



Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen

Endbericht Teil 2 zum
Forschungsvorhaben P2110



Luft



Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen

**Endbericht Teil 2 zum
Forschungsvorhaben P2110**

Impressum

Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen
Endbericht Teil 2 zum Forschungsvorhaben P2110

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
Internet: www.lfu.bayern.de

Projekt-Koordination:

LfU, Referat 21

Bearbeitung, Text, Konzept:

LfU, Ref. 21, 24, 25, 72, LGL, bifa Umweltinstitut, MTS (Germany) GmbH

Redaktion:

LfU, Ref. 21, 24, 25, LGL

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

November 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 erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Anlass und Ziel des Projektes	10
3	Abgasreinigungsanlagen in Bayern	12
3.1	Rechtlicher Rahmen	12
3.2	Verfahrenstypen der Abgasreinigungsanlagen in Bayern	13
3.3	Betriebseinschätzung der besichtigten Anlagen	15
3.3.1	Biofilter	15
3.3.2	Wasserwäscher	17
3.3.3	Rieselbettreaktoren	18
3.3.4	2-stufige AGR-Verfahren ohne Chemowäscher	21
3.3.5	3-stufige AGR-Verfahren	21
3.4	Einschätzung der Kosten	23
3.4.1	Betreiberangaben	23
3.4.2	Literaturangaben für Kosten zertifizierter Abgasreinigungsanlagen	24
3.4.3	Herstellerangaben zu Investitionskosten und Wartungsverträgen (beispielhaft für zertifizierte Rieselbettreaktoren)	26
4	Emissionsmessungen im Roh- und Reingas an Abgasreinigungsanlagen in der Schweinehaltung in Bayern	27
4.1	Mess-, Probenahme- und Analyseverfahren	27
4.2	Zuchtsauenanlage mit Rieselbettreaktor	30
4.2.1	Beschreibung der Zuchtsauenanlage	30
4.2.2	Beschreibung des Rieselbettreaktors	32
4.2.3	Optimierungsmaßnahmen an der Abgasreinigungsanlage	35
4.2.4	Mess-/Probenahmestellen	36
4.2.5	Messtermine und Optimierungsmaßnahmen	37
4.2.6	Messergebnisse und Diskussion	37
4.2.6.1	Geruch	37
4.2.6.2	Bioaerosole und Endotoxine	44
4.2.6.3	Staub	51
4.2.6.4	Ammoniak	54

4.2.6.5	Wäscherwasseruntersuchungen	56
4.2.6.6	Klimagase	60
4.2.7	Verbesserungsvorschläge für die Funktionstüchtigkeit der Anlage	60
4.3	Schweinemastanlage mit Biofilter	61
4.3.1	Beschreibung der Schweinemastanlage	61
4.3.2	Beschreibung des Biofilters	62
4.3.3	Mess-/Probenahmestellen	65
4.3.4	Messtermine	66
4.3.5	Messergebnisse und Diskussion	67
4.3.5.1	Geruch	67
4.3.5.2	Bioaerosole und Endotoxine	71
4.3.5.3	Staub	78
4.3.5.4	Ammoniak	80
4.3.5.5	Untersuchung von Filtermaterial	81
4.3.5.6	Klimagase	82
4.3.6	Verbesserungsvorschläge für die Funktionstüchtigkeit des Filtersystems	82
5	Fazit und Ausblick	83
6	Anhang	85
7	Literaturverzeichnis	118

1 Zusammenfassung

Im Zeitraum vom 01.10.2012 bis zum 30.11.2015 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.

Teil 1 des Projektes „Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen“ wurde bereits im Oktober 2015 veröffentlicht [1].

Der vorliegende Teil 2 des Endberichtes stellt die Recherchen zu bestehenden Abgasreinigungsanlagen in bayerischen Tierhaltungsbetrieben vor.

Um die Abscheideleistung von Wäschern und Biofiltern im praktischen Einsatz zu ermitteln, erfolgten außerdem an zwei ausgewählten Anlagen Emissionsmessungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten vor und nach der Reinigung. Dabei wurde zudem versucht, einen 10 Jahre alten, baurechtlich genehmigten Rieselbettwäscher in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller technisch, wirtschaftlich und energetisch zu optimieren. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag neben den üblichen Parametern (Staub, Ammoniak, Geruch, Klimagase) besonders auf der Abscheideleistung von anlagenspezifischen Bioaerosolen und Endotoxinen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Recherchen und Untersuchungen wurde eine Handlungsempfehlung für Genehmigungsbehörden erstellt. Im Fokus standen dabei funktionstüchtige und wirtschaftlich tragbare Lösungswege für kleine bäuerliche Betriebe, um unter anderem auch Standorte in Dorfgebieten zu erhalten.

Ergebnisse:

Die Recherche zu den bestehenden Abgasreinigungsanlagen ergab Folgendes:

- In bayerischen Schweinehaltungsanlagen wurden seit 1984 mehr als 60 Abgasreinigungsanlagen zur Geruchsreduzierung installiert. Während die ersten Systeme noch sehr einfach im Aufbau waren, wurden in den letzten Jahren die Anforderungen an die Technik und Funktionsüberwachung weiterentwickelt. Neben den einfachen Biofilter- und Biowäschersystemen existieren derzeit auch mehrstufige Anlagen, die entsprechend bestimmter Prüfmethode und Leistungskriterien zertifiziert sind und außer Geruch und Staub auch Ammoniak über eine Säurestufe separat reduzieren.
- Die überwiegende Anzahl der Abgasreinigungen befindet sich an baurechtlich genehmigten Anlagen und wurde von den Betreibern auf freiwilliger Basis eingebaut. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftige Anlagen haben meist nur die neu hinzugekommenen Ställe im Zuge von Erweiterungsvorhaben mit Abgasreinigungsanlagen ausgestattet, um so schädliche Umwelteinwirkungen durch Gerüche zu vermeiden beziehungsweise in Einzelfällen auch im Rahmen der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen.
- Im Geflügelbereich liegen derzeit keine Erfahrungen mit Abgasreinigungssystemen vor, da bisher keine Anlage installiert wurde.
- Bei den Begehungen der Anlagen zeigte sich ein sehr unterschiedliches Bild. Während manche Anlagen vorbildlich betrieben wurden und seit Jahren gut funktionierten, waren andere vernachlässigt und erfüllten den heutigen Mindeststandard nicht mehr. Hier zeigte sich, dass die Funktionstüchtigkeit der Anlagen nicht so sehr vom Alter, sondern vielmehr von der Auslegung, der Wartung, der Überwachung und der Instandhaltung abhing.
- Der Aufwand für die Wartung und Instandhaltung wurde von den meisten Betreibern von einfacheren aber dennoch funktionstüchtigen Systemen als überschaubar eingestuft. Die Kosten hielten

sich im vertretbaren Rahmen und der Nutzen der Anlagen wurde von vielen als positiv bewertet, insbesondere im Hinblick auf die Akzeptanz in der Nachbarschaft. Bei keiner der besichtigten Anlagen lagen aktuell Geruchsbeschwerden vor.

- Mehrstufige Systeme fanden sich ausschließlich bei Schweinehaltungsanlagen mit mehr als 1.000 Tierplätzen (TP) und wurden von den Betreibern eher negativ in Hinblick auf Wartung, Störanfälligkeit und Kosten bewertet. Rohgasgeruch konnte zum Zeitpunkt der Ortseinsicht bei keiner mehrstufigen Anlage wahrgenommen werden.
- Bei einigen, meist zu klein dimensionierten Abgasreinigungsanlagen von Schweinehaltungsanlagen waren im Reingas teilweise noch Gerüche nach Schwein wahrnehmbar, insgesamt waren diese „abgeschwächten Konzentrationen“ nur im direkten Umfeld der vorrangig relativ kleinen Anlagen (< 100 – 200 Tierplätze) wahrnehmbar.

Messungen an einem Rieselbettreaktor und zwei Biofiltern:

Im Rahmen der Messungen wurde ein 10 Jahre alter **Rieselbettreaktor** an einer Zuchtsauenanlage (100 Sauen und Ferkel) sukzessive optimiert. Der **Biofilter A** der Mastschweineanlage (1.150 Tierplätze) wurde dagegen als Versuchsanlage neu errichtet. Zum Vergleich wurden teilweise auch Messungen an einem zwei Jahre alten **Biofilter B** einer Ferkelaufzucht (4.080 Tierplätze) durchgeführt.

- Der **ältere** einstufige **Rieselbettreaktor** (ohne Säurestufe) konnte trotz verschiedenster Optimierungsmaßnahmen in Bezug auf **Geruch** nicht dauerhaft stabilisiert werden. Erschwerend kam hier hinzu, dass es sich bei dem Zuchtsauenstall um eine Unterflurabsaugung handelte, die zum Teil im Rohgas bereits Werte weit über 1.000 GE/m³ lieferte. Hier kommen auch zertifizierte Systeme, die den pH-Wert im Waschwasser mit Säure oder Lauge stabilisieren, teilweise an ihre Grenzen [2]. Trotz der Reingaswerte von zum Teil über 2.000 GE/m³ waren nicht von jedem Probanden typische Rohgasgerüche wahrnehmbar. Der Wäscher schien häufig in der Lage zu sein die Geruchsnote „Schwein“ zu verändern. Auch im Umfeld war kein Schweinegeruch erkennbar. Dies bestätigt sich ebenso durch die nicht vorhandenen Beschwerden der direkt angrenzenden Nachbarschaft.
- Der **neu** installierte **Biofilter A** an einer Mastschweineanlage (1.150 Tierplätze) zeigte während der Messungen eine gute Geruchsstoffabscheideleistung, wobei die Rohgasströme meist um 1.000 GE/m³ lagen. In diesen Fällen war fast nie Rohgasgeruch im Reingas wahrnehmbar. Der dauerhaft stabile Betrieb (sogenannte Dauerstabilität) hängt jedoch vor allem von einem ausreichenden Feuchtigkeitsgehalt ab. Über die heißen Sommermonate konnte dieser an der untersuchten Anlage nicht aufrechterhalten werden, hierdurch kam es zu erheblichem Rohgasgeruch im Reingas. Dies konnte auch durch eine Erhöhung der Berieselung nicht verbessert werden, da das Wurzelholz bereits extrem ausgetrocknet war. Hier zeigte sich, dass ohne Vorbedüsung des Rohgasstromes und einer automatischen Feuchterege lung das System – zumindest bei so heißen Sommern wie im Jahr 2015 – nicht dauerhaft stabil läuft. Der Betreiber wird hier in Zusammenarbeit mit den Behörden Verbesserungsmaßnahmen umsetzen.
- Ein **älterer Biofilter B** einer Ferkelanlage (4.080 Tierplätze) hatte eine automatische Feuchterege lung und war ausreichend dimensioniert. Hier konnte trotz hoher Geruchskonzentrationen im Rohgas bei keiner Messung im Reingas Schweinegeruch wahrgenommen werden. Dieser Filter funktionierte auch nach mehr als zweijähriger Standzeit ohne Probleme.
- **Bioaerosole** wurden in beiden untersuchten Systemen meist um weit über 90 %, das heißt um ein bis zwei Zehnerpotenzen reduziert. Bei hohen Volumenströmen und kurzen Verweilzeiten im Sommer ging die Minderung ähnlich dem Abscheideverhalten bei den anderen Schadstoffen zurück. Dies konnte aufgrund der zur Verfügung stehenden Messtermine nur für den **Rieselbettreaktor** festgestellt werden, für den **Biofilter A** lag keine Sommermessung vor.

- Im Mittel lagen die **Gesamtbakterien** bei der **Zuchtsauenanlage** im Rohgas bei circa 4×10^5 KBE/m³ und wurden durch den **Rieselbettreaktor** auf 2×10^4 KBE/m³ reduziert. Die **Staphylokokken** konnten im Mittel von circa 7×10^4 KBE/m³ auf circa 3×10^3 KBE/m³ gemindert werden.
- Bei der **Mastschweineanlage** lagen die Gesamtbakterien im Mittel im Rohgas bei circa 7×10^5 KBE/m³ und wurden durch den **Biofilter A** auf 9×10^3 KBE/m³ reduziert. Die Staphylokokken konnten im Mittel von circa 3×10^4 KBE/m³ auf Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze von circa 1×10^3 KBE/m³ gemindert werden.
- **Enterokokken** waren bereits im Rohgas um 1 – 2 Zehnerpotenzen niedriger (im Mittel circa 2×10^3 KBE/m³) als Gesamtbakterien beziehungsweise Staphylokokken und konnten daher im Reingas beider Systeme nicht mehr quantifiziert werden beziehungsweise konnten oftmals gar nicht nachgewiesen werden.
- Die **Frachten** der Gesamtbakterien im Rohgas lagen bei der **Mastschweineanlage** aufgrund der Anlagengröße um über eine Zehnerpotenz höher als bei der **Zuchtsauenanlage** (Mastschweine im Mittel 4×10^{10} KBE/h; Zuchtsauen im Mittel 2×10^9 KBE/h). Im Reingas sowie bei den Staphylokokken (roh- und reingasseitig) unterschieden sich die ermittelten Frachten der beiden Anlagen dagegen kaum.
- Im bakteriellen **Artenspektrum** der **Zuchtsauenanlage** fand sich weder roh- noch reingasseitig ein methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA) und selbst der *Staphylococcus aureus* kam nur sporadisch vor. Da der Betreiber keinerlei Einstallprophylaxe mit Antibiotika durchführt, kranke Tiere einzeln behandelt, neue Tiere in einem Quarantänestall unterbringt und auch sonst sehr sauber und hygienisch einwandfrei arbeitet, ist dies plausibel. In der bundesweiten Antibiotikadatenbank ist er im niedrigsten Bereich vertreten.
- Legionellen konnten aus keiner der untersuchten Waschwasserprobe des Rieselbettreaktors kultiviert werden.
- Im Artenspektrum des **Mastschweinealles** konnten zwar MRSA im Rohgas im Mittel über die jeweilige Messkampagne von 2×10^2 KBE/m³ bis 9×10^2 KBE/m³ bestimmt werden. Im Reingas nach dem Biofilter lagen aber alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze von circa 100 KBE/m³, sodass auch hier eine deutliche Abreinigung erfolgte. Qualitativ konnten MRSA neben den Reingasproben, auch im Staub aus dem Stallinneren, im Staub aus dem Rohgaskanal und im Wurzelholz bei einer Stichprobenmessung gefunden werden.
- Alle Bioaerosolproben wurden auf das Vorkommen von **Influenza A Viren** (IAV) untersucht. In keiner der Proben konnten mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) das IAV-Matrixgen nachgewiesen werden. Auch in zwei untersuchten Wasserproben des Rieselbettreaktors aus Messkampagne II und IV konnten keine IAV nachgewiesen werden.
- Die Gehalte an **Endotoxinen** im Gesamtstaub (Impingerverfahren) der **Zuchtsauenanlage** lagen mit Werten 14 – 124 EU/m³ im Reingas nach dem Rieselbettreaktor nur ein bis zwei Zehnerpotenzen über der typischen Außenluftkonzentration (0,75 – 1,99 EU/m³ [2]). Durch die Verdünnung in der Außenluft kann daher davon ausgegangen werden, dass sich die Konzentrationen in der Umgebung nicht relevant erhöhen. Rohgasseitig waren die ermittelten Konzentrationen zwischen 49 – 396 EU/m³. In den Sommermonaten brach aber, ähnlich, wie bei allen anderen Schadstoffen, der Abscheidegrad für Endotoxine stark ein. Auffällig war, dass die Endotoxinkonzentration auf den Feinstaubfilterproben der Fraktion PM₁₀ mit Werten im Rohgas von 217 – 852 EU/m³ und im Reingas mit 175 – 303 EU/m³ deutlich höher lagen. Dies dürfte hauptsächlich dem unterschiedlichen Probenahmeverfahren geschuldet sein und wird im Kapitel 4.2.6.2 diskutiert. Für PM_{2,5} lagen die Werte im Rohgas bei 47 – 151 EU/m³ und im Reingas bei 2,3 – 72 EU/m³.

- Die Endotoxingehalte am Biofilter der **Mastschweineanlage** zeigten dagegen im Reingas bei der Gesamtstaubprobenahme mit dem Impingementverfahren nur noch Werte zwischen 4 und 9 EU/m³ (Rohgas: 171 – 340 EU/m³), sodass hier von einem Abscheidegrad von über 90 % ausgegangen werden kann. Jedoch liegen hier noch keine Sommermessungen bei hohen Luftraten vor. Die Werte für die Fraktion PM_{2,5} lagen reingasseitig alle unterhalb der Bestimmungsgrenze von circa 0,5 EU/m³ (Rohgas: 57 – 133 EU/m³), die der Fraktion PM₁₀ waren mit < 8,6 – 21,1 EU/m³ (Rohgas: 167 – 340 EU/m³) ebenfalls sehr niedrig und heben sich durch die Verdünnung in der Außenluft kaum mehr von der natürlichen Hintergrundbelastung ab.
- Die **Gesamtstaub**emissionen lagen bei allen Anlagen in einem sehr niedrigen Bereich weit unter den Bagatellmassenströmen nach Nr. 4.6.1 TA Luft von 1 kg/h für geführte Quellen beziehungsweise 0,1 kg/h für diffuse Quellen beziehungsweise der allgemeinen Emissionsbegrenzung nach Nr. 5.2.1 TA Luft von 20 mg/m³. Je nach Jahreszeit und Ausgangskonzentration konnten trotz der niedrigen gemessenen Konzentrationen von circa 3 bis maximal 6 mg/m³ zum Teil bis zu maximal **73 %** beim **Rieselbettreaktor** und maximal **58 %** beim **Biofilter** abgeschieden werden. Die Abscheideleistung variierte dabei über eine große Spannbreite. Die maximale Abscheideleistung bei der Feinstaubfraktion PM₁₀ lag beim **Biofilter** bei maximal **95 %**, was auf eine Sekundäremission durch das Biofiltermaterial beim Gesamtstaub hinweist.
- Die Abscheidung von **Ammoniak** variierte beim **Rieselbettreaktor** mit der Rohgaskonzentration. Durch die Unterflurabsaugung traten insbesondere bei niedrigen Luftwechselraten im Winter zum Teil Konzentrationen von bis zu 35 mg/m³ im Rohgas auf, die dann mit Abscheideleistungen zwischen 90 und 99 % sehr gut im Wäscher gemindert wurden. Bei Konzentrationen unter 10 mg/m³ und kurzen Verweilzeiten bei hohen Sommerluftvolumenströmen, kam das System an seine Grenzen und die Abscheideleistung lag bei knapp 30 %. Die Reingaskonzentrationen waren dann mit Werten um 7 mg/m³ am höchsten.
- Der **neu errichtete Biofilter A** erreichte bei Ausgangskonzentrationen von 6 bis maximal 12 mg/m³ während der ersten zwei Messkampagnen Abscheideleistungen zwischen 20 bis maximal 50 %. Bei niedrigen Volumenströmen (geringe Außentemperaturen) und bei 1/3 geringeren Ammoniakfrachten (< 100 g/h) kam es dagegen zu Abscheidegraden von über 90 % und Reingaskonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/m³. Hier reichten die Verweilzeit und der Feuchtigkeitsgehalt offensichtlich aus, um Ammoniak gut abzuscheiden.
- **Stickstoffoxide** {Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid und Distickstoffmonoxid (Lachgas)} sind ebenfalls Parameter, die bei den Abgasreinigungsanlagen untersucht wurden, da bei Biofiltern und Rieselbettreaktoren nicht ausgeschlossen werden kann, dass der abgeschiedene Ammoniak teilweise wieder in Form von Stickstoffoxiden freigesetzt wird, z. B. durch Nitrifizierungsprozesse.
- Am **Rieselbettreaktor** wurden Stickstoffoxide nur im Reingas untersucht. Sie schwankten je nach Messkampagne im Bereich der Bestimmungsgrenze von 5 mg/m³ für Stickstoffmonoxid beziehungsweise Stickstoffdioxid. **Lachgas** konnte nicht nachgewiesen werden.
- Eine Detektion von Stickstoffoxiden an dem **neu errichteten Biofilter A** war meist nur in Spuren möglich, bei keiner der Messungen waren Stickstoffoxide quantitativ bestimmbar. Ein Unterschied zwischen Roh- und Reingaskonzentration konnte lediglich bei der letzten Messung als leichte Tendenz in Richtung Neubildung von Lachgas und Stickstoffdioxid vermutet werden. Die Untersuchung an einem **älteren Biofilter B** zeigte dagegen kaum einen Unterschied zwischen Roh- und Reingaskonzentration. Hier lagen die Werte ähnlich wie beim Rieselbettreaktor im Bereich der Bestimmungsgrenzen von 5 mg/m³. Lachgas konnte auch hier sowohl im Roh- als auch im Reingas nur in Konzentrationen detektiert werden, die keine Quantifizierung zulassen. Die Rohgasmessstelle befand sich bei dieser Anlage allerdings in der Druckkammer, dessen Boden mit überschüssigem Berieselungs- und Regenwasser befüllt war, sodass auch hier eventuell De-/Nitrifizierungsprozesse nicht ausgeschlossen werden können.

Tab. 1: Spannen der Reingasmessungen und der Abscheidegrade

Abluftreini- gungsanlage / Anlagendaten	Geruch	Bakterien ²			Endotoxine ⁴			Staub			Stickstoffverbindungen ⁵	
		Gesamt- bakterien	Staphylo- kokken ³	Entero- kokken	Gesamt- staub	PM ₁₀	PM _{2,5}	Gesamt- staub	PM ₁₀	PM _{2,5}	Ammoniak	Stickoxide
	[GE/m ³]	[KBE/m ³]			[EU/m ³]			[mg/m ³]			[mg/m ³]	
Rieselbettreaktor (100 Zuchtsauen und Ferkel; Flüssigmist; Unterflur- entlüftung)	770 – 2.300 (Rohgas: 670 – 5.000)	< 1,8×10 ² - 4,6×10 ⁴	< 6,3×10 ² - 5,7×10 ³	< NG - 16 bzw. < BG	14 - 124	175 - 303	2 - 72	1,2 - 3,2	0,1 - 0,8	< 0,1 - 0,3	0,1 - 7,4	NO: < 5 - 6,5 NO ₂ : < 5 - 5,5 (Rohgas: Keine Messung)
Abscheide- wirkungsgrad ¹ [%]		61 - 99	85 - 99	> 97	k.R. - 85	k.R.- 79	43 - 98	15 - 73	k.R. - 80	k.R.- 88	30 - > 99	
Biofilter (Neu) (1.150 Mast- schweine, Flüssigmist, Oberflur-entlüftung)	210 – 380 (Rohgas: 910 – 1.700)	3,8×10 ³ - 1,7×10 ⁴	< 7,7×10 ² - < 1,5×10 ³	< NG - < BG	4 - 9	9 - 27	< 0,5	2,2 - 6,3	0,1 - 0,5	0,1 - 0,2	< 0,1 - 7,5	NO: < 5 NO ₂ : < 5 (Rohgas: NO: < 5 NO ₂ : < 5)
Abscheide- wirkungsgrad [%]		95 - 99	- 99	Rohgas < BG	95 - 99	84 -96	> 99	2 - 58	57 - 95	50 - 87	k.R. - >99	
Biofilter (2 Jahre alt) (4.080 Ferkel; Flüssigmist, Oberflur-entlüftung)	250 – 300 (Rohgas über Revisions- schacht: 2.000-3.000)	Keine Messung, da Vergleichswerte für unterschiedliche Standzeiten bzgl. Geruch und Stickstoffverbindungen im Vordergrund standen									< 0,1	NO: ~5 NO ₂ : ~5 (Rohgas: NO: ~5 NO ₂ : ~5)

Abkürzungen: NG: Nachweisgrenze; BG: Bestimmungsgrenze; k.R.: keine Reduzierung feststellbar

¹ Abscheidewirkungsgrade waren niedrig bei geringen Konzentrationen im Rohgas bzw. bei kurzen Verweilzeiten bedingt durch hohe Sommerluftströme

² Influenza A Viren konnten nicht nachgewiesen werden

³ MRSA-Untersuchung an der Mastschweineanlage ergab im Rohgas 2×10^2 KBE/m³ bis 9×10^2 KBE/m³, im Reingas < BG;
in der Zuchtsauenanlage wurden weder im Roh- noch im Reingas MRSA Bakterien gefunden

⁴ Endotoxine im Feinstaub aufgrund unterschiedlicher Probenahmeverfahren (Feinstaub mit Impaktor) zum Teil höher als bei Gesamtstaub (Impingement)

⁵ Lachgaskonzentrationen lagen im Roh- und Reingas aller untersuchten Anlagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 5 mg/m³, bzw. z.T. < NG.

2 Anlass und Ziel des Projektes

Rund ein Drittel aller landwirtschaftlichen Betriebe Deutschlands befinden sich in Bayern [4], das im bundesweiten Vergleich den größten Anteil an landwirtschaftlichen Flächen aufweist (Abb. 1). Dabei liegt der Grünlandanteil mit rund einem Drittel sehr hoch, wodurch die Tierhaltung hauptsächlich durch bäuerliche Rinderhaltungen mit frei gelüfteten Stallungen dominiert wird (circa 50.000 Rinderhaltungen im Nov. 2014). Aber auch in der Schweinehaltung gibt es in Bayern noch eine Vielzahl von kleineren Tierbeständen (Abb. 2) [5]. Bundesweit ist die landwirtschaftliche Nutztierhaltung von einer Konzentrationsentwicklung geprägt. Dies führte dazu, dass Tierhaltungsanlagen wegen ihrer Emission an Gerüchen, Ammoniak, Staub und luftgetragenen Teilchen biologischer Herkunft (Bioaerosole [6]) zunehmend in der Kritik stehen.

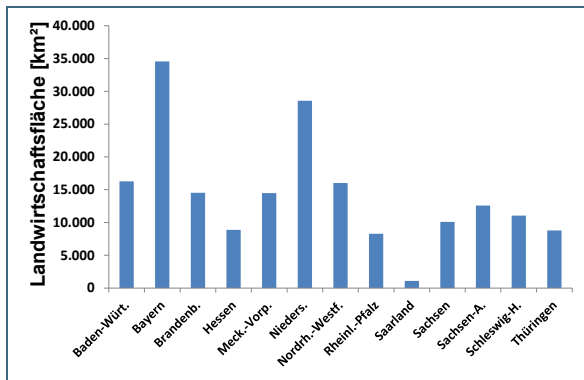


Abb. 1: Landwirtschaftliche Fläche im bundesweiten Vergleich

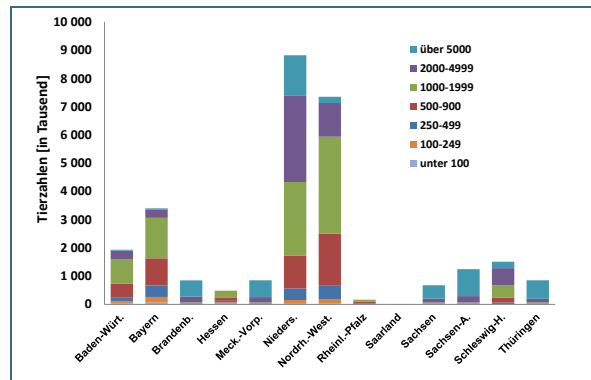


Abb. 2: Schweinehaltung im bundesweiten Vergleich nach Bestandsgrößen

Bisher zählten Abgasreinigungseinrichtungen (AGR) bei Tierhaltungsanlagen nicht zum Stand der Technik und konnten daher auch im Genehmigungsverfahren nicht gefordert werden. Seit vielen Jahren werden aber bundesweit Reinigungsanlagen in der Schweine- und zum Teil auch in der Geflügelhaltung zur Verminderung der Emissionen an Staub, Ammoniak und geruchsintensiven Stoffen eingesetzt. Nach [7] waren bundesweit im Jahre 2013 circa 1.000 Anlagen in der Schweinehaltung und etwa 180 Anlagen in der Geflügelhaltung eingebaut. Zu den Gründen für den Einbau einer Abgasreinigungsanlage zählten unter anderem zu geringe Abstände der Stallanlagen zur nächsten Wohnbebauung, kein ausreichender Abstand zu stickstoffempfindlichen Ökosystemen oder eine zu hohe Vorbelastung durch andere Betriebe. Bei vielen Altanlagen waren aber Zweifel an der Dauerstabilität und der Reinigungsleistung aufgetreten. In den letzten Jahren wurden daher vermehrt Mindestanforderungen an die Auslegung von landwirtschaftlichen Abgasreinigungsanlagen definiert. Im Landkreis Cloppenburg wurden bereits im Jahre 2002 freiwillige Prüfanforderungen an die Funktionstüchtigkeit von Abgasreinigungen gestellt [8] und 3 Anlagen geprüft. Ab dem Jahre 2005 erfolgten über die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) 16 weitere Prüfverfahren von 10 verschiedenen Herstellern (siehe Tab. 17 im Anhang) in der Schweine- und Geflügelhaltung sowie ein Verfahren in der Kälbermast. Beurteilungsgrundlage ist hierbei der DLG-Prüfrahmen [9] „Abluftreinigungssysteme in der Tierhaltung“. Als Mindestanforderungen bei der Zertifizierung müssen für Ammoniak und Staub Abscheidegrade von jeweils mindestens 70 % erreicht werden. Für Geruch dürfen im Reingas der Abgasreinigungsanlage 300 GE/m³ nicht überschritten werden und zusätzlich darf kein Rohgasgeruch im Reingas wahrnehmbar sein. Die Zertifizierungsverfahren werden über mehrere Wochen im Sommer und im Winterbetrieb durchgeführt und gelten nur für die untersuchte Tierart, das untersuchte Haltungsverfahren sowie bei Einhaltung aller geforderten Randbedingungen. Ein elektronisches Betriebstagebuch ist unerlässlich.

Für Bioaerosole liegen dagegen derzeit kaum wissenschaftliche Erkenntnisse über das Abscheideverhalten vor. Es soll bei der freiwilligen Zertifizierung zukünftig aber auch die Untersuchung des Abscheideverhaltens in Bezug auf Gesamtbakterien, mesophile Pilze und gegebenenfalls tierartspezifische Leitkeime angeboten werden.

In Bayern wurden schon in den 80er Jahren Abgasreinigungsanlagen zur Geruchsreduzierung bei baurechtlich zu genehmigenden Anlagen in der Schweinehaltung eingebaut. Dabei kamen in der Vergangenheit verschiedenste Systeme zum Einsatz, deren Abreinigungsgrade stark variierten und mit zunehmender Standzeit meist abnahmen. Vorteile einer Abgasreinigungsanlage bei baurechtlich zu genehmigenden Anlagen können in der Vermeidung einer Standortauslagerung, der Akzeptanz in der Nachbarschaft und dem Schutz der Landschaft vor weiterer Zersiedelung gesehen werden. Dabei sind die Anforderungen von zertifizierten Anlagen bei bäuerlichen Betrieben in der Regel nicht mehr wirtschaftlich umsetzbar und würden bei den derzeitigen niedrigen Erlösen für Schweinefleisch unverhältnismäßig sein. Vorrangig sollten daher auch für die kleinbäuerlichen, umweltschonenden und nachhaltig wirtschaftenden Betriebe in Dorfgebieten gangbare Lösungen in Bezug auf Abgasreinigungsanlagen aufgezeigt werden.

Ziel des Projektes „Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen“ war es

- Anzahl und Art der in Bayern im Einsatz befindlichen Abgasreinigungseinrichtungen an Tierhaltungsanlagen zu erfassen,
- die Betriebserfahrungen zusammenzufassen und die Abreinigungsleistung – falls Daten verfügbar – zu bewerten,
- an zwei ausgewählten Anlagen (Biofilter/Rieselbettwäscher) Emissionsmessungen aller relevanter Parameter (Geruch, Ammoniak, Bioaerosole, Staub, Klimagase) zu unterschiedlichen Jahreszeiten im Roh- und Reingas durchzuführen, um die Abscheideleistung der Abgasreinigungseinrichtung im praktischen Einsatz zu ermitteln. Dabei sollte insbesondere die Minderungswirkung an Bioaerosolen fachlich besser eingeordnet werden.
- Möglichkeiten zur technischen, wirtschaftlichen und energetischen Optimierung einer veralteten Abgasreinigungsanlage (Rieselbettwäscher mit Unterflurabsaugung) in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller und Betreiber zu erarbeiten und umzusetzen.
- sowie eine Handlungsempfehlung für Genehmigungs- und Vollzugsbehörden nach Zusammenführung von Recherche- und Untersuchungsergebnissen zu erstellen.

Vorliegender Bericht fasst die Ergebnisse der bayernweiten Recherchen an Abgasreinigungssystemen zusammen. Zudem werden die zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführten Messungen an einem Biofiltersystem für Mastschweine sowie an einem Rieselbettreaktor vorgestellt.

Die Messungen zum vorliegenden Teilbericht 2 wurden in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Bestimmung von Bioaerosolen) durchgeführt. Des Weiteren waren am Messprogramm als Unterauftragnehmer die bifa Umweltinstitut GmbH (Analytik/Auswertung der Endotoxinkonzentrationen) und die Modern Testing Services (Germany) GmbH (Ermittlung der Geruchstoffkonzentrationen) beteiligt.

3 Abgasreinigungsanlagen in Bayern

3.1 Rechtlicher Rahmen

Derzeit gibt es eine länderübergreifende Diskussion um eine bundeseinheitliche Regelung bezüglich Abgasreinigungsanlagen bei genehmigungspflichtigen Tierhaltungsanlagen. In Nordrhein-Westfalen ergingen dazu im Februar 2013 [10], im Land Niedersachsen im März 2013 [11] und in Schleswig-Holstein im Juli 2014 [12] so genannte „Filtererlasse“. Dabei wird zum Beispiel der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in großen Schweineställen (ab 2.000 Mastplätzen beziehungsweise 750 Zuchtsauen) als wirtschaftlich vertretbar und nicht unverhältnismäßig angesehen. Bei Neugenehmigungen und Erweiterungen von Stallbauten ab dieser Größenordnung wird der Einbau von Anlagen zur Reduzierung von Staub-, Ammoniak- und Geruchsemissionen zur Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen in diesen drei Bundesländern eingefordert. In Bayern entscheiden derzeit die Kreisverwaltungsbehörden vor Ort bei Genehmigungsverfahren in eigener Zuständigkeit, ob im Einzelfall zum Schutz von Anwohnern oder empfindlichen Gebieten weitere Maßnahmen zur Abgasreinigung, wie z. B. der Einbau von Filteranlagen zumindest für Teile der Anlage erforderlich sind. Aus Gründen der Rechtssicherheit und der Gleichbehandlung bleibt abzuwarten, ob neue bundeseinheitliche rechtliche Vorgaben den Einbau von Abgasreinigungsanlagen bei großen Tierhaltungsanlagen vorschreiben werden.

Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind nach § 22 BImSchG so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, beziehungsweise auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Bei baurechtlich zu genehmigenden Anlagen werden Abgasreinigungen vor allem dann eingebaut, wenn die Mindestabstände nach Richtlinie VDI 3894 Blatt 2 [13] zur nächsten Wohnbebauung oder die Immissionswerte der Geruchsimmissions-Richtlinie [14] nicht eingehalten sind. In diesen Fällen ist der Einbau einer Abgasreinigung oft die einzige Option, um an einem bestehenden Standort – meist in oder im Randbereich von Dorfgebieten – festzuhalten und eine Aussiedlung zu vermeiden.

Für baurechtlich zu genehmigende Anlagen geht eine Abgasreinigung deutlich über den Stand der Technik hinaus und ist als freiwillige Option zu sehen, um schädliche Umwelteinwirkungen durch erhebliche Geruchsbelästigungen zu verhindern beziehungsweise die bisherige Belastungssituation zu verbessern. Einige Betreiber gehen diesen Weg auch, um in jedem Fall Geruchsbelästigungen zu vermeiden und so die Akzeptanz ihrer Anlage in der Nachbarschaft zu erlangen. Der Erhalt von Dorfgebieten wird mit zunehmenden Bestandsgrößen, insbesondere im Schweinehaltungsbereich, nur mehr in Verbindung mit Abgasreinigungen möglich sein.

Die zertifizierten Systeme, deren Schwerpunkt neben der Geruchsreduzierung vor allem auch in der Vorsorge vor erhöhten Stickstoffbelastungen liegt, können aus Gründen der Verhältnismäßigkeit vorrangig für große Intensivtierhaltungsanlagen gefordert werden. Für kleine baurechtlich zu genehmigende Anlagen sind sie wirtschaftlich meist nicht tragbar. Deren Emissionspotential ist zum Teil deutlich niedriger, als das von Anlagen, die der Industrieemissions-Richtlinie [15] unterliegen. Es sollte daher im vorliegenden Bericht untersucht werden, ob die bisher in Bayern eingebauten meist einfachen Systeme wirtschaftlich tragbare und funktionsfähige Lösungen darstellen. Dabei stellte sich vorrangig die Frage, welche Randbedingungen der Systeme erfüllt sein müssen, um die Immissionsbelastungen im direkten Umfeld von baurechtlich zu genehmigenden Anlagen dauerhaft zu mindern.

3.2 Verfahrenstypen der Abgasreinigungsanlagen in Bayern

Die Anzahl und Art der in Bayern im Einsatz befindlichen Abgasreinigungsanlagen an Tierhaltungsanlagen wurden erfasst und die unterschiedlichen Betriebserfahrungen an ausgewählten Anlagen ermittelt. Die angegebene Anzahl der Anlagen stützt sich hauptsächlich auf die Aussagen der zuständigen Kreisverwaltungsbehörden. Vereinzelt könnten noch Anlagen insbesondere im baurechtlich zu genehmigenden Bereich bestehen, die den Umweltschutzingenieuren nicht bekannt sind. Die Liste ist daher unter Umständen nicht vollständig. Insgesamt wurden an 18 Anlagen vor Ort Daten erfasst, bei weiteren 15 Betreibern wurden die Daten telefonisch eingeholt. Eventuell vorliegende Emissionsmessberichte wurden bei den zuständigen Landratsämtern angefordert und die Beschwerdesituationen der letzten Jahre abgefragt.

Abb. 3 gibt einen Überblick über die seit 1984 bis ins Jahr 2014 errichteten 63 bayerischen Abgasreinigungsanlagen, unterschieden nach BlmSchG- und baurechtlich genehmigten Anlagen.

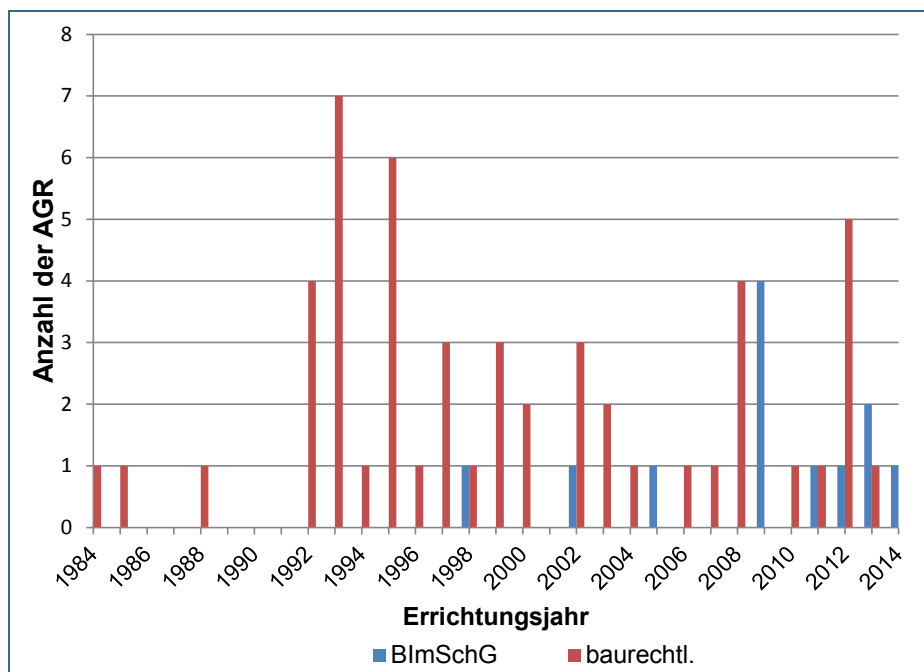


Abb. 3:
Zusammenstellung der an bayerischen Tierhaltungsanlagen installierten Abgasreinigungsanlagen (AGR) unterschieden nach BlmSchG und nach baurechtlich genehmigten Anlagen anhand des jeweiligen Errichtungsjahres

Die überwiegende Anzahl der Abgasreinigungseinrichtungen besteht in Bayern bei baurechtlich genehmigten Anlagen. Die Anlagen wurden ausschließlich aufgrund zu geringer Abstände zur nächsten Wohnbebauung, das heißt zur Geruchsreduzierung, gebaut. Dabei erfolgte der Einbau der Anlagen meist auf „freiwilliger“ Basis im Zuge einer Erweiterungsmaßnahme. Für die Betreiber war vorrangig, die seit Generationen bestehenden Standorte zu erhalten, eine Erweiterung zu ermöglichen und dabei eine erstmalige Aussiedelung zu vermeiden. Der Einbau einer Abgasreinigung, gegebenenfalls einhergehend mit Verbesserung an Altställen, führte so auch in bereits geruchsbelasteten Dorfgebieten noch zu einer gemäßigten Entwicklungsmöglichkeit für baurechtlich zu genehmigende Anlagen zur Schweinehaltung. Bei vielen Betreibern sind daher meist nur die neu zugebauten Ställe an eine Abgasreinigungsanlage angeschlossen. Es gibt aber auch kleine Betriebe, die die Abluft ihres gesamten Bestandes über die Abgasreinigung führen.

Abb. 4 zeigt die prozentuale Verteilung aller erhobenen Abgasreinigungsanlagen in Bezug auf die jeweils angeschlossene Tierplatzzahl.

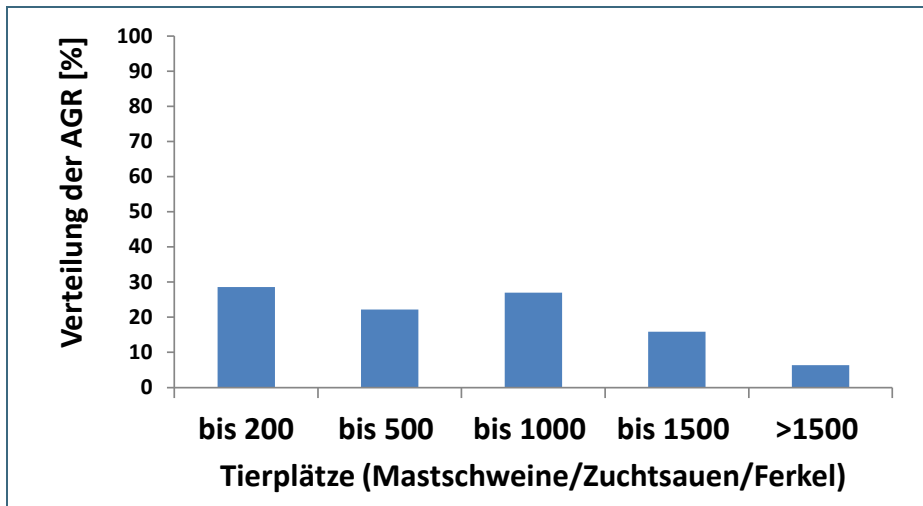


Abb. 4: Prozentuale Verteilung der Abgasreinigungsanlagen in Bayern bezogen auf die angeschlossenen Tierplatzzahlen

Zur Reinigung der Abluft werden überwiegend Biofilter, Wasserwäscher, Rieselbettreaktoren und mehrstufige Reinigungsanlagen aus einer Kombination der vorgenannten Verfahren eingesetzt. Auch bei genehmigungsbedürftigen Anlagen sind meist nur einzelne Stallerweiterungen an die Abgasreinigung angeschlossen, kaum die Gesamtanlage. Am häufigsten werden Rieselbettreaktoren eingebaut, die meist von zwei marktdominierenden Herstellerfirmen geliefert werden, deren Hauptgeschäft der Stalllüftungsbau ist.

In Abb. 5 sind die verschiedenen technischen Systeme an bayerischen Tierhaltungsanlagen dargestellt.

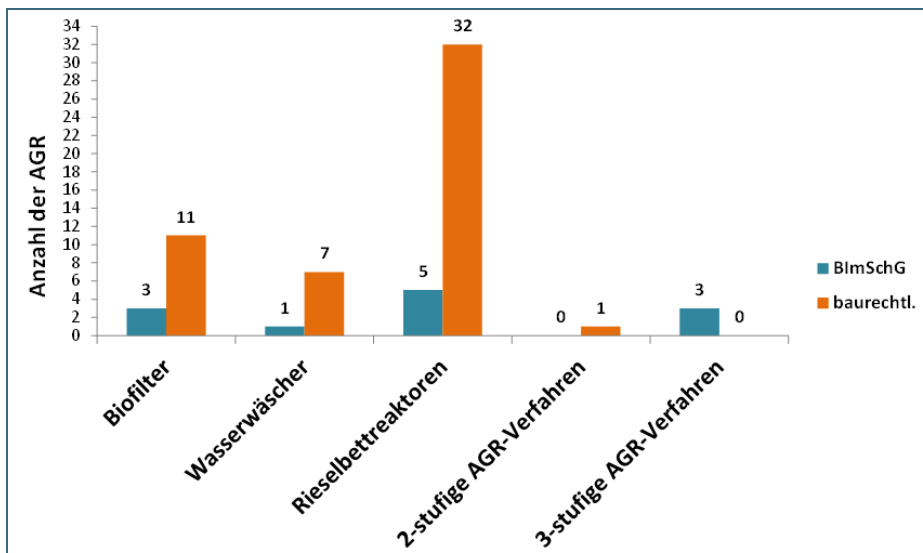


Abb. 5: Zusammenstellung der unterschiedlichen Verfahrensarten der an bayerischen Tierhaltungsanlagen installierten Abgasreinigungsanlagen unterschieden nach BlmSchG- und baurechtlich genehmigten Anlagen (errichtet seit circa 1984 bis ins Jahr 2014)

Zusätzlich befinden sich derzeit (2015) acht Abgasreinigungsanlagen in der Schweinehaltung (davon vier im BlmSchG-Bereich) und eine Abgasreinigungsanlage in einer genehmigungsbedürftigen Legehennenhaltung in Planung.

Die in Bayern eingebauten Abgasreinigungsanlagen haben keine DLG-Zertifizierung. Zwar wurden einige Hersteller meist in späteren Jahren DLG-zertifiziert, doch entsprechen die in Bayern eingebauten Anlagen nicht den Anforderungen des jeweiligen Zertifizierungsprotokolls. Drei 3-stufige Abgasreinigungsanlagen sind jedoch nach dem Cloppenburgener Leitfaden zertifiziert.

Zertifizierung. Bei den Abgasreinigungsanlagen ist zu unterscheiden, ob es sich um eine DLG-zertifizierte, eine nach dem Cloppenburger Leitfaden zertifizierte oder um eine nicht zertifizierte Anlage handelt. Die Einzelprotokolle, die Anforderungen und die Eignung sind auf der DLG Seite [16] einsehbar. Es ist dabei zu beachten, dass die Zertifizierung sich nur auf das dort beschriebene System bezieht und nicht auf andere Tierarten übertragbar ist. Dauerstabilität und Minderungspotentiale können nicht gewährleistet werden, wenn die Betriebsweise sich nicht genau an die beschriebenen Anforderungen hält. Eine Liste der derzeit DLG zertifizierten Abgasreinigungsanlagen ist im Anhang (Tab. 17) zusammengestellt. Eine Zertifizierung kann ebenso durch andere geeignete Institute erfolgen, dabei muss der Untersuchungsrahmen den bisherigen Zertifizierungsanforderungen entsprechen.

3.3 Betriebseinschätzung der besichtigten Anlagen

Zu den angegebenen Gründen für den Einbau einer Abgasreinigungsanlage zählten größtenteils geplante Erweiterungen, durch die der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geruchsbelästigungen an den umliegenden Immissionsorten nicht mehr gewährleistet wäre. Der freiwillige Einbau einer Abgasreinigungsanlage war daher oft die einzige Option, um eine Erweiterung im Dorfgebiet zu ermöglichen. Manchen Landwirten war es wichtig an den alteingesessenen Standorten festzuhalten und Aussiedlungen zu vermeiden. Andere versuchten ihre Strukturen als Familienbetrieb oder Direktvermarkter innerorts zu erhalten und wollten zum Teil bewusst den Einstieg in die Intensivtierhaltung im Außenbereich vermeiden.

Es gibt jedoch ebenso private freiwillige Beweggründe für den Einbau. Hier spielt vor allem die Akzeptanz in der Bevölkerung und ein friedliches Nebeneinander von Wohnbebauung und Tierhaltung eine vorrangige Rolle. Die Betreiber von einfacheren Systemen haben Ihre Entscheidung nach eigenen Aussagen meist nicht bereut und genießen zum Teil in ihren eigenen Wohnhäusern eine bessere Luftqualität. Die Betreiber von mehrstufigen Systemen – die alle großen Tierhaltungsanlagen mit mehr als 2.000 Tierplätzen hatten – kämpften dagegen mit Anlaufschwierigkeiten und beklagten sich über die hohen Kosten und den Wartungsaufwand.

3.3.1 Biofilter

Verfahrenstechnik und Funktionseinschätzung

Bei den Biofiltern wird die durch druckstabile Ventilatoren angesaugte Abluft über eine große Fläche mit bewässertem organischem Material aus grobem Wurzelholz oder Holzhackschnitzeln geleitet (Abb. 6). Durch den Feuchtigkeitsfilm werden die geruchsintensiven wasserlöslichen Stoffe absorbiert und durch die Mikroorganismen auf dem Biofiltermaterial abgebaut. Ein feuchtes Milieu durch ausreichende Befeuchtung ist daher bei Biofiltern unerlässlich. Die Steuerung bzw. Regelung der Berieselung sollte daher mit einem automatischen Feuchtfühler gekoppelt sein.

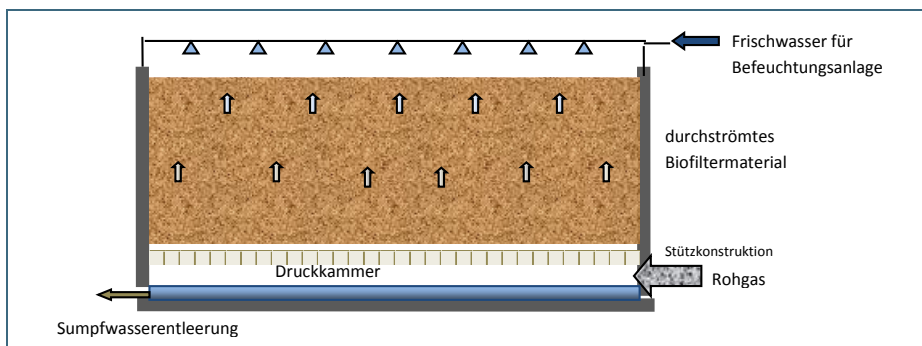


Abb. 6:
Fließbild eines Biofilters

Der Abbau bzw. die biologische Umwandlung des Ammoniaks funktioniert nach ähnlichem Prinzip, da Ammoniak sehr gut wasserlöslich ist. Je nach Standzeit des Filters kommt es allerdings zur Anreicherung von Ammoniak mit zunehmender Sättigung. Zudem erhöht sich der Strömungswiderstand für die Abluft durch zunehmende Kompostierung des Filtermaterials. Durch Nitrifizierungsprozesse kann es dabei auch zur Entstehung von klimarelevantem Lachgas (N_2O) kommen [17]. Biofilter sind daher in Bezug auf die Minderung von Ammoniakemissionen nur eingeschränkt einsetzbar. Für eine dauerhafte Ammoniakabscheidung ist in der Regel eine Vorabscheidung durch eine wässrige oder chemische Stufe sinnvoll. Zudem muss das Filtermaterial ausreichend oft ausgetauscht werden.

Zum Teil sind in Bayern noch ältere Systeme aus den 80/90er Jahren [18] für kleinere Mastbetriebe in Ortsmitte, beziehungsweise Ortsrandlage in Betrieb (Abb. 7). Geruchswahrnehmungen treten gelegentlich in der angrenzenden Nachbarschaft auf, werden aber meist geduldet. Bei den subjektiven Geruchsproben in unmittelbarer Nähe von älteren Biofiltern durch das LfU-Personal konnte zum Teil noch deutlich Rohgasgeruch im Reingas wahrgenommen werden, insgesamt erschien aber die Geruchsnote „Schwein“ in ihrer Intensität abgeschwächt und war in etwas weiterer Entfernung des Filters kaum mehr wahrnehmbar. Die Filtersysteme entsprachen vor allem in Bezug auf die notwendige Filterschütthöhe nicht mehr den heutigen Anforderungen, fast alle besichtigten Anlagen waren nach heutigem Kenntnisstand viel zu klein dimensioniert. Zudem wird in vielen Fällen das Filtermaterial kaum ausgewechselt, sondern in der Regel nur umgeschichtet und nachgefüllt. Abnahmemessungen liegen für diese diffusen Systeme nicht vor. An einigen Biofiltern war an der Oberfläche eine deutliche Algenbildung erkennbar, was auf hohe Nitratablagerungen im Wurzelholz schließen ließ.



Abb. 7: Biofiltersystem aus den 80er Jahren für Mast-schweine (320 TP) mit Hackschnitzel



Abb. 8: Biofiltersystem aus dem Jahr 2012 für Ferkel-zucht (4.080 TP) mit Wurzelholz

Die Betreiber selbst schätzen die Betriebs- und Anschaffungskosten durchwegs als wirtschaftlich tragbar ein. Dabei wurde bei der Anschaffung oft ein erheblicher Eigenanteil übernommen. Für den Arbeitsaufwand bei der Wartung wird meist nur die ein bis zweimal pro Jahr erfolgte Umschichtung (Arbeitsaufwand: circa 8 Arbeitskraftstunden meist im Sommer mit Mistgabel oder Kleinbagger) angegeben, sowie die tägliche kurze Kontrolle des Feuchtegehaltes der Oberfläche. Zur Befeuchtung kommen insbesondere bei Kleinanlagen meist einfache Systeme, wie z. B. rotierende Rasensprenger, zum Einsatz. Diese Systeme erfordern jedoch eine häufige Kontrolle, um ihre Funktion zu erfüllen. Trocknet der Filter aus, kann es zum Absterben der geruchsstoffreduzierenden Bakterien im Filtermaterial kommen. Ein weiterer oft beobachteter Effekt sind so genannte Durchbrüche bei zu trockenem Filtermaterial. Dabei wird der Filter nicht mehr gleichmäßig durchströmt, sondern es bilden sich Stellen, an denen die Abluft bevorzugt entweicht.



Abb. 9: Elektronischer Feuchtefühler



Abb. 10: Berieselungselement

An den Biofiltern neueren Baujahres sind bisher keine Geruchsbeschwerden aufgetreten (Abb. 8). Bei den Ortsbesichtigungen konnten meist auch in unmittelbarer Filternähe kein Schweinegeruch mehr festgestellt werden. Die Anlagen sind durchwegs schon viel größer dimensioniert, als die Systeme aus den 80er Jahren, liegen aber zum Teil immer noch unter den Anforderungen der VDI 3477 [19]. Zur Befeuchtung werden teilweise bereits Feuchtesensoren (Abb. 9) eingesetzt, welche die Sprinkleranlage (Abb. 10) automatisch steuern bzw. regeln. Die Betreiber stufen die Betriebs- und Wartungskosten auch hier als wirtschaftlich tragbar ein. Bisher hatte aber erst bei zwei Betreibern ein Austausch des Materials stattgefunden. Beim Verfahrenstyp Volksbiofilter [20] ist der Filtermaterialwechsel (gerissenes Wurzelholz) alle fünf bis acht Jahre vorgesehen (siehe Tab. 18 im Anhang) [21]. Der Wartungsaufwand wird ansonsten als gering eingestuft.

Abnahmemessungen in Bezug auf die Anforderungen zu Geruchsemissionen liegen für die neueren Systeme teilweise vor. Die Anforderungen von 300 GE/m³ konnten auch nach längeren Standzeiten noch deutlich eingehalten werden. Damit eignen sich ausreichend dimensionierte und gewartete Biofilter sehr gut für die Geruchsreduzierung.

3.3.2 Wasserwäscher

Bei den Wasser- oder Sprühturmwäschern wird die abgesaugte Stallluft in den Abgasreinigungsanlagen ohne Füllkörperstufe im Gegenstrom mit Wasser bedüst (Abb. 11, Abb. 12).

