Schütz, Andrea

Vom Fachbereich VI
Geographie / Geowissenschaften
der Universität Trier

zur Verleihung des akademischen Grades

‘Doktor der Naturwissenschaften’ (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation

Feinstaub in Putenmastställen – Prüfung und Bewertung eines Messsystems unter Berücksichtigung umwelthygienischer und umweltrechtlicher Aspekte

Betreuender und Berichterstattender:
Prof. Dr. Dietmar Schröder

Berichterstattender:
Prof. Dr. med. vet. Jörg Hartung,
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Datum der wissenschaftlichen Aussprache: 26.02.2008

Trier 2008

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG 1

2. UMWELTHYGIENISCHE BEDEUTUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON FEINSTÄUBEN AUS NUTZTIERHALTUNGEN 5

2.1. Einfluss von Feinstäuben auf die Gesundheit des Menschen und der Nutztiere 5

2.2. Umweltrechtliche Regelungen für Feinstaub (PM 10) als Immission 11

2.3. Feinstaub als Emission 14

2.3.1. Emissionen aus der Landwirtschaft 14

2.3.2. Staubemission aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung 16

2.3.3. Aktuelle Gesetzeslage zur Bewertung von Staubemissionen aus Tierhaltungsanlagen 20

3. FEINSTAUBANALYSE IN DER NUTZTIERHALTUNG – EIN ÜBERBLICK 29

3.1. Messmethodik und Messtechnik 29

3.1.1. Diskontinuierliche Messmethoden (Impaktion, Filtration und Passivsammler) 31

3.1.2. Kontinuierliche Messmethoden (Optische Verfahren und TEOM) 32

3.2. Probleme der Feinstaubanalyse in Tierställen 33

3.3. Ausgewählte Messtechnik und Messstandort 37

4. MATERIAL UND METHODEN 40

4.1. Beschreibung des Messstandorts 40

4.2. Messzeitraum und Tierbesatz 44

4.3. Vorversuche zur Wahl von Mess- und Pumpsystemen 44

4.4. Ausgewähltes Verfahren zur Bestimmung von PM 10 45

4.4.1. Bestimmung der Massenkonzentration von PM 10 45

4.4.2. Das eingesetzte Messsystem: DIGITEL HVS DHA-80 47

4.4.3. Das Prinzip der Impaktion 52

4.5. Vorbereitende Messungen zur Erstellung eines Messplans 53

4.5.1. Bestimmung der optimalen Sammelzeit 54

4.5.2. Notwendige Rahmenbedingungen für die Messungen 54
4.5.3. Einschränkungen des Messverfahrens 55
4.5.4. Zusammensetzung der Proben 56
4.5.5. Erstellung eines Messplans 58
4.6. Verfahren zur Bestimmung der einatembaren Staubfraktion (PM 100)..... 58
4.6.1. Bestimmung der Massenkonzentration von ID (PM 100)..... 58
4.6.2. Zur Bestimmung von ID eingesetztes Messsystem 59
4.7. Anordnung der Messpositionen der beiden Messsysteme..... 61
4.7.1. Standort des DIGITEL HVS DHA-80 und des IOM-SKC-Messsystems 61
4.7.2. Messposition zur Bestimmung von PM 10 und ID 62
4.8. Übersicht über die Anzahl erhobener 24-Stunden Messungen..... 64
4.9. Arbeitsanweisungen und Protokollblätter 64
4.10. Begleitmessungen und ergänzende Datenerhebung 69
4.10.1. Bestimmung der Endotoxine 69
4.10.2. Daten zu den Mastputen im Stallabteil 1 in Ruthe..... 70
4.10.3. Klimadaten der Klimamessstation Ruthe..... 71
4.11. Statistische Auswertung..... 71
4.11.1. Deskriptive Statistik 71
4.11.2. Analytische statistische Auswertungen 72

5. ERGEBNISSE 73

5.1. PM 10-Konzentration 74
5.1.1. Häufigkeitsverteilung der mittleren PM 10-Konzentrationen 76
5.1.2. Zeitreihenbetrachtung der mittleren PM 10-Konzentrationen..... 77
5.1.3. Variation der mittleren PM 10-Konzentration in Abhängigkeit der Tieraktivität 78
5.1.4. Variation der PM 10-Konzentration im Tagesgang 79
5.2. ID-Konzentrationen 85
5.2.1. Häufigkeitsverteilung der ID-Konzentrationen..... 86
5.2.2. Zeitreihenbetrachtung der ID-Konzentrationen in der Stallluft 88
5.2.3. Variation der ID-Konzentration in Abhängigkeit zur Tieraktivität..... 89
5.3. Zusammenhang zwischen PM 10 und ID 89

