

Abschlussbericht

im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

„Prüfung und Bewertung der biologischen
Sicherheit von anerkannten
Abluftreinigungsanlagen in der Nutztierhaltung“

Kurztitel: BioAluRein

Förderkennzeichen: 2807 UM003

Laufzeit: 24.06.2009 – 15.06.2013

Berichtszeitraum: 2009 bis 2013



Das Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens
 - 1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens
 - 1.2 Stand der Wissenschaft und Technik
 - 1.2.1 Immissionsschutzrechtliche Ausgangssituation
 - 1.2.2 Zusammensetzung und Wirkung der Luft in Tierhaltungen
 - 1.2.3 Wirkungen der Stallluftemissionen auf die Umwelt
 - 1.2.4 Technik der biologischen Abluftreinigung
 - 1.2.5 Mikrobiologie der biologischen Abluftreinigung

- 2 Material und Methoden
 - 2.1 Allgemeine Funktionsbeschreibung der untersuchten Abluftreinigungsanlagen (ARA)
 - 2.2 Probennahme, Probenaufbereitung und Methodik
 - 2.2.1 Arbeitspaket 1 (ITTN) – Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole
 - 2.2.2 Arbeitspaket 2 (ITTN) – Prozesswasserproben
 - 2.2.3 Arbeitspaket 3 (ITTN) – Beprobung der Biofilm besetzten Filterflächen
 - 2.2.4 Arbeitspaket 4 (ITTN) – Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft
 - 2.2.5 Arbeitspaket 5 (IAB) - Wasseranalytik des Prozesswassers, Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der ARA und Anlagendokumentation
 - 2.2.6 Arbeitspaket 6 (LUFA) - Roh- und Reingasbeprobung, Messung von Ammoniak und Geruch; Check- up- Messungen
 - 2.2.7 Arbeitspaket 7 (TÜV) - Roh- und Reingasbeprobung, Messung Gesamtstaub und Staubfraktionen (PM₁₀ und PM_{2,5})
 - 2.2.8 Arbeitspaket 8 (DLG) – Messung der Betriebszustände, Anlagendokumentation

- 3 Ergebnisse
 - 3.1 Biologische Anlagencharakterisierung – Teilbericht ITTN; Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
 - 3.1.1 Arbeitspaket 1 – Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole

- 3.1.1.1 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an der dreistufigen ARA
 - 3.1.1.2 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an dem untersuchten Rieselbettreaktor
 - 3.1.2 Arbeitspaket 2 – Prozesswasserproben
 - 3.1.2.1 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an der dreistufigen ARA
 - 3.1.2.2 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an dem untersuchten Rieselbettreaktor
 - 3.1.3 Arbeitspaket 3 – Beprobung der Biofilm besetzten Filterflächen
 - 3.1.3.1 Mikrobiologische Untersuchungen der Filterwände sowie des Füllkörpers der Bioschüttung an der dreistufigen ARA
 - 3.1.3.2 Mikrobiologische Untersuchungen der an dem Rieselbettreaktor angebrachten Prüfkörper
 - 3.1.4 Arbeitspaket 4 – Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft
 - 3.1.5 Vergleich der beiden untersuchten ARA
 - 3.1.6 Voraussichtlicher Nutzen der Verwertbarkeit der Ergebnisse
- 3.2 Chemisch- physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht IAB; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen Instituts, Braunschweig
 - Arbeitspaket 5 - Wasseranalytik des Prozesswassers, Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der ARA und Anlagendokumentation
 - 3.2.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA
 - 3.2.1.1. Allgemeiner Anlagenzustand
 - 3.2.1.2 Analysenergebnisse
 - 3.2.1.3 Bewertung der Ergebnisse
 - 3.2.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor
 - 3.2.2.1 Allgemeiner Anlagenzustand
 - 3.2.2.2 Analysenergebnisse
 - 3.2.2.3 Bewertung der Ergebnisse
 - 3.2.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

- 3.3 Chemisch- physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht LUFA; Institut für Boden und Umwelt der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nord-West, Oldenburg
Arbeitspaket 6 - Roh- und Reingasbeprobung, Messung von Ammoniak und Geruch; Check- up- Messungen
 - 3.3.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA
 - 3.3.1.1. Analysenergebnisse
 - 3.3.1.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse
 - 3.3.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor
 - 3.3.2.1. Analysenergebnisse
 - 3.3.2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

- 3.4 Chemisch- physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht TÜV; Technischer Überwachungsverein Nord Umweltschutz GmbH und Co. KG, Hannover
Arbeitspaket 7 - Roh- und Reingasbeprobung, Messung Gesamtstaub und Staubfraktionen (PM₁₀ und PM_{2,5})
 - 3.4.1 Umfang der gewonnenen Ergebnisse
 - 3.4.2 Messergebnisse für Gesamtstaub
 - 3.4.3 Messergebnisse für die Partikelgrößenverteilung
 - 3.4.4 Rechenwerte für die Abscheideleistung für Staub und Partikelfraktionen
 - 3.4.5 Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Keimzahl
 - 3.4.6 Gegenüberstellung Partikelfraktionen zu Gesamtstaub
 - 3.4.7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

- 3.5 Analyse und Dokumentation der Betriebsparameter – Teilbericht DLG; Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Groß-Umstadt
Arbeitspaket 8 – Messung der Betriebszustände, Anlagendokumentation
 - 3.5.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA
 - 3.5.1.1. Allgemeiner Anlagenzustand
 - 3.5.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor

3.5.2.1. Allgemeiner Anlagenzustand

3.5.3 Weitere Messergebnisse

3.5.4 Bewertung der Ergebnisse

3.5.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

4 Zusammenfassung

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

6 Literaturverzeichnis

7 Anhang

1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens im Agrarbereich für Umweltschutz "Prüfung und Bewertung der biologischen Sicherheit von anerkannten Abluftreinigungsanlagen (ARA) in der Nutztierhaltung" (kurz: BioAluRein) sollten praxisübliche biologische ARA an Mastschweineställen unter umwelt- und lebensmittelhygienischen Gesichtspunkten untersucht werden. Es sollte eingeschätzt werden ob, wann, unter welchen Bedingungen und in welchem Umfang Mikroorganismen und andere potentiell gesundheitsgefährdende Stoffe, wie z. B. Endotoxine, aus biologischen ARA in die Umwelt emittiert werden und inwiefern diese Anlagen selbst als Emittenten für Mikroorganismen und deren Produkte auftreten. Diesbezüglich sollte das Rückhaltevermögen von Bioaerosolen unter verschiedenen Betriebsbedingungen (Sommer-/Winterbetrieb, Variation der Betriebsparameter) ermittelt werden. Auf Grundlage einer mikrobiologischen Charakterisierung der ARA unter Berücksichtigung pathogener Partikel sollte weiterhin eine umwelthygienische Risikoabschätzung für Bioaerosole in und aus ARA erfolgen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt bestand in der verfahrenstechnischen Optimierung der ARA in Hinblick auf eine weitgehende und dauerhafte Minimierung der Bioaerosolemissionen unter Aufrechterhaltung der Reinigungsleistungen für Geruch, Ammoniak und Gesamtstaub.

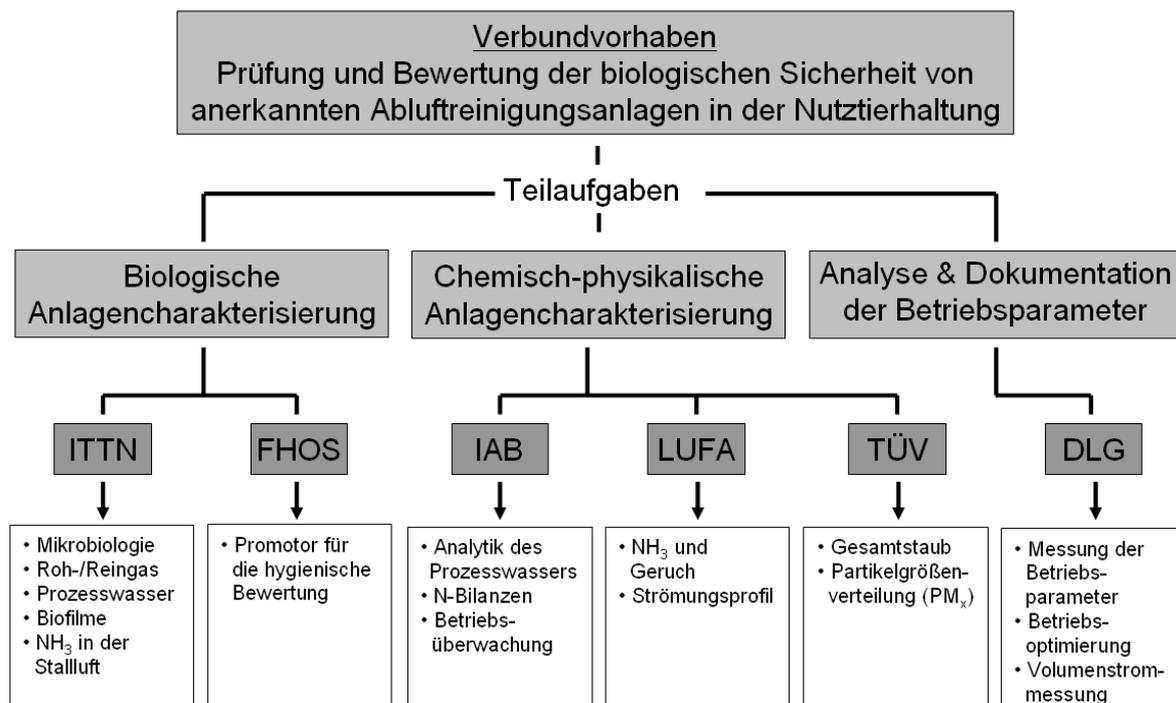
Bei dem beantragten Vorhaben sollten zwei unterschiedliche Typen von zertifizierten, biologischen ARA untersucht werden, um deren unterschiedliche Reinigungsmechanismen und technischen Modifikationsmöglichkeiten für eine etwaige Anlagenoptimierung darstellen zu können.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens erfolgte als Verbundprojekt unter Beteiligung der folgenden Projektpartner:

- ITTN; Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (Projektkoordination)
- FHOS; Fachhochschule Osnabrück
- IAB; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen Instituts, Braunschweig
- LUFA; Institut für Boden und Umwelt der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nord-West, Oldenburg

- TÜV; Technischer Überwachungsverein NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Hannover
- DLG; Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Groß-Umstadt

Die Verbundpartner nahmen für die Erlangung des Gesamt- Arbeitsziels spezifische Teilaufgaben wahr. Dabei kann zwischen biologischen, chemisch-physikalischen und betriebstechnischen Aufgaben unterschieden werden. Die Abbildung 1 gibt eine Übersicht zu den Teilaufgaben der jeweiligen Partner.



Zur Erfüllung der Teilaufgaben wurden Arbeitspakete definiert, die die Interaktion zwischen den Teilaufgaben aufzeigen.

Arbeitspaket 1 (ITTN): Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole, mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchung

Arbeitspaket 2 (ITTN): Prozesswasserproben, mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchung

Arbeitspaket 3 (ITTN): Biofilm besetzte Aufwuchsflächen (Filterwände, Füllkörper), mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchung

Arbeitspaket 4 (ITTN): Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft

| | |
|------------------------|--|
| Arbeitspaket 5 (IAB): | Wasseranalytik des Prozesswassers; Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der ARA und Anlagendokumentation |
| Arbeitspaket 6 (LUFA): | Roh- und Reingasbeprobung, Messung von Ammoniak und Geruch; Check-up-Messungen |
| Arbeitspaket 7 (TÜV): | Roh- und Reingasbeprobung, Messung Gesamtstaub und Staubfraktionen (PM ₁₀ und PM _{2,5}) |
| Arbeitspaket 8 (DLG): | Messung der Betriebszustände, Anlagendokumentation |
| Arbeitspaket 9 (FHOS): | Promotor für die hygienische Bewertung durch externen Gutachter |

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des ursprünglich über 36 Monate angelegten Vorhabens wurde durch drei Meilensteine charakterisiert, die die folgenden Arbeitsinhalte umfassten.

Meilenstein 1 (Startphase, Dauer: 6 Monate)

- Schaffung technischer und organisatorischer Strukturen
- Etablierung technischer Voraussetzungen für den Messbetrieb
- Umweltmikrobiologische Literaturrecherche
- Erste mikrobiologische Screening- Versuche
- Fokussierung auf ausgewählte Mikroorganismen
- Vorversuche Wasseranalytik und Stoffbilanzen
- Vorversuche Ammoniak- und Geruchsmessungen, Volumenstrombestimmung
- Vorversuche Staubmessungen

Meilenstein 2 (Versuchsphase, Dauer: 24 Monate)

- Versuchsphase
- Etablierung der Messroutine im ersten Betrieb
- Regelmäßige Messungen in der ausgewählten dreistufigen ARA
- Abschluss der Messungen und Auswertung der Daten der ersten Anlage
- Abfassung eines gemeinschaftlichen Zwischenberichtes
- Etablierung der Messroutine im zweiten Betrieb
- Regelmäßige Messungen in der ausgewählten einstufigen ARA
- Abfassung eines weiteren gemeinschaftlichen Zwischenberichtes

Meilenstein 3 (Endphase, Dauer: 6 Monate)

- Gegebenenfalls Wiederholungsmessungen
- Zusammenführung und Bewertung der Ergebnisse
- Abfassung des Abschlussberichtes

Zunächst wurde die Meilensteinplanung des Projektes weitgehend eingehalten. Seitens des ITTN kam es lediglich zu einer leichten zeitlichen Verzögerung zu Beginn des Vorhabens, da die Auswahl geeigneten Personals länger als erwartet dauerte. Somit konnte mit den Arbeiten erst am 01.09.2009 begonnen werden.

Der Meilenstein 1 wurde erfolgreich abgeschlossen und im Februar 2010 konnte mit den im Meilenstein 2 vorgesehenen Arbeiten (Versuchsphase) begonnen werden.

Bei der ersten untersuchten ARA handelte es sich um eine dreistufige Anlage, in der eine biologisch-physikalische Abluftwäsche, eine chemische Abluftwäsche und die Biofiltration hintereinander angeordnet sind. Die Messungen in diesem Betrieb wurden am 10.08.2010 vorzeitig abgeschlossen, da die Anlage ab diesem Zeitpunkt aufgrund baulicher Mängel für längere Zeit nicht mehr betrieben werden konnte und die Wiederinbetriebnahme erst nach umfangreichen baulichen Maßnahmen erfolgen konnte. Dies hätte die Versuchsphase zu stark verzögert, so dass die verbleibenden Messtermine ausgesetzt wurden. Es wird davon ausgegangen, dass auch in der verkürzten Versuchsphase genügend belastbare Daten generiert werden konnten. Während der erfolgten Beprobungen arbeitete die Anlage nach Eindruck aller Projektteilnehmer bestimmungsgemäß. Schwerwiegende Mängel, die die Funktionsfähigkeit der ARA grundsätzlich infrage gestellt hätten, wurden bei den Messterminen nicht beobachtet. Kleinere Mängel (partielle Durchbrüche am Biofilter im Bereich der Streben) wurden nach Hinweis vom Anlagenhersteller beseitigt. Lediglich im Zeitraum vom 07.03.2010 bis 30.03.2010 befand sich die Anlage aufgrund technischer Probleme nicht in einem ordnungsgemäßen Funktionszustand. Es trat Schaumbildung in dem zweiten Wasserbecken auf, welche jedoch relativ rasch durch Regulierung des pH-Wertes unterbunden werden konnte. Zudem führte eine ungleichmäßige Berieselung der Säurestufe zu einer nicht ausreichenden Abscheidung von Ammoniak. Somit gab es einen erhöhten Stickstoffeintrag in die Biostufe und als Folge davon eine zunehmende „Vergrünung“, welche bis etwa Ende Mai 2010 anhielt. Dabei konnte auch eine zunehmende Differenzierung des

Biofiltermaterials festgestellt werden. Es steht zu vermuten, dass sich infolge ungleichmäßiger Befeuchtung des Biofiltermaterials unterschiedliche Mikroorganismengruppen unterschiedlich stark ansiedeln (nasse Bereiche: Grünalgen, möglicherweise Cyanophyceen; trockene Bereiche: Actinomyceten und Pilze). Der Anlagenhersteller und der Betreiber wurden angewiesen, die Biofilterbefeuchtung zu verbessern.

Bereits im Herbst 2010 wurde mit der Akquise der zweiten, einstufigen ARA begonnen, um möglichst zeitnah die Beprobungen aufnehmen zu können. Hierbei handelte es sich um eine in der Praxis weit verbreitete Anlage, einen typischen, einstufigen Rieselbettreaktor, bei dem nach der Feuchteconditionierung des Rohgases die Biofiltration der Luftinhaltsstoffe im Gegenstromprinzip in nur einem Bioreaktorblock stattfindet. Nach Durchführung der erforderlichen baulichen Maßnahmen (Zugang zu den Abluftschächten über ein Gerüst, Aufbau der Messtrecken in Roh- und Reingas, Einbau der Messeinrichtungen) konnte mit den ersten Messungen, wie im Zeitplan festgelegt, am 22.03.2011 begonnen werden. Zunächst schien die Anlage bestimmungsgemäß zu arbeiten. Im Laufe der ersten Messungen wurden jedoch verschiedene Mängel beobachtet. So war die Befeuchtung des Filters unzureichend, der pH-Wert des Waschwassers war deutlich zu niedrig und es kam zur Freisetzung von Stickoxiden. Die Anlage arbeitete nicht im Bereich der nach dem Cloppenburger Leitfaden vorgegebenen Kriterien. Nach Absprache mit dem Anlagenhersteller wurden Maßnahmen eingeleitet, um gegenzusteuern und die Anlage wieder in einen ordnungsgemäßen Zustand zu versetzen. Die ARA wurde am 01.07.2011 komplett gereinigt und das Waschwasser ausgetauscht. Die Umwälzung des Waschwassers wurde erhöht, um eine ausreichende Befeuchtung der ARA zu erreichen. Begleitend zu diesen Maßnahmen erfolgten Messungen, um den Erfolg zu überprüfen. Diese zeigten, dass die Anlage auch durch die eingeleiteten Maßnahmen nicht in einen ordnungsgemäßen Zustand versetzt werden konnte. Dies wurde mit dem Anlagenhersteller besprochen und es wurden weitere Änderungen vorgenommen. So wurden Erfahrungen zur Beurteilung der Funktion der Anlage gewonnen. Am 12.09.2011 wurde vom Projektkonsortium beschlossen, gemeinsam mit dem Anlagenhersteller einen Maßnahmenkatalog zu erarbeiten, um die Mängel in der Anlage auszuräumen. Gleichzeitig wurde beschlossen, die Messungen, die im zweiwöchigen Abstand geplant waren, zunächst bis zum 04.10.2011 auszusetzen (die letzte Messung fand am 06.09.2011 statt).

Danach erfolgte eine Check-up-Messung durch die LUFA, die erneut keine Besserung zeigte. Am 01.11.2011 erfolgte ein weiteres Treffen des Projektkonsortiums und einem Firmenvertreter an der Anlage. Die empfohlenen Maßnahmen wurden vom Anlagenhersteller nicht ausnahmslos umgesetzt, da sie entweder technisch nicht möglich waren (Vergrößerung der Filterfläche zur Verringerung der Filterflächenbelastung) oder aus finanziellen Gründen abgelehnt wurden (Installation einer Vorbedüsung, Anschluss an das Wassernetz der Gemeinde). Am 22.11.2011 wurde festgehalten, dass der Anlagenhersteller bis Mitte Januar 2012 mit weiteren Maßnahmen die Anlage optimieren sollte. Zu Beginn des Jahres 2012 stieg jedoch der Landwirt mit dem Ablauf seiner Vertragslaufzeit aus dem Projekt aus. Sämtliche Messapparaturen sowie das Baugerüst für die Probenahmen wurden bis Ende Januar 2012 abgebaut. Es konnten im Jahr 2011 von den geplanten 18 bis 20 Messterminen insgesamt zehn Messtermine an der einstufigen ARA durchgeführt werden. Der in der Projektbeschreibung geforderte ordnungsgemäße Zustand der untersuchten ARA konnte allerdings, trotz intensiver Bemühungen, im vorgesehenen Zeitraum nicht hergestellt werden. Daher finden die bereits erhobenen Daten keine Berücksichtigung im Rahmen der Risikobewertung von ARA. Aufgrund dieser nicht erwarteten Schwierigkeiten und zur Sammlung weiterer Erfahrungen mit den ARA wurde einem Antrag auf Laufzeitverlängerung des Projektes bis zum 15.06.2013 statt gegeben. Die folgenden Messungen sollten an einer Anlage fortgeführt werden, die ordnungsgemäß und zertifizierungskonform arbeitet. Nach dem heutigen Stand der Technik erfolgt die Zertifizierung von ARA nach DLG Kriterien, die auf dem Cloppenburger Leitfaden aufbauen, diesen durch zusätzliche Kriterien aber noch erweitern.

Bereits Anfang März konnte eine erste Check-up-Messung an einer DLG-zertifizierten einstufigen ARA durchgeführt werden. Die ersten Messungen an der neuen ARA, mit dem Reinigungsprinzip Rieselbettreaktor, starteten am 24.07.2012. Aufgrund von Problemen bereits zu Beginn der Messkampagne konnten die für den 21.08.2012, 04.09.2012 und 18.09.2012 vorgesehenen Messungen jedoch nicht durchgeführt werden. Der pH-Wert in der Druckleitung zum Wäscher war deutlich unterhalb des pH-Optimums (6,5 - 6,8) und schwankte um pH 6. Des Weiteren konnten deutlich erhöhte Stickoxid-Werte (> 10 ppm) im Reingas gemessen werden. Bereits im Vorfeld der Messungen war vereinbart worden, die Leitfähigkeit herabzusetzen, um die Nitrit-Konzentration im Waschwasser zu reduzieren.

Gleichfalls wurde eine Anhebung des pH-Wertes des Waschwassers mit kohlensaurem Kalk realisiert. Diese Maßnahmen erwiesen sich jedoch als nicht ausreichend, wie am 04.09.2012 vor Ort festgestellt wurde. Die Inaugenscheinnahme der Aufkalkungseinrichtung ergab, dass die eingesetzten Mengen für eine ausreichende Anhebung des pH-Wertes zu gering waren und auch ein nicht optimales Kalkprodukt eingesetzt wurde. Daher wurde eine zweite Dosiereinrichtung für Kalilauge eingerichtet, um im Bedarfsfall den pH-Wert weiter zu stabilisieren. Ab dem 25.09.2012 konnten die Messungen wieder aufgenommen werden.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

1.2.1 Immissionsschutzrechtliche Ausgangssituation

Mit der Stallabluft gelangen Komponenten wie Geruchsstoffe, Ammoniak oder Stäube in die Umwelt, wo sie als umweltrelevante Immissionen einwirken können. Nicht zuletzt durch die EU-Richtlinie „Integrated Pollution Prevention and Control IPPC (96/61/EC)“ sowie die Richtlinie über Luftqualitätsstandards (Council Directive 96/62/EC) wurden die Anforderungen an den Umweltschutz erhöht, so dass sich auch die landwirtschaftliche Tierproduktion aktiv an Luftreinhaltemaßnahmen beteiligen muss. Betrifft dies bei den Partikeln besonders die Feinstäube (PM₁₀), so wird auch zunehmend die umwelthygienische Bedeutung der sog. Bioaerosole hinterfragt, die als ein Agglomerat aus Staubpartikeln, Staubinhaltsstoffen (z. B. Endotoxine) und Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren) aufgefasst werden können. Den Bioaerosolen wird im Allgemeinen ein toxisches, allergisches und infektiöses Potential unterstellt, sofern Zusammensetzung und Dosis der Bioaerosole sowie die Empfänglichkeit des exponierten Subjektes dies bedingen.

Zur Erfüllung immissionsschutzrechtlicher Auflagen in der Tierproduktion wird die TA Luft (2002) für genehmigungsbedürftige Stallbauten herangezogen, um Mindestabstände zur Vorsorge gegen erhebliche Geruchsbelastungen gegenüber der Wohnbebauung und zum Schutz von empfindlichen Ökosystemen vor schädlichen Einwirkungen durch Ammoniak zu definieren. Darüber hinaus sind die Emissionen von Staub zu begrenzen, wenn diese den sog. Bagatellmassenstrom überschreiten oder an benachbarten Wohnhäusern eine zu hohe Belastung durch Feinstaub prognostiziert wird. Die Anwendung solcher Vorgaben führt besonders in viehdichten Regionen zu Konflikten, da oftmals die Immissionsvorbelastung durch

Gerüche, Ammoniak und Staub bereits so hoch ist, dass die erforderlichen Schutzabstände immer häufiger nicht mehr eingehalten werden können. Neben dieser allgemeinen Beobachtung kommt ein spezielles Problem hinzu. Wurde in der Vergangenheit aufgrund relativ geringer Umweltzwänge der sog. Außenbereich nach § 35 des BauGB als privilegiertes Umfeld für Stallansiedlungen genehmigungsrechtlich bejaht, so muss heute festgestellt werden, dass aus landschaftsschutzbedingten (Zersiedlung) und bauleitplanerischen (vorrückende Wohnbebauung) Gründen dieser Außenbereich zunehmend begrenzter verfügbar ist. Um der Weiterentwicklung der Tierhaltung Genüge zu tun, ist daher das Ausweichen auf Dorfrandlagen oder auf die ursprünglichen hofeigenen Flächen in vielen Fällen unausweichlich. Gerade hier aber können oft Mindestabstände wegen der über Jahre gewachsenen Strukturen von landwirtschaftlichen Betrieben und Wohngebäuden nicht eingehalten werden. Neue Ställe oder Betriebserweiterungen können daher nur mit weitergehenden Maßnahmen zur Emissionsminderung genehmigt werden. Der Einsatz von ARA ist derzeit hierfür die wichtigste Option. Da diese Anlagen zur städtebaulichen Konfliktlösung in sehr geringer Entfernung zur vorhandenen Wohnbebauung errichtet werden, ist die Kenntnis über ihre biologische Unbedenklichkeit bzw. Reinigungsleistung umso erforderlicher.

1.2.2 Zusammensetzung und Wirkung der Luft in Tierhaltungen

In der Stallluft gilt Ammoniak als Leitgas. Ammoniakkontakte können bei Nutztieren zu Schädigungen exponierter Gewebe führen (z. B. Epitheldegeneration der Atemschleimhaut). Eine stetig auf Tiere einwirkende Ammoniakatmosphäre kann zudem auch Leistungseinbußen (z. B. geringere Tageszunahmen) und Kannibalismus begründen. Ammoniakkonzentrationen von 5 bis 18 ppm in Schweinehaltungsbetrieben und bis zu 30 ppm in der Geflügelhaltung kennzeichnen mögliche Belastungen im Tagesmittel (GROOT KOERKAMP et al., 1998). Neben dem Ammoniak sind mehr als 300 weitere Spurengase identifizierbar, die hauptsächlich zu den Geruchsstoffen zu zählen sind (SCHIFFMAN et al., 2001). Nicht nur gasförmig, sondern auch in partikelgebundener Form kommen Geruchsstoffe vor, so dass Stallstäube als Geruchsträger in Frage kommen (BOTTCHER, 2001).

Bioaerosole kommen teilweise in nicht unerheblichen Konzentrationen in der Stallluft vor. Mittlere Konzentrationen an einatembaren Staub von 2,19 mg/m³ in Schweineställen korrespondieren mit dem Gehalt an luftgetragenen Gesamtbakterien von etwa 126.000 Koloniebildenden Einheiten (KBE) pro m³. Für Bioaerosolbestandteile wie Endotoxine können in Schweine- und Geflügelhaltungen Spannen zwischen etwa 109 bis 860 ng/m³ angegeben werden (SEEDORF et al., 1998). Bei Tieren führen Bioaerosolexpositionen zu Entzündungserscheinungen im Atemtrakt oder erhöhen die Empfänglichkeit für pathogene Erreger (BAEKBO, 1990). Wirkungsuntersuchungen von im Stall exponierten Personen haben mehrfach zeigen können, dass Lungenfunktionsparameter eingeschränkt sind oder das sog. Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) zu körperlichen Beschwerden führt (SEEDORF und HARTUNG, 2002a).

1.2.3 Wirkungen der Stallluftemissionen auf die Umwelt

Das Lüftungssystem von Ställen sorgt für die Freisetzung von Gerüchen, Fremdgasen und Bioaerosolen in die Umwelt. Freigesetzte Geruchsstoffe können in der Anwohnerschaft zu Geruchsbelästigungen führen. Darüber hinaus werden auch immer wieder Gesundheitseffekte wie Ermüdung, Kopfschmerzen, Übelkeit, Reizungen im Atemtrakt oder auch eine verschlechterte Gemütslage beobachtet (SCHIFFMAN, 1998; SCHIFFMAN et al., 2005).

Emittiertes Ammoniak kann besonders im Nahbereich zur Versauerung und Eutrophierung von Böden und Gewässern beitragen und damit ökologisch empfindliche Gebiete nachhaltig schädigen. Außerdem zählt Ammoniak zu den sog. Vorläuferstufen (engl. pre-cursor), die die sekundäre Aerosolbildung in der Atmosphäre mit verursachen. Solche Aerosole aus PM_{2,5} (Partikelgröße < 2,5 µm) werden als wichtiger Grund dafür angesehen, dass exponierte Menschen einem gesteigerten Sterblichkeitsrisiko ausgesetzt sind (WHO, 2004).

Bioaerosole verkörpern Primärpartikel, denen die sog. PM₁₀ (Partikelgröße < 10 µm) zuzurechnen sind. In vornehmlich landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit einer hohen Viehdichte dürften Stallaerosole wesentlich zum atmosphärischen Partikelaukommen beitragen. Ein vermehrtes Aufkommen von PM_x in der Außenluft kann umständehalber vermehrt zirkulatorische und respiratorische Krankheitsgeschehnisse beim Menschen auslösen (WHO, 2004). Im globalen

Kontext wird die Rolle der Bioaerosole bei chemischen und physikalischen Vorgängen in der Atmosphäre (Wolken- und Eiskristallbildung) zunehmend hinterfragt (ARIYA und AMYOT, 2004).

Bioaerosolbestandteile wie die Endotoxine gehören derzeit zu den am umfangreichsten untersuchten Wirkkomponenten im arbeitsmedizinischen Bereich. Hinweise darauf, dass emittierte Endotoxine womöglich gesundheitliche Effekte wie Einschränkungen der Lungenfunktion verursachen, fanden sich im Rahmen der Niedersächsischen Lungenstudie (NiLS) bei Anwohnern in der Nachbarschaft zu Betrieben der Veredelungswirtschaft (RADON et al., 2007).

Viren als Bestandteil von Bioaerosolen vermögen kilometerweit verfrachtet zu werden. Epidemiologisch belegt sind beispielsweise Virusübertragungen zwischen Tierbeständen während vergangener MKS-Ausbrüche in Europa (CHRISTENSEN et al., 2005; GLOSTER et al., 2005).

In die Abluft freigesetzten Bakterien wird eine Bedeutung als Träger von Resistenzgenen gegenüber Antibiotika zugesprochen. Nicht nur im Stall, sondern auch windgetragen werden hierdurch gesundheitsrelevante Expositionen beim Menschen nicht ausgeschlossen (CHAPIN et al., 2005; GIBBS et al., 2004).

1.2.4 Technik der biologischen Abluftreinigung

Die Entwicklung der Abluftreinigungsverfahren für die Anwendung bei Ställen reicht zurück bis in die 1970er Jahre, wo die Geruchsreduktion von Stallemissionen im Vordergrund stand. Die heutigen Systeme sind das Ergebnis von Entwicklungen, die insbesondere vor fünf bis zehn Jahren begannen. Nunmehr können neben den Gerüchen auch die Ammoniak- und Staubemissionen effektiv gemindert werden. Begleitet wurden diese Entwicklungen von Richtlinienarbeiten, die die technischen Anforderungen für ARA definieren (VDI-Richtlinie 3477 und 3478). Für die spezifischen landwirtschaftlichen Erfordernisse in der Genehmigungspraxis hat der Cloppenburgener Leitfaden Bedeutung erlangt, weil hier Mindestanforderungen an die Reinigungsleistung praxisüblicher ARA-Varianten für die Abluftinhaltsstoffe Geruch, Ammoniak und Staub niedergeschrieben sind. Darüber hinaus ist eine freiwillige bundesweite Zertifizierungsprüfung für Abluftreinigungsanlagen im Rahmen des sog. DLG-Signumtests etabliert worden, um die Qualität der Anlagen zu gewährleisten und zu verbessern. Derartig zertifizierte Anlagen haben einen technischen Standard

erreicht, der dauerhaft einen zuverlässigen Betrieb und eine wirksame Minderung der Emissionen an Geruch, Ammoniak und Staub ermöglicht. Im Allgemeinen können Wirkungsgrade von 70 - 90 % für Gase und Stäube erreicht werden. Unter diesen Bedingungen werden in der Schweinehaltung die Geruchsemissionen soweit reduziert, dass keine prozesstypischen Gerüche (typischer Geruch nach Schwein) mehr wahrnehmbar sind. Darüber hinaus können Geruchsreduktionen im Reingas bis unter 300 Geruchseinheiten (GE) pro m³ erreicht werden.

Zur Abluftreinigung in der Tierhaltung werden überwiegend Biofilter, Abluftwäscher, Rieselbettreaktoren und Kombinationsverfahren eingesetzt, die vor allem die Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen nutzen, um Abluftinhaltsstoffe abzubauen. Biofilter sind technische Einrichtungen, bei denen die Abluft über ein organisches Material (Wurzelholz, Holzhackschnitzel u. a.) geleitet und gereinigt wird. Bei den Abluftwäschern wird die Abluft mit einer Waschflüssigkeit gewaschen, so dass die Abluftinhaltsstoffe von der Gasphase in die Flüssigphase überführt werden. Als Waschmedien kommen bislang Wasser und verdünnte Säuren zum Einsatz (Chemowäscher). Bei Einsatz von Wasser werden die abgetrennten Abluftinhaltsstoffe von den in der Waschflüssigkeit wachsenden Mikroorganismen abgebaut, so dass sich ein „biologischer“ Abluftwäscher ausbildet. Wird dieser Prozess gezielt genutzt, indem Aufwuchsflächen in Form von Füllkörperschüttungen oder -packungen für die Mikroorganismen bereitgestellt und diese mit Wasser berieselt werden, handelt es sich um einen Rieselbettreaktor. Kombinationsverfahren sind mehrstufig und können beispielsweise die Vorteile einer verbesserten Ammoniakabscheidung (Chemowäscher) und die eines optimalen Geruchsstoffabbaus (Biofilter) verbinden.

Detailinformationen über Anlagentechnik und dergleichen mehr, sind auch der KTBL-SCHRIFT 451 (2006) zu entnehmen.

1.2.5 Mikrobiologie der biologischen Abluftreinigung

Die biologische Abluftreinigung bedient sich der Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen, um die Abluftinhaltsstoffe abzubauen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, dass die abzubauenen Stoffe in Kontakt zu den Mikroorganismen treten. Dies kann dadurch herbeigeführt werden, indem die Mikroorganismen immobilisiert an einem Trägermaterial haften, an dem der Abluftstrom vorbeigeführt wird (Biofilter,

Rieselbettreaktor). Solche sessilen Mikroorganismen sind in sog. Biofilmen organisiert, die einem stetigen Umbau und mikrobiellen Ansiedlungs- und Freisetzungstätigkeiten unterworfen sind. Biofilme bestehen aus einer Schleimschicht (extrazelluläre Polymersubstanzen), in der Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Algen, Pilze, Protozoen) eingebettet sind. Sie entstehen, wenn sich Mikroorganismen an Grenzflächen ansiedeln. Biofilme bilden sich überwiegend in wässrigen Systemen auf einer Grenzfläche zu einer festen Phase. Von Biofilmen ist außerdem bekannt, dass sie Reservoirs und Emittenten für pathogene Mikroorganismen darstellen können (BARBEAU et al., 1998). Biofilme müssen als typisch für ARA angesehen werden.

Durch Auswaschen der rohgasseitigen Abluftinhaltsstoffe kann der mikrobielle Abbau auch in einer separaten Stufe erfolgen (Rieselbettreaktor). In allen Fällen ist der Einsatz von Wasser unumgänglich um Rohgase zu konditionieren, Abluftinhaltsstoffe zu lösen, die notwendige Wasseraktivität für mikrobielle Stoffwechselleistung zur Verfügung zu stellen und um verfahrenstechnisch unerwünschte Begleitstoffe wie z. B. Stäube mengenmäßig zu senken. Daher muss das in den ARA vorhandene und bevorratete Prozesswasser ebenfalls als hochgradig mikrobiell angereichert gelten, in das stallassozierte Keime herausgewaschen werden, sich bereits im Prozesswasser befindliche Mikroorganismen weiter vermehren und Keime aus bestehenden Biofilmen freigesetzt und in das Prozesswasser hineingetragen werden. Die Präsenz organisch angereicherten Prozesswassers lässt zudem den Schluß zu, dass neben einer bakteriell geprägten Mikroflora auch Protozoen im nicht unerheblichen Umfang anzutreffen sind; ähnlich wie dies im Rohabwasser von Abwasserbehandlungsanlagen festzustellen ist. In diesem Fall ist zu berücksichtigen, dass im Prozesswasser vorhandene Protozoen, insbesondere Amöben (z. B. der Gattungen *Acanthamoeba* und *Naegleria*), als „trojanische Pferde“ für inkorporierte Mikroorganismen wirken können (HORN und WAGNER, 2001). Eine Demaskierung potentieller endosymbiontisch lebender Pathogene wie *Legionella spp.* oder *Mycobacterium spp.* (THOMAS u. McDONNELL, 2007; NEWSOME et al., 1998) muss daher auch den Nachweis entsprechend belebter Carrier mit beinhalten.

Um die skizzierten Wirkungsgrade über lange Betriebszeiten hinweg aufrecht zu erhalten, müssen erhebliche Populationsdichten der Mikroflora in Erscheinung treten. So sind Dichten von 10^{10} bis 10^{11} Bakterien pro g Trägermaterial eines Biofilters beispielsweise normal. Hierbei darf eine hohe Biodiversität angenommen

werden, was sich teilweise an anderen, nicht in der Landwirtschaft betriebenen ARA bereits bestätigt hat. Unter den Keimpopulationen befanden sich in jenen Anlagen Bakterien wie z. B. *Methylobacillus spp.*, *Enterobacter spp.*, *Nitrosomonas spp.* oder auch *Alcaligenes spp.* (FRIEDRICH et al., 2002). Allerdings wurde erst eine geringe Zahl der vorkommenden Arten identifiziert, einige sind noch nicht einmal beschrieben worden.

Die Übersicht in Tabelle 1 lässt erkennen, dass bei den bislang durchgeführten Untersuchungen im Nutztierbereich lediglich Bakteriengruppen, wie z. B. mesophile Bakterien, Gesamt-Bakterien oder Gesamt-Partikel erfasst wurden. Auf diese Weise lässt sich eine erste hygienische Einschätzung der Emissionen vornehmen, eine Aussage über ein mögliches Expositionsrisiko bei den von den Emissionen betroffenen Menschen oder Tieren lässt sich hingegen nicht konkret ableiten. Dazu ist es notwendig, eine Artendifferenzierung und Identifizierung der einzelnen Keime vorzunehmen, um sicher zwischen pathogenen und nicht-pathogenen Erregern unterscheiden zu können. Eine solche differenzierte Betrachtung ist auch notwendig, um verlässliche Aussagen über die Herkunft der Keime treffen zu können. Bislang ist ungeklärt, ob es sich bei den aus den biologischen Abluftreinigungsanlagen austretenden Keimen um Stallkeime (Primäremissionen), oder ob es sich bei diesen Mikroorganismen um aus der Anlage selbst stammende Keime (Sekundäremissionen) handelt. Einige Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass es offensichtlich für bestimmte Stoffe, wie z. B. Pilze und Endotoxine zu Anreicherungseffekten im Reingas kommt (SEEDORF und HARTUNG, 2002b). Der Umfang solcher Anreicherungen im Reingas, die Fragen der biologischen Sicherheit von ARA aufwerfen, sind noch unklar. Als mögliche Quelle kommen die Biofilme infrage, die sich auf den Filterwänden und Biofiltermaterialien ausbilden und in denen die eigentlichen biologischen Abbauvorgänge der Luftinhaltsstoffe stattfinden. Hinzu kommt, dass das Prozesswasser ständig rezirkuliert wird und auf diese Weise bestimmte Mikroorganismengruppen in ihrer Vermehrung bevorzugt werden können. Es ist bekannt, dass es in diesem Prozesswasser zu erheblichen mikrobiellen Aufkonzentrierungen kommen kann (SEEDORF und HARTUNG, 1999). Gesamtkeimkonzentrationen von $47,5 \times 10^6$ Koloniebildende Einheiten ml^{-1} und 45.000 Endotoxin Units ml^{-1} wurden im Prozesswasser gefunden (SEEDORF und HARTUNG, 2000). Durch die erhebliche Aerosolbildung (feine Tröpfchenbildung) in der ARA, könnten solche stark mikrobiell

kontaminierten Wasserteilchen mit dem Luftstrom durch die ARA in die Umwelt transportiert werden. Inwieweit die Verfahren letztlich auch zur Minderung partikelförmiger Emissionen mit belebten und unbelebten Bestandteilen biologischen Ursprungs und Aktivität geeignet sind, ist wissenschaftlich damit noch nicht ausreichend geklärt (KTBL, 2006).

Tabelle 1. Literaturauswahl zum Rückhaltevermögen von ARA für Mikroorganismen und Endotoxine (z. T. zitiert aus VAN DEN WEGHE, 2006)

| ARA | Tierart | Parameter | Wirkungsgrad [%] | Referenz |
|--------------------------------------|---------|--|--|-------------------------------------|
| Biofilter | Schwein | Endotoxine Bakterien Enterokokken Staphylokokken Pilze | Bis auf Pilze Minderungen >90% Bei Pilzen Minderungen 22% bis 87%, auch Zunahmen im Reingas (Faktor 36,5) | GEBUREK et al. (2005) |
| Biofilter (Experimental-) | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) Pilze (25°C) | 58,5 - 99,5 12,7 - 99,9 -1150,0 - 100,0 | MARTENS et al. (2001) |
| Rieselbett- reaktor | Ente | Endotoxine Bakterien (37°C) Gram(-) Bakterien (37°C) Pilze (25°C) | 33,2 - 99,8 34,1 - 99,7 -1384,5 - 93,4 -281,2 - 91,0 | SCHARF (2004) |
| Biofilter | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) | 89,1 - 100,0 96,8 - 100,0 | SCHIRZ & ZWOLL (2003) |
| Rieselbett- reaktor/ Biofilter | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) | 27 58 | SCHIRZ & ZWOLL (2003) |
| Biofilter | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) Pilze (50°C) Aktinomyzeten (32°C) | 74,1 10,7 71,4 38,9 | SEEDORF & HARTUNG (1999) |
| Biofilter | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) Pilze (25°C) Aktinomyzeten (32°C) | 62,0 70,6 0,0 -889,0 | SEEDORF & HARTUNG (1999) |
| Rieselbett- reaktor | Schwein | Endotoxine Bakterien (37°C) Pilze (25°C) Aktinomyzeten (32°C) | -280,5 91,4 -168,8 52,7 | SEEDORF & HARTUNG (1999) |
| Kombi-Anlage (3-stufig) | Broiler | Gesamtpartikel Gesamtbakterien Pilze Endotoxine | Minderung: 83 % Minderung: 90 % Minderung: 73 % Minderung; im Einzelfall auch Zunahmen: 181 % | SEEDORF & HARTUNG (2002b) |
| Rieselbett- reaktor | Broiler | Endotoxine Bakterien (37°C) Gram(-) Bakterien (37°C) Pilze (25°C) | 63,6-96,8 -85,7-98,5 -1384,0-90,2 -515,4-78,5 | ZUCKER et al. (unveröffentlicht) |
| Rieselbett- reaktor | Broiler | Endotoxine Bakterien (37°C) Gram(-) Bakterien (37°C) Pilze (25°C) | 70,2 - 97,6 -108,9 - 99,0 -1135,0 - 60,0 -242,8 - 6,8 | ZUCKER et al. (unveröffentlicht) |

2. Material und Methoden

2.1 Allgemeine Funktionsbeschreibung der untersuchten ARA

Bei der ersten untersuchten ARA handelt es sich um eine dreistufige Anlage, in der eine biologisch-physikalische Abluftwäsche, eine chemische Abluftwäsche und die Biofiltration hintereinander angeordnet sind (Abbildung 1). Über einen Sammelkanal, der sich im Dachraum des Stalles befindet, gelangt die aus den Stallabteilen geleitete Abluft über Ventilatoren in den Abluftwäscher. Dieser befindet sich in einem separaten Anbau, welcher sich außen an der Giebelseite des Stallneubaus befindet. Die Befeuchtung über die Vorbedüsung inklusive der ersten Nassfilterwand aus Polypropylen bilden die erste Stufe (Wasserstufe), wobei die Vorbedüsung ein Austrocknen und damit ein Verkleben des Staubes an der Vorderseite der Nassfilterwand 1 verhindert. Die zweite Polypropylenwand stellt die zweite Stufe dar (Säurestufe) und die Wuzelholzwand bildet die dritte Stufe. An der ersten Filterwand erfolgt eine annähernde Sättigung der Luft mit Wasserdampf sowie eine Bindung der in der Abluft enthaltenen Stäube. Gleichzeitig werden den Staubpartikeln anhaftende geruchsaktive Moleküle und Ammoniak in das Prozesswasser ausgewaschen. Die zweite Nassfilterwand dient vornehmlich der Reduzierung der Ammoniak- und prozesstypischen Geruchsemissionen. Hierbei wird Ammoniak durch eine pH-Wert gesteuerte Säurezudosierung in gesteigertem Maß als Ammonium-Ion am Säurerest gebunden. Restemissionen, insbesondere der Geruchsstoffe, die nicht durch die ersten beiden Filterstufen abgereinigt wurden, werden an der dritten Reinigungsstufe aus grob gerissenem Wurzelholz biologisch abgebaut. Die hohe Wasserverdunstung über die ersten beiden Filterwände und die damit verbundene hohe relative Luftfeuchtigkeit der eintretenden Zuluft sowie eine separate Wasserversorgung gewährleisten eine kontinuierliche Befeuchtung der biologischen Reinigungsstufe. Unterhalb der beiden Nassfilterwände befinden sich zwei getrennte Wasserspeicherbecken aus Stahlbeton für die Wasserversorgung dieser Reinigungsstufen. Bedingt durch die hohe Staubabscheidung an der ersten Nassfilterwand kommt es im Wasserbecken 1 zu einer Feststoffsedimentation am Beckenboden. Das sich unter der Nassfilterwand 2 angelegte Wasserreservoir wird im Folgenden als Wasserbecken 2 bezeichnet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Dimensionierungsparameter der dreistufigen ARA.

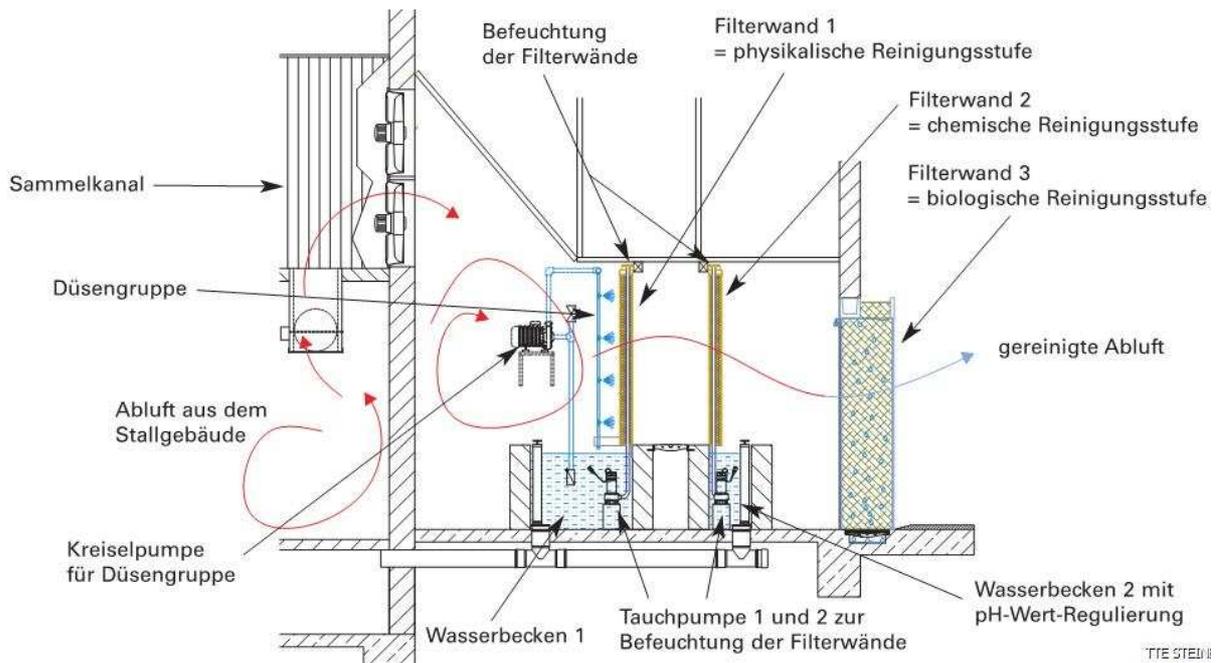


Abbildung 1. Schematische Darstellung der dreistufigen ARA

Tabelle 2. Dimensionierungsparameter der dreistufigen ARA

| Maßangaben Nassfilterwände und Biostufe | |
|---|---|
| Breite / Höhe / Tiefe der Nassfilterwände | 23,4 m / 2,0 m / 0,15 m |
| Spezifische Filteroberfläche beider Nassfilterwände | 320 m ² /m ³ |
| Filterfläche der Nassfilterwände | je 46,8 m ² |
| Breite / Höhe / Tiefe der Biostufe | 23,4 m / 2,5 m / 0,6 m |
| Körnung der Biostufe | 15 cm |
| Filterfläche der Biostufe | 58,5 m ² |
| Gesamtfilterfläche | 152,1 m ² |
| Maximale Filterflächenbelastung | 1030,9 m ³ /m ² h |
| Maximale Filteroberflächenbelastung | 34,9 m ³ /m ² h |
| Berieselung (diskontinuierlich) | |
| Durchflussrate je Düse | 1,57 l/min |
| Düsenanzahl | 4 Stück |
| Wasserbecken | |
| Länge / Breite / Wasserhöhe von Wasserbecken 1 | 24,4 m / 1,2 m / 0,8 m |
| Länge / Breite / Wasserhöhe von Wasserbecken 2 | 24,4 m / 0,5 m / 0,8 m |
| Wasserspeichervolumen von Wasserbecken 1 | 23,42 m ³ |
| Wasserspeichervolumen von Wasserbecken 2 | 9,76 m ³ |

Bei der zweiten untersuchten Anlage handelt es sich um einen klassischen, einstufigen Rieselbettreaktor bei dem neben der Feuchteconditionierung des Rohgases nur die Biofiltration als Reduktionsmaßnahme für Luftinhaltsstoffe, insbesondere von Ammoniak, Staub und Geruch integriert ist (Abbildung 2). Das

Prinzip dieses Rieselbettreaktors beruht auf dem Kontakt der Abluftinhaltsstoffe mit dem im Kreislauf geführten, schwach saurem Waschwasser (pH-Wert 6,5 - 6,8) und den in den Füllkörpern angesiedelten Mikroorganismen. Über Kanäle wird die aus den angeschlossenen Stallabteilen kommende Abluft gesammelt abgesaugt und über fünf Ventilatoren dem Rieselbett von oben zugeführt. Beim Eintritt der Abluft in den Rieselbettreaktor erfolgt eine Berieselung im Gleichstrom (Vorbedüsung), wodurch grobe Staubpartikel abgeschieden werden. Anschließend wird die Abluft um 90° umgelenkt und durchströmt im Gegenstrom ein permanent mit Umlaufwasser berieseltes Füllkörperpaket von unten nach oben. Die Füllkörper verfügen über eine große spezifische Oberfläche, welche den anhaftenden Mikroorganismen als Besiedelungsfläche dient und gleichzeitig die Kontaktfläche zwischen der Abluft und dem Wasser vergrößert. Aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit von Ammoniak, wird dieses ausgewaschen und über nitrifizierende Bakterien zu Nitrit und Nitrat oxidiert. Die durch das Umlaufwasser absorbierten Stäube und Geruchspartikel sowie Ammoniak und Bakterien gelangen in die unterhalb der Vorbedüsung und des Füllkörperpaketes gelegenen Wasserbecken, in denen ebenfalls ein biologischer Abbau der genannten Stoffe aus der Abluft erfolgt. In dem größeren Hauptwasserbecken unterhalb des Filterblockes befinden sich ebenfalls Füllkörper, die vollständig vom Wasser umspült werden und den Mikroorganismen als Anhaftungsfläche dienen. Bevor die Abluft gereinigt in die Umgebung austritt, werden nach dem Durchströmen des Füllkörperpaketes in einem letzten Schritt Aerosole mit einem an der Austrittsöffnung angebrachten Tropfenabscheider abgeschieden. Die Dimensionierungsparameter des einstufigen Rieselbettreaktors sind in Tabelle 3 aufgelistet.

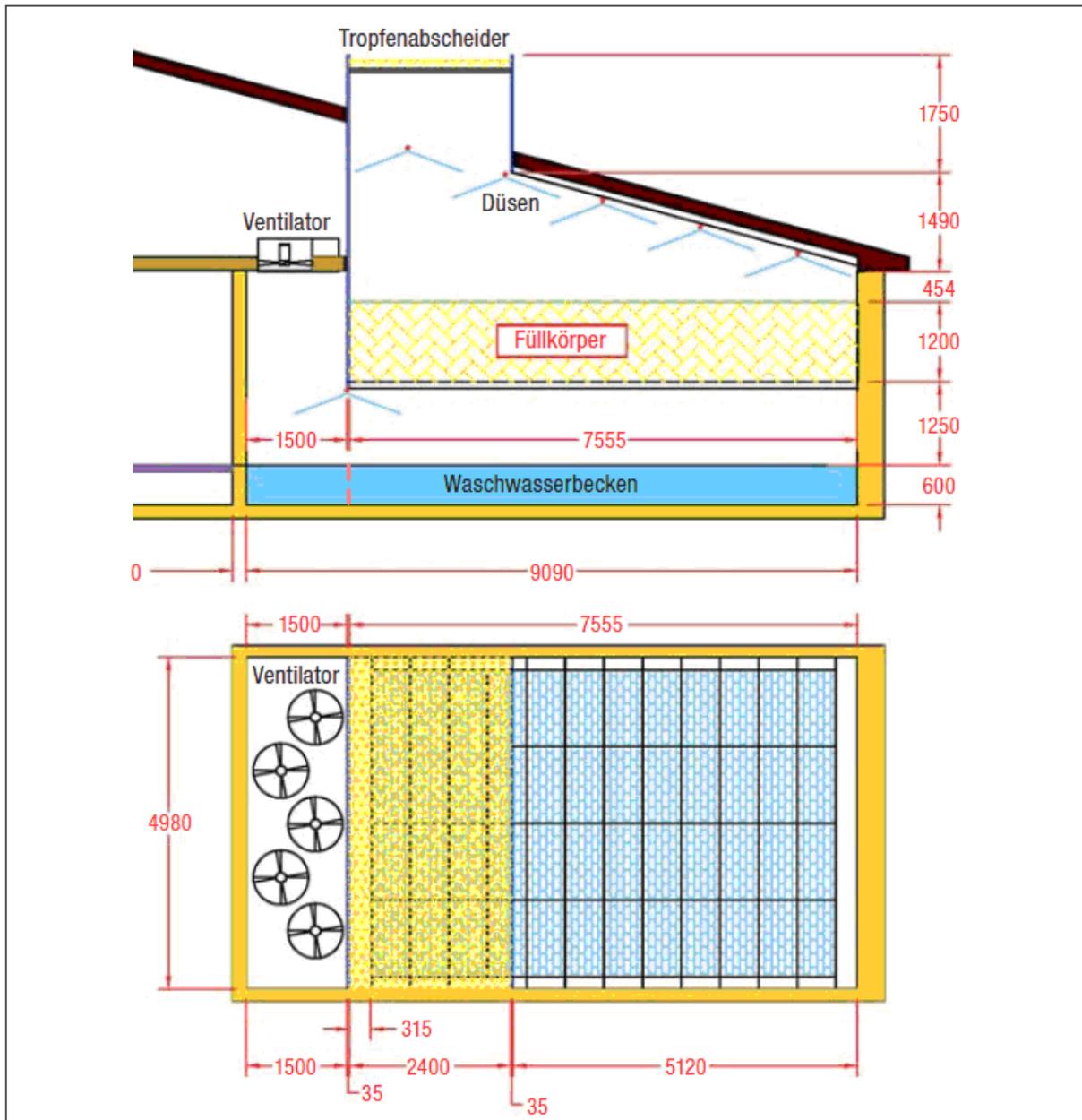


Abbildung 2. Schematische Darstellung des einstufigen Rieselbettreaktors

Tabelle 3. Dimensionierungsparameter des einstufigen Rieselbettreaktors

| Maßangaben Füllkörper | |
|---|--|
| Füllkörperbreite / Füllkörperhöhe / Füllkörpertiefe | 7,55 m / 1,20 m / 4,98 m |
| Anströmfläche / Füllkörpervolumen | 37,6 m ² / 45,1 m ³ |
| Spezifische Füllkörperoberfläche | 125 m ² /m ³ |
| Verweilzeit bei Sommerlufttrate | 1,93 sek |
| Maximale Füllkörperoberflächenbelastung | < 2.250 m ³ /m ² h |
| Maximale Füllkörpervolumenbelastung | < 1.870 m ³ /m ³ h |
| Berieselung (kontinuierlich) | |
| Berieselungsdichte | 0,84 m ³ /m ² h |
| Düsenanzahl pro m ² Filteroberfläche | 0,4 Stück |
| Tropfenabscheider (Dicke) | 250 mm |
| Abschlämmung | |
| Fassungsvermögen Waschwasservorlagebecken | 15 m ³ |
| Abschlämmrate min. bis max. während der Prüfung durch die DLG | 0,5 bis 2,0 m ³ /d |
| Abschlämmrate min. bis max. bezogen auf Mastplätze und Jahr | 0,17 bis 0,68 m ³ /Mastplatz und Jahr |
| Theoretische Abschlämmrate | 2,0 m ³ /d |
| pH-Wert des Waschwassers | 6,5 bis 6,8 |
| Leitfähigkeit | ≤ 20 mS/cm |

2.2 Probennahme, Probenaufbereitung und Methodik

Die biologische Anlagencharakterisierung wurde durch das Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover im Rahmen von drei Arbeitspaketen (1. Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole; 2. Prozesswasserbeprobung; 3. Beprobung der mit Biofilm besetzten Filterflächen) bearbeitet.

2.2.1 Arbeitspaket 1 (ITTN) – Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole

Es wurden sowohl rohgasseitig (im Abluftstrom vom Stall) als auch reingasseitig (im Abluftstrom hinter der ARA) Luftproben entnommen und quantitativ sowie qualitativ auf Änderungen im Bioaerosolspektrum untersucht. Dazu wurden Impinger (AGI 30) eingesetzt. Beim Impingement wird ein definierter Probenluftstrom angesaugt und über eine Glaskapillare mit hoher Geschwindigkeit durch eine isotone Pufferlösung (30 ml) geleitet. In dieser werden Staub und Endotoxine aus der Luft abgeschieden und verbleiben in der Pufferlösung.

Je drei mit dem Impinger gewonnene Proben (30 min Messdauer) aus Roh- bzw. Reingas wurden gepoolt. Die Messungen im Roh- und Reingas erfolgten zeitlich

parallel. Nach Ende der Probenahme wurde die Impingerlösung auf etwa 4 °C gekühlt und zur Analyse ins Labor gebracht, wo sie innerhalb von 24 Stunden aufgearbeitet wurde. Die Mischproben wurden direkt oder als Verdünnung ausplattiert (zwei Verdünnungsstufen pro Probe, die gewählte Verdünnung beruht auf Erfahrungswerten). Untersucht wurde auf die in Tabelle 4 genannten Bakterien und Pilze sowie auf Endotoxine.

Tabelle 4. Untersuchte Mikroorganismen und Endotoxine sowie eingesetzte Nachweisprinzipien

| Mikroorganismen | Nachweisprinzip |
|--------------------------------------|---|
| Gesamtkeimzahl | Kulturell |
| Streptokokken | Kulturell |
| Aktinomyceten (mesophil, thermophil) | Kulturell |
| Staphylokokken | Kulturell |
| MRSA | Kulturell, molekularbiol. Differenzierung |
| Enterokokken | Kulturell |
| Enterobacteriaceae | Kulturell, molekularbiol. Differenzierung |
| Pseudomonaden | Kulturell |
| Pilze | Kulturell |
| Endotoxine | LAL- Test |

Die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten kulturell mittels Selektivmedien (Tabelle 5). Im Folgenden wird von „Gesamtkeimzahl“ (richtiger: Gesamtkoloniezahl) gesprochen. Die Gesamtkeimzahl (GKZ) bezeichnet eine unspezifische Größe. Sie gibt an, wie viele Kolonien aerober, mesophiler Mikroorganismen sich auf einem Nährboden auf Blutbasis im Verlauf von 36 bis 48 Stunden bei einer geregelten Bebrütungstemperatur von 36 °C bilden. Blutagar ist ein Isolationsmedium für die Anzucht anspruchsvoller Bakterien. Er ist besonders nährstoffreich und daher für eine große Bandbreite aerober, mesophiler Bakterien, unabhängig von deren jeweiligem Stoffwechsel, geeignet.

Tabelle 5. Für die mikrobiologische Untersuchung eingesetzte Selektivmedien

| Mikroorganismen | Nährboden |
|---|---|
| Gesamtkeimzahl | Blutbasis (36 °C, 36-48 h) |
| Streptokokken | Azid Blood Agar Base (Oxoid GmbH, Art.- Nr. CM 259) + defibriniertes Schafsblut (Oxoid GmbH, Art.- Nr. SR 51) (CO ₂ - Schrank, 36 °C, 36-48 h) |
| Actinomyceten (mesophil, thermophil) | Difco™ Actinomeces Isolation Agar (Becton Dickinson GmbH, Art.- Nr. 2121689) (25 °C und 50 °C, 7 Tage) |
| Staphylokokken | Mannitol Salt Agar (Oxoid GmbH, Art.- Nr. CM 85) (36 °C, 36-48 h) |
| MRSA | CHROMagar MRSA Fertigplatten (Mast Diagnostica GmbH, Art.- Nr. 201402) (36 °C, 36-48 h) |
| Enterokokken | Enterococcus Selektivagar (BAA) (Galle Äsculin Azid Agar) (Oxoid GmbH, Art.- Nr. PO 5062A) (36 °C, 36-48 h) |
| Enterobacteriaceae | MacConkey Agar (Oxoid GmbH, Art.- Nr. CMO 115) (36 °C, 36-48 h) |
| Pseudomonaden | Pseudomonas- CFC- Selektivnährboden (Oxoid GmbH, Art.- Nr. PO 5132A) (42 °C und 36 °C, 36-48 h) |
| Pilze | Dichloran- Glycerin- (DG18)- Agar Basis (Oxoid GmbH, Art.- Nr. CM 729) (25 °C, 7 Tage) |

Der Endotoxingehalt wurde mit dem Limulus- Amöbozyten- Lysat- Test (LAL- Test) nach dem in der BIA- Arbeitsmappe (Kennzahl 9450, Stand 28 Lfg IV/02) beschriebenen Verfahren mit dem chromogen- kinetischen KQCL- Test (Fa. Lonza) bestimmt. Das verwendete Kontroll- Standard- Endotoxin (CSE) wird am Referenz- Standard- Endotoxin (RSE) E. coli-6 der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) kalibriert. Die Angabe der Endotoxinaktivität erfolgt in Endotoxin- Einheiten (Endotoxin Units = EU). 8 EU entsprechen 1 ng Endotoxin. Die Angabe EU entspricht I.E. = Internationale Einheit.

Zur Ergänzung des kulturellen Nachweises von Bakterien wurden molekularbiologische Methoden eingesetzt. Unter Verwendung eines kommerziell erhältlichen Isolationskits (Qiagen, Hilden) wurde zunächst die bakterielle Gesamterbinformation (DNA) aus den Impingerflüssigkeiten isoliert. Anschließend erfolgte die Überprüfung der DNA-Isolation mittels PCR. Hierfür werden so genannte Universalprimer eingesetzt, welche auf Basis hoch konservierter Gensequenzen aus dem Bereich der ribosomalen DNA einen summarischen Nachweis aller in den Sammelflüssigkeiten vorhandenen Bakteriengattungen in Form der Gesamt- DNA ermöglichen.

Im Anschluss an diese Untersuchung wurden die DNA Proben der dreistufigen ARA auf *Enterobacteriaceae*- DNA untersucht, da es mit mikrobiologischen Standardmethoden nicht gelang diese Keime nachzuweisen. Dies erfolgte über den Nachweis des lacZ- Gens, welches bei allen coliformen Bakterien zu finden ist. Bei einem positiven Nachweis kommt es mittels PCR Verfahren zur Amplifikation eines 264 bp großen Genfragments, das sich mittels Agarosegelelektrophorese sichtbar machen lässt.