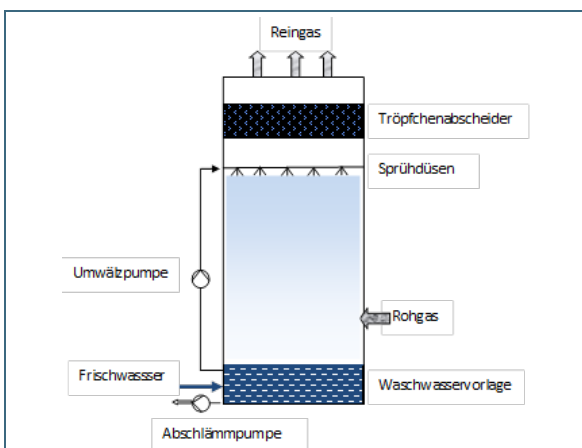


Abb. 11: Skizze eines Wasserwäschers



Abb. 12: Sprühdüsen eines alten Wasserwäschers ohne Tropfenabscheider für circa 350 Mastplätze

Sprüh-turmwäscher sind für eine dauerhafte Geruchs- oder Ammoniakreinigung nicht geeignet, da sie in der Regel einen hohen Frischwasserverbrauch haben. Das Waschwasser sättigt sich schnell mit Ammonium und Geruchsstoffen. Im Waschwasser kommt es nur zu einem geringen Geruchsstoffabbau, da die bioaktiven großen Oberflächen mit den geruchsabbauenden Mikroorganismen (Biofilm auf den Füllkörpern) fehlen. Für die Funktionstüchtigkeit muss daher ständig Frischwasser zugeführt werden, damit das beladene Waschwasser nicht zu lange im Kreislauf geführt wird. Wasser- oder Sprüh-turmwäscher wurden z. B. zur kurzzeitigen Reinigung in Verbindung mit einer zeitlich eingeschränkten Belästigungssituation (das heißt Steuerung mit der Windrichtung, etc.) genutzt [22]. In einem Fall war der Betreiber z. B. ein Mastschweinehalter, der gelegentlich auch eine Gastwirtschaft betreibt. Der Wäscher wurde daher in der Regel nur zu den Öffnungszeiten seiner Gastwirtschaft betrieben. Bei den Überprüfungen durch das LfU konnte noch Schweinegeruch wahrgenommen werden. Interessant war hier, dass durch die zentrale Ablufführung über einen verwinkelten Sammelkanal im Dachstuhl bereits eine große Menge an Staub abgeschieden wurde. Es erhöhten sich durch die Umlenkung jedoch sicherlich auch die Energiekosten für die Ventilatoren.

Wichtig beim Einsatz von Wasserwäschern ist ein gut funktionierender Tropfenabscheider, da durch den Austrag von Aerosoltröpfchen der Geruchseindruck sonst noch verstärkt wird (Abb. 11). Für die dauerhafte Minderung einer Geruchsbelastung sind Wasserwäscher nicht geeignet, da der hohe Wasserverbrauch und die dafür notwendigen Lagerkapazitäten für das Abwasser nicht wirtschaftlich sind. Geruchsmessungen zeigten an zwei Systemen zwar eine Minderung des Rohgasgeruchs, doch lagen die Reingaswerte zum Teil immer noch über 1.000 – 2.000 GE/m³. Es muss also angenommen werden, dass hier noch deutlich Rohgasgeruch vorlag. Sie entsprechen heute nicht mehr dem Entwicklungsstand moderner Abgasreinigungsanlagen und werden in der Regel auch nicht mehr eingebaut. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit brauchen sie daher auch nicht weiter betrachtet zu werden.

3.3.3 Rieselbettreaktoren

Die am häufigsten in Bayern und auch bundesweit vertretene Abgasreinigungsanlage ist der Rieselbettreaktor. Dieses System ist prinzipiell geeignet alle drei relevanten Komponenten (Staub, Ammoniak, Geruch) in einer Stufe abzureinigen, wenn die entsprechenden Randbedingungen eingehalten werden [23]. Beim Rieselbettreaktor handelt es sich um einen Wäscher mit Füllkörperstufe, der im Gegenstromverfahren (Abb. 13, Abb. 14) betrieben wird. Der Betrieb ist an ein enges pH -Wert-Fenster für das umlaufende Waschwasser im neutralen Bereich (optimaler pH-Wert: circa 6,5 – 7 [24]) gebunden. Wird der pH-Wert nicht eingehalten, kommt es schnell zu einer Zerstörung des Biofilms, da die geruchsreduzierenden Bakterien im sauren oder alkalischen Bereich nicht überleben können. Im alkalischen Bereich kann es zusätzlich zu einer Freisetzung von bereits abgeschiedenem Ammoniak kommen. Im sauren Bereich geht man von zusätzlichen Stickoxidemissionen und Lachgas aus. Die regelmäßige Abschlämmung und pH-Wert-Kontrolle sind daher neben der ausreichenden Dimensionierung die wichtigsten Betriebs- und Auslegungsgrößen der Anlage.

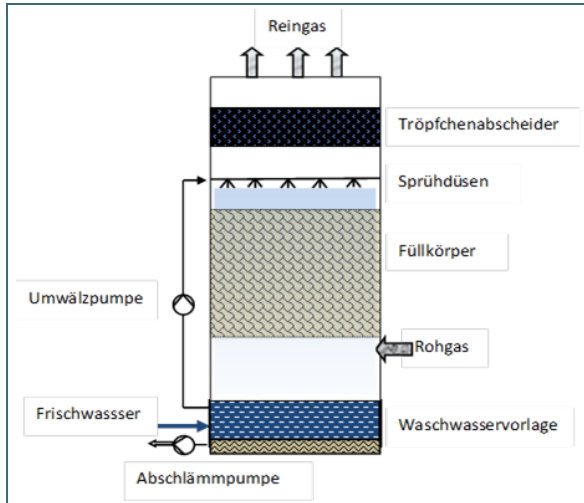


Abb. 13: Aufbau eines Rieselbettreaktors



Abb. 14: Füllkörper eines Rieselbettreaktors

Eine automatische Regelung dieser Parameter findet sich in den bayerischen Anlagen nicht. Meist erfolgt die Überprüfung des pH-Werts des Waschwassers wöchentlich per pH-Wert-Messstreifen. Die Abschlämmung erfolgt nach Bedarf und wird meist durch eine Zeitschaltuhr an der Abschlämpmpumpe gesteuert. Die Anforderungen an den Rieselbettreaktor sind im Vergleich zu den älteren einfachen Modellen ständig gestiegen. Während früher manche Hersteller zur Energieeinsparung die Umwälzpumpen für das Waschwasser zum Teil noch getaktet haben (z. B. 10 min an, 10 min aus), wird dies bei neueren Modellen nicht mehr durchgeführt. Hier hat sich gezeigt, dass nur durch einen Dauerbetrieb der Berieselung auch ein Abbau der Geruchsnote „Schwein“ im Rohgas besser erfolgen kann und somit niedrige Geruchskonzentrationen erreicht werden können. Da der Rieselbettreaktor selbst als Strömungshindernis die Abströmgeschwindigkeit senkt und die Abgasfahnenüberhöhung herabsetzt, kann sich bei einer nicht richtig ausgelegten bzw. funktionierenden Anlage unter Umständen eine schlechtere Immissionssituation ergeben, als bei einem gänzlichen Verzicht auf eine Abgasreinigungsanlage. Wichtig sind daher wieder eine ausreichende Dimensionierung in Bezug auf die Verweilzeit, ein Dauerbetrieb der Umwälzpumpe, eine regelmäßige Wartung, ein regelmäßiges Abschlämmen und vor allem ein funktionstüchtiger Tropfenabscheider [23]. Neuere Rieselbettwäscher haben ein elektronisches Überwachungs- und Steuerungssystem (pH-Wert, Leitfähigkeit, Abschlämmung, automatische Säure-/Lauge-Dosierung etc.) mit entsprechender Alarmfunktion.

Einige Betriebe rüsteten ihre alten Anlagen nach und bauten energieeffizientere Ventilatorsysteme (z. B. Drehzahlregelung über Frequenzumformer) ein. Ein Betreiber tauschte zum Beispiel seine beiden mit hoher Drehzahl laufenden Schnelllüfter (Leistung/Lüfter: 1.800 Watt), die anfällig gegenüber Nässe waren, gegen vier leistungsschwächere Lüfter (Leistung/Lüfter: 600 Watt) aus. In Bezug auf die Funktionalität der eingesetzten Pumpen führten einfache Einbau- beziehungsweise Wartungsfehler, wie z. B. der Verzicht von Grobstofffiltern im Pumpensumpf, zu Problemen. Ein Betreiber eines Rieselbettreaktors (1.200 Mastplätze) berichtete z. B. von der Notwendigkeit die zusätzlichen Abschlämpumpen für den Sommerbetrieb zum Schutz vor Korrosion auch im Winter in regelmäßigen Intervallen anzuschalten. Die Verstopfung der Sprühdüsen war für ältere Systeme ebenfalls ein häufig genanntes Problem, bei den neueren Sprühdüsentypen kam dies weniger oft vor.

Die meisten Betreiber von Rieselbettreaktoren stufen den Reparatur-, Wartungs- und zeitlichen Arbeitsaufwand zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Anlagen als vertretbar, beziehungsweise eher gering ein. Nur in wenigen Ausnahmefällen wurde der Eindruck erweckt, dass die Umwälzpumpe nicht dauerhaft betrieben wird oder die Strömungswiderstände durch den zeitweisen Ausbau von Filterkörperelementen vermindert wurden. Zu den Reparaturarbeiten zählt z. B. der routinemäßige Aus-

tausch der Abschlämpmpumpe in einem Rhythmus von ungefähr zwei Jahren wegen Korrosion. Zu den Wartungsarbeiten an den Füllkörpern (Abb. 14) gibt es unterschiedliche Angaben. Einige Betreiber säubern die Füllkörper einmal jährlich mithilfe eines Hochdruckreinigers. Eine andere Variante der Reinigung besteht im Herausnehmen der Füllkörper und dem anschließenden Trocknenlassen, um als ersten Reinigungsschritt an den zugesetzten Füllkörpern den Belag abzuklopfen. Als zweiter Schritt erfolgt dann eine Nassreinigung per Hochdruckreiniger. Auf der anderen Seite gibt es auch Betreiber, die berichteten, dass trotz mehrjährigen Betriebes noch keine Notwendigkeit zum Reinigen der Füllkörper bestand. Die Reinigungsintervalle hängen von der Auslegung, der Abschlämmrate und der Höhe der Emissionsbelastung ab. In der Regel wird erst bei deutlichem Druckverlust zwischen Roh- und Reingasseite eine Reinigung an den Füllkörpern vorgenommen. Der Aufbau und die Struktur der Füllkörper sind für die Funktionstüchtigkeit und Wartung der Anlage von großer Bedeutung und werden fortlaufend weiterentwickelt.

Bei manchen Betrieben entfällt der Kostenfaktor Frischwasser, da auf dem Betrieb eigenes Brunnenwasser vorhanden ist und nach WHG [25] für Bestandsanlagen auch genutzt werden darf. Eine Dokumentation des Frischwasserverbrauches findet nur in wenigen Betrieben über das Ablesen des Zählerstandes der Wasseruhr statt.

Zu den in Bayern eingesetzten Rieselbettreaktoren liegen teilweise Abnahmemessungen vor, die die Einhaltung der geforderten Anforderungen in Bezug auf Geruchsstoffe bestätigen. In älteren Bescheiden waren das noch Wirkungsgrade von circa 70 % für Geruch. In neueren Bescheiden werden bereits Anforderungen von maximal 300 GE/m³ gefordert, die aber in Abnahmemessungen bisher nur schwer einzuhalten sind. Es liegt dem LfU bisher noch keine Messung vor, die diesen Nachweis erbracht hat. In Ausnahmefällen kam es im Rahmen von Beschwerdefällen zur Optimierung der Anlage mit anschließender Messung. Da bei vielen besuchten Anlagen meist nur einzelne Stallgebäude mit einem Rieselbettreaktor ausgestattet waren, war deren Wirkung vor Ort nur schwer einschätzbar. Benachbarte Ställe ohne Abgasreinigung sorgten oft für starke Platzgerüche. Bei keiner der besuchten Anlagen lagen aktuelle Geruchsbeschwerden zu den Anlagen vor.

Auch der Einbau von zertifizierten Anlagen schließt Probleme nicht automatisch aus. So wurden bei der Abnahme beziehungsweise den regelmäßigen Kontrollen (10 AGR; sog. Check-up) und Funktionsprüfungen (51 AGR) zertifizierter Anlagen von den Prüfern im Zeitraum von knapp 3 Monaten im Frühjahr 2015 lediglich an 21 % der Anlagen keine Mängel festgestellt [26]. Bei 53 % mussten Nachkontrollen erfolgen. Dabei waren bei 10 % Rohgasgeruch im Reingas wahrnehmbar. Bei den meisten (22 %) fehlte aber ein vollständiges elektronisches Betriebstagebuch, das die Funktionen der Anlage aufzeichnet; pH-Wert (37 %) und Leitfähigkeitswerte (11 %) führten ebenfalls häufig zu einer nicht zufriedenstellenden Abscheideleistung. Technische Mängel oder zu lange Standzeiten des Füllkörpermateriale selbst führten dagegen nur in 1 – 4 % der Fälle zu einer Beanstandung.

3.3.4 2-stufige AGR-Verfahren ohne Chemowäscher

Bei den zweistufigen Reinigungssystemen konnte in Bayern nur eine Anlage ermittelt werden. Die Anlage reinigt die gesamte Abluft aus einem Mastschweinebestand knapp unter der genehmigungsbedürftigen Anzahl von 1.500 Tierplätzen und wurde im Jahre 2003 errichtet. In der 1. Reinigungsstufe wird die Abluft über zwei mit Wasser befeuchtete Filterwände gereinigt (Abb. 15). Danach wird in der 2. Stufe die Abluft zur Geruchsstoffreduzierung in den mit Wurzelholz beladenen Biofilter weitergeleitet.

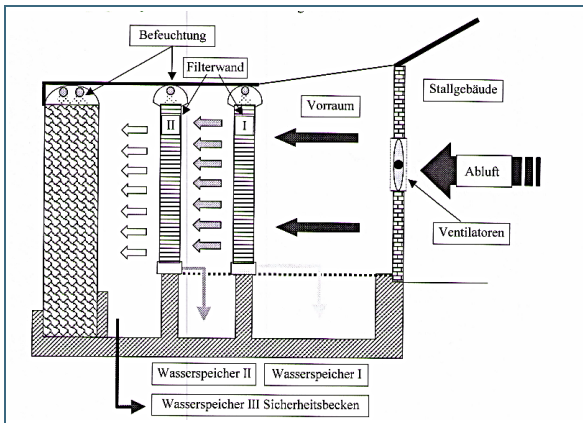


Abb. 15: Funktionsprinzip einer zweistufigen AGR (Wasserstufen I und II mit nachgeschalteter Biofilterwand)



Abb. 16: Zweistufige AGR mit Biofilter und vorgeschalteter Wasserfilterwänden

Da der Biofilter anfänglich zu klein dimensioniert war, kam es während der ersten zwei Betriebsjahre zu einer vermehrten Algenbildung auf der Biofilterwand und zur Einschränkung der Funktionstüchtigkeit. Das Biofiltervolumen wurde daraufhin 2005 verdoppelt und von stehend auf liegend umgebaut (Abb. 16).

Ein kompletter Austausch des Biofiltermaterials (gerissenes Wurzelholz) findet circa alle zwei Jahre statt. Durch den Verzicht auf die Chemostufe ist mit einer Verschleppung von Ammoniak in den Biofilter zu rechnen, was sich negativ auf die Standzeit auswirkt. Zum Wechsel des Biofiltermaterials (z. B. gerissenes Wurzelholz) werden im Schnitt ein Arbeitszeitbedarf von 2 Tagen und 2 Arbeitskräften angesetzt. Der Betreiber plant den Biofilter zukünftig mit einem so genannten „Windschutznetz“ abzudecken, um einer direkten Sonneneinstrahlung entgegenzuwirken (Austrocknung).

Ein Messprotokoll aus dem Jahr 2005 liegt dem LfU vor, die Ergebnisse liegen unterhalb von 300 GE/m³ für Geruch; Ammoniak konnte nur noch in Spuren ermittelt werden. Aktuelle Beschwerden liegen keine vor, auch bei der Besichtigung vor Ort konnte nur vereinzelt Rohgasgeruch direkt über dem Filter festgestellt werden (kleine Durchbruchstellen). In der unmittelbaren Umgebung war jedoch kein Schweinegeruch wahrnehmbar.

3.3.5 3-stufige AGR-Verfahren

Dem Landesamt sind in Bayern derzeit drei mehrstufige Anlagen bekannt, wovon zwei im Jahr 2009, eine weitere im Jahr 2011 errichtet wurden. Bei diesen Anlagen handelt es sich um ein Verfahren mit mehreren Reinigungsstufen (Waschstufe, Chemostufe und Biofilter). Die in Reihe geschalteten Filterwände befinden sich an der Giebelseite der Stallgebäude (Abb. 17, Abb. 18 und Abb. 19). Zwischen den einzelnen fest montierten Füllkörperwänden befindet sich jeweils ein Gangabteil zur Wartung und Reinigung. Diese Anlagenart findet in Bayern nur in der Intensivtierhaltung Anwendung, das heißt es werden je nach Anlage die Abgasmengen von circa 1.200 bis 2.200 Tierplätzen über dieses Reinigungssystem geführt.



Abb. 17: Druckkammer mit Zuluft-ventilatoren und erster Filterwand (re) mit Wasser



Abb. 18: Zweite Filterwand mit Säurestufe (II) sowie Biofilterwand innen (re)



Abb. 19: Dritte Stufe Biofilter in Außenansicht an der Seitenwand des Stalles

Bei den dreistufigen Wäschern erfolgt die pH-Messung in der Chemostufe (2. Filterwand) anhand einer elektronischen pH-Wert Sonde automatisch (Abb. 20), ebenso die Säuredosierung und Abschlammung. Der Wartungsaufwand wird insbesondere bei der Reinigung der Füllkörper als hoch und äußerst unangenehm empfunden. So werden die feststehenden Filterwände mit Hilfe von Hochdruckreinigern gesäubert. Dabei kommt es in den engen Gängen zwischen den Filterwänden zu einer hohen Belastung mit Aerosolen für den Arbeiter. Bei kontinuierlichen Mastverläufen muss dies zudem bei laufendem Betrieb erfolgen. Ein Betreiber hatte zwei separate dreistufige Anlagen, die er getrennt durchströmen konnte (Abb. 21). Im Falle einer Wartung oder Störung eines Anlagenteils kann der Abgasstrom umgelenkt werden und muss nicht ungefiltert ins Freie.



Abb. 20: pH-Wert Sonde mit automatischer Dosiereinrichtung



Abb. 21: Doppelstöckige Abgasreinigungsanlage

Zwei Betreiber einer mehrstufigen Abluftreinigungsanlage (Zertifizierung nach Cloppenburger Leitfaden) berichteten über Probleme bei der ersten Filterwand (Staubvorabscheidung mit Wasser) während der Sommermonate. In einem Fall wurden die Füllkörper der 1. Filterwand herausgenommen, nachdem sie durch übermäßiges Algenwachstum (hohe Stickstofffrachten mit feuchtwarmen Außentemperaturen fördern Algenwachstum) komplett zu schwer geworden und in sich zusammengebrochen waren. Der Hersteller bemühte sich um eine Lösung des Problems. Insgesamt wurden in einem

Fall die Füllkörper in den letzten sechs Jahren bereits dreimal ausgetauscht. Beim 2. Satz Füllkörper wurde auf ein anderes Modell von Füllkörpern zurückgegriffen. Diese Wabenstruktur brachte jedoch auch keine nachhaltige Lösung des Problems. Inzwischen ist eine Verbesserung durch die meist wöchentliche Zwischenreinigung der Filterwände erreicht worden.

Der Wartungsaufwand wird von den Betreibern als hoch und die zusätzlichen Energie- und Säurekosten als wirtschaftlich sehr belastend empfunden. Zudem kommt es zu regelmäßigen Störungen, die durch Fremdfirmen behoben werden müssen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnten zwei repräsentative mehrstufige Anlagen besichtigt werden, typischer Schweinegeruch wurde durch das LfU Personal an der Außenwand der Biofilter nicht mehr wahrgenommen. Abnahmemessungen liegen dem LfU keine vor. Da es sich um zertifizierte Systeme handelt, wurde bei der Genehmigung auch keine Abnahmemessung gefordert.

3.4 Einschätzung der Kosten

Die Kosten für Abgasreinigungsanlagen teilen sich in den Investitionsbedarf für die Anlagenkosten und das Bauwerk sowie die laufenden Betriebskosten (Strom, Wasser, Arbeitszeit, eventuell Säurebeziehungsweise Laugeverbrauch, Messungen und Wartungen, Reparaturen, etc.) auf. Bei den Betriebskosten ist dabei der zusätzliche Stromverbrauch durch den Druckwiderstand der Anlage der Hauptkostenfaktor. Diese Kosten sind jedoch den meisten Betreibern nicht bekannt, da sich ihr Anteil nur schwer aus dem Stromverbrauch für die gesamte Lüftungs- bzw. Tierhaltungsanlage ermitteln lässt.

3.4.1 Betreiberangaben

Die **Investitionskosten** für **ältere Biofilter** waren relativ gering, da die Errichtung des Bauwerkes meist in Eigenleistung erfolgte. Sie wurden von den Betreibern mit circa 15.000 € abgeschätzt. Zu den Verbrauchskosten und Arbeitskosten war von den meisten Betreibern keine Aussage möglich, sie wurden aber als nicht „belastend“ eingestuft.

Die Kosten für **neuere Biofilteranlagen** (z. B. Flächenfilter für 4.080 Ferkel) beliefen sich dagegen bei der Investition auf circa 100.000 € (z. B. circa 20.000 € Bodenplatte, circa 22.500 € Spaltenstützen, circa 31.000 € Einfassung, circa 3.200 € Befeuchtungsanlage, circa 20.000 € Wurzelholzfüllung). Umgerechnet auf einen Ferkelplatz entspricht dies Investitionskosten von circa 22,80 €. Dabei wurde das Bauwerk meist in Eigenleistung errichtet. Das Filtermaterial soll nach fünf bis acht Jahren ausgewechselt werden. Auch hier war der Betreiber mit dem Filtersystem sehr zufrieden und empfindet die Kosten als tragbar, zumal Frischwasser aus dem eigenen Brunnenwasser vorhanden ist und verwendet werden darf.

Angaben zu den Investitionskosten eines **Rieselbettreaktors** unterscheiden sich deutlich je nach Anlagenauslegung und Baujahr. Zum Teil liegen ältere Angaben zum reinen Anschaffungspreis der Anlage mit circa 10.000 € bis 15.000 € vor (600 Mastplätze), wobei die komplette Lüftung des Stalles mit Einbau des Rieselbettreaktors circa 60.000 € kostete. Bei dieser Summe ist die Eigenleistung beim Einbau/Errichtung ebenfalls nicht miteingerechnet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich im Vergleich zu den zertifizierten Anlagen um sehr einfache Systeme ohne automatische Steuerungen (Abschlammung, pH-Werte) und ohne elektronische Betriebsaufzeichnungen handelt.

Investitionskosten einer 2003 errichteten **zweistufigen Abgasreinigungsanlage** wurden pro Tierplatz und Jahr (1.000 Mastplätze) mit rund 27,80 €/Tierplatz angegeben. Hier wurden bereits Folgekosten für den Filteraustausch und Umbau erforderlich. Im Vergleich zu den Anschaffungskosten heutiger zertifizierter Anlagen waren die Investitionskosten damals circa 50 % geringer.

Die Investitionskosten pro Tierplatz für eine **dreistufige Anlage** (2.000 Mastplätze) wurden mit circa 54,40 € angegeben. Damit liegen sie in den typischen Spannen, die in der Literatur [27] von 48 € - 65 € auch für DLG zertifizierte Systeme angegeben werden.

Der größte Anteil an den **Betriebskosten** einer Abgasreinigungsanlage entfällt auf die Stromkosten, da aufgrund des erhöhten Druckwiderstandes die Ventilatoren wesentlich mehr Leistung haben müssen und mehr Energie verbrauchen. In allen untersuchten Betrieben gab es kaum – bzw. wenn vorhanden keine separaten – Stromzähler, sodass hier nur grobe Abschätzungen vorlagen. Dabei gingen die Meinungen der unterschiedlichen Betreiber stark auseinander. Betreiber mit einer zusätzlichen Einnahme durch eine Fotovoltaik-Anlage auf dem Dach akzeptieren die erhöhten Stromkosten durch die AGR eher, für andere stellen sich durch diese zusätzlichen Betriebskosten durch die AGR Fragen zur Wirtschaftlichkeit. Dabei werden insbesondere bei Biofiltersystemen mit einem großen Flächen/ Volumenverhältnis die zusätzlichen Stromkosten als gering eingestuft. Bei mehrstufigen Anlagen wurden sie dagegen durchwegs als deutlicher Kostenfaktor gesehen. Bei Rieselbettreaktoren wurden neben den Kosten für den Ventilatorenbetrieb auch die nicht unerheblichen Stromkosten für die Abschläm- und Umwälzpumpe und den zusätzlichen Lagerraum für das Waschwasser angegeben. Vor allem fanden alle Betreiber von Rieselbettreaktoren und mehrstufigen Anlagen den Arbeitsaufwand für die Reinigung der Füllkörper als sehr belastend. Hier scheint noch erheblicher Verbesserungsbedarf zu bestehen.

Eine Erstellung einer Kosten/Nutzenanalyse mit Angabe spezifischer Kosten, z. B. Gesamtkosten der AGR pro Tierplatz, war aufgrund der fehlenden Datenaufzeichnungsmöglichkeiten bei den meisten Betreibern im Rahmen des Projektes nicht möglich.

Eine beispielhafte Zusammenstellung der von den Betreibern angegebenen Kosten der Abgasreinigung zu den verschiedenen Verfahrenstypen befindet sich im Anhang in Tab. 18.

3.4.2 Literaturangaben für Kosten zertifizierter Abgasreinigungsanlagen

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur Kostenkalkulation. Die KTBL-Schrift 451 [17] aus dem Jahr 2006 fasst die Beschreibung der Anlagen und der Kosten gut zusammen. Je nach Anlagengröße und Abgasreinigungssystem ergeben sich demnach bei den Betriebskosten Kostenspannen pro Tierplatz von 7,70 €/a (1.700 – 1.850 TP, Rieselbettreaktor) bis 14,10 €/a (460 – 700 TP, 3-stufig). Für Biofiltersysteme wurden keine Kostenkalkulationen durchgeführt.

Nach [17] setzen sich die Betriebskosten für Anlagen mit einer Säurestufe wie in Abb. 22 und die Betriebskosten für Anlagen ohne eine Säurestufe wie in Abb. 23 dargestellt zusammen.

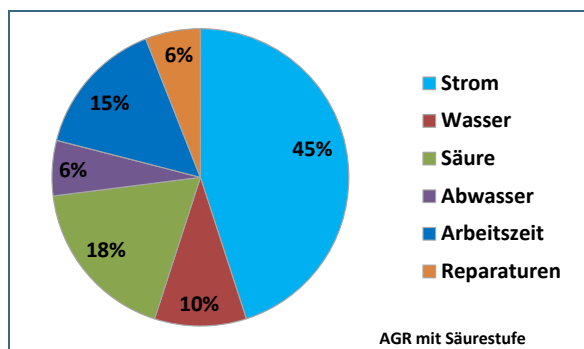


Abb. 22: Zusammensetzung der Betriebskosten für Abgasreinigungsanlagen mit Säurestufe

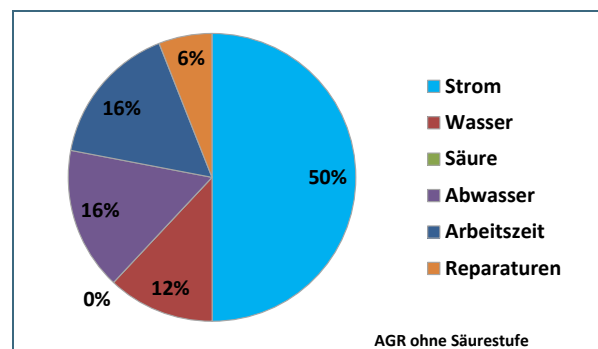


Abb. 23: Zusammensetzung der Betriebskosten für Abgasreinigungsanlagen ohne Säurestufe

Derzeit wird die KTBL-Schrift allerdings im Rahmen eines Projekts (KTBL-Arbeitsprogramm „Kalkulationsdaten“ 2015, Projektende März 2016) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und der Ministerien für Landwirtschaft der Bundesländer überarbeitet [28], da wichtige Kostenpunkte, wie z. B. Eigenleistungen, bisher nicht mit einkalkuliert waren. Es ist zu erwarten, dass die Kosten noch deutlich höher ausfallen werden.

Weitere Daten, die sich auf die Zusatzkosten pro Tierplatz und Jahr beziehen, findet man in einer Berechnung, die für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im August 2012 durchgeführt wurde [29].

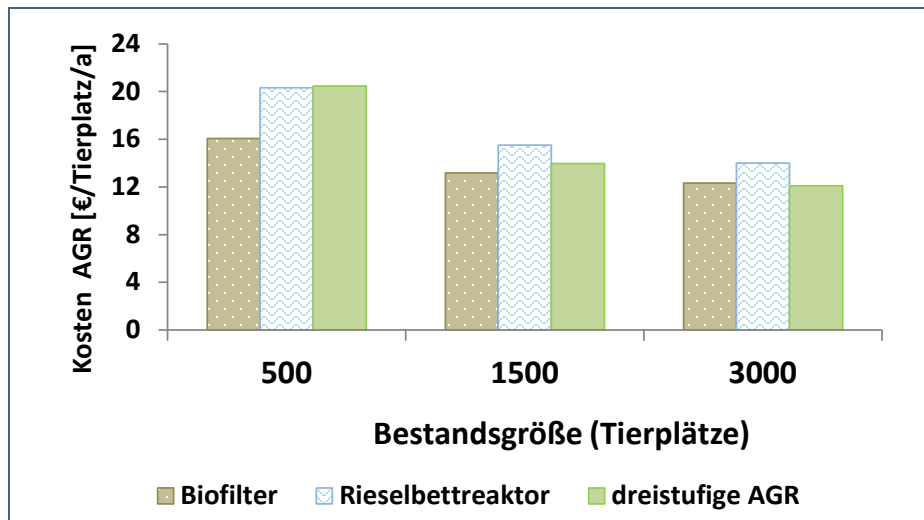


Abb. 24:
Gesamtkosten zertifizierter Abgasreinigungsanlagen [29]

Gemäß einer Studie aus Sachsen [30] sind aber auch noch erhebliche Einsparpotenziale bisher nicht ausgeschöpft. Dies sind unter anderem

- der Einsatz von energieeffizienten Pumpen und Ventilatoren
- energieeffiziente Lüftungssteuerung unter Ausnutzung eines optimalen Wirkungsgrades der Lüfter (Gruppenschaltung mit Drehzahlregelung einzelner Lüfter)
- Anforderung der Filtergeometrie (Verhältnis Fläche zur Tiefe)
- Reduzierung des Druckverlustes im Sammelkanal (Vermeidung von Umlenkung)
- Verringerung der Abluftmenge durch z. B. Zuluftkühlung (Kühldecken, Erdwärmetauscher, Verdunstungskühlung durch Versprühen von Kühlwasser, etc.) und bessere Wärmedämmung
- Verringerung des anfallenden Waschwassers durch Anpassung an den aktuellen Abgasstrom und automatische pH-Wert Regelung
- Reinigung von Teilströmen (vor allem bei Ammoniak und Staub führt das zur deutlichen Kostenreduzierung, da die Anlage nicht auf das Sommerabgasvolumen ausgelegt werden muss)

Durch eine Verringerung der Stalltemperatur um 4 K ergäbe sich nach obiger Studie eine Reduzierung des Luftdurchsatzes um ein Drittel. Dies führt neben einer geringeren Auslegung der Anlage vor allem zu einer erheblichen Stromkosteneinsparung.

3.4.3 Herstellerangaben zu Investitionskosten und Wartungsverträgen (beispielhaft für zertifizierte Rieselbettreaktoren)

Laut einer telefonischen Anfrage im März 2015 bei zwei Herstellern von Rieselbettreaktoren belaufen sich die Investitionskosten für eine Anlage mit einer Abluftkapazität von 50.000 m³/h überschlagsmäßig wie folgt (Tab. 2).

Tab. 2: Investitionskosten Rieselbettreaktor laut Herstellerangaben (beispielhaft)

Investitionskosten Rieselbettreaktor		
Herstellerangaben	Hersteller A	Hersteller B
Anlagenkapazität 50.000 m ³ /h	19.000 € - 24.000 € Kosten nur für den Innenausbau; im Kontakt mit Betonfirmen wird die Hülle dazu angefertigt. [95 % dieser Rieselbettreaktoren wer- den übers Dach eingebaut (Platzer- sparnis)]	25.000 € integriert beim Einbau über Dach +20.000 € zusätzlich für Einbau in einen Container (Kunststoffbauwei- se) in Summe circa 45.000 €
Wartungsvertrag	Check-up: 600 - 700 €/Jahr	500 - 600 €/Jahr
Zertifizierung	vorhanden	vorhanden

Im Vergleich hierzu müsste man für eine Abnahmemessung 4.000 € bis 6.000 € rechnen [31]. Damit stellt der Wartungsvertrag eine kostengünstige Alternative zu den Abnahmemessungen dar.

4 Emissionsmessungen im Roh- und Reingas an Abgasreinigungsanlagen in der Schweinehaltung in Bayern

Um die Abscheideleistung von Abgasreinigungsanlagen (AGR) im praktischen Einsatz zu ermitteln, wurden im vorliegenden Projekt an zwei ausgewählten Abgasreinigungsanlagen (Rieselbettreaktor und Biofilter) Roh- und Reingasmessungen der emissionsrelevanten Stoffe Ammoniak, Staub, Klimagase, Bioaerosole und Geruch zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt. Dabei wurde versucht sowohl im Sommer mit hohen Volumenströmen und geringen Abgaskonzentrationen, als auch im Winter mit geringen Volumenströmen und hohen Abgaskonzentrationen, sowie bei mittleren Abluftmengen im Frühjahr beziehungsweise Herbst zu messen. Zusätzlich zu den Emissionsmessungen wurde im Luv der Anlage je Messtag auch ein Hintergrundwert für Bioaerosole ermittelt. Des Weiteren wurde das zugehörige Waschwasser auf pH-Wert, Leitfähigkeit, Stickstoffgehalte sowie Bioaerosolgehalte untersucht. Teilweise wurden auch Untersuchungen zu Stickstoffgehalten am Biofiltermaterial durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Analytik und Auswertung Bioaerosole). Des Weiteren waren am Messprogramm als Unterauftragnehmer die bifa Umweltinstitut GmbH (Sterilisierung/Befüllen Emissionsimpinger, Extraktion von Filterproben, Analytik/Auswertung Endotoxine) und die Modern Testing Services (Germany) GmbH (Ermittlung der Geruchstoffkonzentrationen) beteiligt.

4.1 Mess-, Probenahme- und Analyseverfahren

In Tab. 19 im Anhang sind die für die Abgasuntersuchungen angewandten Mess- und Probenahmeverfahren sowie Analysemethoden mit Angabe der einschlägigen DIN EN-Normen und VDI-Richtlinien aufgeführt. Die Emissionswerte sind, wenn nicht anders angegeben, auf trockenes Abgas im Normzustand (273,15 K, 1.013 hPa) bezogen. Die jeweiligen Messunsicherheiten werden im Anhang in Tab. 20 soweit möglich dargestellt.

Die Ermittlung der **Geruchsstoffkonzentrationen** sowie die Bewertung der Abgasreinigung im Hinblick auf die Geruchsminderung erfolgte an fünf Messtagen über das Jahr verteilt durch jeweils vier zeitgleiche Messungen (Einzelmessungen nach DIN EN 13725 [32] im Roh- und Reingas).

Bei geschlossenen Abgaskanälen erfolgte die Probenahme mittels Unterdruckprobenehmer nach dem Lungenprinzip oder durch dynamische Vorverdünnung mit Gasstrahlpumpe jeweils als Teilstrom aus dem Abgaskanal. Bei Flächenquellen erfolgte die Beprobung von Teilflächen mittels Probenahmehaube (Abb. 28) nach VDI 3880 [33]. Dabei erfolgte eine Rastermessung, die zu einer Mischprobe vereinigt wurde. Für den Geruch wurden zur Beurteilung der Messunsicherheit oberer und unterer Vertrauensbereich, jeweils bezogen auf die sensorische Gesamtqualität des Probandenkollektivs, herangezogen. Die sensorische Gesamtqualität wird dabei bei jeder Messung neu aus den letzten 10 Messungen des Standardgeruchstoffes gebildet.

Für die rohgas- und reingasseitige Emissions-Untersuchung von **Bioaerosolen** im Abgas wurden jeweils Emissions-Impinger [34] eingesetzt (Abb. 27). Dabei fanden auch Doppelbestimmungen soweit möglich sowohl im Roh- als auch im Reingas statt. Die Ergebnisse sind im Anhang in Abb. 105 und Abb. 106 dargestellt. Die Differenzen der Doppelbestimmungen wurden zum zugehörigen Mittelwert ins Verhältnis gesetzt. Die mittlere relative Abweichung lag bei 60 % (Spanne: 14 % – 100 %) (Abb. 25). Gärtner et al. [35] hat im Rahmen von Doppelbestimmungen im Masthähnchenbereich für die relative Messunsicherheit bei Bakterien Werte von 20 – 25 % festgestellt.

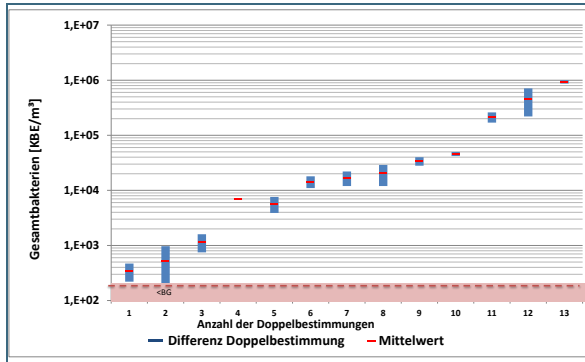


Abb. 25: Differenzen der Doppelbestimmung im Roh- und Reingas der verschiedenen AGR

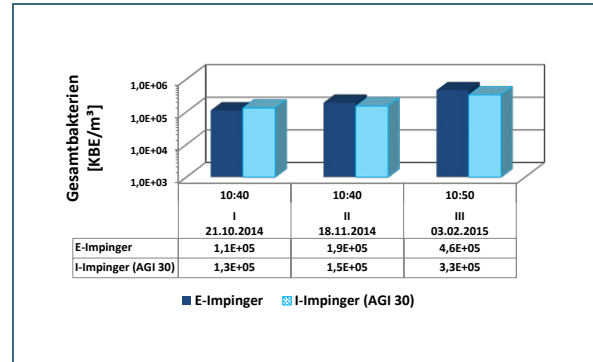


Abb. 26: Doppelbestimmung mit Emissions- und Immissionsimpinger im Rohgas des Biofilters

Zudem wurden bei drei Messungen im Rohgas des Biofilters Parallelmessungen mit einem Emissions-Impinger und einem Immissions-Impinger (AGI 30) [36] durchgeführt (Abb. 26 beziehungsweise Abb. 107 im Anhang). Hintergrund war, die Emissionswerte aus der Vergangenheit, die alle mit einem Immissions-Impinger bestimmt wurden, besser einzuordnen. Dabei zeigte sich ein uneinheitliches Bild. Während bei der ersten Messung durch den Immissionsimpinger 16 % mehr Bakterien abgeschieden wurden, lagen bei den beiden folgenden Messungen die Werte um 24 beziehungsweise 34 % unterhalb der Werte des Emissionsimpingers. Hier hatte vermutlich die Forderung der isokinetischen Probenahme aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten im Rohgaskanal (circa 0,5 – 3,5 m/s) nicht den dominierenden Einfluss, sodass kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Systemen erkennbar war. Vielmehr lagen die Unterschiede in Bereichen, die auch bei den Doppelbestimmungen mit zwei Emissionsimpingern auftraten.

Zusätzlich zu den Emissionsmessungen wurde im Luv der Anlage je Messtag eine Hintergrundprobe mit Hilfe von AGI 30-Impingern [36] erfasst.

Die Messungen erfolgten alle VDI-konform [34]. Die Probenahmesonden der Impinger von Emissionsmessungen wurden im LfU-Messwagen vor Ort mit 2 x 10 ml, das Impinger-Einlassrohr der Impingeraufsätze mit je 5 ml physiologischer Kochsalzlösung gespült. Die Spülflüssigkeit wurde mit der Sorptionslösung vereint. Der Probentransport und die weitere Lagerung bis zur Aufarbeitung im Labor erfolgten gekühlt bei 5 (± 3) C im Dunkeln. Die Probenaufarbeitung im Labor erfolgte innerhalb von 24 Stunden ab Probenahme.



Abb. 27: Bioaerosol-Probenahme am Kamin 1 (Reingasmessplatz am Rieselbettreaktor)



Abb. 28: Doppelbestimmung der Bioaerosolgehalte (mit Messhaube am Biofilter)

Mittels kulturabhängiger Nachweisverfahren wurden die **Bioaerosolproben** zeitnah mit Hilfe eines indirekten Verfahrens über serielle Verdünnungsstufen (Abb. 29) gemäß VDI 4253 Blatt 3 aufgearbeitet [37]. Die eingesetzten Nährmedien zur direkten Bestimmung der verschiedenen Bakterien sind im Anhang Tab. 21 aufgelistet.

Die **Ausdifferenzierung** der Mikroorganismen erfolgt über standardisierte mikrobiologische Differenzialdiagnostik. Hierbei wurden präsumtive differenzialdiagnostische Ergebnisse wo nötig und in routinemäßigen Stichproben durch biochemische Differenzierung mittels API-Analysen (Fa. Biomérieux), mittels BD Phoenix 100 *Automated Microbiology System* (Fa. Becton Dickinson) oder mittels MALDI-TOF Massenspektrometrie (Microflex LT, Fa. Bruker Daltonik) verifiziert.

Die **Genotypisierung** von *Staphylococcus aureus* Isolaten erfolgte einmal durch eine hausinterne Methode der LGL der DNA-Extraktion (mit Extraktions- und PCR-Positivkontrollen durch hausinternen Kontrollstamm) als auch durch spa-Typisierung in Anlehnung an [38].

Zur kulturellen Qualitätssicherung kamen verschiedene Kontrollstämme zum Einsatz.

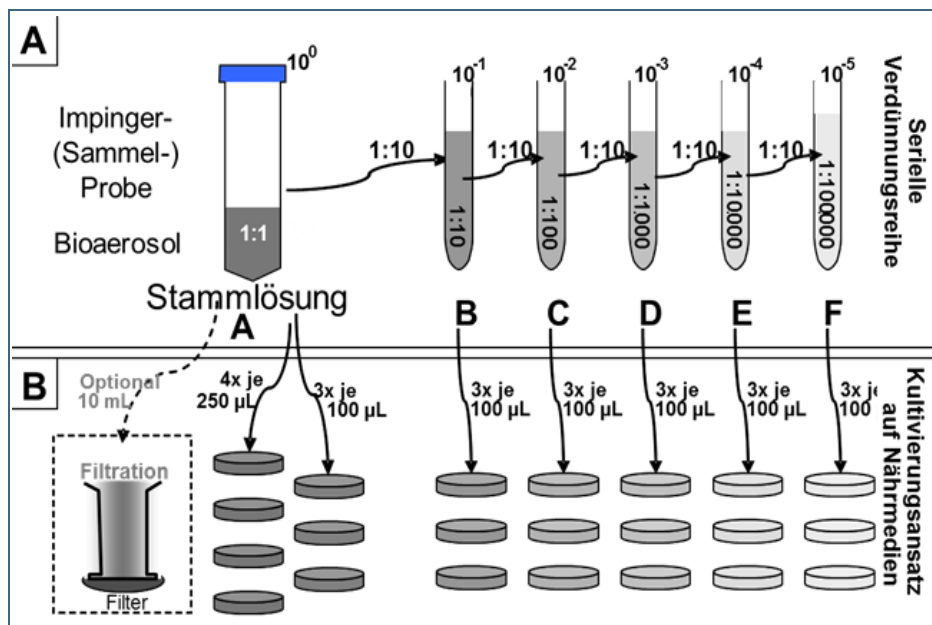


Abb. 29: Aufarbeitungsschema für Bioaerosolproben. (A) Erstellung serieller Verdünnungsstufen und (B) nachfolgender kultureller Ansatz über Filtration oder direktes Ausplattieren auf Nähragarböden in 3fach Parallelen (Quelle: LGL)

Die kulturelle **Nachweisgrenze** ist generell durch Wachstum einer Kolonie bildenden Einheit (KBE) definiert.

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

Die **Staubproben** wurden sowohl im Stallinnern von Ablagerungen auf leicht zugänglichen Oberflächen genommen als auch von der Innenwandung des Rohgaskanals bzw. Reingaskamins in sterile Probenahmegefäße geschabt. Die kulturelle Aufarbeitung der Staubproben erfolgte durch das LGL analog Tab. 21 im Anhang. Selektive Kulturansätze folgten darüber hinaus für Staphylokokken/MRSA durch Anreicherungen in Müller-Hinton-Bouillon und Ausstrich auf chromogenem MRSA-Selektivnähragar sowie für Enterobacteriaceae mit Aktivierung in CASO-Bouillon für 2,5 (± 0,5) h in CASO-Bouillon bei 23 (± 2) °C, anschließender Anreicherung in Mossel-Bouillon 24 h bei 36 (± 2) °C und Ausstrich bei positiver Anreicherung auf MacConkey Agar, ohne und mit ESBL-Selektivantibiotikum.

Die kulturelle Untersuchung von **Wasserproben** (Wasch- und Sumpfwasser) erfolgte standardisiert im Wasserlabor des LGL (Anhang, Tab. 23). Dabei wurde auch auf Legionellen untersucht.

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-RNA und Chlamydien-DNA mit Hilfe einer PCR-Analyse. Die genauen Vorgehensweisen der Probengewinnung und -vorbereitung sowie zur Nucleinsäuren-Extraktion und PCR-Analytik können auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

Die Erfassung luftgetragener **Endotoxine** im Roh- und Reingas erfolgte durch den quantitativen Nachweis in Impingerflüssigkeiten und Feinstaubfiltern. Die Probenahme zur Bestimmung der Endotoxine im Feinstaub (PM_{2,5}, PM₁₀) 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. Eine genaue Beschreibung der Vorgehensweise ist in Teil 1 des Endberichtes „Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen“ [1] im Anlagenteil 2 [39] dargestellt.

4.2 Zuchtsauenanlage mit Rieselbettreaktor

Die Abgasreinigungsanlage wurde im Jahr 1998 zur Minderung der Geruchsstoffe errichtet und seitdem nicht mehr wesentlich verändert. Im Zuge des Forschungsvorhabens sollte untersucht werden, wie hoch der Reinigungseffekt für verschiedene Schadstoffe im Altzustand ist. Zudem sollte durch Optimierungsmaßnahmen untersucht werden, inwieweit die Anlage noch verbessert werden kann.

4.2.1 Beschreibung der Zuchtsauenanlage

Die Zuchtsauenanlage mit Abgasreinigungsanlage liegt direkt in Ortsmitte.

Tierbestand. Im Stall werden in acht Abteilen insgesamt bis zu 100 Zuchtsauen einschließlich deren Ferkel (circa 250 mit weniger als 30 Kilogramm Lebendgewicht) sowie ein Eber gehalten.

Die Anlage besteht aus Deckstall (25 Sauenplätze /1 Eber), Wartestall (LE), zwei Abferkelställen (A1 und A2) mit 34 Abferkelbuchten sowie 4 Ferkelställen (F1 bis F4).

Die Ferkelerzeugung erfolgt im Umlaufverfahren in mehreren Abschnitten. Nachdem die Trächtigkeit der Sauen im Deckstall durch einen Scanner bestätigt wurde, werden die niedertragenden Sauen in den Wartestall umgestallt. Als nächster Abschnitt folgt um den 110. Trächtigkeitstag dann die Einstalung der mittlerweile hochtragenden Sauen in den vorher gereinigten und desinfizierten Abferkelbereich (Abferkelställe A1 und A2) zur Geburt der Ferkel und der daran anschließenden vierwöchigen Säugezeit. Nach Abschluss der Säugezeit wird die jeweilige Sauengruppe daraufhin wieder zum Belegen in den Deckstall umgestallt. Die Fütterung ist jeweils an das Tieralter und deren Gewichte angepasst (Drei-Phasenfütterung). In der Regel erhalten die Sauen vom 1. bis 85. Trächtigkeitstag Futter für niedertragende Sauen, danach vom 85. bis 115. Trächtigkeitstag Futter für hochtragende Sauen. Nach der Geburt erhält das Muttertier das Laktationsfutter. Als Futtermittel kommen hofeigenes Getreide, Sojaschrot und Mineralfutter zum Einsatz. Diese werden mit Wasser zu einem Brei angerührt und über Leitungen in die Futtertröge gepumpt (Futtermittellagerung und -versorgung im Dach des Stallgebäudes). Der unter den Vollspaltenböden anfallende Flüssigmist sammelt sich in Güllekanälen und gelangt durch Ziehen der Stöpsel (circa alle drei Wochen) von dort in die Güllegrube.

Die Ferkel werden mit einem Alter von vier Wochen abgesetzt und für weitere fünf bis sechs Aufzuchtwochen in den vier Ferkelställen gehalten. Mit einem Endgewicht zwischen 25 - 30 kg werden die Ferkel in der 10. Aufzuchtwoche ausgestallt und innerbetrieblich an einem außerhalb der Ortschaft gelegenen Standort weitergemästet.

Im Zuchtsauenstall findet keine Antibiotikagabe als Einstallprophylaxe statt, vielmehr werden neue Jungsaunen in einem benachbarten Quarantänestall untergebracht. Kranke Tiere werden nach Aussage des Betreibers immer einzeln behandelt, nie der ganze Bestand. Dies deckt sich auch mit der Tatsache, dass der Betreiber im Vergleich zu anderen Betrieben im unteren Bereich des Therapie-Index der durch die 16. Novelle des Arzneimittelgesetzes eingeführten Antibiotikadatenbank [40] rangiert.



Abb. 30: Abluftkamine des Rieselbettreaktors (Nordansicht Stallgebäude)



Abb. 31: Innenansicht des Wartestalles, in dem die Rohgasmessungen durchgeführt wurden (Verriegelung nur während der Messung)

Zur Minderung der Geruchsstoffemissionen wird die Abluft von sieben Stallabteilen über eine Abgasreinigungsanlage (AGR) geführt. Im Einzelnen sind dies ein Wartestall (Abb. 31, um die Rohgasmessungen durchführen zu können, wurden die Tiere während dieser Zeit in den Kastenständen zurückgehalten), zwei Abferkelställe mit insgesamt 34 Abferkelbuchten sowie vier Ferkelställe. Der Deckstall (25 Zuchtsauen und ein Eber) ist vom Anschluss an die AGR ausgenommen.

Lüftung. Die **Frischluftezufuhr** erfolgt auf zwei unterschiedlichen Wegen. Bei niedrigen Umgebungstemperaturen und geringem Lüftungsbedarf findet die Frischluftezufuhr ausschließlich über das an den Stalldecken installierte System perforierter Kanäle statt. In die Kanäle wird die Luft, die aus dem Dachraum über dem Wartestall entnommen wird, über einen Frischluftventilator eingespeist. Bei niedrigen Außentemperaturen wird die Frischluft über den Luft/Luft-Wärmetauscher im Kreuzstrom mit Abgaswärme aus dem Stall vorgewärmt. Dieser ist im Dachraum im Bypass zum Kamin 1 installiert und kann durch Umlegen von Klappen im Kamin 1 und 2 mit wärmerer Abluft aus dem Wäscher beaufschlagt werden.

Bei hohen Außentemperaturen können die Lamellen der Stallzugangstür über eine elektronische Steuerung zunehmend geöffnet werden. In Abhängigkeit von dem im Stallgebäude vorherrschenden Unterdruck, der über die Leistungsstufe der beiden Abgasventilatoren eingestellt werden kann, strömt bei offener Lamellenposition weniger oder mehr Frischluft aus dem vorgelagerten Hofbereich in das Stallgebäude ein.

Die **Abluft** aus dem Innenraum des Wartestalls für die Leersauen, der zwei Abferkelställe und der vier Ferkelställe gelangt über Spalten im Stallboden sowie mehrere über den jeweiligen Güllekellern liegende Öffnungen in den zentralen, unter Flur liegenden Abgassammelkanal (so genannte Unterflurabsaugung). Nur das Deckabteil mit stroheingestreuten Bereichen für 25 Zuchtsauen und den Eber ohne Spaltenboden und Güllekeller ist von der Unterflurabsaugung ausgenommen. Deren Abluft wird derzeit noch nicht über die Abgasreinigung geführt.

Die Stallabluft wird in dem zentral unter dem Mittelgang des Wartestalls befindlichen Abgassammelkanal vereint. Anfangs erfolgte dies noch durch zwei Ventilatoren im Sammelkanal vor dem Abgaswä-

scher. Im Rahmen der energetischen Optimierungsmaßnahmen erfolgte dann eine Umpositionierung der Ventilatoren in die Abluftkamine.

Der Lüftungscomputer der Lüftungsanlage steuert die Lüftung stufenlos über die in der Leistung variabel von 0 bis 100 % einstellbaren Zuluft- und Absaugventilatoren in Verbindung mit der Stellung der Türlamellen und der Absperrklappen in den Kaminen 1 und 2. Am Kamin 1 befindet sich ein Luft/Luft-Wärmetauscher zur Vorwärmung der Frischluft. Der Kamin 2, der über keine Bypassleitung verfügt, ist nur bei erhöhtem Lüftungsbedarf in den Sommermonaten in Betrieb.

Die Anlage gewährleistet eine stufenlose Regulierung der Lüftungsleistung von Null bis zur maximalen Lüftungsrate, bei der alle Ventilatoren mit 100 % Leistung in Betrieb sowie die Lamellen der Tür und die Absperrklappen in beiden Kaminen komplett geöffnet sind.

Der Abgasvolumenstrom und -weg kann zudem durch drehbare Absperrklappen, die über Stellmotoren angetrieben werden, verändert werden.

4.2.2 Beschreibung des Rieselbettreaktors

Vom zentralen Unterflurkanal wird die Abluft im 90° Winkel über den **Rieselbettreaktor** (Abb. 32) zur Minderung der Geruchsstoffemissionen geführt und je nach Höhe des benötigten Volumenstromes über einen oder beide Kamine (Abb. 33) in die Umgebung abgegeben.

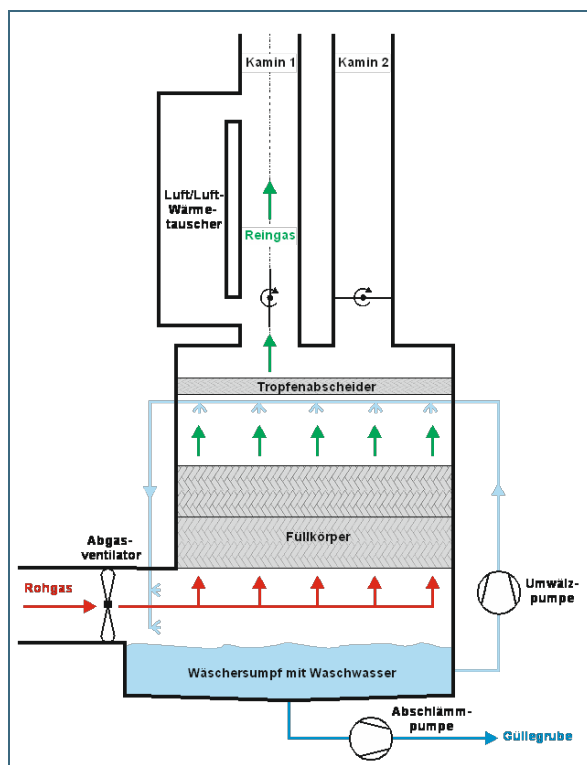


Abb. 32: Schematische Darstellung des Wäschers (Rieselbettreaktor) mit Abgasströmungswegen vor der Anlagenoptimierung



Abb. 33: Kamin 1 mit Abgasweg im Bypass über Luft/Luft-Wärmetauscher (gestrichelt) und Kamin 2 im Dachraum über dem Abgaswäscher

Das Abgas (Rohgas) tritt am Ende des Unterflurbereichs seitlich in den Raum zwischen Waschersumpf und Unterseite der Füllkörperstufe in den Wäscher ein und wird dort durch Versprühen von Waschwasser über Düsen hinsichtlich der Abgasfeuchte sowie einer eventuell Vorabscheidung von Grobstaub und wasserlöslicher Gaskomponenten vorkonditioniert (Abb. 34). Anschließend durchströmt das Abgas die Füllkörperstufe. Die Füllkörper weisen eine große Oberfläche (Waben) auf und sind mit einer festhaftenden Schicht von Mikroorganismen belegt (so genannter Biofilm, Abb. 35).