5.4. Endotoxine 92
5.4.1. Endotoxinaktivitäten der ID-Filter 92
5.4.2. Endotoxinaktivitäten der PM 10-Teilfilter 94
5.4.3. Vergleich zwischen Endotoxinaktivitäten der ID Filter und PM 10-Teilfilter 95

6. DISKUSSION 97

6.1. Kritische Prüfung der eingesetzten Messtechnik 97
6.1.1. Der DIGITEL HVS DHA-80 97
6.1.2. Das IOM-SKC-Messsystem 99
6.1.3. Messunsicherheiten der Probenahmeverfahren 100
6.1.4. Höhe der Entnahmestelle über Grund 102
6.2. Einschätzung der PM 10-Konzentrationen 103
6.2.1. PM 10-Konzentrationen im Vergleich 103
6.2.2. Einfluss der Tieraktivität auf die PM 10-Konzentrationen 104
6.3. Einschätzung der ID-Konzentrationen 106
6.3.1. ID-Konzentrationen im Vergleich 106
6.3.2. Einfluss der Tieraktivität auf die ID-Konzentrationen 107
6.4. Vergleich beider Staubfraktionen im Zusammenhang 108
6.5. Einschätzung der Endotoxinaktivitäten 109
6.6. Berücksichtigung umwelthygienischer und umweltrechtlicher Aspekte 111

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN 113

7.1. Messtechnik: DIGITEL HVS DHA-80 113
7.2. Folgerungen für zukünftige Messprojekte und Zielsetzungen für die standardisierte Erfassung von PM 10 in Tierställen 115

8. ZUSAMMENFASSUNG 116

9. LITERATURVERZEICHNIS 118

DANKSAGUNG 130

WISSENSCHAFTLICHER WERDEGANG 131

GLOSSAR 132

ANHANG **141**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS **188**

TABELLENVERZEICHNIS **190**

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **192**

1. Einleitung

Luftgetragene Feinstäube als bedeutende Komponenten der Emissionen aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung rücken hinsichtlich der Beeinflussung menschlichen Wohlbefindens wie auch der Tiergesundheit seit Beginn des 21. Jahrhunderts zunehmend in den Mittelpunkt umweltmedizinischen Interesses und wissenschaftlicher Forschung. Die Erkenntnis, dass die Belastung der Luft durch die Partikel aus Tierställen ein Gesundheitsgefährdungspotential birgt, hat dazu geführt, dass Feinstäube und deren negative gesundheitliche Effekte in jüngster Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen zu komplexen umweltbezogenen Beschwerdebildern wie Störungen im Bereich der Atemwege und Allergien waren; so auch z. B. in der Niedersächsischen Lungenstudie NiIS von 2005 und den Untersuchungen der Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN von 2003.

Bekannt ist, dass die Luft aus Tierställen komplex aus unbelebten und belebten Partikeln sowie einer Vielzahl im Stall gebildeter Fremdgase (vgl. HILLIGER, 1991) zusammengesetzt ist. Unbelebte Partikel sind beispielsweise durch unterschiedliche Größenfraktionen von Stäuben charakterisiert, die Träger von Gasen, belebten Partikeln und Toxinen sein können. Zu den belebten Komponenten zählen Bakterien, Viren, Milben und Bestandteile biogenen Ursprungs z. B. Hautschuppen oder biogene Produkte, die keinen eigenen Stoffwechsel haben, wie Endotoxine oder Mykotoxine. Da den Schwerpunkt dieser Arbeit die partikelförmigen Komponenten der Stallluft bilden, werden die gasförmigen Komponenten hier nicht näher differenziert.