Die weite Verbreitung von MRSA in Schweinemastanlagen als nasaler Besiedler der Schweine, die Resistenzlage sowie das zoonotische Potential dieser Keime bedingen die Notwendigkeit einer sicheren Identifizierung der mikrobiologisch gewonnenen Isolate, um eine Risikoeinschätzung vornehmen zu können. Die DNA der kulturell erhaltenen MRSA- Stämme beider ARA wurde daher mit Hilfe eines kommerziellen Extraktionskits (Qiagen, Hilden) gewonnen und anschließend auf das Vorkommen MRSA- spezifischer Genfragmente untersucht. Dabei erfolgt der Nachweis einer *Staphylococcus aureus* spezifischen Nuclease (nuc- Gen, 225 bp) sowie der Methicillin Resistenzkassette (mec- Gen, 52 bp). Es handelt sich um einen MRSA Stamm, wenn beide Nachweise positiv sind.

Um einzuschätzen, ob es sich bei den MRSA- Isolaten um Tierassoziierte Stämme handelt, wurde für die Proben der dreistufigen ARA zusätzlich ein sogenanntes mec- Typing durchgeführt. Je nach Herkunft tragen MRSA Isolate unterschiedliche Methicillin Resistenzkassetten. Aktuell sind fünf mec- Typen beschrieben (Typ I bis Typ V), wobei man für Typ IV vier verschiedene Subtypen unterscheidet (Typ IVa bis Typ IVd). Bei Nutztieren findet man in der Regel MRSA vom Typ III und V.

2.2.2 Arbeitspaket 2 (ITTN) – Prozesswasserproben

Die Prozesswasserproben wurden nach intensiver Durchmischung der Wassersäule aus mittlerer Wassertiefe mit Hilfe von Falconröhrchen (10 ml) entnommen. Anschließend wurden die Proben direkt auf 4 °C gekühlt und zur Analyse ins Labor gebracht, wo die Aufarbeitung innerhalb von 24 Stunden erfolgte. Die Proben wurden aufgeschüttelt und direkt bzw. als Verdünnung (pro Probe zwei Verdünnungsstufen) ausplattiert. Die Untersuchung der Proben aus dem

Prozesswasser entspricht den im Arbeitspaket 1 angewandten mikro- und molekularbiologischen Methoden.

An der dreistufigen ARA wurden Prozesswasserproben beider Wasserbecken getrennt entnommen.

Die Wasserproben des Rieselbettreaktors wurden im Bereich des Vorwaschbeckens sowie im Hauptwasserbecken gewonnen. Bei den vier Messungen vom 16.04.2013 bis 28.05.2013 wurden zusätzlich Prozesswasserproben beider Becken (jeweils 1 l) sowie eine Trinkwasserprobe entnommen. Die Proben wurden anschließend gekühlt an das Institut „biotec GmbH“ in Gütersloh versandt, um sie auf das Vorkommen von Legionellen zu untersuchen.

2.2.3 Arbeitspaket 3 (ITTN) – Beprobung der Biofilm besetzten Filterflächen

Es wurden Proben von den mit Biofilm überzogenen Aufwuchsflächen in der Anlage genommen, um zu prüfen, ob in den Biofilmen die gleichen Keime nachweisbar sind, wie in der Luft und im Prozesswasser. Durch das Wasser und die mikrobielle Lebensgemeinschaft des Biofilms sollen Staub, Geruch und Ammoniak zurückgehalten werden. Somit ist zu erwarten, dass alle im Prozess befindlichen Mikroorganismen, einschließlich MRSA auch im Biofilm des Füllkörpers zu finden sind.

An der dreistufigen ARA wurden daher Proben mit Hilfe einer Biopsiezange vom Biofilm des Füllkörpers ausgestanzt. Die Probenfläche der Biopsiezange beträgt 1 mm². Durch zehnmaliges Ausstanzen erhält man eine Biofilm- Probenfläche von 1 cm². Zwei Parallelen einer 1 cm² großen Probe wurden jeweils in ein mit 10 ml phosphatgepufferter Salzlösung (PBS Puffer) gefülltes Falconröhrchen überführt.

Zusätzlich zu der Beprobung des Füllkörpermaterials wurden an der dreistufigen ARA Tupferproben der Wurzelholzschüttung entnommen und zur mikrobiologischen Untersuchung an das Institut für Mikrobiologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover übergeben, um einen Eindruck über das Keimspektrum zu gewinnen.

Auch das Füllkörpermaterial der zweiten Anlage sollte mittels Biopsiezange beprobt werden. Dies erwies sich jedoch als nicht möglich, da das Füllkörperpaket nur schwer zugänglich und nicht ausstanzbar war. Daher wurde von der Firma zur Verfügung gestelltes Füllkörpermaterial genutzt, um daraus Prüfkörper mit einer definierten Oberfläche von 120 cm² anzufertigen (Abbildung 3). Insgesamt 25

Prüfkörper wurden mit einer Drahtschlinge an der Unterseite des Füllkörperpaketes befestigt. An jedem Messtermin wurde jeweils ein Prüfkörper entnommen und in eine mit 120 ml PBS-Puffer gefüllte Schottflasche mit Weithalsöffnung überführt. Die Proben wurden anschließend auf 4 °C gekühlt und im Labor mit den gleichen mikro- und molekularbiologischen Methoden wie im Arbeitspaket 1 beschrieben, untersucht.



Abbildung 3. Prüfkörper

2.2.4 Arbeitspaket 4 (ITTN) – Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft

Im Rahmen der zweiten Messperiode wurden zusätzlich zu den Ammoniakmessungen durch die LUFA, die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft zum jeweiligen Messtermin ermittelt. Die Messungen wurden mit einem Gasspürgerät (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Lübeck) und den dazugehörigen Dräger Prüfröhrchen durchgeführt. Bis zum 08.01.2013 erfolgten die Messungen über die zum Futtergang zugewandte Stallwand hinweg mit ausgestrecktem Arm auf Tierhöhe. Bei den darauffolgenden Messterminen, ab dem 22.01.2013, wurden die Ammoniakkonzentrationen in der Mitte der Bucht gemessen. An den jeweiligen Messterminen wurden Ammoniakmessungen in zwei bis drei verschiedenen Stallabteilen durchgeführt. Die erste Messung erfolgte immer in der dritten, linksseitigen Bucht des dritten Abteils, da sich in diesem Bereich die von der DLG angebrachte Messsonde befand. Die weiteren Messpunkte wurden zufällig bestimmt, wobei darauf geachtet wurden, dass die Abteile möglichst gleichmäßig ausgewählt wurden.

2.2.5 Arbeitspaket 5 (IAB) - Wasseranalytik des Prozesswassers; Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der biologischen ARA und Anlagendokumentation

Die Beprobungen an der dreistufigen ARA fanden an den vereinbarten Messterminen am 02.02., 16.02., 02.03., 16.03., 30.03., 01.04., 13.04., 27.04., 11.05., 25.05., 18.06., 29.06., 20.07., 10.08., 18.08., 24.08. und am 31.08.2010 jeweils ab ca. 09:00 Uhr statt. Die Probenahme erfolgte so früh, um die anderen Projektpartner nicht bei ihren Messungen (Staub, Keime) zu stören.

Die Wasserprobenahme erfolgte an jeweils drei Messpunkten in jeder Waschstufe nach intensiver Durchmischung der Wassersäule am Entnahmeort mittels einer Bohrmaschine mit Rührwerk. Die drei Einzelproben (jeweils 3 x 3 Liter jeder Waschstufe) wurden zu einer Sammelprobe vereint und danach auf Probeflaschen verteilt. Die Proben wurden im Regelfall innerhalb von 24 h ins Labor nach Braunschweig gebracht.

Die Bestimmung der Gelöstsauerstoff-Konzentration erfolgte nach der Wasserprobenahme in beiden Waschstufen an jeweils sechs Messpunkten in den Tiefen 0,8 m, 0,4 m und an der Oberfläche.

Zur Bestimmung der Waschwasservolumina in den Waschstufen 1 und 2 wurden bei der ersten Beprobung jeweils Länge und Breite der Waschstufen mit einem Maßband gemessen (Innenmaße). Die Breite wurde jeweils an drei Stellen bestimmt und gemittelt. Der Füllstand wurde für beide Waschstufen bei jeder Beprobung an jeweils bis zu sieben Messpunkten mit einem Zollstock bestimmt und gemittelt. Das Wasservolumen wurde für jede Beprobung berechnet aus dem Produkt Länge [m] x Breite [m] x Tiefe [m].

Der einstufige Rieselbettreaktor wurde in den Jahren 2012 und 2013 insgesamt 19-mal beprobt (07.08.2012; 21.08.2012; 25.9.2012; 02.10.2012; 16.10.2012; 30.10.2012; 13.11.2012; 27.11.2012; 12.12.2012; 08.01.2013; 22.01.2013; 05.02.2013; 19.06.2013; 05.03.2013; 19.03.2013; 02.04.2013; 16.04.2013; 30.04.2013). Der Termin am 28.05.2013 konnte aus terminlichen Gründen nicht wahrgenommen werden. Die Beprobungen erfolgten ab ca. 09:00 Uhr, um die anderen Projektpartner nicht bei ihren Messungen (Staub, Keime) zu stören.

Die Wasserprobenahme erfolgte in der Vorbedüsung durch Auffangen mittels eines 10-Liter-Probefäßes, aus dem nach Durchmischung eine 2-Liter-Probe

gezogen wurde. Die Umlauf-Proben wurden über einen Entnahmehahn aus der Druckleitung entnommen, die die Bedüsung der Füllkörper sicherstellte. Zur Sicherstellung einer repräsentativen Probenahme wurde zunächst die Durchsatzleistung der Umlaufpumpe geprüft und eine Vorprobe von ca. 10 Litern entnommen und verworfen. Erst danach erfolgte die Beprobung des Umlaufwassers. Für die Erfassung des Rücklaufes aus der Füllkörperpackung stand eine Auffangrinne zur Verfügung, die permanent durchspült wurde. Nach Verwerfen der Vorprobe erfolgte auch hier die Beprobung aus einem Probenahmehahn.

Die Bestimmung des Wasservolumens erfolgte aus den maßstäblichen Angaben des Anlagenherstellers sowie einer Füllstandsmessung und regelmäßiger Kontrolle bei den Vorortterminen.

Alle Wasserproben wurden nach allgemein anerkannten Verfahren analysiert (Tabelle 6).

Tabelle 6. Eingesetzte Messverfahren

| Parameter | Messverfahren |
|--|---|
| pH-Wert | DIN 38404-5 |
| Redoxpotential | DIN 38404 |
| Elektrische Leitfähigkeit | DIN EN 27888, ISO 7888 |
| Gelöstsauerstoff | EN 25814: 1992 |
| Chemischer Sauerstoffbedarf | Hach-Lange Küvettentest LCK 314 |
| TS suspendiert, abfiltrierbare Stoffe | DIN 38409 Teil 2 |
| Ammonium | DIN 38406 Teil 5 und Hach-Lange Küvettentest LCK 303 |
| Nitrit | HPLC* und Hach-Lange Küvettentest LCK 341 |
| Nitrat | HPLC* und Hach-Lange Küvettentest LCK 339 |
| Kjeldahl-Stickstoff | EN 25663: 1993 |
| Ortho-Phosphat | Hach-Lange Küvettentest LCK 049 |
| Gesamt-P | Nach Säureaufschluss mit H ₂ SO ₄ mit LCK 049 |
| Gesamt-Eisen | Hach-Lange Küvettentest LCK 321 |
| Sulfat | Hach-Lange Küvettentest LCK 153 |

*HPLC: Detektor: LKB Bromma 2151; Vorsäule: Phenomenex, Security Guard; Säule: ODS-Hypersil 120A, 5 µm, 125 x 4,6 mm, Messung bei 210 nm

Darüber hinaus wurden auch Sauerstoffzehrungsmessungen durchgeführt. Diese sind für Belebtschlämme als Maß zur Beurteilung der Atmungsaktivität gut geeignet.

Der Messaufbau (Abbildung 4) bestand aus einem Sauerstoffmessgerät Typ Oxi340i in Kombination mit einem Sauerstoffsensoren Typ CellOx325, Hersteller war

die Wissenschaftlich-Technischen Werkstätten GmbH (WTW). Die für das Projekt in der hauseigenen Werkstatt hergestellte Messkammer bestand aus einem Plexiglaszylinder (Außendurchmesser: 110 mm, Höhe: 173 mm, Wandstärke: 5 mm). Der Deckel war mit einem Ohrring luftdicht verschließbar. Die Sauerstoffelektrode wurde von oben in die Messkammer durch eine Bohrung (Durchmesser: 15,2 mm) eingeführt. Die Messkammer wurde auf einer Grundplatte von 160 mm x 160 mm aufgeklebt und über eine handelsübliche Rührplatte mit einem Magnetrührstab gerührt.

Zur Aufzeichnung der Messdaten war das Sauerstoffmessgerät über eine serielle Datenverbindung (RS232) mit einem Computer verbunden. Die dort eingehenden Datensätze (Datum, Uhrzeit, Sauerstoffkonzentration bzw. Sättigung sowie Temperatur der Probe) wurden mittels Terminalprogramm empfangen und als ASCII-Datei abgespeichert. Das auf diese Weise gespeicherte, herstellerspezifische Datenformat war zur direkten Auswertung mit Tabellenkalkulationsprogrammen nur bedingt geeignet. Daher wurde zur Umsetzung der gespeicherten Messdaten ein VBA-Script geschrieben. Dieses VBA-Script las die Messdaten ein und sortierte sie in ein zeilenorientiertes Datenformat um. Die umsortierten Messdaten wurden im Windows-Zwischenspeicher abgelegt und konnten anschließend z. B. in MS-Excel o. ä. abgerufen und ausgewertet werden.

Die Konfiguration des Messintervalls, Bereichswahl, etc. erfolgte direkt über das Sauerstoffmessgerät.



Abbildung 4. Messaufbau zur Bestimmung der Atmungsaktivität von Belebtschlämmen

2.2.6 Arbeitspaket 6 (LUFA) - Roh- und Reingasbeprobung, Messung von Ammoniak und Geruch; Check-up-Messungen

Aufgabe der LUFA Nord-West bei dem Projekt waren Ammoniak- und Geruchsmessungen zur Überprüfung des bestimmungsgemäßen Betriebs während der angesetzten Messtermine.

Es wurden Netzmessungen hinsichtlich Strömungsgeschwindigkeit und Partikelverteilung in den Abluftschächten durchgeführt, um geeignete Messpunkte für die Untersuchungen zu ermitteln.

Während der Untersuchungszeiträume wurden gemeinsam mit den Anlagenherstellern mögliche Optimierungsmaßnahmen diskutiert und erarbeitet.

Messgeräte und Verfahren

Geruch

Zur Entnahme der Geruchsproben wurden im Roh- und im Reingas jeweils separate beheizte Messgasleitungen installiert, so dass die weitere Messmimik von der Geruchs-Probenahme nicht beeinflusst wurde.

Je Messtag wurden drei Roh- und drei Reingasproben parallel über jeweils drei mal 10 Minuten mittels eines Unterdruckprobenehmers (CSD 30, ECOMA

GmbH) so entnommen, dass keine Störungen der Probenahmen aller Projektteilnehmer zu befürchten waren.

Die Proben wurden unter Trennung von Roh- und Reingasproben in isolierten und lichtundurchlässigen Behältern zur olfaktometrischen Untersuchung in das Geruchslabor der LUFA Nord-West nach Oldenburg verbracht und dort am Olfaktometer (TO8, ECOMA GmbH) verrochen.

Grundlage des Verfahrens ist die Ermittlung der Geruchsstoffkonzentration mittels dynamischer Olfaktometrie in Anlehnung an die DIN EN 13725. Die Ermittlung der Geruchsstoffkonzentration erfolgt dabei nach dem Ja/Nein-Verfahren durch Verdünnung bis zur Geruchsschwelle.

Bestimmung der Konzentrationen von Ammoniak (NH₃), Distickstoffmonoxid (N₂O) und Stickoxiden (NO_x)

Die NH₃- und N₂O-Messungen wurden mit einem Multigasmonitor 1302 (Lumasense Technologies A/S) durchgeführt. Bei dem Gerät handelt es sich um ein optoakustisches IR-Spektrometer.

Der Monitor wurde in Kombination mit einem Multipointsampler 1303 (Lumasense Technologies A/S) betrieben, so dass es möglich war, Roh- und Reingas im Wechsel zu messen.

Für die NH₃-Messung wurden separate beheizte Messgasleitungen installiert. Die gefilterte Probenluft wurde kontinuierlich abgepumpt und aus dem Bypass mittels des Multipointsamplers dem Multigasmonitor zugeführt.

Aufgrund der sich stellenden NO_x-Problematik wurde ein NO/NO_x-Analysator AC-31M eingesetzt. Das Gerät arbeitet nach dem Chemilumiszenzprinzip. Der Analysator verfügt über eine eigene vorgeschaltete Pumpe, über die Reingasprobenluft aus dem Bypass entnommen wurde.

Punktuell wurden zur Abschätzung der Konzentrationsbereiche von NH₃ und NO_x Dräger Kurzzeitröhrchen eingesetzt.

Messbereich NH₃: 2 bis 30 ppm

Messbereich NO_x: 0,5 bis 10 ppm

Randparameter

Die Ermittlung der Randparameter erfolgte mit einem TSI Model 9565 der Firma Driesen & Kern mit thermischer Anemometersonde. Mit dem Gerät ist es

möglich, Strömungsgeschwindigkeit, Differenzdruck, Luftdruck, Temperatur und Feuchte parallel zu messen.

Während der Kalibrierzeit des oben genannten Gerätes wurden ein Testo 625 Temperatur- und Feuchtemessgerät, ein Absolutdruckmessgerät Testo 511 zur Luftdruckmessung, ein Testo 435 mit thermischer Anemometersonde zur Strömungsmessung sowie ein DP-Calc Mikromanometer TSI 8705-M-D der Firma Driesen & Kern zur Differenzdruckbestimmung eingesetzt.

2.2.7 Arbeitspaket 7 (TÜV) – Roh- und Reingasbeprobung, Messung Gesamtstaub und Staubfraktionen (PM₁₀ und PM_{2,5})

Messkonzept

Gemäß der Aufgabenstellung wurden Probenahmen auf Gesamtstaub und die Partikelfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} im Roh- und Reingas der jeweiligen Anlage durchgeführt. Zur Gewährleistung der dafür erforderlichen isokinetischen Probenahmebedingungen wurden Ersatzmaßnahmen getroffen, die eine gerichtete Strömung im zur jeweiligen Norm konformen Geschwindigkeitsbereich herstellten. Es sind dies:

Rohgasseite (beide ARA): Der Probenahmekopf befand sich in einem KG-Rohr mit saugseitig angebrachtem Axialventilator, über dessen Drehzahl eine konstante Strömungsgeschwindigkeit eingestellt wurde, die etwas höher als die Strömungsgeschwindigkeit im umgebenden Abluftsammlkanal lag. Es wurde jeweils die vom ITTN aufgestellte Einrichtung verwendet.

Reingasseite (dreistufige ARA): Auf die Biofilteroberfläche wurde eine Haube mit einer Grundfläche von 1 m² aufgesetzt. Die Haube lief in einen Kamin aus, in dem sich der Probenahmekopf befand. Saugseitig war mittels eines Flexschlauchs eine mobile Gebläseeinheit angeschlossen, mit dem ein den Betriebsbedingungen der Anlage entsprechender Volumenstrom eingestellt wurde. Es war gewährleistet, dass der aus der Haube abgesaugte Volumenstrom dem flächenbezogenen Volumenstrom durch den Biofilter entsprach.

Reingasseite (Rieselbettreaktor): Auf die Oberfläche des Tropfenabscheiders der Anlage wurde eine Haube mit einer Grundfläche von 1 m² aufgesetzt. Die Haube lief in einem Kamin aus, in dem sich der Probenahmekopf befand. Saugseitig war ein Axialventilator mit regelbarer Drehzahl aufgesetzt, mit dem ein den

Betriebsbedingungen der Anlage entsprechender Volumenstrom eingestellt wurde. Es war gewährleistet, dass der aus der Haube abgesaugte Volumenstrom dem flächenbezogenen Volumenstrom durch die ARA entsprach.

Messtrecke für Rohgas

Probenahmeort: In ca. 2 m Höhe an einem repräsentativen Punkt (Ermittlung jeweils durch Projektpartner LUFA) aufgeständertes waagrechtes KG-Rohr im Zulaufbereich der Ventilatoren unter dem First des Stalles (jeweils identisch mit Probenahmeort des ITTN)

Abmessungen der Messstrecke: Durchmesser: 0,35 m

Gerade Einlaufstrecke: 1,75 m

Gerade Auslaufstrecke: 0,70 m

Charakteristische Strömungsgeschwindigkeit: ca. 4 m/s

Maßnahme zur Herstellung drallfreier Strömung: Rohrbündel-Strömungsgleichrichter

Anzahl der Messpunkte: 1 Messpunkt in Rohrmitte

Messtrecke für Reingas

Probenahmeort (dreistufige ARA): Probenahme im Haubenkamin; die Haube wurde im Verlauf der Probenahmen in gleichmäßigen Zeitabständen über sechs Felder der Biofilteroberfläche versetzt.

Abmessungen der Messstrecke: Durchmesser: 0,25 m

Gerade Einlaufstrecke: 1,25 m

Gerade Auslaufstrecke: 0,50 m

Charakteristische Strömungsgeschwindigkeit: ca. 6-8 m/s

Maßnahme zur Herstellung drallfreier Strömung: nicht erforderlich (ca. 6 m Flexschlauch zum Gebläse)

Anzahl der Messpunkte: 1 Messpunkt in Rohrmitte

Probenahmeort (Rieselbettreaktor): Probenahme im Haubenkamin; die Haube wurde im Verlauf der Probenahmen in gleichmäßigen Zeitabständen über sechs Teilflächen des Tropfenabscheiders versetzt.

Abmessungen der Messstrecke: Durchmesser: 0,25 m

Gerade Einlaufstrecke: 0,76 m (PM₁₀; PM_{2,5})
0,89 m (Gesamtstaub)

Gerade Auslaufstrecke: 0,79 m (PM₁₀; PM_{2,5})
0,66 m (Gesamtstaub)

Charakteristische Strömungsgeschwindigkeit: ca. 8-11 m/s

Maßnahme zur Herstellung drallfreier Strömung: Strömungsgleichrichter (Rohrbündel zwischen Messquerschnitt und Axialventilator)

Anzahl der Messpunkte: 1 Messpunkt in Rohrmitte

Anzahl und Dauer der Probenahmen

Rohgas: Je Messtag wurden drei Probenahmen auf Gesamtstaub und drei Probenahmen auf die Partikelfractionen PM₁₀ (einatembare Staub) und PM_{2,5} (alveolengängiger Staub) vorgenommen. Die Probenahmedauer lag bei den Messungen an der dreistufigen ARA zunächst bei 30 Minuten für beide Messkomponenten. Um die Auflösung des Verfahrens bei den Werten für die Partikelfractionen PM_{2,5} und PM₁₀ nahe der Nachweisgrenze zu verbessern, wurde die Probenahmedauer hier zunächst versuchsweise auf 45 bzw. 60 Minuten verlängert. Alle an dem Rieselbettfilter durchgeführten Messungen der Partikelfractionen PM_{2,5} und PM₁₀ wurden mit einer geplanten Probenahmedauer von 45 Minuten durchgeführt.

Reingas: Je Messtag wurde eine Probenahme auf Gesamtstaub und eine Probenahme auf die Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} vorgenommen. Die Probenahmedauer lag in der Regel bei 60 Minuten für Gesamtstaub bzw. bei 216 Minuten für die Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5}.

Probenahme- und Analyseverfahren

Charakteristisch für die Analytik ist die in Erweiterung des ursprünglichen Arbeitsplans durchgeführte zweistufige Auswertung der Abscheidemedien (Filter und Impaktorplatten). Die Abscheidemedien werden nach der Probenahme zunächst bei Raumtemperatur im Exsikkator getrocknet, dann konditioniert und zurückgewogen. Anschließend erfolgt eine zweite, der einschlägigen Norm entsprechende Trocknung der Abscheidemedien bei 160 °C mit entsprechend nachgelagerter Konditionierung und Auswaage.

Dieses Vorgehen gewährleistet entsprechend den Zielen des Forschungsvorhabens sowohl eine Aussage über die Abscheideleistung der Anlage für Staub (im verfahrenstechnischen Sinne) als auch Aussagen im Hinblick auf die im Rahmen des Projektes ermittelten biogenen Emissionen.

Messverfahren für Gesamtstaub

Messverfahren: Gravimetrische Bestimmung (VDI-Richtlinie 2066, Blatt 1 Anwendungsbereich A bzw. DIN EN 13284)

Messplatzaufbau:

Entnahmesonde: Planfilterkopfsonde der Fa. Gothe

Materialien: Planfilterkopf: Edelstahl

Sondenrohr: Edelstahl

Wirkdurchmesser: wird an Hand der Strömungsverhältnisse festgelegt

Anordnung: innenliegend im Kanal (KG- Rohr bzw. Haubenkamin) bzw. im Messzeitraum vom 19.02.2013 bis 02.04.2013 am Rieselbettreaktor außenliegend

Beheizung: ohne bzw. im Messzeitraum 19.02.2013 bis 02.04.13 am Rieselbettreaktor beheizt auf ca. 70 °C

Abscheidemedium: Quarzfaser-Planfilter

Hersteller: Fa. Munktell

Typ: MK 360

Durchmesser: 45 mm

Abscheidegrad: 99,9 % (Herstellerangabe)

Volumenstromregistrierung und

Isokinetikkontrolle: Blendenmessstrecke mit Datenaufnehmern des Herstellers Ahlborn Mess- und Regeltechnik GmbH und Verarbeitungssoftware DASyLab 9.0/10.0 des Herstellers DATALOG, Mönchengladbach bzw. MEASX

Messwertwandler Wirkdruck:

Hersteller: Paul Gothe GmbH Typ: DMU 4

Messbereich: 0 - 1000 Pa

Messwertwandler Differenzdruck:

Hersteller: Paul Gothe GmbH
Typ: DMU 4
Messbereich: 0 – 1000 hPa

Temperaturmessung für die Blende (dreistufige ARA):

Hersteller: Rössel Messtechnik GmbH
Thermoelement: Typ K (NiCr-Ni)
Messwertwandler: Typ: RTFA-K
Messbereich: 0 – 400 °C

Temperaturmessung für die Blende: (Rieselbettreaktor):

Hersteller: Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH
Messprinzip: Widerstandsthermometer (Pt 100)
Messwertwandler: Typ: ZA 9030 FS
Messbereich: 0 – 100 °C

Behandlung des Abscheidemediums und der Ablagerungen:

Transport und Lagerung: Auf Filterhaltern, in Petrischalen

Trocknungstemperatur und -zeit des Abscheidemediums:

vor der Beaufschlagung: 180 °C; mind. 1 h

nach der Beaufschlagung: 1. Stufe bei 20 °C (Exsikator), 24 h

2. Stufe bei 160 °C, min. 3 h

Die Ablagerungen im Probenahmesystem vor dem Abscheidemedium wurden bei den Rohgasprobenahmen als Sammelprobe durch Spülen mit Aceton und Wasser gewonnen und im Labor nach Überführen in Aluminiumschälchen eingedampft. Aufgrund der Temperaturverhältnisse beim Eindampfen ist diese Analytmenge nur mit den bei der 2. Trocknungsstufe ermittelten Auswaagen vergleichbar bzw. verrechenbar.

Die Wägevorgänge erfolgen in einem klimatisierten Wägeraum.

Waage: Hersteller: Sartorius AG
 Ort: 37075 Göttingen
 Typ: ME 235 S
 Wägebereich: 0 – 230 g
 Ablesegenauigkeit: 0,01 mg

Verfahrenskenngrößen

Absolute Nachweisgrenzen: Planfilter (dreistufige ARA): 0,10 mg
 Planfilter (Rieselbettreaktor): 0,13 mg
 Spüllösung: 0,48 mg

Typische relative Nachweisgrenzen (nur Planfilter):

Rohgasmessung: ca. 0,060 mg/m³ (1,7 m³ Probegas; dreistufige
 ARA)
 ca. 0,076 mg/m³ (1,7 m³ Probegas; Rieselbettreaktor)
Reingasmessung: ca. 0,037 mg/m³ (2,7 m³ Probegas; dreistufige
 ARA)
 ca. 0,043 mg/m³ (3,0 m³ Probegas; Rieselbettreaktor)

Wägeunsicherheit: Planfilter: 0,05 mg
 Spüllösung: 0,07 mg

Messverfahren für Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5}

Messverfahren: Bestimmung der Konzentrationen der Staubfraktionen PM₁₀ und
 PM_{2,5} mittels Impaktor (VDI-Richtlinie 2066, Blatt 10)

Messplatzaufbau:

Rückhaltesystem: Impaktor Johnas II mit Blendenmessstrecke und
 isokinetische Absaugung über frequenzgeregelte Pumpe

Hersteller Filtergerät: Paul Gothe GmbH

Ort: 44789 Bochum

Anordnung: innenliegend im Kanal (KG- Rohr bzw. Haubenkamin)
 bzw. im Messzeitraum 19.02.2013 bis 02.04.2013 am
 Rieselbettreaktor außenliegend

Beheizung: ohne bzw. im Messzeitraum 19.02.2013 bis 02.04.2013
auf am Rieselbettreaktor beheizt auf ca. 70 °C.

Ausführung / Material: Titan (Impaktor und Sondenrohr)

Wirkdurchmesser: wird nach Abgasrandbedingungen festgelegt

Abscheidemedien: gestanzte und nicht gestanzte Quarzfaser-Planfilter

Hersteller: Fa. Munktell

Typ: MK 360

Durchmesser: 50 mm

Abscheidegrad: 99,9 % (Herstellerangabe)

Volumenstromregistrierung und

Isokinetikkontrolle: Blendenmessstrecke mit Datenaufnehmern des
Herstellers Ahlborn Mess- und Regeltechnik GmbH und
Verarbeitungssoftware DASyLab 9.0/10.0 des Herstellers
DATALOG, Mönchengladbach bzw. MEASX

Messwertwandler Wirkdruck:

Hersteller: Paul Gothe GmbH

Typ: DMU 4

Messbereich: 0 - 1000 Pa

Messwertwandler Differenzdruck:

Hersteller: Paul Gothe GmbH

Typ: DMU 4

Messbereich: 0 - 1000 hPa

Temperaturmessung für die Blende (dreistufige ARA):

Hersteller: Rössel Messtechnik GmbH

Thermoelement: Typ K (NiCr-Ni)

Messwertwandler.: Typ RTFA-K

Messbereich: 0 – 400 °C

Temperaturmessung für die Blende: (Rieselbettreaktor):

Hersteller: Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH
Messprinzip: Widerstandsthermometer (Pt 100)
Messwertwandler: Typ ZA 9030 FS
Messbereich: 0 – 100 °C

Behandlung des Abscheidemediums und der Ablagerungen:

Transport und Lagerung: in Filterhaltern und Petrischalen mit Deckel in einem geeigneten Transportkoffer

Trocknungstemperatur und -zeit des Abscheidemediums:

vor der Beaufschlagung: 180 °C; mind. 1 h

nach der Beaufschlagung: 1. Stufe bei 20 °C (Exsikator), 24 h

2. Stufe bei 160 °C, min. 1 h

Die Ablagerungen im Probenahmesystem vor dem Abscheidemedium wurden bei den Rohgasprobenahmen als Sammelprobe durch Spülen mit Aceton und Wasser gewonnen und im Labor nach Überführen in Aluminiumschälchen eingedampft. Aufgrund der Temperaturverhältnisse beim Eindampfen ist diese Analytmenge nur mit den bei der 2. Trocknungsstufe ermittelten Auswaagen vergleichbar bzw. verrechenbar. In der weiteren Verrechnung wird diese Analytmenge nur zur Ermittlung von Kennwerten zum Vergleich mit der Gesamtstaubmessung herangezogen, da sie nicht den Partikelfractionen zuzuordnen ist. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um nicht impaktierte Teile aus der Fraktion > 10 µm handelt.

Bestimmung von Gesamtleerproben: eine Leerprobenserie je Messserie

Die Wägevorgänge erfolgen in einem klimatisierten Wägeraum.

Waage: Hersteller: Sartorius AG
Ort: 37075 Göttingen
Typ: ME 235 S
Wägebereich: 0 – 230 g
Ablesegenauigkeit: 0,01 mg

Tabelle 7. Verfahrenskenngrößen

| Fraktion / Matrix | absolute Nachweisgrenze [mg/Probe] | Typische relative Nachweisgrenze [mg/m ³] | | Wäge- unsicherheit [mg] |
|--|--|--|--|-------------------------------|
| | | Rohgas | Reingas | |
| Messkampagne an der dreistufigen ARA | | | | |
| PM ₁₀ / Impaktorplatte und Backup-Filter | 0,2 | (1,2 m ³ Probegas) 0,16 | (8,5 m ³ Probegas) 0,023 | 0,10 |
| PM _{2,5} / Backup-Filter | 0,1 | 0,082 | 0,012 | 0,05 |
| Messkampagne am Rieselbettreaktor | | | | |
| PM ₁₀ / Impaktorplatte und Backup-Filter | 0,26 | (1,7 m ³ Probegas) 0,15 | (7,8 m ³ Probegas) 0,033 | 0,10 |
| PM _{2,5} / Backup-Filter | 0,13 | 0,076 | 0,017 | 0,05 |

Weitere Verfahrenskenngrößen sind in der VDI 2066, Blatt 10 aufgeführt.

2.2.8 Arbeitspaket 8 (DLG) – Messung der Betriebszustände; Anlagendokumentation

Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der beiden geprüften Anlagen während des jeweiligen Versuchszeitraums zeichnete die DLG folgende Außenbedingungen sowie Betriebszustände im Stall und in der ARA kontinuierlich auf:

- Abluftvolumenstrom (mit Messventilatoren gemäß DIN 12599)
- Bedüsungsdichte (magnetisch-induktive Durchflussmessung an einer Messstelle – nur an der dreistufigen ARA)
- Berieselungsdichte (magnetisch-induktive Durchflussmessung an vier bzw. drei Messstellen)
- Frischwasserverbrauch der zweiten Waschstufe (magnetisch-induktive Durchflussmessung an einer Messstelle – nur an der dreistufigen ARA)
- Temperatur (PT 100 an acht bzw. Thermoelemente an sechs Messstellen)
- Druckverhältnisse (Differenzdruckmessung an acht bzw. fünf Messstellen)
- Abluftfeuchte (an einer bzw. drei Messstellen)
- Außenbedingungen (Luftdruck, Temperatur, Niederschlag, Wolkenbedeckung, Luftfeuchte)
- An dem Rieselbettreaktor: Säureverbrauch (gravimetrisch)

Folgende Daten wurden diskontinuierlich und manuell an den gemeinsamen Messtagen erfasst:

- Energieverbrauch der Gesamtanlage (Hauptzähler)
- Frischwasserverbrauch (Hauptzähler)
- An der dreistufigern ARA: Säureverbrauch (gravimetrisch)

In Abbildung 5 sind die Messstellen von der dreistufigen ARA in einem Schaubild dargestellt; Abbildung 6 zeigt die Messstellen an dem Rieselbettreaktor. Die Abbildung 5 entspricht dabei der Oberfläche des zur Messwertaufnahme installierten Messrechners. Dort sind auch die einzelnen Messpunkte zu erkennen. Jeder der Projektteilnehmer hatte an den Messtagen die Möglichkeit, die relevanten Daten dort abzulesen. Die Speicherung der Messwerte erfolgte in erster Linie als Halbstunden-Mittelwerte, lediglich für die Werte der magnetisch-induktiven Durchflussmengenmessung wurden Minuten- und Summenwerte aufgezeichnet. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, alle Messwerte per Fernabfrage abzurufen. Die Messdaten der dreistufigen ARA wurden in die vom TÜV NORD bereitgestellte Onlineplattform übertragen, so dass alle Projektteilnehmer Zugriff auf die auf Plausibilität geprüften Daten bekamen. Die Daten des Rieselbettreaktors wurden auf eine DLG-eigene Plattform abgelegt und allen Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt.

DLG-Testzentrum
 Herr Jörg Johann
 Max-Eyth-Weg 1
 64823 Groß-Umstadt
 Tel. 069 / 24788 - 636

BioAluRein

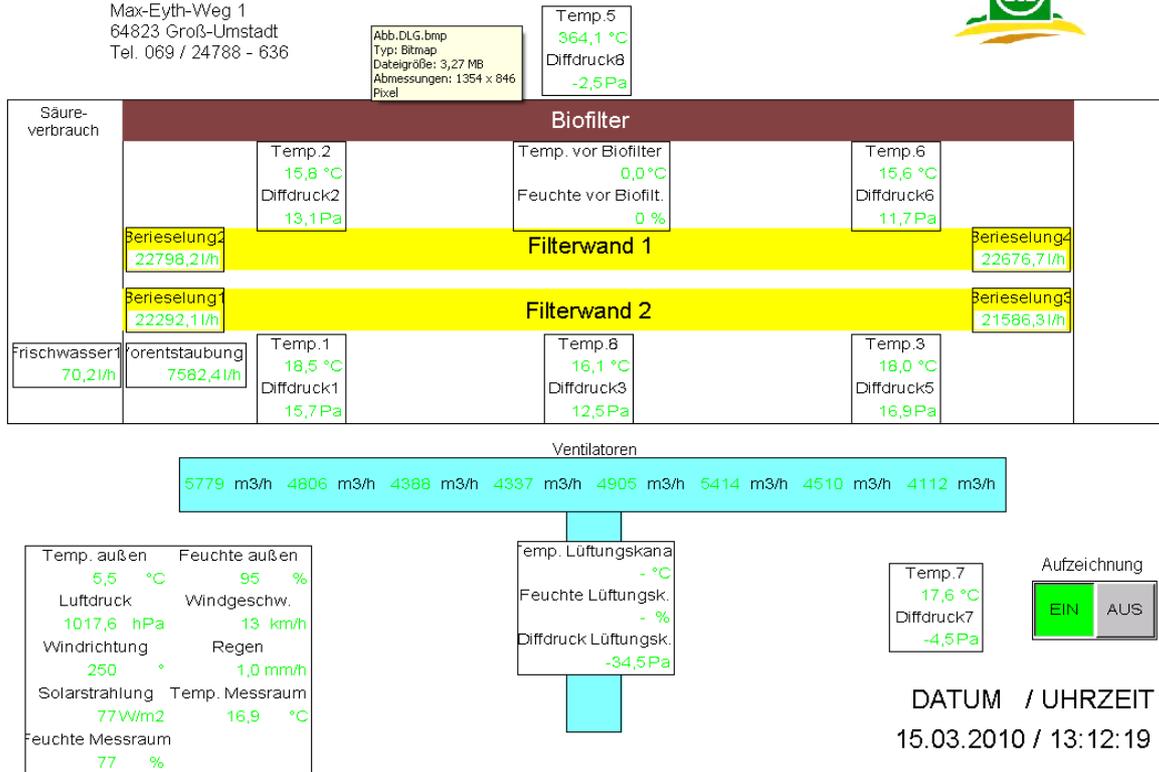


Abbildung 5. Oberfläche des DLG-Messrechners im Messraum (Phase 1 – dreistufige ARA)

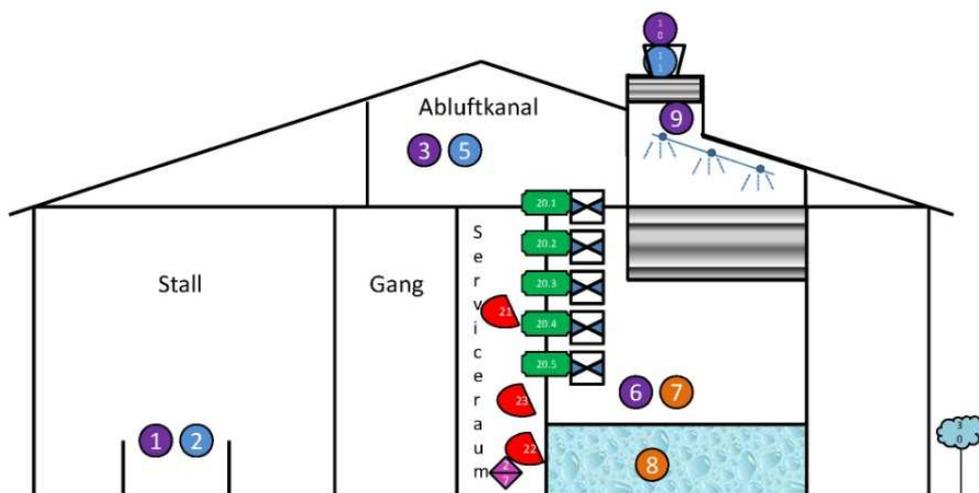


Abbildung 6. Messstellenskizze Phase 2 – Rieselbettreaktor

3. Ergebnisse

3.1 Biologische Anlagencharakterisierung – Teilbericht des ITTN; Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

3.1.1 Arbeitspaket 1 – Roh- und Reingasbeprobung Bioaerosole

3.1.1.1 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an der dreistufigen ARA

Bei den mikrobiologischen Untersuchungen konnten Bakterien aller in Tabelle 4 aufgeführten Arten nachgewiesen werden.

Die dreistufige ARA bewirkte eine durchschnittliche Reduktion der Gesamtkeimzahl von 88 %, mit einer Schwankungsbreite zwischen 74 % und 97 %, abhängig vom Betriebszustand der Anlage (Abbildungen 7 und 8). Äußere Faktoren hatten einen großen Einfluss auf die Abscheideleistung (Keimreduktion vom Rohgas zum Reingas in Prozent) der ARA in Hinblick auf die Gesamtkeimzahl. So war die Anlage am Tag der niedrigsten Abscheideleistung (74 %, am 08.06.2010) nicht im ordnungsgemäßen Betrieb, da eine Spülung durchgeführt wurde. Die für den 25.05.2010 ermittelte Keimreduktion in Höhe von 81 % war auf eine aufgrund von Elektroinstallationsarbeiten dauerhaft geöffnete Dachluke zurückzuführen. Einen weiteren Einflussfaktor stellte die Erneuerung der Wurzelholzschüttung am 29.06.2010 dar, wobei die Keimreduktion an diesem Tag nur bei 78 % lag. Am 20.07.2010 konnte eine Reduktion der mesophilen Gesamtkeimzahl von 77 % festgestellt werden. An diesem Tag war bei hohen Außentemperaturen die Fliegenbelastung sehr hoch, was darauf hindeutet, dass Gülle aus dem Stall abgepumpt wurde und die Leistung der ARA infolge dessen beeinflusst wurde. An den Messtagen, an dem sich die Anlage im Normalbetrieb befand lag die durchschnittliche Reduktionsleistung vom Rohgas zum Reingas bei 95 %.

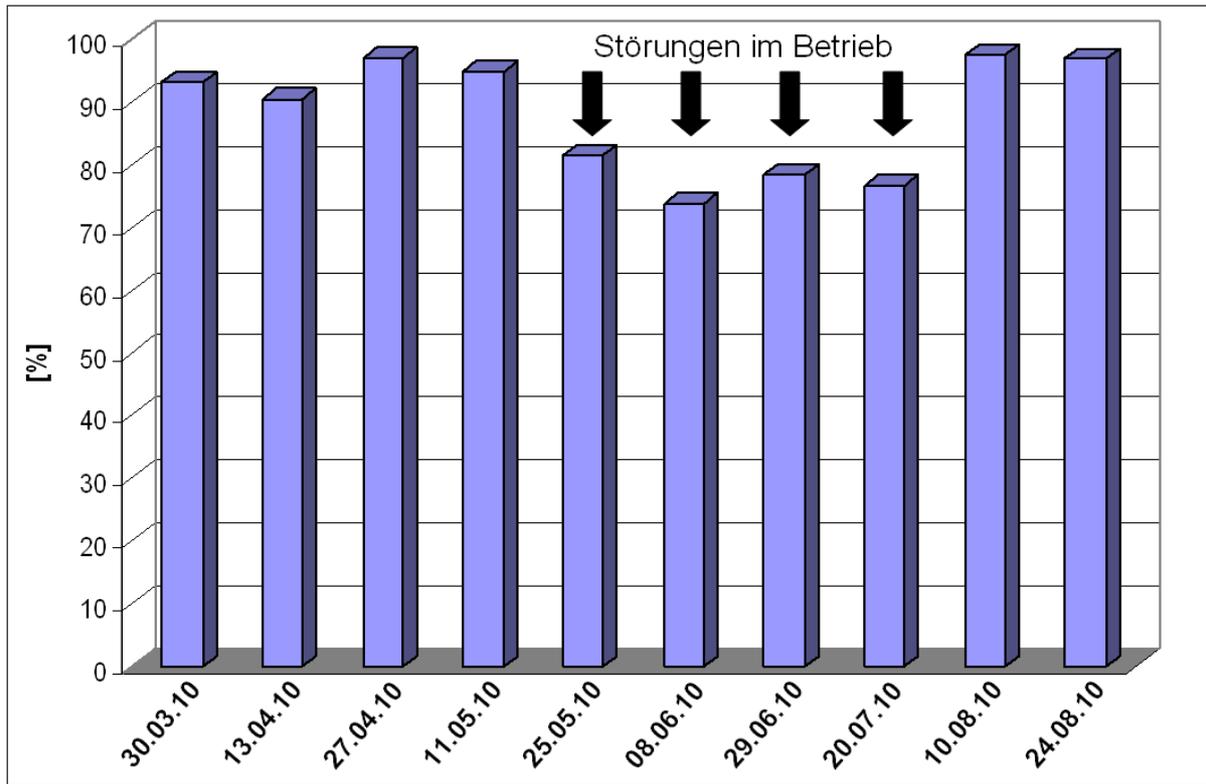


Abbildung 7. Reduktion der Gesamtkeimzahl vom Roh- zum Reingas in Prozent

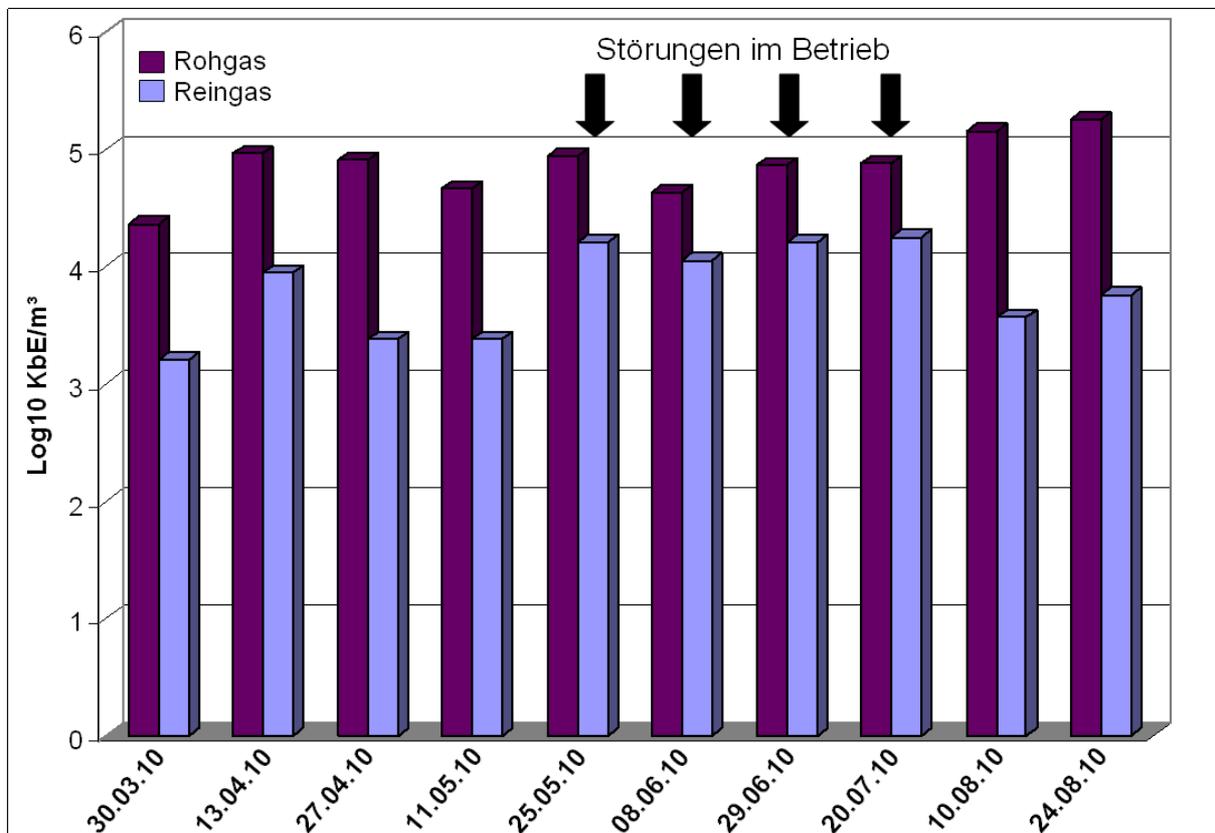


Abbildung 8. Reduktion der Gesamtkeimzahl vom Roh- zum Reingas

Sowohl für die Strepto-, als auch für die Enterokokken konnte über die gesamte Messperiode eine hohe Abscheidung vom Roh- zum Reingas in Höhe von etwa 94 % erreicht werden.

Im Gegensatz dazu wurden Staphylokokken im Mittel um 81 % reduziert. Dies lässt sich auf geringere Abscheideleistungen am 13.04.2010, 25.05.2010 sowie 08.06.2010 zurückführen. Aufgrund des nicht ordnungsgemäßen Betriebes der ARA lag die durchschnittliche Keimreduktion bei den Messungen am 25.05.2010 und 08.06.2010 nur bei 20 % bzw. 71 %.

MRSA ließen sich sowohl in Roh-, als auch im Reingas nachweisen. Die für MRSA ermittelten Keimzahlen lagen im Messzeitraum mit 0 bis 1600 KBE pro m³ Rohgasluft in einem sehr niedrigen Bereich. Im Reingas wurden zwischen 0 und 160 KBE MRSA pro m³ Luft nachgewiesen. MRSA wurden zu jedem Messzeitpunkt abgeschieden mit einer mittleren Abscheideleistung von 89 % (MIN: 67 %, MAX: 100 %).

Bei den mikrobiologischen Analysen gelang es mittels Standardmethoden nicht, Bakterien der Gattung *Enterobacteriaceae* nachzuweisen, diese lagen demzufolge unterhalb der Nachweisgrenze für eine Quantifizierung. Daher wurde ein zusätzlicher molekularbiologischer Nachweis etabliert, um eine qualitative Aussage zu ermöglichen.

Aus den im Rohgas gewonnenen Impingerproben aller Messungen konnten thermophile Aktinomyzeten isoliert werden. Diese wurden in sieben von insgesamt zehn Messungen vollständig abgeschieden. Die durchschnittliche Abscheideleistung lag, mit Ausnahme der Messung am 25.05.2010, bei 97 %. Am 25.05.2010 war die Anzahl Koloniebildender Einheiten im Reingas 50 % höher als im Rohgas, was möglicherweise durch den nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage bedingt war.

Die Reduktion der mesophilen Aktinomyzeten variierte mit 23 % am 25.05.2010 und 93 % bei der darauf folgenden Messung am 08.06.2010 sehr stark. Bei der Messung am 27.04.2010 war die Anzahl der aus der Reingasprobe kultivierbaren Keime höher im Vergleich zum Rohgas und am 20.07.2010 konnten mesophile Aktinomyzeten sogar ausschließlich im Reingas nachgewiesen werden.

Auch die Abscheideleistung für Schimmelpilze unterlag starken Schwankungen. Diese lag in sechs von zehn Messungen bei durchschnittlich 64 %, mit einem Minimum von 20 % und einem Maximum in Höhe von 100 %. In den

verbleibenden vier Messungen war die Anzahl Koloniebildender Einheiten im Reingas höher als im Rohgas.

In sechs Messungen konnten Pseudomonaden im Rohgas nachgewiesen werden. Diese wurden nur an drei Messtagen mit unterschiedlichen Effizienzen in Höhe von 33 %, 75 % und 100 % abgeschieden. Bei den Messungen am 11.05.2010 und 20.07.2010 war die Anzahl Koloniebildender Einheiten im Roh- und Reingas gleich und am 25.05.2010 konnten mehr Pseudomonaden aus dem Reingas im Vergleich zum Rohgas kultiviert werden. Bei der Messung am 13.04.2010 konnten Pseudomonaden im Reingas, nicht aber im Rohgas nachgewiesen werden.

Der Endotoxingehalt lag bei der Messung mittels Impingement im sehr niedrigen Bereich, der höchste gemessene Wert lag im Rohgas bei 23 EU/ml, im Reingas bei 10 EU/ml. Mit Ausnahme der Messung am 24.08.2010, an der keine Reduktion erfolgte, konnten Endotoxine mit unterschiedlich hohen Abscheideleistungen zwischen 8 % (am 29.06.2010) und 88 % (am 13.04.2010) reduziert werden.

Der molekularbiologische Nachweis der Gesamt- DNA war in allen Impingerproben, sowohl aus dem Roh-, als auch aus dem Reingas positiv. Dies zeigt, dass in allen Proben ausreichend bakterielles Material vorhanden war. Die Ergebnisse dieser Analytik sind in Abbildung 9 dargestellt.

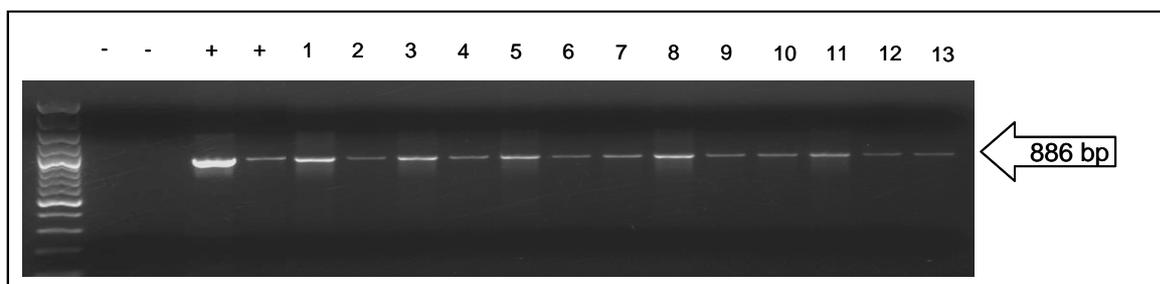


Abbildung 9. Nachweis bakterieller Gesamt- DNA mittels 16S PCR

- Negativkontrolle; + Positivkontrolle, 1-13 Isolation von DNA aus den Roh- und Reingasproben (Impingerflüssigkeit)

Genetisches Material coliformer Keime konnte nur in vier Proben schwach nachgewiesen werden. Dies deutet darauf hin, dass die gram-negativen *Enterobacteriaceae* nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtkeimzahl der Flora im Roh- und Reingas darstellen und ihre Bedeutung als Erreger, die sich über den Luftweg verbreiten als eher gering einzustufen ist. Dies ergibt sich unter anderem

aus der geringen Tenazität gram-negativer Keime. Die Ergebnisse der molekularbiologischen Untersuchung sind exemplarisch in Abbildung 10 dargestellt.

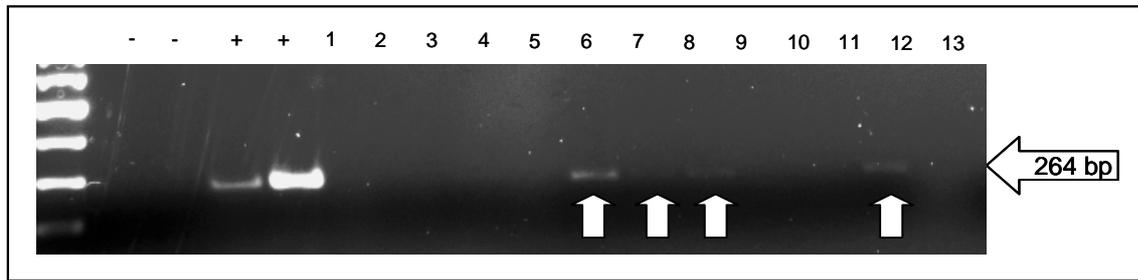


Abbildung 10. Nachweis coliformer Keime mittels lacZ PCR

- Negativkontrolle; + Positivkontrolle, 1-13 Isolation von DNA aus Roh- und Reingasproben (Impingerflüssigkeit)

Alle untersuchten MRSA- Isolate waren positiv für das mec und das nuc Gen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind beispielhaft in Abbildung 11 dargestellt.

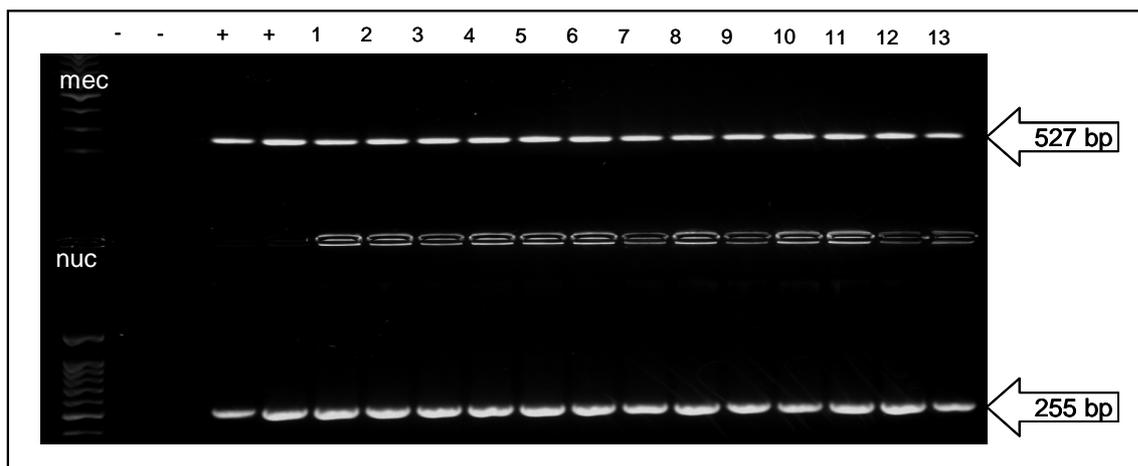


Abbildung 11. Bestätigung der MRSA- Isolate mittels mec und nuc PCR

- Negativkontrolle; + Positivkontrolle; 1-13 MRSA- Isolate

Bei den an der dreistufigen ARA gewonnenen MRSA Isolaten handelte es sich bei den meisten Isolaten um den mec Typ III, welcher klassischerweise beim Schwein vorkommt. Am 20.07.2010 wurde MRSA vom mec Typ IVd isoliert (vier Isolate). Dieser Typ gehört nicht zu den klassischen Typen, die beim Schwein vorkommen. Er wurde bei Pferden, aber auch beim Menschen nachgewiesen. Da dieser Typ während des gesamten Messzeitraums aber nur einmahl auftrat, bleibt unklar wie der Eintrag in den Betrieb erfolgte. Drei Isolate, die am 08.06.2010 gewonnen wurden, waren nicht typisierbar. Auf Basis aller Reaktionen lässt sich aber schlussfolgern, dass auf dem untersuchten Betrieb MRSA vorkommen, die zu den

nasalen Besiedlern des Schweins gehören. Die mec Typisierung ist für einige Isolate beispielhaft in Abbildung 12 dargestellt.

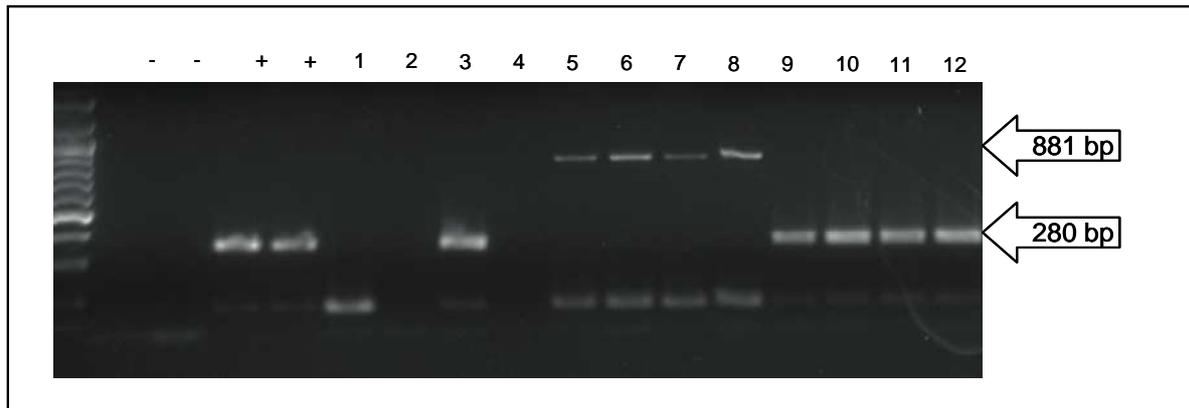


Abbildung 12. Typisierung des mec Gens, der an der dreistufigen ARA gewonnenen MRSA Isolate

- Negativkontrolle; + Positivkontrolle MRSA Typ III (280 bp); 1-12 verschiedene MRSA Isolate; 5-8 MRSA vom 20.07.2010 (Typ IVd, 881bp); 3 und 9-12 MRSA Typ III; 1, 2, 4 nicht typisierbare Isolate.

3.1.1.2 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an dem untersuchten Rieselbettreaktor

Die Gesamtkeimzahl wurde an allen Messtagen vom Roh- zum Reingas reduziert. Es konnte eine mittlere Reduktionsleistung von 85 % ermittelt werden, welche jedoch starken Schwankungen zwischen 35 % (am 05.02.2013) und 98 % (am 25.09.2012) unterlag (Abbildungen 13 und 14).

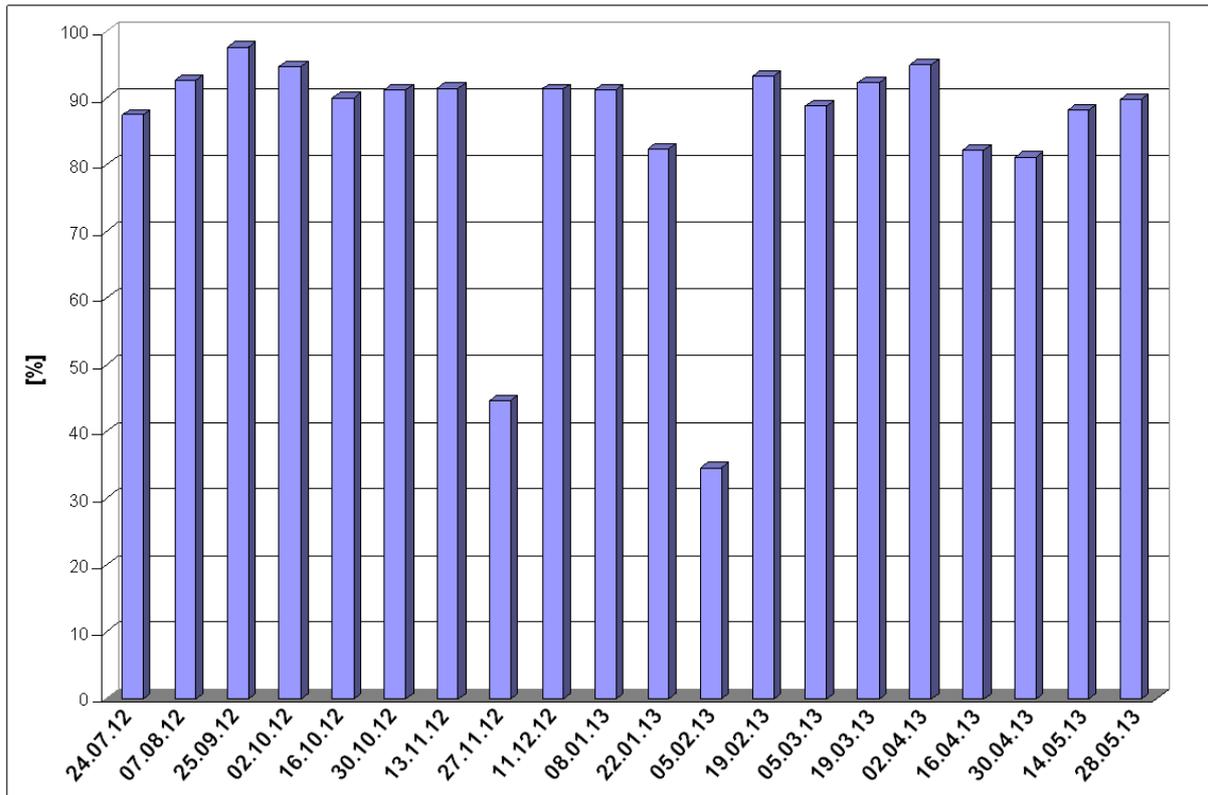


Abbildung 13. Reduktion der Gesamtkeimzahl vom Roh- zum Reingas in Prozent

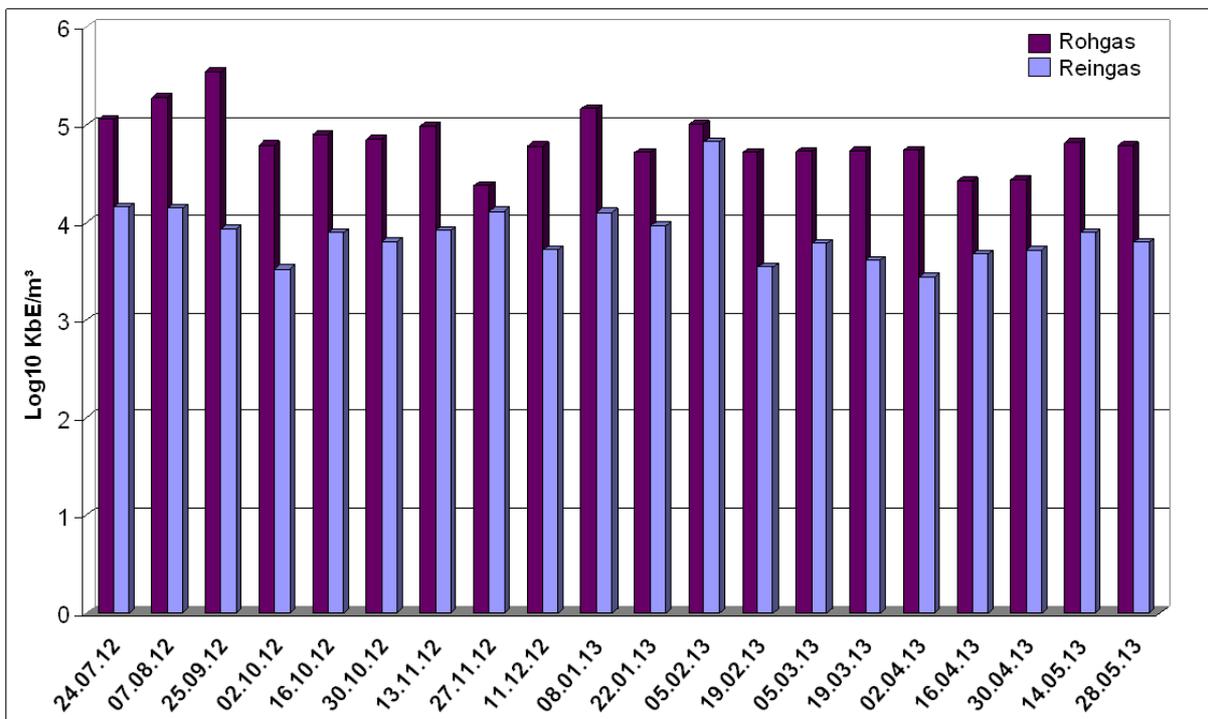


Abbildung 14. Reduktion der Gesamtkeimzahl vom Roh- zum Reingas

Im Rohgas variierten die Keimzahlen der Staphylokokken mit 168 bis 35714 KbE/m³ Luft sehr stark. Die mittlere Reduktionsleistung für diese Keime lag bei

75 % (MIN: 13 %, MAX: 100 %), wobei zwischen 0 und 2521 KbE/m³ Luft im Reingas ermittelt werden konnten. Bei den am 24.07.2012 und 05.03.2013 durchgeführten Messungen konnte keine Reduktion der Staphylokokken vom Roh- zum Reingas festgestellt werden. An weiteren zwei Messterminen (19.02.2013 und 30.04.2013) erbrachte der kulturelle Nachweis im Reingas 50 % bzw. 757 % mehr koloniebildende Einheiten im Vergleich zum Rohgas.