Abb. 34: Blick aus dem Unterflurkanal auf die Vorbedüsung im Wäscher



Abb. 35: Füllkörperelemente mit Biofilm (alter Zustand)

Im Bereich der Füllkörperstufe findet an den Phasengrenzflächen ein intensiver Kontakt zwischen Abgas und Waschwasser statt, bei dem die wasserlöslichen Gaskomponenten (Absorptiv, z. B. Geruchsstoffe) in das Waschwasser (Absorbens) übergehen. Der biologische Abbau der im Waschwasser enthaltenen Stoffe erfolgt mit den im Biofilm auf den Waben enthaltenen Mikroorganismen unter Verbrauch von gelöstem Sauerstoff (aerober Abbauprozess). Die Füllkörperstufe wird ganzflächig von oben permanent mit Waschwasser berieselt, das über Düsen versprüht wird. Durch das Feuchthalten und das laufende Besprühen der Füllkörper mit Waschwasser werden die im Biofilm lebenden Mikroorganismen am Leben und der Wäscher funktionstüchtig gehalten. Oberhalb der Sprühdüsen befindet sich ein Tropfenabscheider, der das Mitreißen von größeren Wassertröpfchen verhindert. Eine Umlaufpumpe hält das Waschwasser kontinuierlich im Umlauf über die Sprühdüsen und die Füllkörperstufe. Das Sumpfwasser wurde während der Messkampagnen zunächst wöchentlich, ab der zweiten Messkampagne zusätzlich automatisch in Abhängigkeit der Leitfähigkeit abgeschlämmt und durch Frischwasser ersetzt. Die Abschlammleistung der Pumpe betrug ca. 8.000 l/h. Die visuelle Prüfung der Waschwasserverteilung mit den Sprühdüsen über dem Festbett ergab bei allen Probenahmen, dass die Berieselung der Füllkörper gleichmäßig erfolgte und alle Düsen ein einheitliches Sprühbild zeigten.

Die Anlagendaten und der Wartungsbedarf sind im Vergleich zu beispielhaft ausgewählten zertifizierten Anlagen in Tab. 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Beispielhafte Gegenüberstellung von Anlagendaten, Messwerten und Wartungsaufwand des untersuchten Rieselbettreaktors und zwei DLG-zertifizierten Rieselbettreaktoren (Prüfbericht 6178, Prüfbericht 5879 [41]).

(Autor der Tabelle: Modern Testing Services (Germany) GmbH)

	Rieselbettreaktor (Ausgangszustand/ Zustand nach Optimierung mit 21.000 m³/h berechnet)	Rieselbettreaktor (Herstellerangaben für eine Neuinstallation)	Rieselbettreaktor BioCombie, Uniqfill Air BV, DLG-Prüfbericht 6178	Biologic Clean Air Kombiwäscher BCA 70/90, Devriecom b.v., DLG-Prüfbericht 5879
Anströmfläche [m ²]	5,8	5,9	31,7	37,6
Füllkörpervolumen [m ³]	6,9 / 8,6	8,9	48	45
maximale Filterflächenbelastung [m ³ /m ² *h]	3.620	4.300	3.504	2.250
maximale Filtervolumenbelastung [m ³ /m ³ *h]	3.040	2.800	2.336	1.870
Berieselungsmenge [m ³ /h]	15	15	30	32
pH-Wert Waschwasser	4,8 bis 7,4	6,8 bis 7,2	6,5 bis 6,9	6,5 bis 6,8
Lüftungsrate [m ³ /h]	3.700 bis 21.000	maximal circa 25.000	30.000 bis 87.000	25.000 bis 76.000
Strömungsgeschwindigkeit [m/s]	0,2 bis 1,2	0,2 bis 1,2 (Winter/Sommer)	0,26 bis 0,76	0,2 bis 0,6
Verweilzeit [s]	1,2 bis 6,7	1,2 bis 7,5 (Sommer/Winter)	1,97 bis 5,81	2,2 bis 6,6
Säureverbrauch [kg/d]	pH-Wert Regelung nur über Abschlammung	in der Regel keine Zugabe von Säure oder Base zur pH-Wert Regelung	15	kein Verbrauch festgestellt) ¹
Wartungsbedarf) ⁴) ⁴) ^{2/4}) ^{2/4}
wöchentliche Kontrollen) ³	30 min pro Woche	30 min pro Woche	15 min pro Woche	15 min pro Woche
Reinigung	1 mal jährlich 5 h	1 mal jährlich 5 h	4 h pro Quartal	bei Wartungsvertrag nicht erforderlich
Standzeit der Anlage	15 Jahre	> 20 Jahre	-	-

)¹ bei Ammoniakabscheidung von 90 % und niedrigeren Waschwassertemperaturen ist mit einem Säureverbrauch zu rechnen

)² Für den weiteren Wartungsbedarf wird ein Wartungsvertrag empfohlen mit folgendem Umfang: Messgeräte prüfen und gegebenenfalls kalibrieren, Beprobung Waschwasser, Reinigung der Anlage bei Bedarf

)³ wöchentlich vom Betreiber zu überprüfen: Berieselungsanlage prüfen (Reinigung, gegebenenfalls Austausch der Düsen), Pumpen prüfen, Überprüfung der Säure- und/oder Alkaliendosierung

)⁴ Einbau und Kontrolle des elektronischen Betriebstagebuches

4.2.3 Optimierungsmaßnahmen an der Abgasreinigungsanlage

Während der Messreihe wurde die Lüftungs- und Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage in Absprache mit dem Hersteller im Hinblick auf eine Optimierung der Geruchsstoffabscheidung sukzessive erweitert und verbessert.

Bei den Messkampagnen im November 2013 (vorab) und Januar 2014 (Messkampagne I) entsprach die Anlage hinsichtlich der Mess- und Verfahrenstechnik sowie der Betriebsweise dem Inbetriebnahmestandard der Erstinstallation im Jahre 1998. Zwei Abluftventilatoren befanden sich Unterflur im Abgassammelkanal vor dem Abgaswäscher, der dadurch druckseitig mit Abgas beaufschlagt war. Die Abschlammung des Waschwassers erfolgte meist einmal wöchentlich durch circa 3-minütiges Einschalten der Abschlammpumpe mit schwimmergesteuerter Nachspeisung von Frischwasser. Gelegentlich fand auch eine Kontrolle mit pH-Messstäbchen statt. Nach Einbau des Lüftungscomputers erfolgte ab Ende November 2013 die Abschlammung des Wäschers automatisch bei Überschreiten einer Leitfähigkeitsschwelle von 17,4 mS/cm sowie ergänzend einmal wöchentlich montags für 5 Minuten.

Bei den nachfolgenden Messungen zwischen Mai und Oktober 2014 war der Abgaswäscher mit neuen Einbauten mit insgesamt größerer Oberfläche und neuen Düsen ausgestattet.



Abb. 36: Tropfenabscheider vor der Optimierung



Abb. 37: Bedüsung und Tropfenabscheider nach der Optimierung

Zwei neue, leistungsstärkere und energieeffizientere Abluftventilatoren in jedem Abgaskamin realisierten den saugseitigen Betrieb der Abgaswäscher (Abb. 38). Die geänderte Verfahrenstechnik wurde durch neue Steuerungs- und Messtechnik ergänzt (Anlagensteuerung mit anderem Regelungs-/Steuerungsalgorithmus inklusive Datenaufzeichnung, pH-Wert- und Leitfähigkeits-Sonden für das Waschwasser; Abb. 39). Nach dem Einbau der neuen Füllkörper Ende März 2014 wurde dem Wäschersystem vor weiteren Untersuchungen mehrere Wochen Zeit für den Aufbau eines Biofilms gegeben.



Abb. 38: Neuer Abgasventilator im Kamin



Abb. 39: Messsonden und Umwälzpumpe mit Rückspüleinrichtung

4.2.4 Mess-/Probenahmestellen

Die Abgasmessungen und -probenahmen fanden zeitgleich an der **Rohgasmessstelle** im Wartestall der Leersauen (siehe Abb. 40) und der **Reingasmessstelle** an dem permanent in Betrieb befindlichen Abluftkamin (Abb. 41) statt.

Die Entnahme der Rohgasproben erfolgte innerhalb des Stallgebäudes aus dem Ende des zentralen Abgassammelkanals vor Eintritt in den Rieselbettreaktor. Die drei Messöffnungen befanden sich im Boden. Die Rohgasprobenahmen erfolgten isokinetisch gem. VDI 4257-2 [34]. Auf Doppelbestimmungen der Bioaerosole wurde aufgrund der räumlichen Enge am Messplatz verzichtet.

Die Entnahme der Reingasproben erfolgte auf dem Dachboden der Stallanlage aus dem Abluftkamin. Im Reingas konnten für einzelne Messungen Doppelbestimmungen durchgeführt werden.

Der Betrieb der Ventilatoren und der Abgasvolumenstrom variierten entsprechend dem aktuellen Lüftungsbedarf im Stall. Der Abgasvolumenstrom der Gesamtanlage wurde durch kontinuierliche beziehungsweise diskontinuierliche Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten beziehungsweise Strömungsgeschwindigkeitsprofile in den Kaminen 1 und 2 ermittelt. Damit wurde den messtechnischen Anforderungen an eine isokinetische Probenahme für partikelgebundene Abgaskomponenten, der Bildung von Mittelwerten über definierte Probenahmezeiträume sowie der Berechnung von Massenströmen Rechnung getragen.



Abb. 40: Rohgasmessplatz im Stall



Abb. 41: Reingasmessplatz auf dem Dachboden

4.2.5 Messtermine und Optimierungsmaßnahmen

In Tab. 4 sind die beim Rieselbettreaktor durchgeführten Optimierungsmaßnahmen sowie die jeweiligen Messtermine chronologisch aufgeführt. Dabei war es aus logistischen Gründen nicht immer möglich die Geruchsmessungen (Messung 1 – 5) während der Messungen der gasförmigen und partikelförmigen Stoffe inkl. Bioaerosole (Messkampagnen vorab, I, II, III und IV) durchzuführen.

Tab. 4: Zusammenstellung der Messtermine und Optimierungsmaßnahmen

Datum	Optimierungsmaßnahmen / Maßnahmen	Messkampagnen (gasförmige Stoffe, Staub und Bioaerosole)	Geruchsmessungen
19.11. bis 21.11.2013		vorab (ohne Bioaerosolmessung)	
28.11.2013			Messung 1
Ende November 2013	Einbau einer automatischen pH-Wert- und Leitfähigkeitsregelung (Einbau von Messsonden für die Steuerung der Abschlammrate; Abschlammung: 15 mS/cm, Hysterese: 2,44 mS/cm; sowie montags 10 Uhr für 5 Minuten; elektronisches Betriebstagebuch mit Erfassungs- und Aufzeichnungsmöglichkeit für pH-Wert, Leitfähigkeit, Abschlammung, etc.;		
13.01. bis 16.01.2014		Messkampagne I	
März 2014	Umbau der rohgasseitigen Ventilatoren und Einbau von zwei leistungsstärkeren Ventilatoren nach dem Wäscher in den Abgaskaminen; Erneuerung und Erhöhung (von 1,20 m auf 1,50 m) der Füllkörper und des Tropfenabscheiders; Erneuerung der Düsen zur Berieselung der Füllkörper; Einbau einer Dichtschürze zur Abdichtung der Füllkörper gegenüber den Wäscherseitenwänden;		
05.05. bis 08.05.2014		Messkampagne II	
08.05.2014			Messung 2
21.07. bis 24.07.2014		Messkampagne III	
24.07.2014			Messung 3
August 2014	Austausch der oberen Lage der Füllkörper (0,6 m) gegen eine mit feineren Waben		
22.09. bis 26.09.2014		Messkampagne IV	
25.09.2014			Messung 4
Mitte Oktober 2014	Entleerung und Reinigung sämtlicher Güllekanäle in den Ställen		
28.10.2014			Messung 5

4.2.6 Messergebnisse und Diskussion

Die Anzahl der belegten Tierplätze variierte während den einzelnen Messterminen zwischen 81 und 91 Zuchtsauenplätzen. Eine Auflistung des jeweiligen Tierbestandes zu den verschiedenen Messungen ist im Anhang in Tab. 22 aufgeführt.

4.2.6.1 Geruch

Eine nach § 29b BImSchG bekannt gegebene Messstelle führte die Geruchsmessungen durch. Die Probenahme im Reingas erfolgte mittels dynamischer Vorverdünnung zur Vermeidung von Kondensatbildungen in den Gassammelgefäßen (PET-Beutel) bei Probenahmen im feuchten Abgas (Abb. 42). In der Gasstrahlpumpe wird dazu mit Hilfe eines Treibstrahls (Stickstoff) ein Unterdruck erzeugt, durch den das Probengas angesaugt wird. Treibstrahl und angesaugtes Probengas mischen

sich dabei völlig. Im Rohgas wurde wegen der geringeren Gasfeuchte eine statische Probenahme nach dem Lungenprinzip durchgeführt (Abb. 43).



Abb. 42: Geruchsprobenahme im Reingas mit dynamischer Vorverdünnung



Abb. 43: Geruchsprobenahme im Rohgas statisch nach Lungenprinzip



Abb. 44: Olfaktometer mit vier Probandenplätzen

Die Auswertung der Proben erfolgte nach DIN EN 13725 [32] durch dynamische Olfaktometrie mit dem Ja/Nein-Verfahren. Die Luftproben wurden den Probanden an den Arbeitsplätzen des Olfaktometers (Fabrikat: ECOMA GmbH, Typ TO 7) zur Beurteilung dargeboten (Abb. 44). Die Auswertung in Geruchseinheiten pro Kubikmeter [GE/m^3] erfolgte mit Hilfe der Software des Olfaktometers und entsprechender Datenblätter.

Abb. 45 zeigt die Geruchsstoffkonzentrationen im Roh- und Reingas an den fünf verschiedenen Geruchsmesstagen mit jeweils vier Einzelproben. Die Geruchsstoffkonzentrationen beziehen sich auf feuchtes Abgas mit einer Temperatur von 20 °C.

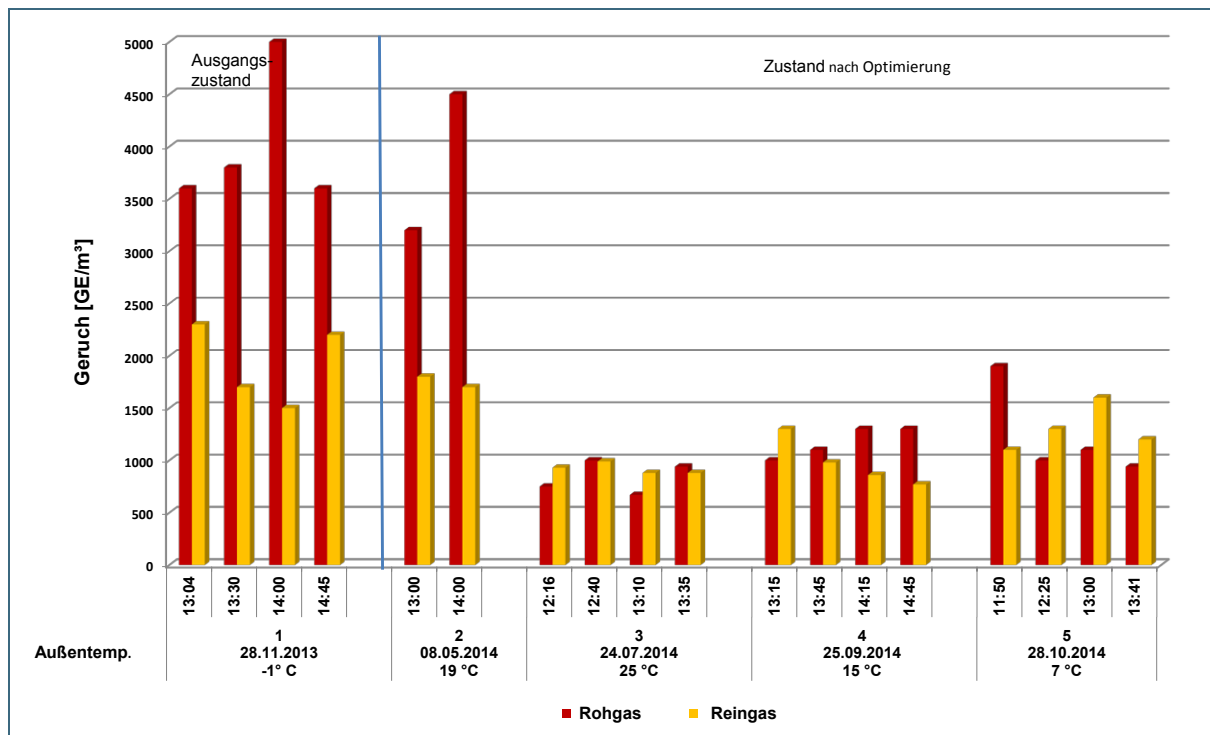


Abb. 45: Geruchsstoffkonzentrationen (feucht, 20 °C) im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Bei der **Geruchsmessung 1** am 28. November 2013 lagen die Rohgaswerte mit Konzentrationen zwischen 3.600 und maximal 5.000 GE/m³ auf hohem Niveau, der Volumenstrom mit 3.700 m³/h im unteren Bereich der Mindestluftfrate. Durch die Abgasreinigungseinrichtung konnten die Geruchsstoffkonzentrationen zwar vermindert werden, jedoch lagen die Reingaskonzentrationen immer noch im Bereich zwischen 1.500 bis zu 2.300 GE/m³. Teilweise wurde von den Probanden im Reingas noch Rohgasgeruch wahrgenommen, meist war die Geruchsnote „Mist“ angegeben. Der pH-Wert des Wäscherwassers betrug 7,8 und war daher nicht mehr im optimalen Bereich für die geruchsreduzierenden Bakterien. Dies wäre nach [24] der Bereich von 6,5 – 7 mit einer Toleranz von jeweils 0,5 nach oben und unten. Auch im BioAluRein-Projekt [2] zeigten sich bei Rohgaskonzentrationen ab circa 2.000 GE/m³ die Leistungsgrenzen selbst von zertifizierten Rieselbettwäschern, die Mindestanforderung von 300 GE/m³ konnten auch hier nicht mehr eingehalten werden.

Die **Geruchsmessung 2** fand nach den im März 2014 durchgeführten Umrüstarbeiten (unter anderem leistungsstärkere Ventilatoren mit saugseitiger Anordnung in den Abgaskaminen nach Gaswäscher, Wäschereinbauten mit größerer Oberfläche, neue Düsen, zeitgesteuerte automatische Abschlammung, automatischer Regelungs-/Steuerungsalgorithmus der Leitfähigkeit) am 8. Mai 2014 statt. Die Abschlammung erfolgte zeitgesteuert 1 x wöchentlich für 5 Minuten, sowie bei Ansteigen der Leitfähigkeit über 17,4 mS/cm automatisch. Die automatische Abschlammung beziehungsweise Frischwasserzudospeisung erfolgte so lange bis sich ein Wert von circa 12 mS/cm eingestellt hatte.

Die Geruchsstoffkonzentrationen lagen im Vergleich zur ersten Messung im Rohgas mit 3.200 beziehungsweise 4.500 GE/m³ etwas niedriger. Die Reingaskonzentrationen lagen dabei unter 2.000 GE/m³ im Bereich zwischen 1.400 und 1.800 GE/m³ und es konnte teilweise immer noch typischer Schweinestallgeruch von den Probanden wahrgenommen werden. Da zwei Rohgasprobenbehälter undicht waren, konnten statt den üblichen vier Messungen nur zwei ausgewertet werden. Am 8. Mai wurde ein pH-Wert von 7,4 (Abb. 46) und eine Leitfähigkeit von 12,9 mS/cm (Abb. 47) gemessen.

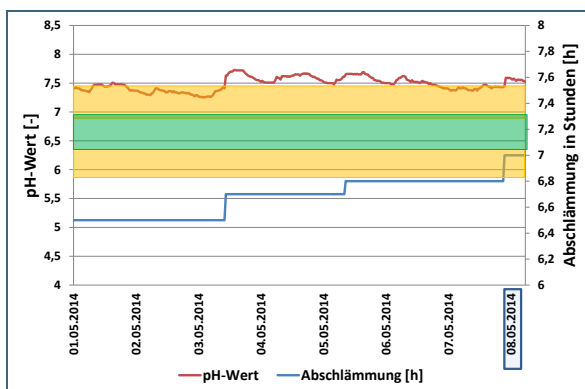


Abb. 46: Verlauf des pH-Wertes im Mai 2014 (li), kumulative Abschlammrate (re); keine Datenaufzeichnung ab 09.05.2014

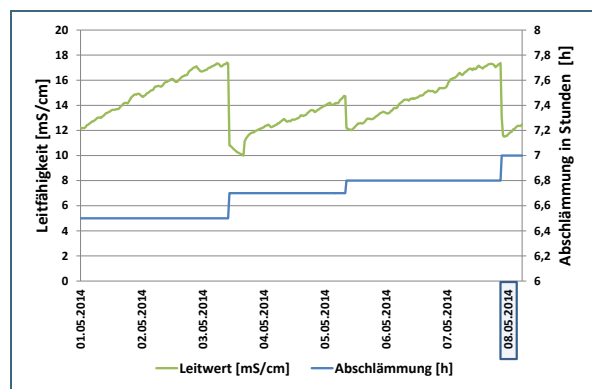


Abb. 47: Verlauf der Leitfähigkeit im Mai 2014 (li), kumulative Abschlammrate (re); keine Datenaufzeichnung ab 09.05.2014

Der im Reingas ermittelte Volumenstrom betrug 10.900 m³/h, sodass sich die Verweilzeit des Abgases im Reaktor mehr als halbierte. Dabei trat bei dieser Messung ein hoher Geruchsstoffstrom im Rohgas auf (Abb. 48). Der Wäscher erfuhr seine höchste Belastung mit Geruchsstoffen und reinigte verhältnismäßig gut ab.

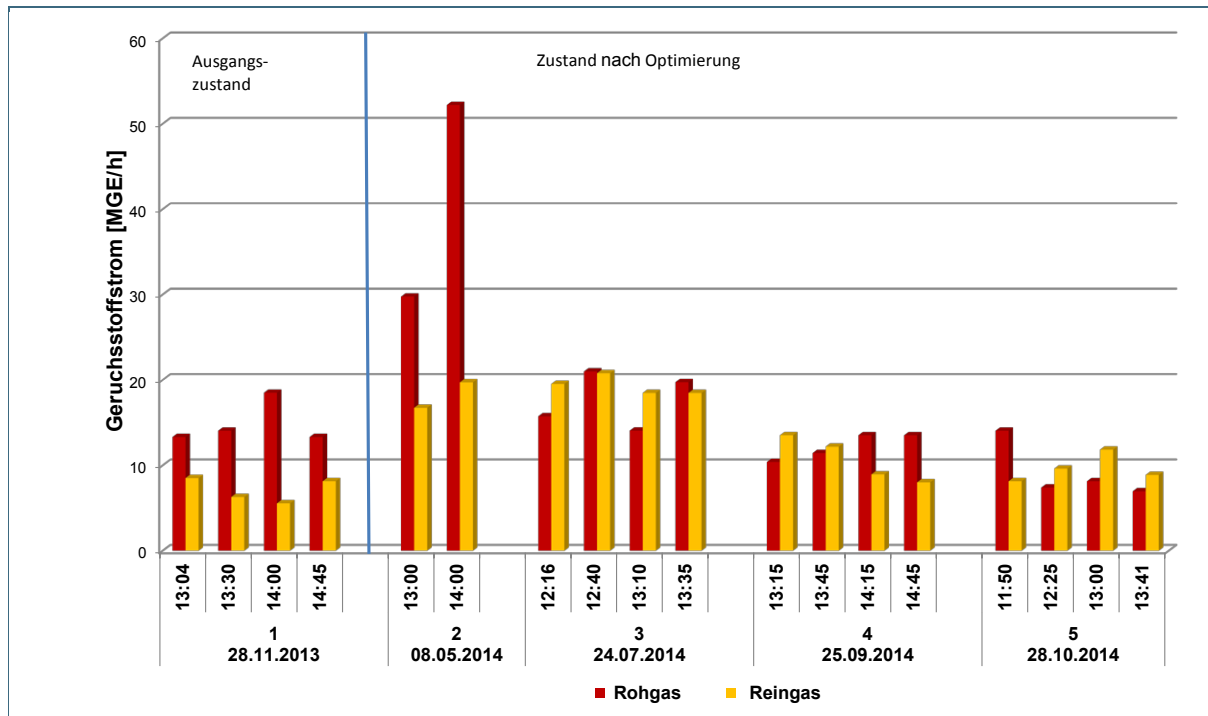


Abb. 48: Geruchsstoffströme im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Bei der **Geruchsmessung 3** am 24. Juli 2014 ergaben alle vier Rohgasproben Geruchsstoffkonzentrationen ≤ 1.000 GE/m³, was erwartungsgemäß durch die Verdünnung bei hohen Sommerluftraten bedingt ist. Der im Reingas ermittelte Volumenstrom betrug 21.000 m³/h, wodurch sich die Verweilzeit im Reaktor nochmals deutlich verringerte. Die Reingasergebnisse lagen in einem ähnlichen Bereich unterhalb von 1.000 GE/m³ vor. Nominal gesehen kam es zu keiner Abscheidung, jedoch konnte bei dieser Geruchsmessung kein Rohgasgeruch im Reingas mehr von den Probanden wahrgenommen werden (Tab. 5 auf S. 44). Insgesamt traten aber die höchsten Frachten auf (Tab. 24). In die Immissionsprognose fließen diese Geruchsstoffströme ein, sodass hier ohne hedonische Bewertung die höchsten Belastungen vorliegen würden. Der pH-Wert des Wäscherwassers lag mit circa 7,3 im zulässigen Bereich von 6,0 bis 7,5 [24]. Die Wochen vorher war der pH-Wert jedoch im alkalischen Bereich weit über 8 (Abb. 49). In diesem Bereich ist mit zusätzlichen Ammoniakemissionen von bereits abgeschiedenem Ammonium zu rechnen. Die Leitfähigkeit lag mit einem Wert von 14,9 mS/cm zwar am Mess-tag im angestrebten Bereich, was auch durch eigene Messungen bestätigt wurde, die Messsonde war aber wohl über einen längeren Zeitraum in der Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt (Abb. 50).



Abb. 49: Verlauf des pH-Wertes im Juli 2014 (li), kumulative Abschlämmrate (re)

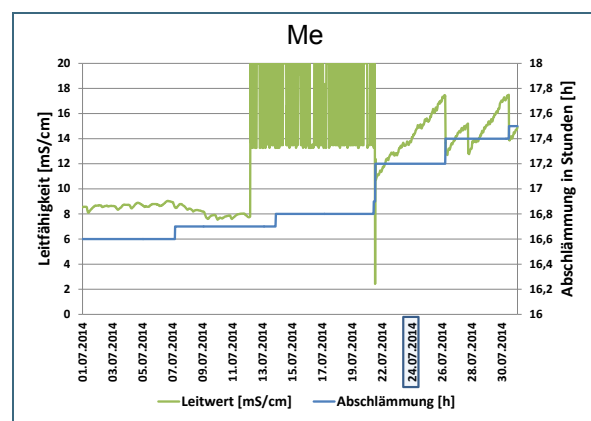


Abb. 50: Verlauf der Leitfähigkeit im Juli 2014 (li), kumulative Abschlämmrate (re)

Bei der **Geruchsmessung 4** am 25. September 2014 lagen im Rohgas bei einem mittleren Volumenstrom von 10.400 m³/h Geruchstoffkonzentrationen zwischen 1.000 bis 1.300 GE/m³ vor. Im Reingas schwankten die Werte analog zur dritten Geruchsmessung ebenfalls im Bereich um die 1.000 GE/m³ (Abb. 45). Bei vier von 16 Geruchsdarbietungen konnte im Reingas noch Schweinegeruch festgestellt werden. Der pH-Wert lag bei 6,6, die Leitfähigkeit bei 17,6 mS/cm. Trotz hoher Verweilzeiten und optimaler Steuerung der Abschlammung konnte keine zufriedenstellende Abscheidewirkung erzielt werden. Insgesamt waren aber die Geruchsstoffströme mit circa 10 MGE/h niedrig (Abb. 48).

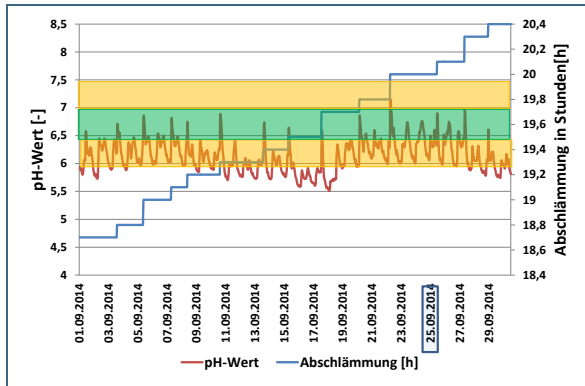


Abb. 51: Verlauf des pH-Wertes im September 2014 (li), kumulative Abschlammrate (re)

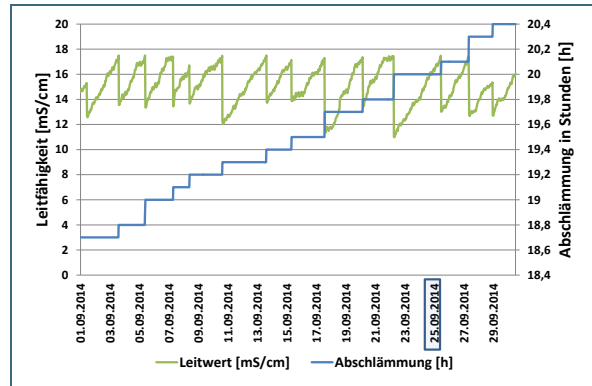


Abb. 52: Verlauf der Leitfähigkeit im September 2014 (li), kumulative Abschlammrate (re)

Bei der **Geruchsmessung 5** am 28. Oktober 2014 wurden mehrere Tage zuvor sämtliche Güllekanäle in den Ställen entleert. Im Gegensatz zu den vorherigen Geruchsmessungen lag der pH-Wert des Wäscherwassers mit kleiner 5 im sauren Bereich und damit für die Biologie im Wäscher bei einem ungünstigen Wert (Abb. 53). Vermutlich führte die Reinigung zu einer Überfrachtung des Wäschersystems mit stark sinkendem pH-Wert. Zudem fand nicht wie üblich die wöchentliche, standardgemäße Abschlammung statt. Die Leitfähigkeit nahm kontinuierlich ab und lag am Messtag bei einem Wert von 10,1 mS/cm. Die letzte Abschlammung fand 14 Tage vor der Messung statt (Abb. 54), kurz vor der Messung wurde nur standardgemäß fünf Minuten abgeschlammmt, die automatische Abschlammung setzte aufgrund der abnehmenden Leitfähigkeit nicht ein. Insgesamt wurde in diesem sauren Milieu vermehrt Ammoniak gebunden, die Prüfröhrchenprobe zeigte im Reingas keine messbare Konzentration mehr. Im Waschwasser war die Konzentration der Nitrat-N-Ionen mit fast 1.000 mg/l circa zehnmal höher als bei den anderen Messkampagnen und lag weit über dem empfohlenen Wertebereich von 200 – 400 mg/l (Tab. 40 im Anhang). Die Leitfähigkeit korrelierte während des gesamten Messzeitraumes mit der Konzentration mineralischen Stickstoffs (Summe NH₄-N, NO₂-N und NO₃-N) und ergab daher plausible Werte. Trotzdem sank der pH-Wert im Oktober kontinuierlich (Abb. 53), ohne dass die Leitfähigkeit zunahm und die Abschlammung einsetzte. Die Konzentration an mineralischem Stickstoff lag im Vergleich zu den anderen Messungen eher im unteren Bereich. Es ist daher anzunehmen, dass durch den niedrigen pH-Wert eher gasförmige Stickstoffverbindungen entstanden sind. Da keine zeitgleichen Stickoxidmessungen an diesem Tag stattfanden, liegt keine Aussage darüber vor, ob eventuell zeitgleich eine Umwandlung von Nitrit in gasförmiges Stickstoffmonoxid stattfand.

Bei allen vier Reingasproben am 28.10.2014 konnte Schweinegeruch deutlich wahrgenommen werden. Die Reingas-Konzentrationen befanden sich in einem Bereich von 1.100 bis zu 1.600 GE/m³. Der im Reingas ermittelte Volumenstrom betrug 7.400 m³/h, der Geruchsstoffstrom lag damit wieder im üblichen Bereich von kleiner beziehungsweise annähernd 10 MGE/h.

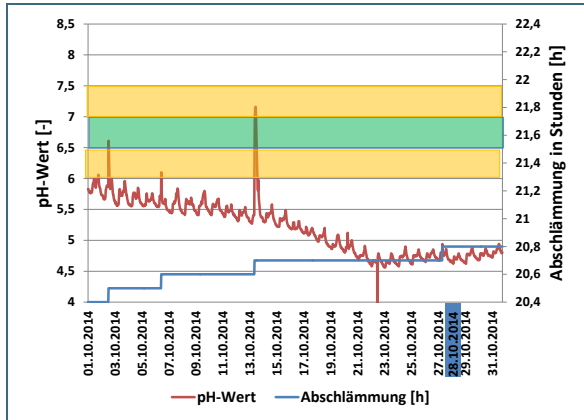


Abb. 53: Verlauf des pH-Wertes im Oktober 2014 (li), kumulative Abschlämmrate (re)

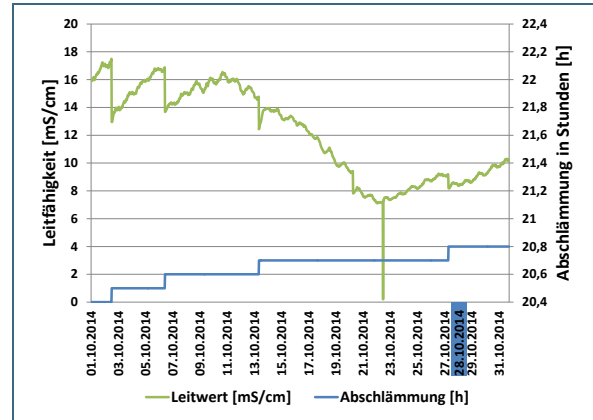


Abb. 54: Verlauf der Leitfähigkeit im Oktober 2014 (li), kumulative Abschlämmrate (re)

Reingasseitig war das stark saure Milieu im Abgasstrom deutlich wahrnehmbar. Die Prüfröhrchenmessung ergab im Rohgas eine Ammoniakkonzentration von 17 ppm (im Stall 9 ppm). Im Reingas traten keine messbaren Ammoniakkonzentrationen auf. Bei einer Ortseinsicht am 28.10.2014 konnte von den LfU-Mitarbeitern kein Schweinegeruch in der Umgebung wahrgenommen werden. Vermutlich wurde durch die Kamine eine ausreichende Verdünnung der relativ niedrigen Geruchsstoffströme erreicht.

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Abgasreinigungsanlagen im Tierhaltungsbereich hat das Thünen-Institut für Agrartechnologie in Zusammenarbeit mit dem Landkreis Cloppenburg diverse Protokolle zu Check-up-Messungen beziehungsweise Funktionsmessungen für Rieselbettreaktoren, Biofilter oder mehrstufige Anlagen erstellt [24]. Dabei werden die für die Emission relevanten Parameter anhand eines „Ampel-Verfahrens“ bewertet. Bezüglich der Geruchsnotenbewertung erhält die Messung die Farbe grün, wenn keiner der Probanden Rohgasgeruch im Reingas feststellt. Messwerte, die sich im Toleranzbereich bewegen, sind gelb markiert; hier zeigen die Probanden kein einheitliches Bild. Farblich rot gekennzeichnet werden Parameter und Messwerte, die außerhalb des Toleranzbereiches liegen, das heißt wenn alle Probanden eindeutig Schweinegeruch im Reingas wahrnehmen (Tab. 5).

Tab. 5: Messergebnisse der Geruchsmessungen am Rieselbettreaktor der Zuchtsauenanlage

Messung	Probe	Rohgas [GE/m ³]	Reingas [GE/m ³]	Rohgasgeruch im Reingas Ja-Antworten der Pro- banden (n=4)
Messung 1 28.11.2013	1	3.600	2.300	2/4
	2	3.800	1.700	2/4
	3	5.000	1.500	2/4
	4	3.600	2.200	2/4
Messung 2 08.05.2014	1	3.200	1.800	1/4
	2	ungültig	1.400	1/4
	3	4.500	1.700	3/4
	4	ungültig	1.800	3/4
Messung 3 24.07.2014	1	750	930	0/4
	2	1.000	990	0/4
	3	670	880	0/4
	4	940	880	0/4
Messung 4 25.09.2014	1	1.000	1.300	0/4
	2	1.100	980	0/4
	3	1.300	860	1/4
	4	1.300	770	3/4
Messung 5 28.10.2014	1	1.900	1.100	4/4
	2	1.000	1.300	3/4
	3	1.100	1.600	4/4
	4	940	1.200	4/4

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Geruch an der Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage befindet sich im Anhang, Tab. 24. Die Datenblätter zu den fünf Geruchsmessungen der Zuchtsauenanlage sind im Anhang in den Tab. 25 bis Tab. 29 zusammengestellt.

Zusammenfassung und Diskussion:

Bezüglich Geruch war die Abscheidung für den untersuchten Rieselbettreaktor trotz Optimierungsmaßnahmen nicht durchgehend zufriedenstellend. Die in der Zuchtsauenanlage verwendete Unterflurabsaugung führt zu hohen Geruchsstoff- und Ammoniakkonzentrationen im Rohgas, die besonders hohe Herausforderungen an das Abgasreinigungssystem stellen. Auch in [2] konnte selbst bei zertifizierten Wäschern bei hohen Rohgaskonzentrationen über circa 1.000 GE/m³ eine Reingaskonzentration von 300 GE/m³ nicht mehr eingehalten werden. Hier kam es insbesondere bei einstufigen Rieselbettreaktoren trotz Optimierungsmaßnahmen immer wieder zu Problemen bei der Abreinigungsleistung bezüglich Geruch.

Die hohen Frachten an Ammoniak infolge der Unterflurabsaugung führen bei nicht sachgemäßer Abschlämmung schnell zu einem pH-Wert-Bereich, der für geruchsreduzierende Bakterien ungünstig ist. Aber auch bei Einhaltung dieser Randbedingung sinkt der Geruchsstoffabbau mit abnehmender Rohgasfracht, insbesondere bei niedrigen Geruchsstoffkonzentrationen im Sommer, die mit kurzen Verweilzeiten im Reaktor einhergehen. Neben der Minderung der Konzentrationshöhen und der Geruchsstoffströme scheint beim Rieselbettreaktor insbesondere der Einfluss auf die Hedonik eine große Rolle zu spielen. Schweinegeruch wirkt für viele Anwohner besonders belästigend. Ändert der Geruch jedoch seinen Charakter, geht er unter Umständen im biogenen Hintergrund unter. In den Reingasströmen war in einigen Proben Schweinegeruch nicht mehr wahrnehmbar oder zumindest nur abge-

schwächt. Es wurden Aussagen zu Geruchsnoten wie z. B. Mist, süßlich, verwesendes Obst etc. getroffen. Diese Abschwächung der Geruchsnote „Schweinstall“ dürfte zu einer deutlich besseren Gesamtsituation führen. Im Gegensatz zu Kaminerhöhungen, die lediglich immissionsseitig auf eine Verdünnung des Rohgases abzielen, ist eine Anlage mit funktionstüchtiger Abgasreinigung damit deutlich im Vorteil. Gerade im Nahbereich von Wohngebäuden kann es zu Verwirbelungen kommen, die die Abluffahne in die Immissionsorte tragen. Auch an windarmen Tagen oder bei hohen Feuchtegehalten (z. B. Nebeltage) kommt es bei rohgabeladenen Abgasen vermehrt zu Beschwerden. Dem könnte durch einfache Abgasreinigungssysteme, die zumindest die Rohgasnote abschwächen und bei hohen Konzentrationen gute Abscheideleistungen zeigen, durchaus entgegengewirkt werden. Dies gilt aber nur für Anlagen, die nicht immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig sind, das heißt keine Vorsorge treffen müssen.

Ergänzend ist anzumerken, dass in der Nachbarschaft keine Geruchsbeschwerden gegen den Betrieb vorliegen. Nach Aussage des Betreibers traten die letzten Nachbarschaftsbeschwerden vor längerer Zeit auf, nachdem die Anlage durch einen Pumpendefekt mehrere Tage ausfiel.

4.2.6.2 Bioaerosole und Endotoxine

Insgesamt wurden bei vier Messkampagnen (I, II, III, IV) jeweils vier halbstündige Probenahmen auf Bioaerosole im Roh- und Reingas durchgeführt. Zur Qualitätssicherung wurde bei den jeweils ersten zwei Probenahmen im Reingas Doppelbestimmungen (Reingas / Reingas') durchgeführt; bei der ersten Probenahme der Messkampagne IV konnte im Reingas wegen Glasbruch nur ein Wert für Bioaerosole ermittelt werden. Die Ergebnisse dazu sind im Anhang in den Abb. 108 bis Abb. 111 dargestellt.

Zu jeder Messkampagne wurde auch ein **Hintergrundwert** [36] ermittelt. Dabei konnte nur im Juli ein Wert für Gesamtbakterien knapp über der Bestimmungsgrenze (360 KBE/m³) ermittelt werden (Abb. 110). Bei allen anderen Messungen wurde die Bestimmungsgrenze nicht erreicht. Alle anderen Parameter lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze und waren meist überhaupt nicht im Hintergrund nachweisbar.

Die im Abgas enthaltenen **Gesamtbakterien** konnten bei allen vier Messkampagnen in der Abgasreinigungsanlage gemindert werden (Abb. 55).

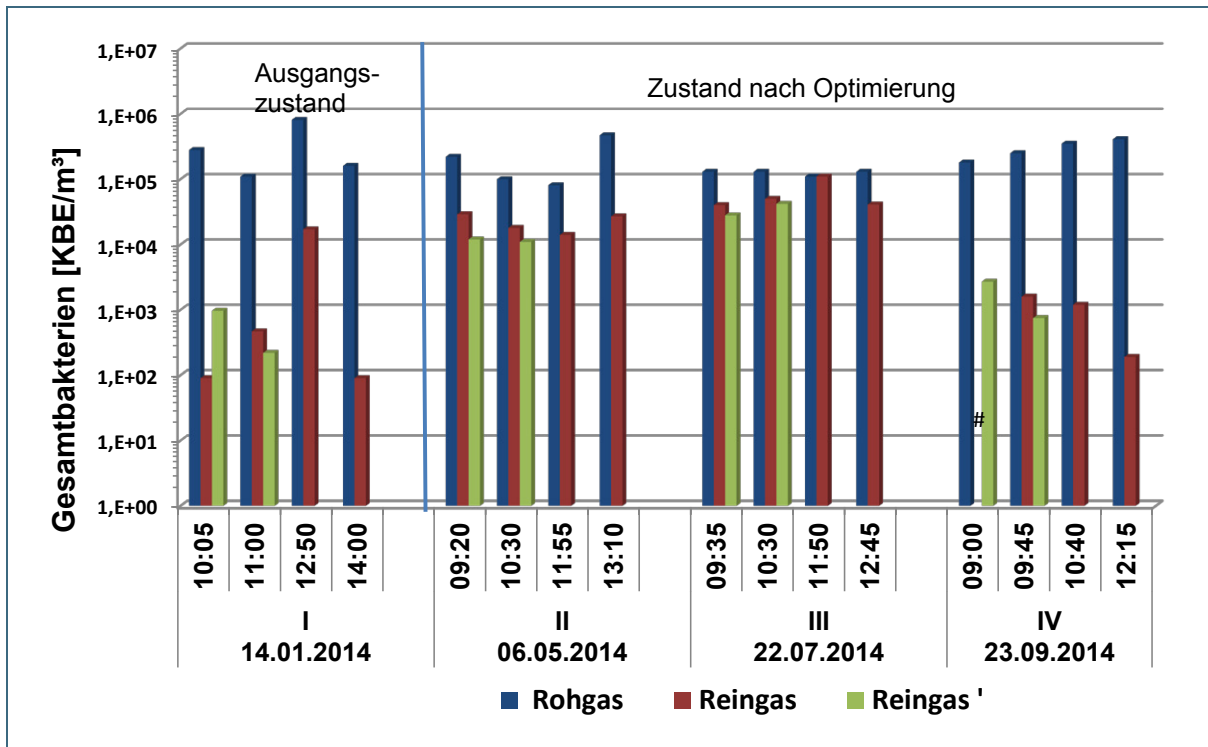


Abb. 55: Gesamtbakterienkonzentrationen im Roh- und Reingas (grün: Doppelbestimmung) zu den Messkampagnen I bis IV

Dabei lag der Abscheidegrad zwischen 61 und 99 % (Abb. 56). Eine Ausnahme bildete die dritte Messung der Gesamtbakterien am 22.07.2014. Da der zugehörige Staphylokokkenwert (Abb. 57) plausible Werte zeigt, handelt es sich hier wahrscheinlich um eine Kontamination der Reingasprobe.

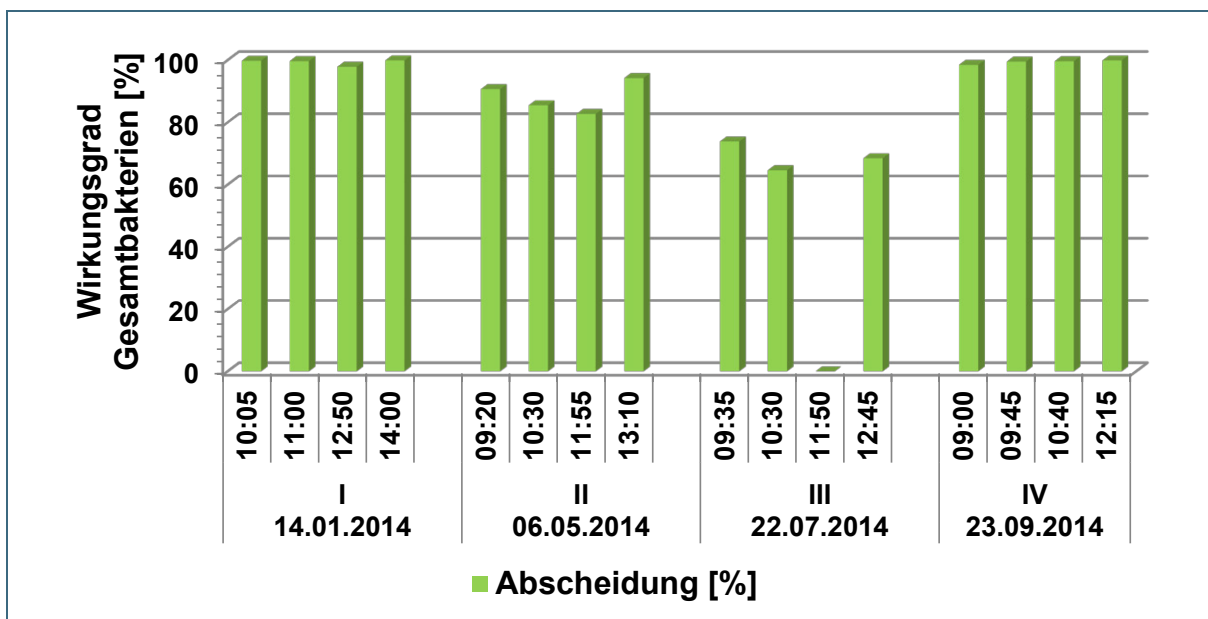


Abb. 56: Abscheidewirkungsgrade bei Gesamtbakterien

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Gesamtbakterien an der Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage befindet sich im Anhang, Tab. 30.

Die **Staphylokokken** konnten bei allen vier Messkampagnen in der Abgasreinigungsanlage deutlich gemindert werden (Abb. 57).

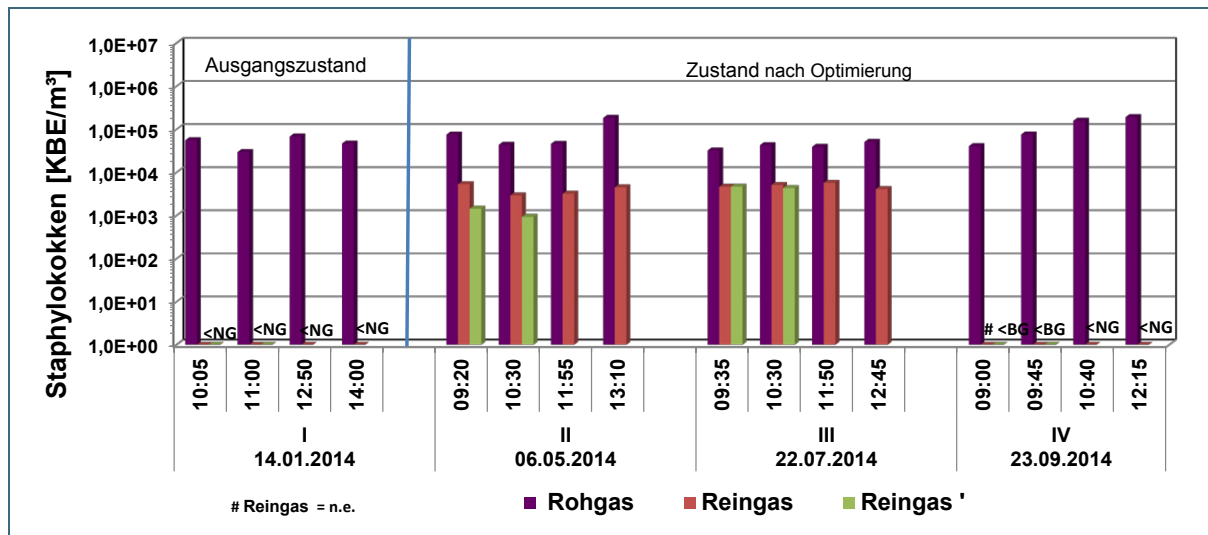


Abb. 57: Staphylokokkenkonzentrationen im Roh- und Reingas (grün: Doppelbestimmung) zu den Messkampagnen I bis IV (NG: Nachweisgrenze, BG: Bestimmungsgrenze, n.e.: nicht ermittelt)

Die Abscheidung der Staphylokokken lag im Mittel bei 96 %, die Schwankungsbreite lag bei 85 % bis 99 %. Die Ausgangskonzentration lag in einem Bereich von $3,0 \cdot 10^4$ KBE/m³ bis $1,9 \cdot 10^5$ KBE/m³ (Abb. 58).

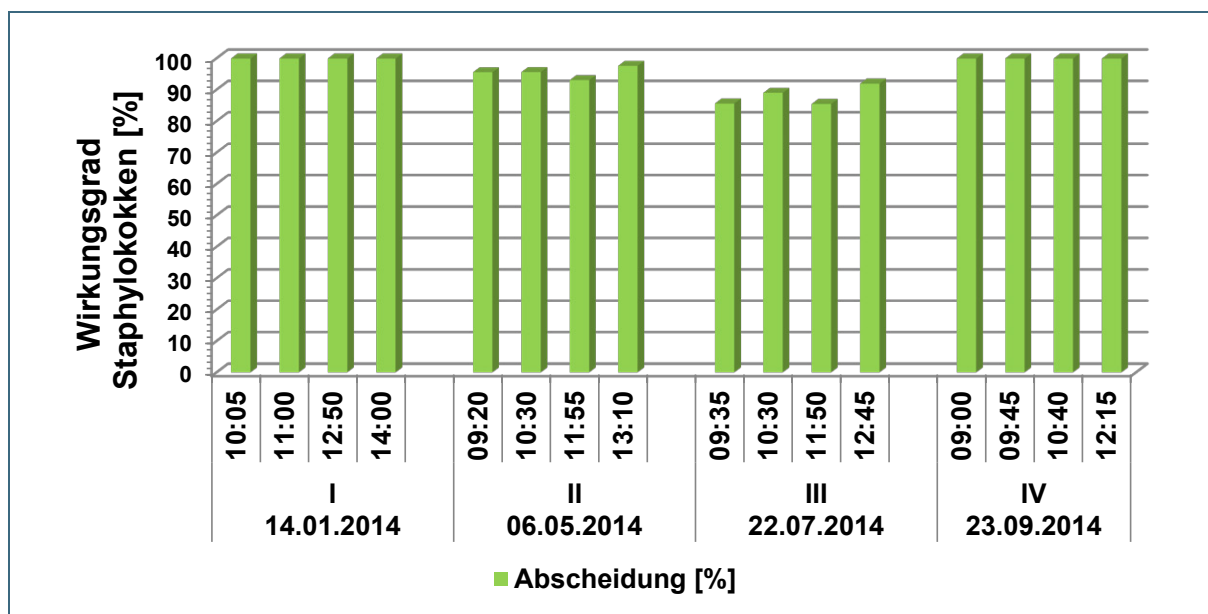


Abb. 58: Abscheideleistungen für Staphylokokken

Methicillin resistente Staphylokokken (MRSA) oder Beta-Lactamasen mit erweitertem Spektrum (Extended-Spectrum Beta-Lactamasen: ESBL) wurden nicht nachgewiesen.

Legionellen wurden standardmäßig untersucht und konnten aus keiner der untersuchten Wasserproben kultiviert werden.

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Staphylokokken an der Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage befindet sich im Anhang, Tab. 31.

Die **Enterokokken** schwankten im Rohgas im Bereich zwischen kleiner der Nachweisgrenze bis maximal 10^3 KBE/m³. Auf der Reingasseite lagen alle Werte bis auf eine Ausnahme (16 KBE/m³) unterhalb der Nachweisgrenze beziehungsweise unterhalb der Bestimmungsgrenze (Tab. 32 im Anhang).

Das **Artenspektrum** der Anlage (siehe nachfolgende Tab. 6) wurde von Koagulase-negativen Staphylokokken (KNS) dominiert. KNS fanden sich in den Bioaerosolproben, aber auch in den zusätzlich untersuchten Staubproben des Stalls, in Staubablagerungen des Emissionskamins sowie im Wasser des Rieselbettreaktors zu erheblichen Anteilen wieder. Die Gruppe der KNS umfasst apathogene Vertreter der Risikogruppe (RG) 1. Es konnten aber auch, vor allem in den Bioaerosolproben, verschiedene fakultativ pathogene KNS der RG 2 (siehe Fußnote zu Tab. 6), nachgewiesen werden. Der humanpathogen relevante *Staphylococcus aureus* (RG2) oder seine multiresistente Variante (MRSA) konnte in keiner der Proben nachgewiesen werden.

Im Verlauf der Messkampagnen konnten verschiedenste Umweltkeime differenzialdiagnostisch nachgewiesen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass das ermittelte Artenspektrum der Anlage aufgrund eingesetzten Selektivnährmedien kein umfassendes Bild darstellt. Der Einsatz selektiver Nährmedien ist an der Schweinezuchtanlage wegen des zum Teil erheblichen Anteils an unspezifischer Begleitflora für umweltdiagnostische Zwecke kritisch zu betrachten und erfordert einen hohen Grad diagnostischer Abklärung der gewachsenen Kolonien [42].

Tab. 6: Artenspektrum der Zuchtsauenanlage über alle Messkampagnen (I – IV). Die Ergebnisse resultieren aus den Differenzierungen von Koloniematerial der Selektivnährmedien zwecks Qualitätssicherung inklusive unspezifischer Begleitflora. Qualitative Nachweise sind unter der Angabe der Kampagne blau unterlegt.

Artenspektrum	RG	Stallstaub				Wasser Rieselbettreaktor				Kaminstaub				Emission Rohgas				Emission Reingas									
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV						
Staphylokokken																											
KNS	1,v	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
* <i>Staphylococcus aureus</i>	2																										
MRSA	2																										
Enterokokken																											
<i>Enterococcus faecium</i>	2													I		III								III			
<i>Enterococcus faecalis</i>	2	I				I	II	III	IV			III				II	III	IV			II	III			II	III	
<i>Enterococcus hirae</i>	2	I	II	III		I	II	III	IV					I	II	III	IV							III	IV		
<i>Enterococcus caseliflavus</i>	2							III																			
Enterobacteriaceae																											
<i>Escherichia coli</i>	2	I	II	III		I	II	III	IV							III											
<i>Enterobacter aerogenes</i>	2					I		III																			
<i>Enterobacter cloacae</i>	2							III																			
* <i>Enterobacter amnigenus</i>	2						II																				
* <i>Hafnia alvei</i>	2							III																			
* <i>Pantoea agglomerans</i>	2															III								III			
* <i>Serratia marcescens</i>	2								IV																		
* <i>Morganella morganii</i>	2						II					III															
* <i>Proteus vulgaris</i>	2					I		III																III			
Non-Fermenter																											
* <i>Pseudomonas sp.</i> der aeruginosa-Gruppe	2							III	IV																		
* <i>Pseudomonas sp.</i> der fluorescens-Gruppe	2	I																									
* <i>Pseudomonas sp.</i> der putida-Gruppe	2											III															
* <i>Alcaligenes faecalis</i>	2						II					III															
Unspezifische Begleitflora auf Selektivnährmedien, in der Regel sporadisch vorkommend																											
Aerobe Sporenbildner	1			III	IV	I	II	III	IV	I		III	IV			III		I			III	IV			III	IV	
Mikrokokken	1						II		IV	II					II	III	IV		II		III	IV			II	III	IV
* <i>Aerococcus viridans</i>	2	II				I																		III			
* <i>Agromyces fucosus</i>	1											III															
* <i>Corynebacterium xerosis</i>	1				IV																						
* <i>Microbacterium natoriense</i>	1													I													
* <i>Myroides odoratus</i>	2											III															
* <i>Rothia nasimurium</i>	1																IV										
Schimmelpilze	v			III					IV	II		IV		II	III			I	II	III							

* sporadisches Vorkommen RG: Risikogruppe gemäß TRBA 466, v: variierend in der Gruppe

KNS = Koagulase-negative Staphylokokken. Es wurden nachgewiesen (**Fettdruck = RG2-Organismen**):

Staub: ***Staphylococcus arlettae*, *S. pettenkoferi*, *S. simulans***

Wasser: ***S. chromogenes*, *S. pasteurii*, *S. equorum*, *S. cohnii***

Bioaerosol: ***S. warneri*, *S. felis*, *S. equorum*, *S. pettenkoferi*, *S. haemolyticus*, *S. cohnii*, *S. chromogenes*, *S. hyicus*, *S. epidermidis*, *S. nepalensis***

Die Bioaerosolproben wurden weiterhin mittels PCR-Analytik auf Chlamydien hin untersucht. Mit Ausnahme einer Probe bei Messung IV waren alle Rohgasproben der vier Messkampagnen im Genus-spezifischen Chlamydien-Screening PCR-positiv. Während die Reingasproben der Messkampagnen I (Wintermessung) und IV (Herbstmessung) alle PCR-negativ waren, konnte beim Screening bei den Messkampagnen II und III (Frühjahr / Sommer) in allen Reingasproben Chlamydien-DNA nachgewiesen werden. Mitanalysierte Wasserproben des Rieselbettreaktors aus Messkampagne II und IV fielen ebenfalls PCR-positiv aus. Der positive PCR-Nachweis von Genus-spezifischer Chlamydien-DNA im Reingas ausschließlich der Frühjahrs- und Sommermessung fügt sich plausibel in die für diese Mess-tage beschriebenen relativ hohen kulturell nachgewiesenen Bakterienkonzentrationen ein.

