwelt, 30.09 -01.10.2014, Berlin,137 S.
- [33] Untersuchungen zur viruziden Wirksamkeit von chemischen Desinfektionsmitteln bei verschiedenen Temperaturen (aufgerufen am 22.12.2014)  
<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1390/pdf/BremerPatricia-2003-11-17.pdf>
- [34] DAVIS-COLLEY, R.J.; DONNISON, A.M.; SPEED, D.J.; (2000):  
Towards a mechanistic understanding of pond disinfection.  
Wat. Sci. Tech., 42, (10-11), S. 149-158
- [35] RUDOLPH, K.-U.; FUHRMANN, T.:  
Bemessungs- und Betriebsparameter für Abwasserteiche und nachgeschaltete Desinfektionsanlagen, Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke GmbH  
[www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/bilder/BMBF-Projekte/02WA0543\\_-\\_Abschlussbericht.pdf](http://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/bilder/BMBF-Projekte/02WA0543_-_Abschlussbericht.pdf)
- [36] [https://www.fh-muenster.de/fb1/downloads/personal/juestel/juestel/12-InkohaerenteLichtquellen-UV-Strahlungsquellen\\_english\\_.pdf](https://www.fh-muenster.de/fb1/downloads/personal/juestel/juestel/12-InkohaerenteLichtquellen-UV-Strahlungsquellen_english_.pdf)
- [37] JONES, ALAN M; HARRISON, ROY M; (2004):  
The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations-a review in Science of The Total Environment, Volume 326, Issues 1-3, 29 June 2004, Pages 151-180
- [38] SCHREIER, W. J.:  
UV-Strahlung und DNA-Schäden – Untersuchung UV-induzierter Prozesse in Nukleinsäuren mit Femtosekunden-Infrarotspektroskopie  
Dissertation an der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
2008
- [39] SEEDORF, J.; HARTUNG, J.:  
KTBL-Schrift 393 - Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung (2002), Tab. 14 auf S. 62
- [40] GRÖNING, K. (1980):  
Morphologische Veränderungen an Bakterien nach Aufenthalt im luftgetragenen Zustand. Proc. III. Int. Kongr. Tierhygiene, Wien, S. 120-121
- [41] KEIPER, I.:  
Qualitative und quantitative bakteriologische und virologische Untersuchungen zur Erhebung des Hygienestatus verschiedener öffentlicher Toilettenanlagen einer südwestdeutschen Großstadt, Universität Hohenheim, Fachgebiet: Umwelt und Tierhygiene, Berlin 2002,  
[http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_00000000776/all.pdf](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000000776/all.pdf)

- [42] DIN EN 12619 – Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs in geringen Konzentrationen in Abgasen – Kontinuierliches Verfahren unter Verwendung eines Flammenionisationsdetektors. Beuth Verlag, Berlin 1999, 11 S.
- [43] VDI 3481 Blatt 4 – Messen gasförmiger Emissionen – Messen der Konzentrationen von Gesamt-C und Methan-C mit Flammenionisationsdetektor (FID). Beuth Verlag, Berlin 2007, 20 S.
- [44] DIN EN ISO 21258 – Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Massenkonzentration von Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O) - Referenzverfahren: Nicht-dispersives Infrarot-Verfahren. Beuth Verlag, Berlin 2010, 35 S.
- [45] DIN EN ISO 14911 – Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der gelösten Kationen Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> und Ba<sup>2+</sup> mittels Ionenchromatographie – Verfahren für Wasser und Abwasser. Beuth Verlag, Berlin 1999, 18 S.
- [46] DIN EN 13284-1 – Emissionen aus stationären Quellen – Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen – Teil1: Manuelles gravimetrisches Verfahren. Beuth Verlag, Berlin 2002, 44 S.
- [47] VDI 2066 Blatt 1: 2006-11 (D) - Messen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen - gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung. Beuth Verlag, Berlin 2006, 111 S.
- [48] VDI 2066 Blatt 10: – Messen von Partikeln – Staubmessung in strömenden Gasen. Messung der Emissionen von PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> an geführten Quellen nach dem Impaktionsverfahren. Beuth Verlag, Berlin 1993, 20 S.
- [49] BIA-Arbeitsmappe (2002) Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Erich Schmidt Verlag, ISBN 3 503 02085 3: Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentrationen, Kennzahl 9450, 28.Lfg. IV/02
- [50] VDI 3496 Blatt1: 1982-04 (D) – Messen gasförmiger Emissionen – Bestimmung der durch Absorption in Schwefelsäure erfassbaren basischen Stickstoffverbindungen. 8 S.
- [51] VDI 4257 Blatt 2: 2009-11 (D) Emissionsmessung von Bioaerosolen und biologischen Agenzien. Probenahme von Bioaerosolen. Abscheidung von Flüssigkeiten. Beuth Verlag, Berlin, 31 S.
- [52] VDI 4252 Blatt 3: 2008-08 (D) Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse. Beuth Verlag, Berlin, 15 S.
- [53] Bundeseinheitliche Leitlinien für die gute betriebliche Praxis zur Haltung von Masthühnern, BMELV, Stand 1.Juni 2012 (aufgerufen am 02.03.2015)  
[http://www.gwv-mv.de/fileadmin/Inhalt/fachinfos/SW\\_Gefluegelleitlinie.pdf](http://www.gwv-mv.de/fileadmin/Inhalt/fachinfos/SW_Gefluegelleitlinie.pdf)