In Analogie zu den Staphylokokken war die Schwankungsbreite mit 294 bis 29412 KbE/m³ Reingasluft auch für die Streptokokken ähnlich groß. Mit einer durchschnittlichen Abscheideeffizienz von 87 % (MIN: 56 %, MAX: 100 %) konnte in insgesamt 15 Messungen eine Reduktion der Streptokokkenzahl erzielt werden. Im Rahmen der Messungen am 30.10.2012 und 22.01.2013 konnte jedoch aus den reingasseitig gewonnenen Proben die gleiche Anzahl koloniebildender Einheiten isoliert werden wie aus den Impingerproben des Rohgases. Eine Reduktionsleistung war an diesen beiden Messterminen damit nicht gegeben. An drei weiteren Messterminen erhöhte sich die Anzahl der Streptokokken mit Durchtritt der Luft durch die ARA, so dass die Keimlast im Reingas höher war als im Rohgas.

Methicillin resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) konnten in acht Messungen im Rohgas in Größenordnungen zwischen 42 und 1050 KbE/m³ Luft nachgewiesen werden. In sechs dieser Messungen konnte durch die ARA eine vollständige Abscheidung von MRSA gewährleistet werden. Bei der Messung am 07.08.2012 war der Nachweis für MRSA im Reingas deutlich höher als im Rohgas und am 05.02.2013 konnten MRSA sogar ausschließlich aus den Reingas-, nicht jedoch aus den Rohgasproben kultiviert werden. Die molekularbiologische Untersuchung zeigte, dass alle untersuchten MRSA- Isolate positiv für das *mec*- und das *nuc*- Gen waren.

Während *Enterobacteriaceae* in nur einer Messung im Rohgas nachgewiesen und zu 100 % abgeschieden wurden, konnten Enterokokken in 19 Messungen aus den Rohgasproben kultiviert werden. In einer Messung waren Enterokokken weder im Roh-, noch im Reingas nachweisbar. Die durchschnittliche Abscheideeffizienz lag bei 90 %, mit einer minimalen Reduktion um 74 % und einem Maximalwert von 100 %. Bei der ersten Messung am 24.07.2012 waren im Reingas 13 % mehr Enterokokken nachweisbar als im Rohgas.

Mesophile Aktinomyzeten wurden an insgesamt acht Messterminen im Rohgas nachgewiesen. Während an sechs dieser Messtermine eine vollständige

Abscheidung dieser Keime vom Roh- zum Reingas ermittelt werden konnte, war die Anzahl Koloniebildender Einheiten bei den Messungen am 07.08.2012 und 16.10.2012 im Reingas mehr als doppelt so hoch im Vergleich zum Rohgas. Am 8. und 22. Januar waren mit 42 bzw. 84 KbE/m³ Luft mesophile Aktinomyceten sogar ausschließlich im Reingas nachweisbar.

Im Roh- und Reingas konnten zu keinem Messzeitpunkt thermophile Aktinomyceten (50°C) nachgewiesen werden.

Schimmelpilze konnten in 19 von 20 Messungen nachgewiesen werden. In zehn dieser Messungen wurden sie mit unterschiedlicher Effizienz reduziert (Mittelwert: 71 %, MIN: 13 %, MAX: 100 %). In einer Messung war die Anzahl Koloniebildender Einheiten im Roh- und Reingas gleich. Schimmelpilze konnten an jeweils vier Messterminen ausschließlich bzw. in einer größeren Anzahl im Reingas im Vergleich zum Rohgas nachgewiesen werden.

An zwei Messterminen (16.10.2012 und 08.01.2013) konnten Pseudomonaden im Rohgas nachgewiesen werden und wurden zu 100 % abgeschieden. Am 13.11.2012 und 27.11.2012 waren Pseudomonaden im Reingas, nicht aber im Rohgas nachweisbar.

Über den Zeitraum der Messperiode wurden Endotoxine zuverlässig abgeschieden, mit einer durchschnittlichen Abscheideleistung von 92 %. Eine Ausnahme hiervon stellte die Messung am 27.11.2012 dar, wo die Abscheidung nur zu 24 % erfolgte.

Alle aus den Roh- und Reingasproben gewonnenen MRSA- Isolate waren positiv für das mec- und das nuc- Gen.

3.1.2 Arbeitspaket 2 – Prozesswasserproben

3.1.2.1 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an der dreistufigen ARA

In der dreistufigen ARA sind zwei Wasserspeicherbecken vorhanden. Das erste Becken dient vornehmlich zur Aufnahme von aus dem Rohgas ausgewaschenen partikulären Stoffen wie Stäuben, Keimen und Endotoxinen, das zweite soll vornehmlich Ammoniak binden. Dazu wird das Wasser im zweiten Becken angesäuert.

Die Untersuchungen zeigen, dass im Wasserbecken 2 zunächst ein deutlich niedrigerer Keimgehalt vorhanden war als im Wasserbecken 1. Der niedrige pH-Wert verminderte vermutlich die Überlebensfähigkeit vieler Mikroorganismen. Im Verlauf der Messungen stieg der Keimgehalt im zweiten Becken dann aber an, was darauf hindeutet, dass sich die säuretolerante Flora weiter aufgebaut hat. Über den Betriebszeitraum kam es somit zum Aufbau einer sich im Gleichgewicht befindenden Keimflora, da das Prozesswasser im Messzeitraum nicht vollständig ausgetauscht wurde. Auf den Endotoxingehalt hatte die Säurezugabe keinen Einfluss. Bei Endotoxinen handelt es sich um einen sehr Säure- (und auch Hitze-) beständigen Anteil der Zellwand abgestorbener gram-negativer Bakterien, die im Prozesswasser rezirkuliert und angereichert werden. Dies erklärt die hohen Endotoxinkonzentrationen im Prozesswasser der Anlage.

3.1.2.2 Ergebnisse der mikro- und molekularbiologischen Untersuchungen an dem untersuchten Rieselbettreaktor

Der Rieselbettreaktor verfügt über zwei Wasserbecken, welche miteinander in Verbindung stehen. Aufgrund dessen war die Anzahl Koloniebildender Einheiten der einzelnen Keimspezies in beiden Becken annähernd gleich groß, was auf eine gute Durchmischung des Prozesswassers innerhalb der Becken hindeutet. Aus den für die Wasserbecken 1 und 2 ermittelten Keimzahlen wurde daher ein Mittelwert für den jeweiligen Messtermin berechnet.

Durch den Abbau der mit dem Prozesswasser ausgewaschenen Mikroorganismen kommt es zur Freisetzung und Akkumulation großer Mengen an Endotoxinen im Wasserreservoir der beiden Becken. Dementsprechend konnten in den an dem Rieselbettreaktor gewonnenen Prozesswasserproben deutlich höhere Endotoxinkonzentrationen als in den Impingerproben von Roh- und Reingas nachgewiesen werden (Abbildung 16). Dies deutet darauf hin, dass im Prozesswasser überwiegend Mikroorganismen enthalten sind, die der Gruppe der gram-negativen Bakterien zuzuordnen sind und die sich im wässrigen Milieu unter den gegebenen Bedingungen gut vermehren.

Mit Ausnahme der Messung am 02.04.2013 war auch die in den Wasserproben ermittelte Gesamtkeimzahl größer im Vergleich zu den im Rohgas gewonnenen Proben. Dies weist darauf hin, dass die kontinuierliche Befeuchtung der

Füllkörperpakete sowie deren große spezifische Oberfläche den anhaftenden Mikroorganismen ausreichend gute Lebensbedingungen bieten, um sich im Prozesswasser der ARA zu vermehren und anzureichern.

Im Durchschnitt konnten mit 8 KBE/ml, im Prozesswasser weniger MRSA nachgewiesen werden als in den im Roh- und Reingas mittels Impingement gewonnenen Proben. Hierbei konnte der Nachweis aller MRSA- Isolate mittels molekularbiologischer Quantifizierung durch die PCR bestätigt werden.

In keiner der bei den vier Messungen vom 16.04.2013 bis 28.05.2013 gewonnenen Prozesswasser- sowie Trinkwasserproben konnten Legionellen nachgewiesen werden.

3.1.3 Arbeitspaket 3 – Beprobung der Biofilm besetzten Filterflächen

3.1.3.1 Mikrobiologische Untersuchungen der Filterwände sowie des Füllkörpers der Bioschüttung an der dreistufigen ARA

Alle in die Untersuchungen einbezogenen Mikroorganismen konnten sowohl im Biofilm der Filterwand 1 als auch der Filterwand 2 in ähnlich hohen Konzentrationen nachgewiesen werden. Die Ausnahme hiervon bildet MRSA, welcher aus den Proben der zweiten Filterwand nicht mehr kultiviert werden konnte.

MRSA war auch im Waschwasser des Beckens 2 nicht mehr nachweisbar, was auf eine Säurelabilität hindeutet oder darauf, dass die Staphylokokken in dem Biofilm mit vielen anderen Mikroorganismen keine geeignete Lebensgrundlage finden. Offenbar schützt der Biofilm die anderen Keime vor der Einwirkung des säurehaltigen Wassers an der Filterwand 2, das lediglich die Oberfläche berieselt und nicht tiefer einzudringen vermag.

Bei der mikrobiologischen Untersuchung der Wurzelholzschüttung konnten verschiedene Keimspezies isoliert werden, welche das zu erwartende Keimspektrum einer feuchten Holzwand darstellen. Da die Wand dauerhaft befeuchtet wurde, konnte sich hier auch eine gram-negative Flora mit Anteilen von *Enterobacteriaceae* etablieren. Es wurden die folgenden Keime nachgewiesen:

- *Bacillus spp.*
- Alpha hämolysierende Streptokokken
- *Hafnia avei*
- *Enterococcus spp.*

- *Aeromonas spp.*
- Koagulase negative Staphylokokken
- *Alcaligenes spp.*
- Hefen
- Coryneforme Bakterien
- *Enterobacter spp.*
- *Escherichia coli*
- *Klebsiella pneumoniae*
- *Proteus spp.*
- *Serratia marcescens*

3.1.3.2 Mikrobiologische Untersuchung der an dem Rieselbettreaktor angebrachten Prüfkörper

Bei der Bildung eines Biofilms unterscheidet man drei Phasen, die Anheftung der Bakterien, die Akkumulation und Reifung des Biofilms sowie die Ablösung (OTTO, 2008). Dementsprechend nahm die Gesamtkeimzahl im Biofilm der Prüfkörper zunächst nahezu kontinuierlich bis zum 22.01.2013 zu (Abbildung 15). Danach folgte eine Reduktion der Anzahl Koloniebildender Einheiten, was möglicherweise mit dem Erreichen der Ablösungs- oder Existenzphase zusammenhängt. Mit Eintritt dieser Phase stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Zuwachs und Abbau des Biofilms ein. Aufgrund von Substrat- oder Sauerstoffmangel in den tieferen Schichten des Biofilms sowie einer zunehmenden Biofilmdicke, verbunden mit einem erhöhtem Strömungswiderstand kommt es leicht zur Ablösung ganzer Teile des Biofilms. Die Keimzählungen der folgenden Messungen unterlagen daher starken Schwankungen.

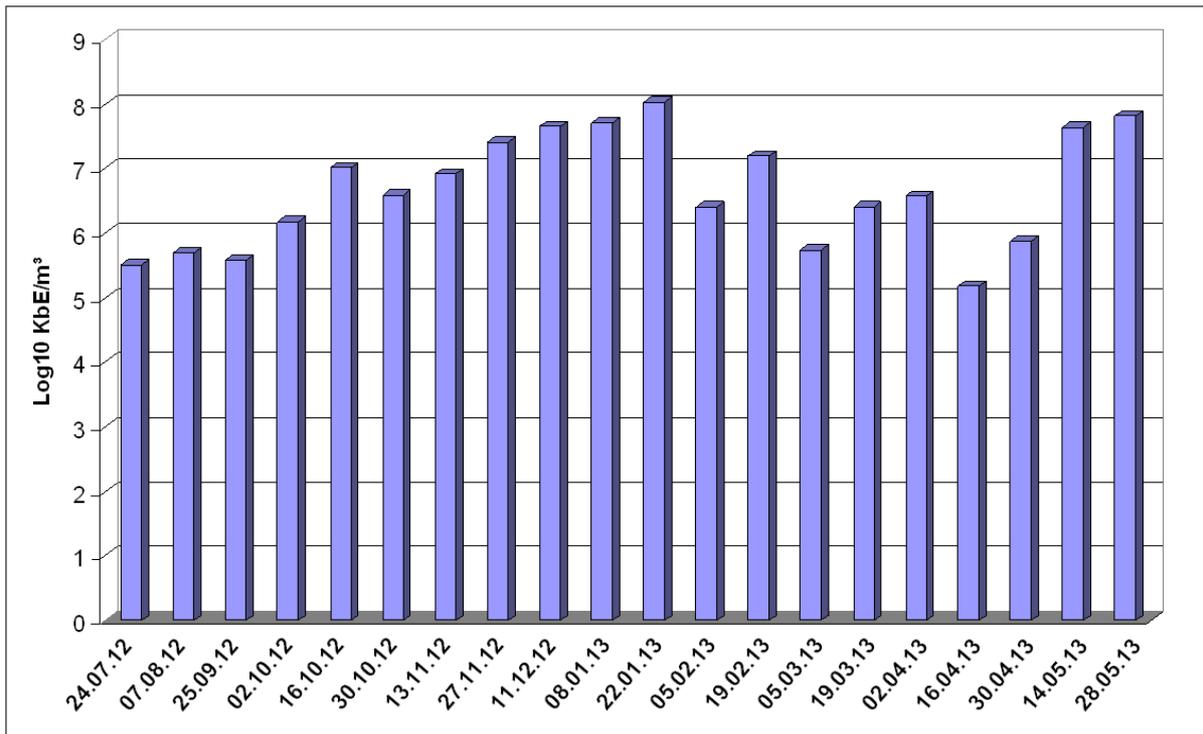


Abbildung 15. Gesamtkeimzahl im Biofilm der Prüfkörper

Die Vermehrung der Mikroorganismen im wachsenden Biofilm der Prüfkörper bedingt gleichzeitig eine Zunahme der Endotoxingehalte (Abbildung 16). Durch die ständig vorherrschenden Abbauvorgänge kommt es in Zusammenhang mit der Zellyse zur Freisetzung großer Mengen von Endotoxinen. Dementsprechend konnten im Biofilm der Prüfkörper deutlich höhere Endotoxineinheiten ermittelt werden im Vergleich zu den aus den Wasserbecken und mittels Impingement gewonnenen Proben (Abbildung 16).

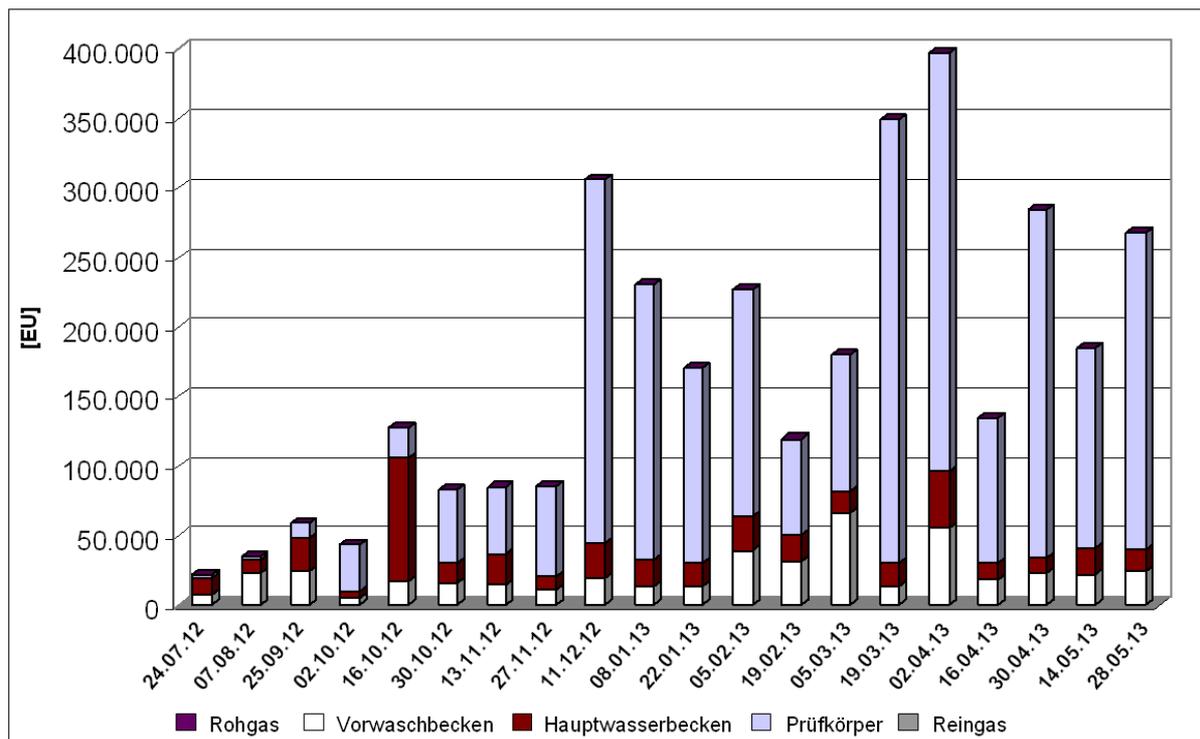


Abbildung 16. Vergleich der in den Roh- und Reingasproben, Prozesswasserproben sowie im Biofilm der Prüfkörper ermittelten Endotoxineinheiten [EU]

3.1.4 Arbeitspaket 4 – Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft

Die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutztV) schreibt vor, dass im Aufenthaltsbereich der Schweine Ammoniakwerte von 20 ppm nicht dauerhaft überschritten werden sollen. Die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Ammoniakkonzentrationen lagen teilweise oberhalb dieses Maximalwertes (Tabelle 8). Hierbei zeigte sich, dass insbesondere die Messposition innerhalb der einzelnen Bucht einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der gemessenen Ammoniakkonzentration hat. So wurde der Maximalwert von 20 ppm in den bis einschließlich zum 08.01.2013 an der Seitenwand zum Stallgang durchgeführten Messungen nur einmal überschritten und lag im Durchschnitt bei 11 ppm. Aufgrund der sich daraus ergebenden Differenzen zu den durch die LUFA im Rohgasbereich ermittelten, deutlich höheren Ammoniakkonzentrationen, erfolgten die sich anschließenden Messungen in der Mitte der Bucht. Die in Buchtmitte gemessenen Ammoniakwerte lagen häufig oberhalb des in der TierSchNutztV angegebenen Grenzwertes. So lag die Maximalkonzentration an Ammoniak bei 29 ppm (am

05.03.2013). Die in Abteil 3 am 05.02.2013 durchgeführten Messungen zeigten, dass sich die Ammoniakgehalte der Stallluft innerhalb einer Bucht, in Abhängigkeit von der jeweiligen Messposition, deutlich unterscheiden. Während an der zum Stallgang zugewandten seitlichen Buchtwand, an der die Frischluftzufuhr erfolgt, nur 15 ppm gemessen werden konnten, lag die Ammoniakkonzentration in Buchtmitte bei 26 ppm (Tabelle 8).

Tabelle 8. In den Stallabteilen gemessene Ammoniakkonzentrationen [ppm]

| Datum | Abteil | | | | | | | | | |
|----------|--------|--------------|-----------|----|---------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8* | 9 | 10 |
| 07.08.12 | | | 10 / 10 | | | | | | | |
| 25.09.12 | | | 7 / 4 / 2 | 4 | | 6 | | | | |
| 02.10.12 | | | 5 | 4 | | | | | | |
| 16.10.12 | | 15 | 5 | | | | | | | |
| 30.10.12 | | 10 | 21 | | | | | | | |
| 13.11.12 | | | 10 | | 8 | 15 | | | | |
| 27.11.12 | | | 10 | | 5 | 6 | | | | |
| 11.12.12 | 21 | | 20 | | | | | | | 18 |
| 08.01.13 | | | 13 | 20 | | | 20 | | | |
| 22.01.13 | 20 | | 16 | | | | | | 26 | |
| 05.02.13 | | | 26 / 15** | 19 | | | | | | |
| 19.02.13 | | | 22 | | 14 / 21 | | | | | |
| 05.03.13 | | 20 / 15 / 15 | 29 | | | | | | | |
| 19.03.13 | | | 14 | | 7 | 14 | | | | |
| 02.04.13 | | | 15 | 25 | | | 22 | | | |
| 16.04.13 | | | 3 | | 11 | | 5 | | | |
| 30.04.13 | | 3 | 5 | | | | | | 9 | |
| 14.05.13 | 6 | | 4 | | | | | | | 11 |
| 28.05.13 | | | 7 | | | | | | 3 | 2 |

* Krankenabteil

** Messungen innerhalb einer Bucht in Buchtmitte bzw. an der seitlichen Buchtwand zum Stallgang

3.1.5 Vergleich der Abscheideleistung beiden untersuchten ARA für Mikroorganismen

Während die in der Stallabluft gemessene durchschnittliche Gesamtkeimzahl bei dem zweiten untersuchten Betrieb mit dem Rieselbettreaktor tendenziell höher war, lag die mittlere Anzahl Koloniebildender Einheiten der übrigen Keimspezies in dem Betrieb mit der installierten dreistufigen ARA tendenziell höher im Vergleich zu dem Betrieb, in dem der Rieselbettreaktor betrieben wurde (Abbildungen 17 und 18).

Diese Angaben sind unabhängig von den ARA und insbesondere auf die Managementbedingungen zurückzuführen.

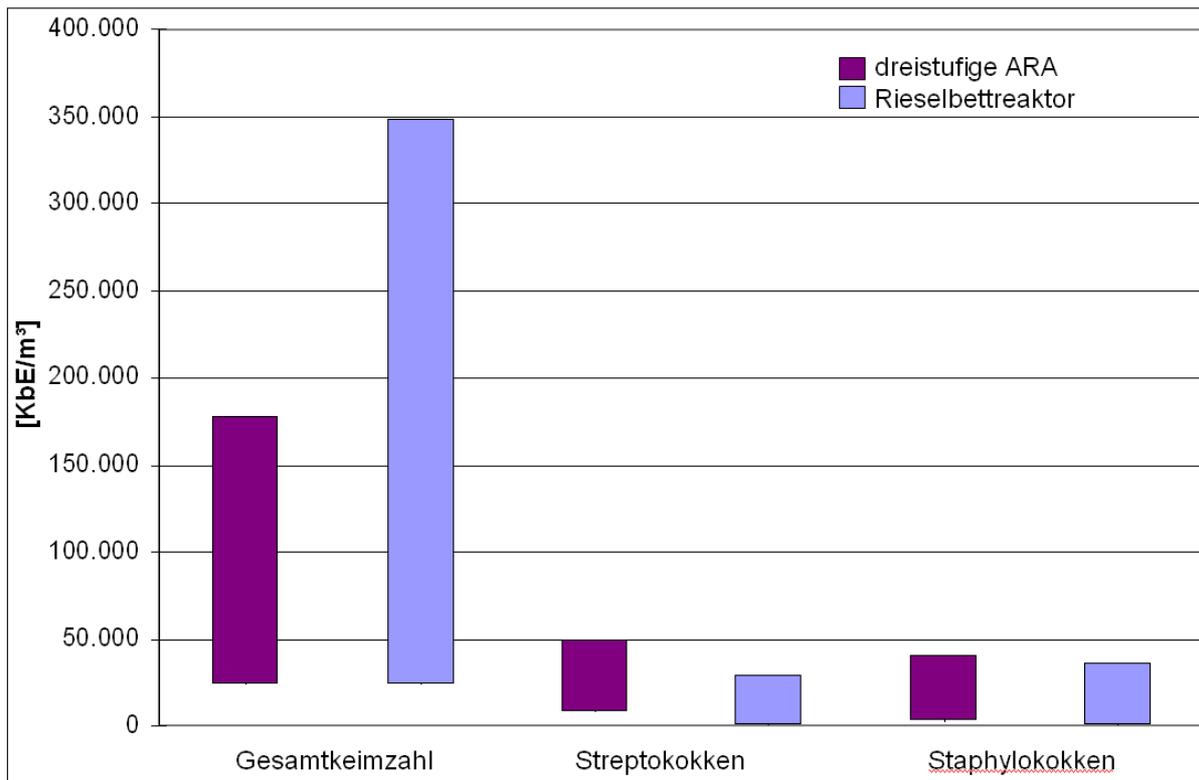


Abbildung 17. Im Rohgas ermittelte Anzahlen Koloniebildender Einheiten für die Gesamtkeimzahl, Strepto- und Staphylokokken im Vergleich der beiden untersuchten Betriebe

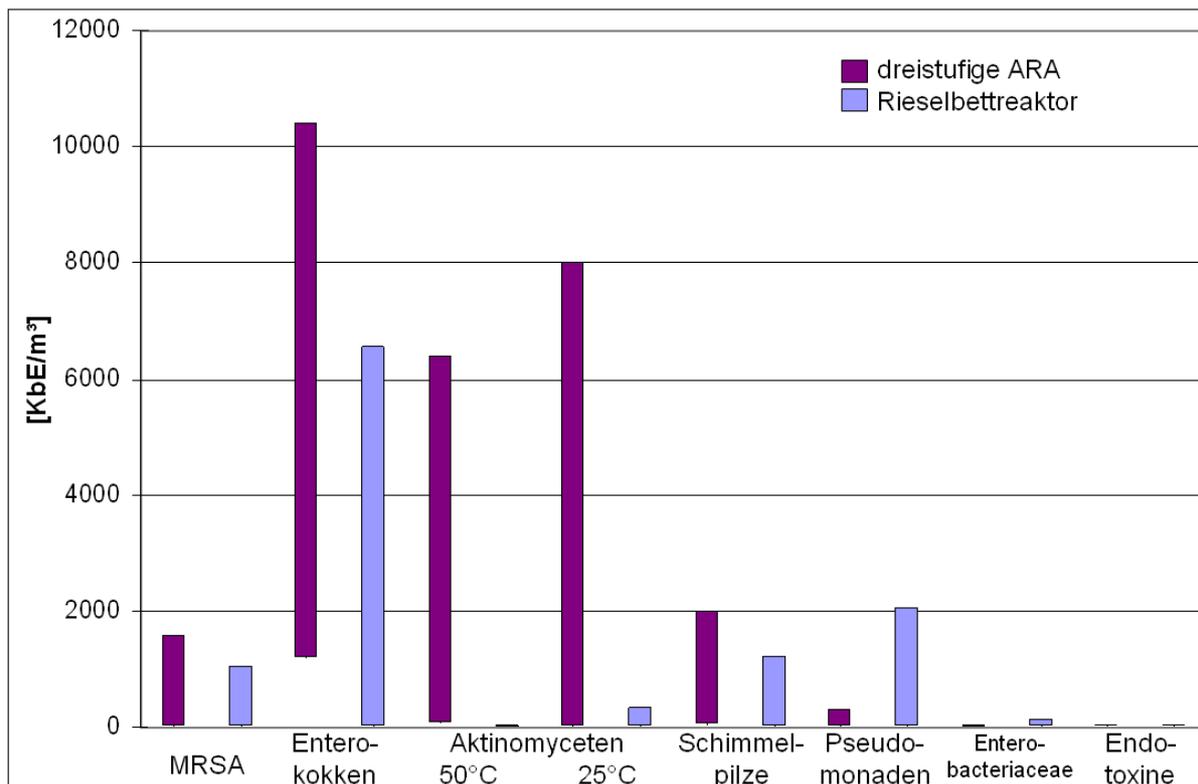


Abbildung 18. Im Rohgas ermittelte Anzahlen Koloniebildender Einheiten für verschiedene Keimspezies im Vergleich der beiden untersuchten Betriebe

In den zwei Messperioden konnte von beiden ARA eine zuverlässige Abscheideleistung für die Gesamtkeimzahl in Höhe von 88 % (dreistufige ARA) und 85 % (Rieselbettreaktor) erreicht werden. Wie in der ersten Messperiode gezeigt werden konnte, können diese hohen Abscheideleistungen nur gewährleistet werden, wenn ein ordnungsgemäßer Betrieb der ARA gegeben ist.

Durch die dreistufige ARA konnte zu jedem Messzeitpunkt eine hohe Abscheideleistung für Staphylo- (94 %), Strepto- (81 %) sowie Enterokokken (93 %) erzielt werden. Im Gegensatz dazu unterlag die Abscheidung für diese Keimspezies durch den Rieselbettreaktor großen Schwankungen, so dass vereinzelt mehr Keime im Reingas im Vergleich zum Rohgas nachweisbar waren.

Aus allen an der dreistufigen ARA gewonnenen Rohgasproben konnten thermophile Aktinomyceten in Größenordnungen zwischen 80 und 6400 KBE/m³ Luft kultiviert werden. In den Impingerproben des Rieselbettreaktors waren thermophile Aktinomyceten jedoch zu keinem Messzeitpunkt, weder im Roh-, noch im Reingas nachweisbar. Ebenso verhält es sich für die Prozesswasserproben. Während thermophile Aktinomyceten in der Hälfte der aus dem Wasserbecken 1 der dreistufigen ARA entnommenen Proben und in allen Wasserproben des zweiten

Wasserbeckens nachgewiesen werden konnten, war dieser Keim in den Beckenproben des Rieselbettreaktors nur vereinzelt enthalten. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die thermophilen Aktinomyzeten in der dreistufigen ARA bessere Lebensbedingungen für eine Ansiedlung und Vermehrung vorfinden konnten als in dem Rieselbettreaktor.

Ähnlich verhält es sich mit den Pseudomonaden. Diese konnten in 60 % der an der dreistufigen ARA rohgasseitig entnommenen Proben nachgewiesen werden, wohingegen nur in zwei von 20 Rohgasproben aus dem Rieselbettreaktor Pseudomonaden enthalten waren.

3.1.6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die geprüften ARA neben ihrer ursprünglichen Aufgabe, Gerüche aus der Abluft zu minimieren, auch zu einer Reduktion der aus Tierhaltungen stammenden Keimlasten beitragen können. Wie die an der dreistufigen ARA gewonnenen Daten erkennen lassen, kann eine hohe Abscheideleistung für Keime jedoch nur gewährleistet werden, wenn sich die Anlage im ordnungsgemäßen Betrieb befindet. So konnten für einige Keimspezies an einzelnen Messtagen mehr koloniebildende Einheiten mit Impingement in den Reingasproben nachgewiesen werden als im Rohgas. Vereinzelt konnten verschiedene Keimspezies sogar ausschließlich aus den Reingas-, nicht jedoch aus den Rohgasproben kultiviert werden. Biologische ARA können unter bestimmten Voraussetzungen also auch selbst als Emittenten von Mikroorganismen fungieren. Da dies jedoch nicht ausschließlich auf das Vorliegen des nicht ordnungsgemäßen Betriebs der ARA zurückzuführen war, bleibt dieses auch schon früher sporadisch beobachtete Phänomen künftig näher zu klären. Dabei sollten die Stallbedingungen und Betriebszustände noch stärker im Detail untersucht werden, unter denen es zu erhöhten Keimemissionen aus den ARA kommt.

Diese Erkenntnisse dieser Untersuchungen sind dennoch schon jetzt für die Anlagenhersteller von hohem Nutzen und weisen auf Schwachstellen bei den Betriebszuständen hin, die künftig noch konsequenter abgestellt werden müssen. Dies wird die Wettbewerbsfähigkeit und den Absatz von ARA in der Tierproduktion zu erhöhen helfen.

Es erscheint angebracht, die Abscheideleistung für Keime als Prüfkriterium in das Zertifizierungssystem für ARA der DLG aufzunehmen. Dies dürfte auch die Akzeptanz solcher Anlagen bei den Landwirten erhöhen. Die Expertise für die Keimprüfungen ist bei den einschlägig arbeitenden Projektteilnehmern vorhanden.

Insgesamt sind diese Ergebnisse für die Behörden von großem Wert, da nun mit dem wirksamen Instrument der ARA ihnen bei der Prüfung von Anträgen z. B. für Stallneubauten ein größerer Spielraum gegeben wird, wenn es um die Reduktion von Bioaerosolemissionen und –immissionen geht.

3.2 Chemisch-physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht des IAB; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen Instituts, Braunschweig

Arbeitspaket 5 - Wasseranalytik des Prozesswassers; Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der ARA und Anlagendokumentation

3.2.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA

3.2.1.1 Allgemeiner Anlagenzustand

Die ARA machte bei allen Beprobungen insgesamt einen guten Eindruck (Abbildungen 19 bis 29).



Abbildung 19. Blick auf die Filterwand 1 mit laufender Vorbedüsung (02.03.2010)



Abbildung 20. Blick auf die Filterwand 1 mit laufender Vorbedüsung (25.05.2010)



Abbildung 21. Blick auf die Filterwand 1 mit laufender Vorbedüsung (24.08.2010)



Abbildung 22. Blick in den Zwischenraum der Filterwand 1 (im Bild rechts) und der Filterwand 2 (im Bild links) (02.03.2010)



Abbildung 23. Blick in den Zwischenraum der Filterwand 1 (im Bild rechts) mit leichter Schaumbildung und der Filterwand 2 (im Bild links) (25.05.2010)



Abbildung 24. Blick in den Zwischenraum der Filterwand 1 (im Bild rechts) mit leichter Schaumbildung und der Filterwand 2 (im Bild links) (24.08.2010)



Abbildung 25. Blick in der Zwischenraum der Filterwand 2 (im Bild rechts) und der Biofilterwand (im Bild links) (02.03.2010)

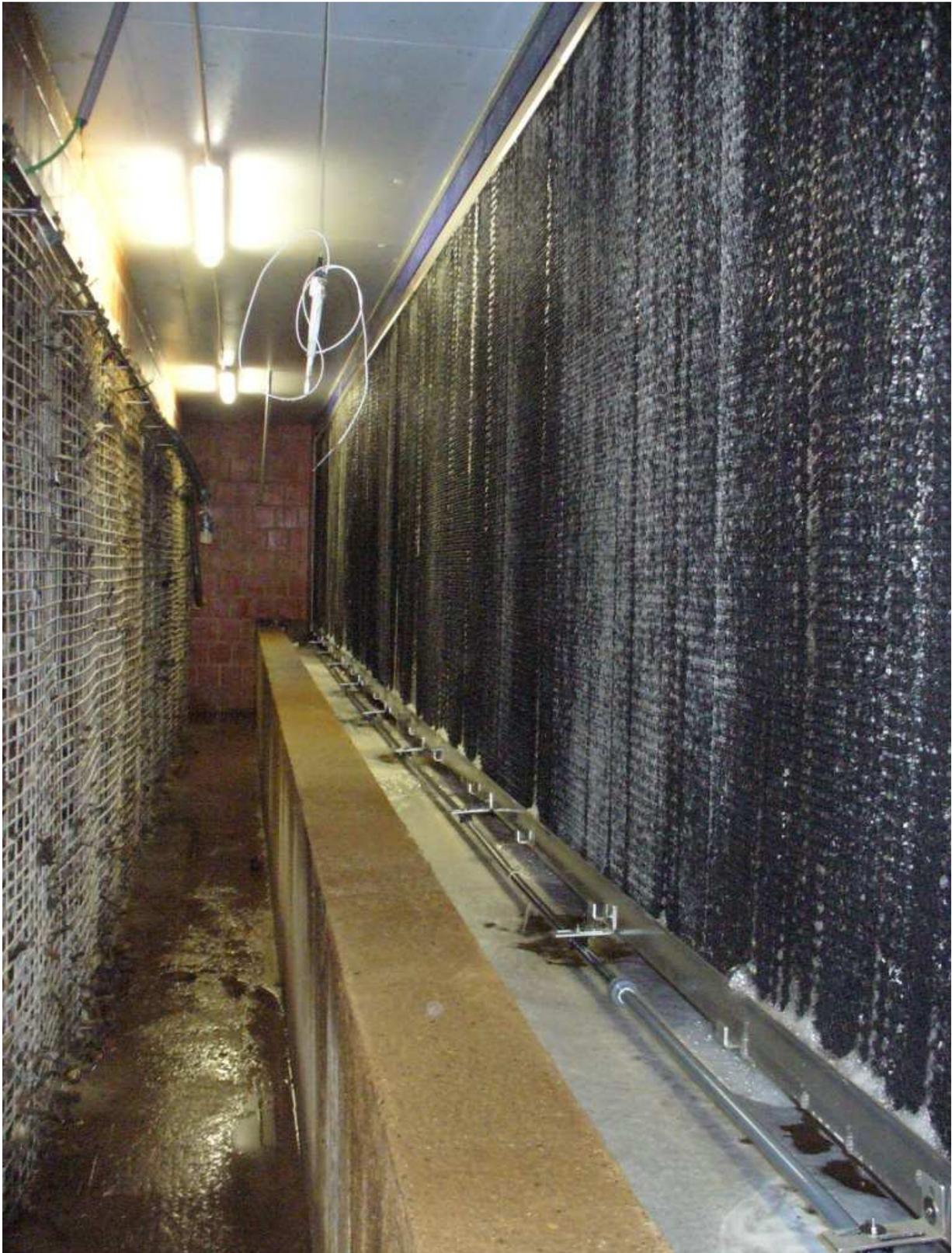


Abbildung 26. Blick in den Zwischenraum zwischen Filterwand 2 (im Bild rechts) und Biofilterwand (im Bild links) (25.05.2010)



Abbildung 27. Blick in den Zwischenraum zwischen Filterwand 2 (im Bild rechts) und Biofilterwand (im Bild links) (24.08.2010)



Abbildung 28. Blick auf die Reinluftseite des Biofilters (31.08.2010)



Abbildung 29. Blick auf die Reinluftseite des Biofilters in einem Segment mit erkennbaren und stark variierenden „Vergrünungen“ (25.05.2010)

Schwerwiegende technische Mängel, die die Funktionsfähigkeit der ARA infrage gestellt hätten, wurden bei den Messterminen nicht beobachtet. Auf kleinere Mängel (partielle Durchbrüche am Biofilter im Bereich der Streben) wurde der Anlagenhersteller aufmerksam gemacht.

Die Vorbedüsung der Waschwand 1 funktionierte bei allen Beprobungen hervorragend.

Zwischenzeitlich, wie am 25.05.2010 auch dokumentiert, traten leichte Schaumbildungen in dem Wasserbecken 1 (Abbildung 23) und im Wasserbecken 2 (Abbildung 26) auf, die jedoch keinen Einfluss auf die Funktionssicherheit der Anlage hatten.

Neben der bereits im März festgestellten „Vergrünung“ der Biostufe, die auch bis zum 25.05.2010 angehalten hat, war auch eine zunehmende Differenzierung des Biofiltermaterials zu beobachten (Abbildung 29).



Abbildung 30. Blick auf Frostschäden an den Ziegelwänden (16.03.2010) sowie auf die Waschstufe 2 mit erkennbarer Betonkorrosion (24.08.2010)

Allerdings wurden im Zuge der Messungen einige bauliche Mängel an der ARA festgestellt (Abbildung 30). Die verbauten „Agrarziegel“ haben offensichtlich eine hohe Wasseraufnahme, die bei Frost zu entsprechenden Brüchen führt. Ferner ist die Säurefestigkeit des Betons, der in der Waschstufe 2 verbaut wurde, offensichtlich nicht ausreichend.

3.2.1.2 Analysenergebnisse

Der Betrieb der dreistufigen ARA war gekennzeichnet von einem viermaligen Waschwasserwechsel im Jahr. Zwischen diesen Intervallen stiegen die Konzentrationen an Inhaltsstoffen im Waschwasser im Regelfall an. Es wurden insgesamt drei Zyklen mit den Waschstufen 1 und 2 beprobt. Die Analysenergebnisse der Beprobungen sind umfangreich in den Tabellen 9 bis 14 zusammengefasst. Auf wesentliche Ergebnisse wird im Folgenden näher eingegangen (Abbildungen 31 bis 45).

In der Waschstufe 1 soll vor allem Staub, aber auch Ammoniak (NH_3) abgeschieden werden und möglichst nitrifiziert werden. Hierdurch erfolgt eine Absenkung des pH-Wertes und somit wiederum eine Verbesserung der Ammoniakabscheidung.

Die Abbildungen 31, 36 und 41 zeigen, dass der pH-Wert sich in der Waschstufe 1 um den Neutralpunkt (pH 7) einpendelte. Durch Einsetzen der Nitrifikation fiel dieser im Regelfall von ca. 8 zu Beginn des Zyklus auf pH 7 gegen Ende des Zyklus. Durch die pH-Wertabsenkung und die damit steigende NH_3 -Abscheidung war mit einem Anstieg der Leitfähigkeit im Waschwasser zu rechnen. Wie die Abbildungen 31, 36 und 41 bestätigen, trat im Regelfall ein Anstieg der Leitfähigkeit ein. Allerdings wurde in den Zyklen 1 und 3 gegen Ende wiederum eine Abnahme der Leitfähigkeit gemessen, im Zyklus 2 trat dieses Phänomen bereits während des Zyklus auf.

In der Waschstufe 2, die über die Dosierung von Schwefelsäure auf einen $\text{pH} < 5$ gehalten werden soll, wird die erforderliche NH_3 -Abscheidung des Gesamtverfahrens sichergestellt.

Die Abbildungen 32, 37 und 42 zeigen, dass der pH-Wert im Regelfall deutlich unter pH 5 lag. Lediglich nach dem Wasserwechsel dauerte es eine Weile, bis die Säuredosierung den erforderlichen pH-Wert erreichte. Die Leitfähigkeit in der Waschstufe 2 stieg bei allen Zyklen erwartungsgemäß und deutlich an und erreichte Werte von über 120 mS/cm. Diese Ergebnisse belegen, dass in der ersten Waschstufe nur eine Teilreinigung erreicht wurde und die Anforderungen an eine ausreichende NH_3 -Abscheidung nur durch Betrieb beider Waschwände mit den entsprechenden pH-Werten erzielt werden konnten.

Wie die Abbildungen 33, 38 und 43 bestätigen, fand in allen drei Zyklen in der Waschstufe 1 eine Nitrifikation statt. Abgesehen von dem eher untypischen Verlauf in Zyklus 3 wurde deutlich mehr $\text{NO}_2\text{-N}$ als $\text{NO}_3\text{-N}$ gebildet. Es wurden $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen von bis zu 4780 mg/l gemessen (Zyklus 2).

In der Waschstufe 2 wurde aufgrund des niedrigen pH-Wertes erwartungsgemäß keine relevante Nitrifikation festgestellt (Abbildungen 34, 39 und 44). Es ist wahrscheinlich, dass die geringen festgestellten $\text{NO}_2\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen eher auf Aerosolüberträge aus der Waschstufe 1 in die Waschstufe 2 zu erklären sind.

Durch den Betrieb der dreistufigen ARA wurden im Zyklus 1 525,9 kg Stickstoff und im Zyklus 2 380,5 kg Stickstoff abgeschieden (Abbildungen 35 und 40). Im Zyklus 3 wurden nochmals 447,5 kg Stickstoff abgeschieden (Abbildung 45), so dass die Gesamtabcheidung knapp 1354 kg Stickstoff ausmachte.

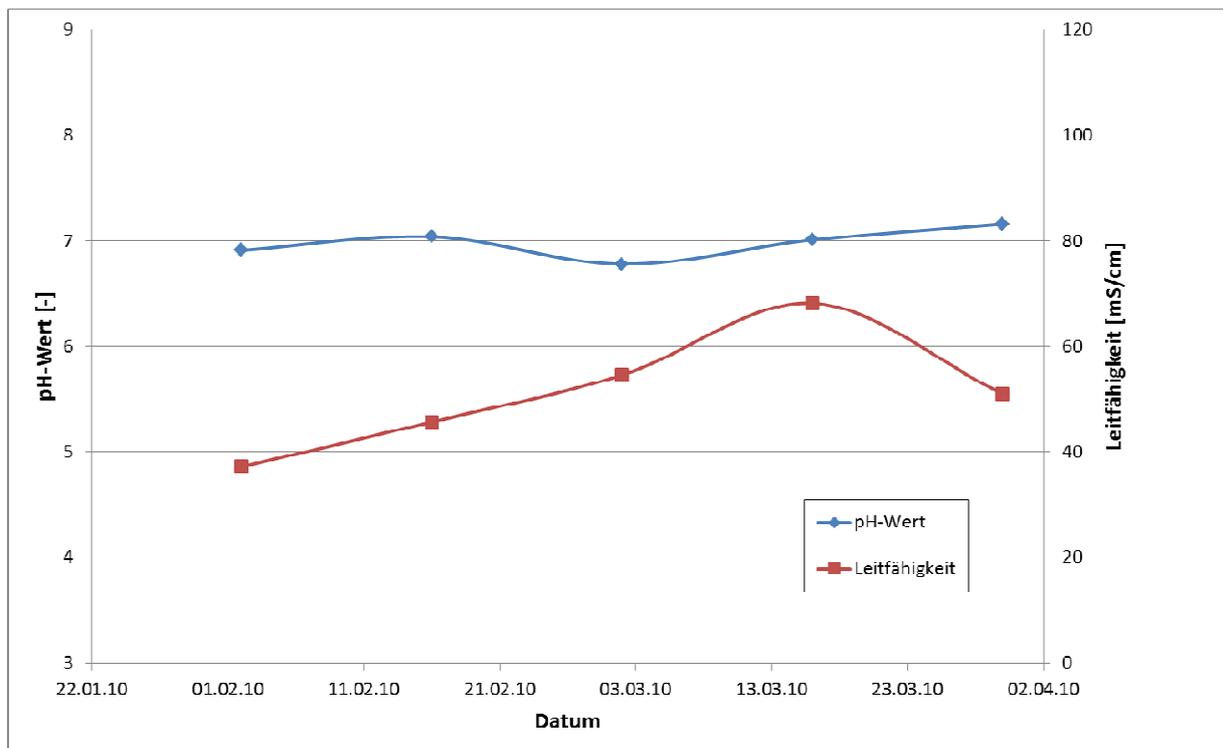


Abbildung 31. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 1, Zyklus 1

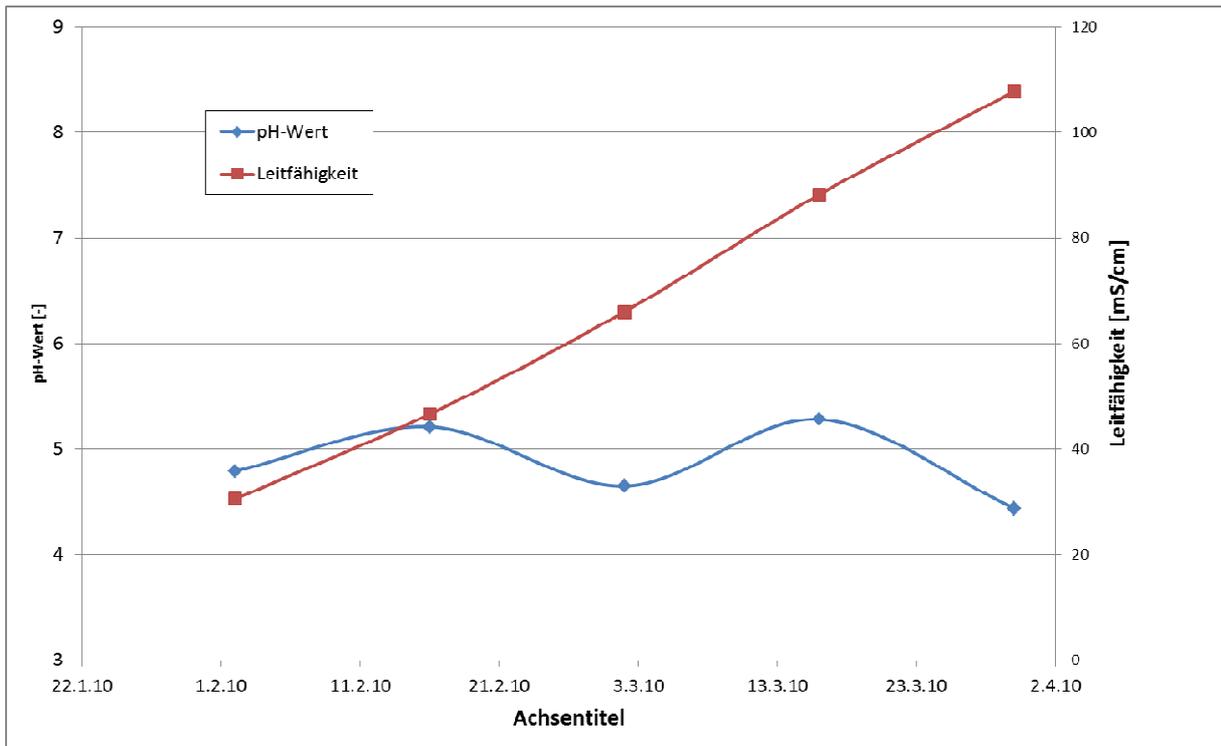


Abbildung 32. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 2, Zyklus 1

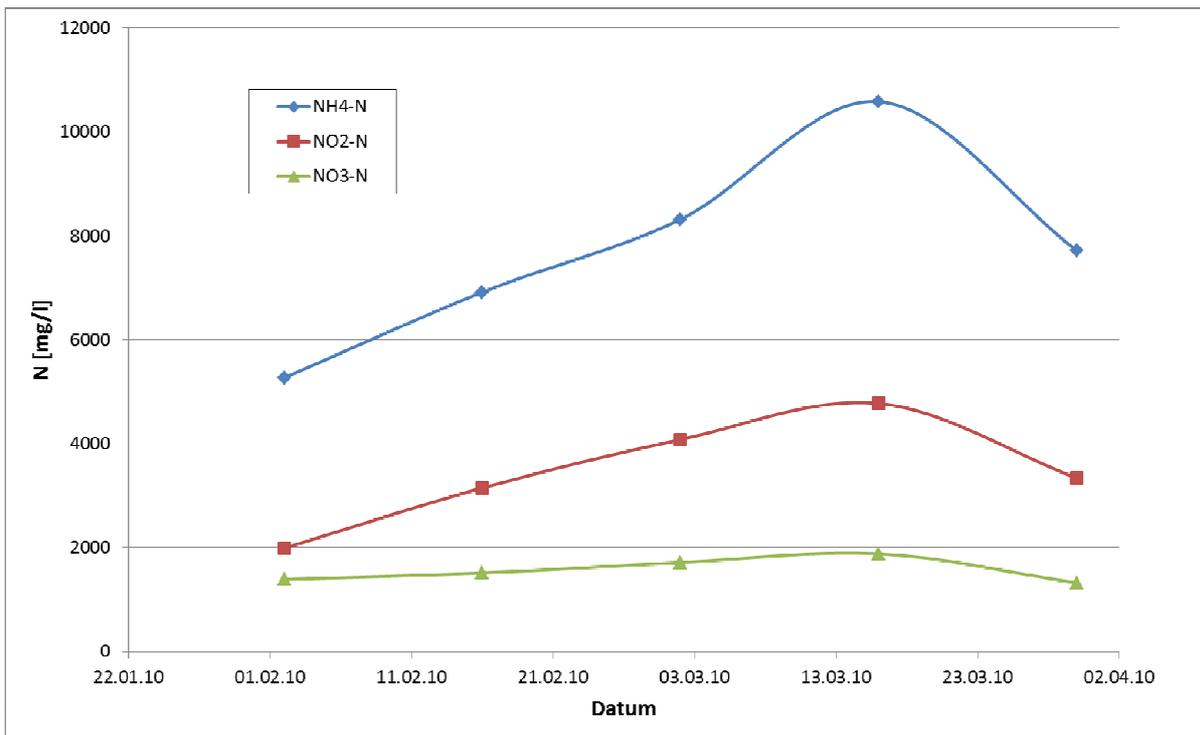


Abbildung 33. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 1, Zyklus 1

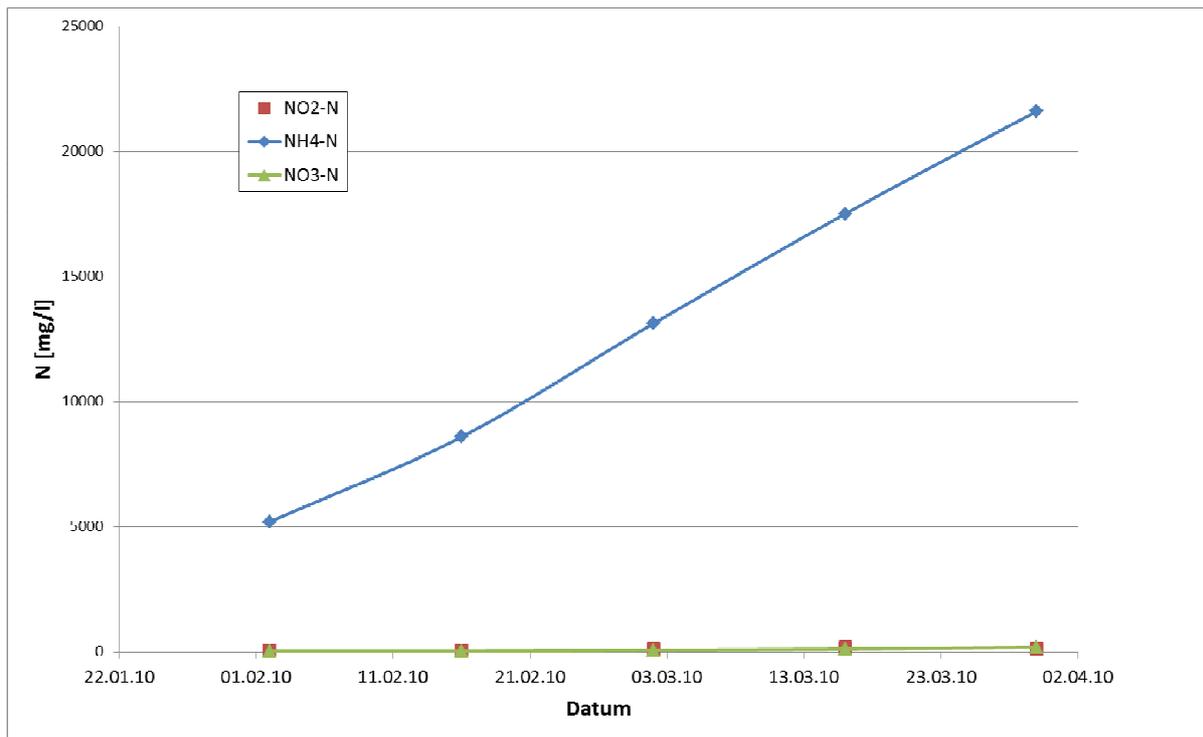


Abbildung 34. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 2, Zyklus 1

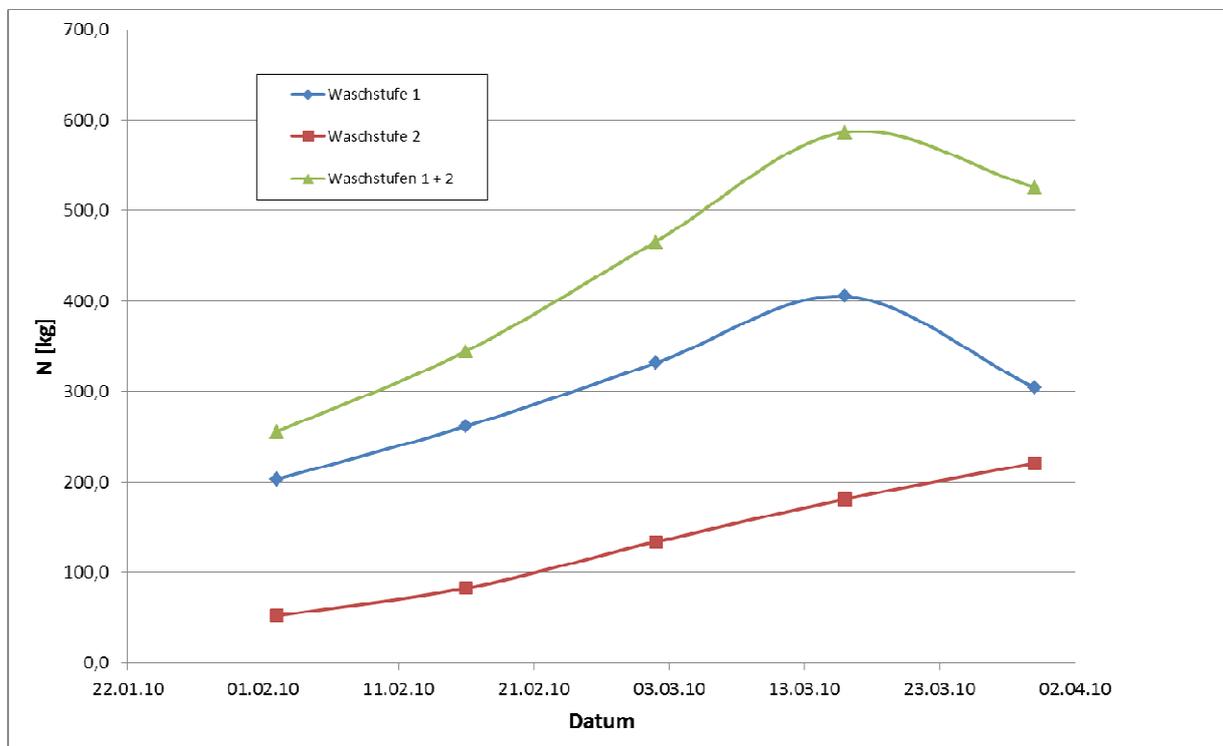


Abbildung 35. Stickstoffabscheidung der dreistufigen ARA im Zeitraum vom 02.02.2010 bis zum 30.03.2010, Zyklus 1