Alle Bioaerosolproben wurden auf das Vorkommen von aviären Influenza A-Viren (aIAV) untersucht. In keiner der Proben konnten mittels PCR aIAV nachgewiesen werden. Auch in zwei untersuchten Wasserproben des Rieselbettreaktors aus Messkampagne II und IV konnten keine aIAV und keine Legionellen nachgewiesen werden.

Das Screening des **Absetzstaubes** ergab für die mikrobielle Belastung des Staubes mit einer Ausnahme erste orientierende Werte in der Größenordnung um $\sim 10^6$ KBE/g Staub (Tab. 7). Die Werte der Stichproben der Ablagerungen im Kamin erreichten mit Ausnahme der Sommermessung (Messung III) eine ähnliche Größenordnung wie die jeweilige Stallstaubprobe. Bei Messung III fielen die Werte im Emissionskamin aber mit $\sim 10^8$ KBE/g Staub um etwa zwei Größenordnungen höher aus. Vom Artenspektrum her dominierten in beiden Staubproben vor allem die auch im Bioaerosol relevanten Staphylokokken, die hier qualitativ bestimmt wurden. Im Stallstaub enthaltene Enterokokken oder auch *Escherichia coli* konnten hingegen im Staub aus dem Kamin nicht nachgewiesen werden.

Messkampagne	Staubprobe	Gesamtbakterienzahl [KBE/g Staub]
I Winter	Stall Kamin	$2,4 \times 10^6$ n. d.
II Frühjahr	Stall Kamin	$3,9 \times 10^6$ $6,3 \times 10^5$
III Sommer	Stall Kamin	$1,6 \times 10^6$ $2,3 \times 10^8$
IV Herbst	Stall Kamin	$2,4 \times 10^5$ $3,4 \times 10^5$

Tab. 7:
Quantitative Abschätzung der mikro-biellen Belastung des Stallstaubes und der Staubablagerungen im Kamin
(n. d.: nicht durchgeführt)

Um den **Endotoxin**-Gehalt der Abluft zu ermitteln, wurden bei den Messkampagnen I – IV im Roh- und Reingas die luftgetragenen Endotoxine im Gesamtstaub mittels Emissions-Impingern erfasst (Abb. 59). Ferner wurde der Endotoxingehalt in den Staubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} der Feinstaub-filterproben ermittelt (Abb. 61).

Die Endotoxingehalte der Abluft waren gegenüber den typischen Gehalten in Außenluft (0,75 – 1,99 EU/m³ [3]) deutlich erhöht, lagen aber mit maximalen Konzentrationen von 852 EU/m³, gemessen im PM₁₀-Anteil des Rohgases, beziehungsweise 303 EU/m³ im PM₁₀-Anteil des Reingases in den üblichen Größenspannen, die in früheren Jahren bei einer Zuchtsauenanlage [43] gemessen wurden. Die Minderung der Endotoxingehalte von Rohgas zu Reingas schwankte während der vier Messkampagnen. In Messkampagne I (14.01.2014) lag der Wirkungsgrad der Abscheidung bei 85 % (Impingement, Abb. 60), beziehungsweise bei 79 % in der PM₁₀-Fraktion und bei 98 % in der PM_{2,5}-Fraktion (Abb. 62). In den Messkampagnen II (06.05.2014) und III (22.07.2014) enthielt die beprobte Abluft sowohl für Gesamtstaub als auch Feinstaub reingasseitig nahezu gleiche beziehungsweise höhere Endotoxingehalte als die beprobte Abluft im Rohgas. Hier kam es durch die erhöhte Luftrate mit höhe-

ren Staubkonzentrationen sicherlich zu einer schlechteren Abscheidung. Dies bestätigen auch die Abscheidegrade von Gesamtstaub (Abb. 64). Eventuell kam es auch zum Austrag von Biofilmmaterial durch Mitreißen mit dem Abluftstrom. Insgesamt sind die Unterschiede aber gering und auf niedrigem Emissionsniveau, sodass hier eventuell auch der Einfluss der Messunsicherheiten zum Tragen kommt.

Auffällig ist, dass der Endotoxingehalt im Gesamtstaub (Impinger) durchwegs deutlich geringer ist, als in der Feinstaubfraktion (Filter) allein, obwohl die Messungen zeitgleich durchgeführt wurden. Dies begründet sich vor allem durch:

- die Inhomogenität der Abluft
- die unterschiedlichen Probenvolumina der beiden Sammelsysteme
- die Heterogenität der endotoxinhaltigen Partikel (manche Partikel werden geringe, andere dagegen sehr hohe Endotoxingehalte haben).

Zudem haben die Probenahmesysteme Einfluss auf die Nachweisbarkeit der Endotoxinmoleküle. Beim Impingement können die partikelgebundenen Endotoxine intensiv mit anderen Partikeln interagieren; je nach Art der Partikel können Endotoxine verstärkt in Lösung gehen und/oder mit anderen Partikeln agglomerieren. Bei der Abscheidung auf Filtern können Endotoxin-haltige Partikel (z. B. Bakterienzellen) in kleinere Strukturen zerfallen. Bei der anschließenden Filterextraktion würde man dann höhere Konzentrationen gelöster Endotoxine erhalten. Beim enzymatischen Nachweis der Endotoxine können nur jene Endotoxinmoleküle erfasst werden, die mit dem Enzymsystem interagieren können. In Partikeln eingeschlossene Endotoxinmoleküle sind für das Enzymsystem des Nachweiskits (und die Rezeptoren in der menschlichen Lunge) nicht zugänglich.

Derzeit ist unbekannt, ob die Ergebnisabweichungen vor allem die Folge unterschiedlicher Probenahmesysteme oder aber Folge inhomogener Abluft sind. Deshalb wäre zu empfehlen, Doppelbestimmungen durchzuführen und eventuell höhere Luftvolumina abzusaugen. Im Projekt war die Endotoxinbestimmung an die Probenahmezeit der Bioaerosole gekoppelt, um einen direkten Vergleich zu erhalten. Da es sich bei Endotoxinen aber nicht um kultivierbare Bakterien handelt, sondern um Zellmembranfragmente, wäre eine Entkoppelung von der zeitlich limitierten Bioaerosolprobenahme durchaus sinnvoll. Hierbei könnten durch längere Absaugzeiten größere Mengen abgeschieden werden, was die Genauigkeit der Bestimmung deutlich verbessern dürfte. Dies ist insbesondere bei weniger staubintensiven Tierhaltungen von Bedeutung.

In Messkampagne IV (23.09.2014) lag die Reduzierung der Endotoxinkonzentrationen im Gesamtstaub (Impingement) mit 82 % in vergleichbarer Höhe wie bei Messkampagne I. Die rohgasseitige Ausgangskonzentration von 82 EU/m³ (Abb. 59) liegt aber deutlich unter dem Wert der Messkampagne I, was hauptsächlich durch den erhöhten Volumenstrom verursacht wird. Dagegen wurden für die Feinstaubfraktionen in Messkampagne IV geringe Abscheidegrade für Endotoxine ermittelt. Insgesamt lag aber die Endotoxinkonzentration mit maximal 247 EU/m³ (PM₁₀-Gehalt) beziehungsweise 54 EU/m³ (PM_{2,5}-Gehalt) rohgasseitig bereits niedrig.

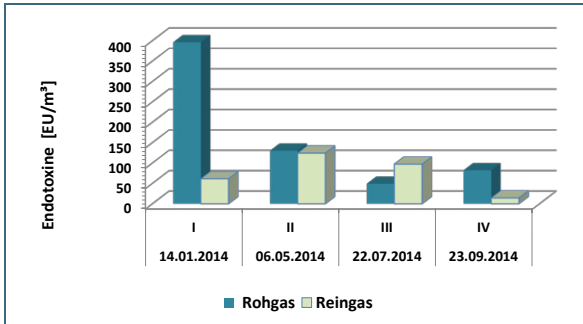


Abb. 59: Konzentrationen an Endotoxinen im Gesamtstaub (Impingement) von Roh- und Reingas

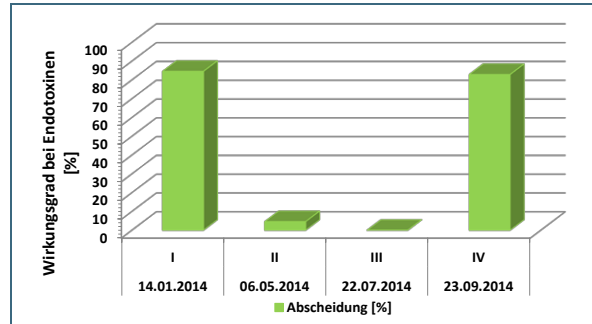


Abb. 60: Abscheidewirkungsgrade bei Endotoxinen im Gesamtstaub (Impingement)

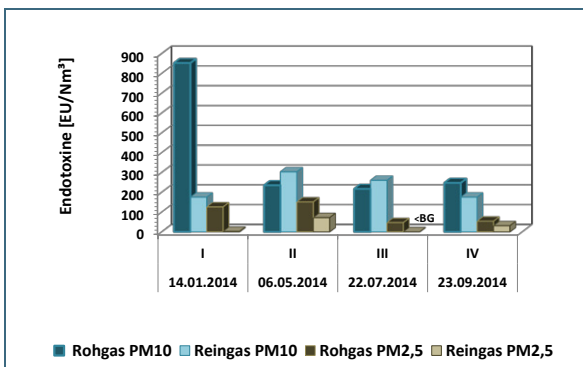


Abb. 61: Konzentrationen an Endotoxinen im Feinstaub PM_{2,5}, PM₁₀ von Roh- und Reingas

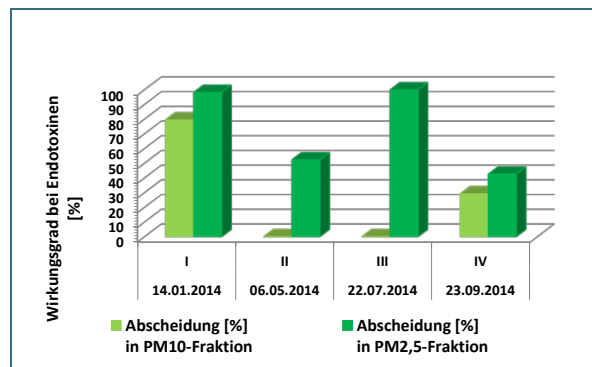


Abb. 62: Abscheidewirkungsgrade bei Endotoxinen im Feinstaub (Filter PM_{2,5}, PM₁₀)

Durch die natürliche Verdünnung über die Kaminableitung ist bei den vorliegenden Konzentrationen nicht davon auszugehen, dass eine Erhöhung der natürlichen Hintergrundbelastung immissionsseitig noch erfasst werden kann.

Eine Zusammenstellung der Endotoxin-Einzelwerte befindet sich im Anhang, Tab. 33 bis Tab. 35.

4.2.6.3 Staub

Die **Gesamtstaubkonzentrationen** variierten bei den fünf Messkampagnen **rohgasseitig** zwischen 2,8 und 5,7 mg/m³ und lagen **reingasseitig** zwischen 1,2 und 3,2 mg/m³ (Abb. 63). Für die einstreulose Zuchtsauenhaltung sind dies plausible Werte. Die im Reingas erfassten Werte liegen deutlich unter der allgemeinen Emissionsbegrenzung nach Nr. 5.2.1 TA Luft von 20 mg/m³.

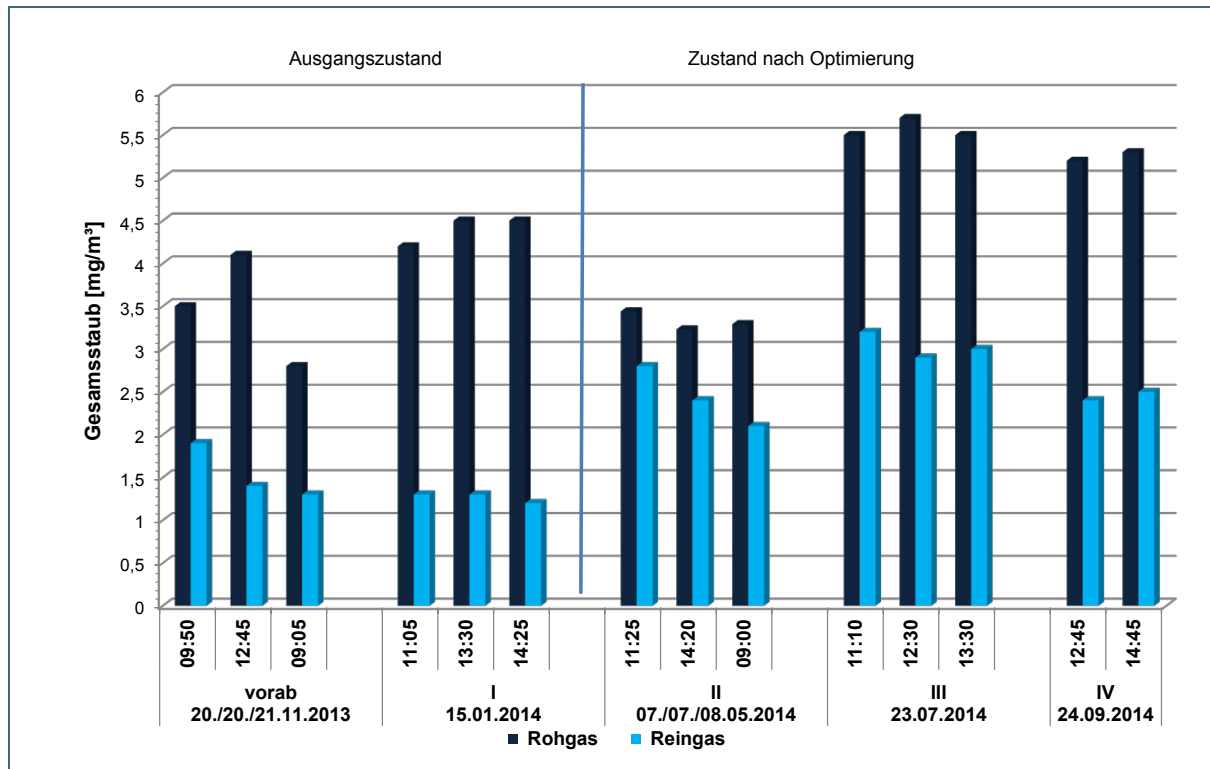


Abb. 63: Gesamtstaubkonzentrationen im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Die Abscheidegrade liegen je nach Volumenstrom beziehungsweise Konzentrationshöhe zwischen 19 und 73 % (Abb. 64).

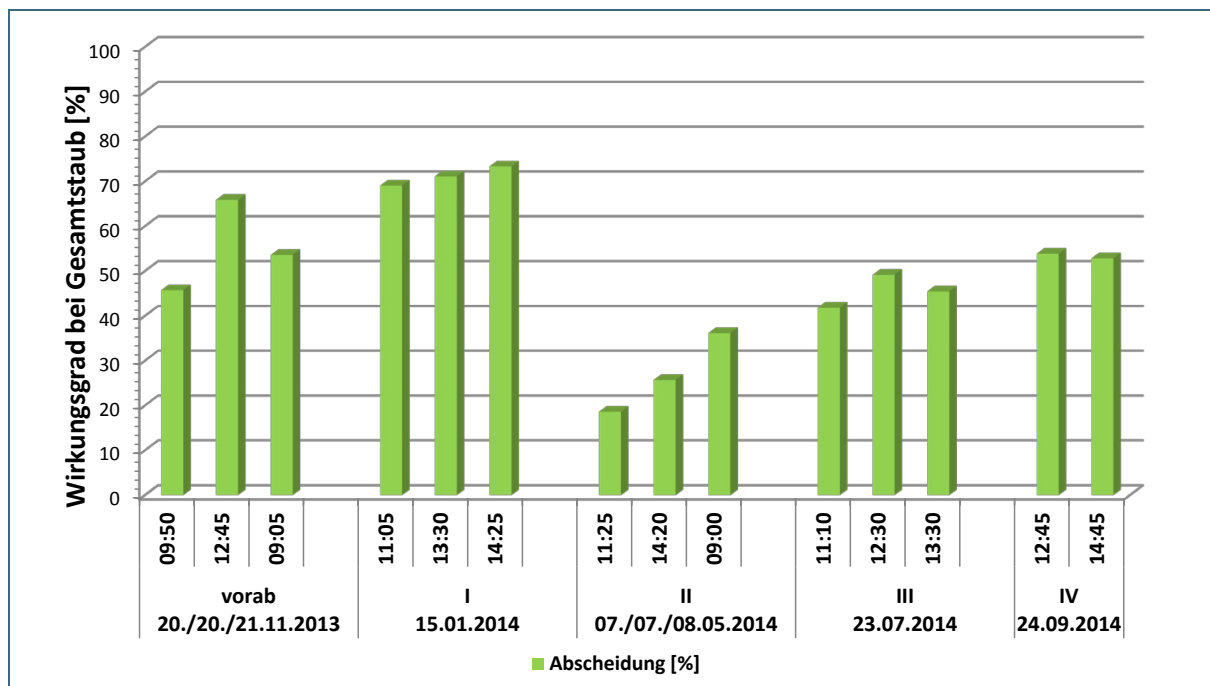


Abb. 64: Abscheidewirkungsgrade bei Gesamtstaub

Bei der **Feinstaubfraktion PM₁₀** ergaben sich Werte für das Rohgas von < 0,6 bis 2,2 mg/m³. Im Reingas lagen die Werte im Bereich zwischen < 0,1 und 0,8 mg/m³.

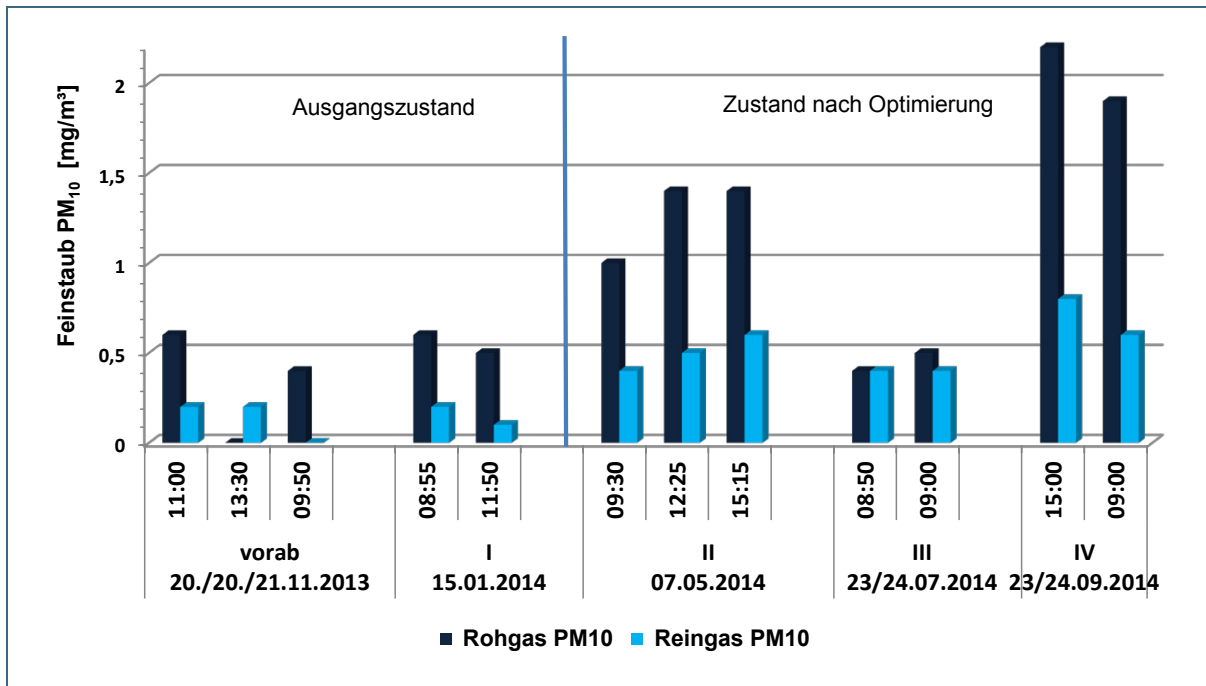


Abb. 65: Feinstaubkonzentrationen der PM₁₀-Fraktion im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Bei der alveolengängigen Fraktion PM_{2,5} wurden im Rohgas Werte zwischen < 0,1 und 0,8 mg/m³ ermittelt. Im Reingas lagen die Werte in einem Bereich zwischen < 0,1 und 0,3 mg/m³.

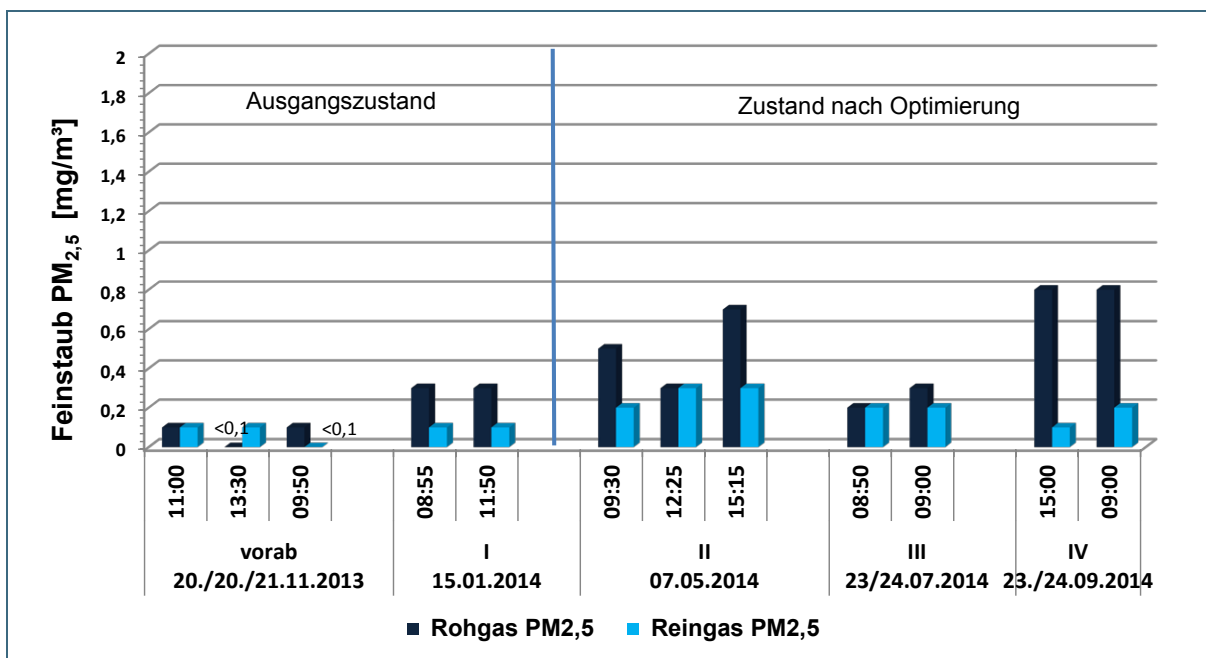


Abb. 66: Feinstaubkonzentrationen der PM_{2,5}-Fraktion im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für Gesamtstaub und Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) an der Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage befindet sich im Anhang, Tab. 36 bis Tab. 38.

4.2.6.4 Ammoniak

Der Rohgasgehalt von Ammoniak variierte bei den Messkampagnen zwischen 8,3 und 36,1 mg/m³. Reingasseitig lag er zwischen 0,1 und 7,4 mg/m³. Die im Reingas ermittelten Werte liegen deutlich unter dem Grenzwert von 30 mg/m³ nach Nr. 5.2.4 der TA Luft. Im Stall lagen die Konzentrationen im Sommer bei circa 3 mg/m³, im Herbst stiegen sie auf circa 7 mg/m³ (gemessen mit Prüfröhrchen) an. Die Anforderungen der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung [44] von 14 mg/m³ (20 ppm) waren damit deutlich eingehalten. In Abb. 67 sind die ermittelten Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas dargestellt.

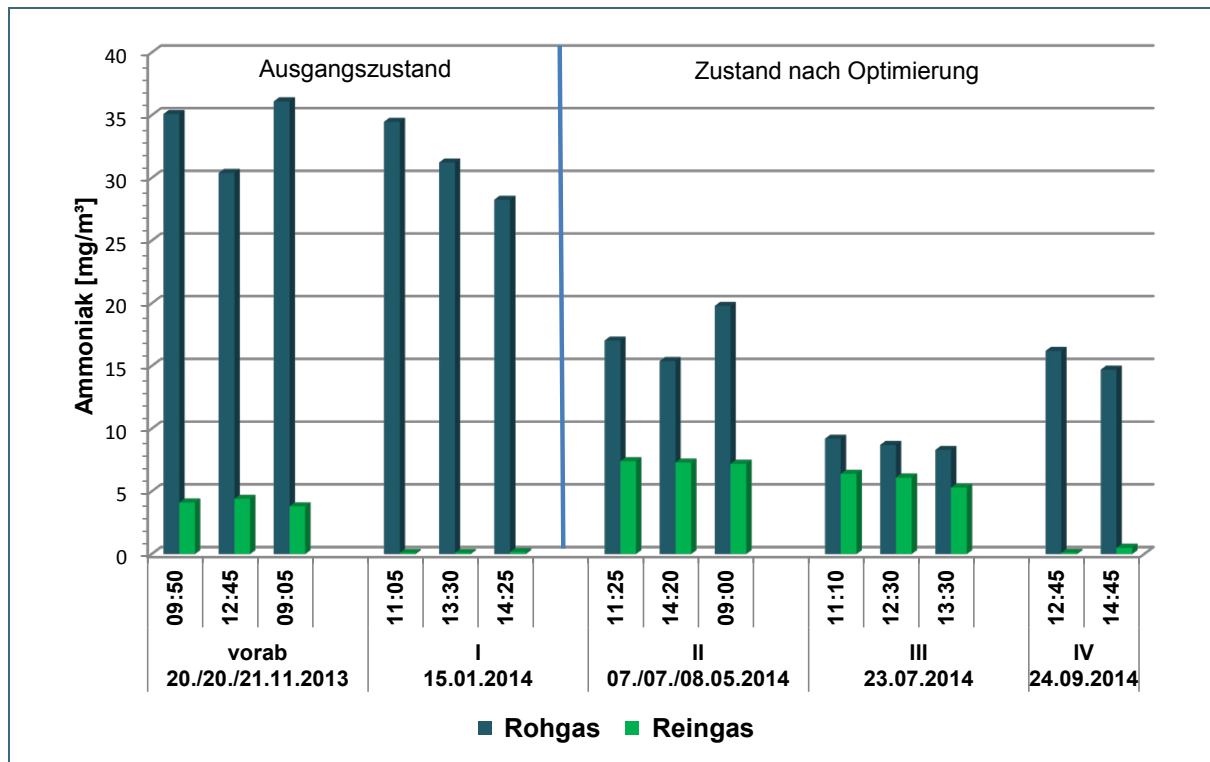


Abb. 67: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas des Rieselbettreaktors

Für die Abscheidegrade resultieren daraus Werte zwischen 29 und 99,9 % (siehe Abb. 68).

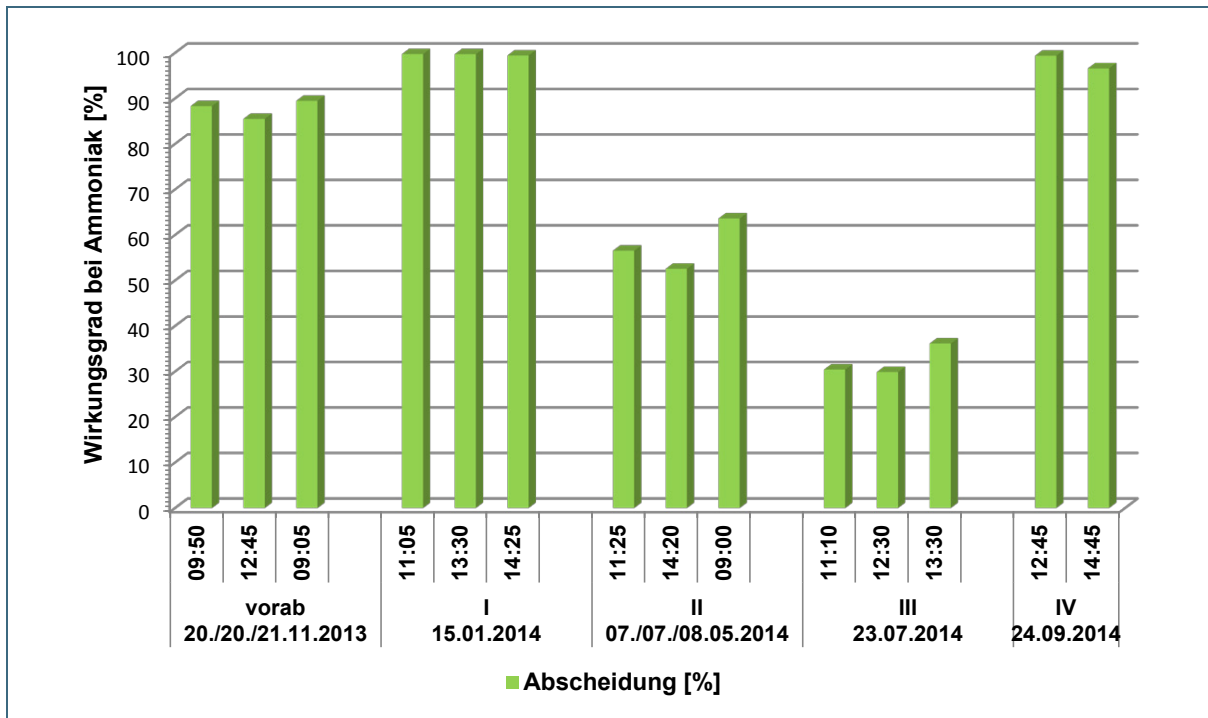


Abb. 68: Abscheidewirkungsgrade bei Ammoniak

Bei den Rohgasströmen ist deutlich erkennbar, dass durch geringe Luftwechselraten im Winter die Konzentrationen ansteigen. Trotzdem kam es gerade in diesen Monaten zu sehr niedrigen Reingaswerten, während diese in den Sommermonaten trotz Optimierungsmaßnahmen und niedrigen Ausgangskonzentrationen zum Teil doppelt so hoch liegen. Ausnahme bildet die letzte Kampagne im Herbst. Ein Blick auf die Gesamtfrachten zeigt (Abb. 69), dass die abgereinigte Menge an Ammoniak nicht unbedingt mit der Ausgangsfracht zusammenhängt.

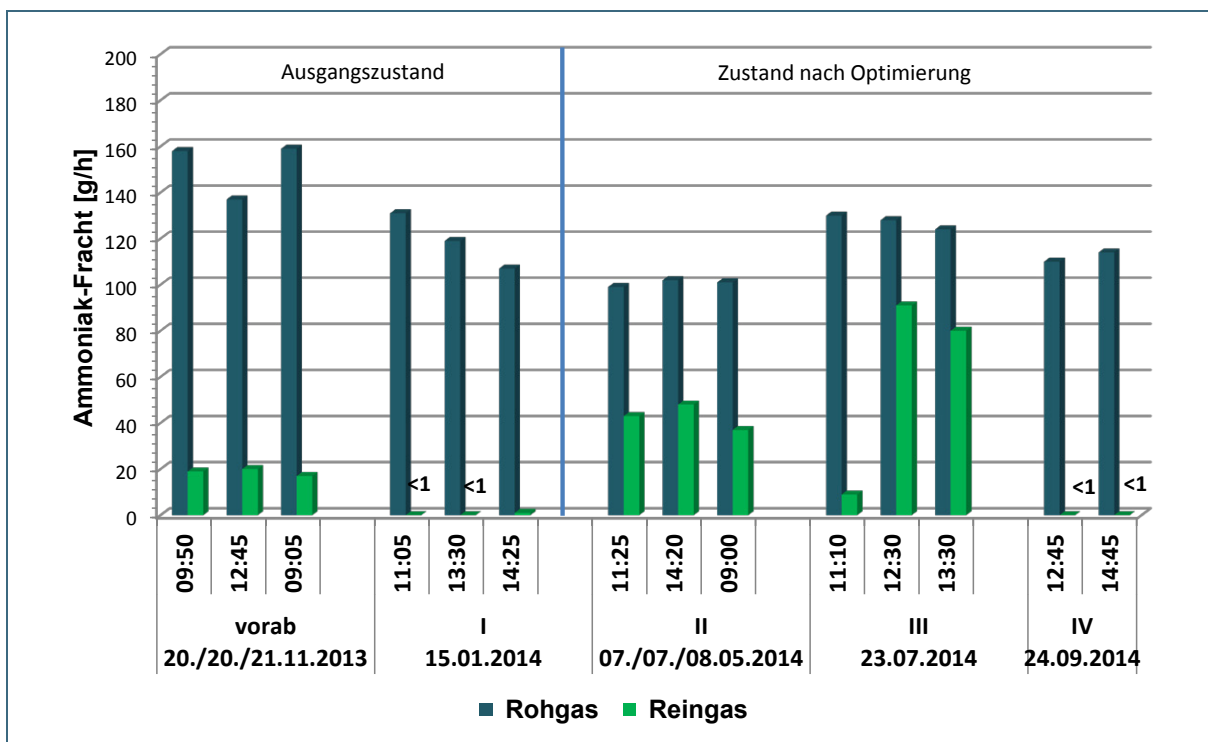


Abb. 69: Ammoniakfrachten im Roh- und Reingas zu den Messkampagnen des Rieselbettreaktors

Es wurde daher versucht einen Zusammenhang der Abscheideleistung und Verweilzeit im Filtersystem darzustellen (Abb. 70). Mit einem Korrelationsfaktor von 0,67 zeigt sich hier erwartungsgemäß ein Zusammenhang.

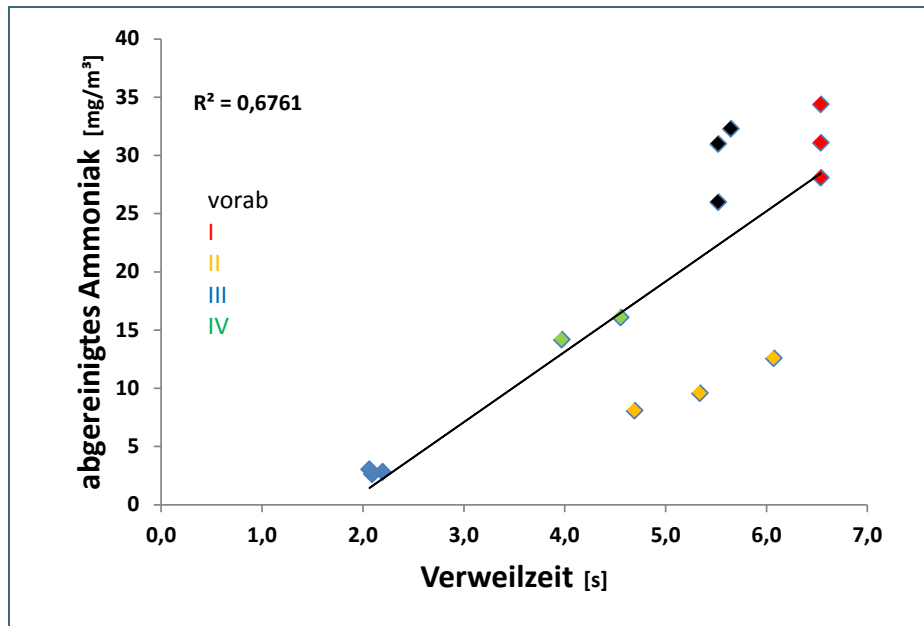


Abb. 70:
Abgereinigtes Ammoniak in Abhängigkeit von der Verweilzeit im Rieselbettreaktor

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für Ammoniak an der Abgasreinigungsanlage der Zuchtsauenanlage befindet sich im Anhang (Tab. 39).

4.2.6.5 Wäscherwasseruntersuchungen

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Abgasreinigungsanlagen im Tierhaltungsbereich hat das Thünen-Institut für Agrartechnologie in Zusammenarbeit mit dem Landkreis Cloppenburg diverse Protokolle zu Check-up-Messungen beziehungsweise Funktionsmessungen für Rieselbettreaktoren, Biofilter oder mehrstufige Anlagen erstellt [24]. Dabei werden die für die Emissionen relevanten Parameter anhand eines „Ampel-Verfahrens“ bewertet. Liegen die gemessenen Werte im Sollbereich, so erhalten sie die Farbe grün. Messwerte, die sich im Toleranzbereich bewegen, sind gelb markiert. Farblich rot gekennzeichnet werden Parameter und Messwerte, die außerhalb des Toleranzbereiches liegen.

Mit der **Leitfähigkeit** (LF) kann der Salzgehalt (z. B. NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) im Wäscherwasser qualitativ bestimmt werden. Laut [24] soll die Leitfähigkeit im Regelfall unter 20 mS/cm betragen, da bei einer Salzgehaltsteigerung über ein zulässiges Maß hinaus mit einer gasförmigen Freisetzung aus dem Waschwasser zu rechnen ist. Dabei handelt es sich bei hohen **pH-Werten** um Ammoniak (NH_3) und bei niedrigen pH-Werten um nitrose Gase (NO und NO_2).

Seit Einbau der pH-Wert-Sonde und der Leitfähigkeits-Sonde am 27.11.2013 erfolgte der Betrieb des Rieselbettreaktors mit automatischer, über die Leitfähigkeit gesteuerter Abschlammung. Steigt die Leitfähigkeit im Wäscherwasser über 17,4 mS/cm an, geht die Abschlammpumpe in Betrieb und schlämmt das Prozesswasser in die Güllegrube ab, bis ein unterer Wert von 12,6 mS/cm sich eingestellt hat. Aus Sicherheitsgründen ist zusätzlich eine Abschlammung einmal wöchentlich montags für jeweils 5 Minuten einprogrammiert. Die Nachspeisung mit Frischwasser wird über einen Schwimmer im Waschwassersumpf geregelt.

Am 8. Mai 2014 wurden die Messsonden für den pH-Wert und die Leitfähigkeit neu kalibriert.

Insgesamt wurden 21 Waschwasserproben bei den Messkampagnen entnommen, untersucht und mit der pH-Wert-Anzeige beziehungsweise der Leitfähigkeits-Anzeige am Lüftungscomputer ab Einbauzeitpunkt (27.11.2013) verglichen.

Einen Vergleich der im eigenen Labor auf pH-Wert und Leitfähigkeit analysierten Waschwasserproben mit den vor Ort an der Anlage angegebenen Werten zeigen Abb. 71 und Abb. 72. Anhand der Vergleichsdaten vom Januar 2014 (Messkampagne I) wurde der Defekt der Leitwertsonde festgestellt. Nach Austausch der Leitfähigkeits-Sonde im März 2014 konnte bei allen weiteren Messungen eine gute Übereinstimmung zwischen den Laborwerten und den Betriebsmesswerten festgestellt werden.

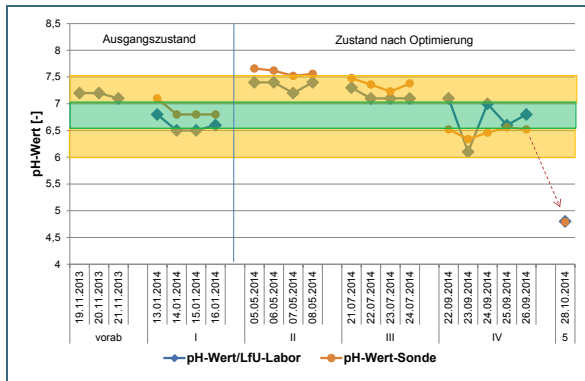


Abb. 71: Vergleich des pH-Wertes zwischen Laborauswertungen und Messsonden-Anzeigen

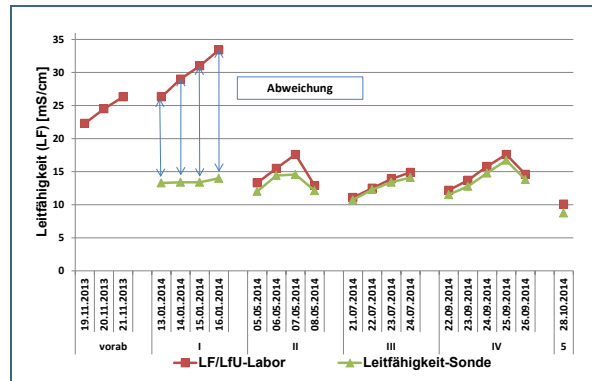


Abb. 72: Vergleich der Leitfähigkeit zwischen Laborauswertungen und Messsonden-Anzeigen

Im elektronischen Betriebstagebuch wurden die pH-Werte und die Leitfähigkeit dokumentiert. Die hohen pH-Werte bei Messung II und III decken sich mit der geringen Abscheideleistung (Abb. 68), die für gasförmiges Ammoniak im alkalischen Bereich deutlich verringert ist. In der Messkampagne 5 am 28.10.2014 konnten bei pH-werten zwischen 4 und 5 reingasseitig keine Ammoniakkonzentrationen mehr gemessen werden (Prüfröhrchen).

Stickstoff-Konzentrationen im Wäscherwasser

Ein Vergleich der Ammoniumgehalte im Wäscherwasser aus dem Sumpf mit den im Wäscherwasser aus den Düsen oberhalb der Füllkörper zeigt eine gute Übereinstimmung der Werte (Abb. 73).

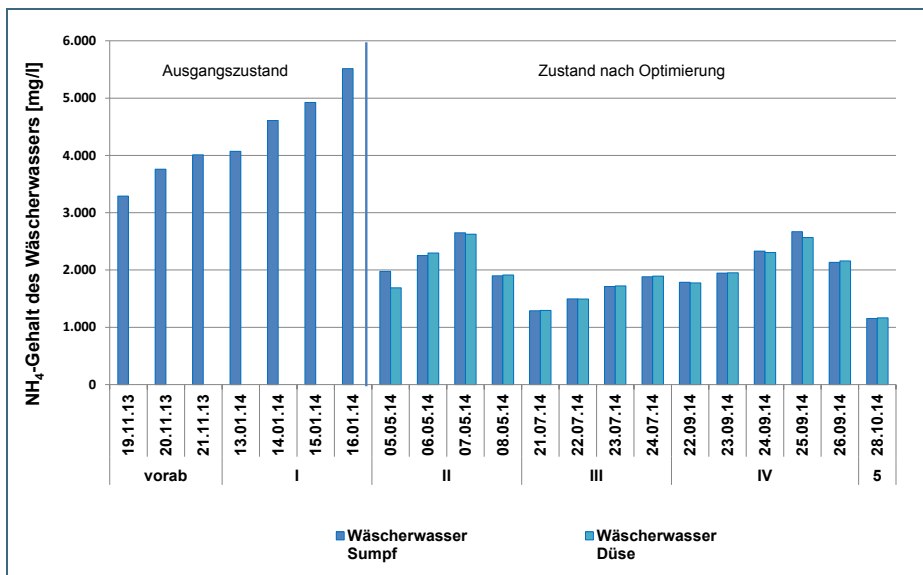


Abb. 73: NH₄-Gehalt des Wäscherwassers

In Abb. 74 sind die Stickstoffkonzentrationen von Ammonium, Nitrit und Nitrat im Waschwasser dargestellt. Es zeigt sich, dass die hohen NH_4^+ -Konzentrationen zwischen 3.200 und 5.600 mg/l des Wäscherwassers bei den Messkampagnen vorab und I (Ausgangszustand) sich ab Messkampagne II – nach Einbau der automatischen über die Leitfähigkeit gesteuerten Abschlammung – auf ein niedrigeres Niveau von circa 2.000 mg/l NH_4^+ absenkten. Im Vergleich zu Literaturwerten ist dies eine tolerable Konzentration.

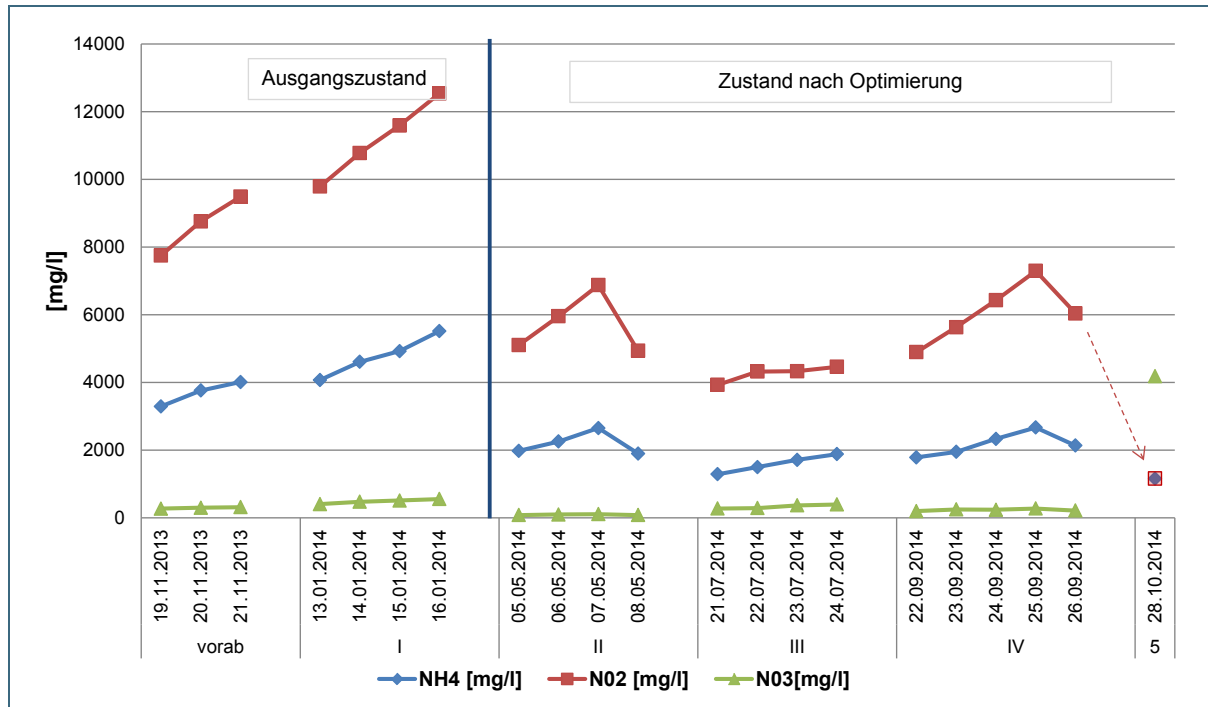


Abb. 74: Stickstoffkonzentration vom Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) im Waschwasser (Sumpf) mit deutlichem Anstieg von Nitrat und Rückgang von Nitrit (Pfeil) am 28.10.2014

Die NO_2^- -Konzentrationen im Waschwasser waren bei den Messkampagnen vorab und I (Ausgangszustand) mit Werten in Höhe von 7.700 bis zu 12.500 mg/l sehr hoch. Auch hier ist bei den Messkampagnen II bis IV (Zustand nach Optimierung) eine Konzentrationserniedrigung erkennbar. Die empfohlenen Konzentrationswerte von unter 1.500 mg/l [2] werden jedoch nur bei der Waschwasserprobe der fünften Geruchsmessung (28.10.2014), bei der zuvor sämtliche Güllekanäle in den Ställen geleert wurden, mit einem Konzentrationswert von 1.100 mg/l NO_2^- erreicht. Die hohen Nitritwerte könnten vermutlich durch die erhöhten Ammoniakfrachten der Unterflurabsaugung bedingt gewesen sein, wodurch sich die Nitratbildung eventuell hemmt. Dies wurde auch bei anderen einstufigen Rieselbettreaktoren beobachtet. Hohe Nitritkonzentrationen sollten zur Vorsorge gegen Stickstoffdioxidfreisetzung vermieden werden. Zur pH-Wert Stabilisierung wird eine Dosierung von Alkalien empfohlen [24]. Im Reingas waren **Stickoxide** meist in den Kampagnen mit niedrigen Volumenströmen quantitativ messbar (vorab, I und IV). Dabei dominierte häufig NO , in den Sommermonaten aber auch gelegentlich Stickstoffdioxid. Die Nachweisgrenze des Messverfahrens liegt bei circa 5 mg/m³ jeweils für NO und NO_2 . Diese wurde nur teilweise erreicht oder überschritten. Die höchsten belastbaren Tagesmittelwerte lagen für Stickstoffmonoxid bei 6,5 mg/m³ und für Stickstoffdioxid bei 5,5 mg/m³. Bezogen auf NO_x traten dabei meist Werte um circa 10 mg/m³ auf. Lachgasbildung war nicht nachweisbar ($\text{NG} < 5$ mg/m³, alle gemessenen Werte gingen gegen Null). In Anbetracht der Anlagengröße sind daher keine relevanten Massenströme an Stickoxiden zu erwarten, die im Schnitt weit unter einem Prozent des Bagatellmassenstroms der TA Luft (Tab. 7 Nr. 4.6.1: 20 kg/h) liegen.

Bei den NO_3^- -Konzentrationen im Waschwasser wurden bei den Messkampagnen vorab und I (Ausgangszustand) Werte im Bereich von 270 bis 560 mg/l gemessen. In Messkampagne II wurden meist Konzentrationen von weniger als 100 mg/l erreicht. Bei den Messkampagnen III und IV lagen die Werte in einem Konzentrationsbereich von circa 200 bis 300 mg/l. Die Waschwasserprobe bei der fünften Geruchsmessung (28.10.2014) weist dagegen mit 4.200 mg/l einen sehr hohen Konzentrationswert auf. Die Gründe wurden unter Punkt 4.2.6.1 bei Geruch, Messung 5, diskutiert. Wichtig erscheint hier, dass neben der automatischen Steuerung der Leitfähigkeit auch eine Alarmfunktion für pH-Werte außerhalb des tolerierbaren Bereichs installiert wird, da sonst das Milieu des geruchsreduzierenden Bakterienfilms zerstört wird.

Bioaerosol-Konzentrationen im Wäscherwasser

Die Ergebnisse zur Untersuchung des **Sumpfwäscherwassers** und **Berieselungs-Wäscherwassers** aus dem Rieselbettreaktor sind in Tab. 8 und Tab. 9 zusammengefasst.

Tab. 8: Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse vom Berieselungswasser des Rieselbettreaktors (n.d.: nicht durchgeführt, NG: Nachweisgrenze, Quelle: LGL)

Parameter	Einheit	Messtag I	Messtag II	Messtag III	Messtag IV
Koloniezahl bei 22 °C	[KBE/ml]	n.d.	4.200	2,8E+05	5.900
Koloniezahl bei 36 °C	[KBE/ml]	n.d.	4,5E+06	3,4E+06	7,7E+04
Enterokokken	[MPN*/100 ml]	522	3.872	<4.564	5.520
<i>E. coli</i>	[MPN*/100 ml]	15	<10	<NG	<NG
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	[KBE/100 ml]	<NG	<NG	<NG	<5
<i>Legionella spp.</i>	[KBE/100 ml]	<NG	<NG	<NG	<NG
<i>Clostridium perfringens</i>	[KBE/100 ml]	8	74	<NG	2.000

*) Daten stammen verfahrenstechnisch aus dem Most Probable Number (MPN)-Verfahren und werden als KBE interpretiert.

Tab. 9: Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse vom Sumpfwasser des Rieselbettreaktors (n.d.: nicht durchgeführt, NG: Nachweisgrenze, Quelle: LGL)

Parameter	Einheit	Messtag I	Messtag II	Messtag III	Messtag IV
Koloniezahl bei 22 °C	[KBE/ml]	n.d.	2,8E+06	2,1E+04	2400
Koloniezahl bei 36 °C	[KBE/ml]	n.d.	2,8E+06	2,0E+06	6,6E+04
Enterokokken	[MPN*/100 ml]	n.d.	<4.564	<4.564	7.953
<i>E. coli</i>	[MPN*/100 ml]	n.d.	<10	<NG	<NG
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	[KBE/100 ml]	n.d.	<NG	3	<5
<i>Legionella spp.</i>	[KBE/100 ml]	n.d.	<NG	<NG	<NG
<i>Clostridium perfringens</i>	[KBE/100 ml]	n.d.	54	<NG	4.000

*) Daten stammen verfahrenstechnisch aus dem Most Probable Number (MPN)-Verfahren und werden als KBE interpretiert.

In Kombination mit den Ergebnissen der Roh- und Reingasuntersuchungen ist von einer weitreichenden Abreicherung von Gesamtbakterien, aber vor allem auch von fakultativ pathogenen Mikroorganismen bei der Passage des Rieselbettreaktors auszugehen. Hierbei gehen die im Wasser ermittelten Koloniezahlen für Gesamtbakterien (höchste Werte an Messtagen II und III, vergleichsweise niedriger Wert am Messtag IV), mit den in Bioaerosolproben gemessenen Unterschieden an mikrobieller Belastung an den Messtagen einher. Von den bei Bioaerosoluntersuchungen relevanten spezifischen Parametern lassen sich insbesondere Enterokokken im Wasser des Rieselbettreaktors sehr gut nachweisen, da diese standardisiert bei Wasseruntersuchungen erfasst werden. Enterokokken oder *E. coli* waren stallseitig beziehungsweise im Rohgas zu finden, aber im Reingas deutlich reduziert beziehungsweise nicht mehr nachzuweisen.

Die in Bioaerosolproben als Leitparameter relevanten Staphylokokken sind bei Wasseruntersuchungen kein manifestierter Analyseparameter und wurden daher nicht untersucht. In Zusammenhang mit den Kulturergebnissen für diesen Parameter in den Bioaerosolproben (Vergleich Rohgas/Reingas) ist aber auch hier eine deutliche Abreicherung bei der Passage des Rieselbettreaktors zu vermuten.

Legionellen wurden standardmäßig untersucht und konnten aus keiner der untersuchten Wasserproben kultiviert werden.

Pseudomonas aeruginosa konnte im Reaktorwasser nicht oder nur in geringen Mengen nachgewiesen werden, was für den Feuchtekeim eher ungewöhnlich erscheint. Ein ähnliches Befundbild in Zusammenhang mit Wasseruntersuchungen eines Rieselbettreaktors wurde von [45] beschrieben. Es ist aber zu vermuten, dass andere Pseudomonaden Bestandteil der aktiven Biofilme in solchen Anlagen sind und im Wasser enthalten sein dürften. Gründe hierfür dürften in der spezifisch auf den humanpathogenen *Pseudomonas aeruginosa* ausgerichteten Wasseranalytik zu sehen sein, bei der andere Pseudomonaden nicht ausreichend erfasst werden.

Clostridium perfringens, der Erreger des Gasbrandes, konnte an den Messtagen II und III in geringen Mengen beziehungsweise gar nicht nachgewiesen werden. Am Messtag IV hingegen war die Konzentration im Reaktorwasser hoch und vergleichbar mit Befunden aus Abwasser. Gründe hierfür können in diesem Forschungsvorhaben aus zeitlichen Gründen aber nicht mehr eruiert werden.

4.2.6.6 Klimagase

Klimagase wurden nur reingasseitig gemessen. Während der Messkampagnen befanden sich sämtliche als Halbstundenmittelwerte angegebenen Emissionswerte von Distickstoffmonoxid stets unter der Bestimmungsgrenze der jeweiligen Messverfahren von $5,0 \text{ mg/m}^3$. Für Methan ergaben sich für die Halbstundenmittelwerte Gehalte zwischen $27,2$ und 315 mg/m^3 mit tagesdurchschnittlichen Werten über die Messzeiten zwischen $48,7$ und 143 mg/m^3 . Maßgeblich verantwortlich für die Methanemissionen sind anaerobe Abbauprozesse organischer Stoffe in der Gülle. Diese werden durch die Unterflurabsaugung über die Güllekeller über die Abgasreinigungsanlage in die Umgebung abgeführt.

4.2.7 Verbesserungsvorschläge für die Funktionstüchtigkeit der Anlage

Die Auslesung des elektronischen Betriebstagebuchs zeigte, dass allein die Steuerung durch die Leitfähigkeit nicht immer für eine ausreichende Abschlammung geeignet war. Die zeitlich getaktete wöchentliche Abschlammung stabilisierte die Waschflüssigkeit zusätzlich. Ein Ausfall der getakteten Abschlammung (Abb. 54) führte trotz Einhaltung der Leitfähigkeit zu einem starken pH-Wert-Abfall, der hohe Geruchsemissionen nach sich zog. Hier wäre es wichtig, dass entsprechende Alarmfunktionen den Ausfall der Abschlammung beziehungsweise ein Abdriften des pH-Werts anzeigen, damit der Betreiber rechtzeitig – sei es durch manuelle Alkaliengabe oder durch vermehrte Abschlammung – eingreifen kann. Inwieweit hier eine zusätzliche Laugendosierung zur Pufferung des sinkenden pH-Wertes Abhilfe gebracht hätte, kann nicht abgeschätzt werden. In jedem Fall ist jedoch eine häufige

Reinigung der Sonden von eventuellen Ablagerungen und ggf. deren Nachjustierung mit Kalibrierstandards erforderlich. Insgesamt erscheint daher für diese Anlagengröße eine zeitlich gut getaktete Abschlämmung mit entsprechender Alarmfunktion ausreichend. Dabei könnten die Wasserverbrauchswerte mit einem einfachen Wasser- oder Betriebsstundenzähler der Abschlämpumpe festgehalten werden und als Kontrolle dienen.

Wichtig ist jedoch auch, dass die Anlage so ausgelegt wird, dass sich ein Optimum zwischen maximaler Verweilzeit und minimalem Druckwiderstand ergibt. Dabei spielen die Zuluftführung und die Reinigungsintervalle im Stall eine große Rolle, da hierdurch bereits die Rohgaskonzentrationen geringer sind.

Insgesamt war es nicht gelungen, die Anlage durch die Optimierungsmaßnahmen wesentlich zu verbessern. Vielmehr funktionierte die Anlage bereits vor der Optimierung für die meisten Parameter schon sehr zufriedenstellend, was sich auch durch die fehlende Beschwerdesituation in der Nachbarschaft bestätigte. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass es sich um eine relativ kleine Zucht-sauenanlage handelte, deren Emissionspotenzial nicht mit Intensivtierhaltungen verglichen werden kann.

4.3 Schweinemastanlage mit Biofilter

Im Rahmen des Projektes wurde auch ein Biofilter untersucht, da diese Anlagen sich bei fachgerechter Auslegung und Betrieb besonders zur Geruchsreduzierung eignen. Zudem sind sie im Vergleich zu Wäschersystemen wartungsarm, relativ einfach im Aufbau und meist auch kostengünstiger. Ausgewählt wurde dabei eine Neuanlage mit zwei getrennten baugleichen Stallabteilungen. Zur Ermittlung der zusätzlichen Stromkosten wurde das Rohgas des ersten Stallabteils weiterhin ungefiltert über die Zentralkamine geführt. Nur das Rohgas des zweiten Stallabteils wurde über den neu errichteten Biofilter A geleitet. Die Mastschweine wurden im Rein/Raus-Verfahren gehalten. In Absprache mit dem Betreiber wurden die entsprechenden Messstellen und Zugänge bereits bei der Planung berücksichtigt.

Da der Filter erst im September 2014 in Betrieb ging, war es nicht möglich, den dauerhaft stabilen Betrieb zu beurteilen. Um hier Kenntnisse zu erlangen, wurden daher in Bezug auf Geruch, Ammoniak und Stickoxide zwei Messungen an einer anderen Tierhaltungsanlage (Ferkelzuchtanlage) mit einem 2012 errichteten Biofilter B (Volksbiofilter) durchgeführt.

4.3.1 Beschreibung der Schweinemastanlage

Zum Tierbestand des Schweinemastbetriebes zählen insgesamt 4.260 Mastschweineplätze, die in drei getrennten Stallgebäuden untergebracht sind. Untersucht wurde nur der Stall 3 mit 2.300 Tierplätzen im Rein/Raus-Verfahren.

Der Mastschweinstall ist in zwei symmetrisch und technisch gleich aufgebaute Stallabteile (Abteil Ost/Abteil West) aufgeteilt (Abb. 75). Ein Stallabteil bietet Platz für jeweils 1.150 Mastschweine, die alle den gleichen Gewichtsverlauf haben. Die beiden Stallabteile unterscheiden sich nur im Einstellzeitpunkt. Jedes Stallabteil ist wiederum in vier Tierhaltungsbereiche mit jeweils rund 290 Mastschweinen aufgeteilt. An das Stallgebäude gliedert sich nördlich der Biofilter A an, der zunächst nur für die Hälfte des Tierbestandes des Stalles (Abteil West) mit einer Filterfläche für 1.150 Mastschweine ausgerüstet ist und am 30. September 2014 in den Testbetrieb ging. Der Einbau des Filters erfolgte auf freiwilliger Basis des Betreibers, da die nächste Wohnbebauung ausreichend weit entfernt war. Auch ohne Filter sind von der Anlage keine schädlichen Umwelteinwirkungen zu erwarten.

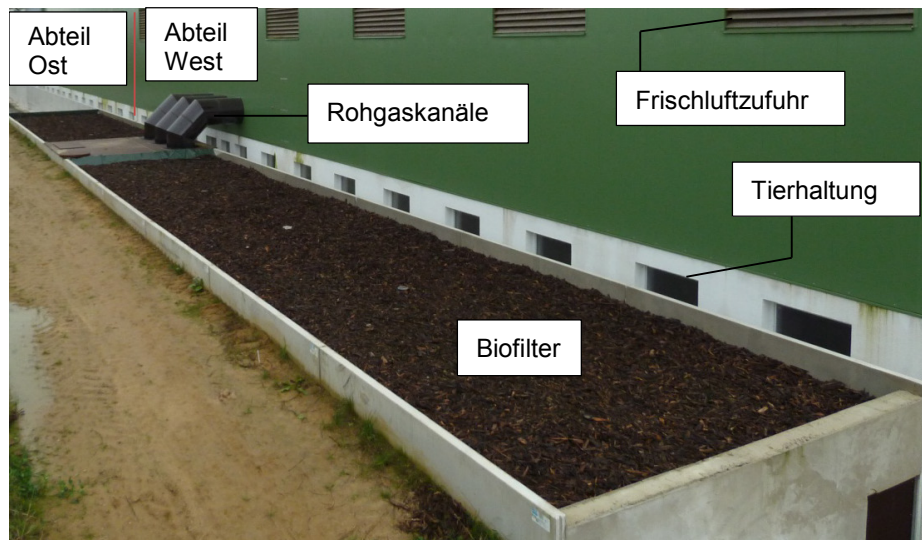


Abb. 75:
Nordansicht Stallgebäude mit Biofilter A am Abteil West

Die Ferkel werden mit einem Anfangsgewicht von 25 bis 30 kg eingestallt und bis zu einem Endgewicht von 110 bis 120 kg gemästet. Die Haltung erfolgt auf Vollspalten im Rein/Raus-Verfahren. Die maximale **Besatzdichte** beträgt $0,82 \text{ m}^2/\text{Tierplatz}$.

In drei Mastabschnitten wird die **Fütterung** an die jeweiligen Tiergewichte angepasst (Mehrphasen-Flüssig-Fütterung). Als Futtermittel werden Getreide, CCM (Corn-Cob-Mix), Sojaschrot und Mineralfutter eingesetzt. Diese werden mit Wasser zu einem Brei angerührt, der dann in die Futtertröge in den Ställen gepumpt wird. Die Futteraufbereitung erfolgt in den Nebenräumen der bestehenden Ställe. Die Abteile werden nach jeder Mastperiode gereinigt und **desinfiziert**. Mit einem Kaltnebelgerät wird Desinfektionsmittel aufgebracht. Nach Einweichung und Antrocknung wird gereinigt und der Boden abschließend noch einmal desinfiziert. Die Lüftungsanlage ist während der Reinigung außer Betrieb. Eine **Antibiotikagabe** erfolgt nach Bedarf (circa 1 mal pro Jahr und Stallabteil), meist zu Beginn (in den ersten 14 Tagen) der Mast. Während der Messkampagnen wurde kein Antibiotikum verabreicht.

Pro Jahr können laut Betreiberangaben etwa drei Mastdurchgänge erzielt werden. Die Tierverluste schwanken nach Betreiberangaben zwischen 0,5 und 2 % im Jahr.

Der anfallende Flüssigmist wird in Güllekanälen unter dem Stallboden mit Spalten gelagert und von dort direkt in die Güllegruben eingebracht. Sämtliche Güllegruben sind mit einer Abdeckung versehen.

Lüftung. Die Be- und Entlüftung der Ställe erfolgt Temperatur- und Feuchte-gesteuert über Unterdruck-Zwangsbe- und -entlüftungsanlagen. Die Mindestluftrate nach DIN 18910 [46] ist durch die tatsächliche maximale ausgelegten Luftrate deutlich überschritten. Der Betreiber weist darauf hin, dass durch großzügige Dimensionierung der Luftleistung (Einbau mehrerer Ventilatoren, die nicht auf 100 % Auslastung fahren) circa 1/3 der Stromkosten eingespart werden können. Hierzu liegt ihm der direkte Vergleich mit den benachbarten Stallungen vor, die zum Teil die geforderte minimale Lüftungsauslegung nach DIN 18910 aufweisen. Wichtig beim Betrieb eines Biofilters ist der Einbau von druckstabilen Ventilatoren. Dabei sollten nach Erfahrungen des Betreibers maximal 90 % der Leistung ausgenutzt werden, da circa 1/3 des gesamten Stromverbrauchs bei Vollast durch die letzten 10 % der Auslastung verbraucht werden (9 Ampere pro Ventilator bei 100 % Auslastung, bei unter 90 % Auslastung bis circa 5 Ampere).

4.3.2 Beschreibung des Biofilters

Der vom Betreiber in Eigenleistung und -regie erbaute **Biofilter A** verfügt über ein Gesamfiltervolumen von 160 m^3 . Der Filter wurde in Betonbauweise (Bodenwanne aus L-Betonprofilen aus dem Silagebau) errichtet. Über einem Freiraum von circa 1,20 m (Druckkammer) wurde der Innenaufbau in

Form einer Holzträgerkonstruktion (Abb. 77), abgedeckt mit Geotextil, ausgeführt. Der Biofilter ist links- und rechtsseitig der Abgaskamine (Abb. 76) in zwei Filterflächen (4,5 x 14,1 m² und 4,5 x 21,5 m²) aufgeteilt, dazwischen befindet sich der Druckkammereintritt der Rohgaskanäle. Das Filterbett ist 75 cm hoch mit gerissenem Wurzelholz befüllt (Abb. 78), die Abluft durchströmt dieses von unten nach oben. Die Bewässerung erfolgte noch manuell bzw. zeitgesteuert per Sprinkleranlage (ca. 2,5 m³/d), eine Regelung per Feuchtfühler sollte eingebaut werden. Dies wurde aber bis zum Ende des Forschungsvorhabens vom Betreiber noch nicht umgesetzt.



Abb. 76: Unbefüllter Biofilter mit drei Zuluftkanälen im vertikalen Druckkammerbereich

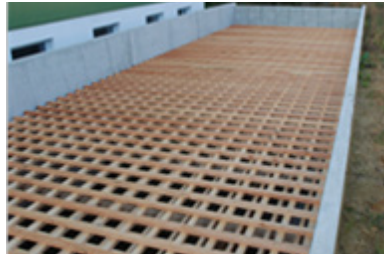


Abb. 77: Holzgitterkonstruktion der rechten noch unbefüllten Filterfläche des Biofilters



Abb. 78: Mit gerissenem Wurzelholz befüllter Biofilter A

Die Abluft aus dem östlich gelegenen Stallabteil mit vier Einzelstallbereichen wird über Ventilatoren in den Abluftsammelkanal gesaugt und über vier Dachkamine in die Umgebung abgeleitet.

Aus dem westlich gelegenen Stallabteil wird die Abluft aus den vier Einzelstallbereichen mit Hilfe der Unterdruckzwangsbe-/entlüftungsanlage über Ventilatoren in den zentralen Abluftsammelkanal gesaugt und über den seitlich entlang des Stallgebäudes errichteten Biofilter A beziehungsweise bei hohem Lüftungsbedarf (Sommerlüftung) parallel dazu ein Teilstrom über vier Dachkamine in die Umgebung abgeleitet.

Aufgrund der jahreszeitlich bedingten kühlen Witterungsverhältnisse wurde während aller Untersuchungskampagnen das Abgas zu 100 % über den Biofilter geführt und die Dachkamine waren nicht in Betrieb (keine Bypassschaltung). Dies wurde mit dem Abgleich der Gesamtvolumenströme auf Plausibilität überprüft. In den kälteren Jahreszeiten war dies zudem visuell (keine Kondensation von Wasserdampf über den Kaminmündungen) sichtbar. Aus Gründen des Tierschutzes und -wohls blieb die Lüftungsanlage auch während der Messung im Regelungsbetrieb (Automatik). Die Durchströmung wurde zudem mit einer Wärmebildkamera auf Unregelmäßigkeiten überprüft (Abb. 79 und Abb. 80).



Abb. 79: Randgängigkeit durch trockene Stellen (Normalbild)

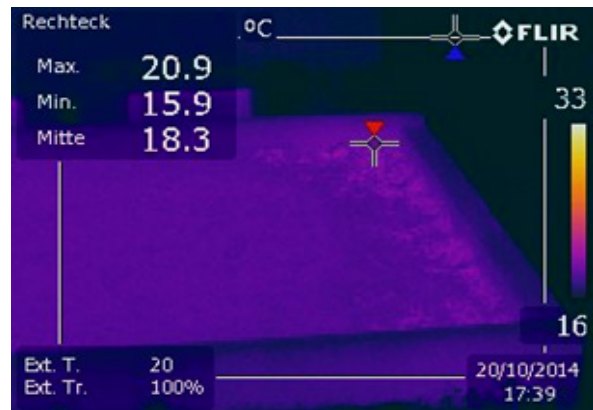


Abb. 80: Randgängigkeit durch trockene Stellen (Wärmebild)

Vergleichsmessung an einem älteren Biofilter B einer Ferkelaufzuchtanlage:

Da aufgrund der Neuerrichtung des Filters A bei der Mastschweineanlage der dauerhaft stabile Betrieb hinsichtlich Geruch im zeitlichen Rahmen des Projektes nicht beurteilt werden konnte, fanden an einer anderen Tierhaltungsanlage zwei Vergleichsmessungen an einem Biofilter B statt, der bereits im Jahre 2012 in Betrieb ging.

Es handelt sich um einen Ferkelaufzuchtstall (Tiergewichte von 7 bis 30 kg) mit 4.080 Ferkeln, dessen gesamtes Abgas über einen Biofilter (Volksbiofilter mit gerissenem Wurzelholz) gereinigt wird (Abb. 81). Bei dem Biofilter war aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Rohgasströmen keine aussagekräftige Messung im Rohgas möglich. Es wurde lediglich im Revisions-schacht der Druckkammer versucht, die dort vorhandenen Rohgaskonzentrationen zu erfassen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die sich am Boden der Druckkammer ein Sumpf gebildet hat, der unter Umständen selbst zu zusätzlichen Emissionen beiträgt. Insgesamt war der Filter ausreichend dimensioniert und verfügte über eine automatische, an Hand von Feuchtesensoren geregelte Bedüsung. Durchbrüche waren keine erkennbar.



Abb. 81:
Biofilter B eines Ferkel-
aufzuchtstalles
(4.080 Ferkelplätze)

Die Anlagendaten sowie die spezifischen Kenngrößen und der Wartungsbedarf sind im Vergleich zu beispielhaft ausgewählten Anlagen nach Literatur [47] beziehungsweise Vorgaben der VDI 3477 [19] beziehungsweise Empfehlungen der KTBL [17] in Tab. 10 zusammengestellt.

Tab. 10: Anlagendaten und spezifische Kenngrößen der untersuchten Biofilter A bzw. B und verschiedener Biofiltersysteme aus der Literatur
(Quelle: Modern Testing Services (Germany) GmbH)

A

	Neu errichteter Biofilter Schweinemast	Biofilter Ferkelaufzucht > 2 Jahre in Betrieb	Literatur VDI 3477 [18]	Literatur Hagola in [46]	Literatur Hartmann in [46]	Empfehlung KTBL [16]
Volumenstrom Sommerluft rate [m ³ /h]	90.000	224.500	142.800	142.800	142.800	
Schütthöhe Filtermaterial [m]	0,75	1,2	1,4	1	1	1
Filterflächenbelastung bei 100 % Volumenstrom [m ³ /(m ² h)]	561	438	196	440	936	≤ 250
Filterflächenbelastung bei durchschnittlicher Lüftungsrate von 47 % [m ³ /(m ² h)]	264	206	92	207	440	
Filtervolumenbelastung bei 100 % Volumenstrom [m ³ /(m ³ h)]	748	365	275	440	936	≤ 250
Filtervolumenbelastung bei durchschnittlicher Lüftungsrate von 47 % [m ³ /(m ³ h)]	352	171	129	207	440	
Verweilzeit im Filtermaterial bei 100 % Lüftungsrate [s]	5	10	26	8	4	
Verweilzeit im Filtermaterial bei 47 % Lüftungsrate [s]	10	21	55	18	8	
Biologisch aktives Filtervolumen [m ³]	120	615	519	325	153	
Standzeit des Filters [a]	bisher 11 Monate	circa 3	5 bis 8	1	keine Angabe	grobes Wurzelholz 4 bis 6
						Hackschnitzel 1 bis 3

4.3.3 Mess-/Probenahmestellen

An der Mastschweineanlage wurden zur Bestimmung der **Rohgaskonzentrationen** einer von vier Rohgasteilsträngen als repräsentativer Messplatz gewählt (Abb. 82). Dies war erforderlich, da der Sammelkanal außerordentlich groß dimensioniert war und aufgrund der kurzen Ein- und Auslaufstrecken keine geeignete Messstrecke bot. Die Zusammensetzung des Rohgases war in allen Tierhaltungsbereichen aufgrund ähnlicher Tierplatzzahlen, gleichen Tieralters, Tiergewichts sowie der gleichen Betriebsweise und technischen Ausstattung (Fütterung, Stallgröße etc.) weitgehend identisch.

Die Ermittlung der **Reingaskonzentrationen** erfolgte mit Hilfe einer Probenahmehaube [48] (Abb. 83). Die Probenahmehaube mit einem aufgesetzten, rechteckigen Kaminrohr bestand aus verzinktem Stahlblech. Mit der Haube wurde auf dem Biofilterbett eine Grundfläche von 1,00 m² abgedeckt.

Der quadratische Kamin der Probenahmehaube mit Innenabmessungen von 21 × 21 cm verfügte über drei Messöffnungen, die parallele Probenahmen und Messungen im Reingas ermöglichten.

Der **Abgasvolumenstrom** der Gesamtanlage wurde durch kontinuierliche beziehungsweise diskontinuierliche Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten beziehungsweise Strömungsgeschwindigkeitsprofile im Rohgaskanal unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der bauseits vorhandenen Rohgaskanäle (4 Stück) ermittelt. Die im Rahmen der Vorprüfungen des Biofilters auf homogene Durchströmung auf 10 % der Filterfläche durchgeführten Strömungsgeschwindigkeitsmessungen mit Hilfe der Messhaube wurden aufgrund der sehr geringen Anzeigewerte und möglicher Fehler (z. B. Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit bei Windzug infolge Kamineffekt) als zu ungenau erachtet und für die Bestimmung des Abgasvolumenstroms der Gesamtanlage nicht herangezogen.

Des Weiteren wurden zur Plausibilitätsprüfung die mit Messungen im Rohgaskanal ermittelten Volumenströme mit den Aufzeichnungen des Lüftungscomputers verglichen.



Abb. 82: Rohgasprobenahmestelle



Abb. 83: Reingasprobenahmestelle

4.3.4 Messtermine

In Tab. 11 sind die Messtermine der an den beiden Biofiltern (A Neuanlage / B seit > 2 Jahren in Betrieb) durchgeführten Messungen chronologisch aufgeführt.

Tab. 11: Messtermine am Biofilter A (Neuanlage) eines Schweinemastbetriebes und am Biofilter B (seit > 2 Jahren in Betrieb) eines Ferkelaufzuchtbetriebes

Datum	Biofilter Schweinemastanlage Neuanlage		Biofilter Ferkelaufzuchtbetrieb seit > 2 Jahren in Betrieb	
	Messkampagnen (gasförmige Stoffe, Staub und Bioaerosole) / Probenahmen	Geruchsmessungen	Messkampagnen (Vergleichsmessungen Ammoniak und Stickoxide) / Probenahmen	Geruchsmessungen
26.09.2014				Messung 1
30.09. bis 01.10.2014			Ammoniak und Stickoxide	
20.10. bis 24.10.2014	Messkampagne I			
30.10.2014		Messung 1		
17.11. bis 20.11.2014	Messkampagne II			
03.12.2014		Messung 2		
27.01. bis 28.01.2015			Ammoniak und Stickoxide	
29.01.2015				Messung 2
02.02. bis 05.02.2015	Messkampagne III			
03.02.2015	Probenahme Wurzelholz			
05.02.2015		Messung 3		
10.02.2015			Probenahme Wurzelholz	
03.08.2015	Probenahme Wurzelholz			

4.3.5 Messergebnisse und Diskussion

Die Anzahl der belegten Tierplätze variierte während der einzelnen Messtermine nur geringfügig zwischen 1.120 und 1.150 Mastschweinen, aber das Alter der Tiere variierte zwischen den Messkampagnen I (7 Wochen), II (11 Wochen) und III (6 Wochen). Eine Auflistung des jeweiligen Tierbestandes zu den verschiedenen Messungen ist im Anhang, Tab. 41 aufgeführt.

4.3.5.1 Geruch

Abb. 84 zeigt die Geruchsstoffkonzentrationen im Roh- und Reingas an den drei Geruchsmesstagen mit jeweils vier Einzelproben. Die Geruchsstoffkonzentrationen beziehen sich auf feuchtes Abgas bei 20 °C.

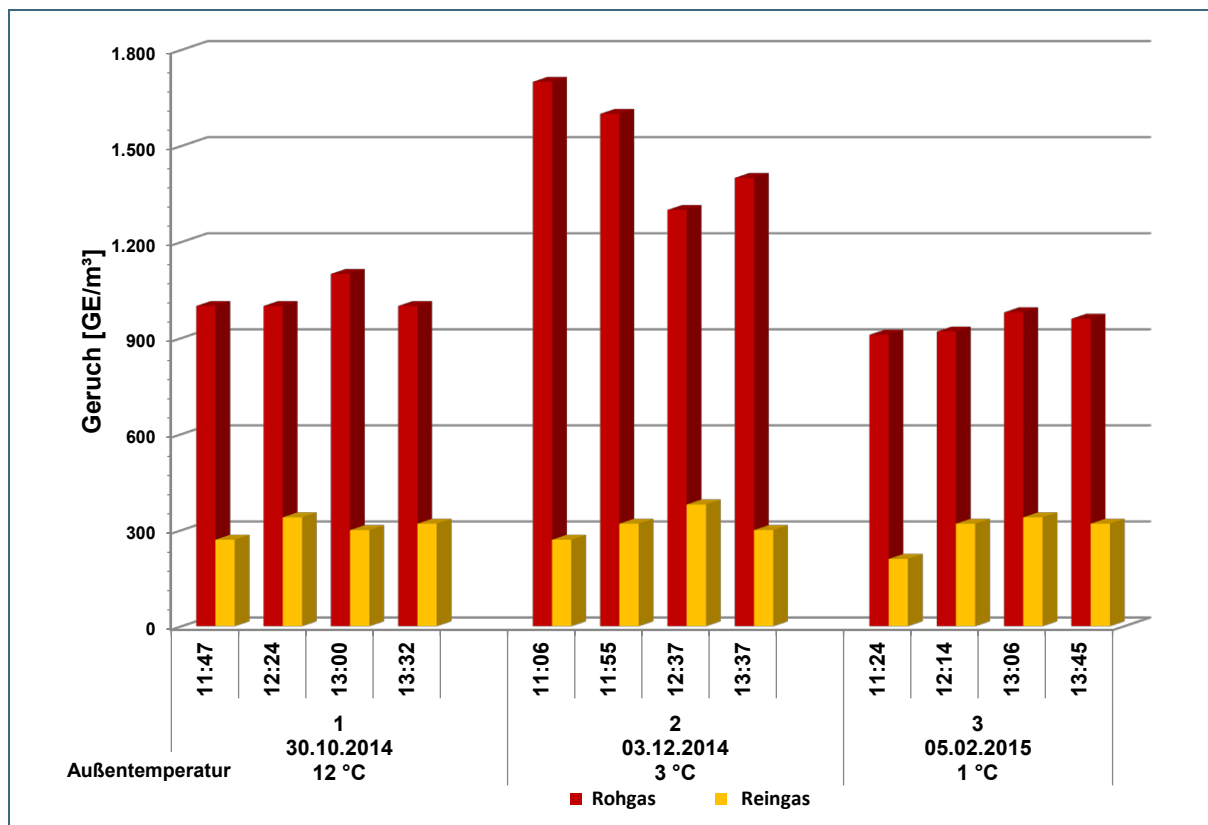


Abb. 84: Geruchsstoffkonzentrationen (feucht, 20 °C) im Roh- und Reingas des Biofilters A

Bei der **Geruchsmessung 1** am 30. Oktober 2014 lagen die Rohgaskonzentrationen zwischen 1.000 und maximal 1.100 GE/m³. Durch den Biofilter konnten die Geruchsstoffkonzentrationen sehr gut gemindert werden, sodass die Reingaskonzentrationen in einem Bereich zwischen 270 und 340 GE/m³ lagen. Von den Probanden wurde kein Rohgasgeruch im Reingas wahrgenommen.

Bei der **Geruchsmessung 2** am 03. Dezember 2014 lagen die Rohgaskonzentrationen zwischen 1.300 und maximal 1.700 GE/m³. Die Reinigung der Abluft im Biofilter führte zu deutlich niedrigeren Reingaskonzentrationen, die in einem Bereich zwischen 270 und 380 GE/m³ lagen. Rohgasgeruch im Reingas wurde von den Probanden teilweise noch wahrgenommen (Tab. 12).

Bei der **letzten Geruchsmessung (3)** am 05. Februar 2015 lagen die Rohgaskonzentrationen zwischen 910 und maximal 980 GE/m³ und damit alle im dreistelligen Zahlenbereich. Die Reinigung im Biofilter ergab Reingaskonzentrationen, die in einem Bereich zwischen 210 und 340 GE/m³ lagen. In der letzten Geruchsprobe wurde nur von einem der vier Probanden Rohgasgeruch wahrgenommen; in den anderen Geruchsproben wurde kein Rohgasgeruch im Reingas festgestellt.

Tab. 12: Messergebnisse der Geruchsmessungen am Biofilter A des Schweinemaststalles (Neuanlage)

Messung	Probe	Rohgas	Reingas	Rohgasgeruch im Reingas Ja-Antworten der Probanden (n=4)
		[GE/m ³]		
Messung 1 30.10.2014	1	1.000	270	0/4
	2	1.000	340	0/4
	3	1.100	300	0/4
	4	1.000	320	0/4
Messung 2 03.12.2014	1	1.700	270	1/4
	2	1.600	320	1/4
	3	1.300	380	3/4
	4	1.400	300	3/4
Messung 3 05.02.2014	1	910	210	0/4
	2	920	320	0/4
	3	980	340	0/4
	4	960	320	1/4

Abb. 85 zeigt die Geruchsstoffströme im Roh- und Reingas an den 3 Geruchsmesstagen. Hier wird deutlich, dass im Vergleich zu der unter Abschnitt 4.2. beschriebenen Zuchtsauenanlage mit Rieselbettreaktor (Abb. 48 auf S. 41) die Rohgasströme mit bis zu 63,8 MGE/h deutlich höher liegen (Zuchtsauenanlage maximal 14,06 MGE/h). Dabei ist die maximale Fracht unter Sommerbedingungen noch gar nicht berücksichtigt, da eine Sommermessung im Rahmen des Projektes nicht mehr durchgeführt werden konnte. Reingasseitig sind die Geruchsstoffströme der beiden untersuchten Anlagen trotz ungefähre Einhaltung der 300 GE/m³ beim Biofilter für die gleiche Jahreszeit im ähnlichen Bereich.

Dies unterstreicht noch einmal, dass die Änderung der Hedonik ein wesentliches Kriterium bei der immissionsseitigen Geruchsbeurteilung darstellt. Während der Biofilter ab 100 m Abstand nicht mehr als Emissionsquelle berücksichtigt werden muss, sind für den Rieselbettreaktor trotz gleich hoher Geruchsfrachten und Ableitung über Kamin mindestens 200 m Abstand zu betrachten [49]; [50]. Würde man die gemessenen Reingaströme für eine Prognose verwenden, würden in diesem Nahbereich noch erhebliche Geruchsbelästigungen weit über dem zulässigen Immissionswert (IW-Wert) der Geruchsimmisions-Richtlinie [14] prognostiziert werden. Die Begründung für diese unterschiedliche Abstandsfordernung kann daher nur im biogenen Eigengeruch der Biofilter liegen, der vom Hintergrund nicht mehr abgrenzbar ist.

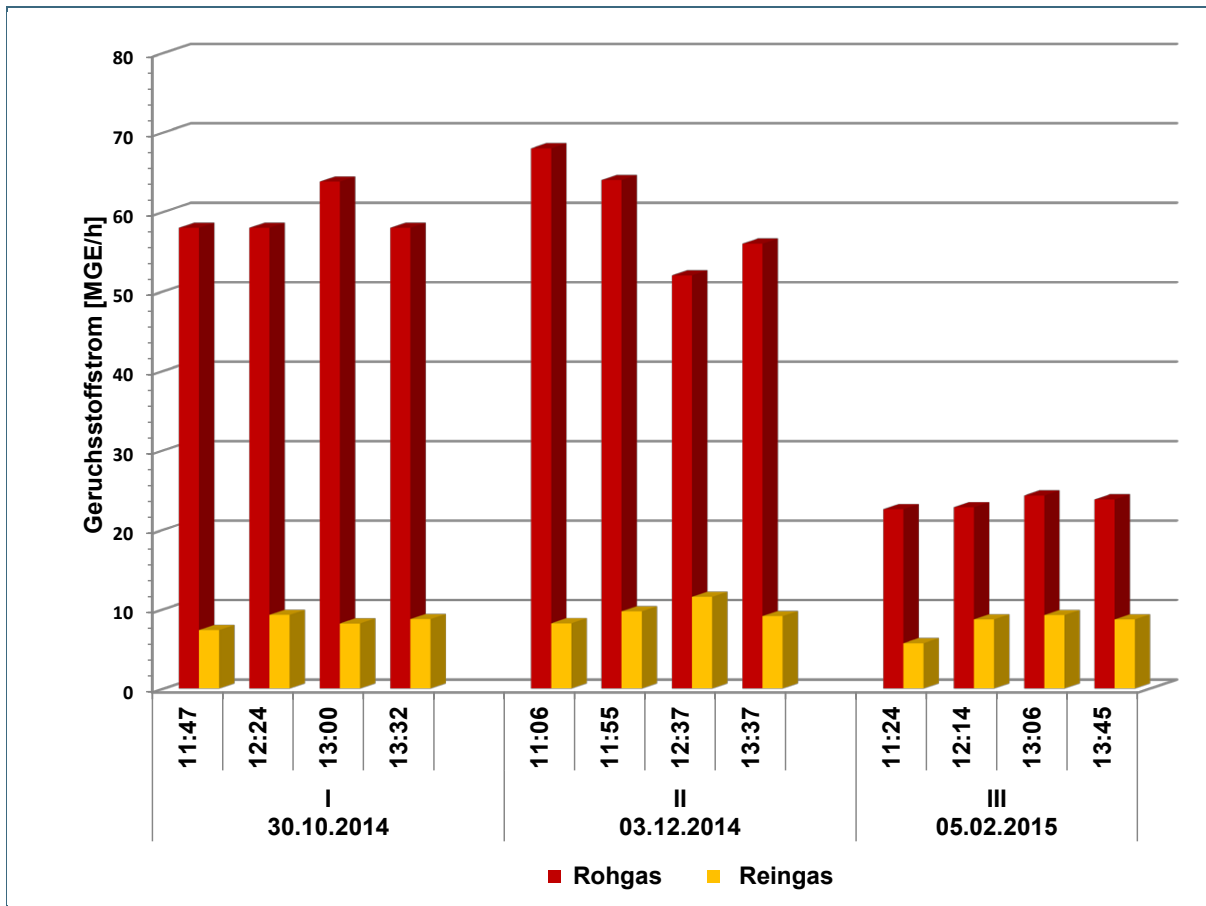


Abb. 85: Geruchsstoffströme (feucht, 20 °C) im Roh- und Reingas des Biofilters A (Neuanlage)

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Geruch an der Abgasreinigungsanlage der Schweinemastanlage befindet sich im Anhang, Tab. 42. Die Datenblätter zu den drei Geruchsmessungen der Schweinemastanlage sind im Anhang in den Tab. 43 bis Tab. 45.

Zusammenfassung und Diskussion zur Geruchsabscheidung:

In den ersten fünf Monaten nach der Erst-Inbetriebnahme zeigte der an der Schweinemastanlage betriebene Biofilter aus gerissenem Wurzelholz eine gute Geruchsminderung. Im Vergleich zu der Unterflurabsaugung der Zuchtsauenanlage waren bereits die Rohgaskonzentrationen deutlich niedriger, zum Teil sogar unter 1.000 GE/m^3 . Reingasseitig konnten daher 500 GE/m^3 als Mittelwert (ohne Messunsicherheit) durchwegs eingehalten werden. Der Rohgasgeruch konnte jedoch nur bei der ersten Messung beziehungsweise bis auf eine Einzelprobe auch bei der letzten Messung von keinem der Probanden mehr wahrgenommen werden (Tab. 12).

Durch eine höhere Schüttung und eine gesteuerte Bewässerung könnte die Reinigungsleistung nochmals optimiert werden. Denkbar wäre aber auch statt einer sofortigen Umsetzung einer maximalen Auslegung der Biofilterfüllhöhe eine abgestufte Nachrüstung mit zunehmender Standzeit. So könnte Biofiltermaterial ausgetauscht werden, sobald es sich sättigt. Damit würden die Stromkosten deutlich sinken. Eine andere Möglichkeit wäre eine stufenweise Nachfüllung und Durchmischung, sobald die Reinigungsleistung zurückgeht. Zumindest für baurechtlich zu genehmigende Anlagen wäre dies ein gangbarer Weg, um die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen bei hoher Reinigungsleistung zu verbessern. Die weiteren Anforderungen an den untersuchten Biofilter bezüglich der Anlagensteuerung und der elektronischen Datenaufzeichnung sowie einer automatischen Bewässerung werden vom Betreiber nachgerüstet, sobald die erste Versuchsphase an der Teilanlage abgeschlossen ist.

Vergleichsmessung an einem älteren Biofilter B einer Ferkelaufzuchtanlage:

Die Rohgaskonzentration konnte aufgrund der vielen verschiedenen belasteten Einzelströme der Tierabteile unterschiedlichen Tieralters ersatzweise nur im Revisionsschacht der Druckkammer erfasst werden. Es ist zu vermuten, dass durch den dort stehenden Wassersumpf die Rohgaskonzentration gegenüber der Stalkonzentration deutlich erhöht war und die Rohgaswerte daher konservativ zu bewerten sind. Die Auslegungsdaten der Anlage sind in Tab. 10 in Kapitel 4.3.2 beschrieben. Insgesamt war der Filter sehr großzügig dimensioniert und lag mit seinen Auslegungswerten bezüglich Schütthöhe, Filtervolumenbelastung etc. zum Teil besser als der DLG-zertifizierte Biofilter und deutlich über dem neu gebauten Biofilter A der untersuchten Mastschweineanlage. Die Reingaskonzentrationen lagen im Mittel in keiner Probe über 300 GE/m³ (Abb. 86).

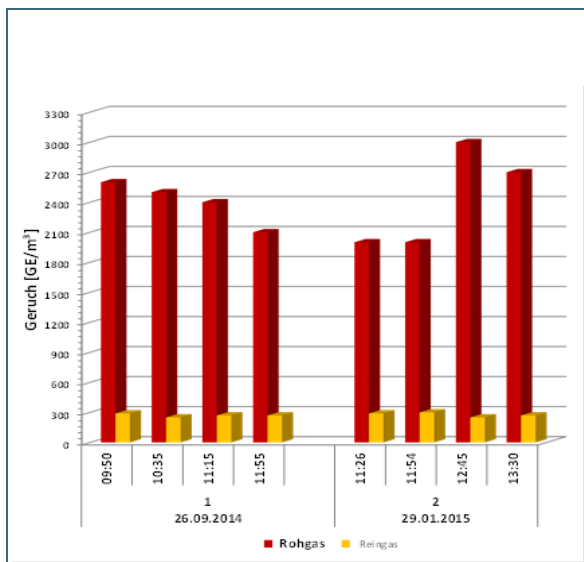


Abb. 86: Geruchsstoffkonzentrationen (feucht, 20 °C) im Roh- und Reingas des Biofilters B der Ferkelaufzuchtanlage

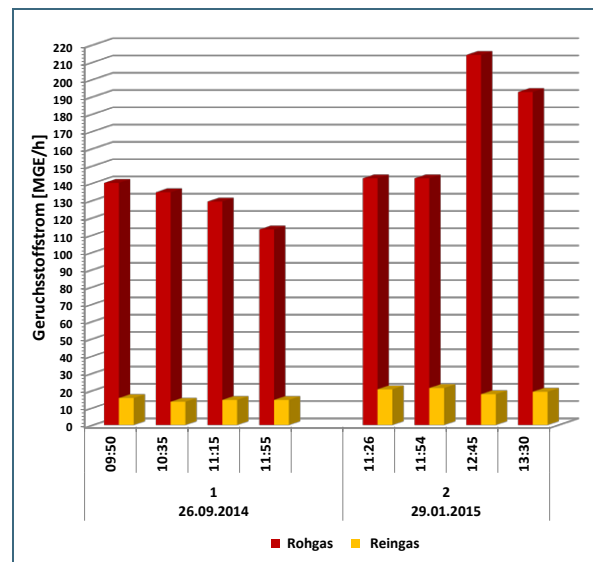


Abb. 87: Geruchsstoffströme im Roh- und Reingas des Biofilters B der Ferkelaufzuchtanlage (2 Jahre alter Filter)

Es konnte weder durch die Probanden noch bei der Messung beziehungsweise den Ortseinsichten im Vorfeld Schweinegeruch auf dem Biofilter wahrgenommen werden (Tab. 13).

Tab. 13: Messergebnisse der Geruchsmessungen am Biofilter B des Ferkelaufzuchtstalles (> 2 Jahre in Betrieb)

Messung	Probe	Rohgas	Reingas	Rohgasgeruch im Reingas Ja-Antworten der Probanden (n=4)
		[GE/m ³]		
Messung 1 26.09.2014	1	2.600	290	0/4
	2	2.500	250	0/4
	3	2.400	270	0/4
	4	2.100	270	0/4
Messung 2 29.01.2015	1	2.000	290	0/4
	2	2.000	300	0/4
	3	3.000	250	0/4
	4	2.700	270	0/4

Insgesamt traten aber im Reingas im Vergleich zu den anderen Abluftreinigungsanlagen (Abb. 48 und Abb. 85) ähnlich hohe Geruchsstoffströme (Abb. 87) auf. Die Datenblätter zu den zwei Geruchsmessungen am Biofilter B der Ferkelaufzuchtanlage befinden sich im Anhang in den Tab. 46 und Tab. 47.

4.3.5.2 Bioaerosole und Endotoxine

Pro Messkampagne (I bis III) an der Schweinemastanlage wurden vier halbstündige Proben genommen, wobei jeweils die zweite Probenahme sowohl im Roh- als auch im Reingas als Doppelbestimmung ausgeführt wurde. Um Erkenntnisse zum Impingement zu erhalten, wurde bei der jeweils dritten Probenahme im Rohgas zeitgleich eine Messung mit einem Emissions-Impinger [34] und einem AGI 30-Immissions-Impinger [36] durchgeführt (Abb. 88). Die Ergebnisübersicht aller gemessenen Einzelparameter ist im Anhang in den Abb. 112 bis Abb. 114 dargestellt.

Zu jeder Messkampagne wurde auch ein Hintergrundwert ermittelt. Die Werte aller Parameter im Hintergrund lagen bei allen Messkampagnen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Die **Gesamtbakterienzahlen** konnten bei den drei Messkampagnen vom Roh- zum Reingas sehr gut reduziert werden (Abb. 88). Die Rohgaskonzentrationen lagen dabei in ähnlicher Größenordnung wie sie auch Gärtner et al [51] in der Schweinehaltung fand.

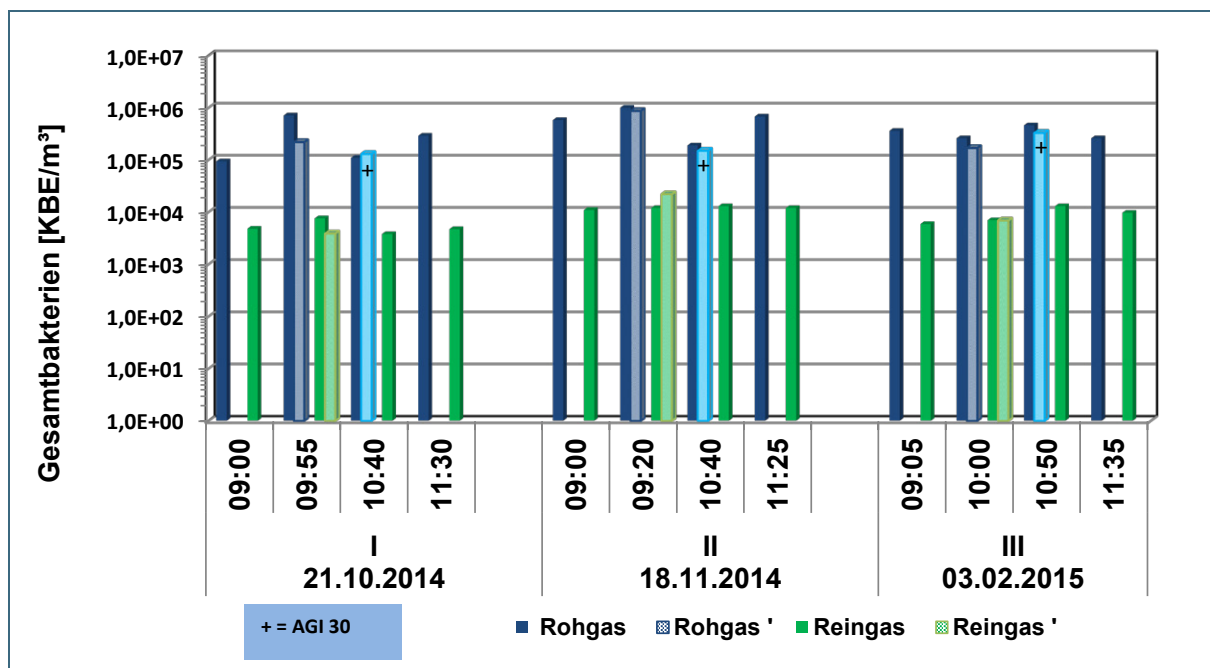


Abb. 88: Gesamtbakterienkonzentrationen im Roh- und Reingas zu den drei Messkampagnen beim Biofilter A

Dabei lag die Abscheidung der Gesamtbakterien zwischen 95 und 99 % (Abb. 89). Diese Größenordnung wurde auch in [2] gefunden und bestätigt die bisherigen Literaturwerte.

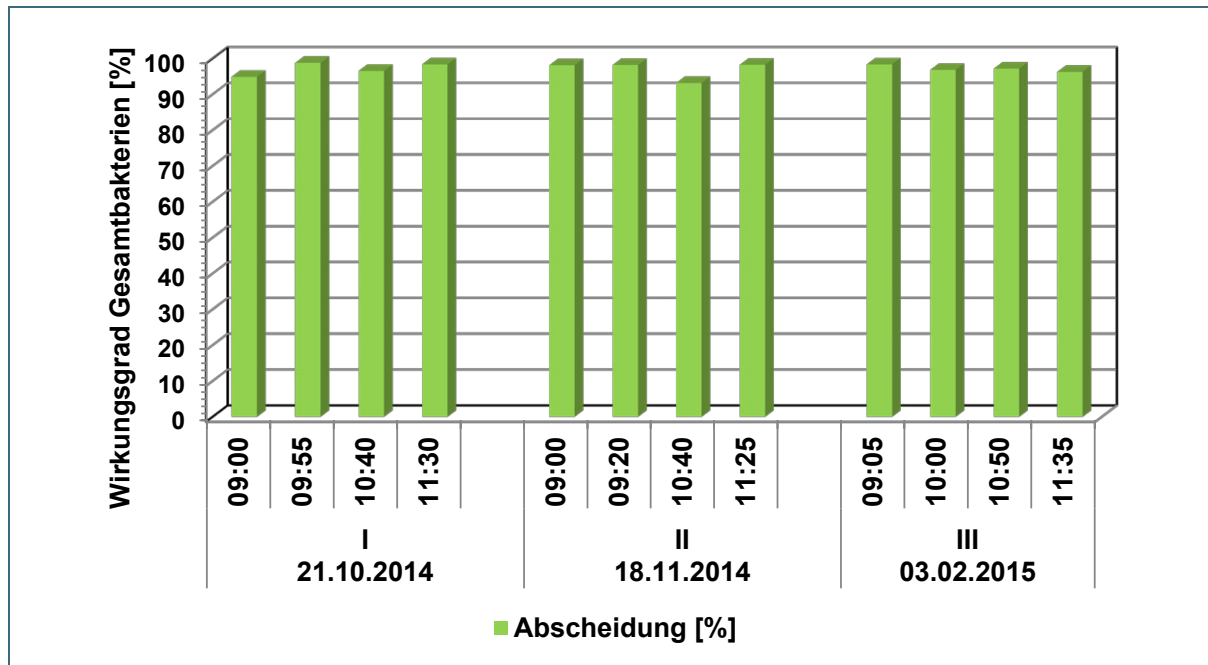


Abb. 89: Abscheidewirkungsgrade für Gesamtbakterien beim Biofilter A

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Gesamtbakterien am Biofilter A der Schweinemastanlage befindet sich im Anhang, Tab. 48.

Staphylokokken konnten bei den drei Messkampagnen vom Roh- zum Reingas sehr gut reduziert werden. Im Rohgas lagen die Konzentrationen in ähnlicher Größenordnung wie auch bei Gärtner et al. [42]. Die Staphylokokkenkonzentrationen im Reingas lagen bei allen Messkampagnen unterhalb der Bestimmungsgrenze (Abb. 90) von circa 760 - 1.300 KBE/m³. Da für Bakterien, Staphylokokken und Enterobacteriaceae/ESBL aufgrund des begrenzten Probenahmevolumens keine Filtration durchgeführt werden konnte, ergab sich für diese Parameter eine um circa Faktor 10 höhere Bestimmungsgrenze als bei den Parametern MRSA und Enterokokken (Bestimmungsgrenzen: 84 - 140 KBE/m³).

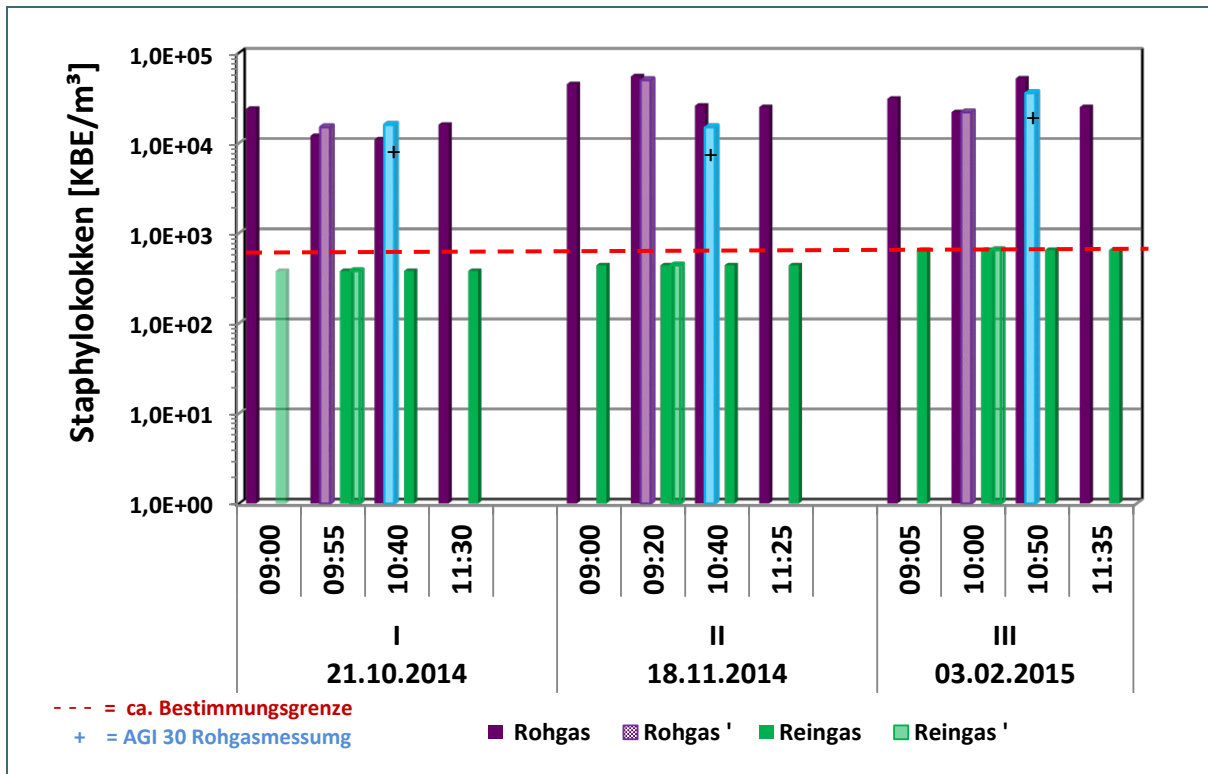


Abb. 90: Staphylokokkenkonzentrationen im Roh- und Reingas zu den drei Messkampagnen beim Biofilter A

Die Abscheidung der Staphylokokken lag damit bei circa 99 % (Abb. 91).

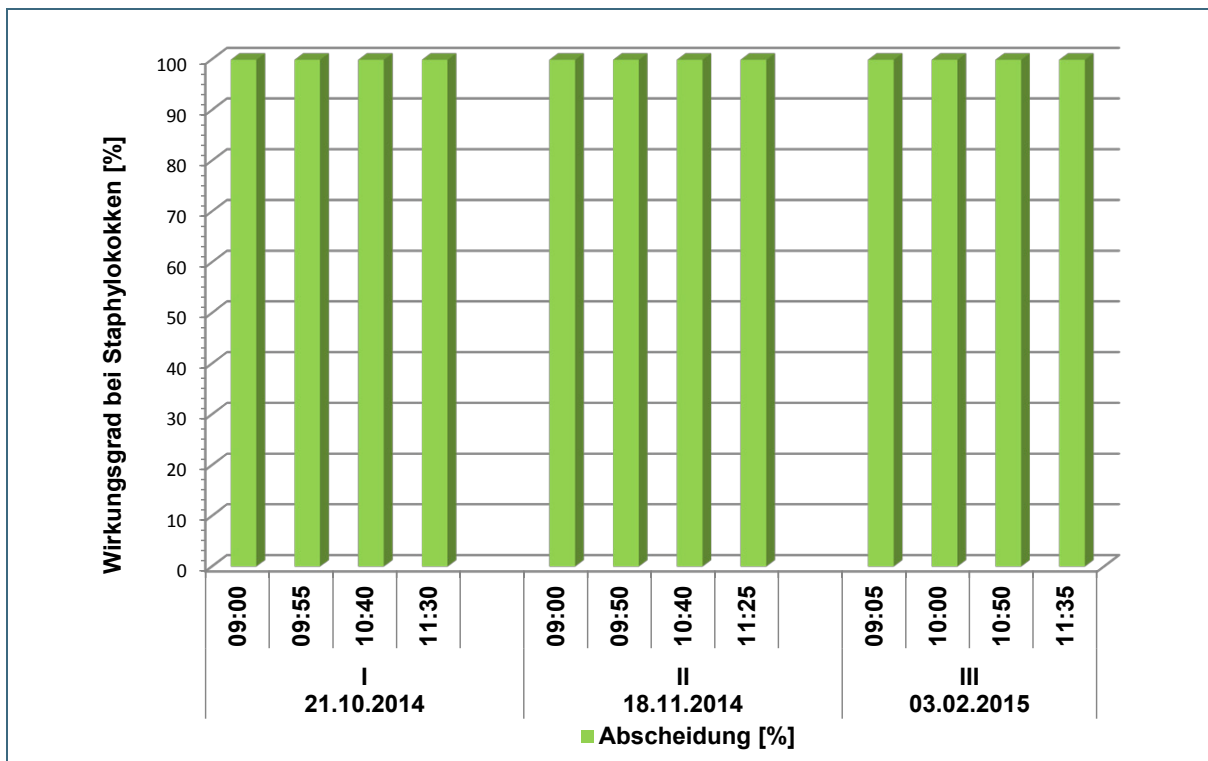


Abb. 91: Abscheidewirkungsgrade bei Staphylokokken beim Biofilter A

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für Staphylokokken am Biofilter A der Schweinemastanlage befindet sich im Anhang, Tab. 49.

MRSA konnten im Rohgas mit Werten von maximal $3 \cdot 10^3$ KBE/m³ quantifiziert werden, zum Teil lagen sie aber auch unterhalb der Bestimmungsgrenze. Im Reingas waren alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze und MRSA konnten nur noch in einzelnen Proben sporadisch nachgewiesen werden. Hier war eine deutliche Reduktion vorhanden, die Abscheideleistung kann aber aufgrund der geringen Rohgaskonzentration ebenso wie bei den Enterokokken nicht quantifiziert werden. Auch in anderen Studien zeigen sich ähnliche Minderungspotenziale [52]. In einer Studie am LGL wurde gezeigt, dass Schweinebestände in Bayern eine MRSA-Bestandsprävalenz von etwa 45 % aufweisen [53]. Der Betreiber wurde über den MRSA positiven Befund seiner Anlage informiert.

Insgesamt wurden 39 MRSA-Isolate mittels *spa*-Typisierung charakterisiert. Die Stämme entstammten aus allen drei Messkampagnen und umfassten sowohl Roh- und Reingas-Isolate, als auch die Isolate des Staubes aus Stall und Rohgaskanal und aus der Wurzelholzprobe. Hierbei zeichnete sich unter den Stämmen eine geringe Diversität ab. Die Stämme konnten den vier *spa*-Typen t011 (n = 6), t034 (n = 30), t8588 (n = 1) und t127 (n = 2) zugeordnet werden. Die *spa*-Typen t011, t034 und t8588 bilden einen engen *spa*-Cluster (*spa*-CC034) und sind klonal eng verwandt (Abb. 115 im Anhang). Die zwei Isolate vom *spa*-Typ t127 lassen sich hiervon klar abgrenzen und waren ausschließlich am Messtag II vertreten. Alle an der untersuchten Anlage gefundenen *spa*-Typen wurden bereits im Zusammenhang mit der Tierhaltung, insbesondere bei Schweinen beschrieben [53]; [54]; [55]; [56]. Die *spa*-Typen t011, t034 und t8588 weisen nur geringe Unterschiede in der Abfolge ihrer Wiederholungssequenzen (Repeats) auf (Tab. 51 im Anhang) und sind dem klonalen Komplex CC398 zugehörig, der die so genannten Livestock-Associated (LA-)MRSA umfasst [55]; [57]; [58].

Der *spa*-Typ t127 ist dem klonalen Komplex CC1 zugeordnet und auch im Zusammenhang mit der Schweinehaltung beschrieben worden [59].

Die **Enterokokken** schwankten im Rohgas im Bereich zwischen kleiner Bestimmungsgrenze bis maximal $7 \cdot 10^3$ KBE/m³. Auf der Reingasseite lagen alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze beziehungsweise unterhalb der Bestimmungsgrenze (Anhang, Tab. 50).

Tab. 14: Artenspektrum der Schweinemastanlage über alle Messkampagnen (I – III). Die Ergebnisse resultieren aus den Differenzierungen von Koloniematerial der Selektivnährmedien zwecks Qualitätssicherung inkl. unspezifischer Begleitflora. Qualitative Nachweise sind unter Angabe der Messkampagne blau unterlegt.