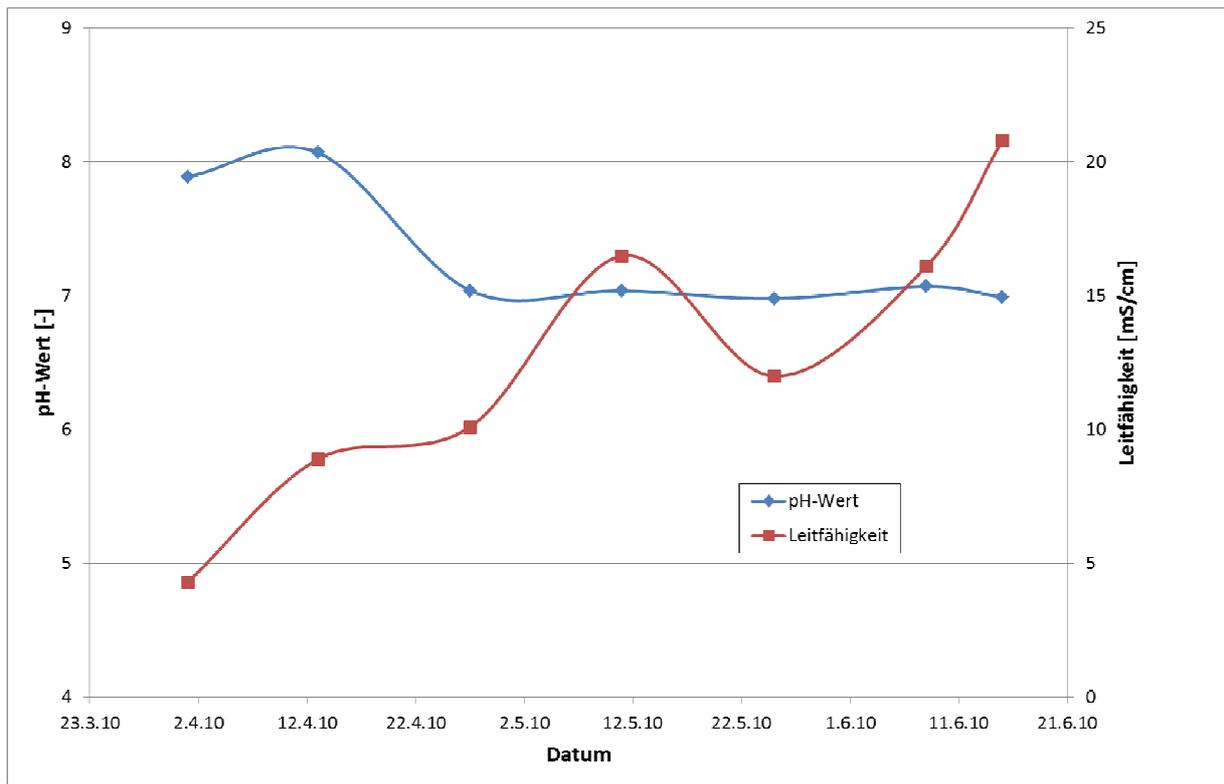


Abbildung 36. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 1, Zyklus 2

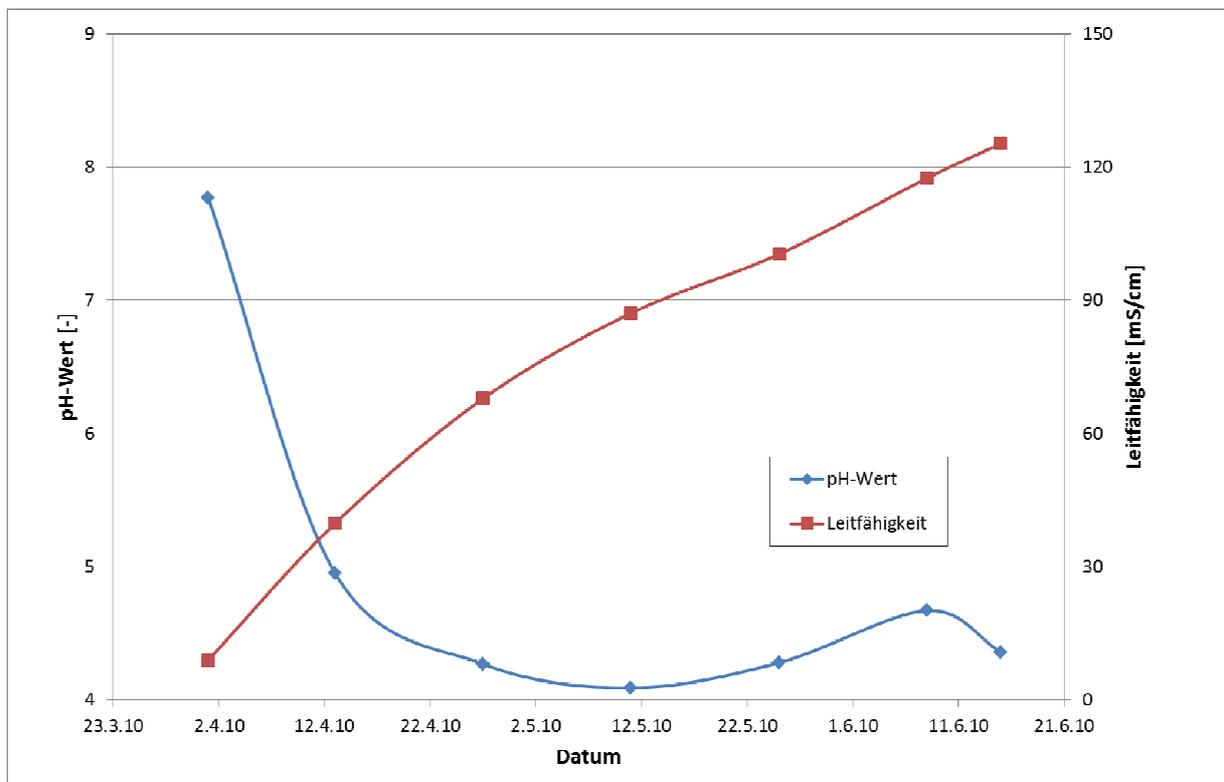


Abbildung 37. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 2, Zyklus 2

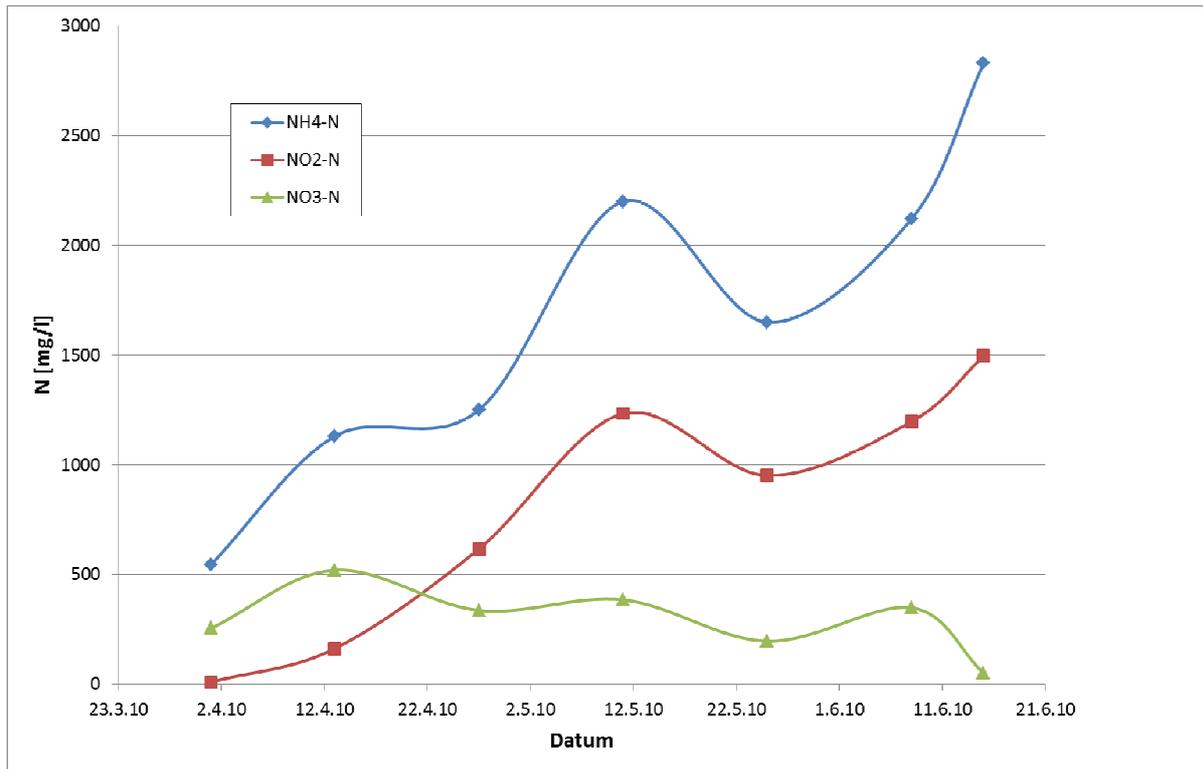


Abbildung 38. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 1, Zyklus 2

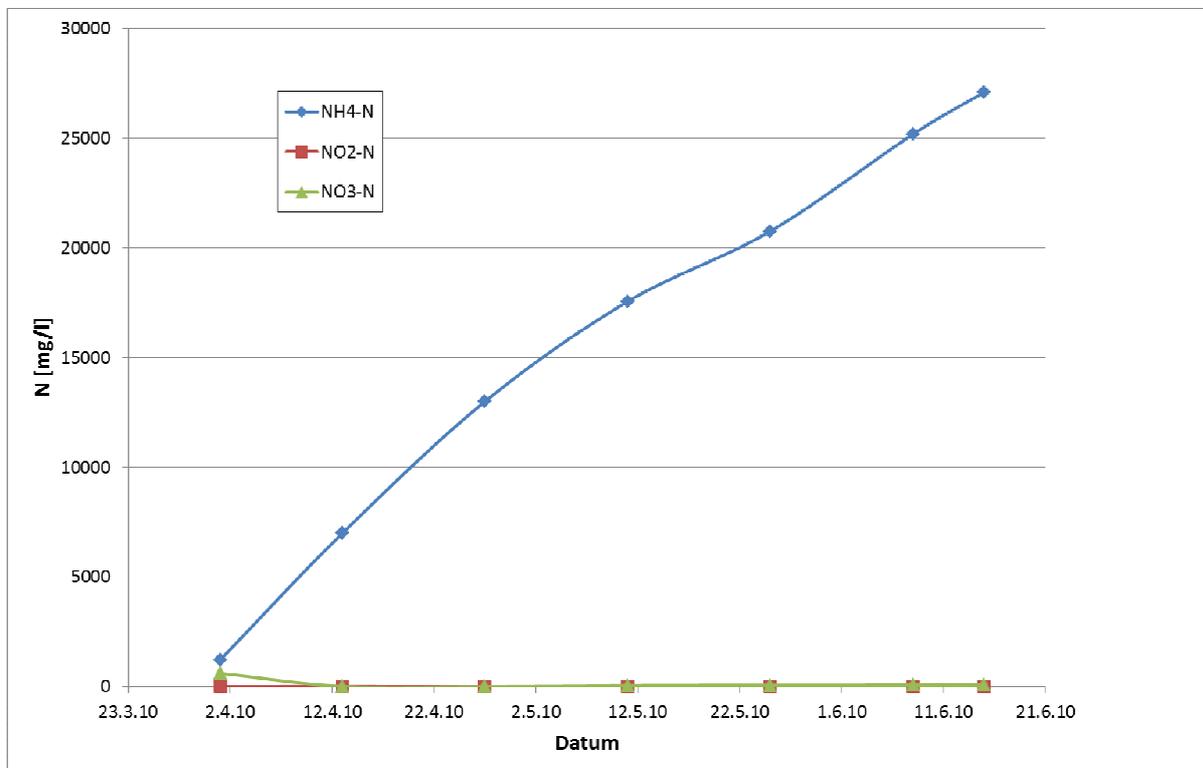


Abbildung 39. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 2, Zyklus 2

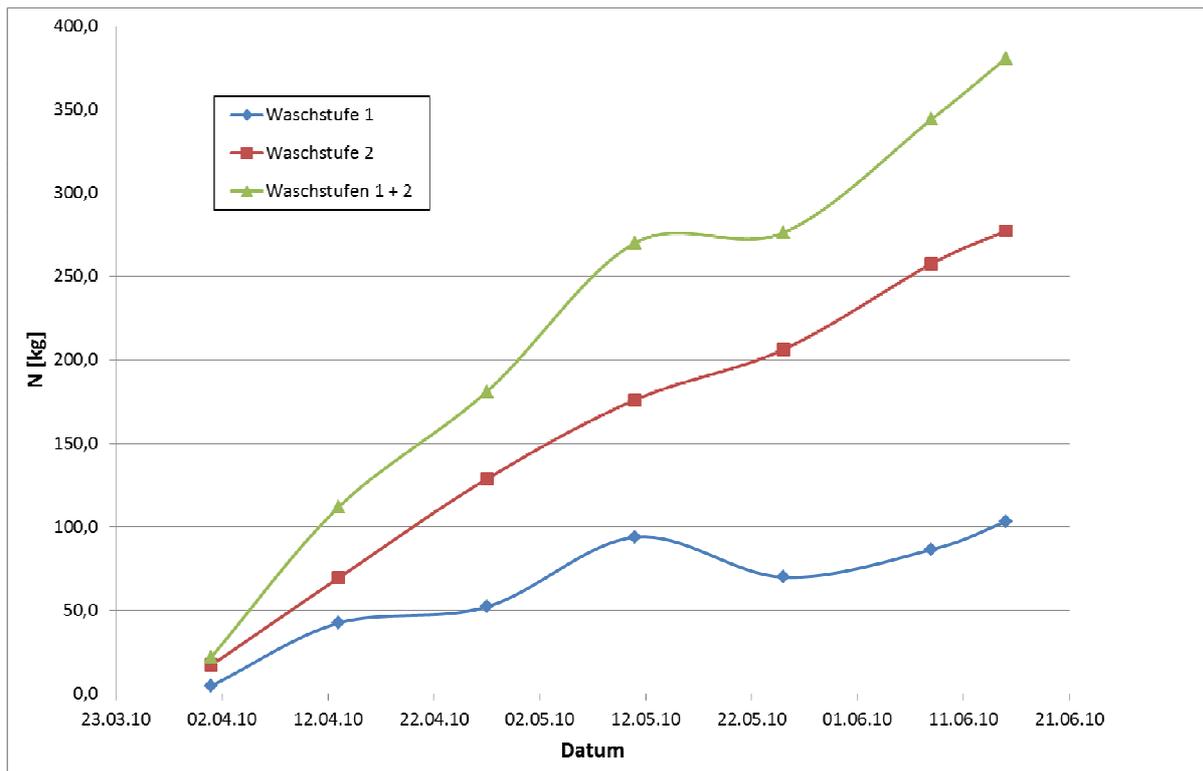


Abbildung 40. Stickstoffabscheidung der dreistufigen ARA im Zeitraum vom 01.04.2010 bis zum 15.06.2010, Zyklus 2

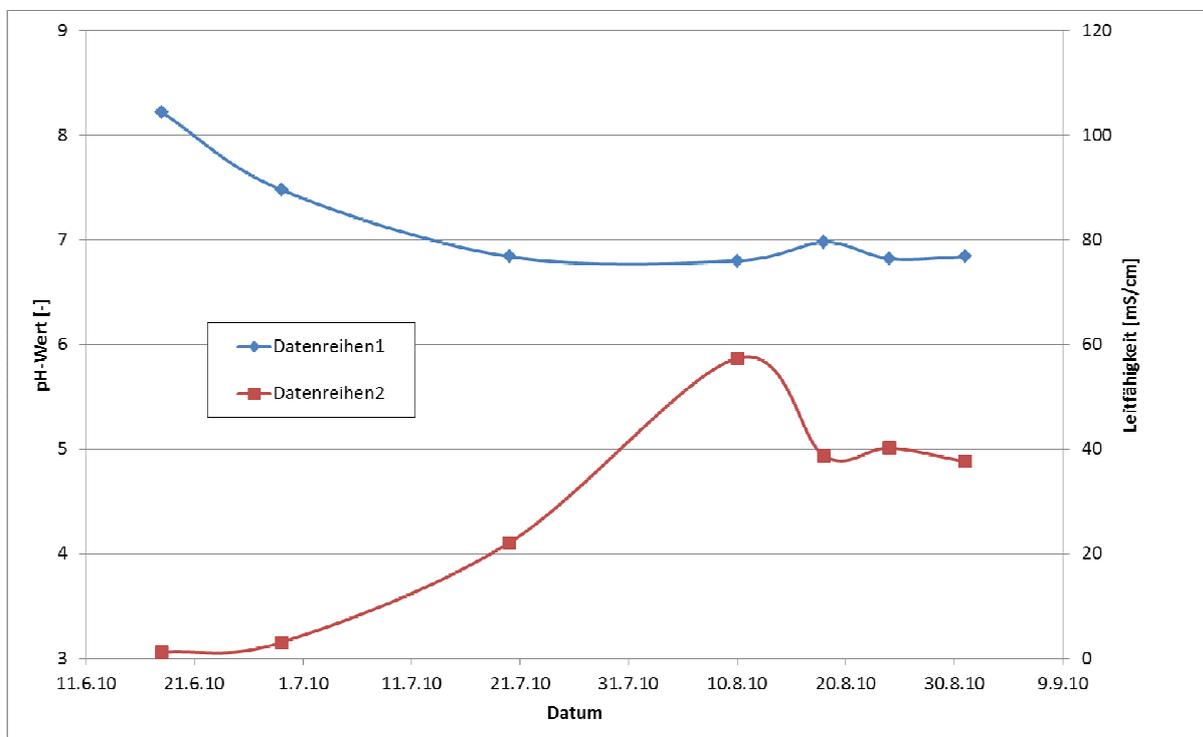


Abbildung 41. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 1, Zyklus 3

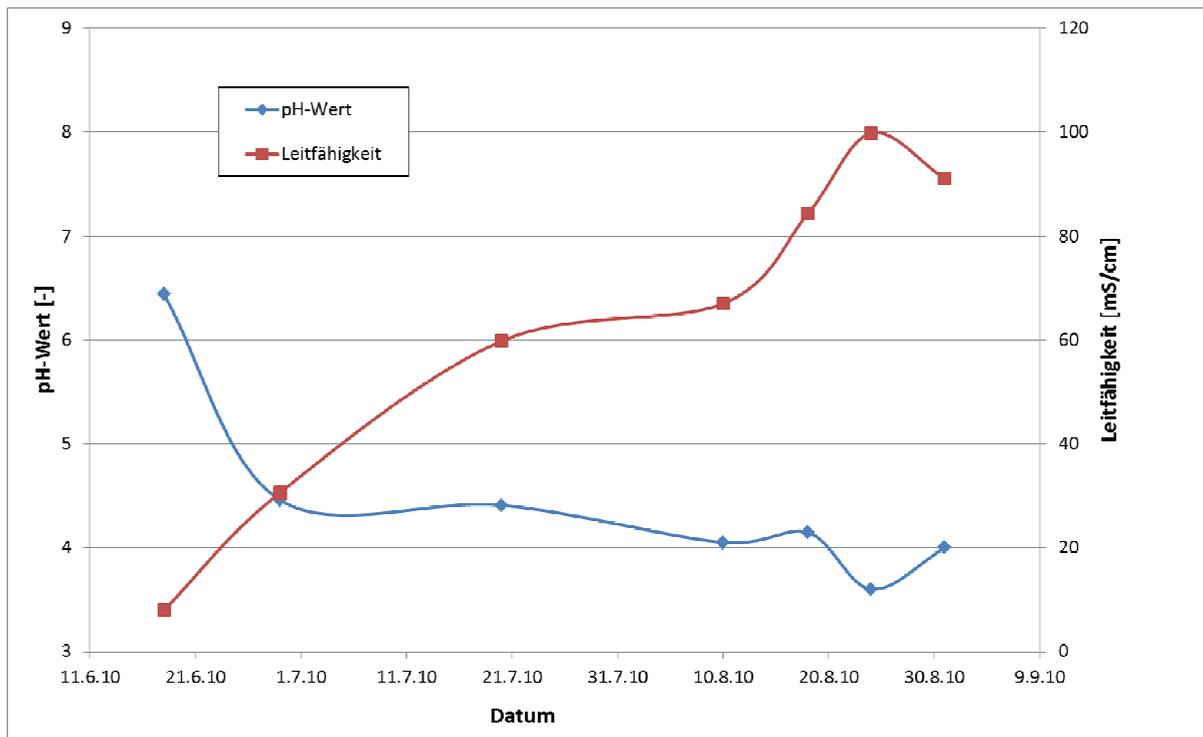


Abbildung 42. Verlauf von pH-Wert und Leitfähigkeit in der Waschstufe 2, Zyklus 3

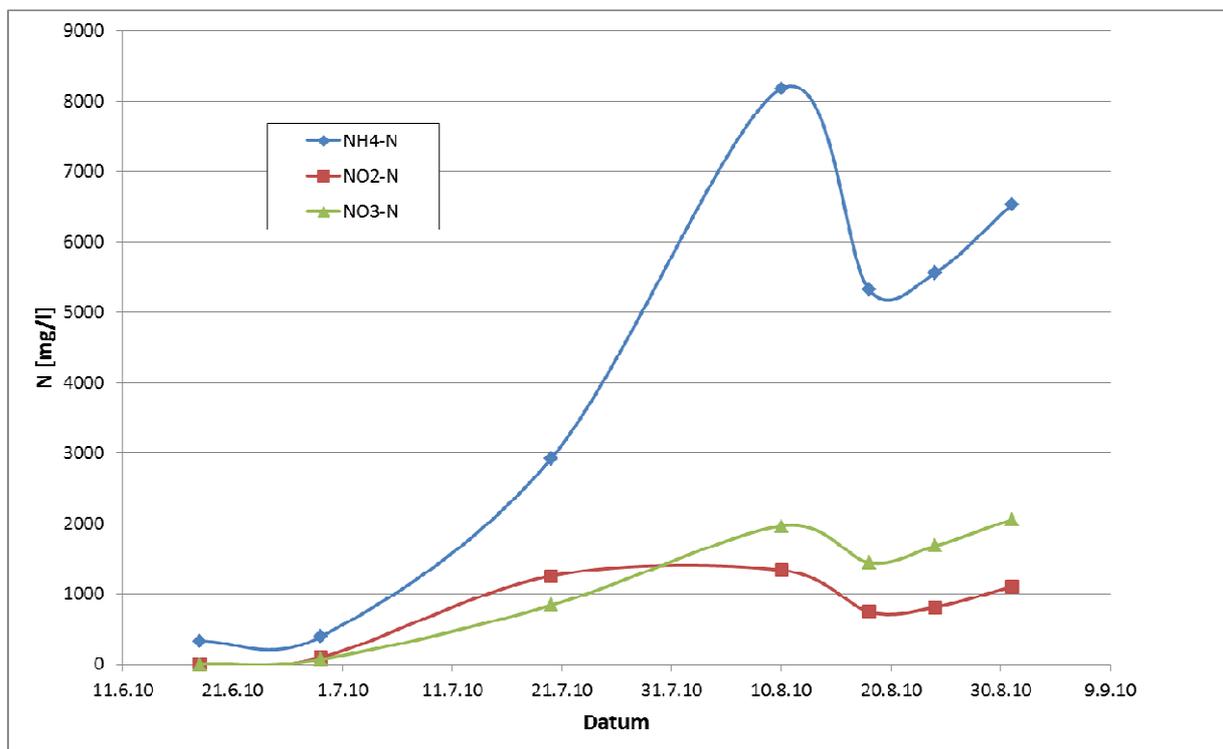


Abbildung 43. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 1, Zyklus 3

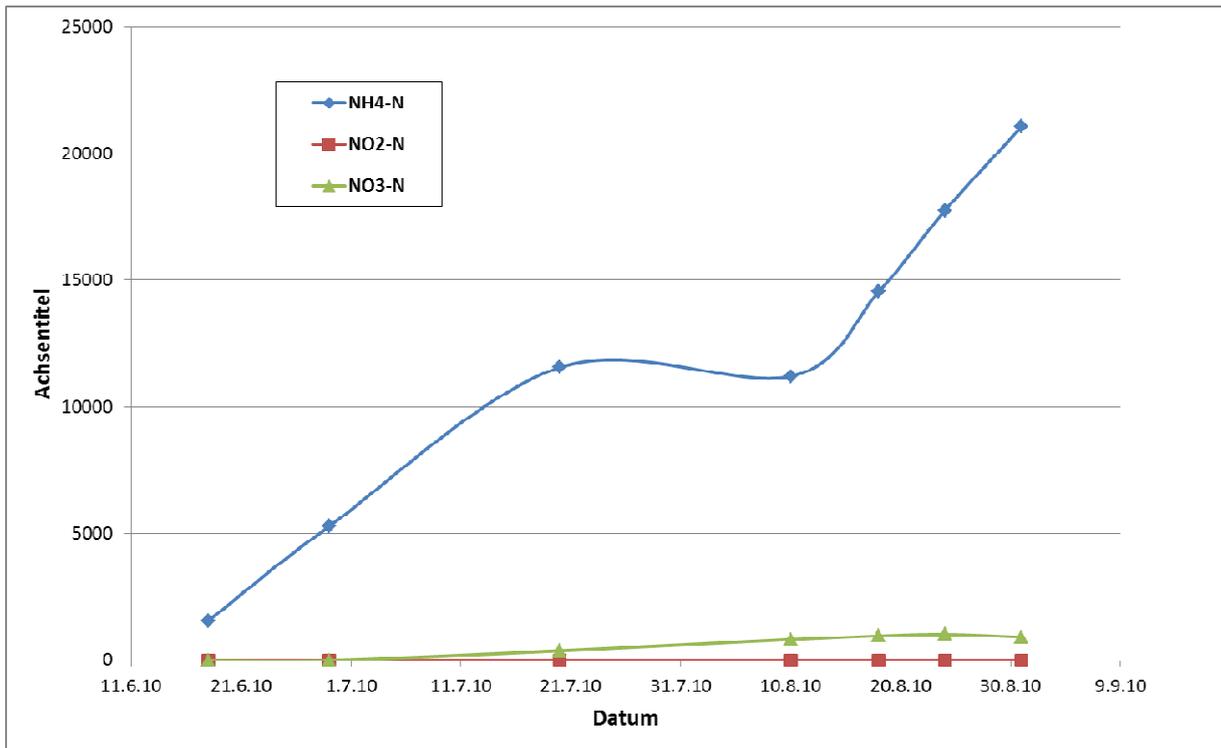


Abbildung 44. Konzentrationsverlauf der verschiedenen Stickstofffraktionen in der Waschstufe 2, Zyklus 3

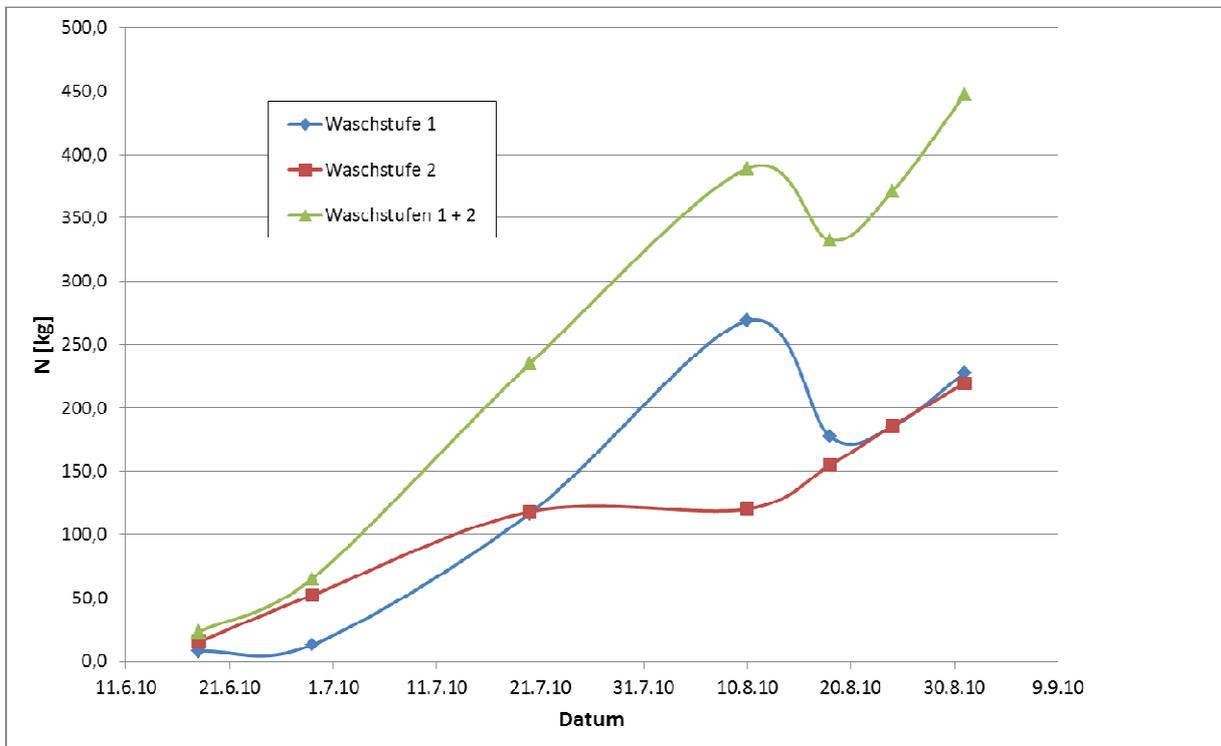


Abbildung 45. Stickstoffabscheidung der dreistufigen ARA im Zeitraum vom 18.06.2010 bis zum 31.08.2010, Zyklus 3

Tabelle 9. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 1, Zyklus 1

| Waschstufe 1 | Datum | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 02.02.10 | 16.02.10 | 02.03.10 | 16.03.10 | 30.03.10 |
| Parameter | | | | | |
| pH [-] | 6,91 | 7,04 | 6,78 | 7,01 | 7,16 |
| LF [mS/cm] | 37,2 | 45,7 | 54,6 | 68,2 | 51,0 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 7,5 | 4,7 | 4,0 | 8,4 | 5,2 |
| Wassertemperatur [°C] | 12,9 | 14,3 | 14,1 | 15,3 | 15,3 |
| Trockenrückstand [g/l] | 13,11 | 15,37 | 17,78 | 24,87 | 18,49 |
| CSB [mg/l] | 3810 | 5400 | 6750 | 8495 | 6325 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,106 | 0,179 | 0,15 | 0,586 | 0,53 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 10,1 | 11,8 | 17,0 | 5 | 0,9 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 5270 | 6920 | 8320 | 10590 | 7720 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 1992 | 3152 | 4082 | 4780 | 3340 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 1391 | 1516 | 1716 | 1895 | 1325 |
| Gesamt-P [mg/l] | 12,08 | 16,17 | 19,4 | 26,63 | 25,78 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0,207 | 0,294 | 0,823 | 0,258 | 0,308 |
| Sulfat [mg/l] | 2120 | 2940 | 5620 | 9910 | 7170 |

Tabelle 10. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 2, Zyklus 1

| Waschstufe 2 | Datum | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 02.02.10 | 16.02.10 | 02.03.10 | 16.03.10 | 30.03.10 |
| Parameter | | | | | |
| pH [-] | 4,79 | 5,21 | 4,65 | 5,28 | 4,44 |
| LF [mS/cm] | 30,5 | 46,6 | 66,0 | 88,2 | 107,7 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 8,9 | 8,8 | 9,1 | 8,4 | 5,4 |
| Wassertemperatur [°C] | 12,5 | 14,3 | 14,2 | 15,2 | 15,3 |
| Trockenrückstand [g/l] | 24,34 | 40,05 | 59,59 | 80,81 | 101,0 |
| CSB [mg/l] | 249 | 275 | 306 | 507 | 477 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,0015 | 0,0035 | 0 | 0,022 | 0,057 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 5190 | 8580 | 13110 | 17500 | 21600 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 40,7 | 36,9 | 98,6 | 170,0 | 129,0 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 27,7 | 23,9 | 63,6 | 103,0 | 170,0 |
| Gesamt-P [mg/l] | 0 | 0 | 0 | 1,62 | 3,11 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0,286 | 0,428 | 0,323 | 0,616 | 0,456 |
| Sulfat [mg/l] | 16300 | 30600 | 38850 | 43300 | 63900 |

Tabelle 11. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 1, Zyklus 2

| Waschstufe 1 | Datum | | | | | | |
|---|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter | 01.04.2010 | 13.04.2010 | 27.04.2010 | 11.05.2010 | 25.05.2010 | 08.06.2010 | 15.06.2010 |
| pH [-] | 7,89 | 8,07 | 7,04 | 7,04 | 6,98 | 7,07 | 6,99 |
| LF [mS/cm] | 4,3 | 8,9 | 10,1 | 16,5 | 12,0 | 16,1 | 20,8 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 5,2 | 7,0 | 2,9 | 7,6 | 6,9 | n. v. | n. v. |
| Wassertemperatur [°C] | 14,2 | 15,1 | 16,0 | 14,7 | 15,1 | n. v. | n. v. |
| Trockenrückstand [g/l] | 1,81 | 5,05 | 3,28 | 2,17 | 1,89 | 3,60 | 4,62 |
| CSB [mg/l] | 156,5 | 588,0 | 1145 | 2175 | 1810 | 1990 | 2610 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,025 | 0,004 | 0,004 | 0,0565 | 0,042 | 0,07 | 0,064 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 30 | 195 | 158 | 17 | 21,8 | 11,4 | 10,8 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 546 | 1130 | 1250 | 2200 | 1650 | 2120 | 2830 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 9,66 | 162,7 | 616,7 | 1233 | 951 | 1197 | 1495 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 255,4 | 520,7 | 336,4 | 385 | 196 | 349 | 50,4 |
| Gesamt-P [mg/l] | 0 | 2,82 | 2,33 | 4,2 | 4,13 | 6,55 | 10,09 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0 | 0,083 | 0,064 | 0,014 | 0,037 | 0,055 | 0,106 |
| Sulfat [mg/l] | 664 | 464 | 762 | 1130 | 404 | 1436 | 2440 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 12. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 2, Zyklus 2

| Waschstufe 2 | Datum | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter | 01.04.2010 | 13.04.2010 | 27.04.2010 | 11.05.2010 | 25.05.2010 | 08.06.2010 | 15.06.2010 |
| pH [-] | 7,77 | 4,95 | 4,27 | 4,09 | 4,28 | 4,67 | 4,36 |
| LF [mS/cm] | 9,0 | 39,8 | 67,9 | 87,1 | 100,4 | 117,5 | 125,3 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 4,3 | n. v. | 8,2 | 7,6 | 8,7 | n. v. | n. v. |
| Wassertemperatur [°C] | 12,9 | 15,3 | 17,4 | 14,9 | 14,3 | n. v. | n. v. |
| Trockenrückstand [g/l] | 5,57 | 33,9 | 62,0 | 81,0 | 114,9 | 117,2 | 125,3 |
| CSB [mg/l] | 271 | 187 | 170 | 267 | 258 | 324 | 372 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 1220 | 7000 | 13010 | 17560 | 20760 | 25180 | 27100 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 1,95 | 8,3 | 0 | 7,57 | 7,56 | 3,96 | 6,57 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 617,3 | 9,4 | 0,356 | 49,1 | 64,4 | 72,2 | 75,7 |
| Gesamt-P [mg/l] | 1,46 | 0 | 0,989 | 2,85 | n. v. | 7,63 | 8,78 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0,041 | 0,101 | 0,12 | 0,12 | n. v. | 1,34 | 7,37 |
| Sulfat [mg/l] | 1550 | 14750 | 27200 | 51100 | 62300 | 82000 | 87100 |
| pH [-] | 7,77 | 4,95 | 4,27 | 4,09 | 4,28 | 4,67 | 4,36 |
| LF [mS/cm] | 9,0 | 39,8 | 67,9 | 87,1 | 100,4 | 117,5 | 125,3 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 13. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 1, Zyklus 3

| Waschstufe 1 | Datum | | | | | | |
|---|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter | 18.06.2010 | 29.06.2010 | 20.07.2010 | 10.08.2010 | 18.08.2010 | 24.08.2010 | 31.08.2010 |
| pH [-] | 8,22 | 7,48 | 6,84 | 6,80 | 6,98 | 6,82 | 6,84 |
| LF [mS/cm] | 1,14 | 3,05 | 22,1 | 57,4 | 38,7 | 40,2 | 37,6 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 6,3 | 7,7 | 6,7 | 7,1 | 6,5 | n. v. | 1,1 |
| Wassertemperatur [°C] | 17,2 | 20,0 | 18,6 | 19,7 | 20,9 | 17,9 | 18,0 |
| Trockenrückstand [g/l] | 0,43 | 1,06 | 9,33 | 36,52 | 24,13 | 25,25 | 27,32 |
| CSB [mg/l] | 408 | 313 | 2123 | 2893 | 1923 | 2128 | 2435 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,036 | 0 | 0,086 | 0,154 | 0,248 | 0,22 | 0,15 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 26,0 | n. v. | 9,9 | 6,6 | 3,9 | 2,7 | 8,5 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 329 | 393 | 2920 | 8180 | 5320 | 5560 | 6530 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 3,18 | 96,2 | 1257 | 1340 | 748 | 812 | 1104 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 0,21 | 70,2 | 838 | 1964 | 1446 | 1682 | 2058 |
| Gesamt-P [mg/l] | 0 | 0,315 | 9,55 | 20,24 | 13,45 | 15,53 | 17,05 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0,092 | 0,037 | 0,015 | 0,06 | 0,037 | 0,046 | 0,023 |
| Sulfat [mg/l] | 32,4 | 445,5 | 3360 | 19000 | 10600 | 10500 | 8450 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 14. Analysenergebnisse der Waschwasserszusammensetzung der dreistufigen ARA, Waschstufe 2, Zyklus 3

| Waschstufe 2 | Datum | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter | 18.06.2010 | 29.06.2010 | 20.07.2010 | 10.08.2010 | 18.08.2010 | 24.08.2010 | 31.08.2010 |
| pH [-] | 6,44 | 4,46 | 4,41 | 4,05 | 4,15 | 3,6 | 4,0 |
| LF [mS/cm] | 7,98 | 30,6 | 59,8 | 67,0 | 84,3 | 99,8 | 91,0 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 6,6 | 7,0 | 8,3 | 8,9 | 8,8 | n. v. | 6,4 |
| Wassertemperatur [°C] | 17,0 | 20,2 | 18,8 | 20,0 | 21,1 | 17,7 | 18,3 |
| Trockenrückstand [g/l] | 5,64 | 25,23 | 53,1 | 52,22 | 67,97 | 83,95 | 97,56 |
| CSB [mg/l] | 465 | 222 | 287 | 263 | 433 | 268 | 256 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 1550 | 5280 | 11560 | 11200 | 14550 | 17740 | 21060 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 0 | 2,24 | 0 | 1,05 | 0 | 0 | 0 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 0,016 | 1,91 | 376 | 811 | 961 | 1022 | 915 |
| Gesamt-P [mg/l] | 5,51 | 2,32 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 0,354 | 0,225 | 0,239 | 0,253 | 0,552 | 2,32 | 0,58 |
| Sulfat [mg/l] | 3710 | 18400 | 18300 | 13300 | 29900 | 44400 | 59500 |

n. v.: nicht verfügbar

Wie die Tabellen 9, 11 und 13 zeigen, lag die Konzentration an gelöstem Sauerstoff im Wasser der Waschstufe 1 zwischen 1,1 und 8,4 mg/l. Ein für die Nitrifikation hemmend wirkender Sauerstoffmangel wurde nicht gemessen.

Die Wassertemperatur in der Waschstufe 1 lag zwischen 12,9 und 20,9 °C. Diese Temperaturen sind für eine Nitrifikation völlig ausreichend.

Der Trockenrückstand (TR) des Waschwassers der Waschstufe 1 korrespondierte recht gut mit der Sulfatkonzentration. Die teilweise recht hohen Sulfatkonzentrationen stammten nicht aus dem Frischwasser sondern können nur mit dem Aerosol- bzw. Wasseraustrag aus der Waschstufe 2 erklärt werden. Dieser wurde über eine Leitung wieder in die Waschstufe 1 zurückgeführt. In der Waschstufe 1 wurden bis zu 19.000 mg/l Sulfat nachgewiesen.

Die CSB-Konzentrationen wurden in erheblichem Umfang durch die NO₂-N-Konzentrationen bedingt, da Nitrit durch Chromschwefelsäure oxidiert wird.

Die Sauerstoffzehrung in der Waschstufe 1 bewegte sich zwischen 0,9 und 195 mg O₂/(g TS h) und zeigte somit erhebliche Schwankungen, die nicht mithilfe einzelner Einflussgrößen (wie NO₂-N-Konzentration) erklärt werden konnten. Bei der überwiegenden Zahl der Beprobungen war die O₂-Zehrung im Waschwasser mit weniger als 30 mg O₂/(g TS h) gering.

Wie die Analysen zeigen, lag im Beprobungszeitraum kein Mangel an Phosphor im Waschwasser vor. Auch die Gesamteisen-Konzentrationen waren eher gering.

Die Gelöstsauerstoff-Konzentrationen lagen in der Waschstufe 2 zwischen 5,4 und 9,1 mg/l, wie die Tabellen 10, 12 und 14 zeigen.

Die Wassertemperaturen in der Waschstufe 2 bewegten sich zwischen 12,5 und 21,1 °C und lagen damit in dem Bereich der Wassertemperaturen der Waschstufe 1.

Die TR-Konzentrationen ergaben sich im Wesentlichen aus der Sulfat- und der NH₄-N-Konzentration im Waschwasser der Stufe 2.

Mit 170 bis 507 mg/l lagen die CSB-Konzentrationen auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Dies ist vor allem auf das Fehlen relevanter NO₂-N-Konzentrationen in der Waschstufe 2 zurückzuführen.

Das Frischwasser für die ARA wurde aufgrund eines hohen Eisengehaltes einer Wasseraufbereitung zugeführt. Die Analysen des Roh- und Reinwassers bestätigten, dass der Eisengehalt deutlich reduziert wurde (Tabelle 15).

Tabelle 15. Zusammensetzung des Roh- und Reinwassers der Frischwasseraufbereitungsanlage

| Parameter | Rohwasser | | | | Reinwasser | | | |
|---------------------------|-----------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|
| | 02.02. | 02.03. | 11.05. | 20.07. | 02.02. | 02.03. | 11.05. | 20.07. |
| pH-Wert [-] | 6,35 | 6,05 | 6,6 | 7,43 | 6,92 | 6,72 | 7,35 | 7,29 |
| Leitfähigkeit [mS/cm] | 0,16 | 0,18 | 0,25 | 0,34 | 0,38 | 0,37 | 0,388 | 0,35 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 0,769 | 0,581 | 0,317 | 0,804 | 0,202 | 0,207 | 0,25 | 0,276 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 0 | 0 | n. g. | 0 | 0 | 0 | n. g. | 0 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 0,49 | 0,056 | n. g. | 0,18 | 0,37 | 0,085 | n. g. | 0 |
| Sulfat [mg/l] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gesamt-P [mg/l] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gesamt-Eisen [mg/l] | 2,04 | 11,1 | 0,865 | 0,014 | 0 | 0,069 | 0,207 | 0 |

n. g. = nicht gemessen

3.2.1.3 Bewertung der Ergebnisse

Bei allen Beprobungsterminen arbeiteten die Waschstufen bestimmungsgemäß. Die Vorbedüsung machte generell einen sehr guten Eindruck. Auf der Reinluftseite des Biofilters war allerdings eine zunehmende Vergrünung zu beobachten. Ein geringer Stickstoffeintrag in den Biofilter ist zur Versorgung der Mikroorganismen auf dem Biofiltermaterial zwar wünschenswert, doch fördert ein übermäßiger Eintrag die schnellere Zersetzung des Filtermaterials und die mögliche Freisetzung sekundärer Spurengase. Die gleichmäßige Befeuchtung des Biofilters kann offensichtlich nicht ganz sichergestellt werden, wie u. a. der Vororttermin am 25.05.2010 zeigte.

Die ARA zeigte einige bauliche Mängel. Neben der Tatsache, dass die verbauten Ziegel eine zu hohe Wasseraufnahme zeigten und es damit bei Frosttemperaturen zu Frostbrüchen kam, war offensichtlich auch die Säurebeständigkeit des verwendeten Betons in der Waschstufe 2 nicht ausreichend. Die Wasserbecken sowie die wasserberührten Bauteile verfügten nicht über einen entsprechenden Schutzanstrich.

In den Waschstufen wurden erhebliche Massen an Stickstoff angereichert, die die Wirksamkeit der Abluftwäsche bestätigen. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass beide Stufen zur Abscheidung von Ammoniak unter den aktuellen Betriebsbedingungen erforderlich sind. Auf einen Säureeinsatz kann nicht verzichtet werden.

Die spezifische Sauerstoffzehrung des Waschwassers der Stufe 1 war vergleichsweise gering. Es ist daher anzunehmen, dass die Ammoniakoxidation ganz überwiegend direkt auf den Füllkörpern erfolgt. In der Waschstufe 1 fand in allen beprobten Zyklen eine nennenswerte Nitrifikation statt. Diese trug zur Verringerung des Säureverbrauches in der Waschstufe 2 bei.

Hohe Sulfatkonzentrationen in der Waschstufe 1 sowie teils erhebliche Konzentrationen an Nitrit und Nitrat in der Waschstufe 2 zeigen, dass die Waschstufen nicht vollständig getrennt betrieben worden sind. Offensichtlich ist sulfathaltiges Wasser aus der Waschstufe 2 in die Waschstufe 1, möglicherweise über den Bodenablauf zwischen der Wasserstufe 2 und dem Biofilter, gelangt. Dies kann zu einem unnötigen Mehrverbrauch an Säure führen. Ferner ist Waschwasser aus der Waschstufe 1 in die Waschstufe 2 gelangt. Anders sind die Nitrit- und Nitratbefunde in dieser Stufe nicht zu erklären. Hier ist auch ein Aerosolübertrag aus der Füllkörperwand 1 in die Füllkörperwand 2 denkbar. Für eine optimale Abluftreinigung wäre die vollständige Trennung der beiden Verfahrensstufen wünschenswert.

Bei vielen Beprobungsterminen wurde ein starker Aerosolnebel im Vorraum der Waschstufe 1 beobachtet, der auf eine nicht optimale Luftführung hinweist (Abbildungen 20 und 21).

Das Frischwasser wird einer Enteisung zugeführt, die wirksam funktioniert. Das Reinwasser der Enteisungsanlage weist Gesamteisengehalte von $< 0,21$ mg/l auf. Es dient zum Ausgleich der Verdunstungsverluste und des mit der Abschlammung abgepumpten Wasservolumens. Es enthält praktisch kein Sulfat.

3.2.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor

3.2.2.1 Allgemeiner Anlagenzustand

Bei den insgesamt 19 Vorortterminen machte der Rieselbettreaktor aus wasser- und abwassertechnischer Sicht insgesamt einen guten Eindruck. Die anfallenden Staubfrachten an der Anlage waren allerdings nicht unerheblich, wie die Ablagerungen in den Abteilabsaugungen und im Sammelkanal zeigten (Abbildung 46).



Abbildung 46. Staubablagerungen in einer Abteilabsaugung (links) sowie im Sammelkanal (rechts)

Die aus fünf Ventilatoren bestehende Lüftungsanlage war bei jedem Vororttermin in Betrieb (Abbildung 47). Die Vorbedüsung (Abbildung 48) soll vor allem den Eintrag von Staub in die unteren Bereiche der Füllkörperpackung reduzieren und darüber hinaus auch eine Vorbefeuchtung des Rohgases bewirken. Für diese Aufgaben war die installierte Vorbedüsung jedoch nicht optimal geeignet, da keine Feinverdüsung des Wassers erfolgte und oft zu wenig Wasser versprüht wurde. Der Durchfluss der Vorbedüsung schwankte zwischen den einzelnen Beprobungen erheblich.

Die Druckkammer vor Eintritt in die Füllkörperpackung war ausreichend groß dimensioniert, so dass eine gleichmäßige Anströmung der Austauschflächen möglich war und keine, auch nicht örtlich begrenzte, Trockenzonen auftraten (Abbildung 49). Das Wasserverteilsystem war bei allen Beprobungen in Funktion (Abbildung 50). Bei den Beprobungen wurde ein deutlicher Biofilm auf den Füllkörpern festgestellt (Abbildung 50, rechts).

Der Tropfenabscheider (Abbildung 51, links) zeigte unterseits einen ausgeprägten Biofilm, der an der Oberseite nicht mehr nachzuweisen war. Dies dürfte auf die

zwischenzeitliche, oberseitige Austrocknung des Tropfenabscheiders sowie auf die Sonneneinstrahlung zurückzuführen sein (Abbildung 51, rechts).



Abbildung 47. Blick auf das Messgasrohr für die Rohgasbeprobung sowie auf die Ventilatoren



Abbildung 48. Blick auf die Vorbedüsung an verschiedenen Messtagen



Abbildung 49. Blick auf die Unterseite der Füllkörperpackung mit der Rücklauf-Sammelleitung



Abbildung 50. Blick auf die Oberseite der Füllkörperpackung mit Wasserverteilsystem (links) und einem schräg gestellten Füllkörperpaket mit ausgebildetem Biofilm (rechts)

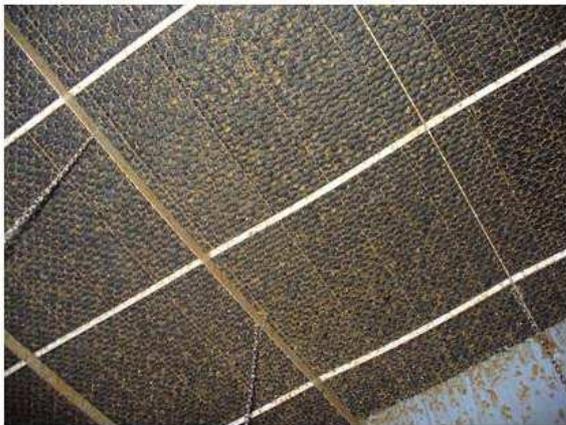


Abbildung 51. Blick auf die Unterseite des Tropfenabscheiders (links) sowie auf die Seite und Oberseite eines ausgebauten Tropfenabscheider-Elementes (rechts)

3.2.2.2 Analysenergebnisse

Der Betrieb des einstufigen Rieselbettreaktors erfolgt im Gegensatz zu der dreistufigen ARA mit einer kontinuierlichen Abschlämzung, die über die Leitfähigkeit gesteuert wird.

Der Verlauf des pH-Wertes an den verschiedenen Messpunkten des Rieselbettreaktors ist in Abbildung 52 dargestellt. In der Vorbedüsung war der pH-Wert aufgrund der Absorption von NH_3 , verbunden mit der Freisetzung von Hydroxid, leicht erhöht. Dies entspricht durchaus einem ordnungsgemäßen Betrieb. Aufgrund der hohen Ammoniakbelastung aus dem Stall, die unter Sommerbedingungen zur Akkumulation von Nitrit im Waschwasser führt, soll der pH-Wert im Waschwasser zwischen 6,5 und 7 gehalten werden. Wie die

Abbildung 52 zeigt, wurde an einer Reihe von Beprobungstagen vor allem der für die Freisetzung von Stickoxiden relevante untere Wert von 6,5 unterschritten. Nur durch den Einsatz von erheblichen Mengen an Kalilauge konnten ab Oktober 2012 pH-Wertabsenkungen weitgehend vermieden werden. Der pH-Wert im Rücklauf der Füllkörperpackung sollte im Regelfall einen geringeren pH-Wert aufweisen als in der Druckleitung zur Füllkörperpackung. Dies beruht wiederum auf der Säurebildung in der Füllkörperpackung. Nur bei sehr hohen NH_3 -Frachten im Rohgas und geringen Rücklaufmengen kann sich das Verhältnis auch umkehren. Die Unterschiede zwischen den Messpunkten betragen im Maximum 0,74 pH-Einheiten.

Die Leitfähigkeit einstufiger Rieselbettreaktoren mit pH-Regelung sollte unter 20 mS/cm gehalten werden. Dies wurde, von einer Ausnahme am 07.08.2012 abgesehen, eingehalten (Abbildung 53). Es ist auffällig, dass an allen Messpunkten praktisch die gleichen Messwerte ermittelt wurden. Eine funktionssichere wassertechnische Trennung zwischen der Vorbedüsung und der eigentlichen Sumpfvorlage für die Berieselung der Füllkörper gab es nicht, obwohl die Stufen durch Abgrenzungen voneinander getrennt waren (s. Abbildung 48 jeweils linke Bildseite).

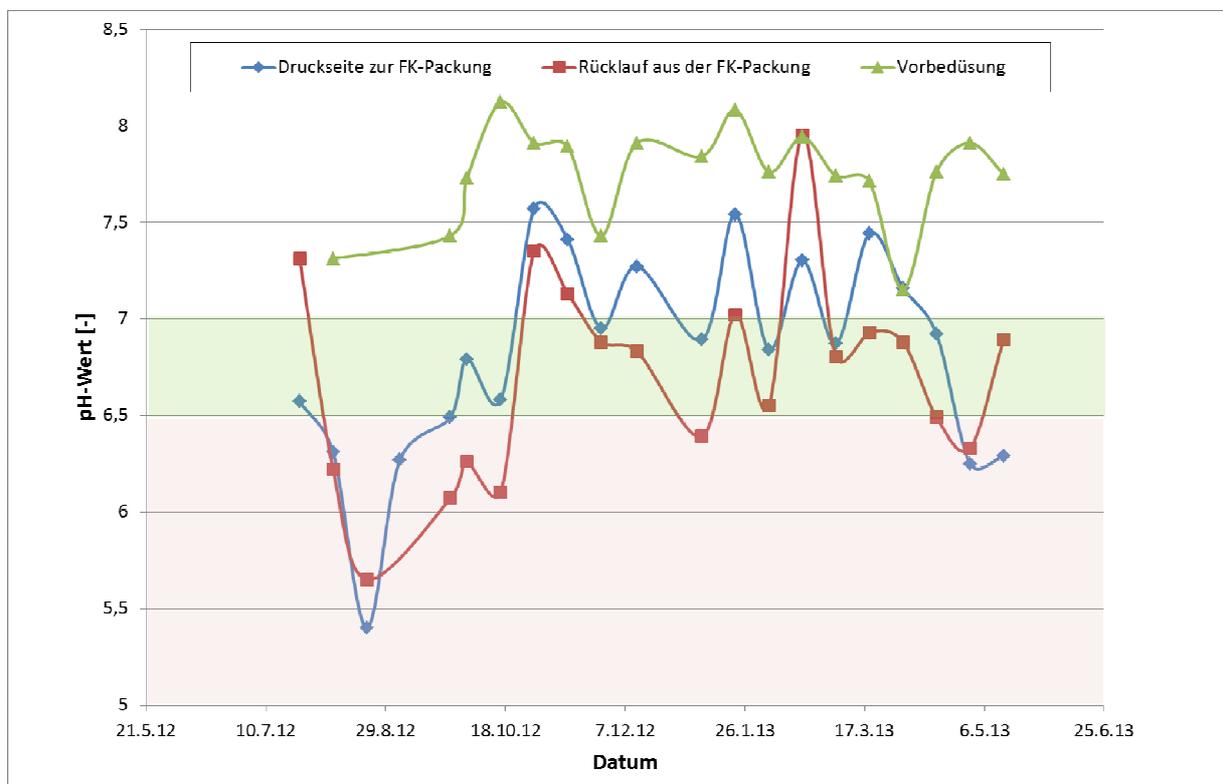


Abbildung 52. Verlauf des pH-Wertes an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

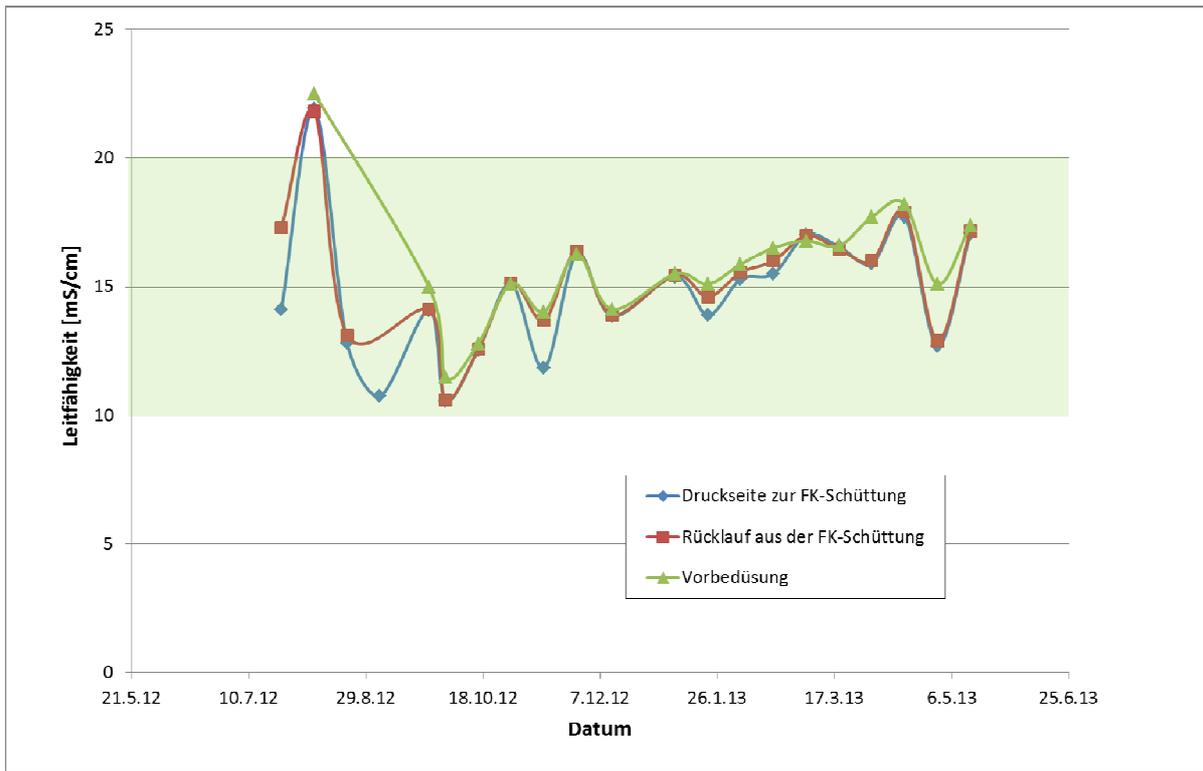


Abbildung 53. Verlauf der Leitfähigkeit an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

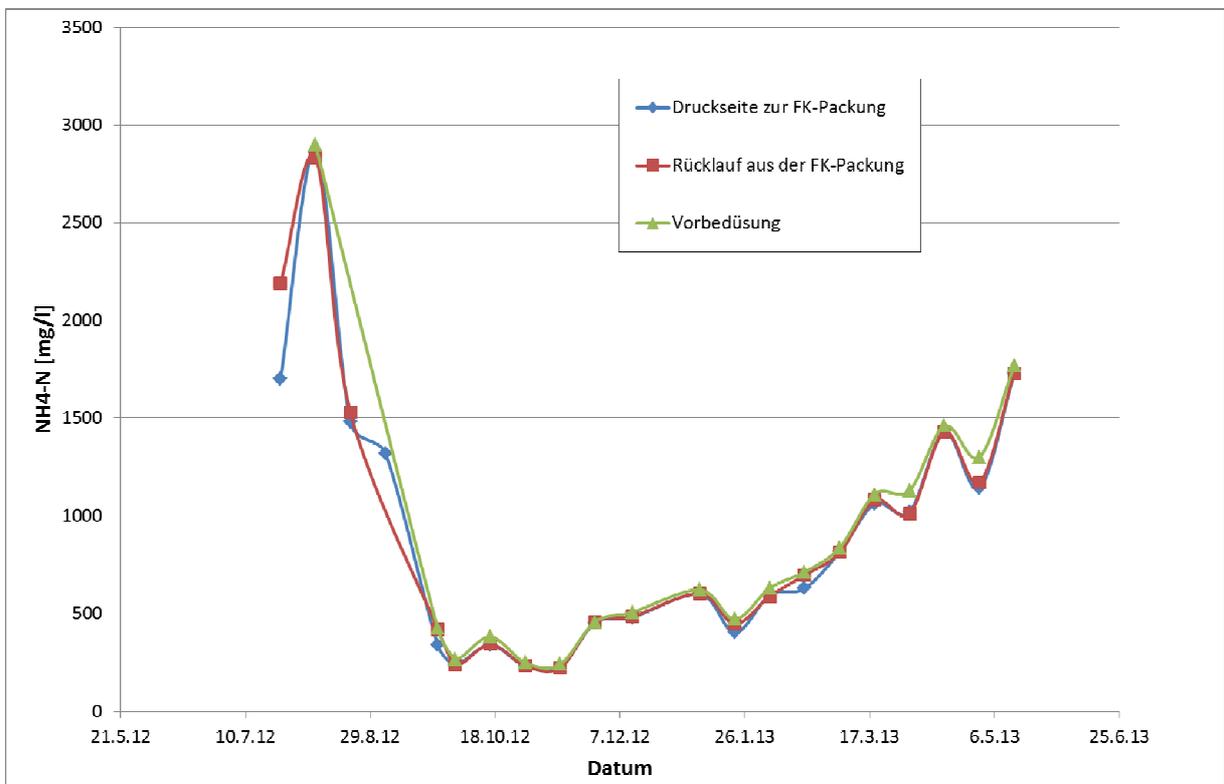


Abbildung 54. Verlauf der NH₄-N-Konzentration an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

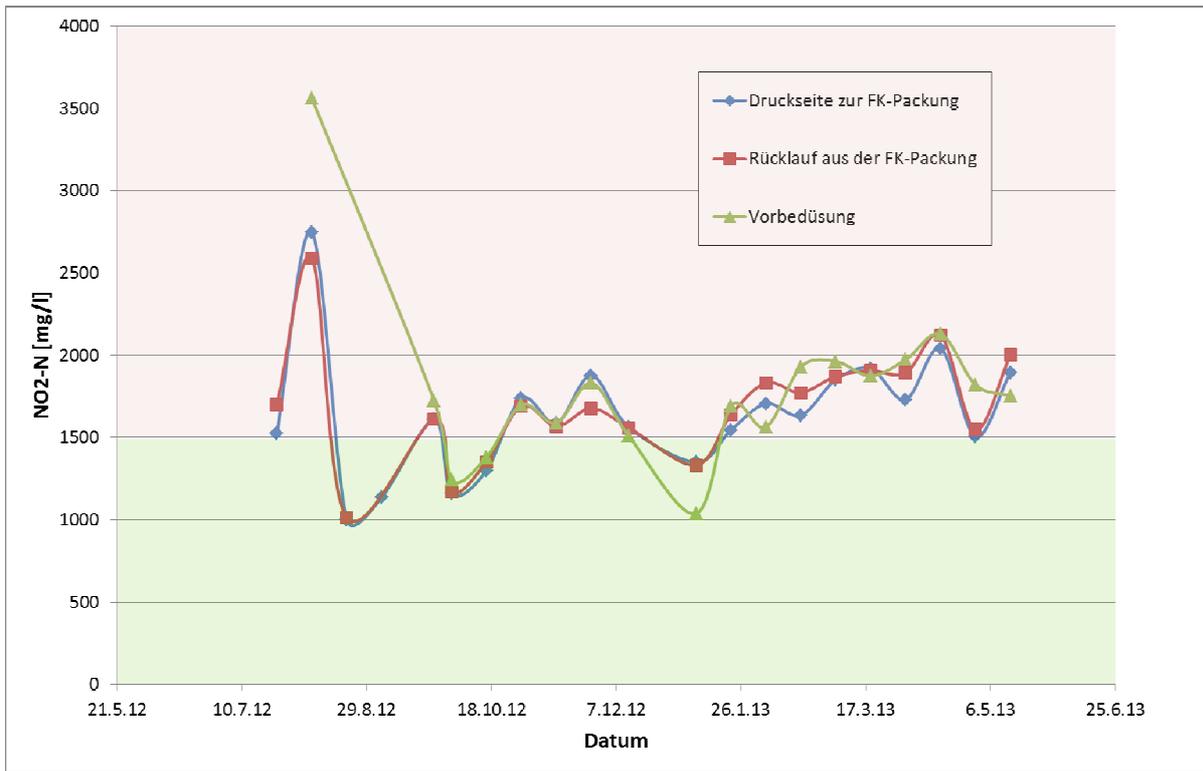


Abbildung 55. Verlauf der NO₂-N-Konzentration an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

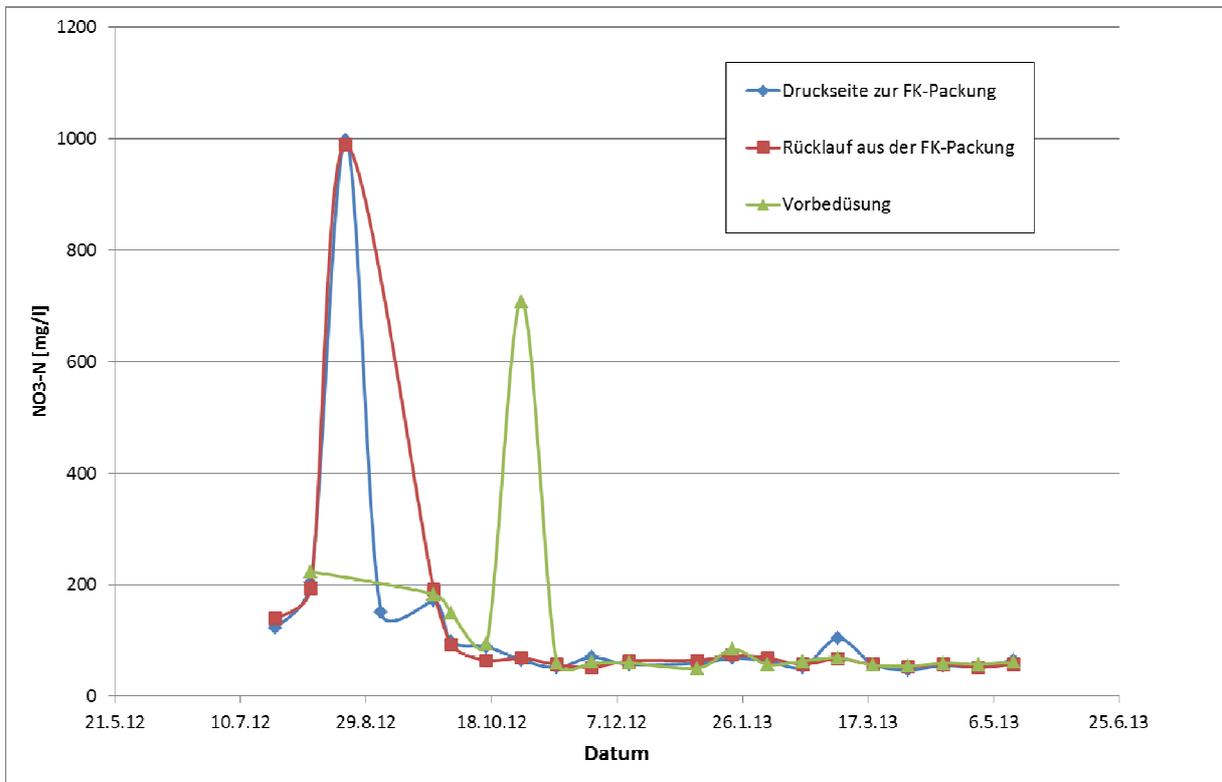


Abbildung 56. Verlauf der NO₃-N-Konzentration an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

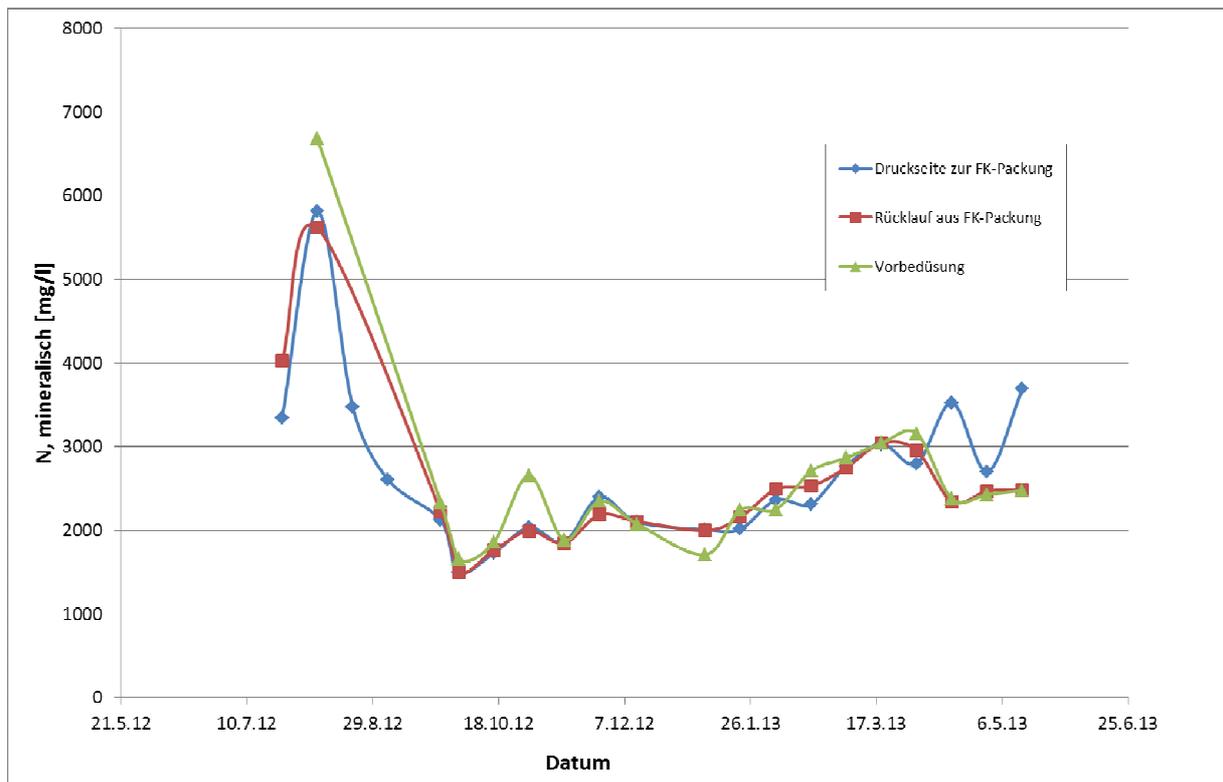


Abbildung 57. Verlauf der mineralischen Stickstoffkonzentration (Summe aus $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) an den verschiedenen Messpunkten des einstufigen Rieselbettreaktors

Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen (Abbildung 54) zeigten für alle Messpunkte vergleichbare Konzentrationen, die mit ca. 250 mg/l im Oktober und November 2012 ihr Minimum erreichten. Bei der letzten Beprobung (durch das TI) am 14.05.2013 lagen die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen mit 1700 bis 1800 mg/l in einem annähernd üblichen Konzentrationsbereich, wie sie bei einstufigen Rieselbettreaktoren auftreten.