Artenspektrum	RG	Stallstaub			Staub Rohgaskanal			Emission Rohgas			Wurzelholz			Emission Reingas		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Staphylokokken																
KNS	1,v	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I			I	II	III
* <i>Staphylococcus aureus</i>	2	I		III	I	II	III	I	II	III	I			I*	II*	III
MRSA	2	I		III	I	II	III	I	II	III	I			I*	II*	III
Enterokokken																
<i>Enterococcus faecium</i>	2	I	II	III	I			I	II	III	I					
<i>Enterococcus faecalis</i>	2															
<i>Enterococcus hirae</i>	2								II	III					II	III
<i>Enterococcus caseliflavus</i>	2							I								
Enterobacteriaceae																
<i>Escherichia coli</i>	2															
* <i>Enterobacter amnigenus</i>	2										I					
* <i>Enterobacter cloacae</i>	2				I											
* <i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	I														
* <i>Citrobacter braakii</i>	2														II	
* <i>Citrobacter farmeri</i>	2										I					
* <i>Rahnella aquatilis</i>	1										I					
* <i>Raoultella planticola</i>	1				I						I					
* <i>Raoultella ornithinolytica</i>	2				I											
Non-Fermenter																
* <i>Pseudomonas sp. der aeruginosa-Gruppe</i>	2										I					
* <i>Pseudomonas sp. der putida-Gruppe</i>	2				I											
* <i>Comamonas testosteromi</i>	1										I					
Unspezifisch Begleitflora auf Selektivnährmedien, i.d.R. sporadisch vorkommend																
Aerobe Sporenbildner	1	I		III			III	I	II	III	I			I	II	III
Mikrokokken	1							I	II	III				I	II	III
* <i>Aerococcus viridans</i>	2	I	II	III	I	II		I	II	III	I			I		III
* <i>Aeromonas cavia</i>	2														II	III
* <i>Corynebacterium ammoniagenes</i>	1							I								
* <i>Pantoea agglomerans</i>	2	I														
* <i>Paracoccus yeeii</i>	2							I								
* <i>Rothia nasimurium</i>	1															
*Schimmelpilze	v			III			III			III						

*) sporadisches Vorkommen RG) Risikogruppe gem. TRBA 466, v: variierend in der Gruppe

KNS = Koagulase-negative Staphylokokken. Es wurden nachgewiesen (**Fettdruck = RG2-Organismen**):Staub: *Staphylococcus cohnii*Bioaerosol: *S. haemolyticus*, *S. cohnii*, *S. epidermidis*, *S. pasteurii*, *S. sciuri*

Wie auch bei der Zuchtsauenanlage konnten im Verlauf der Messkampagnen verschiedenste Umweltkeime differenzialdiagnostisch nachgewiesen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass das ermittelte Artenspektrum der Anlage aufgrund der eingesetzten Selektivnährmedien kein umfassendes Bild darstellt. Der Einsatz selektiver Nährmedien ist wie bei den Untersuchungen der Zuchtsauenanlage auch hier wegen des zum Teil erheblichen Anteils an unspezifischer Begleitflora für umweltdiagnostische Zwecke kritisch zu betrachten und erfordert einen hohen Grad diagnostischer Abklärung der gewachsenen Kolonien. Aus dem Artenspektrum können vor allem Enterokokken, Enterobacteriaceae und zahlreiche Vertreter der unspezifischen Begleitflora vor allem stallseitig dem Staub und dem Rohgas zugeordnet werden. Diese sind nach Passage durch den Biofilter nicht oder kaum noch im Reingas vertreten. Die ubiquitären aeroben Sporenbildner und Mikrokokken, aber auch vor allem *Aerococcus viridans* finden sich hingegen in allen Probenarten wieder.

Zusammen mit dem oben skizzierten quantitativen Wirkungsgrad der Anlage zeigt sich, dass der Biofilter zu einer bedeutenden Reduktion anlagenbezogener Mikroorganismen beiträgt. Dies umfasst an der untersuchten Schweinemastanlage auch viele der nachgewiesenen Risikogruppe 2-Vertreter.

Die Bioaerosolproben wurden außerdem mittels PCR-Analytik auf **Chlamydien** hin untersucht. Hierbei waren alle Rohgasproben der drei Messtage im Genus-spezifischen Chlamydien-Screening PCR-positiv. Bei den Reingasproben zeichnete sich ein heterogenes Bild ab. An den Messtagen I und II waren die Reingasproben jeweils bei drei der vier Tagesmessungen (schwach) positiv und bei einer Probe in der PCR negativ. Am Messtag III konnte beim Screening nur in einer der Reingasproben Chlamydien-DNA nachgewiesen werden. Aufgrund der Wirtsspezifität von *C. psittaci* für Vögel wurden die Chlamydien-PCR-positiven Proben dieser Schweinemast nicht weiter auf *C. psittaci* untersucht.

Das orientierende **Screening des Absetzstaubes** ergab für die mikrobielle Belastung des Staubes schwankende Werte in der Größenordnung $\sim 10^6$ bis 10^8 KBE/g Staub (Tab. 15). Auch die orientierenden Werte in den Ablagerungen des Rohgaskanals ergaben kein einheitliches Bild und schwankten in den Größenordnungen zwischen $\sim 10^5$ bis 10^7 KBE/g Staub. Da die Probenahme des Stallstaubes durch den Betreiber erfolgte und somit der Zeitpunkt der Probenahme sowie die genauen Probenahmestellen unbekannt sind, können die Probenahmestellen Einfluss auf die Schwankungsbreite der Ergebnisse gehabt haben.

Vom Artenspektrum her dominierten in beiden **Staubproben** vor allem auch die im Bioaerosol relevanten und als Leitparameter untersuchten Staphylokokken. Auch MRSA konnte mit einer Ausnahme in allen Staubproben gefunden werden (Tab. 14). Im Stallstaub enthaltene Enterokokken konnten hingegen im Staub des Rohgaskanals nicht beziehungsweise kaum nachgewiesen werden. Vertreter der Enterobacteriaceae waren im Staub, wenn überhaupt, nur sporadisch nachweisbar.

Tab. 15: Quantitative Abschätzung der mikrobiellen Belastung des Stallstaubes, der Staubablagerungen im Rohgaskanal und des Wurzelholzes

Messkampagne	Staubprobe	Gesamtbakterien [KBE/g Staub]
I Frühherbst	Stall	$3,9 \times 10^8$
	Rohgaskanal	$7,5 \times 10^6$
	Wurzelholz	$1,0 \times 10^5$
II Spätherbst	Stall	$7,6 \times 10^5$
	Rohgaskanal	$1,8 \times 10^5$
III Winter	Stall	$1,9 \times 10^6$
	Rohgaskanal	$5,9 \times 10^7$

Die **orientierende Analyse des Wurzelholzes** spiegelt eine hohe mikrobielle Diversität wider, was für die Funktion als Biofilter zu erwarten ist. Im quantitativen Screening (Momentaufnahme) wurden jedoch vergleichsweise niedrige Gesamtkeimzahlen für das Wurzelholz ermittelt (Tab. 15). Neben den anlagenbezogenen Staphylokokken und MRSA finden sich am Wurzelholz vor allem die qualitativ bestimmten Enterobacteriaceae wieder. Die nachgewiesenen Non-Fermenter, die als „Feuchtekeime“ bekannt sind, sind plausibel, da sie im Wurzelholz, das für seine Funktion als Biofilter durch Berieselung feucht gehalten wird, ein ideales Substrat finden.

Alle Bioaerosolproben der Schweinemastanlage wurden auf das Vorkommen von **Influenza A-Viren** (IAV) untersucht. In keiner der Proben konnte mittels PCR das IAV-Matrixgen nachgewiesen werden.

Um den **Endotoxin**-Gehalt der Abluft zu ermitteln, wurden bei den Messkampagnen I bis III im Roh- und Reingas die luftgetragenen Endotoxine im Gesamtstaub mittels Emissions-Impingern erfasst (Abb. 92). Ferner wurden die Endotoxine in den Staubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} mit Feinstaubfilterproben erfasst (Abb. 94).

Die Endotoxingehalte der Abluft im Reingas waren gegenüber den typischen Gehalten in der Außenluft (0,75 - 1,99 EU/m³ [3]) nur gering erhöht und tragen damit nicht zu einer relevanten Erhöhung der Hintergrundbelastung bei.

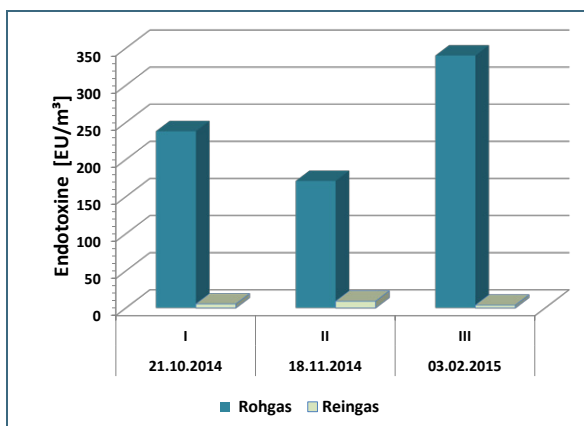


Abb. 92: Konzentrationen an Endotoxinen im Gesamtstaub vom Roh- und Reingas des Biofilters A

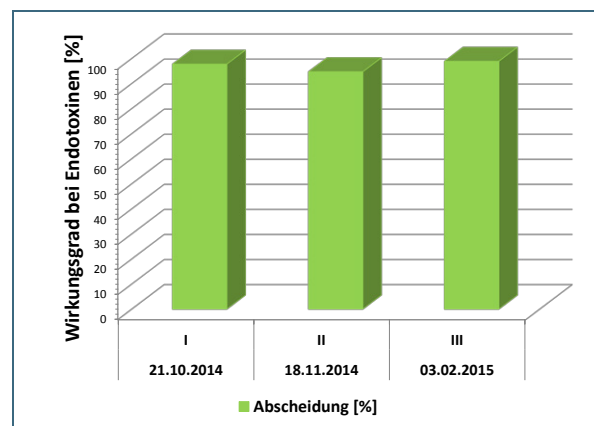


Abb. 93: Abscheidewirkungsgrade bei Endotoxinen des Biofilters A (Impingement)

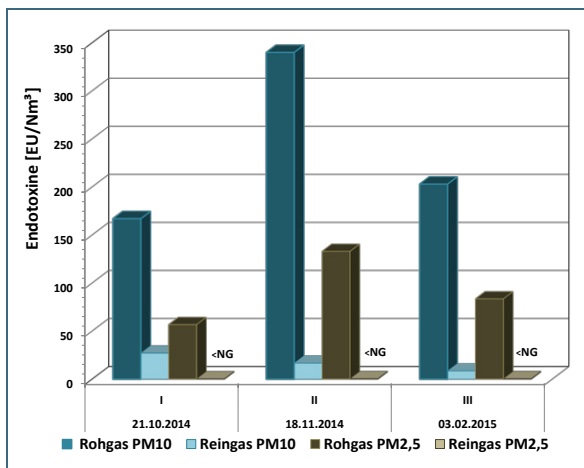


Abb. 94: Konzentrationen an Endotoxinen im Feinstaub vom Roh- und Reingas

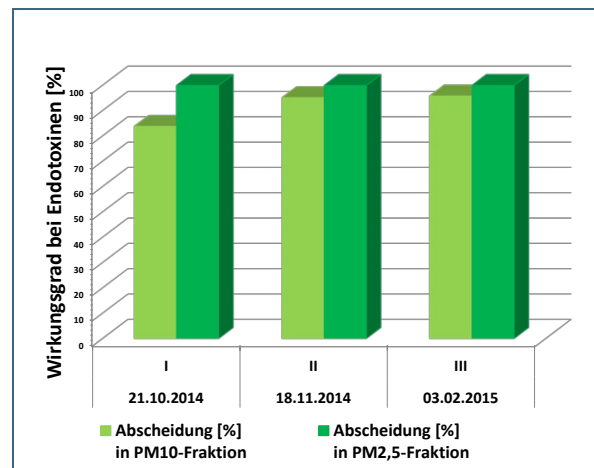


Abb. 95: Abscheidewirkungsgrade bei Endotoxinen des Biofilters A (Feinstaubfilterproben)

Eine Zusammenstellung der Endotoxin-Einzelwerte befindet sich im Anhang, Tab. 52 bis Tab. 54.

4.3.5.3 Staub

Die **Gesamtstaubkonzentrationen** der Einzelmessungen variierten in den drei Messkampagnen rohgasseitig zwischen 3,1 und 7,4 mg/Nm³ und lagen reingasseitig zwischen 2,2 und 6,3 mg/m³ (Abb. 96). Die im Reingas ermittelten Werte liegen deutlich unter der allgemeinen Emissionsbegrenzung nach Nr. 5.2.1 TA Luft von 20 mg/m³.

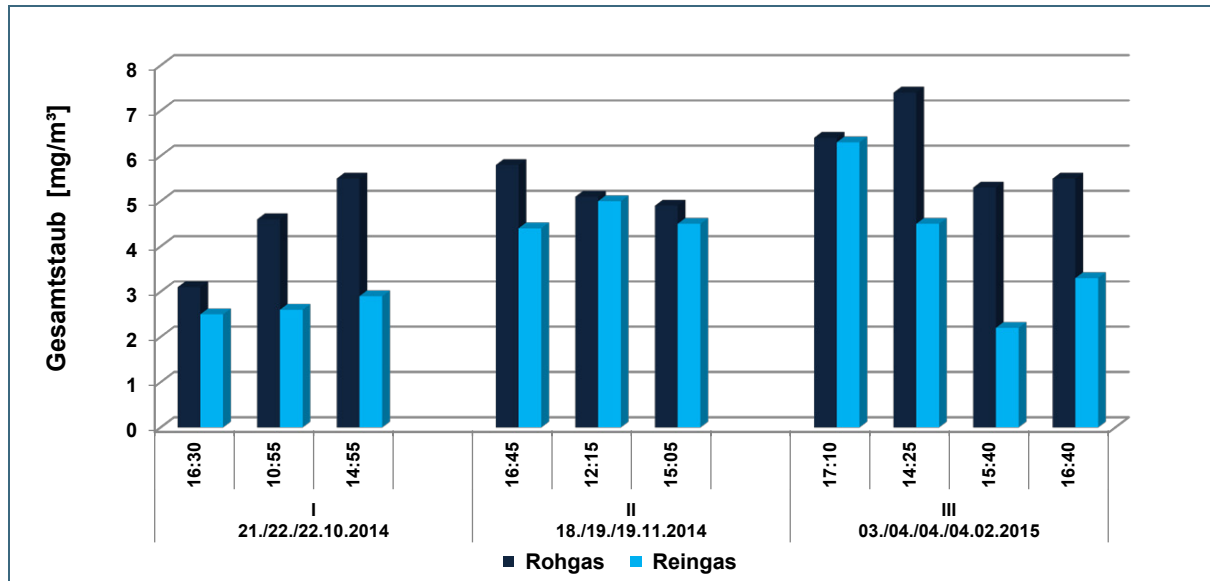


Abb. 96: Gesamtstaubkonzentrationen im Roh- und Reingas des Biofilters A

Für den Abscheidegrad bei Gesamtstaub ergaben sich Werte, die zwischen zwei und 58 % liegen (Abb. 97). Zur Abscheidung von Gesamtstaub eignet sich der Biofilter daher nur bedingt. Es ist zu vermuten, dass insbesondere mit steigenden Volumenströmen zum Teil auch Staub aus dem Biofilter ausgetragen wird.

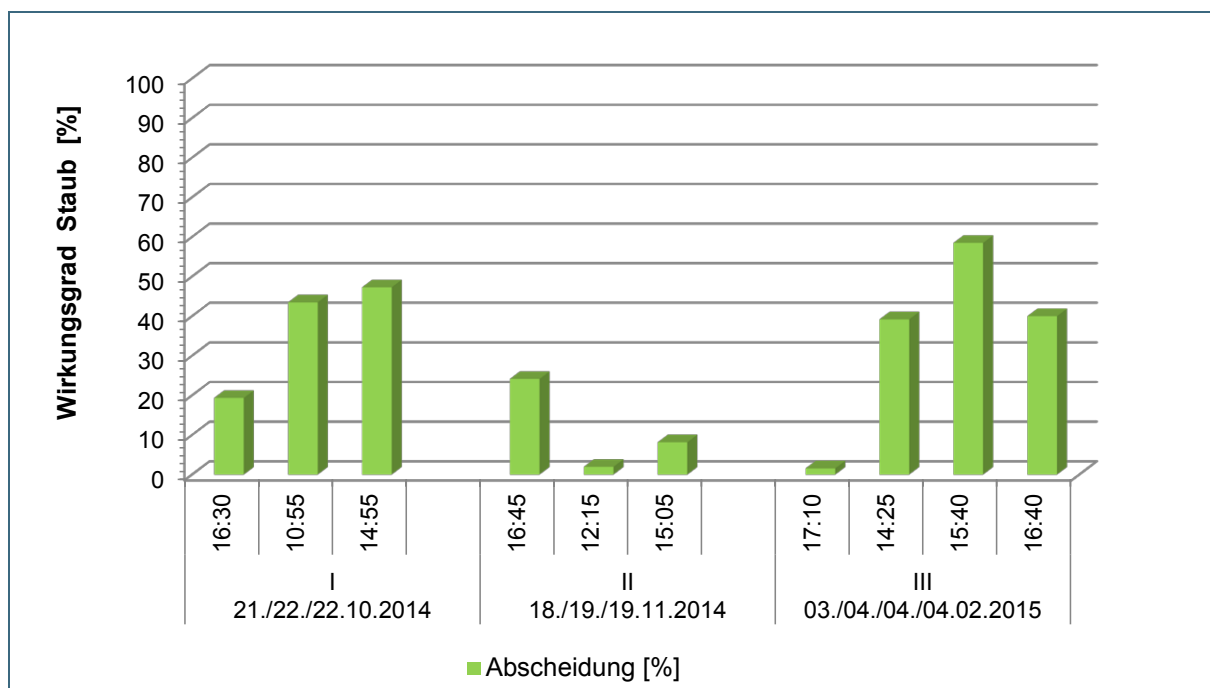


Abb. 97: Abscheidewirkungsgrade bei Gesamtstaub des Biofilters A

Die **Feinstaubkonzentrationen** der Einzelmessungen für die **PM₁₀-Fraktion** variierten in den drei Messkampagnen rohgasseitig zwischen 0,7 und 1,9 mg/m³ und lagen reingasseitig zwischen 0,1 und 0,5 mg/m³ (Abb. 98). Für den Abscheidegrad ergaben sich daraus Werte für die PM₁₀-Fraktion, die zwischen 57 und 95 % liegen (Abb. 99).

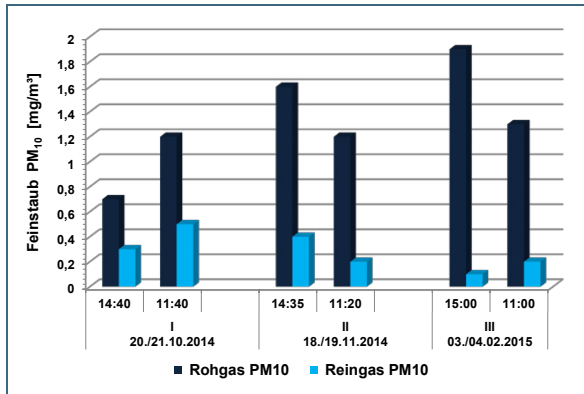


Abb. 98: Feinstaubkonzentrationen der PM₁₀-Fraktion im Roh- und Reingas des Biofilters A

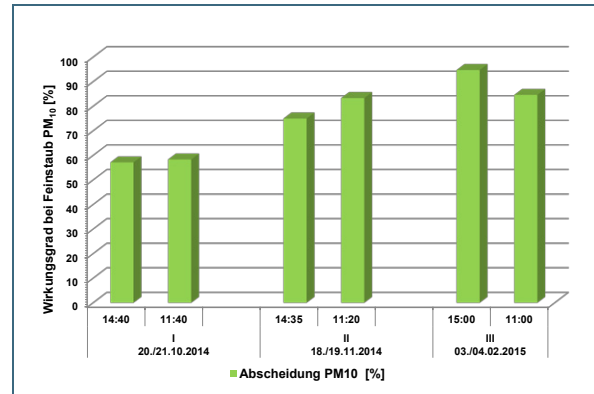


Abb. 99: Abscheidewirkungsgrade bei Feinstaub PM₁₀ des Biofilters A

Die **Feinstaubkonzentrationen** der Einzelmessungen für die **PM_{2,5}-Fraktion** variierten in den drei Messkampagnen **rohgasseitig** zwischen 0,4 und 0,8 mg/m³ und lagen **reingasseitig** zwischen 0,1 und 0,2 mg/m³ (Abb. 100). Für den Abscheidegrad ergaben sich daraus Werte für die PM_{2,5}-Fraktion, die zwischen 50 und 87 % liegen (Abb. 101).

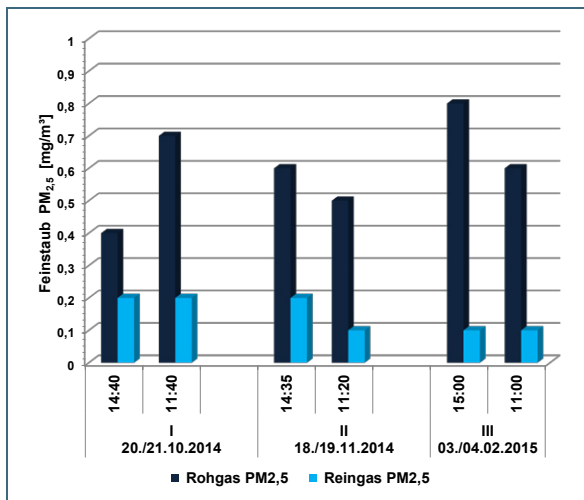


Abb. 100: Feinstaubkonzentrationen der PM_{2,5}-Fraktion im Roh- und Reingas des Biofilters A

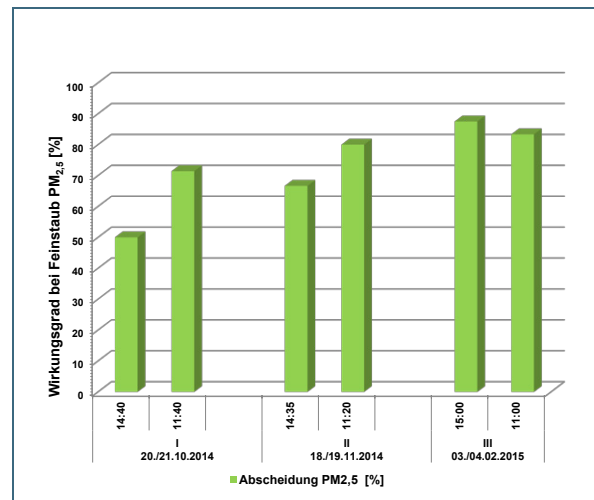


Abb. 101: Abscheidewirkungsgrade bei Feinstaub PM_{2,5} des Biofilters A

Eine Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für Gesamtstaub und Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) am Biofilter A der Schweinemastanlage befindet sich im Anhang, Tab. 55 bis Tab. 57. Insgesamt sind bei der einstreulosen Mast Schweinehaltung die Staubfrachten im Vergleich zu den Geflügelhaltungen deutlich geringer und führen in der Regel immissionsseitig zu irrelevanten Zusatzbelastungen (< 1,2 µg/m³). So lag der mittlere Massenstrom für Gesamtstaub im Bereich des Bagatellmassenstroms nach 4.6.1.1 TA Luft, der für diffuse Quellen 0,1 kg/h beträgt.

4.3.5.4 Ammoniak

Die Ammoniakkonzentrationen variierten bei den drei Messkampagnen rohgasseitig zwischen 6,3 und 11,9 mg/m³. Reingasseitig lagen sie zwischen < 0,1 und 7,5 mg/m³. Die im Reingas ermittelten Werte liegen deutlich unter der Emissionsbegrenzung von 30 mg/m³ nach Nr. 5.2.4 der TA Luft. Im Stall wurden mit Prüfröhrchen zwischen 7 und 10 mg/m³ (Dezember) gemessen. In Abb. 102 sind die ermittelten Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas dargestellt.

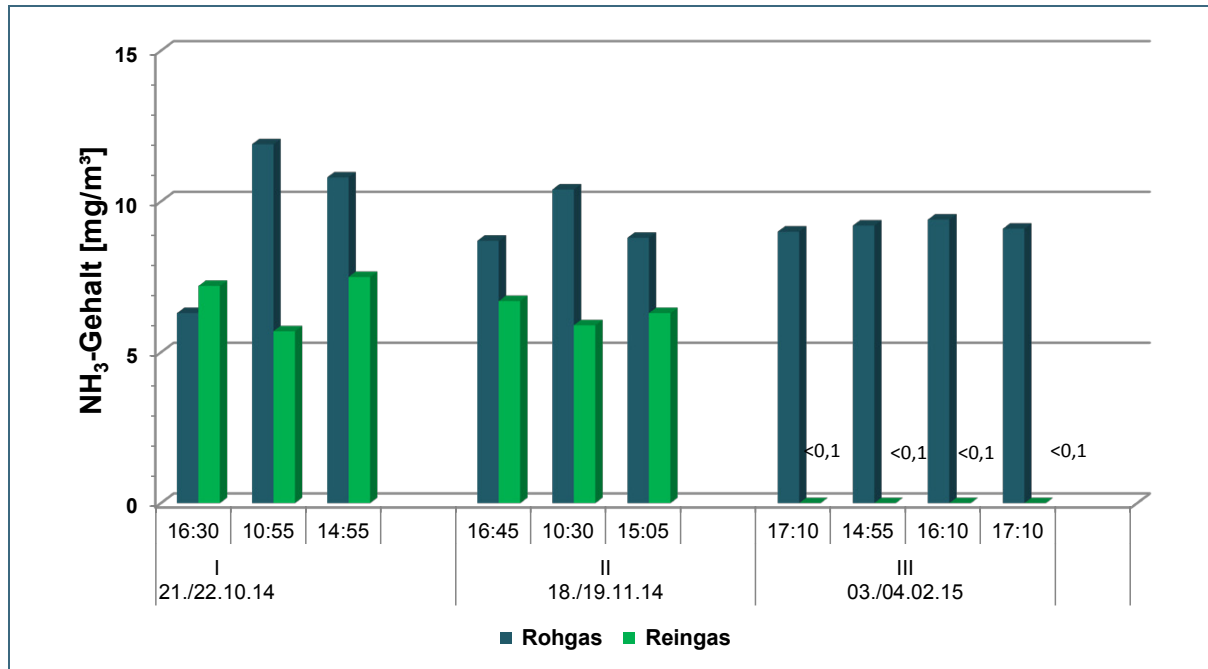


Abb. 102: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas zu den Messkampagnen I – III am Biofilter A (Neuanlage)

Für den Abscheidegrad ergaben sich daraus Werte, die zwischen keiner (erste Messung) beziehungsweise geringer Abscheidung während der ersten beiden Messkampagnen und 99,9 % während der letzten Messkampagne liegen (siehe Abb. 103).

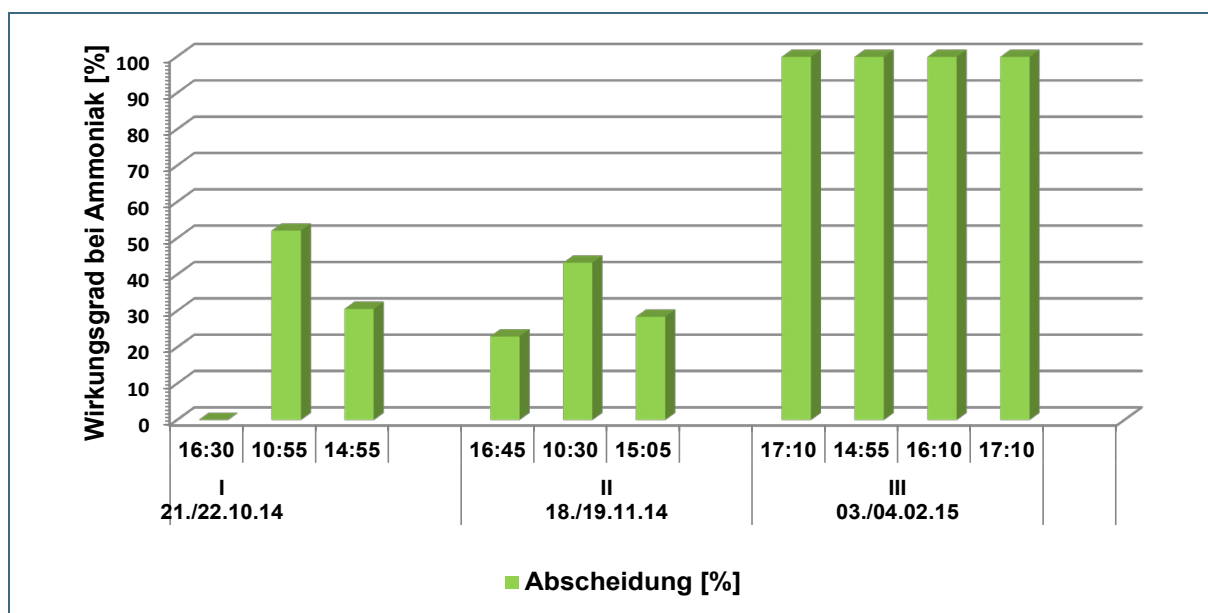


Abb. 103: Abscheidewirkungsgrade bei Ammoniak zu den Messkampagnen I – III am Biofilter A

Insbesondere nach der Inbetriebnahme schien die Ammoniakabscheidung noch nicht effektiv. Eventuell waren die Nitrifizierungsprozesse noch nicht richtig in Gang gekommen. Bei der ersten Messung am 21.10.2014 herrschten mit 15 °C noch relativ hohe Außentemperaturen. Der Volumenstrom lag mit 58.000 m³/h während der ersten Halbstundenmessung im Vergleich zu den nachfolgenden Messungen am 22.10.2014 (Kälteeinbruch: maximal 4 bis 6 °C Außentemperatur) mit 24.200 m³/h relativ hoch. Die niedrige Abscheideleistung könnte sich durch die geringeren Verweilzeiten im Filtersystem begründen.

In Abb. 104 sind die Ammoniak-Frachten zu den drei Messkampagnen dargestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass sich die Absolutbeträge des zurückgehaltenen Ammoniaks (Differenz Roh-/Reingas) zwischen den Messkampagnen kaum unterscheiden (Ausnahme: erste Halbstundenmessung).

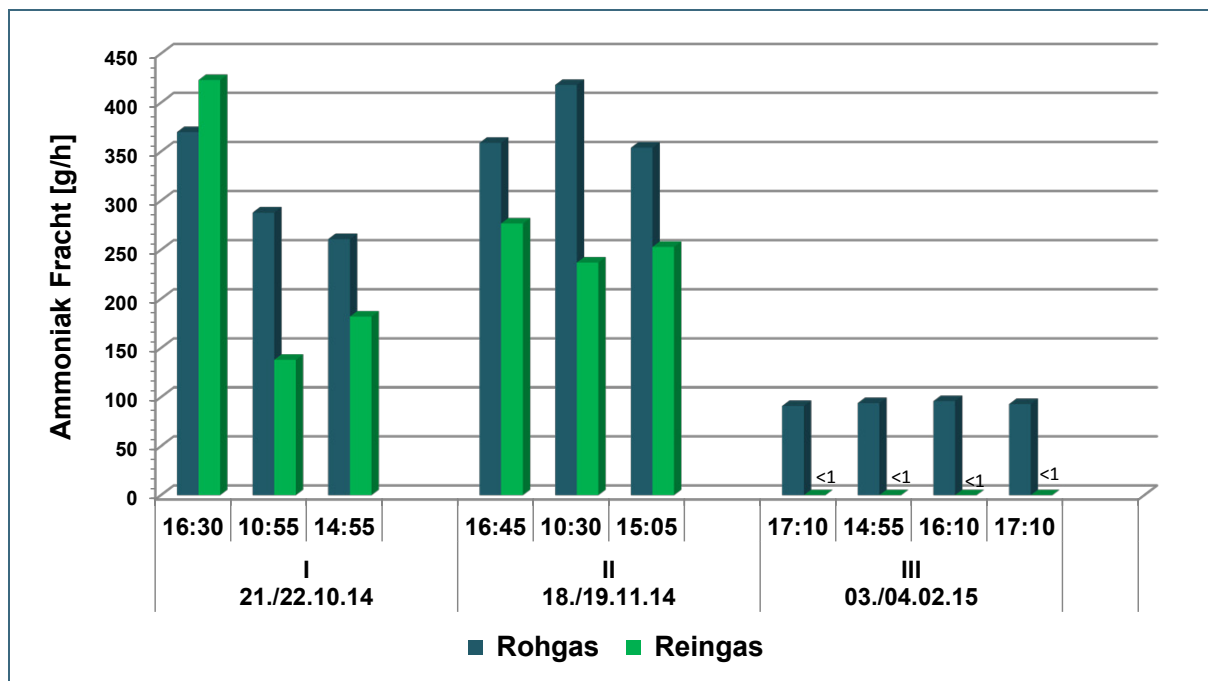


Abb. 104: Ammoniakfrachten im Roh- und Reingas zu den Messkampagnen am Biofilter A

Bei den beiden Messkampagnen des älteren Biofilters der Ferkelzuchtanlage lagen die Ammoniakkonzentrationen im Reingas unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/m³. Rohgasseitig lagen die Messwerte im Januar zwischen 6 – 10 mg/m³, wobei diese Werte im Revisions-schacht gemessen wurden. Lachgas konnte nur in Spuren detektiert werden, Stickstoffmonoxid lag sowohl im Rohgas (Revisions-schacht) als auch im Reingas im Bereich der Bestimmungsgrenze von 5 mg/m³. Bei einer Ortseinsicht am 27.02.2014 ergaben sich durch Prüfröhrchenmessungen 7 mg/m³ im Revisions-schacht. Auf der Filteroberfläche war kein Ammoniak mehr messbar, im Stall lagen die Werte um 3 mg/m³.

4.3.5.5 Untersuchung von Filtermaterial

Das Biofiltermaterial wurde zunächst im Winter an der Oberfläche entnommen und nach halbjähriger Betriebszeit im August über die gesamte Tiefe des Filters untersucht. Zum Vergleich wurde im Winter auch Filtermaterial einer älteren Anlage beprobt.

Für die Eluate wurden je 40 g gefriergetrocknete Probe in 400 ml deionisiertem Wasser 24 Stunden eluiert. Die Ergebnisse sind Konzentrationen im Eluat von 40 g Trockenmasse.

Es ist ersichtlich, dass in den heißen Sommermonaten keine ausreichende Durchfeuchtung mehr vorlag. Der Biofilter war mit einem Wasseranteil von circa 14 % nahezu vollständig ausgetrocknet.

Die Untersuchungsergebnisse des Biofiltermaterials zeigen, dass sich Stickstoffkomponenten im Biofilter anreichern. Im August wurde ein Profil über die gesamte Filterhöhe erstellt, das die Anreicherung im unteren Bereich des Systems aufzeigt. Auch die Vergleichsmessung mit dem Biofiltermaterial eines älteren Filters (10.02.15) zeigt im Vergleich zur Oberfläche der Neuanlage (03.02.2015) die vorhandene Anreicherung der Stickstoffkomponenten.

Tab. 16: Feuchtegehalt und Eluat-Untersuchungsergebnisse von Wurzelholzproben aus dem Biofilter A der Mastschweineanlage beziehungsweise des Ferkelzuchtbetriebes B

Probenbezeichnungen/ Parameter	Biofilter A Mastschweineanlage				Vergleichsmessung Biofilter B > 2 Jahre in Betrieb des Ferkelzucht- betriebs
	03.02.2015	03.08.2015			
Probenahmestelle	Filterober- fläche (0-20 cm)	Filterober- fläche (0-20 cm)	Filtertiefe (20-40 cm)	Filtertiefe (40-60 cm)	Filteroberfläche (0-20 cm)
Wasseranteil [%]	66,01	13,58	13,5	14,4	54,05
pH	6,16	6,3	6	5,9	6,56
Lf [mS/cm]	0,34	5,04	9,5	9,78	6,13
NH ₄ -N [mg/l]	4,5	570	1200	1200	660
NO ₂ -N [mg/l]	0,018	42	38	37	5,8
NO ₃ -N [mg/l]	<0,05	210	750	580	710
Ges-N [mg/l]	26	910	2000	2000	1700
o-PO ₄ -P [mg/l]	7,0	8,2	20	53	6,9
Ges-P [mg/l]	8,0	10	25	63	8,0
filtriertes Volumen [ml]	circa 240	circa 205	circa 230	circa 225	circa 200

4.3.5.6 Klimagase

Während der Messkampagnen I bis III befanden sich sämtliche als Halbstundenmittelwerte erfassten Emissionswerte von Distickstoffmonoxid sowohl reingasseitig als auch rohgasseitig stets unter der Bestimmungsgrenze der jeweiligen Messverfahren von 0,005 g/m³. Für Methan ergaben sich für die Halbstundenmittelwerte Gehalte zwischen 5,4 und 161 mg/m³ mit tagesdurchschnittlichen Werten über die Messzeiten zwischen 9,2 und 114 mg/m³. Maßgeblich verantwortlich für die Methanemissionen sind anaerobe Abbauprozesse organischer Stoffe, z. B. im Güllekeller unter dem Spaltenboden. Diese werden über die Absaugung der Stallinnenraumluft mit erfasst und über den Biofilter in die Umgebung abgeführt. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen roh- und reingasseitigen Werten.

4.3.6 Verbesserungsvorschläge für die Funktionstüchtigkeit des Filtersystems

Bei der letzten Ortseinsicht am 03.08.2015 war der Biofilter nicht mehr in einem ordnungsgemäßen Zustand. Durch die heißen und trockenen Sommermonate ist es dem Betreiber offenbar nicht gelungen, den Biofilter ausreichend feucht zu halten. Zudem hatte sich das Material deutlich gesetzt. Insgesamt war Rohgasgeruch im Umfeld des Biofilters wahrnehmbar, die Messung mit Prüfröhrchen ergab eine Ammoniakkonzentration von circa 7 mg/m³ auf der Reingasseite. In Zusammenarbeit mit dem Betreiber wurden daher folgende Verbesserungsmaßnahmen besprochen:

- Wiederbefeuchtung des ausgetrockneten Materials unter Vermeidung von Staunässe (Sauerstoffmangel bei den geruchsreduzierenden Bakterien führt zur Fäulung). Dabei sollte die Abluftführung während der Befeuchtung über Kamin geführt werden, gegebenenfalls muss sonst das Material ausgebaut werden
- Auf- beziehungsweise Nachfüllen des Filtermaterials bis zur maximalen möglichen Höhe
- Vergrößerung der Filterfläche beziehungsweise des Volumens durch Verlängerung des Biofilters an der Stallaußenwand
- Dauerhafte Befeuchtung des Filtermaterials durch eine mit Feuchtesensoren gesteuerte Bewässerung. Dabei ist es wichtig, die Sensoren auch an tiefer gelegenen Stellen des Biofilters zu platzieren, um nicht nur an der Oberfläche eine Befeuchtung zu erzielen
- Vorbedüsung des Rohgases innerhalb der Druckkammer, um zum einen eine Vorabscheidung von Staub und Ammoniak zu erreichen, zum anderen um den Feuchtigkeitsgehalt auch im unteren Bereich des Biofilters aufrechtzuerhalten.
- Abdeckung der oberen 20 cm der Filterschicht z. B. mit Rindenmulch um den Filter vor Austrocknung zu schützen und für einen besseren Druckausgleich zu sorgen [19]
- Ergänzung des elektronischen Betriebstagebuchs - mit allen notwendigen Messparametern – wie es auch im Bescheid gefordert ist

5 Fazit und Ausblick

Alle bayerischen Abgasreinigungsanlagen wurden im Wesentlichen bisher zur Geruchsminderung errichtet. Beim Großteil der Anlagen war zum Zeitpunkt der Ortseinsichten ein deutlicher Minderungseffekt gegeben. Dies bestätigte sich nicht nur bei den Ortseinsichten, sondern vor allem auch durch die geringe Beschwerdesituation. Während in direkter Nähe von älteren Flächenbiofiltern oft noch typischer Schweinegeruch wahrnehmbar war, konnte bereits nach einigen Metern der Stallgeruch seine charakteristische Geruchsnote verlieren. Neuere Anlagen waren durchaus fähig, die Geruchsnote bereits direkt im Reingasstrom zu verändern. Die Messungen zeigten zudem, dass auch „einfachere“ Abgasreinigungssysteme in der Lage sind Bioaerosolemissionen zu mindern.

Insgesamt scheinen für baurechtlich genehmigungsbedürftige, bäuerliche Betriebe die strengen Anforderungen einer Zertifizierung von 300 GE/m³ im Reingas und Minderungsgrade für Staub und Ammoniak von > 70 % nicht die prioritären Kriterien zu sein. Vielmehr sollte das Augenmerk auf die deutliche Veränderung des typischen „Schweinegeruchs“ gelegt werden. Die Abluft darf sich vom biogenen Hintergrundgeruch nicht mehr abheben beziehungsweise der Geruchsnote „Schwein“ zuordenbar sein. Dabei sind gewisse Mindestanforderungen an die Auslegung, Technik und Wartung erforderlich, die im Rahmen der Verhältnismäßigkeit umgesetzt werden müssen. Zugleich sind auch diese Systeme befähigt Bioaerosole sowie Ammoniak und Staub zu reduzieren.

Bei Tierhaltungsanlagen, die zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen verpflichtet sind und deren Höhe der Geruchsstoffströme sich von kleinbäuerlichen Anlagen deutlich unterscheiden, sind dagegen wesentlich höhere Anforderungen zu stellen, die neben Geruch auch insbesondere eine deutliche Ammoniakrückhaltung betreffen. Nach dem derzeitigen Entwurf der TA Luft sind hiervon jedoch nur 1 % der bayerischen Schweinehalter (circa 60 Anlagen, die der Industrieemissions-Richtlinie [15] unterliegen) betroffen.

Ausblick:

Abgasreinigungen sind wirtschaftlich und technisch noch nicht in aller Gänze ausgereift. Es gibt noch an einigen Stellen verbesserungswürdige Punkte. Dabei gilt es insbesondere im Abwägungsprozess von technisch machbaren Anforderungen zur Minimierung der verschiedenen Schadstoffe und der wirtschaftlichen Belastungsgrenze in Abhängigkeit von der Anlagengröße ein Optimum zu finden. Dies ist aber ein stetiger Entwicklungsprozess, der nur durch die Erfahrungen im Praxisbetrieb dieser Anlagen erforscht und weiter vorangetrieben werden wird. Diese Entwicklungschance kennt man auch aus Anforderungen bei Industrieanlagen.

Neben den positiven Auswirkungen auf den Umweltschutz bergen Abgasreinigungen in der Landwirtschaft einen weiteren, nicht zu unterschätzenden Vorteil, den ein Landwirt bei einer der vielen Ortseinsichten folgendermaßen in Worte fasste: „Ich wollte keine Abgasreinigung in meinen Maststall einbauen, scheute die Kosten und den Wartungsaufwand. Jetzt ist meine Anlage akzeptiert im Dorf, mein Ansehen ist gestiegen und es herrscht vor allem wieder ein friedliches Nebeneinander. Heute muss ich sagen, dass ich zu meinem Glück gezwungen wurde.“

Bei der Forderung nach Abgasreinigungsanlagen darf aber auch das Tierwohl nicht unberücksichtigt bleiben [60]. Im Vergleich zu einem zwangsgelüfteten Stall im Flüssigmistverfahren ergibt sich allein durch Errichtung eines Außenklimastalls bereits eine Minderung der Ammoniakemissionen um circa 33 %, bei einer erheblichen Minderung der Energiekosten. Für einen Auslaufstall wurden bei einer ersten orientierenden Messung des Landesamtes für Umwelt sogar noch höhere Minderungsgrade festgestellt. Insbesondere in der Intensivlandwirtschaft – die mehr als alle anderen Industriezweige in einem engen regionalen Kreislaufsystem wirtschaften muss – gilt es daher Maßnahmen anzuwenden, mit denen die Emissionen in die Luft, das Wasser und den Boden vermieden oder begrenzt werden und dabei ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt erreicht wird. Maßnahmen, die sich auf alle Bereiche stark auswirken und damit die höchsten Minderungseffekte in Bezug auf die derzeitige Stickstoffproblematik erzielen, sind ohne Frage eine stärkere regionale Flächenbindung, die auf eine nachhaltige maximal Tierplatzzahl abgestimmt sein muss, die bedarfsgerechte Düngung mit sofortiger Einarbeitung, die Abdeckung der Güllelager, sowie die Verringerung der zusätzlichen Stickstoffeinträge durch Mineraldünger und Futtermittelimporte.

6 Anhang

Tab. 17: Zusammenstellung der von der DLG zertifizierten Abgasreinigungsanlagen

DLG-Bericht Nr.	Abluftreinigungsverfahren	Nutzung	Hersteller/ Vertrieb	Reinigungsleistung			Prüfung	
				Ammoniak	Staub	Geruch		
6284	1-stufiger Abluftwäscher	physikalisch-biologischer Abluftwäscher	Schweinehaltung	System RIMU	+	+	+	Okt 2015
6254	1-stufiger Chemowäscher mit Tropfenabscheider ASA1	1-stufiger Chemowäscher	Hähnchenschwermast	Anisol GmbH	+	+	n.g	Jul 2015
6260	1-stufiger Chemowäscher mit Tropfenabscheider Inno+ Pollo-M	1-stufiger Chemowäscher	Hähnchenschwermast	Inno+ B.V. Niederlande	+	+	n.g	Mai 2015
6224	3-stufige Abluftreinigungsanlage MagixX-Pig+für die Schweinehaltung	zweistufiger chemischer Abluftwäscher mit Biofilter	Schweinehaltung	Big Dutchman	+	+	+	Apr 2015
6243	3-stufige Abluftreinigungsanlage Kombi Luftwäscher	physikalisch-biologischer Abluftwäscher	Schweinehaltung	KWB Air Systems	+	+	+	Dez 2014
6212	2-stufige Abluftreinigungsanlage EMMI für die Hähnchenschwermast	Chemowäscher	Hähnchenschwermast	Schulz Systemtechnik	+	+	n.g	Aug 2014
6178	Biologischer Rieselbettreaktor BioCombie	Biowäscher	Schweinehaltung	Uniqfill Air BV	+	+	+	Mai 2014
6221	zweistufige Abluftreinigungsanlage für die Kälbermast		Kälbermast	IUS	n.g	n.g	+	Jan 2012
6051	Abluftreinigungsanlage Abluftwäscher Rohreinbau	Chemowäscher	Schweinehaltung	Reventa	+	+	n.g	Dez 2011
6050	Abluftreinigungsanlage HelixX	Chemowäscher	Schweinehaltung	Big Dutchman	+	+	n.g	Dez 2011
5957	Abluftreinigungsanlage HelixX	Chemowäscher	Schweinehaltung	Big Dutchman	+	+	n.g	Aug 2010
5955	Dreistufige Abluftreinigungsanlage Flex 3-step (dreistufig) BIO	Bio-Chemowäscher + Biowäscher+ Biofilter	Schweinehaltung	SKOV	+	+	+	Aug 2010
5954	Zweistufige Abluftreinigungsanlage BIO Flex2-step (zweistufig)	Bio-Chemowäscher+ Biowäscher	Schweinehaltung	SKOV	+	+	n.g	Aug 2010
5952	Abluftreinigungssystem MagixX-B	Chemowäscher mit Vorbedüsung	Geflügelkurzmast (bis zu 35 Tage)	Big Dutchman	+	+	n.g	Aug 2010
6220	zweistufige Abluftreinigungsanlage	Bio-Chemowäscher+ Biofilter	Schweinehaltung	IUS	+	+	+	Jun 2010
5880	Abluftreinigungsanlage "Chemowäscher(+)"	Chemowäscher+ Biowäscher	Schweinehaltung	Uniqfill Air	+	+	+	Jul 2009
5879	Abluftreinigungsanlage "Biologic Clean Air Kombiwäscher BCA 70/90"	Bio-Chemowäscher	Schweinehaltung	Devriecom	+	+	+	Jul 2009
5702	Abluftreinigungsanlage "Dorset- Rieselbettfilter"	Biowäscher	Schweinehaltung	Dorset Green Machines bv	+	+	+	Mai 2006
5699	Abluftreinigungssystem für die Schweinehaltung	Biofilter	Schweinehaltung	Hagola Biofilter GmbH	n.g	+	+	Nov 2006

+ = geeignet; n.g = nicht geeignet
 Anforderungen für geeignet:
 Abscheidung von **Staub >70%**, Abscheidung von **Ammoniak >70%**, **Geruchskonzentrationen** am Reingasaustritt $\leq 300 \text{ GE/m}^3$ und kein Rohgas im Reingas wahrnehmbar

Tab. 18: Zusammenstellung der von den Betreibern angegebenen AGR-Kosten bei verschiedenen Verfahrenstypen sowie Literaturangaben [17]

Verfahrenstyp der AGR	Biofilter	Biofilter (Volksbiofilter)	Biofilter	Rieselbettreaktor	Rieselbettreaktor	Rieselbettreaktor	Rieselbettreaktor	2-stufig	3-stufig	3-stufig
Zertifizierung	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nicht zertifiziert	nach Cloppenburger Leitfaden	nach Cloppenburger Leitfaden
Errichtungsjahr	1994 errichtet; 2013 teilsaniert	2012	2014	2002	2010	2012	1997 errichtet; 2014 teilsaniert	2003 errichtet; 2005 teilsaniert	2009 errichtet; 2012 komplett saniert	2009
Auslegungsgröße	2 Filterbeete: 180 m ³ Schütthöhe: 0,60m	60m lang, 8m breit, Schütthöhe: 1,40m	Gesamtfilterfläche: 160m ² Schütthöhe: 0,75m	k. A.	2,45m lang, 3,15m breit, 8m hoch	6m breit	2,40m lang, 2,40m breit, 1,50m Höhe der Füllkörperschicht	k. A.	k. A.	k. A.
Tierplätze	2 Ställe: 480 Mastschweine	4080 Ferkel	1150 Mastschweine	72 Zuchtsauen	300 Zuchtsauen	600 Mastschweine	100 Zuchtsauen	1440 Mastschweine	2204 Mastschweine	2200 Mastschweine
max. Sommerluftfrate	k. A.	336.800m ³ /h	114.000m ³ /h	k. A.	k. A.	50.000m ³ /h	20.000m ³ /h	122.400m ³ /h	160.000m ³ /h	k. A.
Investitionssumme	ca.15.000 €*	ca.100.000 €*	ca. 80.000 €*	ca.7.000 €*	k. A.	ca. 12.500 €*	ca. 10.000 €* (ohne Gehäuse)	ca. 40.000 €*	ca. 120.000 €*	ca. 100.000 €*
Investitionssumme in € / TP (Literaturwert)	31,25 € / TP* (ca. 76,00 €)	22,80 € / TP*	52,20 € / TP* (ca. 64,50 €)	97 € / TP* (ca. 82,50 €)	k. A.	20,20 € / TP* (ca. 82,50 €)	100 € / TP* (ca. 82,50 €)	27,80 € / TP* (ca. 73,00 €)	54,40 € / TP* (ca. 56,50 €)	45,50 € / TP* (ca. 56,50 €)
Stromverbrauch in kWh/Mastschwein / Jahr	k. A.	k. A.	ca. 12,9 kWh / MS / a ca.3 € / MS / a	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	ca.12 kWh / MS / a ca. 2,40 € /MS /a	k. A.	ca. 12,2 kWh / MS / a ca. 3,10 € / MS/ a
Wasserverbrauch	k. A.	hauseigenes Brunnenwasser	3,5 m ³ / Tag im Sommer. 1 m ³ / Tag im Winter. ca. 2-3 m ³ / Tag in Übergangszeiten.	260l / Tag	hauseigenes Brunnenwasser	hauseigenes Brunnenwasser	hauseigenes Brunnenwasser	3,87 m ³ /Tag [0,37 m ³ / Mastschwein / Jahr]	7m ³ / Tag im Sommer	k. A.
Austausch Biofiltermaterial / Füllkörper	nach ca. 9 Jahren	alle 5-8 Jahre	Füllmaterial: ca. 46 € /m ³	k. A.	k. A.	k. A.	nach 17 Jahren	Filtermaterial: ca. 2.000 € , alle 2 Jahre	alle 2 Jahre	0,10 € / Mastschwein/ Jahr
Gesamtkosten / Mastschwein / Jahr (Literaturwert)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	6,67 € mit Lüftung (ca. 5,00 €)

* Die Eigenleistung beim Einbau/Errichtung sind in dieser Summe nicht miteingerechnet. k.A. = keine Angabe

Tab. 19: Mess-, Probenahme- und Analyseverfahren nach beziehungsweise in Anlehnung an DIN EN-Normen, VDI-Richtlinien

	Messgröße	Mess-, Probenahmeverfahren	Analysenverfahren
Kontinuierlich	Abgastemperatur	NiCr-Ni-Thermoelement	–
	Abgasfeuchte	Feuchtefühler	–
	C _{ges} , C _{CH4}	Edelstahlprobenahmesonde mit Sinterkeramikfilter	Flammenionisation, DIN EN 12619, VDI 3481 Blatt 4
	N ₂ O	Edelstahlprobenahmesonde mit Sinterkeramikfilter	Nichtdispersive Infrarotadsorption, DIN EN ISO 21258
	Abgasgeschwindigkeit	Flügelradanemometer VDI 2066 Blatt 1	
Diskontinuierlich	Abgasgeschwindigkeit	Flügelradanemometer VDI 2066 Blatt 1	–
	NH ₃	VDI 3496 Blatt 1	Ionenchromatographie, DIN EN ISO 14911
	Gesamtstaub	DIN EN 13284-1, VDI 2066 Blatt 1	Gravimetrie, DIN EN 13284-1, VDI 2066 Blatt 1
	Feinstaub PM ₁₀ , PM _{2,5}	VDI 2066 Blatt 10	Gravimetrie, VDI 2066 Blatt 10
	Endotoxine	VDI 2066 Blatt 10, BIA 9450	Chromogenkinetischer Test, BIA 9450
	Bakterien	VDI 4257 Blatt 2	Kultureller Wachstumsnachweis, VDI 4253 Blatt 3 (für Bakterien)

Tab. 20: Messunsicherheiten beispielhaft für Reingas des Rieselbettwäschers

Messkomponente Reingas	Einheit	Maximaler Messwert y _{max}	Maximal Messunsicherheit U _p	y _{max} – U _p	y _{max} + U _p	Bestimmungsmethode
Abgasvolumenstrom	m ³ /h	14.696	10 %	13.226	16.166	indirekt
Abgastemperatur	°C	22,4	2 %	22,0	22,8	indirekt
Abgasfeuchte	Vol.-%	2,8	10 %	2,5	3,1	indirekt
Sauerstoff	Vol.-%	21,2	5 %	20,1	22,3	indirekt
Kohlenstoffdioxid	Vol.-%	0,3	5 %	0,3	0,3	indirekt
Kohlenstoffmonoxid	g/m ³	< 0,005	5 %	< 0,005	< 0,005	indirekt
Schwefeldioxid	g/m ³	< 0,005	5 %	< 0,005	< 0,005	indirekt
Stickstoffmonoxid	g/m ³	0,007	5 %	0,007	0,007	indirekt
Stickstoffmonoxid und -dioxid (angegeben als NO ₂)	g/m ³	0,017	5 %	0,016	0,018	indirekt
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	mg/m ³	< 5,0	5 %	< 4,8	< 5,3	indirekt
Organische Stoffe (Gesamtkohlenstoff)	mg/m ³	281	5 %	267	295	indirekt
Methan (Methankohlenstoff)	mg/m ³	236	5 %	224	248	indirekt
Methan	mg/m ³	315	5 %	299	331	indirekt
Ammoniak	mg/m ³	7,4	10 %	6,7	8,1	indirekt
Gesamtstaub	mg/m ³	3,2	15 %	2,7	3,7	indirekt
Feinstaub PM ₁₀	mg/m ³	0,8	25 %	0,6	1,0	indirekt
Feinstaub PM _{2,5}	mg/m ³	0,3	25 %	0,2	0,4	indirekt
Geruchsstoffe	GE/m ³	2.300	11 %	2.000	2.500	indirekt

Bioaerosole

Im Gegensatz zu chemischen Methoden können bei mikrobiologischen Prüfverfahren Messunsicherheiten oft nicht genau bestimmt werden, weil lebende Materie gemessen wird, welche sich dynamisch verhält in Bezug auf Vermehrung, Absterben, Schädigung und Inaktivierung [61]. Ein Nachweis von Mikroorganismen, vor allem im quantitativen Bereich, ist daher stets nur eine Annäherung an den wahren Wert. Für die hier durchgeführten Luftkeimuntersuchungen wird ein 95%-Vertrauensintervall von 0,5 log₁₀-Einheiten zu Grunde gelegt (siehe auch Doppelbestimmungen)

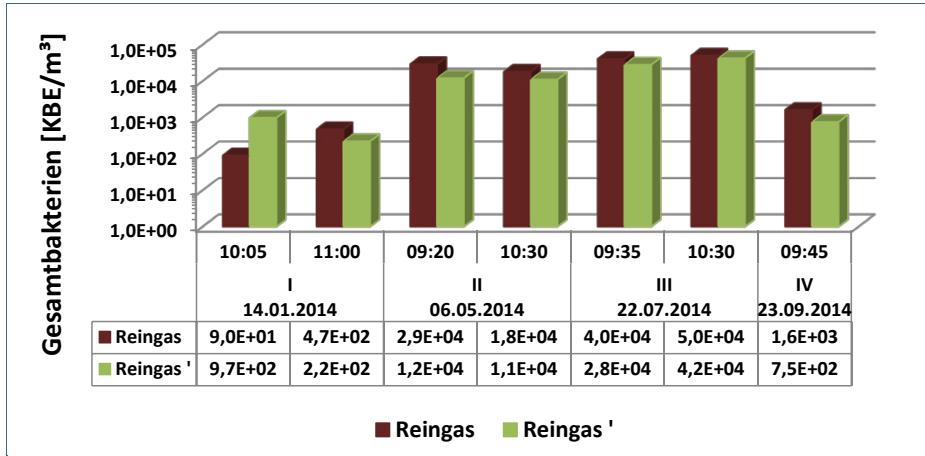


Abb. 105:
Doppelbestimmungen
beim Rieselbettreaktor
der Zuchtsauenanlage

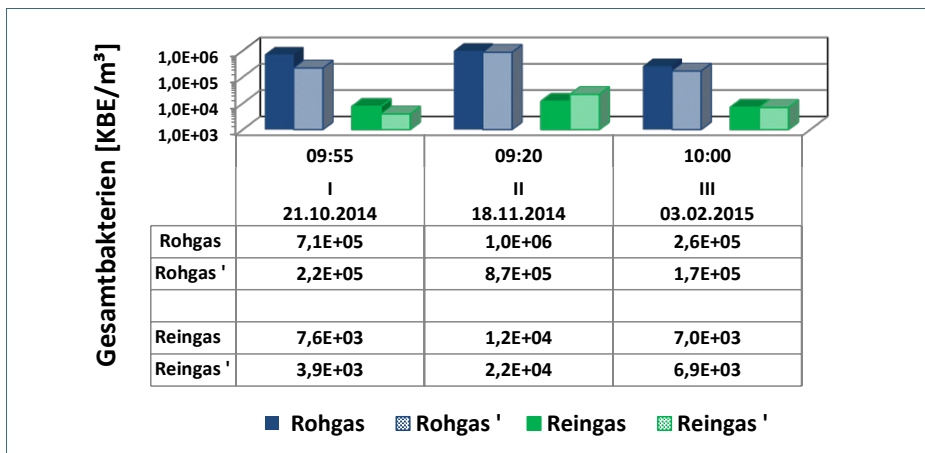


Abb. 106:
Doppelbestimmungen
beim Biofilter der
Schweinemastanlage

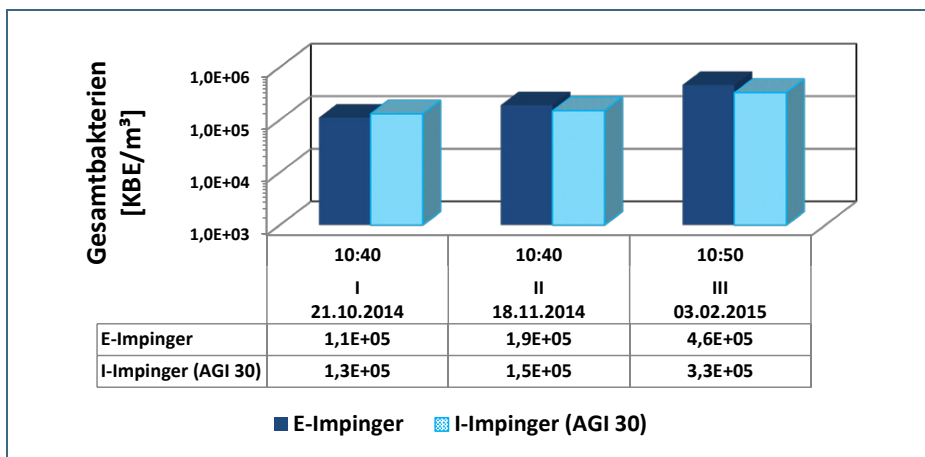


Abb. 107:
Parallelmessungen der
Emissions- und Immissions-
Impinger im
Rohgas beim Biofilter
der Schweinemastanlage

Tab. 21: Eingesetzte Nährmedien zur direkten 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	Gesamtbakterien
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. 22: Tierbestände der Zuchtsauenanlage während der Messungen

Messtermine	Tierbestand					
	Kampagne I	Kampagne II	Kampagne III	Kampagne IV	Kampagne V	Geruchsmessung 5
Stallabteile	2013	2014				
	19. – 21.11.	13. – 16.01.	05. – 08.05.	21. – 24.07.	22. – 26.09.	28.10.
Wartestall (LE)	59 Sauen	59 Sauen	64 Sauen	58 Sauen	56 Sauen	58 Sauen
Abferkelstall 1 (A1)	11 Sauen	14 Sauen	14 Sauen	12 Sauen	14 Sauen	12 Sauen
Abferkelstall 2 (A2)	13 Sauen	12 Sauen	13 Sauen	11 Sauen	13 Sauen	14 Sauen
Ferkelstall 1 (F1)	72 Ferkel	53 Ferkel	16 Ferkel	38 Ferkel	58 Ferkel	65 Ferkel
Ferkelstall 2 (F2)	60 Ferkel	55 Ferkel	56 Ferkel	68 Ferkel	60 Ferkel	72 Ferkel
Ferkelstall 3 (F3)	35 Ferkel	51 Ferkel	79 Ferkel	51 Ferkel	82 Ferkel	85 Ferkel
Ferkelstall 4 (F4)	90 Ferkel	81 Ferkel	104 Ferkel	126 Ferkel	95 Ferkel	126 Ferkel
Zuchtsauenplätze	83	85	91	81	83	84

Tab. 23: Parameter der untersuchten Wasserproben des Rieselbettreaktors

Gesamtbakterien

- Plattengussverfahren auf DEV-Agar (22 °C / 36 °C)

E. coli => MPN (Colilert-18, Fa. Idexx, Best.-Nr. WP2001-18)

- Quantitative Bestimmung von *Escherichia coli* in Wasser mit dem miniaturisierten Verfahren durch Animpfen von Flüssigmedium (MPN-Verfahren) gemäß (DIN-EN-ISO-9308 1999-07)
- *E. coli* => je 1:2 ; + 3 weitere Verdünnungsstufen

Enterokokken => MPN (Enterolert-E, Fa. Idexx, Best.-Nr. WENTE200)

- Quantitative Bestimmung von intestinalen Enterokokken in Wasser mit dem miniaturisierten Verfahren durch Animpfung in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) gemäß (DIN-EN-ISO-7899-1 1999-07)
- je 1:2; + 3 weitere Verdünnungsstufen

Pseudomonaden

- Quantitative Bestimmung von *Pseudomonas aeruginosa* in Wasser mittels Membranfiltration gemäß (DIN-EN-ISO-16266 2008-05)
- 1 mL direkt ausplattiert + Filtration von 20 mL => Inkubation auf CN-Agar (NBK-OSH)

Clostridium perfringens

- Quantitative Bestimmung von *Clostridium perfringens* mittels Membranfiltration nach Methoden der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)
- 1 mL direkt ausplattiert + Filtration von 20 mL => Inkubation auf m-CP-Agar (NBK-OSH)

Legionellen

- Quantitative Bestimmung von Legionellen mittels Direktansatz und Membranfiltration in Wasser gemäß (DIN-EN-ISO-11731-2 2008-06)
- 1 mL Direktansatz und je 1mL 1:10 und 1:100 Verdünnung
=> Inkubation auf GVPC-Agar (Fa. Bio-Rad, Best.-Nr. 356-3719)

Tab. 24: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Geruchsstoffe** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Messung	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Geruchsstoffe				Gesamtvolumenstrom f, 20 °C m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			GE/m ³	GE/h	GE/m ³	GE/h	
1	28.11.2013	13:04 – 13:25	3.600	13,3 × 10 ⁶	2.300	8,51 × 10 ⁶	3.700
	28.11.2013	13:30 – 13:53	3.800	14,1 × 10 ⁶	1.700	6,29 × 10 ⁶	3.700
	28.11.2013	14:00 – 14:25	5.000	18,5 × 10 ⁶	1.500	5,55 × 10 ⁶	3.700
	28.11.2013	14:25 – 14:48	3.600	13,3 × 10 ⁶	2.200	8,14 × 10 ⁶	3.700
2	08.05.2014	13:00 – 13:20	3.200	29,8 × 10 ⁶	1.800	16,7 × 10 ⁶	9.300
	08.05.2014	13:30 – 13:53	–	–	1.400	14,6 × 10 ⁶	10.400
	08.05.2015	14:00 – 14:30	4.500	52,2 × 10 ⁶	1.700	19,7 × 10 ⁶	11.600
	08.05.2014	14:31 – 15:00	–	–	1.800	22,7 × 10 ⁶	12.600
3	24.07.2014	12:16 – 12:38	750	15,8 × 10 ⁶	930	19,5 × 10 ⁶	21.000
	24.07.2014	12:40 – 13:05	1.000	21,0 × 10 ⁶	990	20,8 × 10 ⁶	21.000
	24.07.2014	13:10 – 13:32	670	14,1 × 10 ⁶	880	18,5 × 10 ⁶	21.000
	24.07.2014	13:35 – 14:05	940	19,7 × 10 ⁶	880	18,5 × 10 ⁶	21.000
4	25.09.2014	13:15 – 13:44	1.000	10,4 × 10 ⁶	1.300	13,5 × 10 ⁶	10.400
	25.09.2014	13:45 – 14:13	1.100	11,4 × 10 ⁶	980	10,2 × 10 ⁶	10.400
	25.09.2014	14:15 – 14:43	1.300	13,5 × 10 ⁶	860	8,94 × 10 ⁶	10.400
	25.09.2014	14:45 – 15:15	1.300	13,5 × 10 ⁶	770	8,01 × 10 ⁶	10.400
5	28.10.2014	11:50 – 12:20	1.900	14,1 × 10 ⁶	1.100	8,14 × 10 ⁶	7.400
	28.10.2014	12:25 – 12:55	1.000	7,40 × 10 ⁶	1.300	9,62 × 10 ⁶	7.400
	28.10.2014	13:00 – 13:30	1.100	8,14 × 10 ⁶	1.600	11,8 × 10 ⁶	7.400
	28.10.2014	13:41 – 14:11	940	6,96 × 10 ⁶	1.200	8,88 × 10 ⁶	7.400
Minimum			670	6,96 × 10 ⁶	770	5,55 × 10 ⁶	3.700
Mittelwert			2.039	16,5 × 10 ⁶	1.360	13,1 × 10 ⁶	10.695
Maximum			5.000	52,2 × 10 ⁶	2.300	22,7 × 10 ⁶	21.000

Tab. 25: Datenblatt zur Geruchsmessung der Zuchtsauenanlage Messung 1

Messergebnisse Geruch - Rieselbettreaktor - Messung 1							
Quelle		Reingas Gaswäscher					
Probennahme							
Nummer der Messung		1*	2	3	4		
Datum der Messung		28.11.2013	28.11.2013	28.11.2013	28.11.2013		
Beginn		[hh:mm] 13:04	13:30	14:00	14:25		
Ende		[hh:mm] 13:25	13:53	14:25	14:48		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 3.450	3.450	3.450	3.450		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 3.700	3.700	3.700	3.700		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 2.300	1.700	1.500	2.200	1500	1900
Genauigkeit Labor		0,074	0,074	0,074	0,074		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 2000	1500	1300	2000	1300	1700
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}		[GE _E /m³] 2500	1900	1700	2500	1700	2200
dB-Wert		[dB] 33,6	32,3	31,8	33,4		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,4	2,1	2,6	2,1		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}		[MGE _E /h] 8,51	6,29	5,55	8,14	5,55	7,12
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 7,40	5,55	4,81	7,40	4,81	6,29
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 9,25	7,03	6,29	9,25	6,29	7,96
Charakterisierung Geruchswahrnehmung Mehrfachnennungen		Schweinstall/ Stall, Fäulnis/fauliges Stroh	Biomüll/ Mülltonne, Mist	Mist	Mist, verwesendes Obst		
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		2/4	2/4	3/4	2/4		
Quelle		Rohgas Gaswäscher					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		28.11.2013	28.11.2013	28.11.2013	28.11.2013		
Beginn		[hh:mm] 13:04	13:30	14:00	14:30		
Ende		[hh:mm] 13:25	13:55	14:25	14:55		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 3.440	3.440	3.440	3.440		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 3.700	3.700	3.700	3.700		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 3.600	3.800	5.000	3.600	3600	4000
Genauigkeit Labor		0,074	0,074	0,074	0,074		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 3200	3400	4500	3200	3200	3600
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}		[GE _E /m³] 4000	4200	5600	4000	4000	4500
dB-Wert		[dB] 35,5	35,8	37,0	35,5		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,7	2,4	1,4	1,3		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}		[MGE _E /h] 13,32	14,06	18,50	13,32	13,32	14,80
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 11,84	12,58	16,65	11,84	11,84	13,23
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 14,80	15,54	20,72	14,80	14,80	16,47
Charakterisierung Geruchswahrnehmung Mehrfachnennungen		Klo/Urin, Mist	Stall, Urin	Mist	Mist, Stall		

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

* ... im Reingas nur 3 gültige Probanden

Tab. 26: Datenblatt zur Geruchsmessung der Zuchtsauenanlage Messung 2

Messergebnisse Geruch - Rieselbettreaktor - Messung 2						
Quelle		Reingas Gaswäscher				
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		08.05.2014	08.05.2014	08.05.2014	08.05.2014	
Beginn	[hh:mm]	13:00	13:30	14:00	14:31	
Ende	[hh:mm]	13:20	13:53	14:30	15:00	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	8.700	9.700	10.800	11.700	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	9.300	10.400	11.600	12.600	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.800	1.400	1.700	1.800	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,052	0,052	0,052	0,052	1400 1700 1800
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	1700	1300	1600	1700	1300 1600 1700
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	2000	1500	1800	2000	1500 1800 2000
dB-Wert	[dB]	32,6	31,3	32,3	32,6	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,0	1,3	2,3	1,7	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	16,74	14,56	19,72	22,68	14,56 18,43 22,68
unterer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	15,81	13,52	18,56	21,42	13,52 17,33 21,42
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]					
oberer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	18,60	15,60	20,88	25,20	15,60 20,07 25,20
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]					
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Gülle, fäkal	fäkal, Mist	Schweine- stall, fäkal	Schweine- stall, fäkal	
Mehrfachnennungen						
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)						
		1/4	1/4	3/4	3/4	
Quelle						
Rohgas Gaswäscher						
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		08.05.2014	08.05.2014	08.05.2014	08.05.2014	
Beginn	[hh:mm]	13:02	13:31	14:01	15:00	
Ende	[hh:mm]	13:22	13:53	14:22	15:30	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	8.700	9.700	10.800	11.700	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	9.300	10.400	11.600	12.600	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	3.200	1.700	4.500	2.200	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,052	0,052	0,052	0,052	3200 3900 4500
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	2900	1600	4200	2100	2900 3600 4200
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	3400	1800	4900	2400	3400 4200 4900
dB-Wert	[dB]	35,0	32,3	36,5	33,5	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,1	1,2	1,0	1,7	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	29,76	17,68	52,20	27,72	29,76 40,98 52,20
unterer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	26,97	16,64	48,72	26,46	26,97 37,85 48,72
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]					
oberer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	31,62	18,72	56,84	30,24	31,62 44,23 56,84
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]					
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Schweine- stall, Gülle, fäkal	Schweine- stall, fäkal	Schweine- stall	Schweine- stall, fäkal	
Mehrfachnennungen						

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 27: Datenblatt zur Geruchsmessung der Zuchtsauenanlage Messung 3

Messergebnisse Geruch - Rieselfestreaktor - Messung 3							
Quelle		Reingas Gaswäscher					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		24.07.2014	24.07.2014	24.07.2014	24.07.2014		
Beginn	[hh:mm]	12:16	12:40	13:10	13:35		
Ende	[hh:mm]	12:38	13:05	13:32	14:05		
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	19.600	19.600	19.600	19.600		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	21.000	21.000	21.000	21.000		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	930	990	880	880	880	900
Genauigkeit Labor		0,069	0,069	0,069	0,069		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	840	890	790	800	790	800
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	1000	1100	970	980	970	1000
dB-Wert	[dB]	29,7	30,0	29,4	29,5		
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,7	1,6	2,2	2,2		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	19,53	20,79	18,48	18,48	18,48	19,32
unterer Vertrauensbereich							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	17,64	18,69	16,59	16,80	16,59	17,43
oberer Vertrauensbereich							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	21,00	23,10	20,37	20,58	20,37	21,26
Charakterisierung							
Geruchswahrnehmung		Mist, süßlich	Fäkal, Mist	Fäkal, Mist	Mist, Kot, modrig		
Mehrfachnennungen							
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	0/4		
Quelle		Rohgas Gaswäscher					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		24.07.2014	24.07.2014	24.07.2014	24.07.2014		
Beginn	[hh:mm]	12:16	12:41	13:11	13:36		
Ende	[hh:mm]	12:39	13:05	13:35	14:06		
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	19.600	19.600	19.600	19.600		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	21.000	21.000	21.000	21.000		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	750	1.000	670	940	670	800
Genauigkeit Labor		0,069	0,069	0,069	0,069		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	680	900	600	850	600	800
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	830	1100	740	1000	740	900
dB-Wert	[dB]	28,7	30,0	28,2	29,7		
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	2,0	1,8	1,8	1,0		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	15,75	21,00	14,07	19,74	14,07	17,64
unterer Vertrauensbereich							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	14,28	18,90	12,60	17,85	12,60	15,91
oberer Vertrauensbereich							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	17,43	23,10	15,54	21,00	15,54	19,27
Charakterisierung							
Geruchswahrnehmung		Schweine-stall	Schweine-stall	Schweine-stall, Mist	Schweine-stall		
Mehrfachnennungen							

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Tab. 28: Datenblatt zur Geruchsmessung der Zuchtsauenanlage Messung 4

Messergebnisse Geruch - Rieselbettreaktor - Messung 4						
Quelle		Reingas Gaswäscher				
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		25.09.2014	25.09.2014	25.09.2014	25.09.2014	
Beginn	[hh:mm]	13:15	13:45	14:15	14:45	
Ende	[hh:mm]	13:44	14:13	14:43	15:15	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	9.700	9.700	9.700	9.700	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	10.400	10.400	10.400	10.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.300	980	860	770	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,073	0,073	0,073	0,073	770 1000 1300
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	1100	880	770	690	690 900 1100
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	1400	1100	960	860	860 1100 1400
dB-Wert	[dB]	31,0	29,9	29,4	28,9	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,0	1,5	1,4	2,1	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	13,52	10,19	8,94	8,01	8,01 10,17 13,52
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	11,44	9,15	8,01	7,18	7,18 8,94 11,44
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	14,56	11,44	9,98	8,94	8,94 11,23 14,56
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		leicht fäkal,	fäkal, Mist	fäkal, modrig	faulig,	Schweine-
Mehrfachnennungen					stall	
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	1/4	3/4	
Quelle						
Reingas Gaswäscher						
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		25.09.2014	25.09.2014	25.09.2014	25.09.2014	
Beginn	[hh:mm]	13:19	13:48	14:15	14:45	
Ende	[hh:mm]	13:41	14:10	14:40	15:10	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	9.700	9.700	9.700	9.700	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	10.400	10.400	10.400	10.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.000	1.100	1.300	1.300	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,073	0,073	0,073	0,073	1000 1200 1300
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	900	1000	1100	1100	900 1000 1100
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	1100	1300	1400	1400	1100 1300 1400
dB-Wert	[dB]	30,0	30,5	31,0	31,0	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,8	1,7	2,2	2,3	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	10,40	11,44	13,52	13,52	10,40 12,22 13,52
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	9,36	10,40	11,44	11,44	9,36 10,66 11,44
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	11,44	13,52	14,56	14,56	11,44 13,52 14,56
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Schweine-	Schweine-	Schweine-	Schweine-	
Mehrfachnennungen		stall, Stroh	stall	stall	stall	

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Tab. 29: Datenblatt zur Geruchsmessung der Zuchtsauenanlage Messung 5

Messergebnisse Geruch - Rieselbettreaktor - Messung 5						
Quelle		Reingas Gaswäscher				
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		28.10.2014	28.10.2014	28.10.2014	28.10.2014	
Beginn	[hh:mm]	11:50	12:25	13:00	13:41	
Ende	[hh:mm]	12:20	12:55	13:30	14:11	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	6.900	6.900	6.900	6.900	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	7.400	7.400	7.400	7.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.100	1.300	1.600	1.200	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,084	0,084	0,084	0,084	1100 1300 1600
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	980	1100	1400	1100	980 1100 1400
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	1300	1500	1800	1400	1300 1500 1800
dB-Wert	[dB]	30,5	31,1	32,1	30,8	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	2,0	1,7	1,0	1,3	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	8,14	9,62	11,84	8,88	8,14 9,62 11,84
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	7,25	8,14	10,36	8,14	7,25 8,47 10,36
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	9,62	11,10	13,32	10,36	9,62 11,10 13,32
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Mist, Schwein	Schweine-stall	Schweine-stall, Mist	Schweine-stall	
Mehrfachnennungen						
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)						
		4/4	3/4	4/4	4/4	
Quelle		Rohgas Gaswäscher				
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		28.10.2014	28.10.2014	28.10.2014	28.10.2014	
Beginn	[hh:mm]	11:50	12:24	13:00	13:41	
Ende	[hh:mm]	12:21	12:55	13:31	14:11	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	6.900	6.900	6.900	6.900	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	7.400	7.400	7.400	7.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.900	1.000	1.100	940	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,084	0,084	0,084	0,084	940 1200 1900
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	1700	880	930	830	830 1100 1700
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	2100	1100	1200	1100	1100 1400 2100
dB-Wert	[dB]	32,8	30,0	30,3	29,7	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,8	1,3	1,8	1,0	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	14,06	7,40	8,14	6,96	6,96 9,14 14,06
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	12,58	6,51	6,88	6,14	6,14 8,03 12,58
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	15,54	8,14	8,88	8,14	8,14 10,18 15,54
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Schweine-stall, Gülle	Schweine-stall, fäkal	Schweine-stall, fäkal	Schweine-stall	
Mehrfachnennungen						

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Tab. 30: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Gesamtbakterien** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Gesamtbakterien				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
			n. b.				
			n. b.				
I	14.01.2014	10:05 – 10:35	$0,28 \times 10^6$	$1,02 \times 10^9$	$5,57 \times 10^2$	$2,00 \times 10^6$	3.600
	14.01.2014	11:00 – 11:30	$0,11 \times 10^6$	$0,40 \times 10^9$	$3,46 \times 10^2$	$1,33 \times 10^6$	3.600
	14.01.2014	12:50 – 13:20	$0,81 \times 10^6$	$2,91 \times 10^9$	$1,37 \times 10^4$	$6,22 \times 10^7$	3.600
	14.01.2014	14:00 – 14:30	$0,16 \times 10^6$	$0,57 \times 10^9$	$< 1,76 \times 10^2$	$< 6,34 \times 10^5$	3.600
II	06.05.2014	09:20 – 09:50	$2,17 \times 10^5$	$1,24 \times 10^9$	$2,05 \times 10^4$	$1,17 \times 10^8$	5.700
	06.05.2014	10:30 – 11:00	$1,01 \times 10^5$	$6,76 \times 10^8$	$1,44 \times 10^4$	$6,62 \times 10^7$	6.700
	06.05.2014	11:55 – 12:25	$8,14 \times 10^4$	$6,67 \times 10^8$	$1,37 \times 10^4$	$1,12 \times 10^8$	8.200
	06.05.2014	13:10 – 13:40	$4,71 \times 10^5$	$4,52 \times 10^9$	$2,65 \times 10^4$	$2,55 \times 10^8$	9.600
III	22.07.2014	09:35 – 10:05	$1,27 \times 10^5$	$1,37 \times 10^9$	$3,41 \times 10^4$	$3,69 \times 10^8$	10.800
	22.07.2014	10:30 – 11:00	$1,27 \times 10^5$	$1,44 \times 10^9$	$4,61 \times 10^4$	$5,21 \times 10^8$	11.300
	22.07.2014	11:50 – 12:20	$1,08 \times 10^5$	$1,24 \times 10^9$	$1,09 \times 10^5$	$1,25 \times 10^9$	11.500
	22.07.2014	12:45 – 13:15	$1,27 \times 10^5$	$1,55 \times 10^9$	$4,12 \times 10^4$	$5,03 \times 10^8$	12.200
IV	23.09.2014	09:00 – 09:30	$1,81 \times 10^5$	$8,51 \times 10^8$	$2,72 \times 10^3$	$1,28 \times 10^7$	4.700
	23.09.2014	09:45 – 10:15	$2,49 \times 10^6$	$1,39 \times 10^{10}$	$1,19 \times 10^3$	$6,66 \times 10^6$	5.600
	23.09.2014	10:40 – 11:10	$3,51 \times 10^5$	$2,03 \times 10^9$	$1,20 \times 10^3$	$6,98 \times 10^6$	5.800
	23.09.2014	12:15 – 12:45	$4,07 \times 10^5$	$2,24 \times 10^9$	$< 8,90 \times 10^2$	$< 4,90 \times 10^6$	5.500
Minimum			$8,14 \times 10^4$	$0,40 \times 10^9$	$< 1,76 \times 10^2$	$< 6,34 \times 10^5$	3.600
Mittelwert			$3,84 \times 10^5$	$2,29 \times 10^9$	$2,04 \times 10^4$	$2,07 \times 10^8$	7.000
Maximum			$2,49 \times 10^6$	$1,39 \times 10^{10}$	$1,09 \times 10^5$	$1,25 \times 10^9$	12.200

Tab. 31: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Staphylokokken** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Staphylokokken				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
			n. b.				
			n. b.				
I	14.01.2014	10:05 – 10:35	$5,57 \times 10^4$	$2,00 \times 10^8$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	11:00 – 11:30	$2,96 \times 10^4$	$1,06 \times 10^8$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	12:50 – 13:20	$6,82 \times 10^4$	$2,46 \times 10^8$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	14:00 – 14:30	$4,66 \times 10^4$	$1,68 \times 10^8$	< NG	< NG	3.600
II	06.05.2014	09:20 – 09:50	$7,55 \times 10^4$	$4,30 \times 10^8$	$3,38 \times 10^3$	$1,93 \times 10^7$	5.700
	06.05.2014	10:30 – 11:00	$4,36 \times 10^4$	$2,92 \times 10^8$	$1,93 \times 10^3$	$1,29 \times 10^7$	6.700
	06.05.2014	11:55 – 12:25	$4,59 \times 10^4$	$3,76 \times 10^8$	$3,20 \times 10^3$	$2,26 \times 10^7$	8.200
	06.05.2014	13:10 – 13:40	$1,84 \times 10^5$	$1,76 \times 10^9$	$4,50 \times 10^3$	$4,32 \times 10^7$	9.600
III	22.07.2014	09:35 – 10:05	$3,23 \times 10^4$	$3,49 \times 10^8$	$4,66 \times 10^3$	$5,03 \times 10^7$	10.800
	22.07.2014	10:30 – 11:00	$4,28 \times 10^4$	$4,84 \times 10^8$	$4,73 \times 10^3$	$5,34 \times 10^7$	11.300
	22.07.2014	11:50 – 12:20	$3,93 \times 10^4$	$4,52 \times 10^8$	$5,72 \times 10^3$	$6,58 \times 10^7$	11.500
	22.07.2014	12:45 – 13:15	$5,09 \times 10^4$	$6,21 \times 10^8$	$4,12 \times 10^3$	$5,03 \times 10^7$	12.200
IV	23.09.2014	09:00 – 09:30	$4,07 \times 10^4$	$1,91 \times 10^8$	$< 1,02 \times 10^3$	$< 4,81 \times 10^6$	4.700
	23.09.2014	09:45 – 10:15	$7,58 \times 10^4$	$4,25 \times 10^8$	$< 6,33 \times 10^2$	$< 3,55 \times 10^6$	5.600
	23.09.2014	10:40 – 11:10	$1,58 \times 10^5$	$9,19 \times 10^8$	< NG	< NG	5.800
	23.09.2014	12:15 – 12:45	$1,92 \times 10^5$	$1,06 \times 10^9$	< NG	< NG	5.500
Minimum			$2,96 \times 10^4$	$1,06 \times 10^8$	$< 6,33 \times 10^2$	< NG	3.600
Mittelwert			$7,38 \times 10^4$	$5,05 \times 10^8$	$3,39 \times 10^3$	$3,30 \times 10^7$	7.000
Maximum			$1,92 \times 10^5$	$1,76 \times 10^9$	$5,72 \times 10^3$	$6,58 \times 10^7$	12.000

Tab. 32: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Enterokokken** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Enterokokken				Gesamtvolu- menstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
vorab			n. b.				
			n. b.				
I	14.01.2014	10:05 – 10:35	$1,00 \times 10^3$	$3,26 \times 10^6$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	11:00 – 11:30	$< 1,39 \times 10^2$	$< 6,96 \times 10^5$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	12:50 – 13:20	$9,26 \times 10^3$	$3,33 \times 10^7$	< NG	< NG	3.600
	14.01.2014	14:00 – 14:30	$< 1,06 \times 10^2$	$< 3,38 \times 10^5$	< NG	< NG	3.600
II	06.05.2014	09:20 – 09:50	$7,15 \times 10^2$	$4,07 \times 10^6$	< NG	< NG	5.700
	06.05.2014	10:30 – 11:00	$5,44 \times 10^2$	$3,65 \times 10^6$	$< 7,36 \times 10^1$	$< 4,93 \times 10^5$	6.700
	06.05.2014	11:55 – 12:25	< NG	< NG	< NG	< NG	8.200
	06.05.2014	13:10 – 13:40	$2,03 \times 10^3$	$1,95 \times 10^7$	$< 7,65 \times 10^1$	$< 7,34 \times 10^5$	9.600
III	22.07.2014	09:35 – 10:05	$5,21 \times 10^2$	$5,63 \times 10^6$	$1,57 \times 10^1$	$1,69 \times 10^5$	10.800
	22.07.2014	10:30 – 11:00	$1,49 \times 10^2$	$1,69 \times 10^6$	$< 7,29 \times 10^1$	$< 8,24 \times 10^5$	11.300
	22.07.2014	11:50 – 12:20	$3,02 \times 10^2$	$3,47 \times 10^6$	< NG	< NG	11.500
	22.07.2014	12:45 – 13:15	$3,21 \times 10^2$	$3,91 \times 10^6$	< NG	< NG	12.200
IV	23.09.2014	09:00 – 09:30	$1,86 \times 10^3$	$8,72 \times 10^6$	< NG	< NG	4.700
	23.09.2014	09:45 – 10:15	$2,86 \times 10^3$	$1,60 \times 10^7$	< NG	< NG	5.600
	23.09.2014	10:40 – 11:10	< NG	< NG	< NG	< NG	5.800
	23.09.2014	12:15 – 12:45	$4,61 \times 10^3$	$2,53 \times 10^7$	< NG	< NG	5.500
Minimum			< NG	< NG	< NG	< NG	3.600
Mittelwert			$1,74 \times 10^3$	$9,27 \times 10^6$	$< 5,97 \times 10^1$	$< 5,55 \times 10^5$	7.000
Maximum			$9,26 \times 10^3$	$3,33 \times 10^7$	$< 7,65 \times 10^1$	$< 8,24 \times 10^5$	12.200

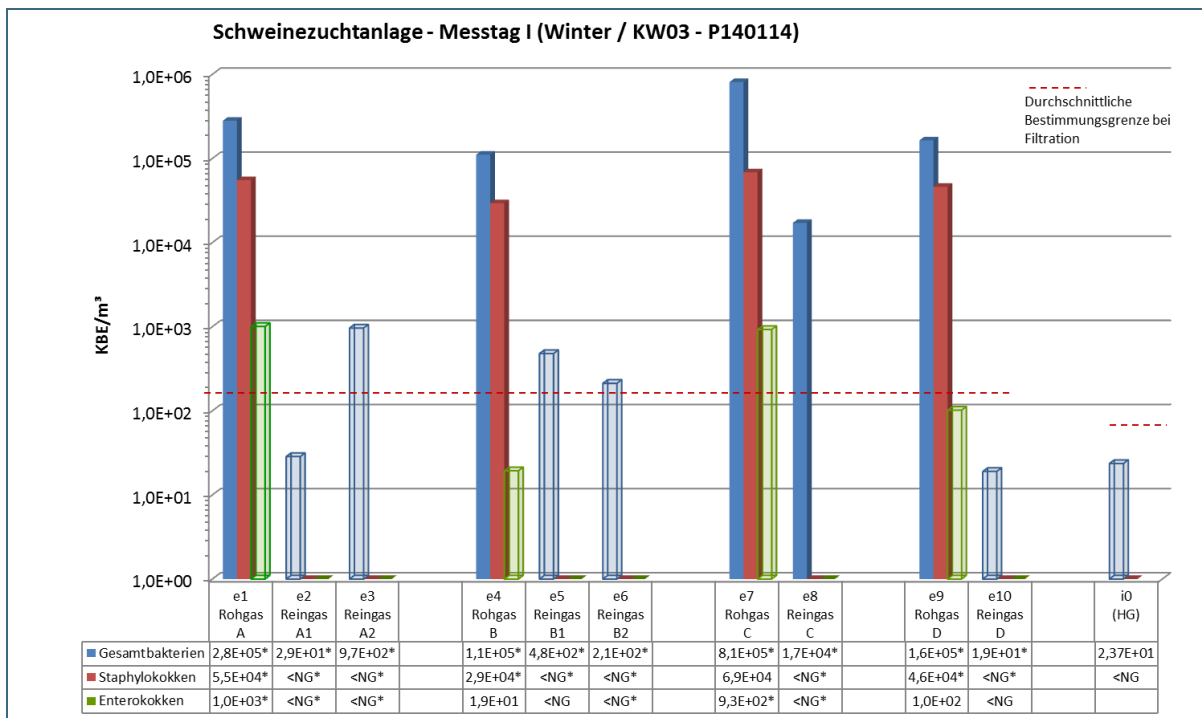


Abb. 108: Bioaerosolmessung am Rieselbettreaktor, Messkampagne I
 Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
 *) höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

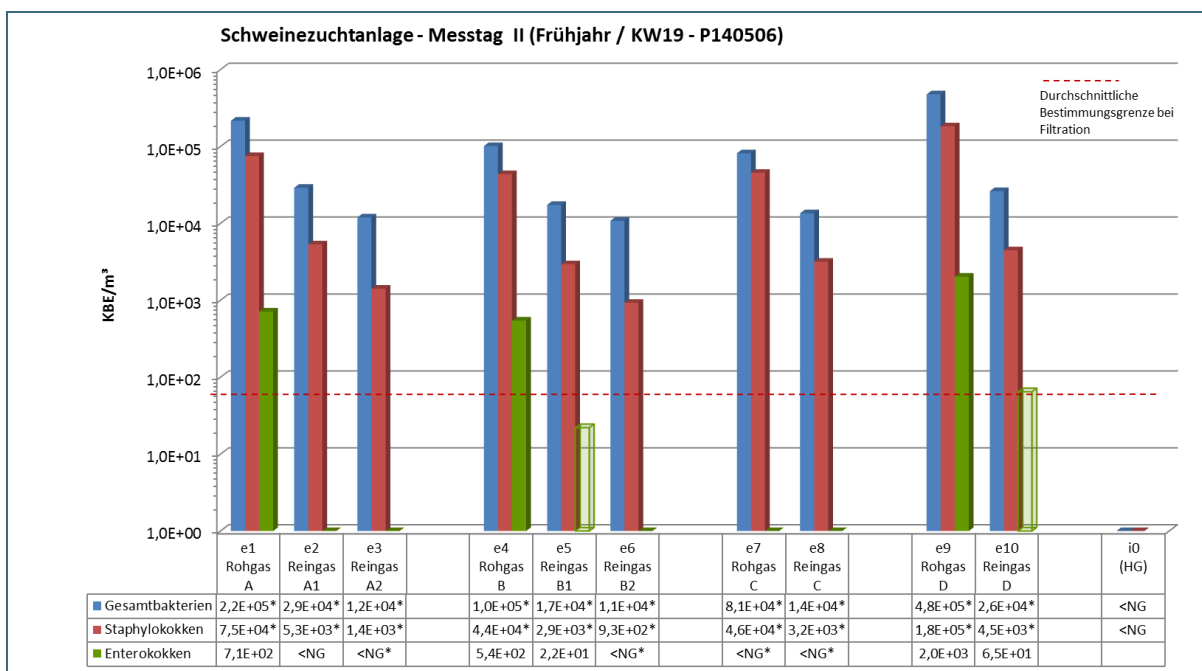


Abb. 109: Bioaerosolmessung am Rieselbettreaktor, Messkampagne II
 Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
 *) höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

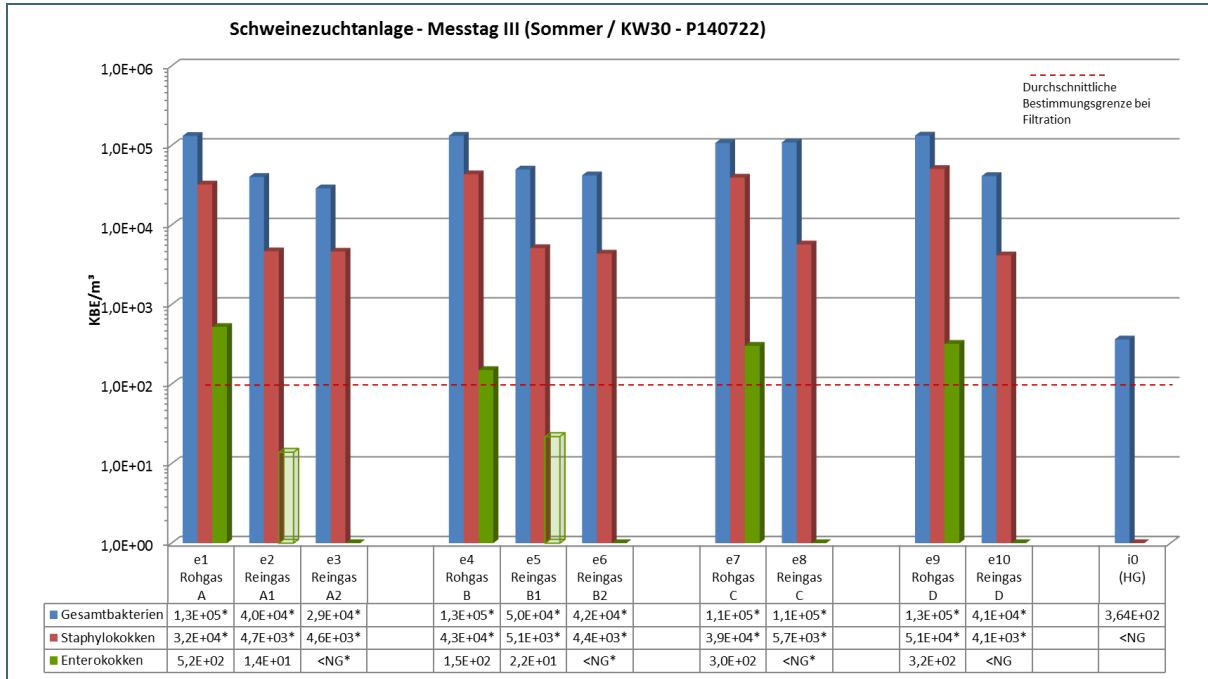


Abb. 110: Bioaerosolmessung am Rieselbettreaktor, Messkampagne III
 Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
 *) höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)

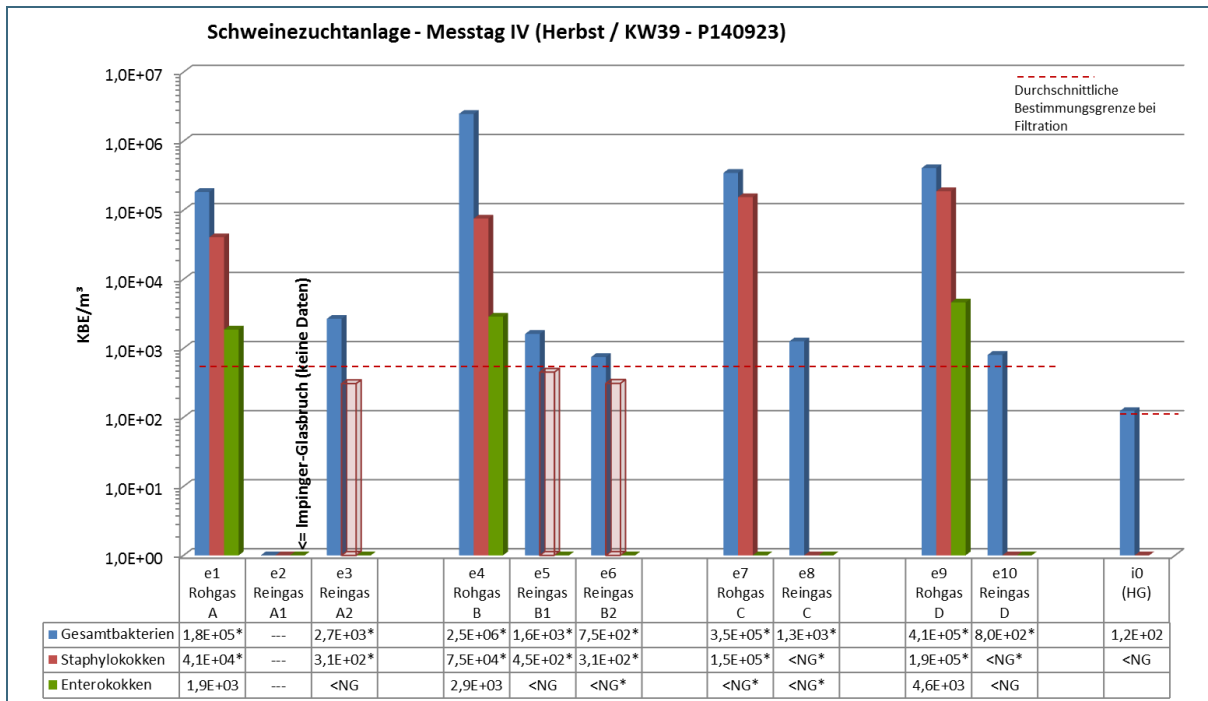


Abb. 111: Bioaerosolmessung am Rieselbettreaktor, Messkampagne IV (Quelle: Dr. Tuschak, LGL)
 Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
 *) höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration

Tab. 33: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine (Gesamtstaub)** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Gesamt}				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
vorab			n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	
I	14.01.2014	12:50 – 13:20	396	1,43 × 10 ⁶	61	0,22 × 10 ⁶	3.600
II	06.05.2014	11:55 – 12:25	130	1,07 × 10 ⁶	124	1,02 × 10 ⁶	8.200
III	22.07.2014	11:50 – 12:20	49	0,56 × 10 ⁶	97	1,12 × 10 ⁶	11.500
IV	23.09.2014	10:40 – 11:10	82	0,48 × 10 ⁶	14	0,08 × 10 ⁶	5.800
Minimum			49	0,48 × 10 ⁶	14	0,08 × 10 ⁶	3.600
Mittelwert			164	0,88 × 10 ⁶	74	0,61 × 10 ⁶	7.275
Maximum			396	1,43 × 10 ⁶	124	1,12 × 10 ⁶	11.500

Tab. 34: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine (Feinstaub PM₁₀)** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Feinstaub PM₁₀}				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
vorab			n. b.				
I	14.01.2014	12:50 – 13:20	852	30,7 × 10 ⁶	175	0,63 × 10 ⁶	3.600
II	06.05.2014	11:55 – 12:25	235	1,93 × 10 ⁶	303	1,09 × 10 ⁶	8.200
III	22.07.2014	11:50 – 12:20	217	2,50 × 10 ⁶	260	< 3,38 × 10 ⁶	11.500
IV	23.09.2014	10:40 – 11:10	247	1,43 × 10 ⁶	175	1,02 × 10 ⁶	5.800
Minimum			217	1,43 × 10 ⁶	175	0,63 × 10 ⁶	3.600
Mittelwert			388	2,23 × 10 ⁶	237	1,88 × 10 ⁶	7.275
Maximum			852	3,07 × 10 ⁶	303	< 3,38 × 10 ⁶	11.500

Tab. 35: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine(Feinstaub PM_{2,5})** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Feinstaub PM_{2,5}} ¹⁾				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
vorab			n. b.				
I	14.01.2014	12:50 – 13:20	126	0,45 × 10 ⁶	2,3	0,01 × 10 ⁶	3.600
II	06.05.2014	11:55 – 12:25	151	1,24 × 10 ⁶	72	0,59 × 10 ⁶	8.200
III	22.07.2014	11:50 – 12:20	47	0,54 × 10 ⁶	< 66	< 0,76 × 10 ⁶	11.500
IV	23.09.2014	10:40 – 11:10	54	0,32 × 10 ⁶	31	0,18 × 10 ⁶	5.800
Minimum			47	0,32 × 10 ⁶	2,3	0,01 × 10 ⁶	3.600
Mittelwert			95	0,64 × 10 ⁶	42,8	0,38 × 10 ⁶	7.275
Maximum			151	1,24 × 10 ⁶	72,0	< 0,76 × 10 ⁹	11.500

Tab. 36: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Gesamtstaub** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Gesamtstaub				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	kg/h	mg/m ³	g/h	
vorab	20.11.2013	09:50 – 10:20	3,5	0,016	2,0	0,009	4.500
	20.11.2013	12:45 – 13:15	4,1	0,019	1,4	0,006	4.500
	21.11.2013	09:05 – 09:35	2,8	0,012	1,3	0,006	4.400
I	15.01.2014	11:05 – 11:35	4,2	0,016	1,3	0,005	3.800
	15.01.2014	13:30 – 14:00	4,5	0,017	1,3	0,005	3.800
	15.01.2014	14:25 – 14:55	4,5	0,017	1,2	0,005	3.800
II	07.05.2014	11:25 – 11:55	3,4	0,020	2,9	0,017	5.800
	07.05.2014	14:20 – 14:50	3,2	0,021	2,5	0,016	6.600
	08.05.2014	09:00 – 09:30	3,3	0,017	2,2	0,011	5.100
III	23.07.2014	11:10 – 11:40	5,5	0,078	3,2	0,046	14.100
	23.07.2014	12:30 – 13:00	5,7	0,084	2,9	0,044	14.800
	23.07.2014	13:30 – 14:00	5,5	0,083	3,0	0,045	15.000
IV	24.09.2014	11:30 – 12:00	-	-	3,0	0,017	5.700
	24.09.2014	12:45 – 13:15	5,2	0,035	2,4	0,016	6.800
	24.09.2014	14:45 – 15:15	5,3	0,042	2,5	0,019	7.800
Minimum			2,8	0,012	1,2	0,005	3.800
Mittelwert			4,3	0,034	2,2	0,018	7.100
Maximum			5,7	0,084	3,2	0,046	15.000
Grenzwert					20*	-	-

Tab. 37: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Feinstaub (PM₁₀)** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Feinstaub PM ₁₀				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
vorab	20.11.2013	11:00 – 12:30	0,6	2,5	0,2	0,8	4.500
	20.11.2013	13:30 – 15:00	< 0,6	< 2,8	0,2	0,9	4.500
	21.11.2013	09:50 – 11:20	0,4	2,0	< 0,3	< 1,2	4.400
I	15.01.2014	08:55 – 10:25	0,6	2,4	0,2	0,9	3.800
	15.01.2014	11:50 – 13:20	0,5	1,8	0,1	0,5	3.800
II	07.05.2014	09:30 – 11:00	1,0	5,8	0,4	2,1	6.000
	07.05.2014	12:25 – 13:55	1,4	7,6	0,5	3,0	5.600
	07.05.2014	15:15 – 16:45	1,4	9,7	0,6	4,4	7.200
III	23.07.2014	08:50 – 10:20	0,4	6,1	0,4	5,0	14.100
	24.07.2014	09:00 – 10:30	0,5	7,2	0,4	5,6	14.400
IV	23.09.2014	15:00 – 16:30	2,2	13,7	0,8	4,8	6.300
	24.09.2014	09:00 – 10:30	1,9	11,0	0,6	3,3	5.900
Minimum			0,4	1,8	0,1	0,5	3.800
Mittelwert			1,0	6,1	0,4	2,7	6.708
Maximum			2,2	13,7	0,8	5,6	14.400
Grenzwert			-	-	20*	-	-

Tab. 38: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Feinstaub (PM_{2,5})** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Feinstaub PM _{2,5}				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
vorab	20.11.2013	11:00 – 12:30	0,1	0,6	0,1	0,2	4.500
	20.11.2013	13:30 – 15:00	< 0,1	< 0,5	0,1	0,3	4.500
	21.11.2013	09:50 – 11:20	0,1	0,4	< 0,1	< 0,5	4.400
I	15.01.2014	08:55 – 10:25	0,3	1,1	0,1	0,3	3.800
	15.01.2014	11:50 – 13:20	0,3	1,2	0,1	0,5	3.800
II	07.05.2014	09:30 – 11:00	0,5	2,7	0,2	1,0	6.000
	07.05.2014	12:25 – 13:55	0,3	1,7	0,3	1,4	5.600
	07.05.2014	15:15 – 16:45	0,7	5,8	0,3	2,1	7.200
III	23.07.2014	08:50 – 10:20	0,2	3,3	0,2	2,5	14.100
	24.07.2014	09:00 – 10:30	0,3	4,6	0,2	2,9	14.400
IV	23.09.2014	15:00 – 16:30	0,8	4,9	0,1	0,9	6.300
	24.09.2014	09:00 – 10:30	0,8	4,5	0,2	1,5	5.900
Minimum			0,1	0,4	0,1	0,2	3.800
Mittelwert			0,4	2,6	0,2	1,2	6.708
Maximum			0,8	5,8	0,3	2,9	14.400
Grenzwert			–	–	20 ^{*)}	–	–

*gemäß TA Luft Nr. 5.2.1 für Gesamtstaub, einschließlich Feinstaub

Tab. 39: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Ammoniak** an der Abgasreinigungsanlage (Rieselbettreaktor) der Zuchtsauenanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Ammoniak				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	kg/h	mg/m ³	kg/h	
vorab	20.11.2013	09:50 – 10:20	35,1	0,158	4,1	0,019	4.500
	20.11.2013	12:45 – 13:15	30,4	0,137	4,4	0,020	4.500
	21.11.2013	09:05 – 09:35	36,1	0,159	3,8	0,017	4.400
I	15.01.2014	11:05 – 11:35	34,5	0,131	0,1	< 0,001	3.800
	15.01.2014	13:30 – 14:00	31,2	0,119	0,1	< 0,001	3.800
	15.01.2014	14:25 – 14:55	28,3	0,107	0,2	0,001	3.800
II	07.05.2014	11:25 – 11:55	17,0	0,099	7,4	0,043	5.800
	07.05.2014	14:20 – 14:50	15,4	0,102	7,3	0,048	6.600
	08.05.2014	09:00 – 09:30	19,8	0,101	7,2	0,037	5.100
III	23.07.2014	11:10 – 11:40	9,2	0,130	6,4	0,090	14.100
	23.07.2014	12:30 – 13:00	8,7	0,128	6,1	0,091	14.800
	23.07.2014	13:30 – 14:00	8,3	0,124	5,3	0,080	15.000
IV	24.09.2014	11:30 – 12:00	-	-	0,1	0,001	5.700
	24.09.2014	12:45 – 13:15	16,2	0,110	0,1	< 0,001	6.800
	24.09.2014	14:45 – 15:15	14,7	0,114	0,5	< 0,001	7.800
Minimum			8,3	0,099	0,1	< 0,001	3.800
Mittelwert			22,8	0,123	3,5	0,030	7.100
Maximum			36,1	0,159	7,4	0,091	15.000
Grenzwert			–	–	30 [*]	–	–

*gemäß TA Luft Nr. 5.2.4 für gasförmige anorganische Stoffe der Klasse III (Ammoniak etc.)