Relativ hoch bis kritisch waren über weite Strecken die $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen in dem Waschwasser (Abbildung 55). Aufgrund von Erfahrungswerten sowie der Vorsorge gegenüber der Freisetzung von Stickoxiden sollte bei pH-Werten von 6,5 bis 7 die $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentration im Waschwasser unter 1500 mg/l gehalten werden.

Abgesehen von einigen kurzfristigen Peaks, die mit den vorhandenen Daten nicht erklärt werden können, wurden im Regelfall nur geringe $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen von weniger als 100 mg/l gemessen (Abbildung 56). Durch die hohen Ammoniakfrachten und die damit entsprechend hoch belastete ARA wird die Nitratbildung in nahezu allen Fällen gehemmt.

Die Konzentration mineralischen Stickstoffs (Summe von $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) war mit rund 1500 mg/l am 02.10.2012 außerordentlich niedrig. Seit diesem Datum stieg die Stickstoffkonzentration wieder kontinuierlich an und erreichte Werte von ca. 3000 mg/l ab März 2013. Diese Werte sind im Vergleich zu anderen Anlagen in der Praxis, bei denen die Stickstoffkonzentrationen zwischen 3500 und 5000 mg/l liegen, etwas gering.

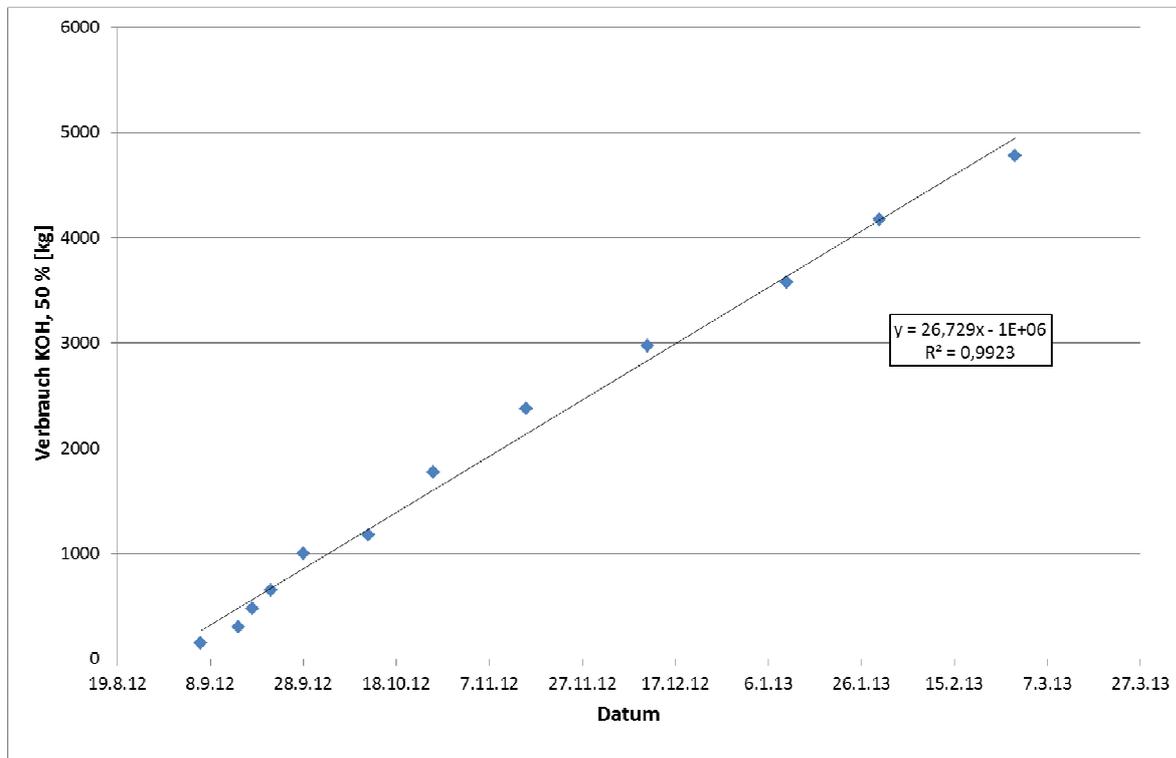


Abbildung 58. Berechnete Verbrauchsdaten für Kalilauge (50 %) auf der Grundlage der vom Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Einkaufsbelege

Zur Sicherstellung eines geordneten Anlagenbetriebes, insbesondere zur Einhaltung des pH-Wertes wurde Kalilauge dosiert. Der Verbrauch betrug, bezogen auf 100 % Wirksubstanz, rund 13,4 kg/d. Für einen genehmigten Tierbesatz von 1080 Mastschweinen ergibt sich ein spezifischer Verbrauch von ca. 4,5 kg je Mastplatz und Jahr bei ganzjähriger Stallbelegung.

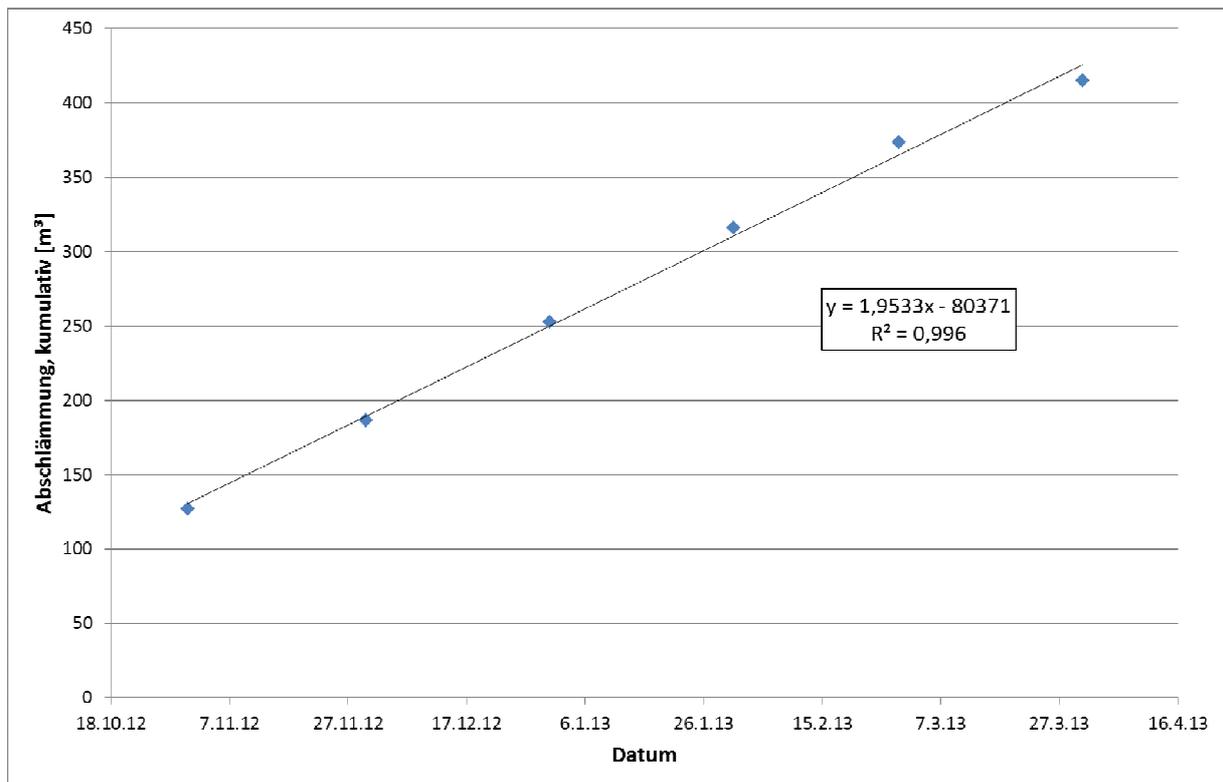


Abbildung 59. Berechnete Abschlammung auf der Grundlage der vom Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Unterlagen

Wesentlich für die ordnungsgemäße Funktion eines einstufigen Rieselbettreaktors ist die ausreichende Abschlammung Stickstoffhaltigen Wassers. Auf der Grundlage der von dem Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Daten ergab sich eine Abschlammrate von ca. 1,95 m³ am Tag. Unter Zugrundelegung eines genehmigten Tierbesatzes von 1080 Mastschweinen ist bei ganzjähriger Stallbelegung von einer spezifischen Abschlammung von 0,66 m³ je Tierplatz und Jahr auszugehen. Diese Abschlammrate entspricht in der Größenordnung auch denen, die bei vergleichbaren Systemen ermittelt wurden.

Tabelle 16. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Vorbedüsung | Datum | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 07.08.12 | 21.08.12 | 04.09.12 | 25.09.12 | 02.10.12 | 16.10.12 | 30.10.12 | 13.11.12 | 27.11.12 | 12.12.12 |
| pH [-] | 7,31 | n. v. | n. v. | 7,43 | 7,73 | 8,12 | 7,91 | 7,89 | 7,43 | 7,91 |
| LF [mS/cm] | 22,5 | n. v. | n. v. | 14,98 | 11,47 | 12,78 | 15,12 | 14,02 | 16,27 | 14,12 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 6,36 | n. v. | n. v. | 6,59 | 8,04 | 6,36 | 8,4 | 7,5 | 8,69 | 8,35 |
| Wassertemperatur [°C] | 20,1 | n. v. | n. v. | 16,9 | 17,2 | 15,8 | 16,7 | 15,5 | 16,6 | 14,5 |
| Trockenrückstand [g/l] | 3,89 | n. v. | n. v. | n. v. | 7,88 | 7,79 | 10,7 | 9,72 | 10,43 | 7,8 |
| CSB [mg/l] | 4050 | n. v. | n. v. | 2810 | 2240 | 2030 | 2440 | 2245 | 2735 | 2315 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,258 | n. v. | n. v. | n. v. | 0,008 | 0,054 | 0,052 | 0,148 | 0,026 | 0,044 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 12,1 | n. v. | n. v. | n. v. | 250,1 | 68 | 75 | 42,4 | 92,4 | 54,6 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 2900 | 423 | 267 | 382 | 248 | 240 | 457 | 457 | 507 | 621 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 3562 | n. v. | n. v. | 1725 | 1240 | 1381 | 1700 | 1832 | 1511 | 1038 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 224 | n. v. | n. v. | 183 | 150 | 94,1 | 707 | 61 | 60,1 | 50,7 |
| Gesamt-P [mg/l] | 22,95 | n. v. | n. v. | n. v. | 6,35 | 7,75 | 5,16 | 7,38 | 6,22 | 6,84 |
| Sulfat [mg/l] | 1320 | n. v. | n. v. | 479 | 278 | 375 | 411 | 469 | 440 | 379 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 17. Analysenergebnisse der Waschwasserszusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Vorbedüsung | Datum | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 08.01.13 | 22.01.13 | 05.02.13 | 19.02.13 | 05.03.13 | 19.03.13 | 02.04.13 | 16.04.13 | 30.04.13 | 14.05.13 |
| pH [-] | 7,84 | 8,08 | 7,76 | 7,94 | 7,74 | 7,71 | 7,15 | 7,76 | 7,91 | 7,75 |
| LF [mS/cm] | 15,5 | 15,1 | 15,87 | 16,5 | 16,78 | 16,58 | 17,7 | 18,2 | 15,1 | 17,36 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 9,21 | n. v. | 8,44 | 7,62 | 8,56 | n. v. | 9,17 | 7,70 | 8,94 | 6,56 |
| Wassertemperatur [°C] | 16,0 | 13,4 | 15,0 | 14,0 | 13,4 | n. v. | 10,9 | 17,8 | 14,9 | 15,8 |
| Trockenrückstand [g/l] | 7,97 | 9,5 | 8,81 | 9,21 | 8,83 | 7,4 | 7,81 | 5,97 | 5,29 | 3,6 |
| CSB [mg/l] | 2535 | 2410 | 2545 | 2795 | 2805 | 2735 | 2945 | 3015 | 2750 | 2895 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,03 | 0,064 | 0,21 | 0,034 | 0,034 | 0,078 | 0,106 | 0,144 | 0,12 | 0,14 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 88,4 | 32,1 | 22,2 | 58,3 | 58,3 | 38,1 | 29,5 | 17 | 23 | 19,3 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 471 | 630 | 713 | 836 | 836 | 1110 | 1130 | 1460 | 1300 | 1770 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 1692 | 1563 | 1930 | 1963 | 1963 | 1875 | 1974 | 2131 | 1821 | 1754 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 84 | 57,4 | 63,3 | 69,2 | 69,2 | 56 | 54,6 | 59,3 | 57,9 | 61,2 |
| Gesamt-P [mg/l] | 5,48 | 5,85 | 7,76 | 6,05 | 6,05 | 5,99 | 7,88 | 9,72 | 9,47 | 8,86 |
| Sulfat [mg/l] | 447 | 499 | 444 | 545 | 545 | 610 | 645 | 565 | 425 | 486 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 18. Analysenergebnisse der Waschwasserszusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Druckseite zur FK-Packung | Datum | | | | | | | | | |
|---|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 07.08.12 | 21.08.12 | 04.09.12 | 25.09.12 | 02.10.12 | 16.10.12 | 30.10.12 | 13.11.12 | 27.11.12 | 12.12.12 |
| pH [-] | 6,31 | 5,4 | 6,27 | 6,49 | 6,79 | 6,58 | 7,57 | 7,41 | 6,95 | 7,27 |
| LF [mS/cm] | 21,9 | 12,81 | 10,74 | 14,09 | 10,58 | 12,54 | 15,11 | 11,83 | 16,27 | 13,86 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 7,82 | 7,80 | n. v. | 7,39 | 7,59 | 8,06 | 7,88 | 7,96 | 8,45 | n. v. |
| Wassertemperatur [°C] | 20,1 | 22,8 | n. v. | 17,2 | 17,1 | 15,8 | 16,4 | 15,5 | 16,4 | 14,0 |
| Trockenrückstand [g/l] | 3,59 | 4,31 | 2,34 | 10,21 | 7,44 | 7,65 | 10,71 | 9,47 | 10,56 | 7,58 |
| CSB [mg/l] | 3960 | 2410 | 2210 | 2630 | 2050 | 2120 | 2405 | 2205 | 2720 | 2290 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,24 | 0,12 | 0,248 | 0,086 | 0,016 | 0,008 | 0,034 | 0 | 0 | 0 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 12,1 | 11,1 | 3,9 | 24,4 | 75 | 200 | 47 | 0 | 0 | 0 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 2860 | 1480 | 1320 | 338 | 239 | 338 | 232 | 226 | 452 | 481 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 2748 | 1002 | 1137 | 1610 | 1160 | 1301 | 1739 | 1587 | 1877 | 1564 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 204 | 997 | 151 | 172 | 98,5 | 89,1 | 65,1 | 51,8 | 70 | 57,2 |
| Gesamt-P [mg/l] | 22,57 | 22,96 | 8,21 | 8,17 | 6,21 | 6,96 | 4,79 | 4,62 | 5,69 | 6,26 |
| Sulfat [mg/l] | 1350 | 1200 | 468 | 440 | 311 | 372 | 413 | 338 | 453 | 429 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 19. Analysenergebnisse der Waschwasserzusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Druckseite zur FK-Packung | Datum | | | | | | | | | |
|---|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 08.01.13 | 22.01.13 | 05.02.13 | 19.02.13 | 05.03.13 | 19.03.13 | 02.04.13 | 16.04.13 | 30.04.13 | 14.05.13 |
| pH [-] | 6,89 | 7,54 | 6,84 | 7,30 | 6,87 | 7,44 | 7,16 | 6,92 | 6,25 | 6,29 |
| LF [mS/cm] | 15,39 | 13,9 | 15,29 | 15,5 | 17,0 | 16,55 | 15,9 | 17,7 | 12,7 | 17,1 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 9,43 | n. v. | 7,71 | 9,81 | | | | | | |
| Wassertemperatur [°C] | 15,6 | 12,9 | 14,8 | 14,0 | | | | | | |
| Trockenrückstand [g/l] | 7,72 | 8,67 | 8,44 | 8,27 | 8,7 | 7,09 | 7,24 | 6,01 | 4,06 | 3,4 |
| CSB [mg/l] | 2510 | 2380 | 2530 | 2480 | 2760 | 2690 | 2590 | 2990 | 2325 | 2790 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,034 | 0 | 0,05 | 0,034 | 0,016 | 0,034 | 0,02 | 0,054 | 0,018 | 0,116 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 63,8 | 0 | 26 | 54,9 | 78,8 | 63,8 | 90 | 35,2 | 71,1 | 14,7 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 599 | 403 | 593 | 629 | 816 | 1060 | 1020 | 1430 | 1140 | 1730 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 1351 | 1546 | 1707 | 1636 | 1852 | 1919 | 1731 | 2043 | 1506 | 1897 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 59,5 | 68,4 | 64,1 | 52,4 | 104 | 57,7 | 47,8 | 55,2 | 53,8 | 65,1 |
| Gesamt-P [mg/l] | 6,57 | 4,32 | 5,16 | 4,80 | 6,04 | 5,92 | 5,90 | 9,01 | 6,80 | 9,54 |
| Sulfat [mg/l] | 379 | 387 | 485 | 384 | 535 | 580 | 575 | 482 | 379 | 473 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 20. Analysenergebnisse der Waschwasserszusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Rücklauf aus der FK-Packung | Datum | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 07.08.12 | 21.08.12 | 04.09.12 | 25.09.12 | 02.10.12 | 16.10.12 | 30.10.12 | 13.11.12 | 27.11.12 | 12.12.12 |
| pH [-] | 6,22 | 5,65 | n. v. | 6,07 | 6,26 | 6,10 | 7,35 | 7,13 | 6,88 | 6,83 |
| LF [mS/cm] | 21,8 | 13,12 | n. v. | 14,1 | 10,6 | 12,56 | 15,15 | 13,69 | 16,37 | 13,91 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 6,87 | 8,20 | n. v. | 7,26 | 8,08 | 7,95 | 8,22 | 7,59 | 8,79 | 8,08 |
| Wassertemperatur [°C] | 19,6 | 22,9 | n. v. | 17,4 | 17,1 | 15,9 | 16,7 | 15,6 | 16,6 | 14,0 |
| Trockenrückstand [g/l] | 346 | 4,06 | n. v. | 10,34 | 7,43 | 7,74 | 10,65 | 9,47 | 10,6 | 7,73 |
| CSB [mg/l] | 3950 | 2490 | n. v. | 2660 | 2110 | 2135 | 2435 | 0 | 0 | 0,004 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 0,236 | 0,124 | n. v. | 0,072 | 0,01 | 0,022 | 0,04 | 0 | 0 | 588 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | n. v. | n. v. | n. v. | 20,1 | 150 | 83,5 | 65,5 | 222 | 456 | 485 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 2830 | 1530 | n. v. | 421 | 237 | 342 | 233 | 1569 | 1678 | 1561 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 2592 | 1013 | n. v. | 1610 | 1170 | 1353 | 1693 | 57 | 52,1 | 63,4 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 193,8 | 989 | n. v. | 191,5 | 93 | 65 | 68,6 | 5,48 | 5,76 | 6,22 |
| Gesamt-P [mg/l] | 22,64 | 24,63 | n. v. | 8,01 | 5,96 | 7,29 | 4,87 | 332 | 458 | 433 |
| Sulfat [mg/l] | 1350 | 1260 | n. v. | 433 | 239 | 372 | 424 | 7,13 | 6,88 | 6,83 |

n. v.: nicht verfügbar

Tabelle 21. Analysenergebnisse der Waschwasserszusammensetzung des Rieselbettreaktors

| Rücklauf aus der FK-Packung | Datum | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parameter | 08.01.13 | 22.01.13 | 05.02.13 | 19.02.13 | 05.03.13 | 19.03.13 | 02.04.13 | 16.04.13 | 30.04.13 | 14.05.13 |
| pH [-] | 6,39 | 7,02 | 6,55 | 7,95 | 6,80 | 6,93 | 6,88 | 6,49 | 6,33 | 6,89 |
| LF [mS/cm] | 15,45 | 14,6 | 15,55 | 16,0 | 16,97 | 16,45 | 16,0 | 17,9 | 12,9 | 17,15 |
| O ₂ , gelöst [mg/l] | 9,05 | n. v. | 7,55 | 5,69 | 9,44 | n. v. | 9,31 | 9,37 | 7,41 | 6,52 |
| Wassertemperatur [°C] | 15,8 | 12,2 | 14,8 | 13,6 | 13,7 | n. v. | 11,4 | 17,6 | 14,6 | 15,6 |
| Trockenrückstand [g/l] | 7,89 | 9,09 | 9,01 | 8,31 | 8,74 | 7,37 | 7,24 | 5,31 | 4,4 | 3,82 |
| CSB [mg/l] | 0,038 | 0,078 | 0,086 | 0,516 | 2775 | 2690 | 2615 | 2900 | 2410 | 3795 |
| Abfiltrierbare Stoffe [mg/l] | 70,6 | 28,9 | 20,2 | 25,0 | 0,038 | 0,028 | 0,054 | 0,066 | 0,08 | 0,828 |
| O ₂ -Zehrung [mg O ₂ /(g TS h)] | 601 | 447 | 588 | 697 | 44,2 | 83,6 | 46,0 | 30,0 | 17,3 | 6,1 |
| NH ₄ -N [mg/l] | 1333 | 1639 | 1833 | 1774 | 811 | 1080 | 1010 | 1430 | 1170 | 1730 |
| NO ₂ -N [mg/l] | 64,7 | 74,1 | 68,5 | 57,8 | 1873 | 1907 | 1893 | 2122 | 1549 | 2004 |
| NO ₃ -N [mg/l] | 6,62 | 5,93 | 5,57 | 9,90 | 67,4 | 56,9 | 53,1 | 57,9 | 51,9 | 57,9 |
| Gesamt-P [mg/l] | 384 | 411 | 482 | 460 | 5,85 | 5,90 | 5,98 | 9,16 | 7,27 | 14,37 |
| Sulfat [mg/l] | 6,39 | 7,02 | 6,55 | 7,95 | 545 | 575 | 595 | 560 | 432 | 472 |

n. v.: nicht verfügbar

In der Vorbedüsung lag die Konzentration an Gelöstsauerstoff zwischen 6,36 und 9,21 mg/l (Tabelle 16 und 17), in der Druckleitung zur Füllkörperpackung zwischen 6,86 und 9,91 mg/l (Tabellen 18 und 19). Auch im Rücklauf aus der Füllkörperpackung (Tabellen 20 und 21) wurden Konzentrationen an Gelöstsauerstoff zwischen 5,69 und 9,44 mg/l gemessen. Sauerstofflimitierungen traten nicht auf.

Die Wassertemperaturen bewegten sich in der Vorbedüsung zwischen 10,9 und 21 °C, wobei die geringste Wassertemperatur am 02.04.2013 und die höchste am 24.07.2012 gemessen wurden. In der Druckleitung zur Füllkörperpackung lagen die Temperaturen zwischen 11,5 und 22,8 °C. Im Rücklauf aus der Füllkörperpackung wurden Temperaturen zwischen 11,4 und 22,9 °C gemessen. Für biologische Prozesse kritische Temperaturen wurden zu keinem Zeitpunkt festgestellt.

Der Trockenrückstand in der Vorbedüsung lag zwischen 3,6 und 14,43 g/l, in der Druckleitung zur Füllkörperpackung zwischen 2,14 und 10,56 g/l und im Rücklauf zwischen 2,75 und 10,65 g/l.

Der CSB wurde zum erheblichen Teil von den hohen Nitritkonzentrationen (Abbildung 55) verursacht.

Die spezifische Sauerstoffzehrung lag bei allen Messpunkten im Regelfall unter 100 mg O₂/(g TS h).

Eine Limitierung biologischer Vorgänge aufgrund eines Phosphormangels konnte aufgrund der gefundenen Phosphor-Gehalte von 4,3 bis 24,6 mg/l ausgeschlossen werden.

Abgesehen von den Beprobungen am 24.07., 07.08. und 21.08.2012 lag die Sulfatkonzentration zwischen 239 und 645 mg/l. Diese Werte können bereits durch die Verdunstung von Waschwasser erzeugt werden. Das Frischwasser enthielt bei der Beprobung 159 mg/l Sulfat. Offensichtlich wurde praktisch keine Schwefelsäure zur pH-Stabilisierung benötigt.

3.2.2.3 Bewertung der Ergebnisse

Bei allen Beprobungsterminen arbeitete der Rieselbettreaktor bestimmungsgemäß. Die Vorbedüsung machte generell einen

verbesserungswürdigen Eindruck. Das Wasserverteilsystem hingegen arbeitete bei allen Beprobungen einwandfrei.

Die wassertechnische Trennung zwischen der Vorbedüsung und der Sumpfvorlage war nicht gegeben, wie auch alle Analysenergebnisse bestätigen. Für eine Aufkonzentrierung des Waschwassers durch die gezielte Nutzung der Verdunstung, verbunden mit der Abschlämmung aus der Vorbedüsung, wäre dies aber sinnvoll gewesen.

Die Zugänglichkeit der einzelnen Anlagenkomponenten ist verbesserungsfähig. Dies betrifft sowohl den Zugang in den Rohgasbereich als auch den Zugang zur Vorbedüsung und dem Wasserverteilsystem. Der Zugang zum Reinluftaustritt war hingegen vorbildlich ausgeführt.

Entscheidend für die sichere Funktion des Rieselbettreaktors in Bezug auf die Abscheidung von Stickstoff ist die Einhaltung des erforderlichen pH-Wertes und der Leitfähigkeit. Im Rahmen der Untersuchungen wurde mehrfach ein Absinken des pH-Wertes unter pH 6 beobachtet. Dies kann bei hohen Nitritkonzentrationen zur Freisetzung von nitrosen Gasen beitragen. Es wurde festgestellt, dass zur Dosierung der Schwefelsäure ein Messsignal aus der Druckleitung verwendet wurde. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, wenn in der Füllkörperpackung infolge der Ammoniakoxidation eine Absenkung des pH-Wertes erfolgt und somit eine Überdosierung von Schwefelsäure vorkommen kann. Daher wurde die Messung des pH-Wertes im Rücklauf aus der Füllkörperpackung integriert, um mögliche Fehldosierungen zu vermeiden. Ferner wurde eine Dosieranlage für Kalilauge (50 %) installiert. Mit diesen Maßnahmen konnte die Einhaltung des pH-Wertes weitgehend sichergestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass für den Betrieb eines biologisch arbeitenden, einstufigen Rieselbettreaktors auch eine Dosiereinrichtung für Alkalien erforderlich ist.

Während die Leitfähigkeitswerte durchgehend im empfohlenen Bereich gehalten wurden, lagen die Konzentrationen von Nitrit-Stickstoff oft im Grenzbereich von 1500 mg/l bei pH-Werten von 6,5 bis 7, über längere Zeiträume auch zwischen 1500 und 2000 mg/l. Eine mögliche Ursache für diese bei der vorliegenden Leitfähigkeit eher ungewöhnlichen Befunde könnte in der Dosierung von Alkalien liegen, die aber erforderlich ist.

Wie bei anderen einstufigen Rieselbettreaktoren auch, wurde die Nitrifikation weitgehend auf der Stufe des Nitrits gehemmt. Eine vollständige Oxidation zum Nitrat fand praktisch nicht statt.

Der Verbrauch an Kalilauge zur Stabilisierung des pH-Wertes im Waschwasser des einstufigen Rieselbettreaktors war nicht unerheblich. Nach den vorliegenden Zahlen betrug er, bezogen auf eine Wirksubstanz von 100 %, rund 4,5 kg je Mastplatz und Jahr bei ganzjähriger Stallbelegung.

Die spezifische Abschlämmrate betrug 0,66 m³ je Mastplatz und Jahr und lag damit in einer für einstufige Rieselbettreaktoren üblichen Größenordnung.

3.2.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die untersuchte dreistufige ARA wies eine hohe Betriebssicherheit auf und stellte eine weitgehende Stickstoffabscheidung sicher. Die Ergebnisse zeigen aber auch noch weiteren Verbesserungsbedarf. Dieser betrifft die Anströmung der ersten Waschwand sowie die wassertechnische Trennung der beiden Waschstufen. Ferner sind Verbesserungen im Korrosionsschutz (Säurebeständigkeit von Beton, Schutzanstriche) und in der Auswahl der medienberührten Baustoffe erforderlich.

Diese Ergebnisse können vom Anlagenplaner, Anlagenhersteller sowie vom Anlagenbetreiber unmittelbar genutzt werden. Die bessere Luftführung wird zu einer Betriebskostenreduzierung beitragen (Strombedarf der Lüftung) und zu geringeren Verstopfungsrisiken führen.

Die wassertechnische Trennung der beiden Waschstufen wird vor allem das Risiko der Bildung sekundärer Spurengase mindern und darüber hinaus die Reinigungsleistung nochmals verbessern.

Die Verbesserungen in der Materialbeschaffenheit werden zwar zu höheren Investitionskosten führen, aber die Haltbarkeit der Anlagen und deren Verfügbarkeit deutlich verbessern.

Für Behörden sind diese Ergebnisse hilfreich bei Prüfung von Genehmigungsanträgen sowie bei der Bauabnahme.

Die Steigerung der Anlagenverfügbarkeit dient darüber hinaus auch der Verbesserung des Immissionsschutzes.

Der untersuchte einstufige Rieselbettreaktor wies nach der Inbetriebnahme einer Laugendosierung eine gute Betriebssicherheit und eine gute Stickstoffabscheidung auf. Die Untersuchungen haben neben der bereits genannten Laugendosierung auch weiteren Verbesserungsbedarf aufgezeigt. Dieser betrifft z. B. die Anordnung der pH-Messstelle sowie die wassertechnische Trennung der Vorbedüsung von der Abluftwäsche.

Diese Ergebnisse können auch in diesem Fall vom Anlagenplaner, Anlagenhersteller sowie vom Anlagenbetreiber unmittelbar genutzt werden. Von der Errichtung von Rieselbettreaktoren ohne ausgereifte pH-Wertregelung ist dringend abzuraten. Konstruktion und Betrieb der Vorbedüsung sollen zur Reduzierung des Waschwasseranfalls führen. Die beprobte Vorbedüsung hat dieses Ziel verfehlt. Hier besteht Optimierungsbedarf durch den Hersteller.

Die getroffenen Maßnahmen erhöhen die Betriebssicherheit der Anlage, was für den Hersteller und den Anlagenbetreiber von Bedeutung ist. Die höhere Betriebssicherheit und die Vermeidung der Freisetzung sekundärer Spurengase dienen auch dem Immissionsschutz.

Für die Behörden sind die gewonnenen Ergebnisse für die Genehmigung und für die Bauabnahme relevant. Auch für die Bewertung der Anlagen hinsichtlich ihrer Funktionssicherheit sind die gewonnenen Erkenntnisse wichtig.

3.3 Chemisch-physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht LUFA; Institut für Boden und Umwelt der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nord-West, Oldenburg

Arbeitspaket 6 - Roh- und Reingasbeprobung, Messung von Ammoniak und Geruch; Check-up-Messungen

3.3.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA

3.3.1.1 Analysenergebnisse

Geruch

Abbildung 60 zeigt die Geruchsstoffkonzentrationen im Rohgas und im Reingas.

Die Rohgaskonzentrationen schwankten im erwarteten Bereich.

Die Reingaskonzentrationen lagen bei jedem Messtermin unter 300 GE/m³ und es konnte kein rohgastypischer Geruch mehr festgestellt werden.

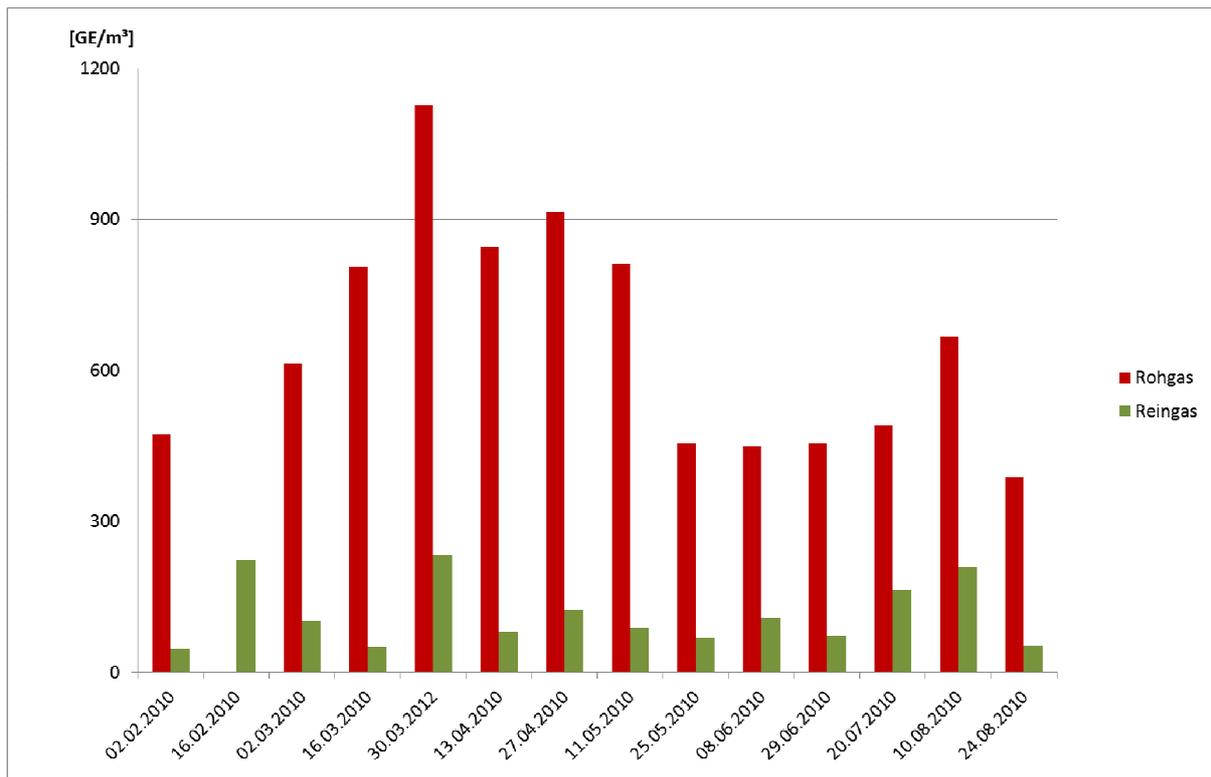


Abbildung 60. Darstellung der Geruchsstoffkonzentrationen im Roh- und Reingas

NH₃

In Abbildung 61 sind die punktuell an den einzelnen Messtagen ermittelten Ammoniakkonzentrationen im Rohgas und im Reingas (nach der Säurestufe) sowie die entsprechende Abscheidung dargestellt.

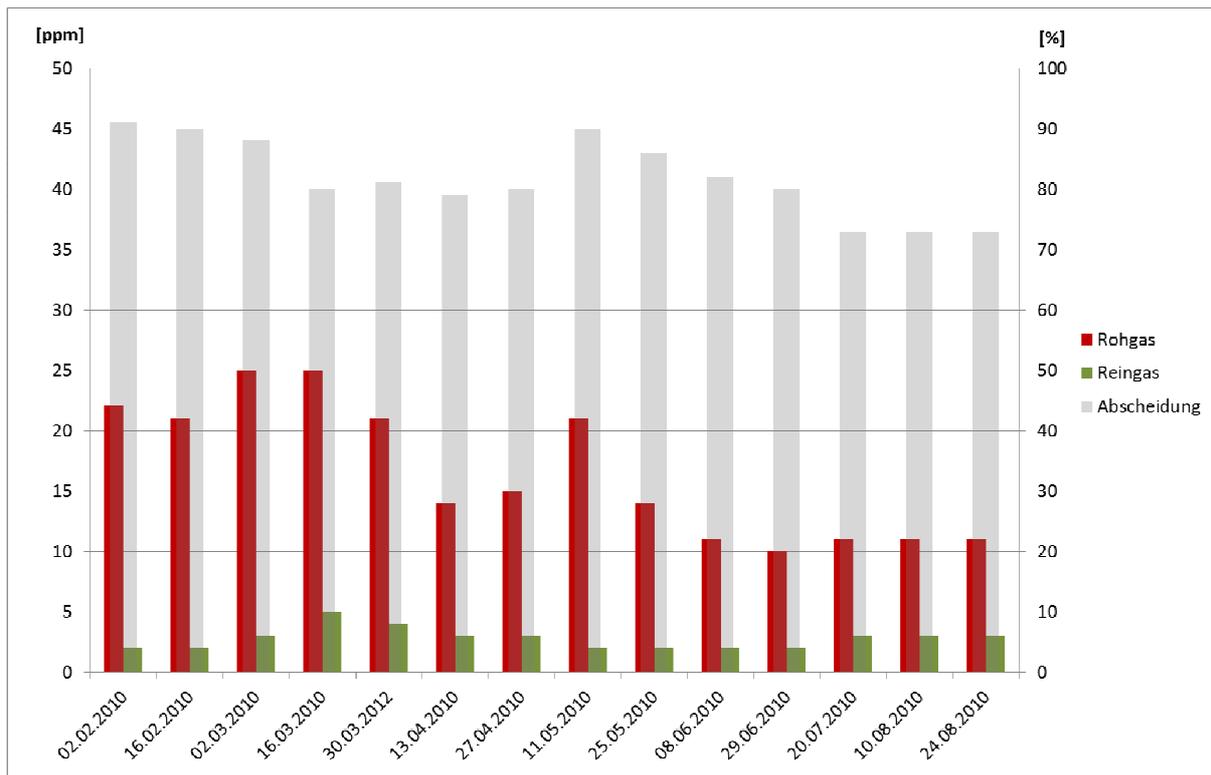


Abbildung 61. Darstellung der punktuell ermittelten NH_3 -Konzentrationen im Roh- und Reingas sowie der sich daraus ergebenden Abscheidung

Es zeigten sich keine Auffälligkeiten, die Abscheidung lag an allen Terminen über 70 %. Es bildet sich ein typischer Verlauf mit höheren Konzentrationen in den kalten Monaten und sinkenden Konzentrationen in den wärmeren Monaten ab.

Neben den punktuellen Messungen wurden auch kontinuierliche Messungen durchgeführt (Abbildung 62). Die typischen jahreszeitlichen Verläufe werden auch hier deutlich. Zudem ist zu erkennen, dass die Ammoniakabscheidung (nach der Säurestufe) zwar an den Messtagen eingehalten wurde, jedoch nicht permanent über 70 % lag.

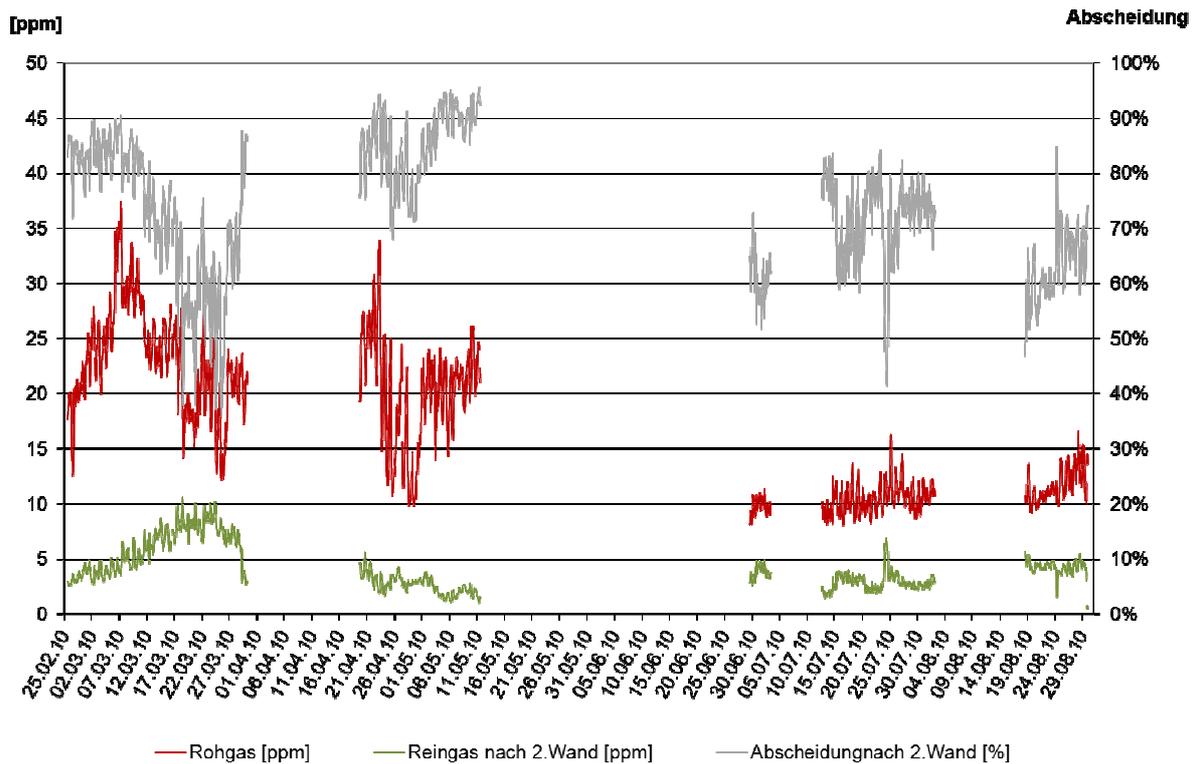


Abbildung 62. Darstellung der kontinuierlich ermittelten NH_3 -Konzentrationen im Roh- und Reingas sowie der sich daraus ergebenden Abscheidung

Die zeitweise ungenügende Abscheideleistung lässt sich zum Teil durch logistische Mängel erklären. Im März führte zunächst ein leeres Säurefass zu einer Überschreitung des Soll-pH-Wertes. Nachdem dieses erneuert wurde, arbeitete die Dosiereinrichtung nicht ordnungsgemäß. Im Juli war ebenfalls ein leeres Säurefass die Ursache.

Das Reingas wurde an zwei Punkten hinter der Säurestufe (Nassfilterwand 2) gemessen. Anhand der kontinuierlichen Messungen wurde festgestellt, dass sich die Konzentrationen hier zeitweise stark unterschieden, wie Abbildung 63 zeigt.

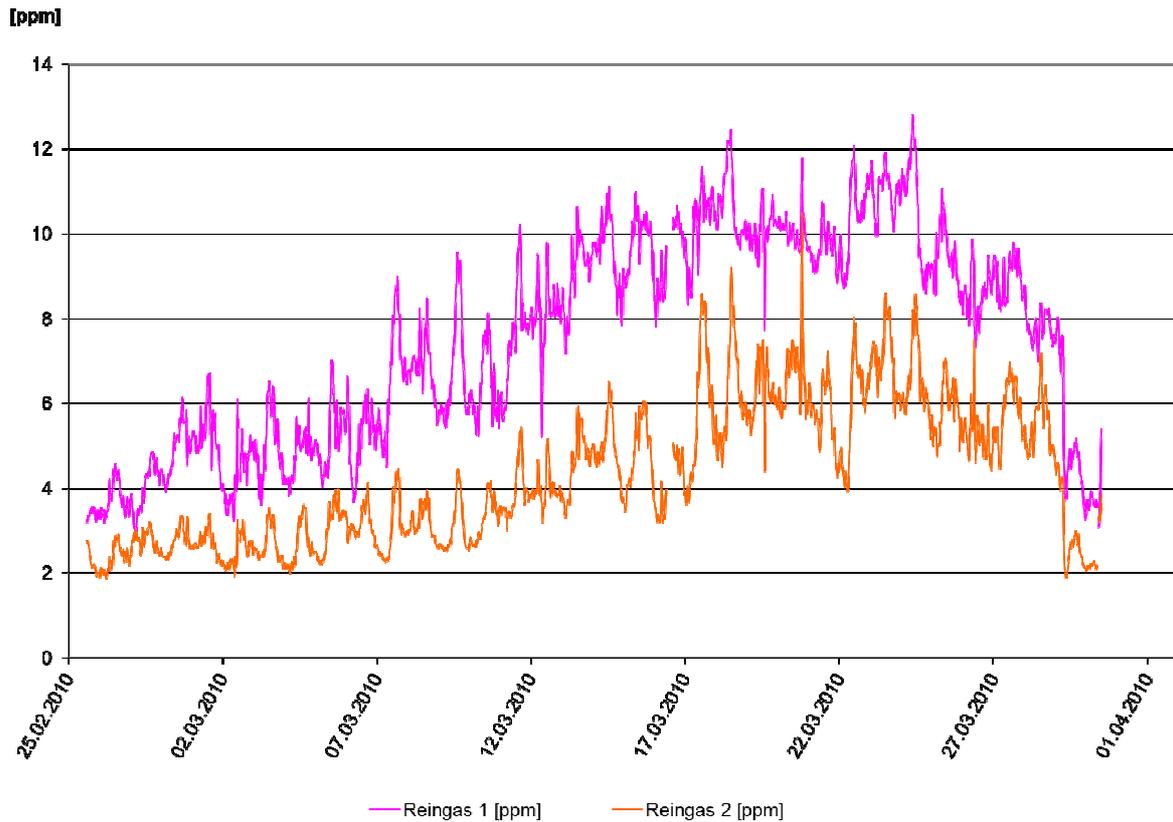


Abbildung 63. Darstellung der kontinuierlich ermittelten NH_3 -Konzentrationen an zwei Reingasmesspunkten

Zudem bildeten sich im mittleren Bereich der 2. Nassfilterwand trockene Zonen (Abbildung 64). Eine Überprüfung der Strömungsverteilung nach dieser Waschstufe bestätigte dies. Die Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich lag 1,8 mal höher als die mittlere Geschwindigkeit und 3,8 mal höher als die niedrigste ermittelte Geschwindigkeit nach der 2. Nassfilterwand.

Der Hersteller begründet dies folgendermaßen:

„Die Berieselung der 2. Waschwand wird durch zwei Pumpen gespeist. Diese befinden sich jeweils an den Enden der Waschstufe und pumpen das Berieselungswasser von beiden Seiten in Richtung Mitte der Waschwand. Dadurch ergeben sich im mittleren Bereich niedrige Fließgeschwindigkeiten und es kommt zu Ablagerungen, die die Berieselungsöffnungen verstopfen, was zu einer mangelnden Berieselung der Waschwand in diesem Bereich führt. Der Effekt nimmt mit zunehmender Verschmutzung des Wäschers ebenfalls zu.“

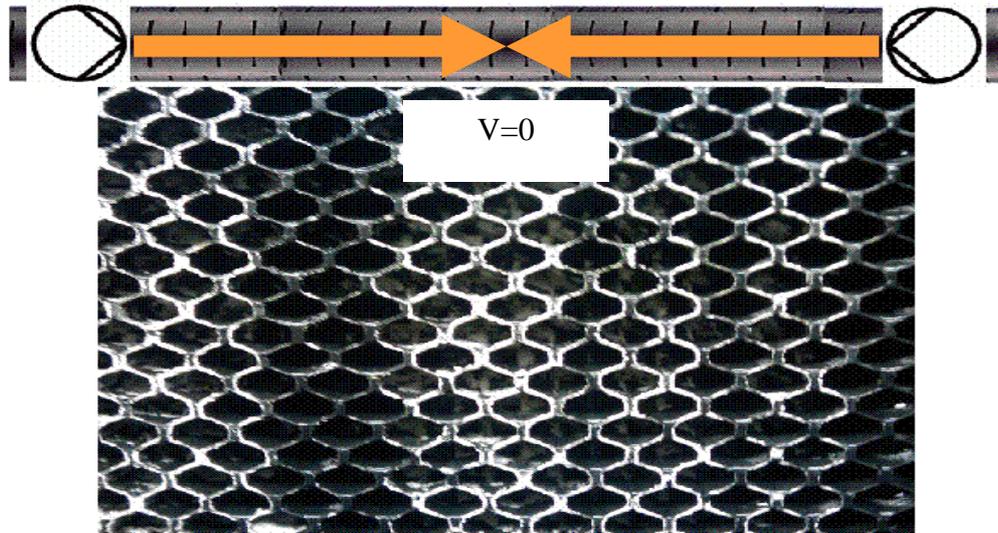


Abbildung 64. Ausbildung trockener Zonen aufgrund mangelnder Berieselung (schematisch)

Das Problem wurde dadurch umgangen, dass eine der beiden Pumpen kurzzeitig abgestellt wurde und nur noch in eine Richtung gepumpt wurde. So wurden die Ablagerungen weggespült und die Berieselung erfolgte wieder ordnungsgemäß, so dass sich keine trockenen Zonen mehr bilden konnten. Danach lagen die Konzentrationen an den Reingasmesspunkten auf einem Niveau (Abbildung 65).

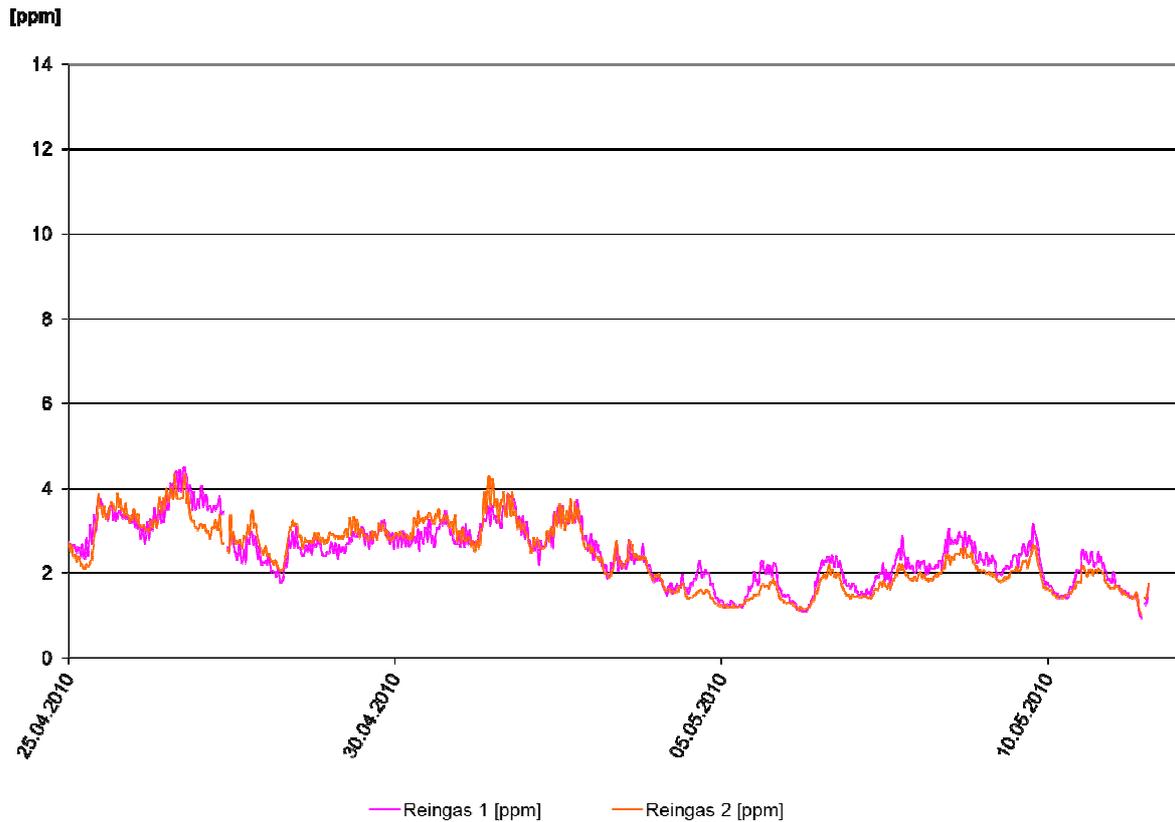


Abbildung 65. Darstellung der kontinuierlich ermittelten NH_3 -Konzentrationen an zwei Reingasmesspunkten bei ordnungsgemäß arbeitender Berieselung

Zusätzliche Messungen nach der Biowand zeigten, dass auch bei mangelnder Abscheidung durch die Säurestufe, die Gesamtanlage noch die geforderte Abscheidung von mindestens 70 % einhalten konnte. Ein solcher Zustand stellt jedoch eine erhöhte Belastung der Biowand dar und entspricht nicht der eigentlichen Bestimmung und sollte nicht dauerhaft vorliegen.

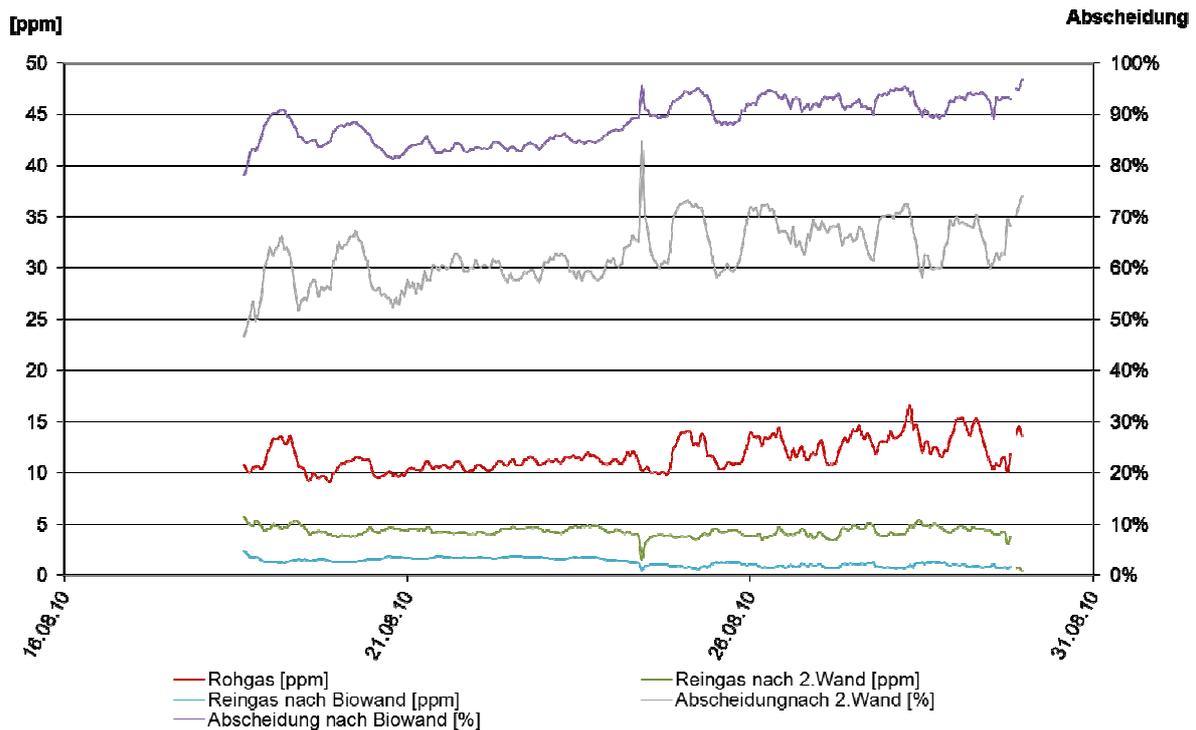


Abbildung 66. Darstellung der Ammoniakabscheidung über die Säurestufe und die Biostufe

N₂O und NO_x

Durch einzelne Projektteilnehmer wurde auf der Reingasseite „Schwimmbadgeruch“ wahrgenommen. Dies ist häufig ein Indiz für die Emission von N₂O und NO_x. Nachdem diese Komponenten in die Gasanalytik mit aufgenommen wurden, konnten keine signifikanten Konzentrationen hiervon festgestellt werden.

3.3.1.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Reinigungsleistung der dreistufigen ARA hinsichtlich Geruch entsprach durchgehend den Anforderungen.

Die Reingaskonzentrationen lagen bei allen Messungen unter 300 GE/m³ und es wurde kein rohgastypischer Geruch mehr wahrgenommen.

Am Biofilter wurde eine zunehmende „Vergrünung“ festgestellt.

Die Abscheidung nach der Säurestufe entsprach über längere Zeit nicht durchgehend den Anforderungen, die 70 %ige Abscheidung wurde erst nach der Biowand erreicht.

Der hohe Stickstoffaustrag aus der 2. Waschstufe und der damit hohe Nährstoffeintrag in die Biostufe stellt eine mögliche Erklärung der Vergrünung des Biofilters dar. Dauerhaft kann dies zu einer verstärkten Zersetzung und zur Versauerung des Biomaterials führen und die Standzeit verkürzen.

Die geplante Stickstoffbilanzierung konnte aufgrund diverser Stromausfälle im avisierten Zeitraum und des vorherigen Abbruchs der Untersuchungen nicht vollendet werden. Es wurden daher überschlägig die Ein- und Austräge von Stickstoff betrachtet und hochgerechnet.

Während des geplanten Bilanzzeitraumes wurden im Mittel 14,9 kg Stickstoff als Ammoniak und 0,08 kg Stickstoff in Form weiterer Stickstoffverbindungen pro Tag über das Rohgas in das System eingetragen. Pro Tag traten im Mittel 5,9 kg Stickstoff als Ammoniak und 0,91 kg in Form weiterer Stickstoffverbindungen nach der Säurestufe aus und trafen auf die Biostufe. Diese verließen noch 2,1 kg Stickstoff als Ammoniak und 0,62 kg Stickstoff in Form weiterer Stickstoffverbindungen pro Tag. In den beiden Waschstufen wurden in diesem Zeitraum somit im Mittel 8,17 kg Stickstoff pro Tag zurückgehalten. Hochgerechnet auf einen Zeitraum von acht Tagen ergibt sich ein gasförmiger Austrag aus der Säurestufe von 54,48 kg Stickstoff. Dies entspricht dem durch das vTI für den gleichen Zeitraum festgestellten Verlust von 56 kg Stickstoff.

Die Ursachen der festgestellten Auffälligkeiten sind vermeidbar.

- Die ausreichende Versorgung mit Schwefelsäure und eine regelmäßige Kalibrierung der Sonde zur Einhaltung des pH-Wertes müssen sichergestellt sein.
- Bei ordnungsgemäß betriebener Säurestufe kommt es nicht zu einem erhöhten Stickstoffeintrag in die Biostufe und die Vergrünung bleibt aus.
- Erfolgt die Berieselung der Waschwände von beiden Enden aus, muss eine regelmäßige Spülung der Berieselungsleitungen zur Vermeidung von Verstopfungen vorgesehen werden.

Die dreistufige Anlage stellt ein bei ordnungsgemäßer Betriebsweise sehr sicheres und stabiles System dar.

Die Biostufe bietet zusätzliche Sicherheit, die 70 %ige Abscheidung von Ammoniak auch bei zeitweiser Störung der Säurestufe durchgehend zu gewährleisten.

Eine Freisetzung von Stickoxiden wurde bei den Untersuchungen nicht festgestellt.

3.3.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor

3.3.2.1 Analyseergebnisse

Geruch

Der Rieselbettreaktor lief zu Beginn der Untersuchungen noch nicht stabil, so dass noch keine repräsentativen Messungen durchgeführt werden konnten. Es wurden daher CheckUp-Messungen vorgenommen, bei denen zunächst noch rohgastypischer Geruch im Reingas (bis 25.09.2012) festgestellt wurde.

Der pH-Wert war nicht stabil und fiel deutlich unter den Sollwert. In der Folge kam es zu einer starken Freisetzung von Stickoxiden (bis einschl. 03.09.2013).

Ab dem 25.09.2012 gingen diese deutlich zurück, so dass auch die olfaktometrische Untersuchung hinsichtlich der Geruchsstoffkonzentration möglich war.

Abbildung 67 zeigt die Geruchsstoffkonzentration im Roh- und Reingas. Die Reingaskonzentrationen lagen dabei mehrfach über 300 GE/m³. Dies war zum einen auf sehr hohe Rohgaskonzentrationen zurückzuführen. Zum anderen setzte die Anlage zwar deutlich weniger, jedoch immer noch Stickoxide frei. Diese tragen auch zu einer Geruchsstoffkonzentration bei.

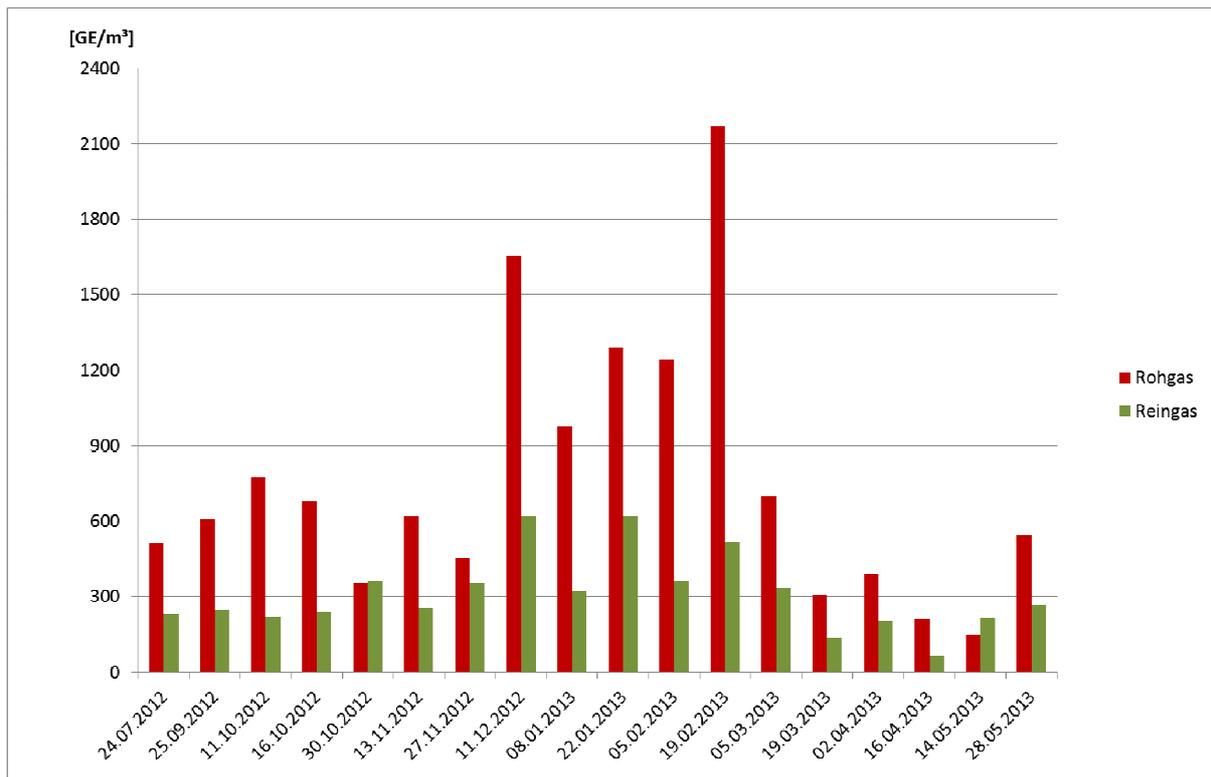


Abbildung 67. Darstellung der Geruchsstoffkonzentrationen im Roh- und Reingas

NH₃, Stickoxide

In Abbildung 68 sind die punktuell an den einzelnen Messtagen ermittelten Ammoniakkonzentrationen im Rohgas und im Reingas sowie die entsprechende Abscheidung dargestellt.

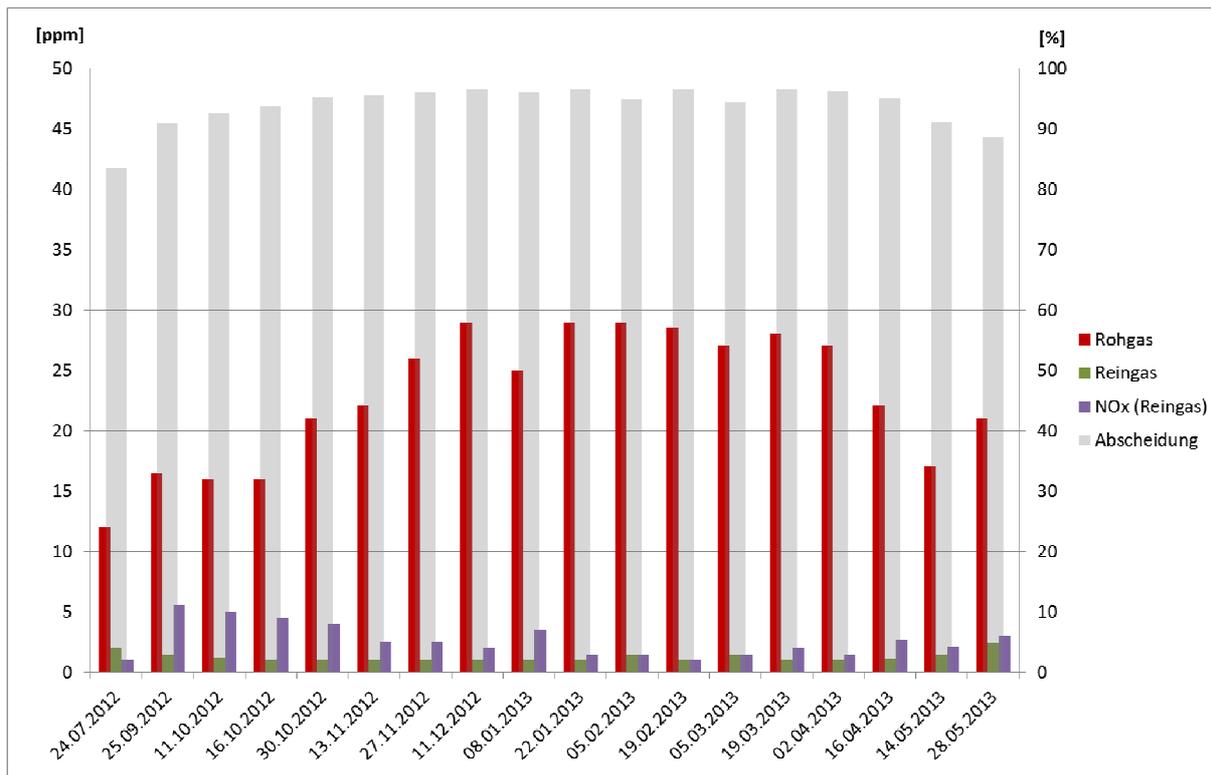


Abbildung 68. Darstellung der punktuell ermittelten NH_3 -Konzentrationen im Roh- und Reingas sowie der sich daraus ergebende Abscheidung, zusätzlich NO_x im Reingas

Die Abscheidung liegt an allen Terminen deutlich über 70 %. Es bildet sich ein typischer Verlauf mit höheren Konzentrationen in den kalten Monaten und sinkenden Konzentrationen in den wärmeren Monaten ab.

Auffällig sind die über einen langen Zeitraum sehr hohen Rohgaskonzentrationen von bis zu 30 ppm.

Die Anlage wurde im Herbst 2012 dahingehend optimiert, dass eine Laugendosierung eingebaut wurde, die einem starken Absinken des pH-Wertes entgegensteuert.

Zudem wurde der pH-Wert des Prozesswassers nicht nur im Umlauf gemessen, sondern auch im Rücklauf aus dem Rieselbett. Der hier gemessene Wert wurde als Regelparameter herangezogen.

Die kontinuierlichen Messungen zeigten ebenfalls eine durchgehend hohe Abscheidung.

Die punktuellen Einbrüche der Abscheidung aufgrund hoher Reingaswerte sind auf Wartungsarbeiten und durch die probenahmebedingte Abschaltung der Berieselung an den Messterminen zurückzuführen (Abbildung 69).

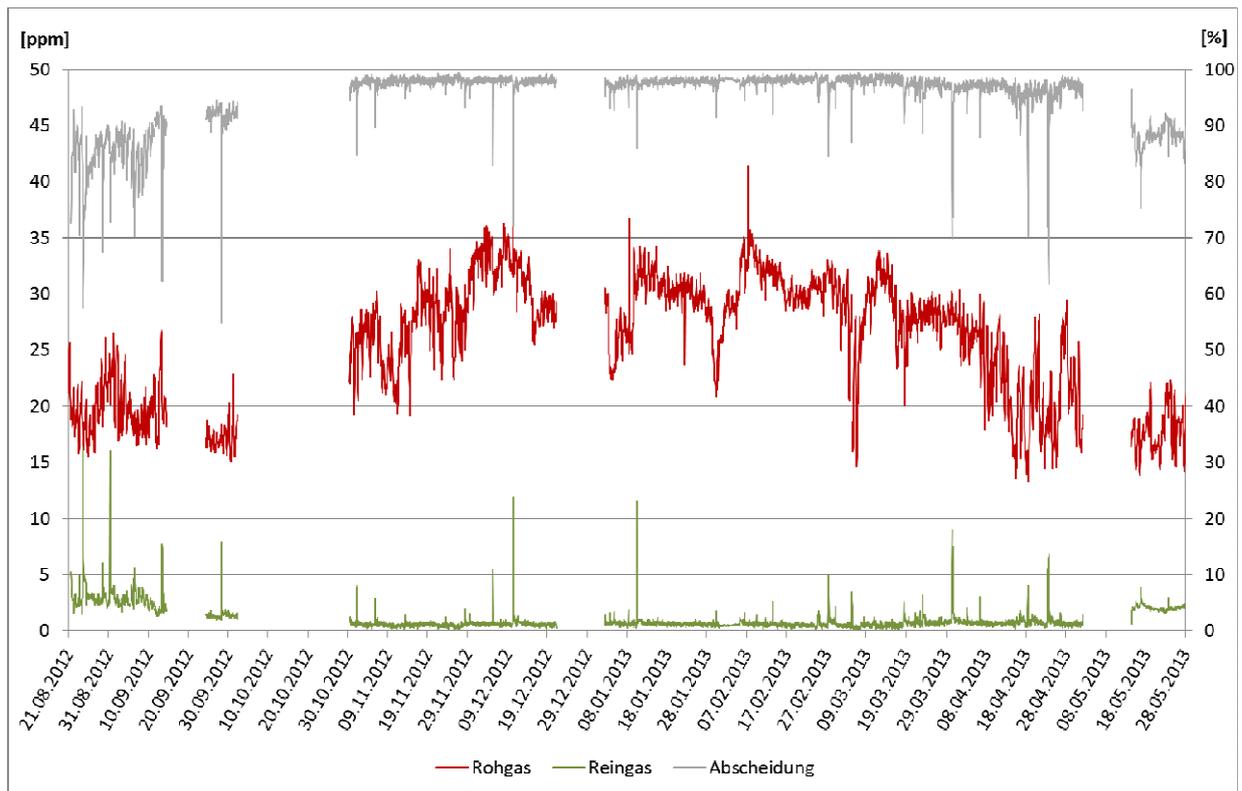


Abbildung 69. Darstellung der kontinuierlich ermittelten NH_3 -Konzentrationen im Roh- und Reingas sowie der sich daraus ergebenden Abscheidung

Die punktuell ermittelten hohen Rohgaskonzentrationen sind auch hier gut zu erkennen und überschreiten mit Werten von 35 ppm noch die punktuell ermittelten Konzentrationen.

Abbildung 70 zeigt neben dem Verlauf der NH_3 -Konzentrationen und Abscheidung zusätzlich die Konzentrationen an Stickoxiden im Reingas. Unter Berücksichtigung der gasförmigen Ein- und Austräge ist ebenfalls die Stickstoffabscheidung dargestellt.

Es wird deutlich, dass eine hohe NH_3 -Abscheidung nicht immer mit der Stickstoffabscheidung gleichzusetzen ist.

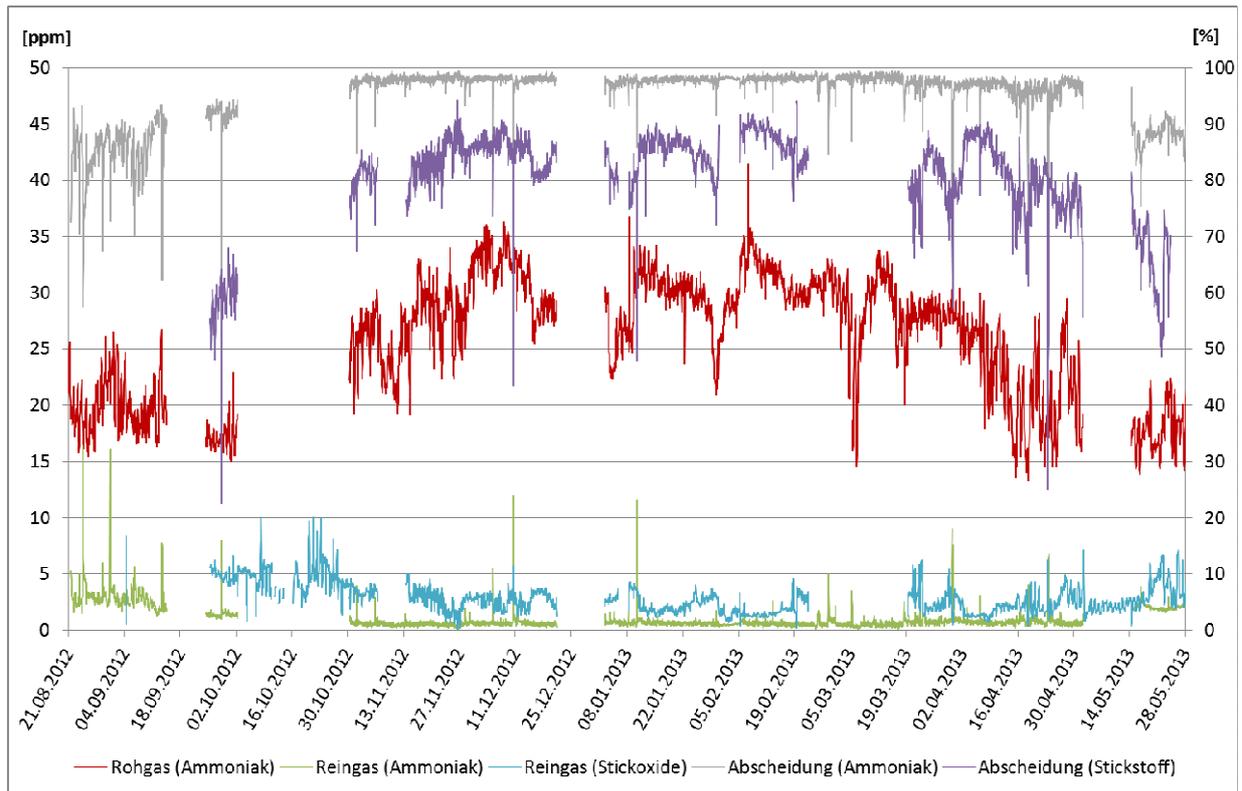


Abbildung 70. Darstellung der kontinuierlich ermittelten NH_3 -Konzentrationen im Roh- und Reingas, der NO_x -Konzentrationen im Reingas sowie der sich daraus ergebenden Abscheidung

Die Freisetzung von Stickoxiden ist unter anderem neben der Nitrit-Konzentration im Prozesswasser auch abhängig vom pH-Wert des Prozesswassers. Fällt dieser deutlich unter den Sollwert, werden als unmittelbare Folge Stickoxide freigesetzt.

Das wird auch anhand der Abbildung 71 deutlich. Dies zeigt neben dem Verlauf der Stickoxidkonzentrationen die pH-Werte des Umlaufwassers sowie des Rücklaufwassers (nach Einbau der Sonde am 13.10.2012). Lag der pH-Wert des Rücklaufwassers nach Einbau der Sonde noch im Bereich von pH 6 und fiel zeitweise darunter, so stieg die NO_x -Emission sofort an. Es wird zudem deutlich, dass es ein starkes pH-Gefälle innerhalb des Rieselbettes gab, welches nach Einbau der Rücklaufmessung nach und nach angeglichen werden konnte.

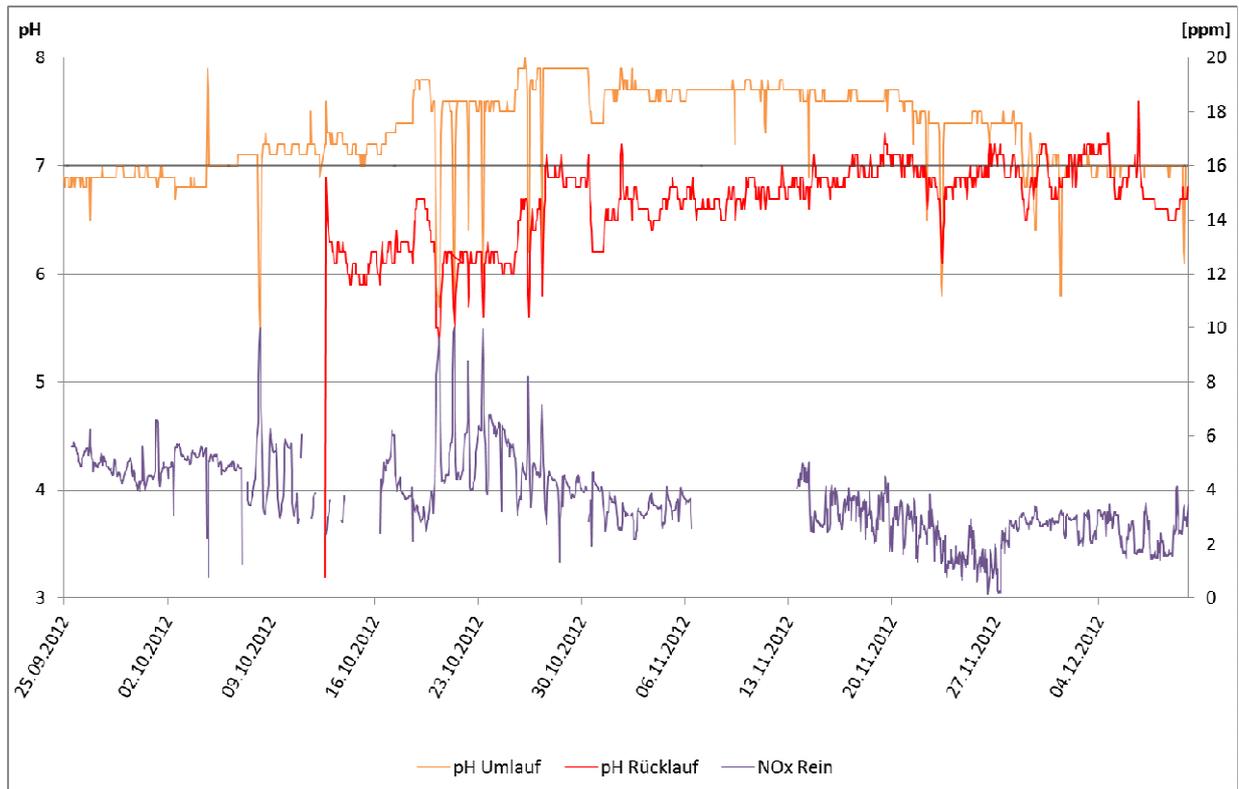


Abbildung 71. Darstellung der Stickoxid-Konzentrationen im Reingas und der pH-Werte im Umlauf- und Rücklaufwasser

Stickstoffbilanz

Anhand der kontinuierlich gemessenen Konzentrationen der gasförmigen Stickstoffverbindungen, der Ventilationsraten, der aufgezeichneten Abschlamm-Mengen sowie der Stickstoffgehalte des Prozesswassers konnte über einen lückenlosen Zeitraum von sechs Wochen eine Stickstoffbilanz erstellt werden.

Betrachtet man für den Zeitraum an gasförmigen Stickstoffverbindungen nur NH_3 ergibt dies bei einer Abscheidung von 96 % eine Wiederfindung von 73 % (Tabelle 22).

Tabelle 22. Bilanzierung der Stickstoffein- und –austräge im Zeitraum vom 19.03.2013 bis 30.04.2013 (Gasphase: nur NH₃)

| | | |
|--------------------------------------|--|---------------|
| Eintrag [kg] | Start N _{anorg.} -Waschstufen | 45,55 |
| | NH ₃ -N-Rohluft | 308,87 |
| | Summe EIN | 354,42 |
| Austrag [kg] | Ende N _{anorg.} -Waschstufen | 40,50 |
| | Abschlämmung | 205,44 |
| | NH ₃ -N-Reinluft | 12,71 |
| | Summe AUS | 258,65 |
| Differenz [kg] | EIN - AUS | 95,77 |
| Wiederfindung [%] | AUS/EIN | 73% |
| Minderungsgrad NH₃ | (EIN-AUS)/EIN | 0,96 |

Berücksichtigt man für den gleichen Zeitraum zusätzlich noch die weiteren gasförmigen Stickstoffverbindungen ergibt dies eine Stickstoffabscheidung von 79 % bei einer Wiederfindung von 85 % (Tabelle 23).

Tabelle 23. Bilanzierung der Stickstoffein- und –austräge im Zeitraum vom 19.03.2013 bis 30.04.2013 (Gasphase: NH₃, N₂O, NO_x)

| | | |
|---------------------------------|--|---------------|
| Eintrag [kg] | Start Nanorg.-Waschstufen | 45,55 |
| | (NH ₃ ,N ₂ O,NO,NO ₂)-N-Rohluft | 320,27 |
| | Summe EIN | 365,82 |
| Austrag [kg] | Ende N _{anorg.} -Waschstufen | 40,50 |
| | Abschlämmung | 205,44 |
| | (NH ₃ ,N ₂ O,NO,NO ₂)-N-Reinluft | 65,82 |
| | Summe AUS | 311,76 |
| Differenz [kg] | EIN - AUS | 54,07 |
| Wiederfindung Gesamt [%] | AUS/EIN | 85% |
| Minderungsgrad N | (EIN-AUS)/EIN | 0,79 |

3.3.2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Reinigungsleistung des Rieselbettreaktors hinsichtlich Geruch entsprach zu Beginn der Untersuchungen an dieser Anlage nicht den Anforderungen.

Bis zum 25.09.2012 wurde rohgastypischer Geruch im Reingas wahrgenommen.

Die anfangs sehr hohen Stickoxidkonzentrationen im Reingas gingen nach den Optimierungsmaßnahmen deutlich zurück. Dennoch war im Reingas auch olfaktorisch noch NO_x wahrnehmbar, was sich auch auf die Höhe der Reingaskonzentration auswirkte, die zeitweise über 300 GE/m^3 lag. Eine weitere Ursache hierfür sind zum Teil sehr hohe Rohgaskonzentrationen, die häufig auch erhöhte Reingaskonzentrationen zur Folge haben.

Der hier untersuchte Rieselbettreaktor wies durchgehend eine sehr hohe Ammoniakabscheidung auf. Begleitet wurde dies jedoch durch die Emission zeitweise sehr hoher Stickoxidkonzentrationen.

Diese gingen nach dem Einbau der Laugendosierung deutlich zurück. Der Einbau der pH-Messung im Rücklauf und die Einstellung dieses Parameters als Regelgröße bewirkten eine weitere Reduzierung und eine deutliche Stabilisierung des Systems.

Die permanent hohen Rohgaskonzentrationen von NH_3 können sich negativ auf die, in diesem rein biologischen arbeitenden System, ansässigen Mikroorganismen auswirken und sind daher sehr bedenklich.

Die Untersuchungen an dem Rieselbettreaktor zeigen,

- um den pH-Sollbereich sicher einhalten zu können, ist neben der Säure- auch eine Laugendosierung erforderlich.
- der Einbau einer zweiten pH-Sonde im Rücklauf bzw. die Messung des pH-Wertes im Rücklauf und die Regelung der Anlage anhand dieses Parameters stabilisieren das System deutlich. Grundsätzlich sollte bei einem Rieselbettreaktor eine Regelung anhand des pH-Wertes im Rücklauf erfolgen.
- anhand der Stickstoffbilanz, dass eine ausschließliche Betrachtung nur von Ammoniak nicht ausreicht. Aus dem Rohgas entferntes NH_3 darf nicht in Form von sekundären gasförmigen Stickstoffverbindungen mit ggf. noch höherem Schadpotential in die Atmosphäre abgegeben werden.

3.3.3 Chemisch-physikalische Anlagencharakterisierung – Teilbericht TÜV; Technischer Überwachungsverein NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Hannover

Arbeitspaket 7 - Roh- und Reingasbeprobung, Messung Gesamtstaub und Staubfraktionen (PM₁₀ und PM_{2,5})

3.4.1 Umfang der gewonnenen Ergebnisse

An der dreistufigen ARA konnten an 13 Messtagen 11 vollständige Messreihen im Sinne der Aufgabenstellung vorgenommen werden. Die Messtage lagen synchron mit denen der anderen Projektpartner, wobei eine Gegenüberstellung der ermittelten Staubkonzentrationen mit den Keimzahlen nur für neun Messtage vorgenommen werden konnte.

An dem Rieselbettreaktor wurden an 19 Messtagen 14 vollständige Messreihen im Sinne der Aufgabenstellung vorgenommen. Die Messtage lagen zum Teil nicht synchron mit denen der anderen Projektpartner, da die Personal- und Materialdisposition nicht den vorgegebenen Terminplan abbilden konnte bzw. im Winter bei extremen Wetterbedingungen keine ordnungsgemäße Durchführung der Probenahmen im Reingas gewährleistet war. So wurden folgende Messtermine ersatzweise eingelegt: 25.09.2012, 20.02.2013, 20.02.2013, 17.04.2013 und 29.05.2013.

Weitere drei Messreihen an dem Rieselbettreaktor (Datum: 11.12.2012, 08.01.2013, 05.02.2013) lieferten keine plausiblen Ergebnisse für die Reingasseite. Die ARA neigt bei Umgebungstemperaturen unterhalb von ca. 5 °C in Folge deutlicher Übersättigung des Reingases mit Wasserdampf zu Tropfenflug. Es wurde an diesen Messtagen keine auf den Tropfenflug abgestimmte Probenahme vorgenommen. Es bildete sich Kondensat im Sondenrohr, welches teilweise bei den regelmäßigen Unterbrechungen der Probenahmen zum Versetzen der Probenahmehaube auf die Filtermedien zurückfloss. Bei den folgenden vier Probenahmeserien (Datum: 19./20.02.2013, 19./20.03.2013) wurden die Probenahmeköpfe im Reingas beheizt, wodurch ein Eindampfen eintretender Tröpfchen bewirkt wurde und ein Rückfluss von Kondensat verhindert werden konnte.

Für die Probenahmen vom 19./20.03.2013 liegen keine Messwerte für die Trocknungstemperatur der Filtermedien von 20 °C vor. Diese Analytik unterblieb, um

eine rechtzeitige Bereitstellung der Proben für den regulären Messtermin am 02.04.2013 zu gewährleisten.

3.4.2 Messergebnisse für Gesamtstaub

Die Gesamtstaubkonzentrationen sind hier für beide Trocknungstemperaturen angegeben, wobei zu berücksichtigen ist, dass der für 20 °C ausgewiesene Wert keine Ablagerungen vor dem Filtermedium beinhaltet. Das sich im direkten Vergleich der Analytmengen der Filtermedien für beide Trocknungstemperaturen ergebende Verhältnis zwischen dem „heißen“ (160 °C) und dem „kalten“ (20 °C) Wert ist jeweils im Anhang aufgeführt.

Tabelle 24. Gesamtstaubkonzentrationen und – massenströme im Rohgas

| Parameter | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|--|-----------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Gesamtstaubkonzentration [mg/m³] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 1,00 | 2,10 | 3,71 | 1,58 | 2,71 | 4,04 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,88 | 2,14 | 4,13 | 1,05 | 2,44 | 3,71 |
| Gesamtstaubmassenstrom [kg/h] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,071 | 0,135 | 0,238 | 0,037 | 0,060 | 0,101 |

Tabelle 25. Gesamtstaubkonzentrationen und – Massenströme im Reingas

| Parameter | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|--|-----------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Gesamtstaubkonzentration [mg/m³] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 0,08 | 0,22 | 0,35 | 0,15 | 0,43 | 1,67 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,04 | 0,18 | 0,32 | 0,14 | 0,49 | 1,41 |
| Gesamtstaubmassenstrom [kg/h] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,003 | 0,012 | 0,029 | 0,004 | 0,012 | 0,036 |

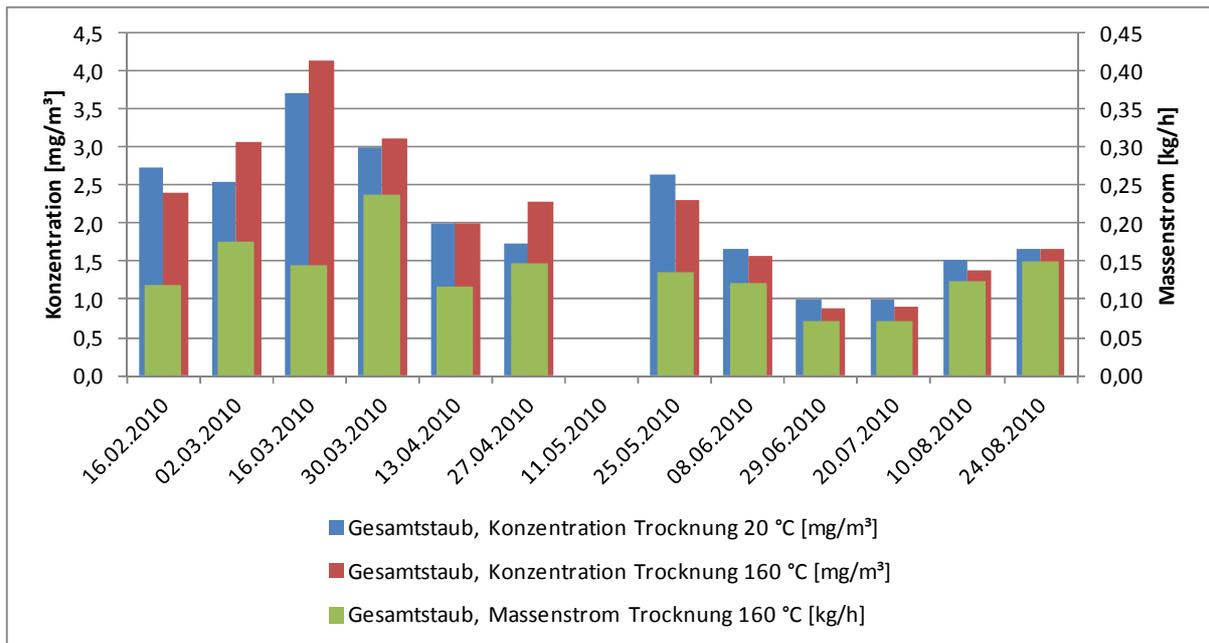


Abbildung 72. Rohgaskonzentrationen und -massenströme Gesamtstaub, dreistufige ARA

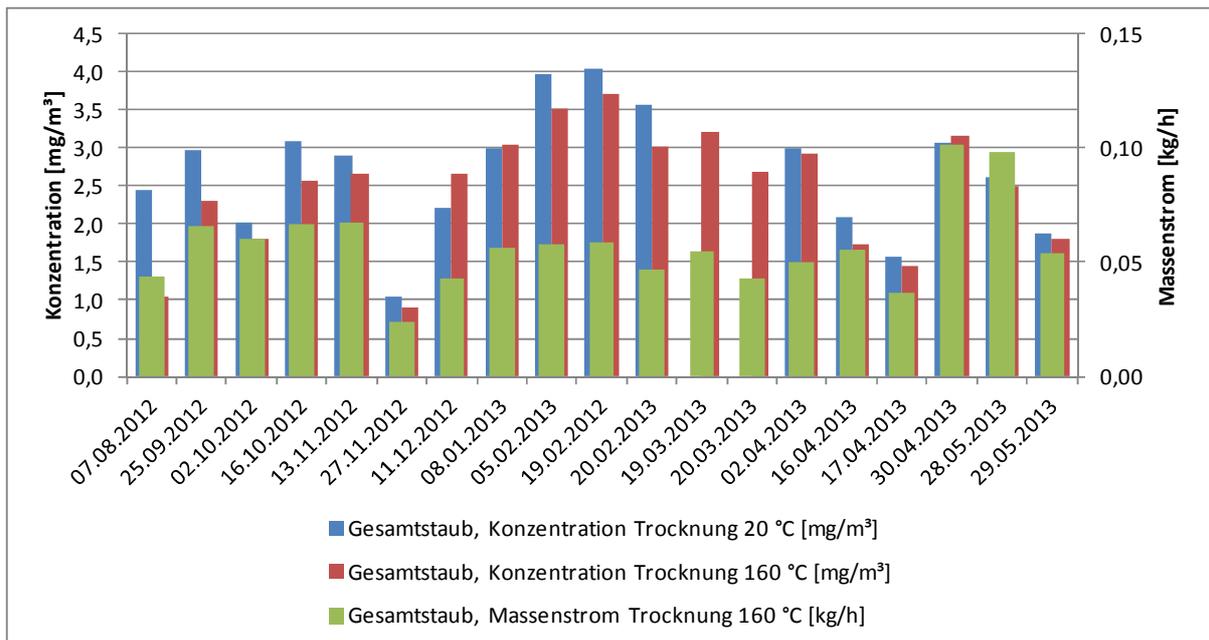


Abbildung 73. Rohgaskonzentrationen und -massenströme Gesamtstaub, Rieselbettreaktor

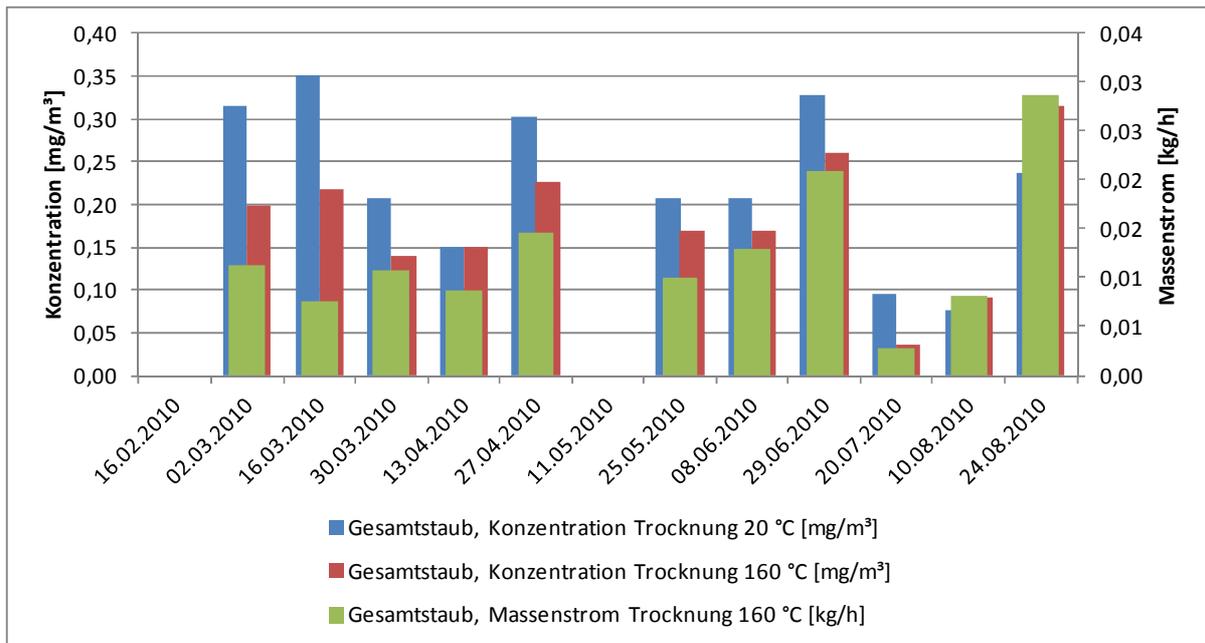


Abbildung 74. Reingaskonzentrationen und -massenströme Gesamtstaub, dreistufige ARA

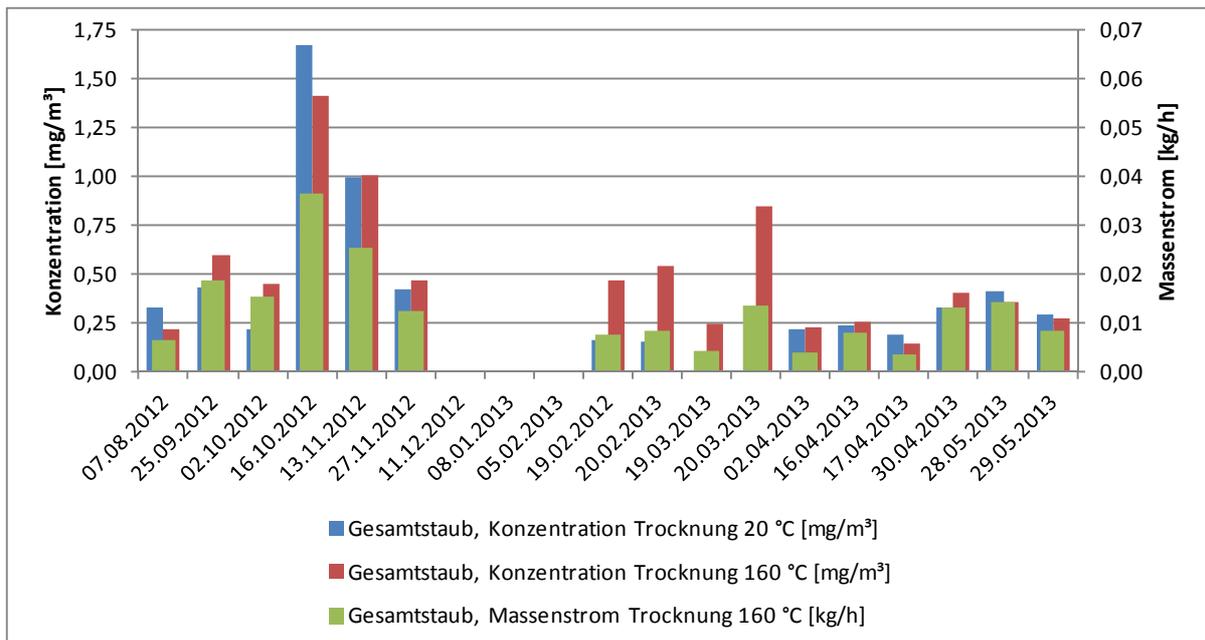


Abbildung 75. Reingaskonzentrationen und -massenströme Gesamtstaub, Rieselbettreaktor

3.4.3 Messergebnisse für die Partikelgrößenverteilung

Für die Partikelgrößenverteilung gelten die Vorbemerkungen insbesondere zum Temperaturverhalten des Rieselbettreaktors entsprechend.

Tabelle 26. Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} im Rohgas

| Parameter | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|---|-----------------|--------|------|-------------------|--------|------|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Partikelfraktion PM₁₀ [mg/m] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 0,94 | 1,41 | 2,39 | 0,64 | 1,37 | 1,99 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,66 | 1,02 | 1,95 | 0,25 | 0,93 | 1,56 |
| Partikelfraktion PM_{2,5} [mg/m] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 0,52 | 0,90 | 1,84 | 0,34 | 0,79 | 1,42 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,28 | 0,65 | 1,53 | 0,11 | 0,56 | 1,14 |

Tabelle 27. Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} im Reingas

| Parameter | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|---|-----------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Partikelfraktion PM₁₀ [mg/m] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 0,099 | 0,193 | 0,430 | 0,085 | 0,166 | 0,337 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,038 | 0,115 | 0,208 | 0,026 | 0,073 | 0,181 |
| Partikelfraktion PM_{2,5} [mg/m] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 0,022 | 0,052 | 0,097 | 0,024 | 0,061 | 0,141 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 0,004 | 0,023 | 0,045 | 0,012 | 0,027 | 0,083 |

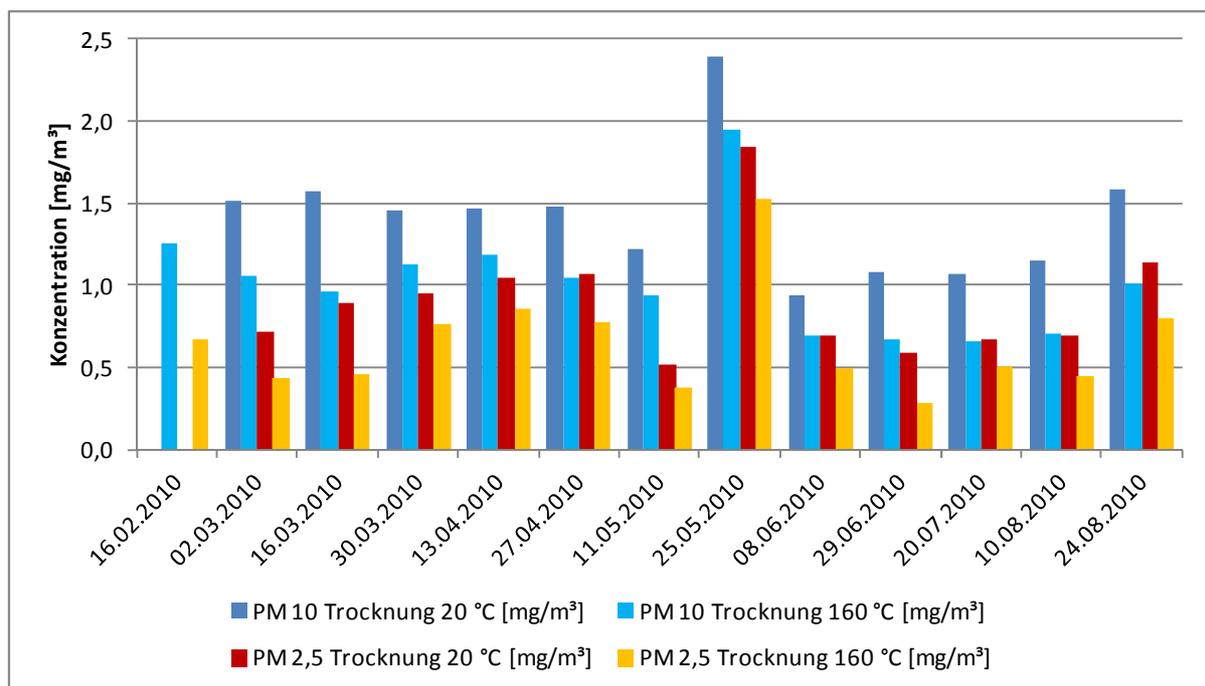


Abbildung 76. Partikelgrößenverteilung im Rohgas, dreistufige ARA

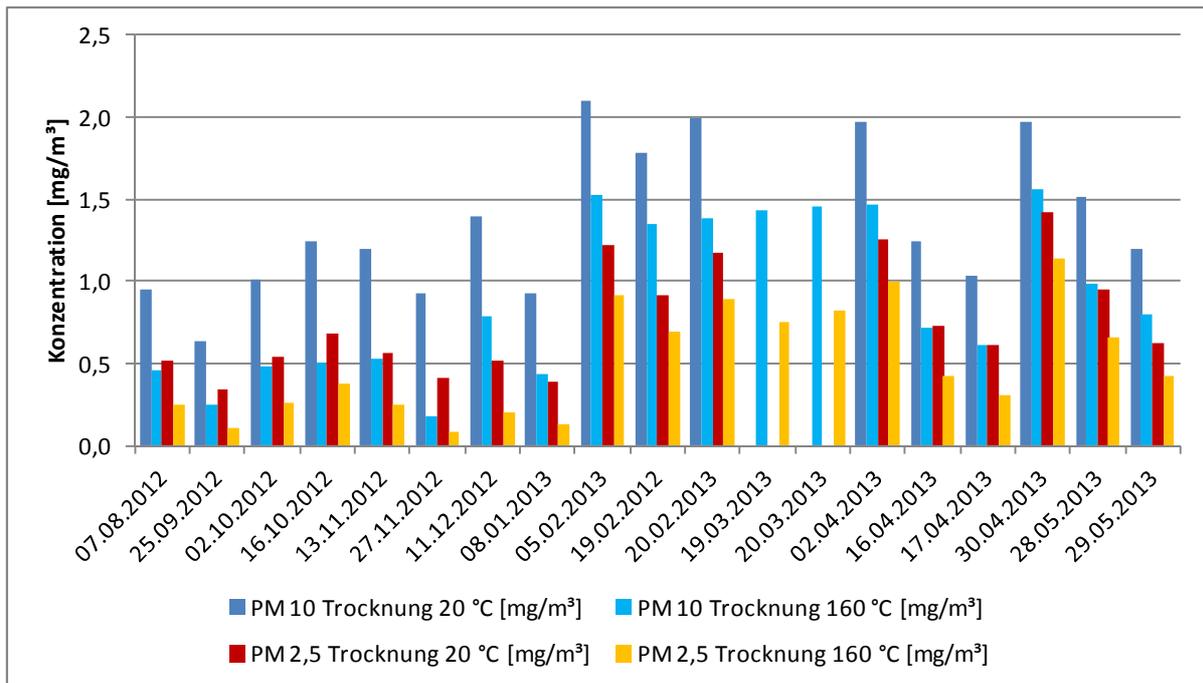


Abbildung 77. Partikelgrößenverteilung im Rohgas, Rieselbettreaktor

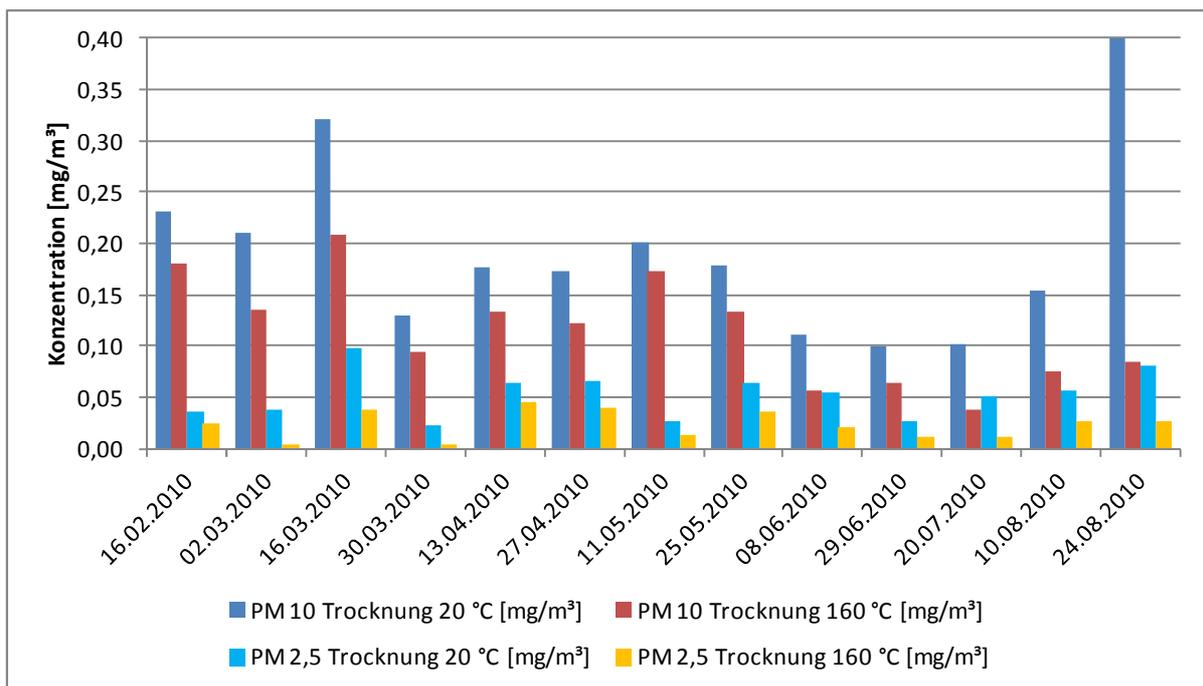


Abbildung 78. Partikelgrößenverteilung im Reingas, dreistufige ARA

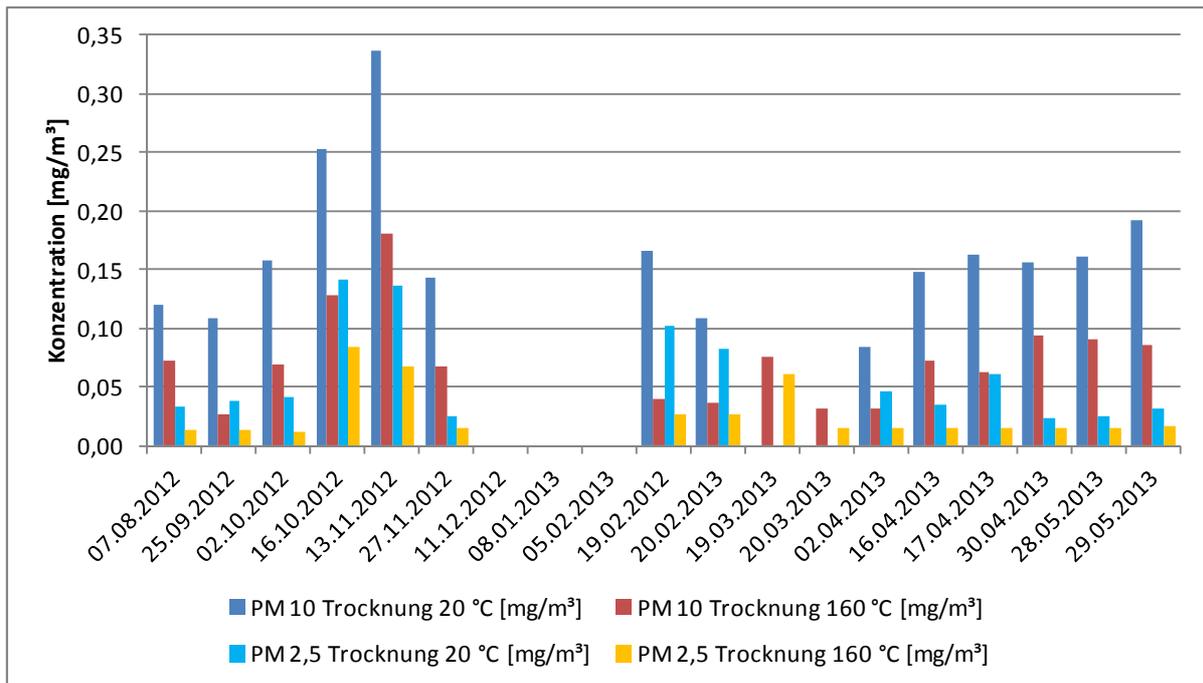


Abbildung 79. Partikelgrößenverteilung im Reingas, Rieselbettreaktor

3.4.4 Rechenwerte für die Abscheideleistung für Staub und Partikelfractionen

Die für die beiden ARA ermittelten Abscheideleistungen sind in der Tabelle 28 aufgeführt. Die Werte für die bei 20 °C Trocknungstemperatur ermittelten Abscheideleistungen für die Partikelkollektive PM₁₀ und PM_{2,5} sind informativ angegeben, da sie tendenziell Rückschlüsse auf biogene Sekundäremissionen erlauben. Im verfahrenstechnischen Sinne und zum Vergleich mit anderen im Rahmen des Cloppenburg Leitfadens zertifizierten Anlagen maßgebend sind die für eine Trocknungstemperatur von 160 °C ausgewiesenen Werte. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass am Rieselbettreaktor die Diskrepanz zwischen den für Gesamtstaub ausgewiesenen Abscheideleistungen und denjenigen für die Partikelfractionen auf die teils extrem hohen Anteile der Ablagerungen vor den Abscheidemedien an den Gesamtstaubmesswerten zurückzuführen ist. In den Probenahmeköpfen für die Partikelfractionen wurden hier vergleichbar hohe Anteile an der gesamten Analytmenge (Summe Abscheidemedien + Ablagerungen) gefunden, die aber nicht in den Rechenwert der Abscheideleistung eingehen.

Tabelle 28. Abscheideleistungen der beiden untersuchten ARA

| Parameter | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|--|-----------------|--------|-----|-------------------|--------|-----|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Gesamtstaub [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 70 | 90 | 96 | 45 | 80 | 92 |
| Partikelfraktion PM₁₀ [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 73 | 87 | 93 | 72 | 87 | 96 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 78 | 89 | 94 | 66 | 89 | 98 |
| Partikelfraktion PM_{2,5} [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 89 | 94 | 98 | 76 | 91 | 98 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 92 | 96 | 99 | 73 | 93 | 99 |

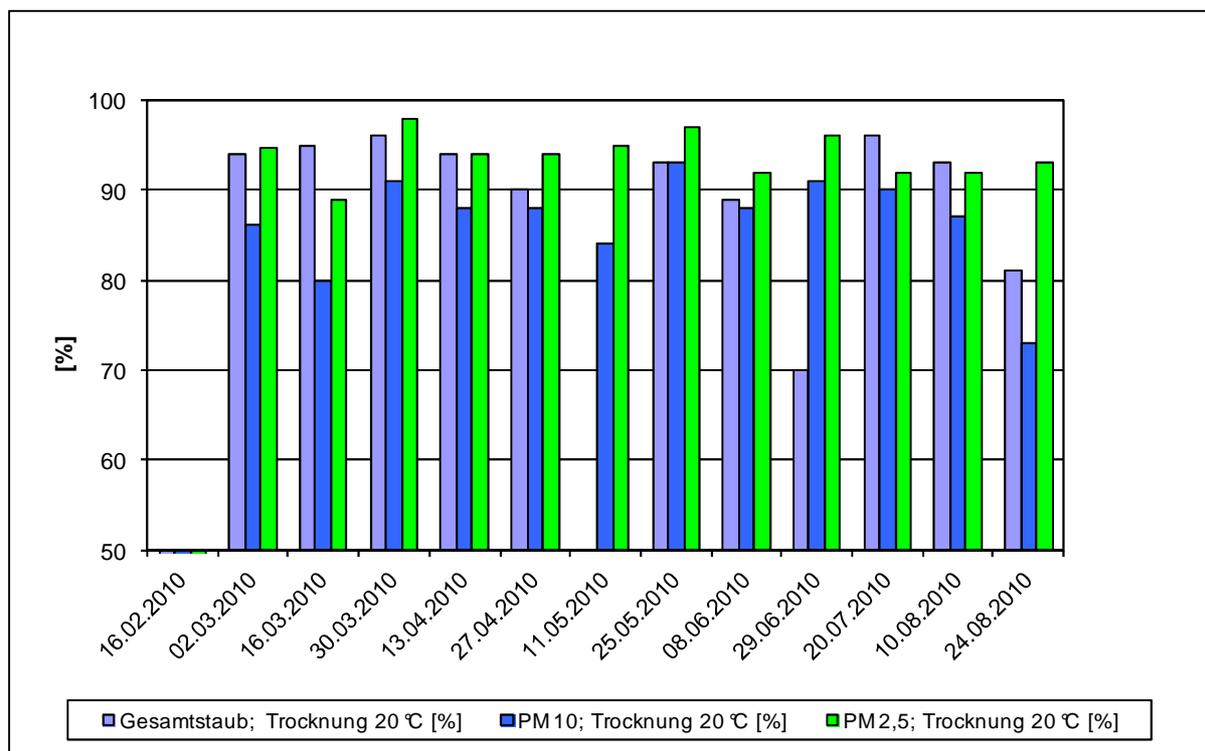


Abbildung 80. Abscheidewirkungsgrade (Trocknungstemperatur 20 °C), dreistufige ARA

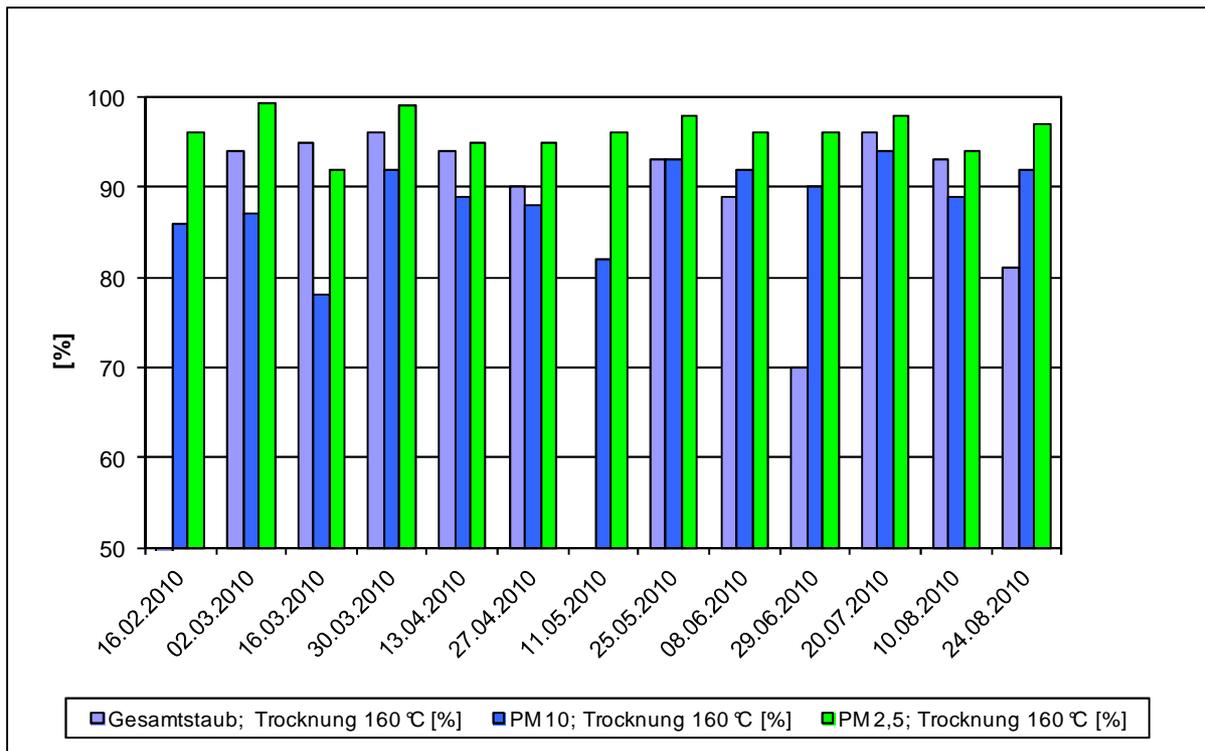


Abbildung 81. Abscheidewirkungsgrade (Trocknungstemperatur 160 °C), dreistufige ARA

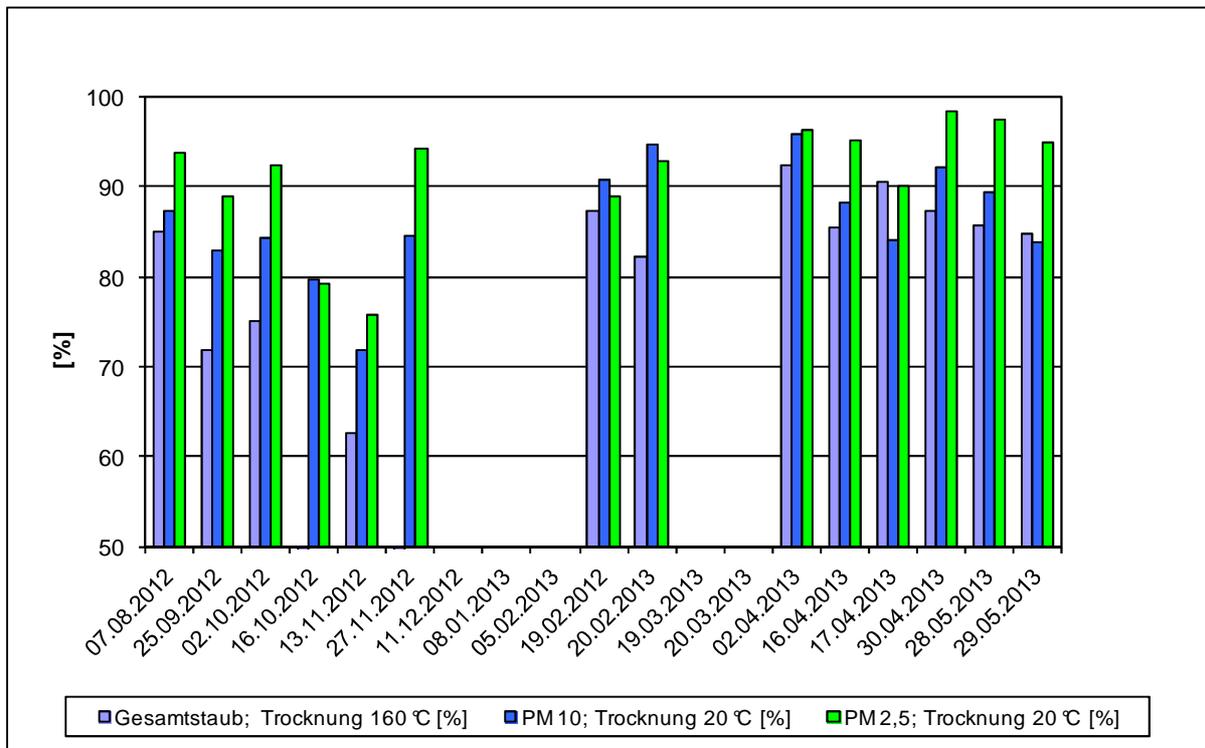


Abbildung 82. Abscheidewirkungsgrade (Trocknungstemperatur für Partikelfractionen 20 °C), Rieselbettreaktor

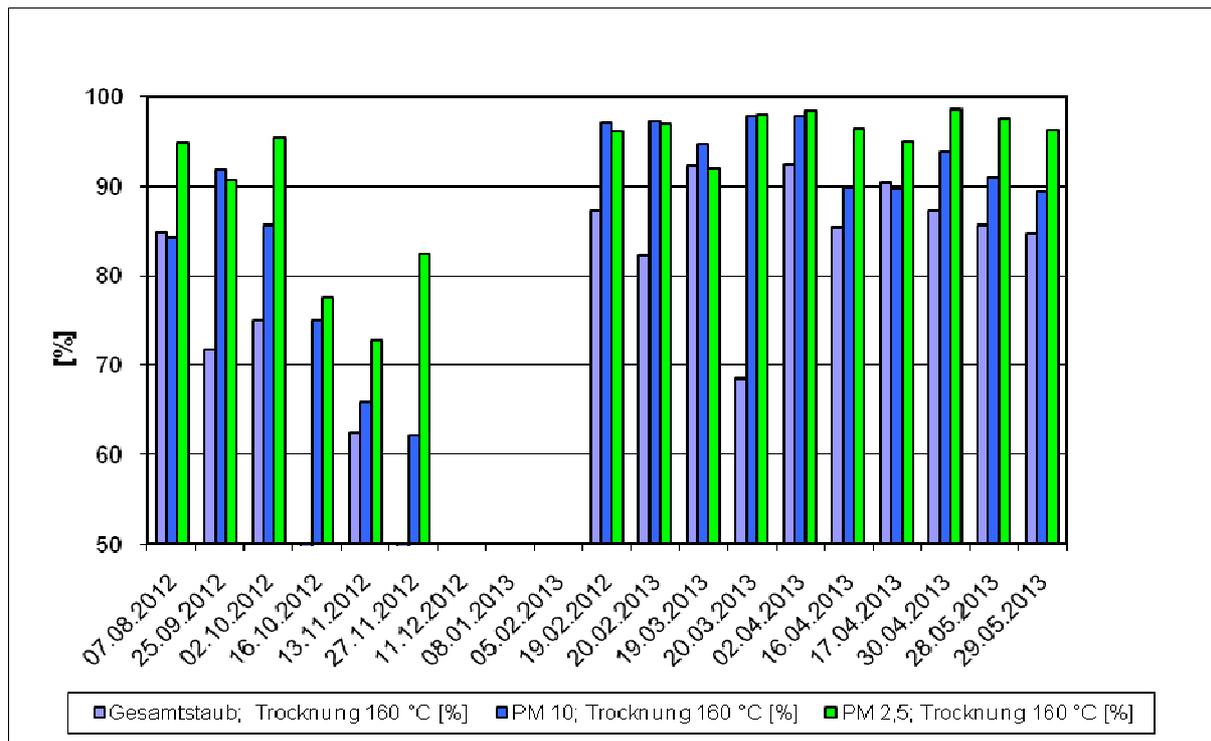


Abbildung 83. Abscheidewirkungsgrade (Trocknungstemperatur 160 °C), Rieselbettreaktor

Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Keimzahl

Zur Klärung der Frage, ob die Gesamtstaubkonzentration als Ersatzgröße für die Gesamtkeimzahl dienen kann oder ob sich andere Schlussfolgerungen aus dem Verhalten der beiden Messgrößen zueinander ableiten lassen, wurden für beide Anlagen jeweils roh- und reingasseitig Korrelationen vorgenommen. Diese sind im Folgenden grafisch dargestellt. Es wurden für die Messgröße Gesamtstaub die bei einer Trocknungstemperatur von 20 °C ermittelten Werte herangezogen, da diese Trocknungstemperatur eine Analyse ohne Verlust an organischem Material gewährleistet.