Tab. 40: Analysenergebnisse des Waschwassers zu den verschiedenen Messterminen

		Wäscherwassersumpf					
Messung	Datum	LF [mS/cm]	pH-Wert	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₂ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	Summe N [mg/l]
vorab	19.11.13	22,3	7,2	2559	2359	61	4979
	20.11.13	24,5	7,2	2924	2666	67	5657
	21.11.13	26,3	7,1	3119	2888	71	6078
I	13.01.14	26,3	6,8	3166	2980	92	6238
	14.01.14	29	6,5	3585	3280	107	6972
	15.01.14	31	6,5	3831	3528	115	7474
	16.01.14	33,4	6,6	4289	3815	125	8229
II	05.05.14	13,3	7,4	1538	1553	18	3109
	06.05.14	15,5	7,4	1752	1813	22	3587
	07.05.14	17,6	7,2	2061	2093	24	4178
	08.05.14	12,9	7,4	1476	1502	18	2996
III	21.07.14	11,1	7,3	1002	1195	62	2259
	22.07.14	12,5	7,1	1164	1315	65	2544
	23.07.14	13,9	7,1	1331	1318	83	2732
	24.07.14	14,9	7,1	1464	1357	89	2910
IV	22.09.14	12,2	7,1	1388	1490	44	2922
	23.09.14	13,7	6,1	1514	1714	56	3284
	24.09.14	15,8	7	1812	1956	54	3822
	25.09.14	17,6	6,6	2075	2221	62	4358
	26.09.14	14,6	6,8	1659	1838	49	3546
5	28.10.14	10,1	4,8	897	345	944	2186
Erfahrungen Empfehlungen BioAluRein [2]		10 - 20	6,5 - 7	Erfahrungswert 1.700 - 1.800	< 1500	200 - 400	Erfahrungswert 3.500 - 5.000

Tab. 41: Tierbestände der Schweinemastanlage während der Messungen

Mess- kampagne	Datum	Tierbestand Anzahl Mastschweine	Tiergewicht pro Mastschwein	Alter der Tiere
I	20.10. bis 24.10.2014	1.140	~ 70 kg	7 Wochen
II	17.11. bis 20.11.2014	1.150	~ 105 -110 kg	11 Wochen
III	02.02. bis 05.02.2015	1.120	~ 55 - 60 kg	6 Wochen

Tab. 42: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Geruchsstoffe** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Geruchsstoffe				Gesamtvolumen- strom f. 20 °C Roh-/Reingas m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			GE/m ³	GE/h	GE/m ³	GE/h	
I	30.10.2014	11:47 – 12:07	1.000	58,0 × 10 ⁶	270	7,37 × 10 ⁶	58.000 / 27.300
	30.10.2014	12:24 – 12:45	1.000	58,0 × 10 ⁶	340	9,28 × 10 ⁶	58.000 / 27.300
	30.10.2014	13:00 – 13:23	1.100	63,8 × 10 ⁶	300	8,19 × 10 ⁶	58.000 / 27.300
	30.10.2014	13:32 – 14:02	1.000	58,0 × 10 ⁶	320	8,74 × 10 ⁶	58.000 / 27.300
II	03.12.2014	11:07 – 11:51	1.700	68,0 × 10 ⁶	270	8,21 × 10 ⁶	40.000 / 30.400
	03.12.2014	11:55 – 12:35	1.600	64,0 × 10 ⁶	320	9,73 × 10 ⁶	40.000 / 30.400
	03.12.2014	12:37 – 13:15	1.300	52,0 × 10 ⁶	380	11,6 × 10 ⁶	40.000 / 30.400
	03.12.2014	13:17 – 13:52	1.400	56,0 × 10 ⁶	300	9,12 × 10 ⁶	40.000 / 30.400
III	05.02.2015	11:24 – 11:46	910	22,6 × 10 ⁶	210	5,71 × 10 ⁶	24.800 / 27.200
	05.02.2015	12:14 – 12:44	920	22,8 × 10 ⁶	320	8,70 × 10 ⁶	24.800 / 27.200
	05.02.2015	13:06 – 13:32	980	24,3 × 10 ⁶	340	9,25 × 10 ⁶	24.800 / 27.200
	05.02.2015	13:45 – 14:15	960	23,8 × 10 ⁶	320	8,70 × 10 ⁶	24.800 / 27.200
Minimum			910	22,6 × 10 ⁶	210	5,71 × 10 ⁶	24.800 / 27.200
Mittelwert			1.156	47,6 × 10 ⁶	308	8,72 × 10 ⁶	40.933 / 28.300
Maximum			1.700	68,0 × 10 ⁶	380	11,6 × 10 ⁶	58.000 / 30.400
Grenzwert					300	–	–

Tab. 43: Datenblatt zur Geruchsmessung der Schweinemastanlage Messung 1

Messergebnisse Geruch - Biofilter Messung 1							
Quelle		Reingas Biofilter					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		30.10.2014	30.10.2014	30.10.2014	30.10.2014		
Beginn		[hh:mm] 11:44	12:22	12:55	13:31		
Ende		[hh:mm] 12:16	12:53	13:29	14:01		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 25.400	25.400	25.400	25.400		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 27.300	27.300	27.300	27.300		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 270	340	300	320	270	300
Genauigkeit Labor		0,084	0,084	0,084	0,084		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 240	300	270	280	240	300
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}		[GE _E /m³] 310	380	340	360	310	380
dB-Wert		[dB] 24,3	25,3	24,8	25,1		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,5	1,0	1,0	1,0		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}		[MGE _E /h] 7,37	9,28	8,19	8,74	7,37	8,39
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 6,55	8,19	7,37	7,64	6,55	7,44
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 8,46	10,37	9,28	9,83	8,46	9,49
Charakterisierung							
Geruchswahrnehmung		Vergoren, Kohlrabi	Kohlrabi	Vergoren	Kohlrabi, erdig		
Mehrfachnennungen							
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	0/4		
Quelle		Rohgas Biofilter					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		30.10.2014	30.10.2014	30.10.2014	30.10.2014		
Beginn		[hh:mm] 11:47	12:24	13:00	13:32		
Ende		[hh:mm] 12:07	12:45	13:23	14:02		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 54.000	54.000	54.000	54.000		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 58.000	58.000	58.000	58.000		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 1.000	1.000	1.100	1.000	1000	1000
Genauigkeit Labor		0,084	0,084	0,084	0,084		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 900	900	1000	920	900	1000
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}		[GE _E /m³] 1200	1200	1300	1200	1200	1300
dB-Wert		[dB] 30,1	30,1	30,6	30,2		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,2	1,2	1,1	1,3		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}		[MGE _E /h] 58,00	58,00	63,80	58,00	58,00	59,45
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 52,20	52,20	58,00	53,36	52,20	53,94
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 69,60	69,60	75,40	69,60	69,60	71,05
Charakterisierung							
Geruchswahrnehmung		Schweine-stall	Schweine-stall	Schweine-stall	Schweine-stall		
Mehrfachnennungen							

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 44: Datenblatt zur Geruchsmessung der Schweinemastanlage Messung 2

Messergebnisse Geruch - Biofilter Messung 2								
Quelle		Reingas Biofilter						
Probennahme								
Nummer der Messung		1	2	3	4			
Datum der Messung		03.12.2014	03.12.2014	03.12.2014	03.12.2014			
Beginn	[hh:mm]	11:06	11:55	12:37	13:17			
Ende	[hh:mm]	11:50	12:35	13:15	13:55			
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	28.300	28.300	28.300	28.300			
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	30.400	30.400	30.400	30.400			
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL	MAX
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	270	320	380	300	270	300	380
Genauigkeit Labor		0,078	0,078	0,078	0,078			
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	240	280	340	270	240	300	340
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	300	360	430	340	300	400	430
dB-Wert	[dB]	24,3	25,1	25,8	24,8			
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,5	1,0	0,9	1,6			
Geruchsstoffmassenströme								
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	8,21	9,73	11,55	9,12	8,21	9,65	11,55
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	7,30	8,51	10,34	8,21	7,30	8,59	10,34
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	9,12	10,94	13,07	10,34	9,12	10,87	13,07
Charakterisierung Geruchswahrnehmung Mehrfachnennungen		Kompost, Kohlrabi	Kohlrabi, erdig	Kohlrab	Kohlrabi, erdig, modrig			
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	0/4			
Quelle		Rohgas Biofilter						
Probennahme								
Nummer der Messung		1	2	3	4			
Datum der Messung		03.12.2014	03.12.2014	03.12.2014	03.12.2014			
Beginn	[hh:mm]	11:07	11:55	12:37	13:17			
Ende	[hh:mm]	11:51	12:35	13:15	13:52			
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	37.200	37.200	37.200	37.200			
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	40.000	40.000	40.000	40.000			
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL	MAX
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	1.700	1.600	1.300	1.400	1300	1500	1700
Genauigkeit Labor		0,078	0,078	0,078	0,078			
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	1500	1400	1100	1200	1100	1300	1500
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	2000	1800	1400	1500	1400	1700	2000
dB-Wert	[dB]	32,4	31,9	31,0	31,4			
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,3	1,1	1,3	2,2			
Geruchsstoffmassenströme								
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	68,00	64,00	52,00	56,00	52,00	60,00	68,00
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	60,00	56,00	44,00	48,00	44,00	52,00	60,00
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	80,00	72,00	56,00	60,00	56,00	67,00	80,00
Charakterisierung Geruchswahrnehmung Mehrfachnennungen		Schweine- stall, Kot	Schweine- stall, Kot	Schweine- stall, Kot	Schweine- stall, Kot			

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 45: Datenblatt zur Geruchsmessung der Schweinemastanlage Messung 3

Messergebnisse Geruch - Biofilter Messung 3							
Quelle		Reingas Biofilter					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		05.02.2015	05.02.2015	05.02.2015	05.02.2015		
Beginn		[hh:mm] 11:23	12:05	12:57	13:40		
Ende		[hh:mm] 12:03	12:48	13:38	14:23		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 25.300	25.300	25.300	25.300		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 27.200	27.200	27.200	27.200		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 210	320	340	320	210	300
Genauigkeit Labor		0,092	0,092	0,092	0,092		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 190	280	300	280	190	300
oberer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 250	370	390	370	250	390
dB-Wert		[dB] 23,3	25,1	25,3	25,1		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,0	1,0	1,0	1,3		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}		[MGE _E /h] 5,71	8,70	9,25	8,70	5,71	8,09
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 5,17	7,62	8,16	7,62	5,17	7,14
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 6,80	10,06	10,61	10,06	6,80	9,38
Charakterisierung Geruchswahrnehmung							
Mehrfachnennungen		Kohlrabi, vergoren	erdig	vergoren	leicht nach Schwein		
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	3/4		
Quelle		Rohgas Biofilter					
Probennahme							
Nummer der Messung		1	2	3	4		
Datum der Messung		05.02.2015	05.02.2015	05.02.2015	05.02.2015		
Beginn		[hh:mm] 11:24	12:14	13:06	13:45		
Ende		[hh:mm] 11:46	12:44	13:32	14:15		
Volumenstrom i.N. feucht		[m³/h] 23.200	23.200	23.200	23.200		
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C		[m³/h] 24.800	24.800	24.800	24.800		
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL
Geruchsstoffkonzentration c_{od}		[GE _E /m³] 910	920	980	960	910	900
Genauigkeit Labor		0,092	0,092	0,092	0,092		
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 800	800	860	840	800	800
oberer Vertrauensbereich Z_{UG}		[GE _E /m³] 1000	1100	1100	1100	1000	1100
dB-Wert		[dB] 29,6	29,6	29,9	29,8		
dB-Wert +/- Messunsicherheit		[dB] 1,3	1,3	1,2	1,2		
Geruchsstoffmassenströme							
Geruchsstoffmassenstrom		[MGE _E /h] 22,57	22,82	24,30	23,81	22,57	23,37
unterer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 19,84	19,84	21,33	20,83	19,84	20,46
oberer Vertrauensbereich c_{od}		[MGE _E /h] 24,80	27,28	27,28	27,28	24,80	26,66
Charakterisierung Geruchswahrnehmung							
Mehrfachnennungen		Schweine-stall	Schweine-stall	Schweine-stall	Schweine-stall		

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 46: Datenblatt zur Geruchsmessung der Ferkelzuchtanlage Messung 1

Messergebnisse Geruch - Biofilter Messung 1								
Quelle		Reingas Biofilter						
Probennahme								
Nummer der Messung		1	2	3	4			
Datum der Messung		26.09.2014	26.09.2014	26.09.2014	26.09.2014			
Beginn	[hh:mm]	9:45	10:27	11:05	11:47			
Ende	[hh:mm]	10:25	11:03	11:40	12:25			
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	50.200	50.200	50.200	50.200			
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	53.900	53.900	53.900	53.900			
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL	MAX
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	290	250	270	270	250	300	290
Genauigkeit Labor		0,066	0,066	0,066	0,066			
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	260	230	240	240	230	200	260
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	320	280	300	300	280	300	320
dB-Wert	[dB]	24,5	24,0	24,3	24,3			
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,3	1,4	0,9	1,2			
Geruchsstoffmassenströme								
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	15,63	13,48	14,55	14,55	13,48	14,55	15,63
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	14,01	12,40	12,94	12,94	12,40	13,07	14,01
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	17,25	15,09	16,17	16,17	15,09	16,17	17,25
Charakterisierung								
Geruchswahrnehmung		Kompost,	Kompost,	Kompost,	Kompost,			
Mehrfachnennungen		Kohlrabi	Kohlrabi	Kohlrabi	Kohlrabi			
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	0/4			
Quelle		Rohgas Biofilter						
Probennahme								
Nummer der Messung		1	2	3	4			
Datum der Messung		26.09.2014	26.09.2014	26.09.2014	26.09.2014			
Beginn	[hh:mm]	9:50	10:35	11:15	11:55			
Ende	[hh:mm]	10:15	10:55	11:40	12:20			
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	50.200	50.200	50.200	50.200			
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	53.900	53.900	53.900	53.900			
Geruchsstoffkonzentration						MIN	MITTEL	MAX
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	2.600	2.500	2.400	2.100	2100	2400	2600
Genauigkeit Labor		0,066	0,066	0,066	0,066			
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	2400	2300	2100	1900	1900	2200	2400
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	2900	2800	2600	2300	2300	2700	2900
dB-Wert	[dB]	34,2	34,0	33,8	33,3			
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,5	1,4	1,7	1,3			
Geruchsstoffmassenströme								
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	140,14	134,75	129,36	113,19	113,19	129,36	140,14
unterer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	129,36	123,97	113,19	102,41	102,41	117,23	129,36
oberer Vertrauensbereich c_{od}	[MGE _E /h]	156,31	150,92	140,14	123,97	123,97	142,84	156,31
Charakterisierung								
Geruchswahrnehmung		Schwein,	Schwein,	Schwein,	Schwein,			
Mehrfachnennungen		Schweine-	Schweine-	Schweine-	Schweine-			
		stall	stall	stall	stall			

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 47: Datenblatt zur Geruchsmessung der Ferkelzuchtanlage Messung 2

Messergebnisse Geruch - Biofilter Messung 2						
Quelle		Reingas Biofilter				
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		29.01.2015	29.01.2015	29.01.2015	29.01.2015	
Beginn	[hh:mm]	11:10	11:52	12:40	13:25	
Ende	[hh:mm]	11:44	12:28	13:22	14:05	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	66.500	66.500	66.500	66.500	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	71.400	71.400	71.400	71.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	290	300	250	270	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,095	0,095	0,095	0,095	250 300 300
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	250	260	220	230	220 200 260
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	330	350	290	310	290 300 350
dB-Wert	[dB]	24,5	24,8	24,0	24,3	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	1,5	1,3	1,8	1,5	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	20,71	21,42	17,85	19,28	17,85 19,81 21,42
unterer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	17,85	18,56	15,71	16,42	15,71 17,14 18,56
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	17,85	18,56	15,71	16,42	15,71 17,14 18,56
oberer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	23,56	24,99	20,71	22,13	20,71 22,85 24,99
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	23,56	24,99	20,71	22,13	20,71 22,85 24,99
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Kompost	Erde	Erde	Erde	
Mehrfachnennungen						
Rohgasgeruch wahrnehmbar (ja-Antworten der Probanden)		0/4	0/4	0/4	0/4	
Quelle						
Rohgas Biofilter						
Probennahme						
Nummer der Messung		1	2	3	4	
Datum der Messung		29.01.2015	29.01.2015	29.01.2015	29.01.2015	
Beginn	[hh:mm]	11:26	11:54	12:45	13:30	
Ende	[hh:mm]	11:42	12:23	13:22	14:00	
Volumenstrom i.N. feucht	[m³/h]	66.500	66.500	66.500	66.500	
Volumenstrom feucht, bez. auf 20°C	[m³/h]	71.400	71.400	71.400	71.400	
Geruchsstoffkonzentration						
Geruchsstoffkonzentration c_{od}	[GE _E /m³]	2.000	2.000	3.000	2.700	MIN MITTEL MAX
Genauigkeit Labor		0,095	0,095	0,095	0,095	2000 2400 3000
unterer Vertrauensbereich Z_{UG}	[GE _E /m³]	1700	1700	2600	2300	1700 2100 2600
oberer Vertrauensbereich Z_{OG}	[GE _E /m³]	2300	2300	3500	3100	2300 2800 3500
dB-Wert	[dB]	33,0	33,0	34,8	34,3	
dB-Wert +/- Messunsicherheit	[dB]	2,0	1,8	1,3	1,8	
Geruchsstoffmassenströme						
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	142,80	142,80	214,20	192,78	142,80 173,15 214,20
unterer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	121,38	121,38	185,64	164,22	121,38 148,16 185,64
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	121,38	121,38	185,64	164,22	121,38 148,16 185,64
oberer Vertrauensbereich	[MGE _E /h]	164,22	164,22	249,90	221,34	164,22 199,92 249,90
Geruchsstoffmassenstrom c_{od}	[MGE _E /h]	164,22	164,22	249,90	221,34	164,22 199,92 249,90
Charakterisierung						
Geruchswahrnehmung		Schweine- stall	Schweine- stall	Schweine- stall	Schweine- stall	
Mehrfachnennungen						

Alle Werte bezogen auf 293,15 K; 101,3 KPa, feucht

Kursive Werte als unplausibel beurteilt

Tab. 48: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Gesamtbakterien** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Gesamtbakterien				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
I	21.10.2014	09:00 – 09:30	$9,4 \times 10^4$	$5,5 \times 10^9$	$4,8 \times 10^3$	$2,5 \times 10^8$	58.700
		09:55 – 10:25	$4,7 \times 10^5$ *)	$2,8 \times 10^{10}$	$5,8 \times 10^3$ *)	$3,4 \times 10^8$	58.700
		10:40 – 11:10	$1,2 \times 10^5$ *)	$7,0 \times 10^9$	$3,8 \times 10^3$	$2,2 \times 10^8$	58.700
		11:30 – 12:00	$2,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^{10}$	$4,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^8$	58.700
II	18.11.2014	09:00 – 09:30	$5,8 \times 10^5$	$2,4 \times 10^{10}$	$1,1 \times 10^4$	$4,5 \times 10^8$	41.300
		09:50 – 10:20	$4,9 \times 10^6$ *)	$2,0 \times 10^{11}$	$1,7 \times 10^4$ *)	$7,0 \times 10^8$	41.300
		10:40 – 11:10	$1,7 \times 10^5$ *)	$7,0 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^4$	$5,4 \times 10^8$	41.300
		11:25 – 11:55	$6,8 \times 10^5$	$2,8 \times 10^{10}$	$1,2 \times 10^4$	$5,0 \times 10^8$	41.300
III	03.02.2015	09:05 – 09:35	$3,6 \times 10^5$	$3,7 \times 10^9$	$5,9 \times 10^3$	$6,0 \times 10^7$	10.200
		10:00 – 10:30	$2,2 \times 10^5$ *)	$2,2 \times 10^9$	$7,0 \times 10^3$ *)	$7,1 \times 10^7$	10.200
		10:50 – 11:20	$4,0 \times 10^5$ *)	$4,1 \times 10^9$	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^8$	10.200
		11:35 – 12:05	$2,6 \times 10^5$	$2,6 \times 10^9$	$9,7 \times 10^3$	$9,9 \times 10^7$	10.200
Minimum			$9,4 \times 10^4$	$2,2 \times 10^9$	$3,8 \times 10^3$	$6,0 \times 10^7$	10.200
Mittelwert			$7,1 \times 10^5$	$4,1 \times 10^{10}$	$8,9 \times 10^3$	$3,0 \times 10^8$	36.700
Maximum			$4,9 \times 10^6$	$2,0 \times 10^{11}$	$1,7 \times 10^4$	$7,0 \times 10^8$	58.700

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

*) Durchschnittlicher Konzentrationswert aus Doppelbestimmung

Tab. 49: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Staphylokokken** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Staphylokokken				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
I	21.10.2014	09:00 – 09:30	$2,4 \times 10^4$	$1,4 \times 10^9$	$< 8,7 \times 10^2$	$< 5,1 \times 10^7$	58.700
		09:55 – 10:25	$1,4 \times 10^4$ *)	$8,2 \times 10^8$	$< 7,7 \times 10^2$	$< 4,5 \times 10^7$	58.700
		10:40 – 11:10	$1,4 \times 10^4$ *)	$8,2 \times 10^8$	$< 8,2 \times 10^2$	$< 4,8 \times 10^7$	58.700
		11:30 – 12:00	$1,6 \times 10^4$	$9,4 \times 10^8$	$< 1,0 \times 10^3$	$< 5,8 \times 10^7$	58.700
II	18.11.2014	09:00 – 09:30	$4,5 \times 10^4$	$1,9 \times 10^9$	$< 1,0 \times 10^3$	$< 4,1 \times 10^7$	41.300
		09:50 – 10:20	$5,3 \times 10^4$ *)	$2,2 \times 10^9$	$< 1,2 \times 10^3$	$< 5,0 \times 10^7$	41.300
		10:40 – 11:10	$2,0 \times 10^4$ *)	$8,3 \times 10^8$	$< 1,0 \times 10^3$	$< 4,1 \times 10^7$	41.300
		11:25 – 11:55	$2,5 \times 10^4$	$1,0 \times 10^9$	$< 1,0 \times 10^3$	$< 4,1 \times 10^7$	41.300
III	03.02.2015	09:05 – 09:35	$3,1 \times 10^4$	$3,2 \times 10^8$	$< 1,2 \times 10^3$	$< 1,2 \times 10^7$	10.200
		10:00 – 10:30	$2,2 \times 10^4$ *)	$2,2 \times 10^8$	$< 1,5 \times 10^3$	$< 1,5 \times 10^7$	10.200
		10:50 – 11:20	$4,4 \times 10^4$ *)	$4,5 \times 10^8$	$< 1,2 \times 10^3$	$< 1,2 \times 10^7$	10.200
		11:35 – 12:05	$2,5 \times 10^4$	$2,6 \times 10^8$	$< 1,3 \times 10^3$	$< 1,3 \times 10^7$	10.200
Minimum			$1,4 \times 10^4$	$2,2 \times 10^8$	$< 7,7 \times 10^2$	$< 1,2 \times 10^7$	10.200
Mittelwert			$2,8 \times 10^4$	$9,3 \times 10^8$	$< 1,1 \times 10^3$	$< 3,6 \times 10^7$	36.700
Maximum			$5,3 \times 10^4$	$2,2 \times 10^9$	$< 1,5 \times 10^3$	$< 5,8 \times 10^7$	58.700

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

*) Durchschnittlicher Konzentrationswert aus Doppelbestimmung

Tab. 50: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Enterokokken** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Enterokokken				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			KBE/m ³	KBE/h	KBE/m ³	KBE/h	
I	21.10.2014	09:00 – 09:30	$< 7,6 \times 10^1$	$< 4,5 \times 10^6$	< NG	–	58.700
		09:55 – 10:25	$2,7 \times 10^2$ *)	$1,6 \times 10^7$	$< 8,3 \times 10^1$	$< 4,8 \times 10^6$	58.700
		10:40 – 11:10	$3,4 \times 10^2$ *)	$2,0 \times 10^7$	< NG	–	58.700
		11:30 – 12:00	$< 7,5 \times 10^1$	$< 4,4 \times 10^6$	< NG	–	58.700
II	18.11.2014	09:00 – 09:30	$5,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^8$	$< 1,0 \times 10^2$	$< 4,1 \times 10^6$	41.300
		09:50 – 10:20	$< 1,0 \times 10^2$ *)	$< 4,1 \times 10^6$	$< 9,9 \times 10^1$	$< 4,1 \times 10^6$	41.300
		10:40 – 11:10	$< 1,5 \times 10^3$ *)	$< 6,2 \times 10^7$	< NG	–	41.300
III	03.02.2015	09:05 – 09:35	$2,6 \times 10^3$	$2,7 \times 10^7$	$< 1,2 \times 10^2$	$< 1,2 \times 10^6$	10.200
		10:00 – 10:30	$1,6 \times 10^3$ *)	$1,6 \times 10^7$	$< 9,6 \times 10^2$	$< 9,8 \times 10^6$	10.200
		10:50 – 11:20	$3,1 \times 10^3$ *)	$3,2 \times 10^7$	$< 1,2 \times 10^3$	$< 1,2 \times 10^7$	10.200
		11:35 – 12:05	$7,0 \times 10^3$	$7,1 \times 10^7$	< NG	–	10.200
Minimum		$< 7,5 \times 10^1$	$< 3,9 \times 10^6$	< NG	< NG	10.200	
Mittelwert		$< 1,8 \times 10^3$	$< 4,0 \times 10^7$	$< 3,8 \times 10^2$	$< 5,7 \times 10^6$	36.700	
Maximum		$7,0 \times 10^3$	$2,2 \times 10^8$	$< 1,2 \times 10^3$	$< 1,2 \times 10^7$	58.700	

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

*) Durchschnittlicher Konzentrationswert aus Doppelbestimmung

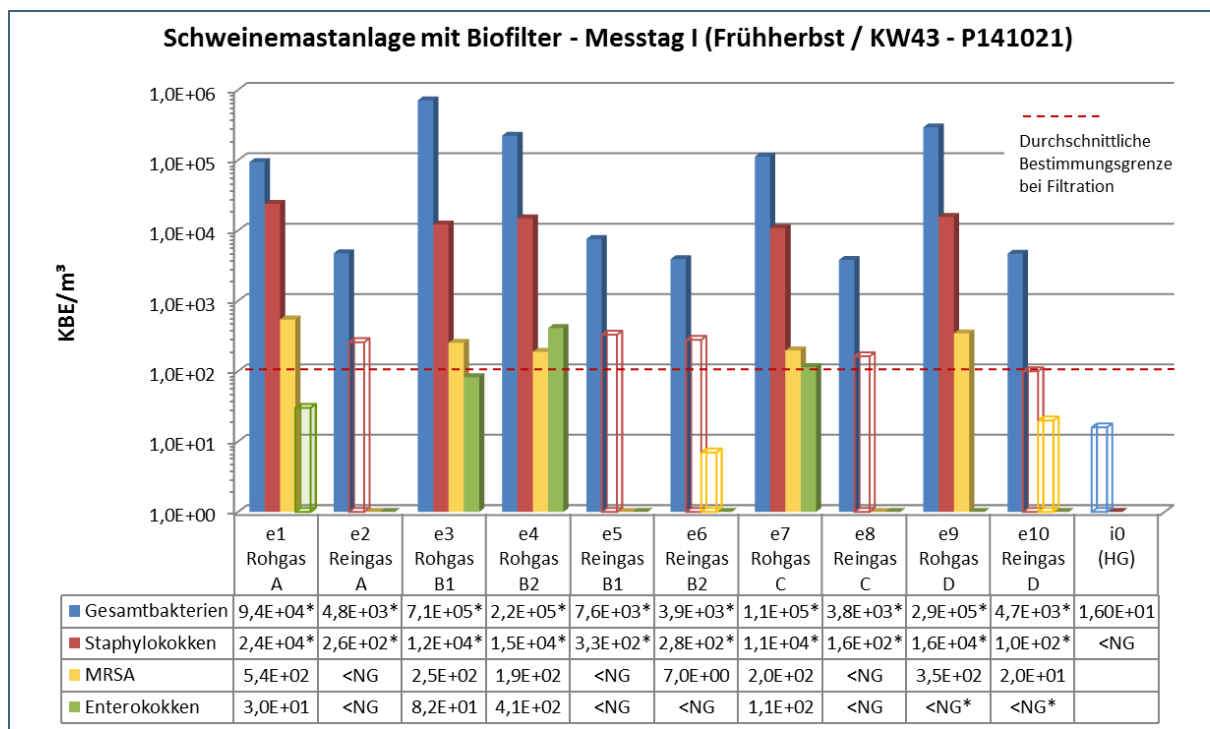


Abb. 112: Roh- und Reingasmesswerte am Messtag I für den Summenparameter Gesamtbakterien sowie die anlagenbezogenen Leitparameter: Staphylokokken (unausgefüllte Balken < BG von circa 760 KBE/m³ ohne Filtration), Enterokokken und MRSA. Die weiteren Messparameter wurden nicht nachgewiesen und sind nicht dargestellt. (Alle Werte in Bezug auf Normvolumen V_n), Quelle DR. Tuschak (LGL)
 Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
 *) höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration

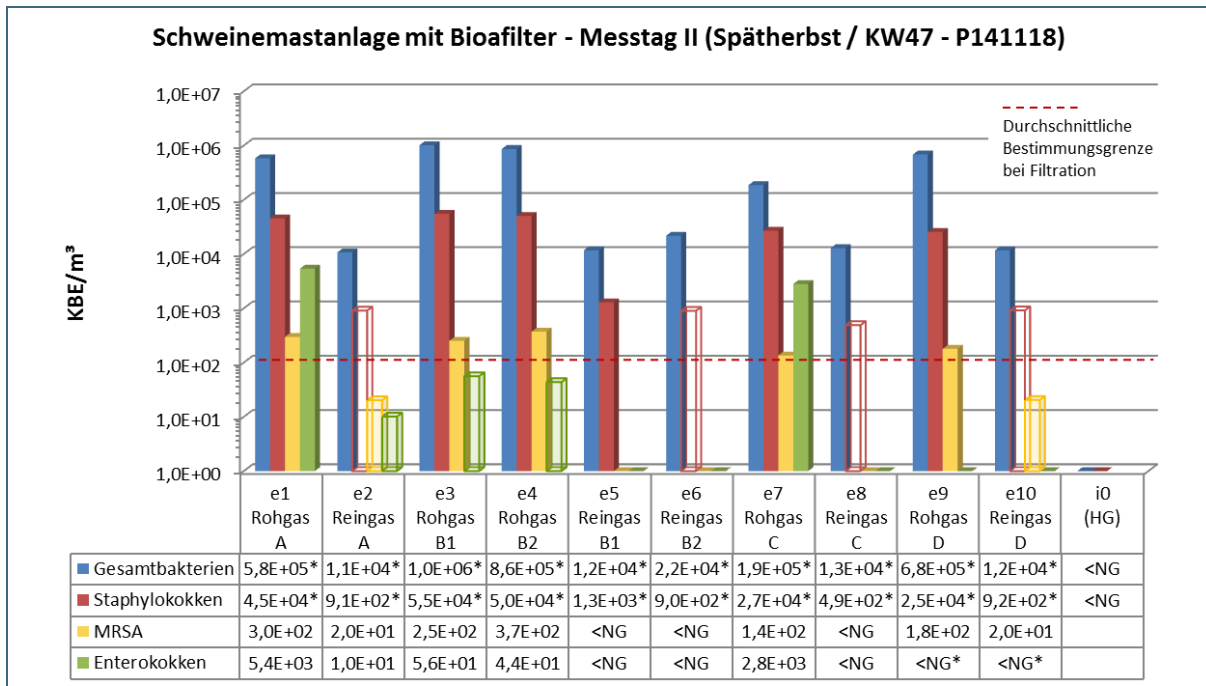


Abb. 113: Roh- und Reingasmesswerte am Messtag II für den Summenparameter Gesamtbakterien sowie die anlagenbezogenen Leitparameter: Staphylokokken (unausgefüllte Balken < BG von circa 950 KBE/m³ ohne Filtration), Enterokokken und MRSA. Die weiteren Messparameter wurden nicht nachgewiesen und sind nicht dargestellt. (Alle Werte in Bezug auf Normvolumen V_n) Quelle Dr. Tuschak (LGL)
Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
** höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration*

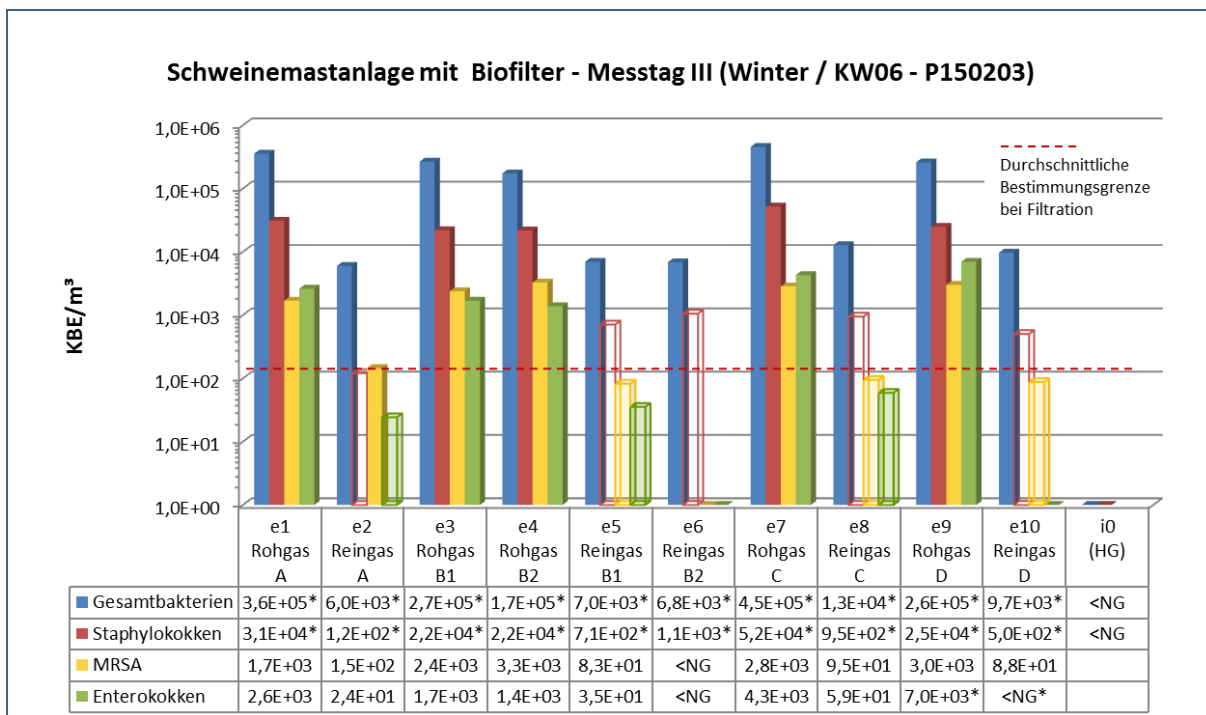


Abb. 114: Roh- und Reingasmesswerte am Messtag III für den Summenparameter Gesamtbakterien sowie die anlagenbezogenen Leitparameter: Staphylokokken (unausgefüllte Balken < BG von circa 1100 KBE/m³ ohne Filtration), Enterokokken und MRSA. Die weiteren Messparameter wurden nicht nachgewiesen und sind nicht dargestellt. (Alle Werte in Bezug auf Normvolumen V_n) Quelle Dr. Tuschak (LGL)
Werte unterhalb der individuellen Bestimmungsgrenze sind als transparente Säulen dargestellt
** höherer relevante Bestimmungsgrenze, da keine Filtration*

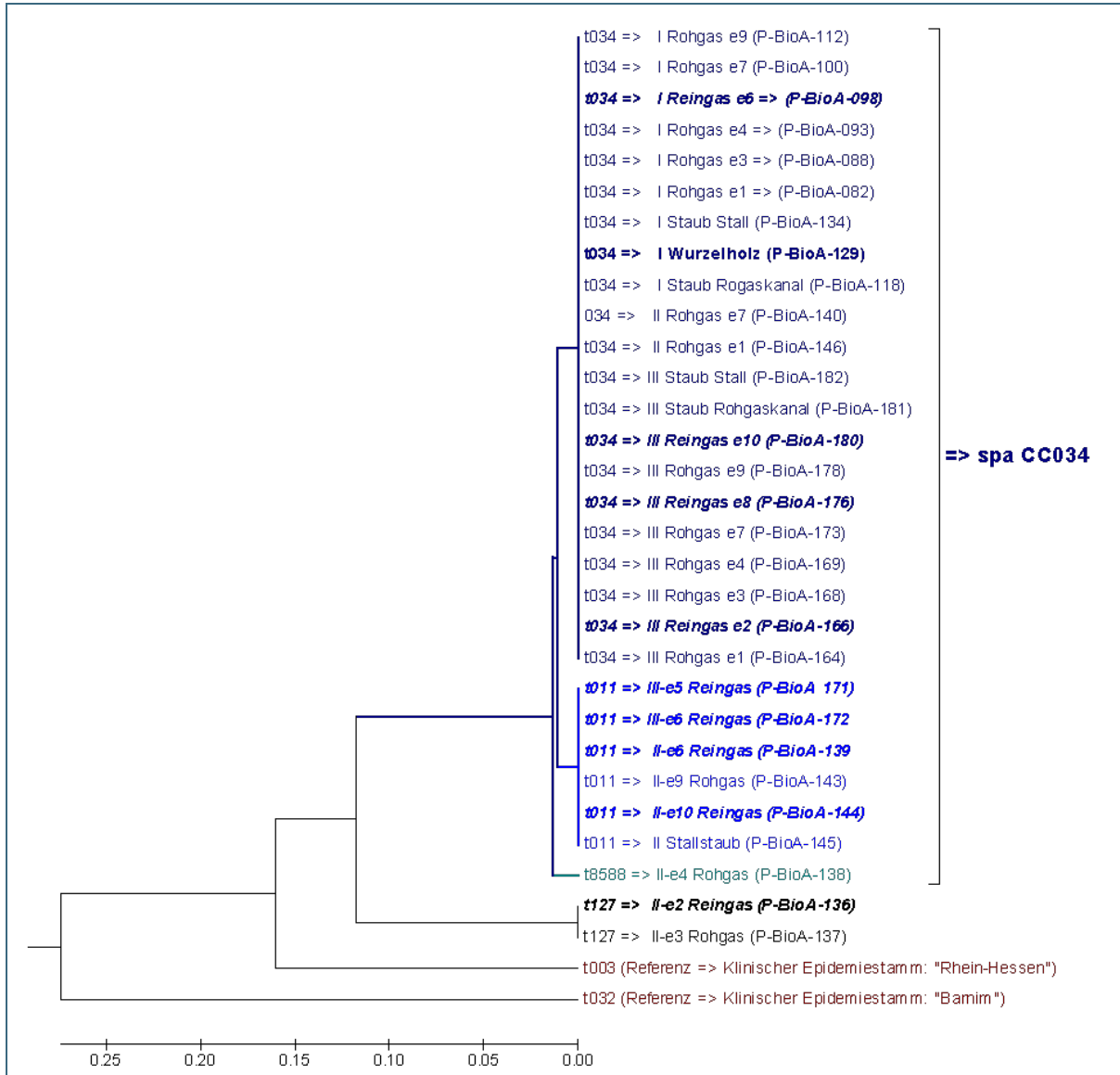


Abb. 115: Dendrogramm-darstellung der ermittelten *spa*-Typen von *Staphylococcus aureus* Isolaten aus dem untersuchten Schweinemaststall. Die Stammbaumerstellung erfolgte mit Hilfe von MEGA 5 nach BURST und basiert auf dem Algorithmus UPGMA (Parameter: Ausschluss von *spa* Typen kürzer als fünf Repeats, *Kosten* kleiner oder gleich fünf). Die Darstellung enthält zwei klinische Referenzstämme, die nicht aus der Studie stammen.

<i>spa</i> -Typ	Abfolge der Wiederholungssequenzen (Repeats)	Klonale Zuordnung
t011	08-16-02-25-----34-24-25	ST- 398 / CC389
t034	08-16-02-25-02-25-34-24-25	ST- 398 / CC389
t8588	08-16-02-25-02-25-34-24-25-25	ST- 398 / CC389
t127	07-23-21-16-34-33-13	ST-1 / CC1

Tab. 51: Gefundene *spa*-Typen und ihre Wiederholungssequenzen (Repeats).

Tab. 52: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine (Gesamtstaub)** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Gesamtstaub}				Gesamtvolu- menstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
I	21.10.2014	11:30 – 12:00	238	1,4 × 10 ⁷	5,3	3,1 × 10 ⁵	58.700
II	18.11.2014	11:25 – 11:55	171	7,1 × 10 ⁶	9,0	3,7 × 10 ⁵	41.300
III	03.02.2015	11:35 – 12:05	340	3,5 × 10 ⁶	3,7	3,8 × 10 ⁴	10.200
Minimum			171	3,5 × 10 ⁶	3,7	3,1 × 10 ⁵	10.200
Mittelwert			250	8,2 × 10 ⁶	6,0	3,5 × 10 ⁵	36.700
Maximum			340	1,4 × 10 ⁷	9,0	3,8 × 10 ⁵	58.700

*) Absorptionslösung

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

Tab. 53: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine (Feinstaub PM₁₀)** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Feinstaub PM₁₀} ^{*)}				Gesamtvolu- menstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
I	21.10.2014	09:00 – 09:30	167	9,8 × 10 ⁶	27,1 ^{**)}	1,6 × 10 ⁶	58.700
II	18.11.2014	09:00 – 09:30	340	1,4 × 10 ⁷	16,7 ^{**)}	6,9 × 10 ⁵	41.300
III	03.02.2015	09:05 – 09:35	203	2,1 × 10 ⁶	8,6 ^{**)}	8,8 × 10 ⁴	10.200
Minimum			167	2,1 × 10 ⁶	8,6 ^{**)}	8,8 × 10 ⁴	10.200
Mittelwert			237	8,6 × 10 ⁶	17,5 ^{**)}	7,9 × 10 ⁵	36.700
Maximum			340	1,4 × 10 ⁷	27,1 ^{**)}	1,6 × 10 ⁶	58.700

*) Absorptionslösung

**) Endotoxinkonzentrationen in der Feinstaubfraktion PM_{2,5} unterhalb der Bestimmungsgrenze bei der Summenwertbildung unberücksichtigt
t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)Tab. 54: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Frachten für **Endotoxine (Feinstaub PM_{2,5})** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Endotoxine _{Feinstaub PM_{2,5}} ^{*)}				Gesamtvolu- menstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			EU/m ³	EU/h	EU/m ³	EU/h	
I	21.10.2014	09:00 – 09:30	56,8	3,3 × 10 ⁶	< 0,4	< 2,3 × 10 ⁴	58.700
II	18.11.2014	09:00 – 09:30	133	5,5 × 10 ⁶	< 0,5	< 2,1 × 10 ⁴	41.300
III	03.02.2015	09:05 – 09:35	83,6	8,5 × 10 ⁵	< 0,5	< 5,1 × 10 ³	10.200
Minimum			57	8,5 × 10 ⁵	< 0,4	< 5,1 × 10 ³	10.200
Mittelwert			91	3,2 × 10 ⁶	< 0,5	< 1,6 × 10 ⁴	36.700
Maximum			133	5,5 × 10 ⁶	< 0,5	< 2,3 × 10 ⁴	58.700

*) Absorptionslösung

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

Tab. 55: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Gesamtstaub** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Gesamtstaub				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
I	21.10.2014	16:30 – 17:00	3,1	182	2,5	147	58.700
	22.10.2014	10:55 – 11:25	4,6	111	2,6	63	24.200
	22.10.2014	14:55 – 15:25	5,5	133	2,9	70	24.200
II	18.11.2014	16:45 – 17:15	5,8	240	4,4	182	41.300
	19.11.2014	10:30 – 11:00	5,1	205	5,0	201	40.200
	19.11.2014	15:05 – 15:35	4,9	197	4,5	181	40.200
III	03.02.2015	17:10 – 17:40	6,4	65	6,3	64	10.200
	04.02.2015	14:25 – 14:55	7,4	75	4,5	46	10.200
	04.02.2015	15:40 – 16:10	5,3	54	2,2	22	10.200
	04.02.2015	16:40 – 17:10	5,5	56	3,3	34	10.200
Minimum			3,1	54	2,2	22	10.200
Mittelwert			5,4	132	3,8	101	27.000
Maximum			7,4	240	6,3	201	58.700
Grenzwert					20 *	–	–

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

* gemäß TA Luft Nr. 5.2.1 für Gesamtstaub, einschließlich Feinstaub

Tab. 56: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Feinstaub (PM₁₀)** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Feinstaub PM ₁₀				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
I	21.10.2014	14:40 – 16:10	0,7	41,1	0,3	17,6	58.700
	22.10.2014	11:40 – 14:40	1,2	29,0	0,5	12,1	24.200
II	18.11.2014	14:35 – 16:05	1,6	66,1	0,4	16,5	41.300
	19.11.2014	11:20 – 14:20	1,2	48,2	0,2	8,0	40.200
III	03.02.2015	15:00 – 16:30	1,9	19,4	0,1	1,0	10.200
	04.02.2015	11:00 – 14:00	1,3	13,3	0,2	2,0	10.200
Minimum			0,7	13,3	0,1	1,0	10.200
Mittelwert			1,3	36,2	0,3	9,5	30.800
Maximum			1,9	66,1	0,5	17,6	58.700
Grenzwert			–	–	20 *	–	–

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

* gemäß TA Luft Nr. 5.2.1 für Gesamtstaub, einschließlich Feinstaub

Tab. 57: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Feinstaub (PM_{2,5})** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne	Datum	Zeitraum [hh:mm]	Feinstaub PM _{2,5}				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
			Rohgas		Reingas		
			mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
I	21.10.2014	14:40 – 16:10	0,4	23,5	0,2	11,7	58.700
	22.10.2014	11:40 – 14:40	0,7	16,9	0,2	4,8	24.200
II	18.11.2014	14:35 – 16:05	0,6	24,8	0,2	8,3	41.300
	19.11.2014	11:20 – 14:20	0,5	20,1	0,1	4,0	40.200
III	03.02.2015	15:00 – 16:30	0,8	8,2	0,1	1,0	10.200
	04.02.2015	11:00 – 14:00	0,6	6,1	0,1	1,0	10.200
Minimum			0,4	6,1	0,1	1,0	10.200
Mittelwert			0,6	16,6	0,2	5,1	30.800
Maximum			0,8	24,8	0,2	11,7	58.700
Grenzwert			–	–	20*	–	–

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)

* gemäß TA Luft Nr. 5.2.1 für Gesamtstaub, einschließlich Feinstaub

Tab. 58: Zusammenstellung der Emissionskonzentrationen und Massenströme für **Ammoniak** an der Abgasreinigungsanlage (Biofilter) der Schweinemastanlage

Kampagne Datum	Zeitraum [hh:mm]	Ammoniak				Gesamtvolumenstrom t, n m ³ /h
		Rohgas		Reingas		
		mg/m ³	g/h	mg/m ³	g/h	
I	21.10.2014 16:30 – 17:00	6,3	370	7,2	423	58.700
	22.10.2014 10:55 – 11:25	11,9	288	5,7	138	24.200
	22.10.2014 14:55 – 15:25	10,8	261	7,5	182	24.200
II	18.11.2014 16:45 – 17:15	8,7	359	6,7	277	41.300
	19.11.2014 10:30 – 11:00	10,4	418	5,9	237	40.200
	19.11.2014 15:05 – 15:35	8,8	354	6,3	253	40.200
III	03.02.2015 17:10 – 17:40	9,0	91	< 0,1	< 1	10.200
	04.02.2015 14:25 – 14:55	9,2	94	< 0,1	< 1	10.200
	04.02.2015 15:40 – 16:10	9,4	96	< 0,1	< 1	10.200
	04.02.2015 16:40 – 17:10	9,1	93	< 0,1	< 1	10.200
Minimum		6,3	91	< 0,1	< 1	10.200
Mittelwert		9,4	242	3,9	151	27.000
Maximum		11,9	418	7,5	423	58.700
Grenzwert				30 ^{*)}	–	–

t: trocken, n: normiert (273,15 K, 101,3 kPa)
*) gemäß TA Luft Nr. 5.2.4 für gasförmige anorganische Stoffe der Klasse III (Ammoniak etc.)

7 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt,
Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen – Endbericht Teil 1, Oktober 2015 http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_luft_00191.htm, aufgerufen 02.11.2015
- [2] BioAluRein
Abschlussbericht im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben - Prüfung und Bewertung der biologischen Sicherheit von anerkannten Abluftreinigungsanlagen in der Nutztierhaltung -, gefördert mit Mitteln des BMELV und BLE, Berichtszeitraum 2009 bis 2013
http://download.ble.de/07UM003/07UM003_BioAbluftRein_AB.pdf, aufgerufen 02.11.2015
- [3] KOLK, A; VAN GELDER, R; SCHNEIDER, R.; GABRIEL, S.:
Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertungen der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 69 (2009); Nr. 4, S. 130 – 136
- [4] Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/LandwirtschaftlicheBetriebe/Tabellen/BetriebsgroessenstrukturLandwirtschaftlicheBetriebe.html>,
aufgerufen am 16.03.2015
- [5] STATISTISCHES BUNDESAMT Wiesbaden 2015, Fachserie 3, Reihe 4.1, November 2014
- [6] 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.
- [7] VORTRAG HAHNE, J.:
Emissionsminderung und Abluftreinigung - KTBL Fachgespräch am 11./12.09.2014 in Hannover
- [8] Landkreis Cloppenburg, Abluftreinigungsanlagen (z. B. Biofilter)
<http://www.lkclp.de/bauen-umwelt/bauen-planen/abluftreinigungsanlagen-z.b.-biofilter.php>,
aufgerufen 29.10.2015
- [9] DLG Prüfrahmen, Abluftreinigungssysteme in der Tierhaltung, Feb. 2015
http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/tests/Abluftreinigung_Tierhaltung.pdf,
aufgerufen 20.10.2015
- [10] Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen: , Umweltministerium Nordrhein-Westfalen, 19.02.2013:
https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/landwirtschaft/erlass_tierhaltungsanlagen.pdf,
aufgerufen 27.10.2015
- [11] Erlass zur Durchführung immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren: Abluftreinigungsanlagen in Schweinehaltungsanlagen und Anlagen für Mastgeflügel sowie Bioaerosolproblematik in Schweine- und Geflügelhaltungsanlagen, Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 22.03.2013 mit Ergänzung vom 23.09.2015 Gem. RdErl. Ministerialblatt 5324 , Hannover 23.09.2015
http://www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1810&article_id=113931&psmand=7,
aufgerufen 27.10.2015
- [12] Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen und an Anlagen zur Lagerung von Gülle, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein, 26.06.2014:
<http://www.gesetze-rechtsprechung.sh.juris.de/jportal/?quelle=jlink&query=VVSH-7820.25-MELUR-20140626-SF&psml=bssshoprod.psml&max=true>,
aufgerufen 27.10.2015

- [13] VDI 3894 Blatt 2: 2012-11 (D) Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen Methode zur Abstandsbestimmung – Geruch. Beuth Verlag, Berlin, 52 S
- [14] Geruchsimmissionsrichtlinie – GIRL – Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen in der Fassung vom 29.02.2008 und einer Ergänzung vom 10.09.2008
- [15] Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:de:PDF>, aufgerufen 21.01.2016
- [16] DLG Abluftreinigungssysteme <http://www.dlg.org/gebäude.html#Abluft>, aufgerufen 20.10.2015
- [17] KTBL SCHRIFT 451:
Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen, Verfahren – Leistungen – Kosten, Darmstadt 2006, 86 S
- [18] Landtechnik ISSN 0023-8082, 44.Jahrgang Sonderheft - Funktionsschema des Biofilters nach Dr. Zeisig
- [19] VDI 3477 E: 2014-05 (D) -- Biologische Abgasreinigung Biofilter. Beuth Verlag, Berlin, 56 S
- [20] Fachhochschule Münster, Energie – Gebäude – Umwelt Prof. Dr.-Ing. St. Schirz
Handbuch Volksbiofilter, Arbeitsgemeinschaft Volksbiofilter, Juli 2005
- [21] SCHIRZ, S.:
„Augen auf beim Filterkauf“, top agrar 4/2012, S. 21 – 23
- [22] BÜSCHER, W.:
Sprühwäscher zur bedarfsgerechten Geruchsminderung – Seminar Messung und Bewertung von Geruchsemissionen und-immissionen am 19.Juni 2001, Wasserschloss Klaffenbach / Chemnitz, IFU GmbH
- [23] VDI 3478 Blatt 2: (2008-04 (D) Biologische Abgasreinigung – Biorieselbettreaktoren. Beuth Verlag, Berlin, 70 S.
- [24] HAHNE, J.:
Thünen Institut für Agrartechnologie – Projektbericht Teil B – Ableitung von Handlungsempfehlungen für die praktische Überprüfung (2014)
http://www.lkclp.de/uploads/files/ara_checkup_funktionstest_hinweise_zum_ausfuellen_der_protokolle.pdf, aufgerufen 29.10.2015
- [25] WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I, S. 2585), zuletzt geändert Artikel 320 der Verordnung vom 31.August 2015 (BGBl. I, S. 1474)
- [26] Broer, Lars:
Erfahrungen bei Bau und Überwachung von Abluftreinigungsanlagen in Niedersachsen, 12. KTBL Veranstaltung, Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft, 2. Juni 2015 in Ulm, https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-2015/Rechtliche_Rahmenbedingungen_Tierhaltung/Broer_Erfahrungen_von_Abluftreinigungsanlagen.pdf
- [27] ARENDS, F.:
Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Vortrag zu Thema „Abluftreinigung für die Schweinhal- tung, wohin geht die Reise?“ auf der Euro-Tier 2014 am 14.11.2014
http://www.eurotier.com/fileadmin/downloads/2014/Programme/Schwein/6_1500_Arends.pdf

- [28] BÖNSCH, S.:
Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2013
https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Emissionsminderung/Kosten_der_Abluftreinigung.pdf, aufgerufen 20.10.2015
- [29] HAXSEN, G.:
Bewertung der Abluftreinigung als Kostenposition in der Schweinehaltung – Berechnungen für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz – Institut für Betriebswirtschaft, von Thünen-Institut, Braunschweig August 2012
- [30] KÖHLER, A.; GRAHN, D.; REBBE, F.; BERTOLD, J.; VOLLMER, M.:
Energieeffizienz in der Abluftreinigung (Schweinehaltung), Schriftenreihe des LfULG, Heft 19/2014, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/>
- [31] ALFONS DETER
Abluftreinigung: Es geht auch günstiger, Beitrag vom 24.05.2015 in topagrar online
<http://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Abluftreinigungsanlagen-Es-geht-auch-guenstiger-1795101.html>
- [32] DIN EN 13725 – Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Deutsche Fassung EN13725: 2003-07
- [33] VDI 3880: 2011-10 (D): – Olfaktometrie – Statische Probenahme. Beuth Verlag, Berlin, 48 S
- [34] VDI 4252 Blatt 2: 2009-11 (D) Emissionsmessung von Bioaerosolen und biologischen Agenzien - Probenahme von Bioaerosolen. Abscheidung von Flüssigkeiten. Beuth Verlag, Berlin, 31 S.
- [35] GÄRTNER, A.; GESSNER, A.; MARTIN, E.; JÄCKL, U.:
Emissionsmessungen von Mikroorganismen, Messtechnische Vorgehensweise und Untersuchungsergebnisse an Hähnchenmastanlagen, Immissionsschutz – Januar 2011, S. 24 – 30
- [36] 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 Prinzip der kritischen Düse. Beuth Verlag, Berlin, 15 S
- [37] VDI 4253 Blatt 3: 2008-08 (D) – Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Verfahren zu quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten
- [38] HARMSSEN, D.; CLAUS, H.; WITTE, W.; ROTHGANGER, J.; TURNWALD, D. & VOGEL, U.:
Typing of methicillin-resistant Staphylococcus aureus in a university hospital setting by using novel software for spa repeat determination and database management. J Clin Microbiol 41(12): 5442-8, 2003
- [39] NISCHWITZ, S; HOPPENHEIDT, K.;
Bioaerosolbelastung und AGR: Quantifizierung luftgetragener Endotoxine, Zwischenbericht, bifa Umweltinstitut, 24.03.2015, 19 S.
- [40] Sechzehntes Gesetz zur Änderung des Arzneimittelgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 10.10.2013 (BGBl. I Nr. 62, S. 3813)
- [41] DLG-Prüfberichte – Abluftreinigungssysteme - <http://www.dlg.org/gebaeude.html#Abluft>
- [42] GÄRTNER, A.; GESSNER, A.; MARTIN, A.; SCHNEIDER, D. & JÄCKEL, U.:
Emissionen aus der Hähnchenmast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaeinsatz. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 9, S. 377 – 383

- [43] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Intensivtierhaltung: Umweltrelevante Emissionen und Immissionen (Feinstaub – PM10, PM 2,5, NH3, N2O, CH4, NMVOC, Keime, Pilze, Endotoxine), Endbericht zum Forschungsvorhaben, Augsburg (2011)
<http://www.lfu.bayern.de/luft/index.htm>
- [44] TierSchNutzV (2006):
Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl.S.2043)
- [45] DOTT, W. & WIESMÜLLER, G.A.:
Abschlussbericht – Wissenschaftliche Begutachtung der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang mit dem Projekt „BioAluRein“. In:-bewertung, a. U. G.-A.I.f.R.u. (ed). 2013
http://download.ble.de/07UM003/07/UM003_BioAbluftRein_Wissenschaftliche_Begutachtung.pdf
- [46] [DIN EN 18910 – Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung- Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Beuth Verlag, Berlin 2004, 36 S
- [47] PROF. DR. SCHIRZ, S.:
Augen auf beim Filterkauf, top agrar Nr. 4/2012, S.20 – 23, Landwirtschaftsverlag Münster
- [48] VDI 4257 Blatt 1:2013-05 - Bioaerosole und biologische Agenzien - Messen von Emissionen - Planung und Durchführung von Emissionsmessungen, Beuth Verlag, Berlin, 40 S.
- [49] [Abstandsregelung für Gerüche - Berücksichtigung von Filteranlagen in Genehmigungsverfahren
http://www.lklp.de/uploads/files/ara_abstandsregelung_fuer_gerueche.pdf,
aufgerufen 19.10.2015
- [50] [KTBL Schrift 494 Emissionen und Immissionen von Tierhaltungsanlagen – Handhabung der Richtlinie 3894, Darmstadt 2012, S. 80 – 82; 216 S.
- [51] Gärtner, A.; Gessner, A.; Knust, S.:
Ermittlung der Emissionen von Mikroorganismen aus Schweinemastanlagen, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Heft 74(2014) Nr. 11/12 –Nov/Dez.
- [52] Clauß, M., J. Schulz, J. Stratmann-Selke, M. Decius & J. Hartung:
Abscheidung von "Livestock-associated“ Methicillin-resistenten Staphylococcus aureus (LA-MRSA) aus der Abluft zweier Mastschweineeställe mit einem Rieselbettfilter und einer dreistufigen Abluftreinigungsanlage [Reduction of livestock-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus (LA-MRSA) in the exhaust air of two piggeries by a bio-trickling filter and a biological three-step air cleaning system]. Berl Munch Tierärztl. Wochenschrift (2013) 126 (3-4):137-142.
- [53] HÖRMANSDORFER, S.; FRICK, J.; HÖLLER, C.; HERR, C.; TUSCHAK, C; EDDICKS,M.:
MRSA bei Schweinen – eine Gefahr für den Menschen? Hygiene & Medizin 38 (2013) 7/8; S. 316 – 320
- [54] DE NEELING, A. J.; VAN DEN BROEK,M.J.; SPALBURG,E.C.; VAN SANTEN-VERHEUVEL, M. G.; DAM-DEISZ, W. D.; BOSHUIZEN, H. C.; VAN DE GIESSEN, A. W.; VAN DUIJKEREN, E.; HUIJSDENS, X. W.: High prevalence of methicillin resistant Staphylococcus aureus in pigs. Vet Microbiol (2007) 122(3-4):366-72.

- [55] KRUPA, P.; BYSTRON, J.; PODKOWIK, M.; EMPEL, J.; MROCZKOWSKA, A.; BANIA, J.: Population Structure and Oxacillin Resistance of *Staphylococcus aureus* from Pigs and Pork Meat in South-West of Poland. *BioMed research international* (2015):141475 doi:10.1155/2015/141475
- [56] VAN DUIJKEREN, E.; IKAWATY, R.; BROEKHUIZEN-STINS, M. J.; JANSEN, M. D.; SPALBURG, E. C.; DE NEELING, A. J.; ALLAART, J. G.; VAN NES, A.; WAGENAAR, J. A.; FLUIT, A. C.: Transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains between different kinds of pig farms. *Vet Microbiol* doi:10.1016/j.vetmic.(2007.07.21)
- [57] CUNY, C.; KOCK, R.; WITTE, W.: Livestock associated MRSA (LA-MRSA) and its relevance for humans in Germany. *International journal of medical microbiology* (2013): IJMM 303(6-7):331-7 doi:10.1016/j.ijmm.2013.02.10
- [58] [PRICE, L. B.; STEGGER, M.; HASMAN, H.; AZIZ, M.; LARSEN, J.; ANDERSEN, P. S.; PEARSON, T.; WATERS, A. E.; FOSTER, J. T.; SCHUPP, J.; GILLECE, J.; DRIEBE, E.; LIU, C. M.; SPRINGER, B.; ZDOVC, I.; BATTISTI, A.; FRANCO, A.; ZMUDZKI, J.; SCHWARZ, S.; BUTAYE, P.; JOUY, E.; POMBA, C.; PORRERO, M.C.; RUIJMY, R.; SMITH, T. C.; ROBINSON, D. A.; WEESE, J. S.; ARRIOLA, C. S.; YU, F.; LAURENT, F.; KEIM, P.; SKOV, R.; AARESTRUP, F. M.: *Staphylococcus aureus* CC398: host adaptation and emergence of methicillin resistance in livestock.(2012) *mBio* 3(1) doi:10.1128/mBio.00305-11
- [59] FRANCO, A.; HASMAN, H.; IURESCIA, M.; LORENZETTI, R.; STEGGER, M.; PANTOSTI, A.; FELTRIN, F.; IANZANO, A.; PORRERO, M. C.; LIAPI, M.; BATTISTI, A.: Molecular characterization of spa type t127, sequence type 1 methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from pigs.(2011) *J Antimicrob Chemother* 66(6):1231-5
- [60] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: „Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung“. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, März 2015, 425 S. <http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/Texte/AgrBeirGutachtenNutztierhaltung.html>, aufgerufen 4.11.2015
- [61] HÜBNER, P; GAUTSCH & JEMMI, T.: In house-Validierung mikrobiologischer Prüfverfahren. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 93 (2002); S. 118 – 139