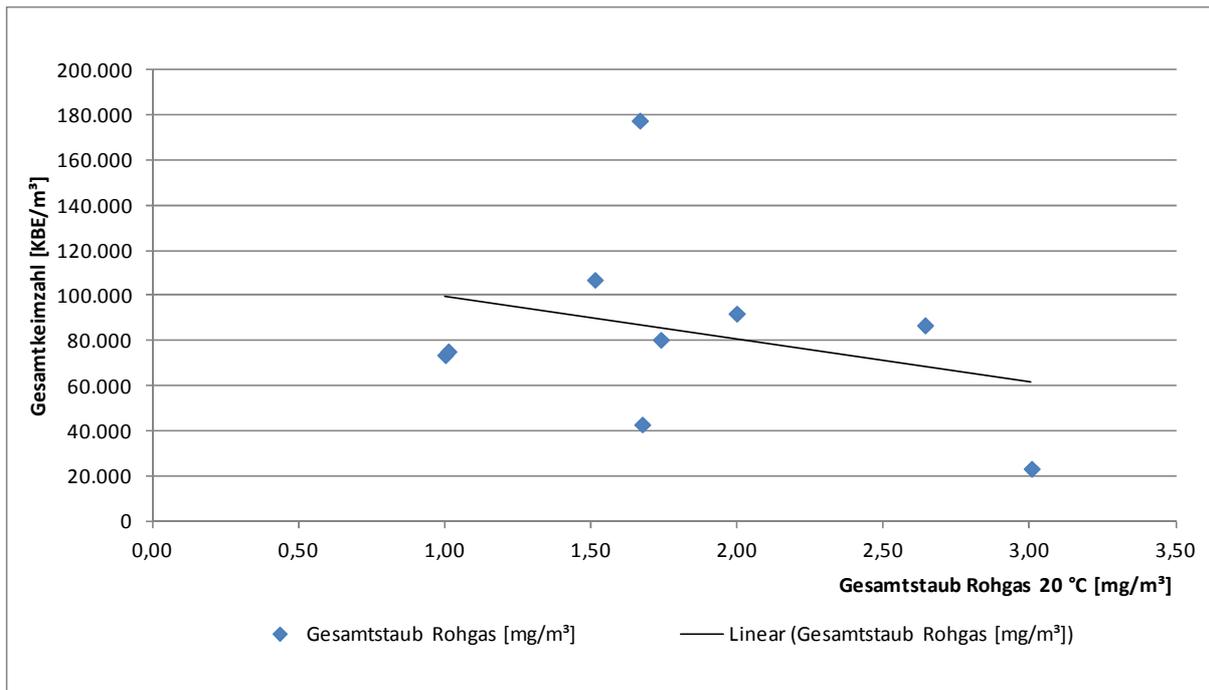


Abbildung 84. Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Gesamtkeimzahl Rohgas, dreistufige ARA

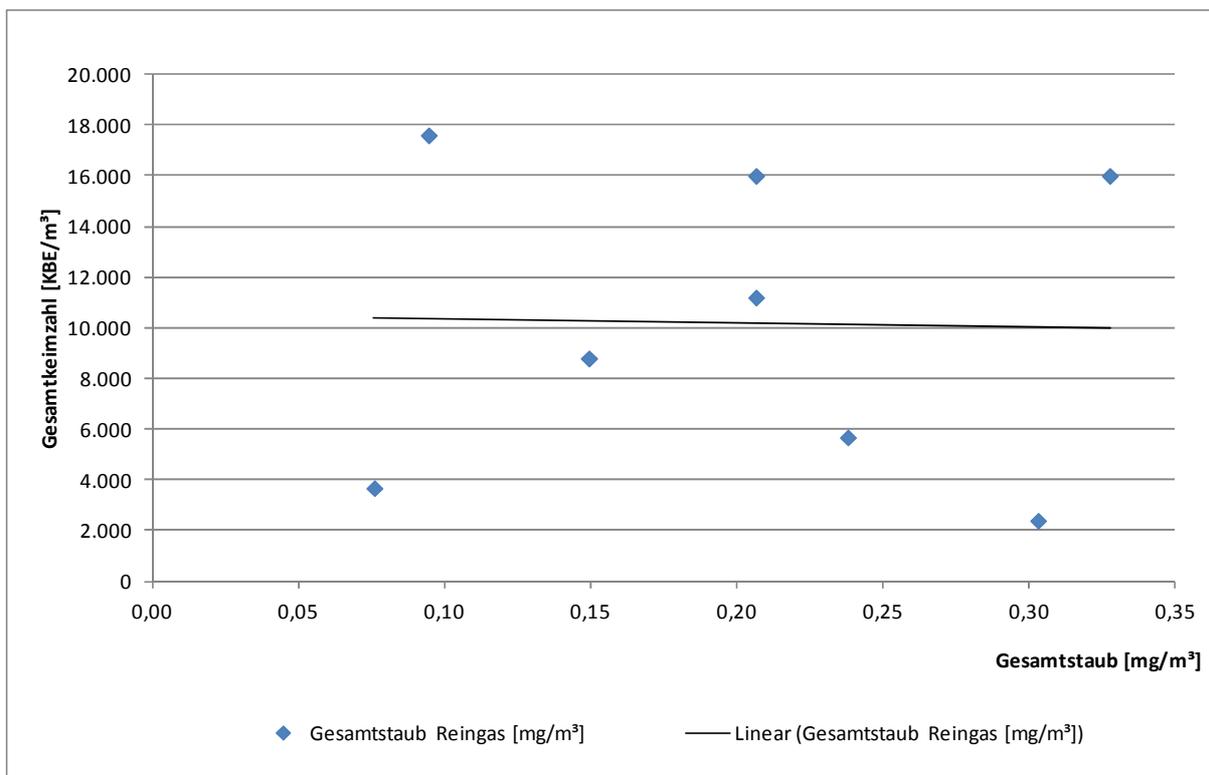


Abbildung 85. Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Gesamtkeimzahl Reingas, dreistufige ARA

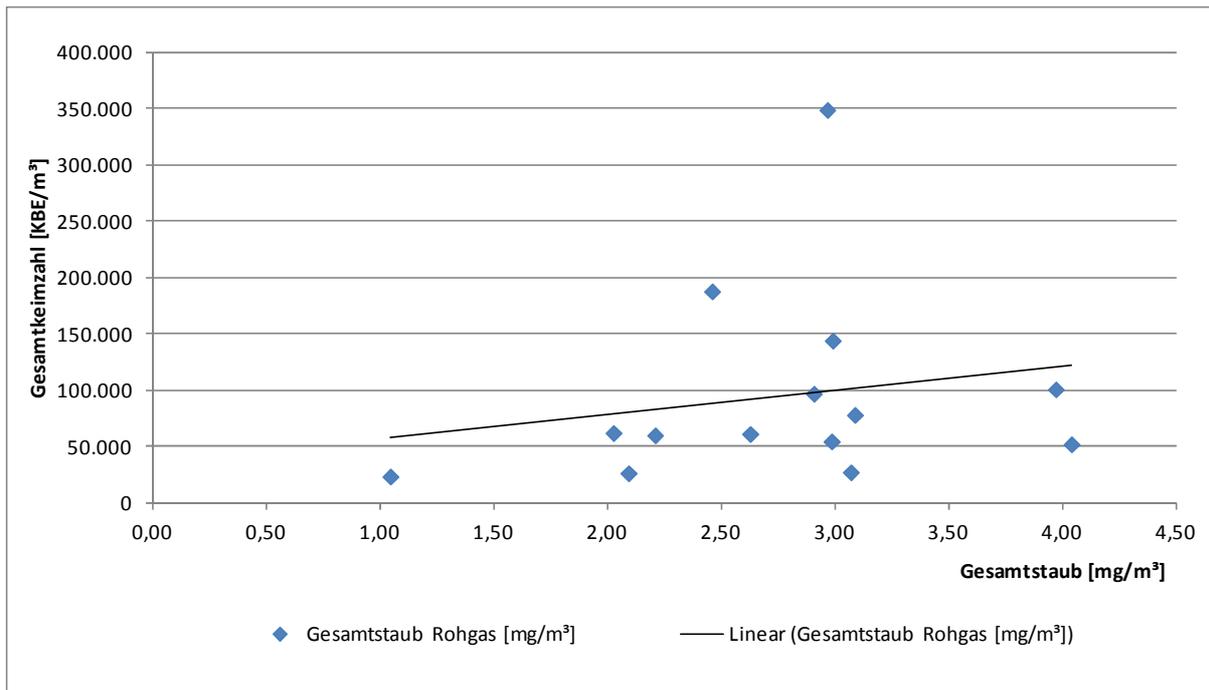


Abbildung 86. Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Gesamtkeimzahl Rohgas, Rieselfbettreaktor

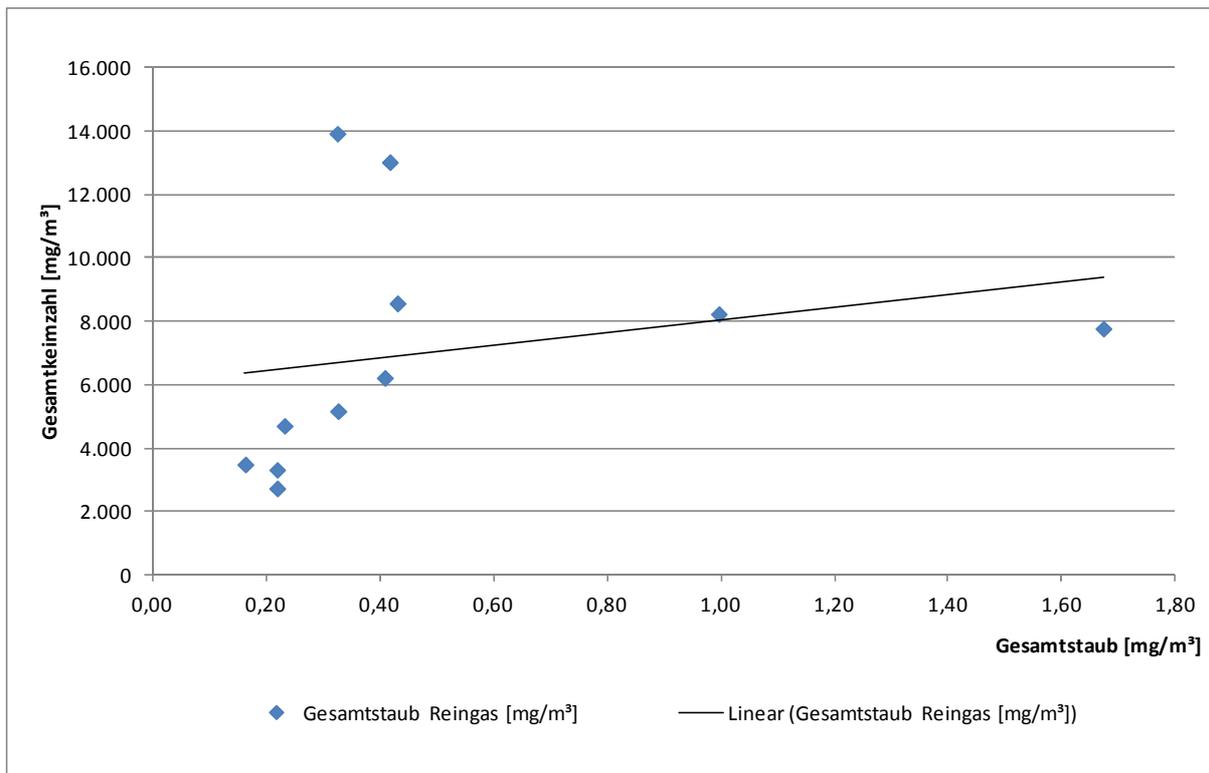


Abbildung 87. Gegenüberstellung Gesamtstaub zu Gesamtkeimzahl Rohgas, Rieselfbettreaktor

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtstaubkonzentration und der Gesamtkeimzahl besteht. Dies gilt unabhängig vom Anlagentyp und der Probenahmestelle.

3.4.5 Gegenüberstellung Partikelfractionen zu Gesamtstaub

Die in den Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 ersichtlichen Schwankungsbreiten der Konzentrationen werfen die Frage auf, ob die Anteile der Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} am Gesamtstaub für die jeweilige Anlage einen charakteristischen Wert annehmen. Ein solcher Wert würde das jeweilige Rohgas charakterisieren und Aufschlüsse über das Abscheideverhalten der ARA erlauben. Zu diesem Zweck wurden die Roh- und Reingaskonzentrationen in Form linearer Regressionen mit der zugehörigen Gesamtstaubkonzentration gegenübergestellt.

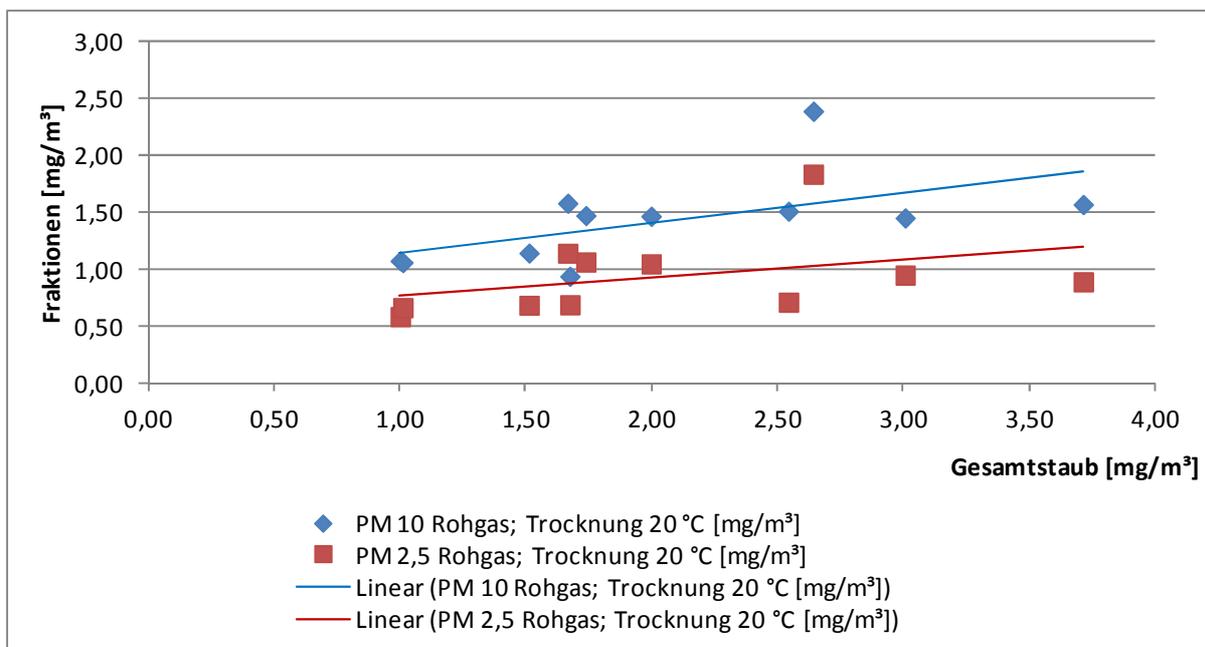


Abbildung 88. Gegenüberstellung Partikelfractionen zu Gesamtstaub; Rohgas (20 °C), dreistufige ARA

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,264 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,89 \quad (R^2=0,565)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,156 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,62 \quad (R^2=0,372)$$

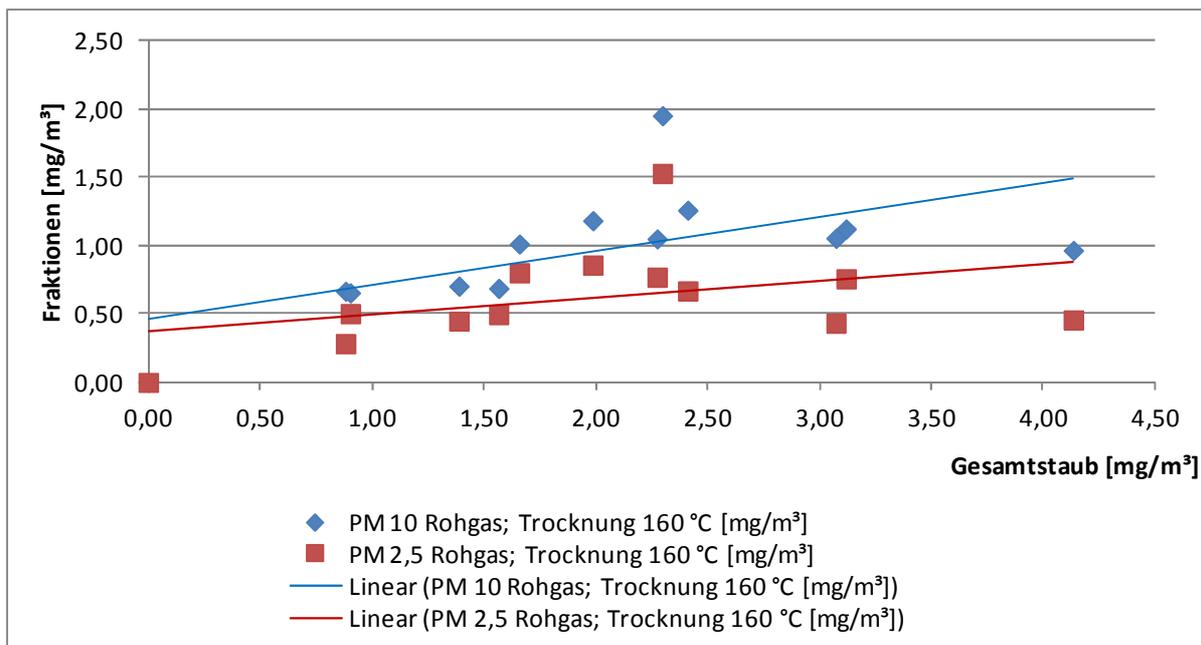


Abbildung 89. Gegenüberstellung Partikelfraktionen zu Gesamtstaub; Rohgas (160 °C), dreistufige ARA

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,248 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,46 \quad (R^2 = 0,606)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,123 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,37 \quad (R^2 = 0,373)$$

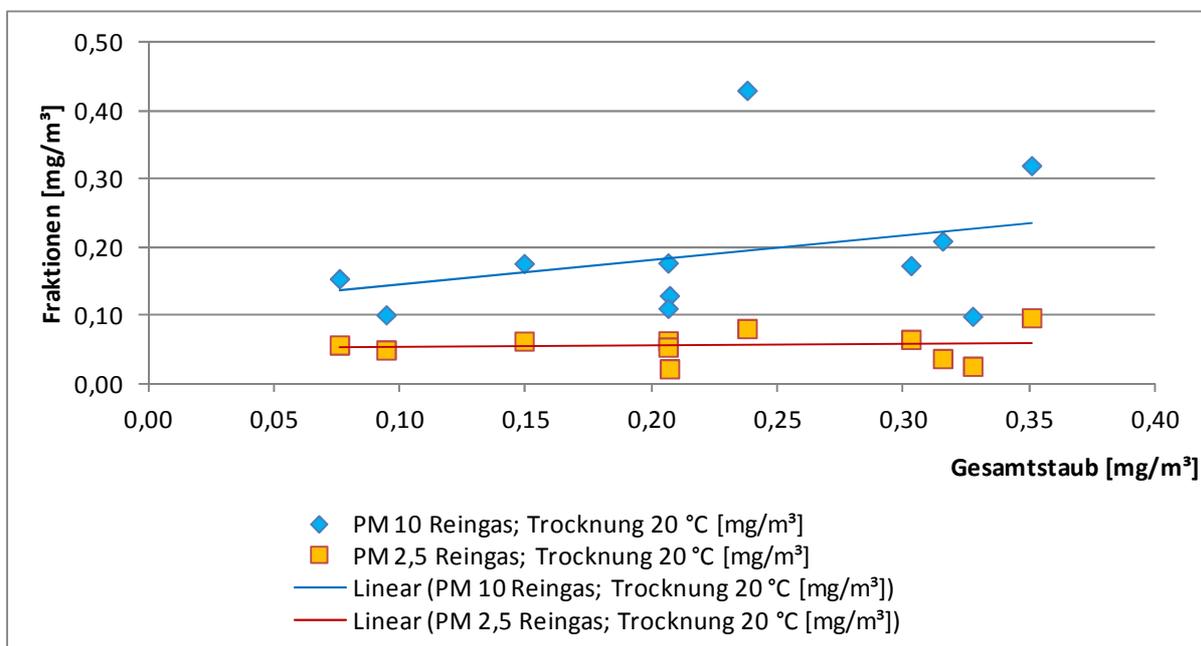


Abbildung 90. Gegenüberstellung Partikelfraktionen zu Gesamtstaub; Reingas (20 °C), dreistufige ARA

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,361 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,11 \quad (R^2 = 0,332)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,024 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,05 \quad (R^2 = 0,100)$$

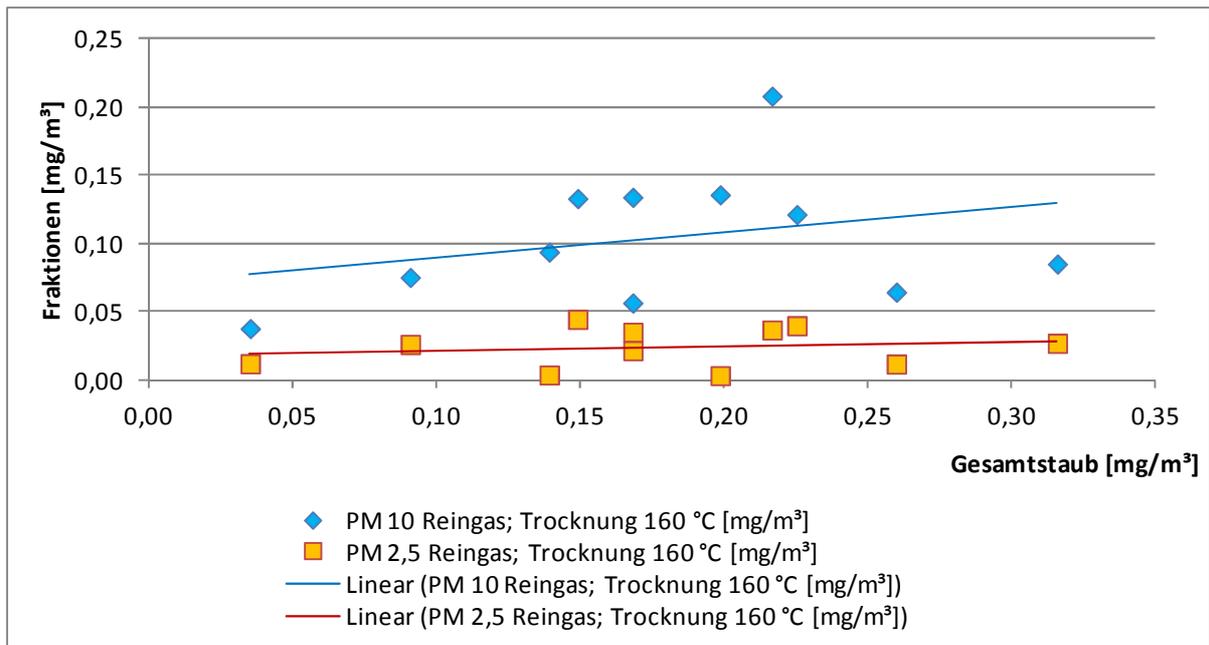


Abbildung 91. Gegenüberstellung Partikelfractionen zu Gesamtstaub; Reingas (160 °C), dreistufige ARA

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,188 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,07 \quad (R^2 = 0,302)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,031 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,02 \quad (R^2 = 0,165)$$

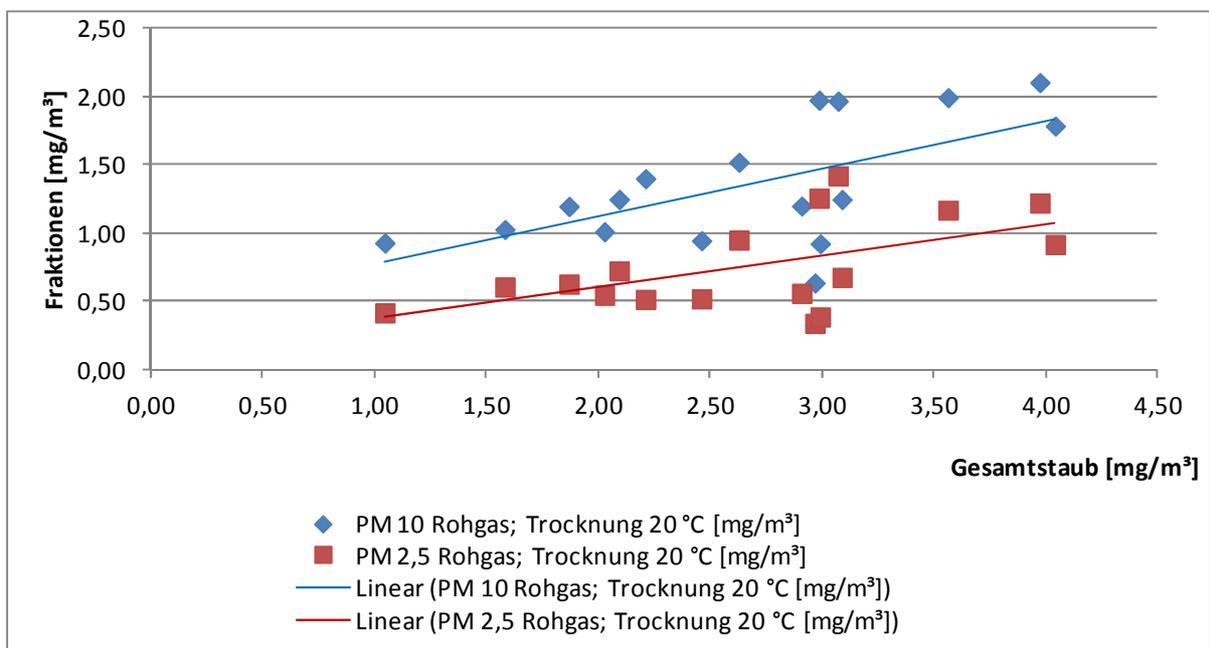


Abbildung 92. Gegenüberstellung Partikelfractionen zu Gesamtstaub; Rohgas (20 °C), Rieselbettreaktor

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,347 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,43 \quad (R^2 = 0,621)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,230 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,14 \quad (R^2 = 0,555)$$

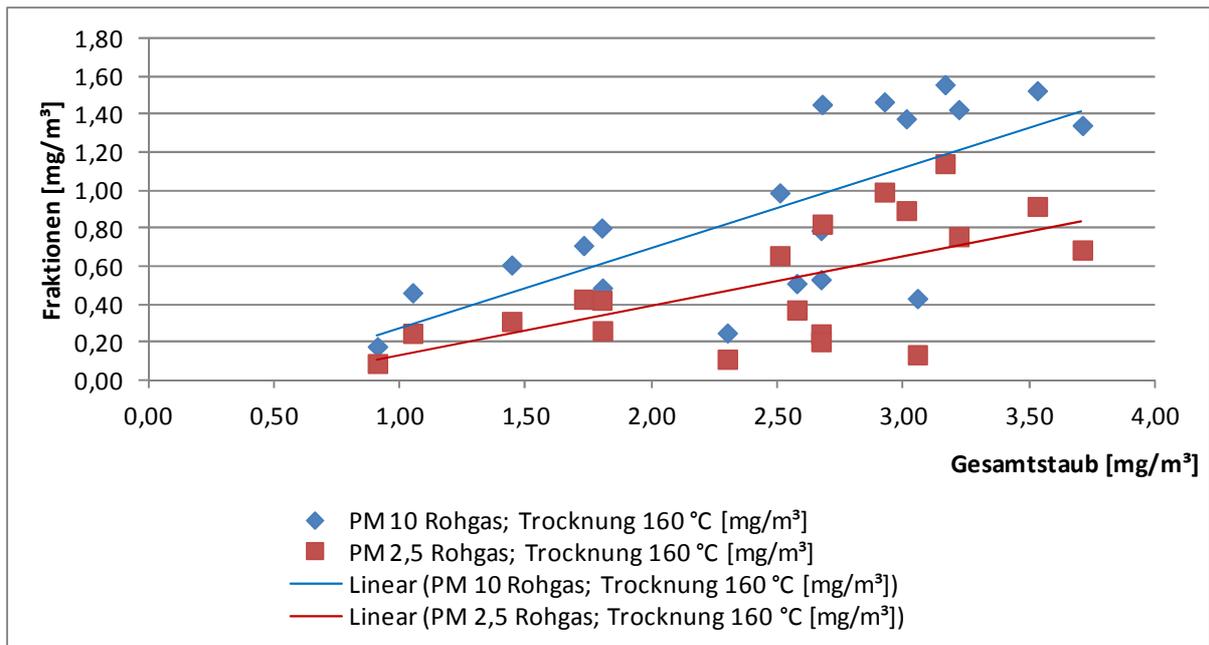


Abbildung 93. Gegenüberstellung Partikelfraktionen zu Gesamtstaub; Rohgas (160 °C), Rieselbettreaktor

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,423 * c(\text{Gesamtstaub}) - 0,15 \quad (R^2 = 0,711)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,258 * c(\text{Gesamtstaub}) - 0,13 \quad (R^2 = 0,623)$$

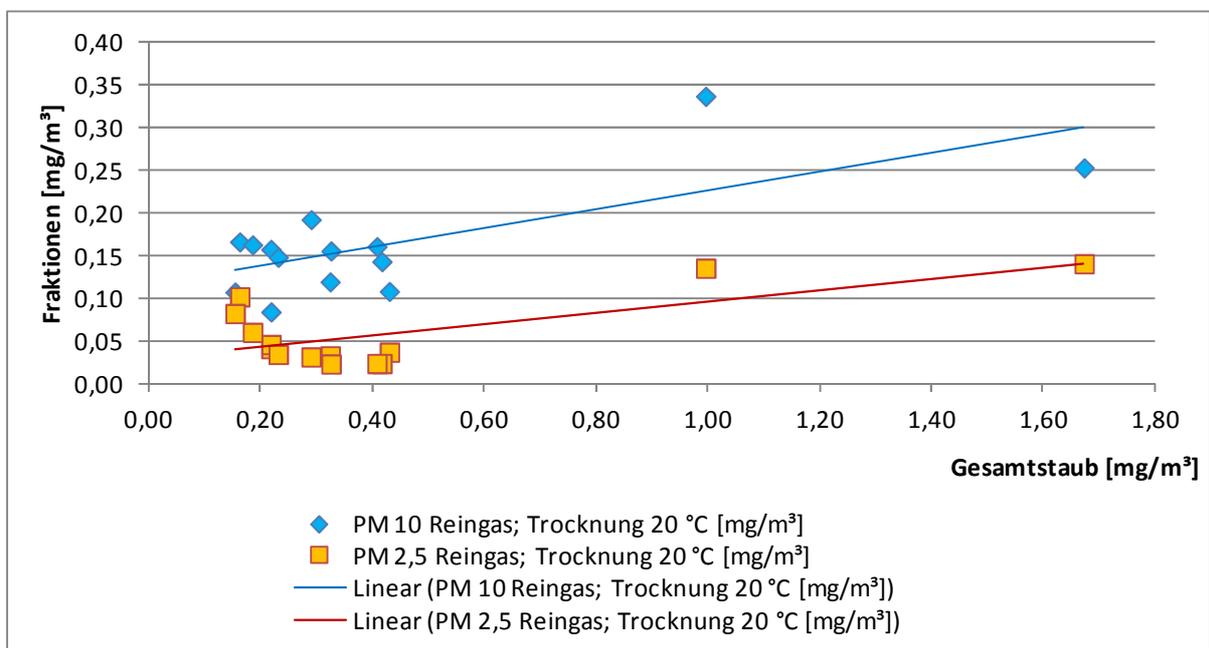


Abbildung 94. Gegenüberstellung Partikelfraktionen zu Gesamtstaub; Reingas (20 °C), Rieselbettreaktor

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,110 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,12 \quad (R^2 = 0,709)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,067 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,03 \quad (R^2 = 0,678)$$

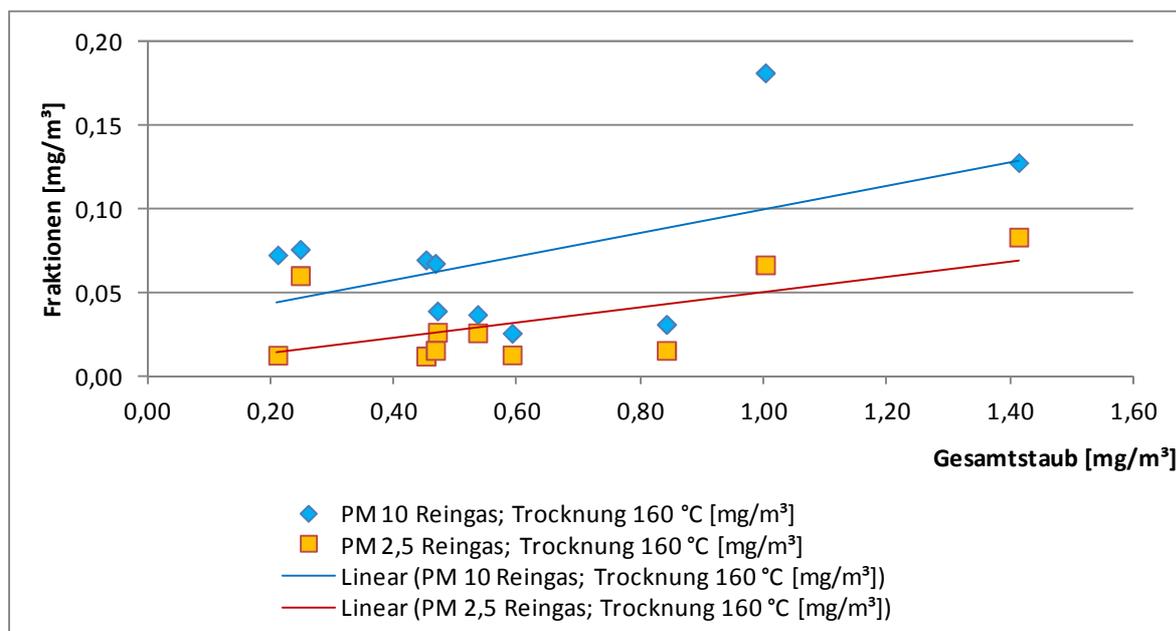


Abbildung 95. Gegenüberstellung Partikelfractionen zu Gesamtstaub; Reingas (160 °C), Rieselbettreaktor

Parameter der linearen Regression:

$$c(\text{PM}_{10}) = 0,055 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,05 \quad (R^2 = 0,464)$$

$$c(\text{PM}_{2,5}) = 0,046 * c(\text{Gesamtstaub}) + 0,004 \quad (R^2 = 0,690)$$

Zusammenfassend ist festzustellen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Konzentration einer der Partikelfractionen und der Gesamtstaubkonzentration besteht, und zwar unabhängig von Anlagentyp, Probenahmestelle und Trocknungstemperatur. Die untersuchten Gasströme lassen sich im verfahrenstechnischen Sinne daher am Ehesten durch die Bildung mittlerer Quotienten zwischen der Konzentration einer Partikelfraction und der Gesamtstaubkonzentration bei Angabe der Schwankungsbreite charakterisieren:

Tabelle 29. Anteile der Partikelfractionen am Gesamtstaub im Rohgas

| Anteil am Gesamtstaub für: | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|--|-----------------|--------|-----|-------------------|--------|-----|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Partikelfraction PM₁₀ [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 42 | 76 | 108 | 21 | 53 | 89 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 23 | 54 | 85 | 12 | 29 | 46 |
| Partikelfraction PM_{2,5} [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 24 | 50 | 70 | 11 | 36 | 54 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 11 | 36 | 67 | 4 | 20 | 36 |

Tabelle 30. Anteile der Partikelfractionen am Gesamtstaub im Reingas

| Anteil am Gesamtstaub für: | dreistufige ARA | | | Rieselbettreaktor | | |
|--|-----------------|--------|-----|-------------------|--------|-----|
| | MIN | Mittel | MAX | MIN | Mittel | MAX |
| Partikelfraktion PM₁₀ [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 30 | 96 | 203 | 15 | 52 | 102 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 25 | 66 | 107 | 4 | 20 | 45 |
| Partikelfraktion PM_{2,5} [%] | | | | | | |
| Trocknungstemperatur 20 °C | 8 | 31 | 76 | 6 | 20 | 63 |
| Trocknungstemperatur 160 °C | 2 | 16 | 35 | 2 | 6 | 24 |

3.4.6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Gesamtstaub

Die Gesamtstaubmesswerte im Rohgas zeigen an beiden ARA ein Verhalten, das sich weder zur jeweiligen Lüftungsrate noch zu den betrieblichen Randbedingungen signifikant korrelieren lässt. Es wurde lediglich der erwartete Trend bestätigt, dass in der größeren Stallung (dreistufige ARA) ein insgesamt höherer mittlerer Staubmassenstrom in die ARA eingetragen wird. Dabei schwankt der Rohgasmassenstrom unabhängig von den Mastzyklen.

Auffallend ist der verhältnismäßig hohe Anteil der Ablagerungen vor den Abscheidemedien. Während dieser Anteil an Emissionsquellen von Industrieanlagen mit mineralischen Stäuben von weniger als 15 % bis maximal ca. 30 % schwankt, wurden hier stark variierende Anteile von zumeist über 40 % gefunden, während im winterlichen Betrieb im Reingas hinter dem Rieselbettreaktor auch Anteile über 90 % registriert wurden. Das Wertenniveau ist insgesamt hinsichtlich der organischen Matrix mit geringer Dichte plausibel. Die Maximalwerte für den Rieselbettreaktor zeigen in Verbindung mit den während dieser Betriebszustände ermittelten Abscheideleistungen Optimierungspotentiale beim Tropfenabscheider dieses Anlagentyps auf.

Eine signifikante Korrelation der bei 20 °C Trocknungstemperatur ermittelten Gesamtstaubmesswerte mit der Gesamtkeimzahl konnte nicht festgestellt werden.

Partikelgrößenverteilung

Die Konzentrationen der Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} weisen große Schwankungsbreiten auf, deren Wertebereiche für beide Anlagen weit überlappen. An beiden ARA lagen die Konzentrationen im Reingas wiederholt unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens. Es konnten keine für die jeweilige Anlage bzw.

Probenahmestelle charakteristischen Kennziffern für den Anteil einer Partikelfraktion an der Gesamtstaubkonzentration ermittelt werden. Daraus folgt, dass zur Charakterisierung des Rohgases und des Emissionsverhaltens der Anlage Gesamtstaubmessungen ausreichend sind.

Abscheideleistungen

Es wurden für die dreistufige ARA durchweg Abscheideleistungen für Gesamtstaub ermittelt, die das Kriterium des Cloppenburger Leitfadens erfüllen. Für den Rieselbettreaktor lagen die Abscheideleistungen an zwei Messtagen unterhalb von 70 % bei einer insgesamt größeren Schwankungsbreite. Die niedrigen Werte traten bei Umgebungstemperaturen von 7 °C bzw. 0,5 °C auf. In diesem Temperaturbereich macht sich der Einfluss der für den untersuchten Rieselbettreaktor charakteristischen Übersättigung des Reingases mit Wasserdampf dahingehend bemerkbar, dass die Effektivität des Tropfenabscheiders durch den Austrag feststoffhaltiger Tröpfchen gemindert wird. Die an dem Rieselbettreaktor vorliegende höhere Schwankungsbreite der Abscheideleistungen lässt sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass der Feststoffaustrag aus dem Tropfenabscheider im gesamten Untersuchungszeitraum Schwankungen unterworfen war, die neben den wechselnden Umgebungstemperaturen auch z. B. durch Spüleffekte in Folge von Regen hervorgerufen worden sein können.

Auf einem jeweils für die Anlage charakteristischen Wertenniveau, welches dem für Gesamtstaub sehr nahe kommt, bewegen sich die Abscheideleistungen für die Partikelfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$. An der dreistufigen ARA sind die für die Partikelfraktion PM_{10} um 7 %-Punkte geringeren Abscheideleistungen im Vergleich zu denen für die Fraktion $PM_{2,5}$ ein Hinweis auf biogene Sekundäremissionen aus der Anlage. Bei einer lediglich auf Staubabscheidung durch Filtration, Wäsche, Impaktion oder Fliehkraftabscheidung beruhenden Abluftreinigungstechnik wäre generell der gegensätzliche Trend zu erwarten gewesen (weniger gute Abscheidung der Partikelfraktion $PM_{2,5}$ gegenüber PM_{10}).

An dem Rieselbettreaktor ist der Effekt mit einer Differenz von 4 %-Punkten nicht so ausgeprägt. Dies kann wiederum auf den Austrag von Tröpfchen aus dem Tropfenabscheider zurückgeführt werden, der hier auch zu dem Effekt führt, dass im Messkopf für die Partikelgrößenverteilung im Reingas wesentlich höhere Anteile der Ablagerungen vor den Abscheidemedien registriert wurden als bei der dreistufigen

ARA. Diese Ablagerungen können nicht einer der Partikelfractionen zugeordnet werden und führen damit mutmaßlich zu unterschätzenden Messwerten für die Partikelfractionen bzw. überschätzenden Rechenwerten der Abscheideleistung. Dementsprechend sind hier die Rechenwerte für die Abscheideleistung für Gesamtstaub signifikant geringer, da bei der Gesamtstaubmessung die Ablagerungen einbezogen werden.

3.5 Analyse und Dokumentation der Betriebsparameter – Teilbericht DLG; Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Groß-Umstadt

Arbeitspaket 8 – Messung der Betriebszustände, Anlagendokumentation

3.5.1 Ergebnisse der dreistufigen ARA

3.5.1.1 Allgemeiner Anlagenzustand

Ventilation

Zur Überprüfung der verfahrenstechnischen Parameter ist die kontinuierliche Aufzeichnung der Ventilationsrate notwendig. Die Funktionsfähigkeit der Ventilation war während der ersten Monate ausreichend sichergestellt. Es wurden zwar kleinere Mängel bemerkt, diese wurden jedoch zeitnah behoben. So wurde bereits zu Beginn der Messungen festgestellt, dass nicht alle Ventilatoren die gleichen Lüftungsraten bereitstellten. Dies wurde seitens der DLG dem Anlagenhersteller mitgeteilt und ist in der Folge schnell behoben worden (Abbildung 97, Abnahme der Ventilation von ca. 60.000 m³/h auf 25.000 m³/h).

Bei einem Vororttermin am 02.02.2010 wurde eine starke, feuchte Verschmutzung der im Lüftungskanal befindlichen Ventilatoren und der Wand oberhalb der Ventilatoren festgestellt. Ein gleichgearteter Zustand war auch im gesamten vorgelagerten Abluftkanal vorhanden, herbeigeführt durch die sehr tiefen Außentemperaturen und die daraus resultierende Kondensation. Davon waren auch die Messventilatoren betroffen. In der Folge wurden diese Verschmutzungen häufig festgestellt (Abbildung 966), deshalb wurde eine Reinigung der Einströmdüsen der Ventilatoren und der Messventilatoren durchgeführt. Zweimal ist diese Reinigung durch die DLG durchgeführt worden, zwei weitere Male von einem Dienstleister im Bereich Abluftreinigung. Die Beauftragung des Dienstleisters war notwendig, um die damit verbundenen zusätzlichen Kosten auf einem wirtschaftlich vertretbaren Niveau

zu halten. Derartige Reinigungsarbeiten waren in der Projektkalkulation nicht vorgesehen.



Abbildung 96. Stark verschmutzte und vernässte Messventilatoren (links 16.03.2010, rechts 12.04.2010)

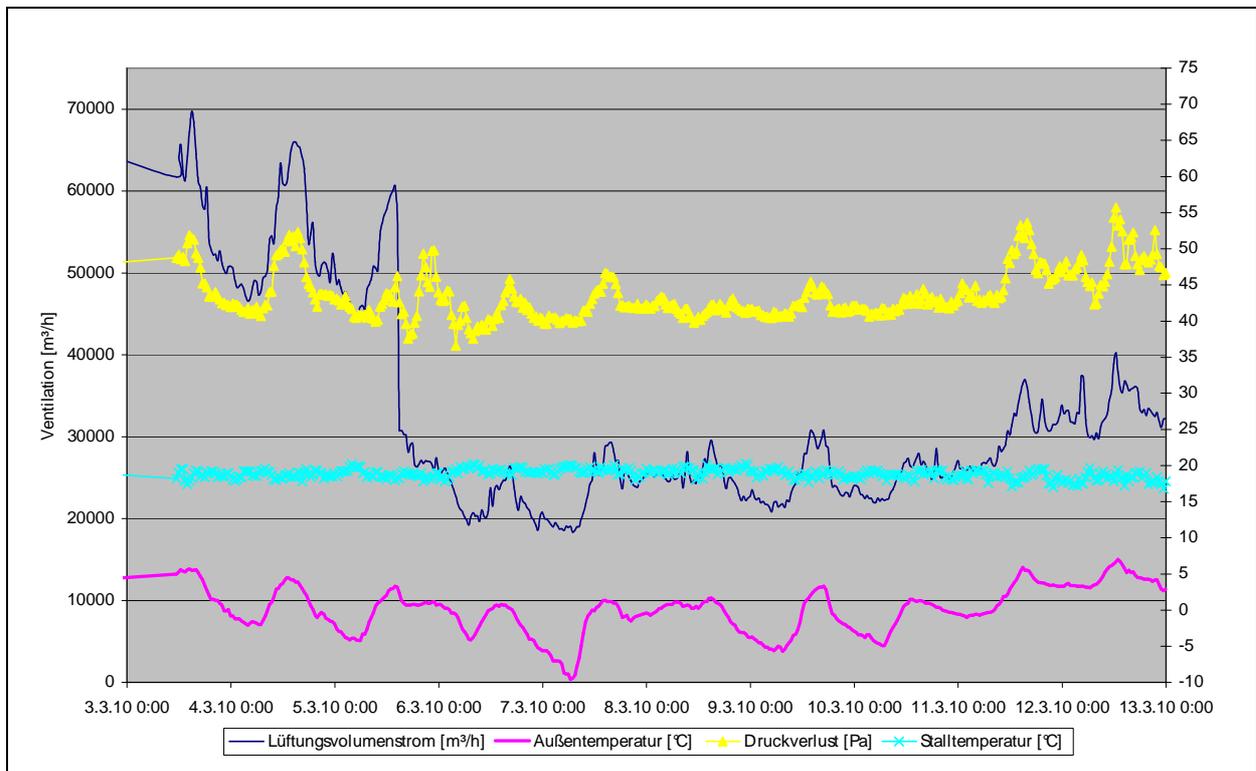


Abbildung 97. Veränderung des Lüftungsvolumenstroms nach dem 05.03.2010

Der gemäß DIN 18910 erforderliche Luftvolumenstrom zur Aufrechterhaltung der für die Tiergesundheit bestmöglichen Stalltemperaturen wurde während der anfänglichen Messungen zunächst weitestgehend erreicht. Anfang Juni konnte jedoch eine Erhöhung der Stalltemperatur bis auf 25 °C festgestellt werden (Abbildung 98). Auf die Funktionsfähigkeit der ARA hatte dies jedoch keine gravierenden Auswirkungen, die gemäß der Zertifizierung nach dem Cloppenburg

Leitfaden ermittelten verfahrenstechnischen Parameter wurden eingehalten. Die Filterflächenbelastung (m^3/h Abluft pro m^2 Filterfläche) nahm beispielsweise ab, eine schlechtere Reinigungswirkung war jedoch dadurch in diesem Fall nicht zu erwarten, weil die Dynamik der Anlage noch eine entsprechende Variationsbreite zuließ. Am 03.04.2010 fiel ein Frequenzumrichter der Ventilation aus. Dieser wurde am 09.04.2010 wieder ersetzt. Auf die Messtermine hatte dieser Ausfall keine Auswirkungen.

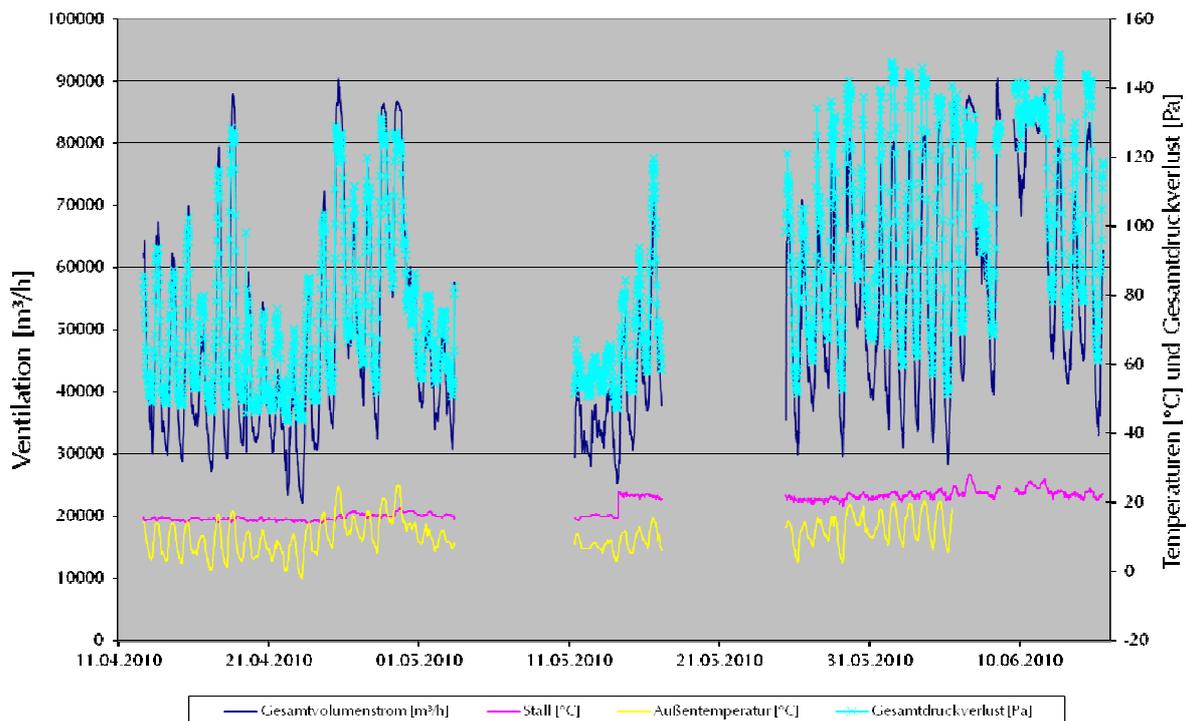


Abbildung 98. Messwertaufzeichnung vom 12.04.2010 bis 15.06.2010 für die Gesamtventilation, Stalltemperatur, Außentemperatur und Gesamtdruckverlust*

*Die fehlenden Messwerte, z. B. vom 03.05.2010 bis zum 11.05.2010, ergaben sich durch Stromausfälle bzw. durch Stromabschaltungen im Maststall. In der Folge waren die Messumformer ausgefallen und es konnte keine Messwertaufzeichnung erfolgen. Das gesamte Messdatenerfassungssystem musste erst wieder aufwändig hochgefahren werden.

Berieselung der Waschwände

Während des ersten Halbjahres 2010 wurden die Berieselungsdichte und die Bedüsung (Vorentstaubung) kontinuierlich erfasst. Daraus ergaben sich die aus Tabelle 31 zu entnehmenden Ergebnisse. Die fehlenden Zeiträume (z. B. vom 02.02.2010 bis zum 13.02.2010) wurden aufgrund des Ausfalls des Messrechners nicht erfasst. Bei kurzzeitigem Stromausfall vor Ort konnte die

Messwertaufzeichnung ausfallen, so dass die Werte nicht mehr gespeichert werden konnten.

Es zeigte sich aber, dass für die Berieselung während des gesamten Zeitraums die Werte konstant geblieben sind. Bei der Bedüsung wurde festgestellt, dass die Bedüsung zur vom Hersteller vorgeschriebenen Anlagenreinigung hin abnimmt. Dies wurde gegen Ende März und gegen Mitte Juni hin besonders deutlich. Der Sachverhalt wurde mit dem Anlagenhersteller ausgiebig diskutiert und eine Reinigung der Filterwände durchgeführt.

Tabelle 31. Berieselung und Bedüsung im ersten Halbjahr 2010

| Zeitraum | | | Bedüsung [l/h] | Berieselung [l/h] | | | |
|-------------------|------------|----------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Datum | Uhrzeit | 1 | | 2 | 3 | 4 | |
| von | 13.02.2010 | 15:08:33 | 8.081 | 22.146 | 22.914 | 21.605 | 22.854 |
| bis | 19.02.2010 | 08:55:33 | | | | | |
| von | 19.02.2010 | 09:56:28 | 8.038 | 22.336 | 22.908 | 21.589 | 22.824 |
| bis | 15.03.2010 | 11:42:50 | | | | | |
| von | 15.03.2010 | 13:09:41 | 7.821 | 21.695 | 22.787 | 20.974 | 22.713 |
| bis | 31.03.2010 | 15:09:41 | | | | | |
| von | 30.03.2010 | 00:02:41 | 5.296* | 13.595* | 19.497* | 18.318* | 19.613* |
| bis | 06.04.2010 | 07:56:41 | | | | | |
| von | 12.04.2010 | 16:43:41 | 8.190 | 21.968 | 22.813 | 21.413 | 22.818 |
| bis | 03.05.2010 | 09:15:41 | | | | | |
| von | 11.05.2010 | 09:06:06 | 8.342 | 21.714 | 22.751 | 21.221 | 22.749 |
| bis | 20.05.2010 | 13:28:06 | | | | | |
| von | 20.05.2010 | 13:48:51 | 6.503 | 21.568 | 22.585 | 21.307 | 22.559 |
| bis | 08.06.2010 | 17:21:39 | | | | | |
| Mittelwert | | | 7.467 | 20.717 | 22.322 | 20.918 | 22.304 |

*In diesen Zeitraum fiel die Anlagenreinigung am 31.03.2010 und 01.04.2010.

Abluftfeuchte vor der ARA

Aus Abbildung 99 lässt sich die relative Abluftfeuchte vor der ARA erkennen. Im Rahmen der Messunsicherheit für den Feuchtesensor lag sie nahezu über den gesamten Messzeitraum bei 100 %. Die kurzzeitigen Abweichungen von 100 %, z. B. vor dem 01.06.2010, begründen sich durch Kondensation von Wasser am Messgerät, welches aufgrund der Beheizung des Messfühlers nach kurzer Zeit wieder verdunstete.

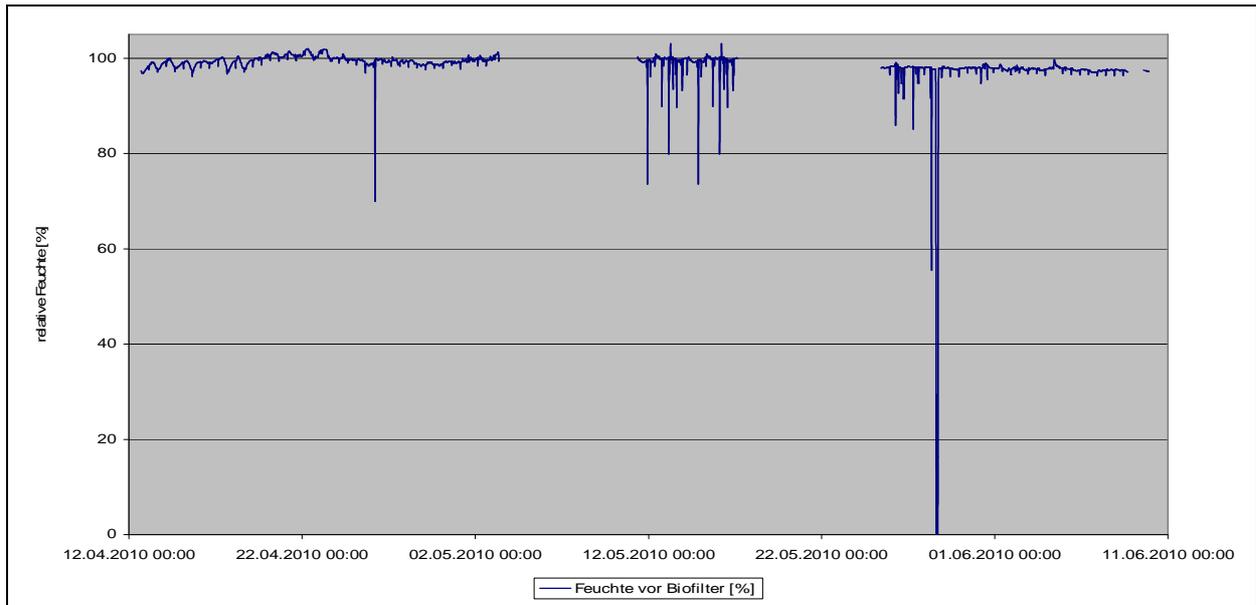


Abbildung 99. Relative Abluftfeuchte vor dem Biofilter

3.5.2 Ergebnisse vom einstufigen Rieselbettreaktor

3.5.2.1 Allgemeiner Anlagenzustand

Ventilation, Stallklima und Druckverlust

Während der gesamten Messperiode vom 08.05.2012 bis 31.05.2013 wurden die Luftvolumenströme aufgezeichnet und ausgewertet. An der Anlage arbeiten fünf synchron angesteuerte Ventilatoren, deren Luftleistung jeweils durch Messventilatoren erfasst wurde. Die Messventilatoren wurden vor Messbeginn durch die DLG eingebaut und liefen seitdem ohne größere Probleme durch. Diese Messventilatoren zeichnen sich durch eine relativ robuste Bauweise aus und sind durch die im Umfang enthaltene Einströmdüse und ein Gleichrichterkreuz messgenauer und unempfindlicher gegen äußere Einflüsse. Die Signale wurden über Impulsmessungen erfasst (sechs Impulse pro Umdrehung) und über eine Kalibrierkurve, welche von der DLG am eigenen Lüfterprüfstand erstellt wurde, auf den Volumenstrom umgerechnet. Die Messventilatoren wurden vor und nach der Messperiode kalibriert.

Die Bedingungen im Stallbereich (Stalltemperatur, Stallfeuchte) wurden kontinuierlich erfasst, um den Anforderungen an die TierSchNutzV Rechnung zu tragen. Aufgrund eines Kabelbruchs in Verbindung mit einem korrodierten Messsensor, stehen Werte für Temperatur und Feuchte im Stall nur eingeschränkt zur Verfügung. Am 12.04.2013 wurden der Sensor und das Messkabel ersetzt.

Unabhängig davon wurden die Temperatur, Stallfeuchte sowie die Tierzahlen an den Messtagen explizit dokumentiert.

Die Stallklimabedingungen sind abhängig von den Umgebungsbedingungen (z. B. Wetter) sowie von der Tages- und Jahreszeit. Zudem hat die Stallbelegung Auswirkungen auf das Stallklima (Haltungsform, Tieralter und –gewichte, Tierzahlen). Die relative Luftfeuchtigkeit im Stall betrug im Zeitraum April und Mai 2013 etwa 40 bis 60 %, die Temperatur im gemessenen Stallabteil lag bei etwa 20 bis 25 °C, gemessen jeweils auf Tierhöhe.

Die DLG hat zudem die Druckverluste über die einzelnen Anlagenkomponenten gemessen. Im Fokus standen dabei der Druckverlust über die Füllkörperpackung (Verstopfung, z. B. durch Staubablagerungen) sowie der Druckverlust über die Gesamtanlage (Stall plus ARA). Die Höhe des Druckverlustes über die Füllkörperpackung ist stark abhängig vom aktuellen Luftvolumenstrom durch die ARA und somit indirekt von Witterungs- und Stallbedingungen abhängig. Im Sommerbetrieb (hohe Luftraten) lagen die Druckverluste über dem Füllkörper bei maximal etwa 40 Pa (Abbildung 100), im Mittel bei Sommerbedingungen bei etwa 10 Pa. Im Winter wurden durchschnittlich weniger als 5 Pa über die Füllkörper erreicht (Abbildung 101). Aufgrund der großen, zur Verfügung stehenden Anströmfläche an dem Rieselbettreaktor kam es im Winter zu keinen nennenswerten Druckverlusten über die Füllkörper (teilweise deutlich weniger als 5 Pa). Aus diesem Grund ist in Abbildung 101 der Gesamtanlagendruck anstelle des Füllkörperdruckverlustes dargestellt.

In Abbildung 102 ist ein Ausschnitt aus dem Winterbetrieb dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass bei Erhöhung des Volumenstromes, z. B. bei wärmerer Umgebungstemperatur, ein höherer Druckverlust im Füllkörper bzw. in der Gesamtanlage auftritt.

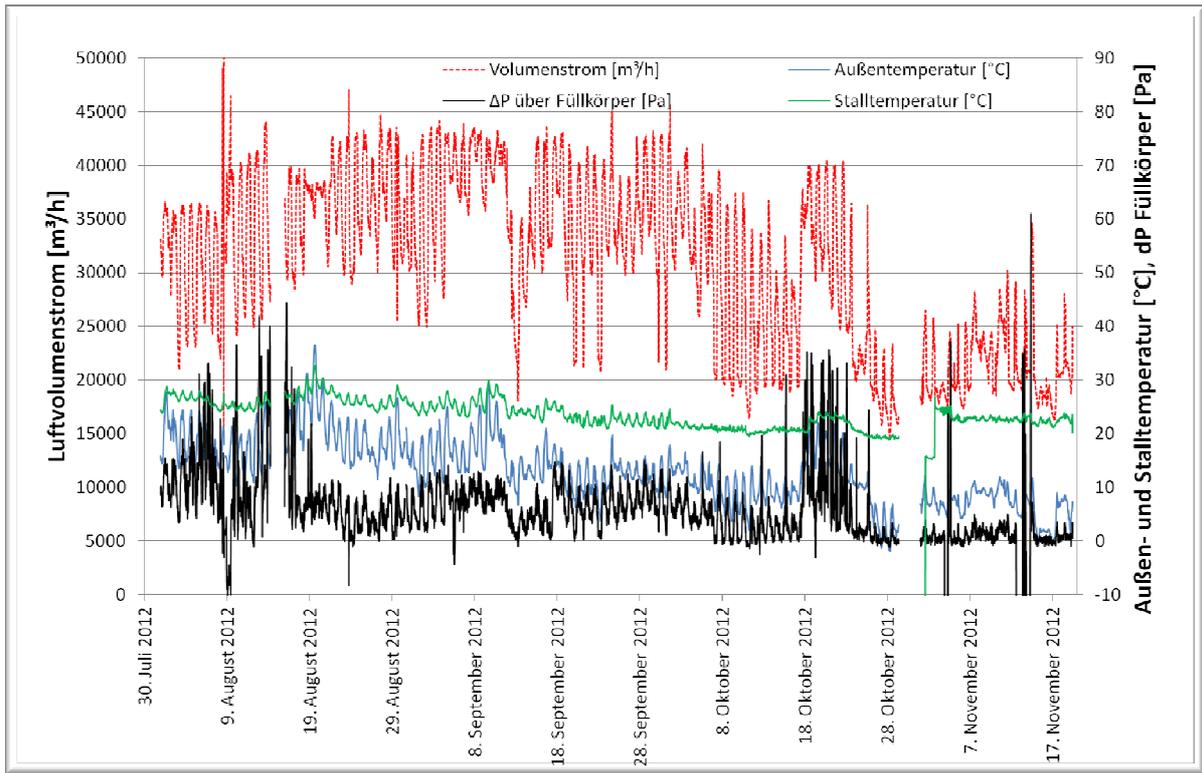


Abbildung 100. Volumenstrom, Druckverlust und Temperaturen bei Sommerbedingungen

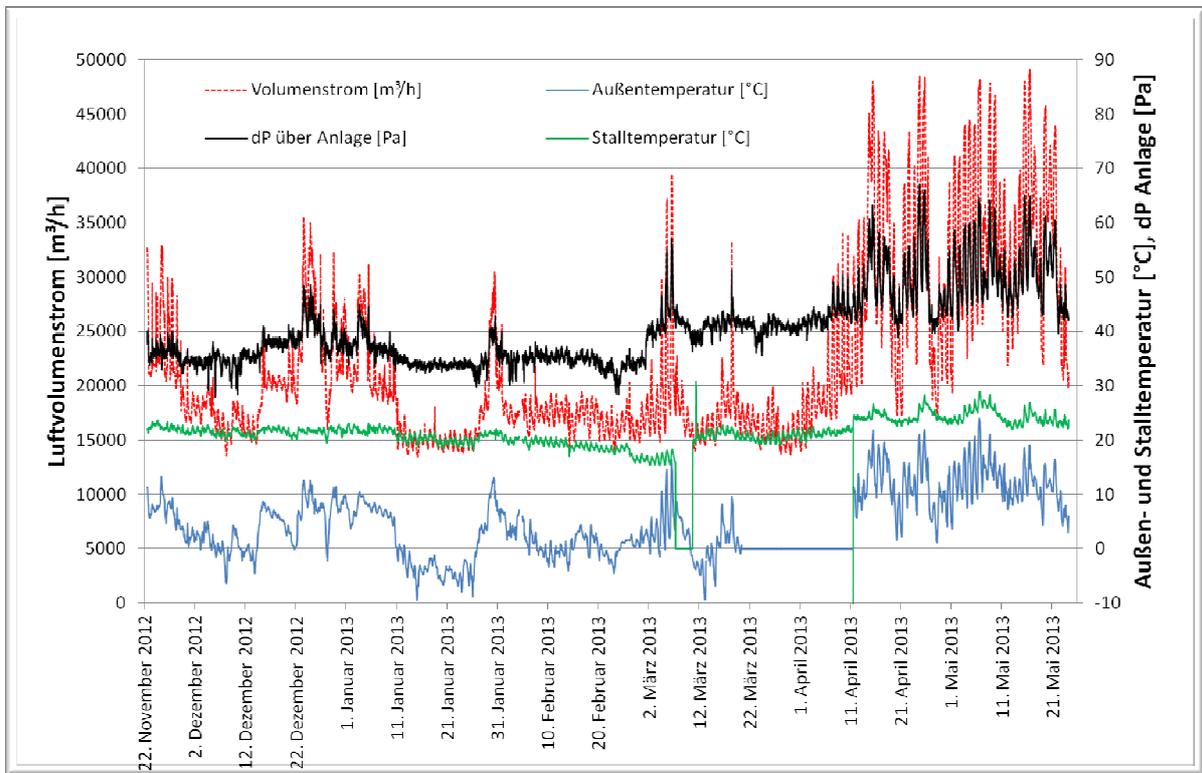


Abbildung 101. Volumenstrom, Druckverlust und Temperaturen bei Winterbedingungen

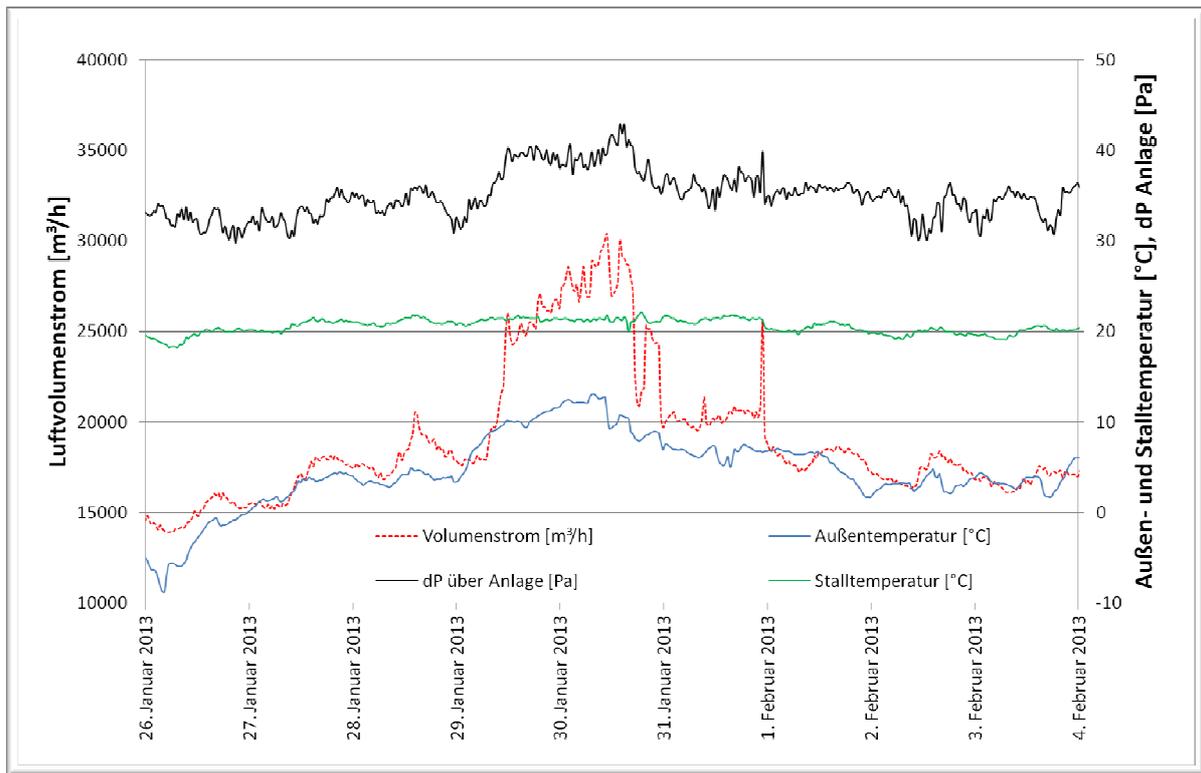


Abbildung 102. Volumenstrom, Druckverlust und Temperaturen in einem ausgewählten Zeitraum im Winter

Um hohe Temperaturdifferenzen im Sommer zu vermeiden (Unterschied zwischen Tag und Nacht), betreibt der Landwirt seinen Stall so, dass insgesamt geringe Luftraten gefahren werden. Aus der Abbildung 100 ist ersichtlich, dass maximal 45.000 m³/h erreicht wurden. Dies bedeutet, dass die DIN 18910 (Tabelle A2) nicht eingehalten wurde. Hier wäre ein Luftvolumenstrom in Abhängigkeit der Tierzahl und der Umgebungsbedingungen bis zu 74.100 m³/h im kontinuierlichen Mastbetrieb nötig gewesen.

Aus Tabelle 32 geht hervor, dass die Stallbelegung im Sommer bei im Schnitt etwa 1100 Tieren lag, im Winter waren durchschnittlich etwa 950 Tiere eingestallt.

Tabelle 32. Tierzahlen

| Datum | Tierzahlen Sommer | Datum | Tierzahlen Winter |
|------------|-------------------|------------|-------------------|
| 24.07.2012 | 1057 | 27.11.2012 | 1095 |
| 07.08.2012 | 1068 | 11.12.2012 | 879 |
| 21.08.2012 | 1254 | 08.01.2013 | 827 |
| 04.09.2012 | 1196 | 22.01.2013 | 912 |
| 25.09.2012 | 1018 | 19.02.2013 | 978 |
| 02.10.2012 | 1163 | 05.03.2013 | 841 |
| 16.10.2012 | 1055 | 19.03.2013 | 1070 |
| 30.10.2012 | 1088 | 14.05.2013 | 890 |
| 13.11.2012 | 1232 | 28.05.2013 | 1033 |
| 27.11.2012 | 1095 | | |

Berieselung der Washwände und Säureverbrauch

Während des Versuchszeitraumes lag die Berieselungsdichte bei mindestens $0,93 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ bzw. über 30.000 l/h . Dieser Wert ist mit den Anforderungen des DLG-Signumtests konform. Während der Sommer- und Wintermessungen gab es keine großen Veränderungen. Die kurzfristig niedrigen Werte in Abbildung 103 und Abbildung 04 ergaben sich durch Wartungsarbeiten an der Anlage bzw. Reinigung der Anlage; während dieser Zeit musste die Pumpe ausgeschaltet werden.

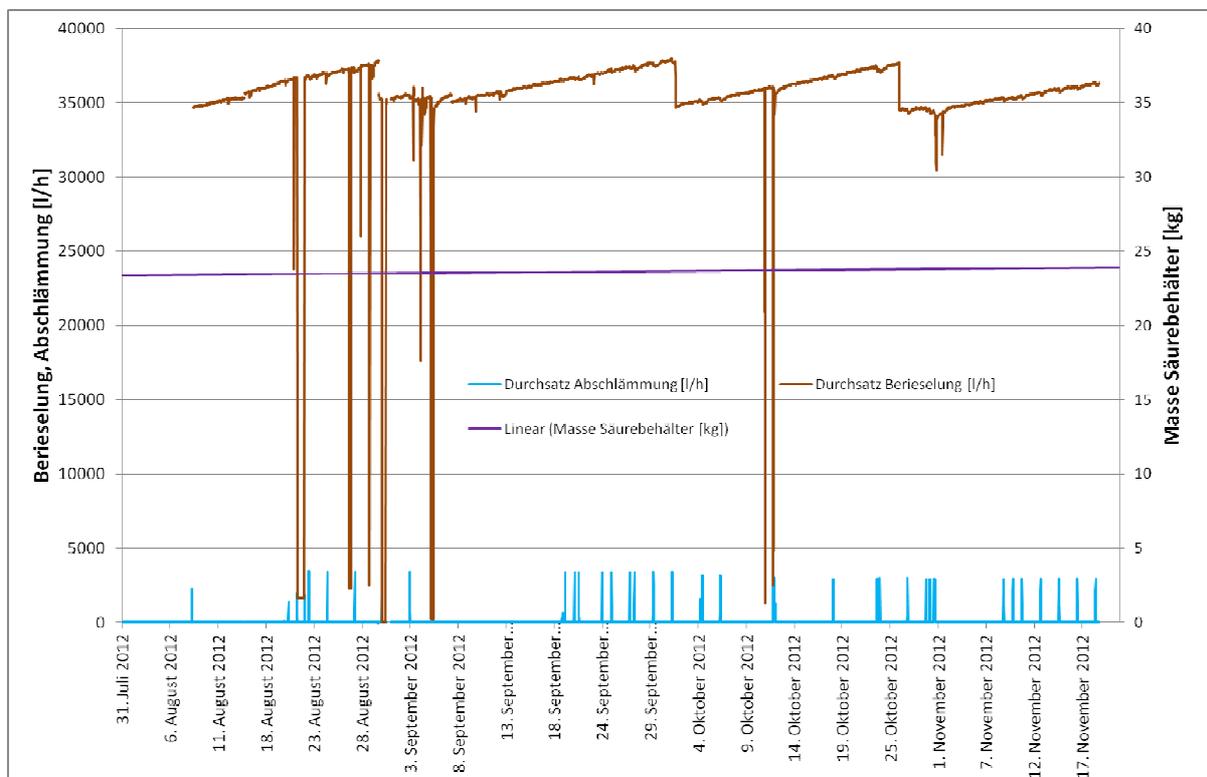


Abbildung 103. Berieselung/Abschlämmung – Sommer

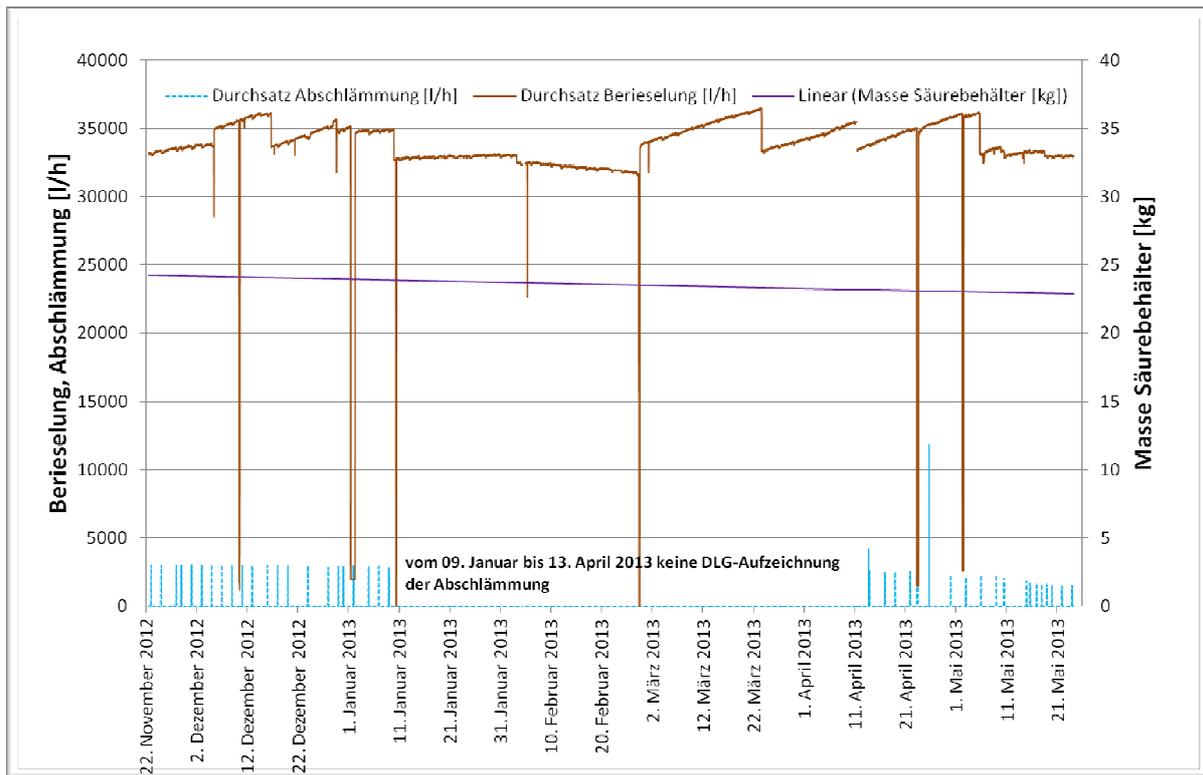


Abbildung 104. Berieselung/Abschlammung - Winter

Sowohl im Sommer als auch im Winter wurde keine bzw. kaum Säure verbraucht. Der Rieselbettreaktor verfügt über vergleichsweise große Anströmflächen mit großen Verweilzeiten und langen Kontaktzeiten, die vermutlich den Mikroorganismen ausreichende Bedingungen für einen effektiven Prozess bieten können.

Tabelle 33. Überblick - Berieselung, Säure, Abschlammung

| Parameter | Messwerte | |
|--|-------------|-------------|
| | Sommer 2012 | Winter 2013 |
| Berieselungsdichte [$\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$] | 0,93 | 0,93 |
| Säureverbrauch [kg/d] | - | - |
| Abschlammmenge [m^3/d] | 2,8 | 2,1 |
| Frischwasserverbrauch [m^3/d] | 4,0 | 3,0 |

Abschlammung

Die Abschlammung erfolgt leitwertgesteuert. Bei einer elektrischen Leitfähigkeit des Waschwassers über 20 mS/cm schlämmt die Anlage ab. Während der Sommerperiode wurden 2,8 m^3/d abgeschlammmt. Über einen Zeitraum von drei Monaten unter Winterbedingungen wurden 2,1 m^3/d abgeschlammmt. Durch eine Stromunterbrechung wurden über einige Wochen keine Messdaten erfasst. Dennoch

lagen die über den restlichen Zeitraum gemessenen Werte in einem gängigen Bereich ohne größere Schwankungen und liefern zusammen mit den anderen Daten ausreichend Informationen, um den ordnungsgemäßen Betrieb darzustellen.

3.5.3 Weitere Messergebnisse

Frischwasserverbrauch

Dreistufige ARA

Der gesamte Frischwasserverbrauch betrug im ersten Halbjahr 2010 ca. 1,29 m³ je Mastplatz und Jahr. Hiervon wurden ca. 100 l je Mastplatz und Jahr zur Befeuchtung des Biofilters verwendet, dies entspricht den in anderen Praxismessungen ermittelten Werten.

Rieselbettreaktor

In den ersten zwei Wintermonaten 2013 wurden etwa 0,8 m³ Frischwasser je Mastplatz und Jahr verbraucht. Der Bedarf an Frischwasser im Sommer lag bei 4 m³ pro Tag. Pro Mastplatz und Jahr sind dies rechnerisch 1,1 m³.

Energiebedarf

Dreistufige ARA

Der Energieverbrauch für die ARA wurde während des ersten Halbjahres 2010 mit durchschnittlich 23 kWh je Mastplatz und Jahr festgestellt, dies entspricht den in anderen Praxismessungen ermittelten Werten.

Rieselbettreaktor

Analog lag der Energieverbrauch für den Rieselbettreaktor während der Wintermonate 2013 bei ebenfalls durchschnittlich 23 kWh je Mastplatz und Jahr. Dies entspricht auch den Messergebnissen der DLG-Zertifizierung. Im Sommer erreichte der Stromverbrauch für den Rieselbettreaktor erwartungsgemäß höhere Werte: im Mittel etwa 28,5 kWh pro Mastplatz und Jahr.

Tabelle 34. Stromverbrauch des Rieselbettreaktors und der Lüfter

| Parameter | Messwerte* | |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| | Sommer 2012 | Winter 2013 |
| Stromverbrauch ARA [kWh/d] | 78,18 | 62,2 |
| Stromverbrauch Lüfter [kWh/d] | 33,95 | 22,2 |

*Mittelwerte über jeweils drei Monate

Wetterstation

Eine neben dem Stall angebrachte Wetterstation lieferte die Daten über die Außenklimabedingungen während der Messungen. Neben Temperatur und relativer Luftfeuchte wurden auch Werte über Wind, Windrichtung und Luftdruck aufgezeichnet. Die aufgezeichneten Außentemperaturen über den Messzeitraum sind in den Abbildungen 100 bis 102 dargestellt.

3.5.4 Bewertung der Ergebnisse

Dreistufige ARA

Die Anlage lief seit Beginn der Messungen entsprechend den Vorgaben des Herstellers. Das bedeutet für die Ermittlung und Bewertung der Messgrößen, die für das Ergebnis des Projektes relevant sind, dass von Seiten der Anlagentechnik keine Einschränkungen bestehen.

Rieselbettreaktor

Nach der Beseitigung anfänglicher Schwierigkeiten gab es kaum Auffälligkeiten. Zu Beginn war die Aktivierung entsprechend des DLG- zertifizierten Zustandes notwendig, wobei eine andere Pumpe für die Berieselung eingebaut und der fünfte Lüfter aktiviert werden mussten. Nach dem Aufbau einer stabilen Biologie im Rieselbettreaktor war der ordnungsgemäße Betrieb während des sich anschließenden Versuchszeitraumes gegeben. Allerdings wurden die maximalen Sommerluftraten nicht erreicht und nur vergleichsweise niedrige Volumenströme gefahren. Insofern kann für diesen Fall keine Aussage zum Verhalten des Rieselbettreaktors bei hohen Luftraten getroffen werden.

3.5.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Über den gesamten Messzeitraum war ein ordnungsgemäßer Betrieb bei beiden Anlagen gegeben. Die Anlagen liefen im bestimmungsgemäßen Rahmen. Bei dem untersuchten Rieselbettreaktor musste eine Eingewöhnungsphase berücksichtigt werden, damit sich die Biologie entsprechend ausbilden konnte. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Messwerte voll verwendungswürdig sind. Die Messwerte können demnach ebenso vom Hersteller wie auch vom Betreiber eingesehen und verwertet werden.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens im Agrarbereich für Umweltschutz „Prüfung und Bewertung der biologischen Sicherheit von anerkannten Abluftreinigungsanlagen in der Nutztierhaltung“ wurden zwei in Mastschweinställen installierte Abluftreinigungsanlagen (ARA) unter umwelt- und lebensmittelhygienischen Gesichtspunkten untersucht. Bei der ersten untersuchten ARA handelte es sich um eine dreistufige Anlage, in der eine biologisch-physikalische Abluftwäsche, eine chemische Abluftwäsche und die Biofiltration hintereinander angeordnet sind. Die zweite Messperiode wurde an einer einstufigen ARA mit dem Prinzip Rieselbettreaktor durchgeführt.

Unter Beteiligung von sechs verschiedenen Projektpartnern, sollte eingeschätzt werden ob, wann, unter welchen Bedingungen und in welchem Umfang Mikroorganismen und andere potentiell gesundheitsgefährdende Stoffe aus biologischen ARA in die Umwelt emittiert werden.

Die biologische Anlagencharakterisierung der beiden untersuchten Abluftreinigungsanlagen erfolgte durch das Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover. Mittels Impingement wurden rohgasseitig (vor der ARA) sowie reingasseitig (hinter der ARA) Proben gewonnen und auf das Vorkommen verschiedener Keimspezies und Endotoxine untersucht. Beide ARA bewirkten unter der Voraussetzung des ordnungsgemäßen Betriebes Abscheideleistungen von über 80 % für die Gesamtkeimzahl. Während durch die dreistufige ARA zu jedem Messzeitpunkt eine

zuverlässige Abscheideleistung für die Staphylo- (94 %), Strepto- (81 %) und Enterokokken (93 %) gewährleistet werden konnte, unterlag die Abscheidung dieser Keimspezies durch den Rieselbettreaktor starken Schwankungen, so dass vereinzelt keine Reduktion erfolgte oder es zu einer Erhöhung des Anteils bestimmter Keime im Reingas kam.

Ähnlich verhielt es sich für Methicillin resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA). Diese wurden von der dreistufigen ARA stets abgeschieden mit einer mittleren Leistung von 89 %. Der Rieselbettreaktor bewirkte in insgesamt acht von 20 Messungen sogar eine 100 %ige Abscheidung von MRSA. In einer Messung waren MRSA im Reingas jedoch in größerer Zahl als im Rohgas vorhanden und in einer weiteren Messung wurden MRSA nur im Reingas gefunden, was darauf hindeutet, dass MRSA in solchen Anlagen unter bestimmten Voraussetzungen offenbar auch länger überleben können.

Die Beprobungen der mit Biofilm besetzten Füllkörperflächen bildeten die Phasen der Biofilmentwicklung deutlich ab. Es zeigten sich nach den Aufbau- und Bildungsvorgängen immer wieder Phasen mit starker Keimablösung. Die Keime gelangen dann in das Washwasser und können auch in den Luftgetragenen Zustand übergehen.

Das Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen Instituts war für die Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der ARA, die Anlagendokumentation und die Prozesswasseranalytik zuständig. Beide ARA arbeiteten an allen Messterminen bestimmungsgemäß, wobei die Vorbedüsung des Rieselbettreaktors einen verbesserungswürdigen Eindruck machte. Die dreistufige ARA zeigte einige bauliche Mängel sowie eine zunehmende Vergrünung der Wurzelholzschüttung. Diese Vergrünung beruht auf einer nicht quantitativen Abscheidung von Ammoniak in den beiden Washstufen der ARA und tritt in Verbindung mit Feuchte und Licht auf, während es auf der vom Licht abgewandten Seite zur Verpilzung kommen kann. Hohe Stickstoffmassen in den beiden Washstufen bestätigten die Wirksamkeit der Abluftreinigung. Hohe Sulfatkonzentrationen in der Washstufe 1 sowie teils erhebliche Konzentrationen an Nitrit und Nitrat in der Washstufe 2 zeigen, dass die Washstufen nicht vollständig getrennt betrieben worden sind, was zu einem unnötigen Mehrverbrauch an Säure

führen kann. Die Enteisenung des der ARA zugeführten Frischwassers funktionierte einwandfrei.

Der an dem Rieselbettreaktor ermittelte pH-Wert lag mehrfach unter dem pH-Optimum von 6,5 bis 6,8, was bei Vorliegen hoher Nitritkonzentrationen die Freisetzung nitroser Gase begünstigen kann. Dies machte die Installation einer Dosieranlage für Alkalien erforderlich, wodurch die Einhaltung des pH-Wertes unter Einsatz hoher Kalilaugemengen weitgehend sichergestellt werden konnte. Die Zudosierung von Alkalien könnte allerdings auch dazu beigetragen haben, dass sich die Konzentrationen von Nitrit-Stickstoff oft im Grenzbereich bewegten. Die spezifische Leitfähigkeit und Abschlämmrate lag durchgehend in einer für einstufige Rieselbettreaktoren üblichen Größenordnung.

Messungen von Ammoniak und Geruch im Roh- und Reingas wurden durch das Institut für Boden und Umwelt der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nord-West durchgeführt. Während die Reinigungsleistung der dreistufigen ARA hinsichtlich Geruch durchgehend den Anforderungen entsprach, war im Reingasbereich des Rieselbettreaktors zu Beginn der Messungen rohgastypischer Geruch mit bis zu $> 300 \text{ GE/m}^3$ wahrnehmbar. Der untersuchte Rieselbettreaktor wies durchgehend eine sehr hohe Ammoniakabscheidung auf. Bei Wassertemperaturen zwischen 15 und 20 °C und hohen Ammoniakfrachten über das Rohgas trat eine starke Nitrifikation auf, die jedoch auf der Stufe des Nitrits gehemmt wurde. Hohe Nitritkonzentrationen führten bei pH-Werten unter 6 zu einer erhöhten Freisetzung nitroser Gase. Um diese zu verhindern, wurde der pH-Wertabfall durch eine Laugendosierung unterbunden. Auffällig waren die über einen langen Zeitraum sehr hohen Ammoniakkonzentrationen im Rohgas von bis zu 30 ppm.

Die dreistufige ARA bewirkte über alle Messtermine eine Ammoniakabscheidung von über 70 %, mit höheren Konzentrationen in den kalten und sinkenden Konzentrationen in den wärmeren Monaten. Die typischen jahreszeitlichen Verläufe waren auch bei den kontinuierlichen Ammoniakmessungen erkennbar. Die Abscheidung nach der Säurestufe entsprach über längere Zeit nicht durchgehend den Anforderungen. Die 70 %ige Abscheidung konnte in diesem Fall nach der Biowand dennoch erreicht werden. Eine Freisetzung von Stickoxiden wurde bei den Untersuchungen nicht festgestellt.

Die Bestimmung der Konzentrationen von Gesamtstaub und den Partikelfractionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ im Roh- und Reingas erfolgte durch den Technischen Überwachungsverein NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG. Hinsichtlich der im Rohgas ermittelten Konzentrationen an Gesamtstaub sowie PM_{10} und $PM_{2,5}$ wiesen die ARA vergleichbare Wertenniveaus auf. Die Neigung des Rieselbettreaktors zur Übersättigung des Reingases mit Wasserdampf bei Umgebungstemperaturen unterhalb von 5 °C begünstigte den Austrag feststoffhaltiger Tröpfchen aus dem Tropfenabscheider. Aufgrund dessen lagen die an dieser ARA ermittelten Maximalwerte der Gesamtstaubkonzentration im Reingas deutlich höher im Vergleich zu den an der dreistufigen ARA gemessenen Werten. Daneben beeinflusste der Tröpfchenausstrag die Abscheidewirkungsgrade. Während für den Rieselbettreaktor eine mittlere Gesamtstaubabscheidung von 80 % ermittelt werden konnte, war der für die dreistufige ARA ermittelte durchschnittliche Abscheidewirkungsgrad mit 90 % höher. Gleichermäßen verhielt es sich für die Partikelfraction $PM_{2,5}$, mit Abscheidewirkungsgraden von 91 % und 93 % für den Rieselbettreaktor sowie 94 % und 96 % für die dreistufige ARA. Die für die Partikelfraction PM_{10} ermittelten Abscheidewirkungsgrade lagen mit 87 % (Trocknungstemperatur: 20 °C) und 89 % (Trocknungstemperatur: 160 °C) gleichauf. Die tendenziell geringere Abscheidung der Partikelfraction PM_{10} gegenüber der Fraction $PM_{2,5}$ ist ein Hinweis auf biogene Sekundäremissionen. Weder für die Roh- noch für die Reingasseite beider ARA konnten signifikante Zusammenhänge zwischen der Gesamtstaubkonzentration einerseits und den Parametern Gesamtkeimzahl, Partikelkonzentration PM_{10} und Partikelkonzentration $PM_{2,5}$ festgestellt werden. Die Gesamtstaubkonzentration kann daher nicht als Ersatzgröße für die Gesamtkeimzahl herangezogen werden.

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft erfasste die Betriebszustände der ARA und erfüllte zudem die Aufgabe der Anlagendokumentation. Über den gesamten Messzeitraum war ein ordnungsgemäßer Betrieb bei beiden ARA gegeben. Der Luftvolumenstrom zur Aufrechterhaltung der für die Tiergesundheit bestmöglichen Stalltemperaturen wurde während der anfänglichen Messungen an der dreistufigen ARA zunächst weitestgehend erreicht. Am Rieselbettreaktor wurden aufgrund des Stallmanagements des Betreibers an den Sommermesstagen die maximalen Luftraten nicht erreicht. Die an den ARA gemessenen Berieselungsdichten blieben

während der beiden Messperioden nahezu konstant. Die an der dreistufigen ARA registrierte Abnahme der Bedüsung zur vom Hersteller vorgeschriebenen Anlagenreinigung hin, macht die Wichtigkeit einer Reinigung der Filterwände deutlich. Mit 2,8 m³/d im Sommer und 2,1 m³/d im Winter lag die für den einstufigen Rieselbettreaktor gemessene Abschlämmung in einem gängigen Bereich ohne größere Schwankungen. Auch der Frischwasserverbrauch und Energiebedarf beider ARA entsprach den in anderen Praxismessungen ermittelten Werten.

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die im Rahmen dieses Projektes ursprünglich geplanten Ziele konnten vollständig umgesetzt werden. Lediglich der Zeitplan konnte wegen technischer Probleme bei der dreistufigen ARA sowie bei der zunächst für die zweite Messperiode vorgesehenen Anlage nicht eingehalten werden. Dieser Nachteil wurde durch die Projektverlängerung ausgeglichen. Wie im Projektplan vorgesehen, wurden zwei unterschiedliche Typen von zertifizierten ARA beprobt. Die beiden Messperioden erfolgten dabei unter der Vorgabe, verschiedene Betriebsbedingungen (Sommer-/Winterbetrieb, Variation der Betriebsparameter) abzudecken. Es konnte ausreichend belastbares Datenmaterial gewonnen werden, welches eine Einschätzung über das Rückhaltevermögen der ARA für Mikroorganismen und auch andere Stoffe, wie Endotoxine und Stäube ermöglicht. Im Verlauf der Messungen konnten technische Schwachstellen der untersuchten ARA aufgedeckt werden, die durch die Anlagenhersteller zum Teil vor Ort vollständig, teilweise auch zunächst nur vorübergehend behoben werden konnten. Auf Grundlage der Messungen wurden im Auftrag des Projektkonsortiums Gutachten über die umwelt- und lebensmittelhygienische Risikoabschätzung der beiden untersuchten ARA erstellt.

6 Literaturverzeichnis

P. A. ARIYA, M. AMYOT. New directions: The role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics. *Atmospheric Environment* 38.8, 2004, 1231 - 1232.

P. BAEKBO. Air quality in danish pig herds. Proceedings 11th Congress of the International Pig Veterinary Society 1 - 5 July 1990, Lausanne, p. 395.

J. BARBEAU, C. GAUTHIER, P. PAYMENT. Biofilms, infectious agents, and dental unit waterlines: a review. Canadian Journal of Microbiology, 1998, 44 (11): 1019 – 1028.

O. BOTTCHER, K. FITZNER. Experimentelle Untersuchungen zur Emission und Wahrnehmung von Geruchsstoffen aus Lüftungsgeräten. DKV Tagungsbericht 28.4, 2001, 131 - 142.

A. CHAPIN, A. RULE, K. GIBSON, T. BUCKLEY, K. SCHWAB. Airborne multidrug-resistant bacteria Isolated from a concentrated swine feeding operation. Environmental Health Perspectives, 2005, 113 (2): 137 - 142.

L. S. CHRISTENSEN, P. NORMANN, S. THYKIER-NIELSEN, J. H. SØRENSEN, K. DE STRICKER, S. ROSENØRN. Analysis of the epidemiological dynamics during the 1982-1983 epidemic of foot-and-mouth disease in Denmark based on molecular high-resolution strain identification. Journal of General Virology, 2005, 86: 2577 - 2584.

U. FRIEDRICH, K. PRIOR, K. ALTENDORF, A. LIPSKI. High bacterial diversity of a waste gas-degrading community in an industrial biofilter as shown by a 16S rDNA clone library. Environmental Microbiology. 2002, 11 (4): 721 – 734.

F. GEBUREK, B. SCHILLING, G. VON KRIES, M. LOHMEYER. Bioaerosoles emitted by a biofilter installed at a piggery. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 2005, 65 (9): 377 - 381.

S. G. GIBBS, C. F. GREEN, P. M. TARWATER, P. V. SCARPINO. Airborne antibiotic resistant and nonresistant bacteria and fungi recovered from two swine herd confined animal feeding operations. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2004, 1: 699 – 706.

J. GLOSTER, A. FRESHWATER, R. F. SELLERS, S. ALEXANDERSEN. Re-assessing the likelihood of airborne spread of foot-and-mouth disease at the start of the 1967-1968

UK foot-and-mouth disease epidemic. *Epidemiology and Infection*, 2005, 133: 767 - 783.

P. W. G. GROOT KOERKAMP, J. H. M. METZ, G. H. UENK, V. R. PHILLIPS; M. R. HOLDEN; R. W. SNEATH; J. L. SHORT; R. P. WHITE; J. HARTUNG; J. SEEDORF; M. SCHRÖDER; K. H. LINKERT; S. PEDERSEN; H. TAKAI; J. O. JOHNSEN; C. M. WATHES. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 70: 79 - 95.

M. HORN, M. WAGNER. Evidence for additional genus-level diversity of Chlamydiales in the environment. *FEMS Microbiology Letters*, 2001, 204: 71 – 74.

KTBL-Schrift 451: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen. Verfahren - Leistungen - Kosten, KTBL Selbstverlag, Darmstadt, 2006.

W. MARTENS, M. MARTINEC, R. ZAPIRAIN, M. STARK, E. HARTUNG, U. PALMGREN. Reduction potential of microbial, odour and ammonia emissions from a pig facility by biofilters. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2001, 203 (4): 335 – 345.

A. L. NEWSOME, T. M. SCOTT, R. F. BENSON, B. S. FIELDS. Isolation of an amoeba naturally harboring a distinctive *Legionella* species. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64 (5): 1688 – 1693.

M. OTTO. Staphylococcal biofilms. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 2008, 322: 207 - 228.

K. RADON, A. SCHULZE, V. EHRENSTEIN, R. T. VAN STRIEN, G. PRAML, D. NOWAK. Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighboring residents. *Epidemiology*, 2007, 18 (3): 300 - 308.

P. SCHARF, B. - A. ZUCKER, W. MÜLLER. Effect of a bioscrubber on emission of bioaerosols from a duck fattening unit. In. *International Society for Animal Hygiene*, Saint-Malo, 2004.

S. S. SCHIFFMAN. Livestock odors - implications for human health and well-being. *Journal of Animal Science*, 1998, 76: 1343 – 1355.

S. S. SCHIFFMAN, J. L. BENNETT, J. H. RAYMER. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(3): 213 – 240.

S. S. SCHIFFMAN, C. M. WILLIAMS. Science of odor as a potential health issue. *Joeng*, 2005, 34: 129 – 138.

J. SEEDORF. *Gesundheitsingenieur*. 2000, 121: 129 - 137.

J. SEEDORF, J. HARTUNG, M. SCHRÖDER, K. H. LINKERT, V. R. PHILLIPS, M. R. HOLDEN, R. W. SNEATH, J. L. SHORT, R. P. WHITE, S. PEDERSEN, H. TAKAI, J. O. JOHNSEN, J. H. M. METZ, P. W. G. GROOT KOERKAMP, G. H. UENK, C. M. WATHES. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 70: 97 – 109.

J. SEEDORF, J. HARTUNG. Untersuchungen zum Rückhaltevermögen eines Biofilters und eines Biowäschers für Bioaerosole an zwei Schweineställen. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*. 1999, 112: 444 - 447.

J. SEEDORF, J. HARTUNG. Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, ed.), *KTBL-Schrift 393*, Landwirtschaftsverlag Münster, Germany, 2002a, 166pp.

J. SEEDORF, J. HARTUNG. 2002b. Reduction efficiency of a container-based biofilter for bioaerosols from a broiler house. *Proceedings of the 24th Biennial Conference of Australian Society of Animal Production in association with the 2002 in-between Conference of the International Society for Animal Hygiene*, Adelaide Festival Centre, South Australia, 7 - 11 July, 2002b, pp. 205–208.

V. THOMAS, G. McDONNELL. Relationship between mycobacteria and amoebae: ecological and epidemiological concerns. Letters in Applied Microbiology, 2007, 45 (4): 349 – 357.

VEREIN DEUTSCHER INGENEURE: Richtlinie VDI 2066 Blatt 10: Messen von Partikeln; Staubmessung in strömenden Gasen: Messung der Emissionen von PM₁₀ und PM_{2,5} angeführten Quellen nach dem Impaktionsverfahren; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2004.

VEREIN DEUTSCHER INGENEURE: Richtlinie VDI 2066 Blatt 1: Messen von Partikeln; Staubmessung in strömenden Gasen: Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung; Beuth Verlag, Berlin, November 2006.

WHO. Health aspects of air pollution, Results from the WHO project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”, Kopenhagen, 2004.

7 Anhang

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

16.02.2010

Messreihe: I/01

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-------|-------------------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 47.914 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:48 14:33 | | (keine Messung erfolgt) | |
| Anzahl Probenahmen | | 2 | | | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,26 | 2,00 | | |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,22 | 2,82 | | |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,74 | 2,41 | | |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,13 | 0,12 | | |
| Abscheideleistung Abgasreinigung | % | n.b. | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | entfällt | n.b. | | |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert | | 0,88 | | | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:01 15:29 | | 11:25 15:42 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,92 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 1,44 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 1,26 | 0,23 | 0,18 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,060 | 0,011 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung | % | n.b. | 86 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,53 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,73 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 0,67 | 0,036 | 0,025 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,032 | 0,002 | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung | % | n.b. | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | n.b. | 1,76 | 0,28 | 0,20 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | n.b. | 0,73 | n.b. | n.b. |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert | | n.b. | | 0,72 | |

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

02.03.2010

Messreihe: I/02

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 56.976 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:55 15:07 | | 14:51 16:09 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,94 | 2,35 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,19 | 3,87 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,54 | 3,07 | 0,32 | 0,20 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,14 | 0,18 | 0,02 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 94 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,49 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,81 | | 0,63 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:18 14:32 | | 10:34 14:38 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,37 | 0,96 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,78 | 1,19 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,51 | 1,06 | 0,21 | 0,14 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,086 | 0,060 | 0,012 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 86 | 87 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,47 | 0,17 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,84 | 0,60 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,71 | 0,43 | 0,037 | 0,004 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,041 | 0,025 | 0,002 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 95 | 99 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,19 | 2,61 | 0,26 | 0,17 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,87 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,40 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,72 | | 0,65 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

16.03.2010

Messreihe: I/03

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 35.334 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:18 15:23 | | 15:55 17:29 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,91 | 3,18 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 4,35 | 4,87 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,71 | 4,13 | 0,35 | 0,22 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,13 | 0,15 | 0,01 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 95 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,29 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,86 | | 0,62 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 13:00 16:00 | | 11:43 15:43 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,35 | 0,76 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,69 | 1,09 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,57 | 0,97 | 0,32 | 0,21 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,056 | 0,034 | 0,011 | 0,007 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 80 | 78 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,71 | 0,29 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,00 | 0,58 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,89 | 0,46 | 0,097 | 0,037 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,032 | 0,016 | 0,003 | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 89 | 92 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,32 | 1,70 | 0,39 | 0,26 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,63 | 0,41 | 1,12 | 1,19 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,12 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,65 | | 0,66 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

30.03.2010

Messreihe: I/04

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 76.477 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:14 15:27 | | 16:07 17:23 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,60 | 2,69 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,63 | 3,75 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,01 | 3,12 | 0,21 | 0,14 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,23 | 0,24 | 0,02 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 96 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,14 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,91 | | 0,67 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:32 14:51 | | 11:49 15:55 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,24 | 1,00 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,58 | 1,20 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,45 | 1,12 | 0,13 | 0,09 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,111 | 0,086 | 0,010 | 0,007 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 91 | 92 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,86 | 0,64 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,13 | 0,95 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,95 | 0,76 | 0,022 | 0,004 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,073 | 0,058 | 0,002 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 98 | 99 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,95 | 2,99 | 0,15 | 0,11 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,65 | 0,96 | 0,74 | 0,76 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,49 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,79 | | 0,69 | |

(1) Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

(2) Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

(3) Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

(4) Wert 0,004 mg/m³ unsicher, da unter Nachweisgrenze des Verfahrens

(5) Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

13.04.2010

Messreihe: I/05

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 58.417 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:30 14:40 | | 16:03 17:21 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,71 | 1,73 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,48 | 2,45 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,00 | 1,99 | 0,15 | 0,12 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,12 | 0,12 | 0,01 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 94 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,13 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,88 | | 0,80 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:11 15:24 | | 11:50 15:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,30 | 1,06 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,55 | 1,27 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,47 | 1,18 | 0,18 | 0,13 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,086 | 0,069 | 0,010 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 88 | 89 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,94 | 0,77 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,17 | 0,96 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,05 | 0,86 | 0,063 | 0,045 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,061 | 0,050 | 0,004 | 0,003 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 94 | 95 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,91 | 2,92 | 0,21 | 0,16 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,96 | 1,47 | 1,38 | 1,31 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,48 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,79 | | 0,76 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

27.04.2010

Messreihe: I/06

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 64.908 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:05 15:34 | | 15:38 16:53 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,61 | 2,12 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,84 | 2,40 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,74 | 2,27 | 0,30 | 0,23 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,11 | 0,15 | 0,02 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 90 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,46 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,90 | | 0,74 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:17 14:24 | | 11:38 15:32 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,35 | 0,94 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,58 | 1,15 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,47 | 1,05 | 0,17 | 0,12 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,096 | 0,068 | 0,011 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 88 | 88 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,97 | 0,67 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,18 | 0,89 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,07 | 0,77 | 0,066 | 0,040 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,069 | 0,050 | 0,004 | 0,003 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 94 | 95 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,93 | 2,71 | 0,21 | 0,15 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,11 | 1,19 | 0,71 | 0,67 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,50 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,71 | | 0,70 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

11.05.2010

Messreihe: I/07

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|--|------------|----------------|-----------|----------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 37.191 | | | |
| Gesamtstaub: Es wurden keine Gesamtstaubprobenahmen durchgeführt! | | | | | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:14 15:47 | | 12:15 16:06 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,05 | 0,77 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,37 | 1,06 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,22 | 0,94 | 0,20 | < 0,17 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,045 | 0,035 | 0,007 | < 0,006 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 84 | 82 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,43 | 0,30 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,64 | 0,50 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,52 | 0,38 | 0,026 | < 0,014 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,019 | 0,014 | 0,001 | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 95 | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,65 | 1,52 | 0,25 | 0,20 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,77 | | 0,80 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Endfilter weist nach Trocknung bei 160 °C Analytmengen unterhalb der Nachweisgrenze auf

⁽⁵⁾ Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

25.05.2010

Messreihe: I/08

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 59.101 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 9:47 14:19 | | 15:28 16:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,08 | 1,82 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,54 | 3,03 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,64 | 2,30 | 0,21 | 0,17 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,156 | 0,136 | 0,012 | 0,010 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 93 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,00 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,87 | | 0,82 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:20 14:55 | | 10:00 15:15 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,18 | 1,80 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,59 | 2,12 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,39 | 1,95 | 0,18 | 0,13 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,141 | 0,115 | 0,010 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 93 | 93 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,77 | 1,46 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,92 | 1,62 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,84 | 1,53 | 0,063 | 0,035 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,109 | 0,090 | 0,004 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 97 | 98 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 3,09 | 2,88 | 0,23 | 0,18 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,17 | 1,26 | 1,10 | 1,05 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,11 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,84 | | 0,77 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

08.06.2010

Messreihe: I/09

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 77.345 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:34 16:16 | | 15:28 16:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,36 | 1,26 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,95 | 1,80 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,67 | 1,57 | 0,21 | 0,17 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,13 | 0,12 | 0,02 | 0,01 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 89 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,10 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,85 | | 0,82 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:37 15:39 | | 11:44 15:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,87 | 0,66 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,02 | 0,72 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,94 | 0,69 | 0,43 | 0,06 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,073 | 0,053 | 0,033 | 0,004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 54 | 92 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,65 | 0,49 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,72 | 0,51 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,69 | 0,50 | 0,054 | 0,022 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,054 | 0,038 | 0,004 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 92 | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,23 | 1,40 | 0,18 | 0,08 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,74 | 0,89 | 0,87 | 0,45 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,35 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,74 | | 0,42 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

29.06.2010

Messreihe: I/10

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 80.447 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:13 16:06 | | 15:54 17:09 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,90 | 0,77 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,06 | 0,94 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,00 | 0,88 | 0,33 | 0,26 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,080 | 0,071 | 0,026 | 0,021 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 70 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,07 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,83 | | 0,79 | |
| Partikelgrößenverteilung⁽⁵⁾ | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:33 15:14 | | 11:39 15:42 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,84 | 0,47 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,31 | 0,84 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,08 | 0,67 | 0,10 | 0,06 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,087 | 0,054 | 0,008 | 0,005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 91 | 90 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,51 | 0,23 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,66 | 0,37 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,59 | 0,28 | 0,026 | 0,012 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,047 | 0,023 | 0,002 | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 96 | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,73 | 1,48 | 0,13 | 0,14 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,73 | 1,68 | 0,40 | 0,55 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,18 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,70 | | 1,09 | |

(1) Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

(2) Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

(3) Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

(4) Spüllösung unsicher, da 3 von 3 Rohgas-Spüllösungen nur 1 über Nachweisgrenze

(5) Rohgasmessung formal unsicher, da erst bei 3. Messung Betrieb des Impaktors mit Sollvolumenstrom

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

29.06.2010

Messreihe: I/10

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 80.447 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:13 16:06 | | 15:54 17:09 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,90 | 0,77 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,06 | 0,94 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,00 | 0,88 | 0,33 | 0,26 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,080 | 0,071 | 0,026 | 0,021 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 70 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,07 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,83 | | 0,79 | |
| Partikelgrößenverteilung⁽⁵⁾ | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:33 15:14 | | 11:39 15:42 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,84 | 0,47 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,31 | 0,84 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,08 | 0,67 | 0,10 | 0,06 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,087 | 0,054 | 0,008 | 0,005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 91 | 90 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,51 | 0,23 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,66 | 0,37 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,59 | 0,28 | 0,026 | 0,012 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,047 | 0,023 | 0,002 | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 96 | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,73 | 1,48 | 0,13 | 0,14 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,73 | 1,68 | 0,40 | 0,56 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,18 | n.b. | 0,43 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,70 | | 1,10 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung unsicher, da 3 von 3 Rohgas-Spüllösungen nur 1 über Nachweisgrenze

⁽⁵⁾ Rohgasmessung formal unsicher, da erst bei 3. Messung Betrieb des Impaktors mit Sollvolumenstrom

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

10.08.2010

Messreihe: I/12

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 89.847 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:20 15:58 | | 15:14 16:41 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,35 | 1,22 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,64 | 1,48 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,51 | 1,39 | 0,08 | 0,09 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,136 | 0,125 | 0,007 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 93 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,16 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,79 | | 1,20 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:22 15:21 | | 10:59 15:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,07 | 0,61 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,24 | 0,85 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,15 | 0,70 | 0,15 | 0,08 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,103 | 0,063 | 0,014 | 0,007 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 87 | 89 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,58 | 0,36 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,85 | 0,59 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,69 | 0,45 | 0,057 | 0,026 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,062 | 0,040 | 0,005 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 92 | 94 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,65 | 1,18 | 0,22 | 0,17 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,09 | 0,85 | 2,87 | 1,81 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,15 | n.b. | 0,37 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,61 | | 0,76 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

24.08.2010

Messreihe: I/13

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 90.728 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 13:48 17:06 | | 16:15 17:26 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,30 | 1,34 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,88 | 1,83 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,67 | 1,66 | 0,24 | 0,32 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,151 | 0,150 | 0,022 | 0,029 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 81 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,17 | n.b. | 0,55 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,85 | | 1,33 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 13:05 16:31 | | 10:37 16:09 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,38 | 0,90 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,85 | 1,13 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,58 | 1,01 | 0,43 | 0,09 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,144 | 0,092 | 0,039 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 73 | 92 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,01 | 0,71 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,28 | 0,85 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,14 | 0,80 | 0,081 | 0,027 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,104 | 0,073 | 0,007 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 93 | 97 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,11 | 1,77 | 0,24 | 0,29 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,26 | 1,07 | 1,00 | 0,92 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,28 | n.b. | 0,65 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,61 | | 1,22 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösung Rohgas weist ungewöhnlich hohe Auswaage auf.

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

07.08.2012

II/01. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 31.036 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:49 16:10 | | 15:22 16:32 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,58 | 0,93 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,33 | 1,67 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,02 | 1,40 | 0,33 | 0,21 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,063 | 0,044 | 0,010 | 0,007 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 85 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,63 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,43 | | 0,65 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:51 15:33 | | 10:30 15:18 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,92 | 0,45 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,99 | 0,48 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,95 | 0,46 | 0,12 | < 0,07 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,029 | 0,014 | 0,004 | < 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 87 | 84 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,51 | 0,23 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,54 | 0,28 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,52 | 0,25 | 0,033 | < 0,013 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,016 | 0,008 | 0,001 | < 0,0004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 94 | 95 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,32 | 2,56 | 0,16 | 0,09 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,65 | 1,82 | 0,48 | 0,40 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,77 | n.b. | n.b. |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,45 | | 0,55 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

25.09.2012

II/02. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 31.476 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:08 15:46 | | 14:58 16:13 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,89 | 1,57 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,95 | 2,57 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,44 | 2,09 | 0,43 | 0,59 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,077 | 0,066 | 0,014 | 0,019 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 72 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,11 | n.b. | 0,54 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,78 | | 1,37 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:02 15:07 | | 10:50 14:53 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert ⁽⁴⁾ | mg/m³ | 0,40 | 0,23 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,94 | 0,40 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,64 | 0,32 | 0,11 | < 0,03 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,020 | 0,010 | 0,003 | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 83 | 92 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert ⁽⁴⁾ | mg/m³ | 0,22 | 0,06 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,50 | 0,22 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,34 | 0,14 | 0,037 | < 0,01 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,011 | 0,004 | 0,001 | < 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 89 | 91 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 0,88 | 0,81 | 0,13 | 0,31 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,36 | 0,38 | 0,30 | 0,53 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,51 | n.b. | 0,88 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,44 | | 2,43 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Mittlerer Messwert für Impaktor Rohgas / 160 °C ist unplausibel niedrig und wurde nicht berücksichtigt

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

02.10.2012

II/03. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 33.626 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:21 14:52 | | 14:23 15:35 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert ⁽⁴⁾ | mg/m³ | 1,69 | 1,46 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,36 | 2,15 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,03 | 1,80 | 0,22 | 0,45 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,068 | 0,061 | 0,007 | 0,015 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 75 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,12 | n.b. | 0,70 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,80 | | 2,06 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:54 15:41 | | 10:33 14:17 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,00 | 0,45 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,02 | 0,52 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,01 | 0,49 | 0,16 | 0,07 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,034 | 0,016 | 0,005 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 84 | 86 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,50 | 0,23 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,60 | 0,31 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,55 | 0,26 | 0,042 | 0,012 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,018 | 0,009 | 0,001 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 92 | 95 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,36 | 1,08 | 0,18 | 0,15 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,67 | 0,60 | 0,84 | 0,33 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,46 | n.b. | 0,45 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,43 | | 0,80 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ 1. Messwert für Gesamtstaub Rohgas unplausibel niedrig und daher nicht in die Berechnung einbezogen

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

16.10.2012

II/04. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 25.757 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:53 15:14 | | 15:12 16:20 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,95 | 2,37 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,28 | 2,79 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,09 | 2,58 | 1,67 | 1,41 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,080 | 0,066 | 0,043 | 0,036 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 45 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,26 | n.b. | 0,25 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,80 | | 0,84 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:09 14:41 | | 11:05 15:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,16 | 0,41 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,37 | 0,58 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,25 | 0,51 | 0,25 | 0,13 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,032 | 0,013 | 0,007 | 0,003 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 80 | 75 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,64 | 0,33 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,71 | 0,40 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,68 | 0,37 | 0,141 | 0,083 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,017 | 0,010 | 0,004 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 79 | 78 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,84 | 1,35 | 0,46 | 0,73 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,59 | 0,52 | 0,28 | 0,52 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,51 | n.b. | 0,65 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,38 | | 1,58 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

13.11.2012

II/05. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|-----------|----------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 19.960 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:47 15:11 | | 14:40 15:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,74 | 2,50 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,23 | 2,98 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,91 | 2,67 | 1,00 | < 1,00 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,058 | 0,053 | 0,020 | < 0,020 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | > 62 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,05 | n.b. | 0,15 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,88 | | 1,01 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:56 14:33 | | 10:47 14:33 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,12 | < 0,34 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,26 | 0,63 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,20 | < 0,53 | 0,34 | 0,18 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,024 | < 0,011 | 0,007 | 0,004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 72 | 66 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,52 | 0,22 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,59 | 0,27 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,56 | 0,25 | 0,136 | 0,067 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,011 | 0,005 | 0,003 | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 76 | 73 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,57 | 1,13 | 0,52 | 0,57 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,54 | 0,42 | 0,52 | 0,57 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,43 | n.b. | 0,48 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,41 | | 1,09 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

27.11.2012

II/06. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 26.115 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:06 14:40 | | 14:37 15:48 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,95 | 0,80 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,21 | 1,12 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,04 | 0,91 | 0,42 | 0,47 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,027 | 0,024 | 0,011 | 0,012 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 49 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,17 | n.b. | 0,29 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,75 | | 1,12 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:33 14:05 | | 10:21 14:34 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,84 | < 0,15 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,98 | < 0,23 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,93 | < 0,18 | 0,14 | 0,07 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,024 | < 0,005 | 0,004 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 85 | > 62 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,35 | < 0,08 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,49 | < 0,11 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,42 | < 0,09 | 0,024 | 0,016 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,011 | < 0,002 | 0,001 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 94 | > 82 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,09 | 0,38 | 0,63 | 0,49 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 1,04 | 0,41 | 1,51 | 1,04 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,29 | n.b. | 0,12 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,24 | | 0,77 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

11.12.2012

II/07. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-------------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 15.944 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:48 15:24 | | 15:01 16:12 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,96 | 2,44 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,11 | 3,06 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,21 | 2,67 | 4,55 | 4,56 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,035 | 0,043 | 0,073 | 0,073 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | -71 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,11 | n.b. | 0,09 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 1,09 | | 1,00 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:58 14:48 | | 10:45 14:54 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,12 | 0,58 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,69 | 0,98 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,40 | 0,79 | 2,24 | 1,85 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,022 | 0,013 | 0,036 | 0,029 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | -60 | -134 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,48 | 0,19 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,55 | 0,21 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,52 | 0,20 | 1,712 | 1,444 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,008 | 0,003 | 0,027 | 0,023 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | -232 | -606 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,88 | 1,79 | 3,50 | 3,56 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,85 | 0,67 | 0,77 | 0,78 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,45 | n.b. | 0,18 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,52 | | 1,02 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Alle Reingasmesswerte sind durch Tropfenflug bzw. aus dem Sondenrohr zurücklaufendes Kondensat stark überschätzend und daher ebenso unplausibel wie die daraus berechneten Abscheideleistungen

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

08.01.2013

II/08. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|--|---------|----------------|-------------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 18.392 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:43 15:10 | | 14:52 16:34 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert ⁽⁵⁾ | mg/m³ | 1,02 | 0,97 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 4,23 | 4,38 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,99 | 3,05 | 3,58 | 3,25 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,055 | 0,056 | 0,066 | 0,060 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung ⁽²⁾ | % | -6 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,19 | n.b. | 0,05 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,86 | | 0,91 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:54 14:34 | | 10:39 14:44 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,58 | < 0,15 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,60 | < 0,98 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,92 | < 0,43 | 1,92 | 1,30 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,017 | < 0,008 | 0,035 | 0,024 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung ⁽³⁾ | % | -108 | -200 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,21 | < 0,08 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,70 | < 0,25 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,39 | < 0,13 | 1,374 | 0,928 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,007 | < 0,002 | 0,025 | 0,017 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung ⁽³⁾ | % | -255 | -588 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,28 | 1,14 | 2,97 | 2,36 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,43 | 0,37 | 0,83 | 0,73 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,40 | n.b. | 0,11 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,54 | | 0,79 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Alle Reingasmesswerte sind durch Tropfenflug bzw. aus dem Sondenrohr zurücklaufendes Kondensat stark überschätzend und daher ebenso unplausibel wie die daraus berechneten Abscheideleistungen

⁽⁵⁾ Rohgas Gesamtstaub: 1. Probenahme unplausibel niedrig

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Auf Grund Taupunktunterschreitung wurden im Reingas stark überschätzende Staubkonzentrationen registriert

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

05.02.2013

II/09. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 16.472 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:02 15:06 | | 15:44 16:42 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 3,46 | 3,11 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 4,45 | 4,01 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,97 | 3,53 | 86,53 | 3,12 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,065 | 0,058 | 1,425 | 0,051 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 12 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,04 | n.b. | 0,06 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,86 | | 0,04 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:23 14:30 | | 11:27 15:24 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,87 | 1,27 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,38 | 1,71 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,10 | 1,53 | 0,83 | 0,56 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,035 | 0,025 | 0,014 | 0,009 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 61 | 63 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,07 | 0,75 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,45 | 1,09 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,22 | 0,92 | 0,511 | 0,328 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,020 | 0,015 | 0,008 | 0,005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 58 | 64 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,89 | 2,74 | 1,33 | 1,77 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,73 | 0,78 | 0,02 | 0,57 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,26 | n.b. | 0,47 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,70 | | 1,33 | |

(1) Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

(2) Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

(3) Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

(4) Alle Reingasmesswerte sind durch Tropfenflug bzw. aus dem Sondenrohr zurücklaufendes Kondensat stark überschätzend und daher ebenso unplausibel wie die daraus berechneten Abscheideleistungen

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

19.02.2012

II/10. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 15.897 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:28 14:54 | | 14:14 15:31 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 3,07 | 2,82 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 5,09 | 4,82 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 4,04 | 3,71 | 0,16 | < 0,47 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,064 | 0,059 | 0,003 | < 0,007 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 87 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub ⁽⁴⁾ | | n.b. | 0,11 | n.b. | 0,94 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,83 | | 2,88 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:41 14:13 | | 10:02 14:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,55 | 1,28 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,95 | 1,41 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,78 | 1,34 | 0,17 | < 0,04 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,028 | 0,021 | 0,003 | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 91 | 97 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,77 | 0,64 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,04 | 0,75 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,92 | 0,69 | 0,102 | 0,027 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,015 | 0,011 | 0,002 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 89 | 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,39 | 2,93 | 0,20 | 0,34 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,59 | 0,79 | 1,21 | 0,72 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub ⁽⁴⁾ | | n.b. | 0,41 | n.b. | 0,85 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,67 | | 1,72 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Sehr hohe Anteile der Spüllösung an der gesamten Analytmenge vmtl. durch out-stack-Probenahme (Reingas)

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

20.02.2013

II/11. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 15.623 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:33 14:07 | | 14:14 15:27 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 3,25 | 2,79 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,94 | 3,27 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,56 | 3,01 | 0,15 | < 0,54 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,056 | 0,047 | 0,002 | < 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 82 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,03 | n.b. | 0,94 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,82 | | 3,46 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 9:44 13:26 | | 8:33 13:06 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,87 | 1,31 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,13 | 1,44 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,99 | 1,38 | 0,11 | < 0,04 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,031 | 0,022 | 0,002 | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 95 | 97 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,12 | 0,86 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,20 | 0,93 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,17 | 0,89 | 0,083 | 0,026 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,018 | 0,014 | 0,001 | 0,000 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 93 | 97 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,56 | 2,75 | 0,12 | 0,31 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,72 | 0,91 | 0,79 | 0,58 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,37 | n.b. | 0,85 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,67 | | 2,55 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Sehr hohe Anteile der Spüllösung an der gesamten Analytmenge vmtl. durch out-stack-Probenahme (Reingas)

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

19.03.2013

II/12. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|-------------------|----------------|-------------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 16.951 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:05 15:23 | | 14:14 15:27 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 ⁽⁵⁾ | 160 | 20 ⁽⁵⁾ | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 2,29 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 3,82 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 3,22 | n.b. | 0,25 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,055 | n.b. | 0,004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 92 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,09 | n.b. | 0,82 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | n.b. | | n.b. | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:14 14:48 | | 10:13 14:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 ⁽⁵⁾ | 160 | 20 ⁽⁵⁾ | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 1,21 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 1,55 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 1,43 | n.b. | < 0,08 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,024 | n.b. | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | n.b. | > 95 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,72 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,82 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 0,76 | n.b. | 0,060 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,013 | n.b. | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | n.b. | 92 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | n.b. | 2,61 | 0,00 | 0,79 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | n.b. | 0,81 | n.b. | 3,18 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,36 | n.b. | 0,86 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | n.b. | | n.b. | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Sehr hohe Anteile der Spüllösung an der gesamten Analytmenge vmtl. durch out-stack-Probenahme (Reingas)

⁽⁵⁾ Es liegen keine Messwerte im Zustand 20° vor! (Ausw ertezeitraum auf Grund der Osterfeiertage zu kurz)

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

19.03.2013

II/12. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|-------------------|----------------|-------------------|---------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 16.951 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:05 15:23 | | 14:14 15:27 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 ⁽⁵⁾ | 160 | 20 ⁽⁵⁾ | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 2,29 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 3,82 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 3,22 | n.b. | 0,25 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,055 | n.b. | 0,004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 92 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,09 | n.b. | 0,82 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | n.b. | | n.b. | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:14 14:48 | | 10:13 14:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 ⁽⁵⁾ | 160 | 20 ⁽⁵⁾ | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 1,21 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 1,55 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 1,43 | n.b. | < 0,08 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,024 | n.b. | < 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | n.b. | > 95 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,72 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | n.b. | 0,82 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | n.b. | 0,76 | n.b. | 0,060 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | n.b. | 0,013 | n.b. | 0,001 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | n.b. | 92 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | n.b. | 2,61 | 0,00 | 0,79 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | n.b. | 0,81 | n.b. | 3,18 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,36 | n.b. | 0,86 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | n.b. | | n.b. | |

(1) Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

(2) Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

(3) Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

(4) Sehr hohe Anteile der Spüllösung an der gesamten Analytmenge vmtl. durch out-stack-Probenahme (Reingas)

(5) Es liegen keine Messwerte im Zustand 20° vor! (Ausw ertezeitraum auf Grund der Osterfeiertage zu kurz)

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

02.04.2013

II/14. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 17.145 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:44 15:00 | | 15:01 16:11 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,29 | 2,10 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,47 | 3,60 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,99 | 2,92 | 0,22 | < 0,22 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,051 | 0,050 | 0,004 | < 0,0038 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | > 92 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,16 | n.b. | 0,59 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,85 | | 1,01 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:55 14:24 | | 10:53 14:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,59 | 0,90 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,58 | 2,15 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,97 | 1,47 | 0,08 | < 0,03 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,034 | 0,025 | 0,001 | < 0,0005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 96 | 98 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,07 | 0,78 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,61 | 1,34 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,26 | 0,99 | 0,046 | < 0,015 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,022 | 0,017 | 0,001 | < 0,0003 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 96 | 98 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,58 | 2,85 | 0,11 | 0,29 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,86 | 0,97 | 0,52 | 1,32 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,34 | n.b. | 0,84 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,73 | | 2,57 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Sehr hohe Anteile der Spüllösung an der gesamten Analytmenge vmtl. durch out-stack-Probenahme (Reingas)

Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

16.04.2013

II/15. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 32.102 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:17 14:41 | | 13:55 15:09 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,79 | 1,44 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,61 | 2,24 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,09 | 1,73 | 0,23 | 0,25 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,067 | 0,056 | 0,007 | 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 86 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,10 | n.b. | 0,48 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,75 | | 1,08 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:28 14:06 | | 9:45 13:51 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,08 | 0,59 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,49 | 0,94 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,25 | 0,71 | 0,15 | 0,07 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,040 | 0,023 | 0,005 | 0,002 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 88 | 90 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,54 | 0,30 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,96 | 0,65 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,72 | 0,43 | 0,035 | < 0,02 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,023 | 0,014 | 0,001 | < 0,0005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 95 | > 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,75 | 1,75 | 0,21 | 0,20 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,84 | 1,01 | 0,91 | 0,81 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,44 | n.b. | 0,55 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,56 | | 0,96 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösungen Reingas weisen für diese Anlage bei Außentemperaturen > ca. 5 °C typisch hohe Auswaagen auf
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

17.04.2013

II/16. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|---------------|----------------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 25.445 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 9:21 12:33 | | 12:35 13:43 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,47 | 1,30 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,69 | 1,57 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,58 | 1,44 | 0,19 | 0,14 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,040 | 0,037 | 0,005 | 0,004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | 90 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,25 | n.b. | 0,48 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,73 | | 0,74 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 8:34 12:00 | | 8:20 12:32 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,81 | 0,38 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,16 | 0,76 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,03 | 0,61 | 0,16 | < 0,06 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,026 | 0,015 | 0,0042 | < 0,0016 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 84 | > 90 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,51 | 0,17 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 0,65 | 0,43 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,61 | 0,31 | 0,061 | < 0,015 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,015 | 0,008 | 0,0015 | < 0,0004 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 90 | > 95 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 1,37 | 1,18 | 0,22 | 0,17 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,87 | 0,82 | 1,19 | 1,23 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,34 | n.b. | 0,55 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,57 | | 0,77 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösungen Reingas weisen für diese Anlage bei Außentemperaturen > ca. 5 °C typisch hohe Auswaagen auf
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

30.04.2013

II/17. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 31.979 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 12:25 15:52 | | 15:07 16:24 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,60 | 2,64 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 3,75 | 3,85 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 3,07 | 3,16 | 0,33 | < 0,40 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,098 | 0,101 | 0,010 | < 0,013 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | > 87 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,26 | n.b. | 0,46 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,82 | | 1,24 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:36 15:16 | | 11:10 15:01 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,83 | 1,37 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,18 | 1,79 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,97 | 1,56 | 0,16 | < 0,09 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,063 | 0,050 | 0,0050 | < 0,0030 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 92 | > 94 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,21 | 0,92 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,55 | 1,33 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,42 | 1,14 | 0,024 | < 0,015 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,045 | 0,037 | 0,0008 | < 0,0005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 98 | > 99 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,45 | 3,17 | 0,19 | 0,17 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,43 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,37 | n.b. | 0,36 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,81 | | 0,88 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösungen Reingas weisen für diese Anlage bei Außentemperaturen > ca. 5 °C typisch hohe Auswaagen auf
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

28.05.2013

II/18. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|---------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m³/h | 39.170 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 11:40 14:53 | | 14:08 15:19 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 2,32 | 2,17 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 2,85 | 2,70 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 2,63 | 2,51 | 0,41 | < 0,36 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,103 | 0,098 | 0,016 | < 0,014 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | > 86 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,13 | n.b. | 0,24 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,85 | | 0,88 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 10:53 14:19 | | 10:06 14:05 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 1,39 | 0,98 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,72 | 1,00 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 1,52 | 0,99 | 0,16 | < 0,09 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,059 | 0,039 | 0,006 | < 0,0035 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 89 | > 91 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m³ | 0,81 | 0,62 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m³ | 1,19 | 0,68 | - | - |
| Mittelwert | mg/m³ | 0,95 | 0,66 | 0,024 | < 0,02 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,037 | 0,026 | 0,001 | < 0,0006 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 97 | > 98 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m³ | 2,14 | 2,21 | 0,24 | 0,30 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,81 | 0,88 | 0,58 | 0,84 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,39 | n.b. | 0,63 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,63 | | 1,27 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösungen Reingas weisen für diese Anlage bei Außentemperaturen > ca. 5 °C typisch hohe Auswaagen auf
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)

Zusammenfassung Messwerte TÜV NORD Umweltschutz

Messtag:

29.05.2013

II/19. Messreihe

| Messort: | | Rohgas | | Reingas | |
|---|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Volumenstrom (Mittel über Messzeit) | m ³ /h | 29.817 | | | |
| Gesamtstaub | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 9:27 12:36 | | 12:29 13:45 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Minimaler Messwert | mg/m ³ | 1,70 | 1,67 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m ³ | 1,98 | 1,92 | - | - |
| Mittelwert | mg/m ³ | 1,87 | 1,80 | 0,29 | < 0,28 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,056 | 0,054 | 0,009 | < 0,008 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽²⁾ | % | > 85 | | | |
| Anteil Spüllösung an Staub | | n.b. | 0,16 | n.b. | 0,24 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,83 | | 0,95 | |
| Partikelgrößenverteilung | | | | | |
| Probenahmezeitraum | von bis | 8:40 12:04 | | 8:27 12:25 | |
| Anzahl Probenahmen | | 3 | | 1 | |
| Auswaage nach Trocknen bei | °C | 20 | 160 | 20 | 160 |
| Fraktion PM₁₀ | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m ³ | 0,96 | 0,65 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m ³ | 1,45 | 1,10 | - | - |
| Mittelwert | mg/m ³ | 1,20 | 0,80 | 0,19 | < 0,08 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,036 | 0,024 | 0,006 | < 0,0025 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 84 | > 89 | | |
| Fraktion PM_{2,5} | | | | | |
| Minimaler Messwert | mg/m ³ | 0,53 | 0,33 | - | - |
| Maximaler Messwert | mg/m ³ | 0,75 | 0,58 | - | - |
| Mittelwert | mg/m ³ | 0,63 | 0,42 | 0,032 | < 0,02 |
| Mittlerer Massenstrom | kg/h | 0,019 | 0,013 | 0,001 | < 0,0005 |
| Abscheideleistung Abgasreinigung⁽³⁾ | % | 95 | > 96 | | |
| Nennwert Staub (Summe Auswaagen) | mg/m ³ | 1,68 | 2,02 | 0,25 | 0,27 |
| Nennwert Staub vs. Gesamtstaub | | 0,90 | 1,12 | 0,85 | 0,98 |
| Anteil Spüllösung an Nennwert Staub | | n.b. | 0,46 | n.b. | 0,63 |
| Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert ⁽¹⁾ | | 0,66 | | 1,09 | |

⁽¹⁾ Verhältnis "heißer" zu "kalter" Wert wird ohne Einbeziehung der Spüllösung "Filter zu Filter" berechnet

⁽²⁾ Abscheideleistung auf Basis "heißer Wert" inkl. Spüllösung (konservative Betrachtung; VDI 2066)

⁽³⁾ Abscheideleistung kann für beide Trocknungstemperaturen ausgewiesen werden, da kein Einfluss der Spüllösung

⁽⁴⁾ Spüllösungen Reingas weisen für diese Anlage bei Außentemperaturen > ca. 5 °C typisch hohe Auswaagen auf
Alle Konzentrationsangaben im Normzustand (trockenes Gas bei 101,3 kPa und 273 K)