Die umwelthygienische Beurteilung der Emissionen aus Tierställen, insbesondere der Feinstäube, ist von besonderer Bedeutung, da der Verdacht besteht, dass partikelförmige Luftinhaltsstoffe aus spezialisierter Tierproduktion die Prävalenz gesundheitlicher Störungen, vor allem der Atemwege, erhöhen. In Regionen Deutschlands mit konzentrierter Tierdichte kommt es zunehmend zu Konflikten zwischen den Betreibern moderner, intensiver Nutztierproduktionsanlagen und der anwohnenden Bevölkerung. Die Klagen von Anwohnern gegen die Intensivtierhaltung beziehen sich meist auf gesundheitliche Beeinträchtigungen, wie Reizungen des Atemtrakts und gehäuft auftretende allergische und asthmatische Erkrankungen. Zwar existieren diverse Untersuchungen zum Ausbreitungsverhalten von Stallluft-

immissionen, die eine nachbarschaftliche Exposition bestätigen, allerdings gibt es bisher keinen direkten wissenschaftlichen Nachweis, dass Emissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsbetrieben ursächlich für die genannten nachteiligen Effekte auf die Gesundheit der Anwohner sind (vgl. HINZ, 2005).

Daneben stehen die Statistiken der Berufskrankheiten der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften sowie die Ergebnisse aus umfangreichen arbeitsmedizinischen Studien, die die Häufigkeit verschiedener Erkrankungen bei hochgradig exponierten Berufsgruppen wie Tierwirten untersuchten (vgl. KTBL, 2005). Diese legen dar, dass die in Tierställen arbeitenden Personen gesundheitlichen Belastungen durch die in der Stallatmosphäre enthaltenen Stäube, Gase und organischen Bestandteile ausgesetzt sind. Beschrieben sind unterschiedliche negative gesundheitliche Auswirkungen. Betroffen sind vor allem die Atemwege der exponierten Personen, welches sich in Krankheitsbildern wie z. B. der exogen allergischen Alveolitis (bekannt als Farmerlunge), einer meldepflichtigen Berufskrankheit, obstruktiven Lungenerkrankungen oder allergischer Rhinitis äußert (vgl. SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Von den verschiedenen Interessensgruppen wird daher zunehmend Aufklärung über die Qualität, Quantität und gesundheitsrelevanten Auswirkungen der Emissionen, insbesondere des Feinstaubs aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung, gefordert. Eine detaillierte Erforschung der Emissionsquelle „Tierhaltungsbetrieb“ bzw. „Tierstall“ ist zudem von Bedeutung, da es seit 2005 gilt, die Vorgaben der Europäischen Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/EG vom 19. Juli 1999 „Neue EU-Richtlinie über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft“ national umzusetzen. Erst durch die genaue Kenntnis des Emittenten ist eine Zuordnung definierter Quellen möglich und erst dann können gezielte Minderungsmaßnahmen ergriffen werden. Beispiel für eine bekannte Minderungsmaßnahme für Feinstaub ist der Partikelfilter beim Personenkraftwagen.

Der Schwerpunkt der Minderung von Emissionen aus der Tierhaltung, die ein wichtiger Bestandteil nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik ist, lag bisher in der Reduktion von Gerüchen und gasförmigen Stoffen wie z. B. Ammoniak. Die erforderlichen Maßnahmen zur Minderung sind teilweise Bestandteil rechtlicher Vorgaben (vgl. TA LUFT 2002 und VDI-RICHTLINIEN, wie z. B. VDI 3471 und 3472 „Emissionsminderung Tierhaltung Schweine bzw. Hühner“) oder in Maßnahmen-

katalogen festgehalten wie z. B. in den „Regeln zur Guten fachlichen Praxis der Ammoniak-Emissionsminderung in der Landwirtschaft“ (AID/KTBL, 2003).
Aufgrund der bekannten gesundheitlichen Bedeutung für Mensch und Tier sowie ihrer Umweltrelevanz werden daher für Stallemissionen zahlreiche Messungen besonders in Schweine- und Rinderställen durchgeführt. Für Gase wie Ammoniak, Stickoxide und Kohlendioxid gibt es Grenzwerte, die sowohl für den Tierhaltungsbereich (TierSchNutzV) sowie den Menschen (Arbeitsplatzgrenzwerte) gelten.
Daten über die Konzentrationen an Feinstaub in Ställen finden sich dagegen nur sporadisch. Dies betrifft besonders Particulate Matter 10 (PM 10, Feinstaub). Die Kenntnis der Feinstaubemissionen und ihrer umwelthygienischen Auswirkungen sind jedoch dringend erforderlich, um den Bewilligungsbehörden eine Entscheidungsgrundlage für künftige Stallbauten zu liefern und somit die Anwohner vor möglichen negativen Einflüssen bewahren zu können.
Für diese Arbeit wurde zur Bestimmung der Feinstaub-Konzentration ein Putenmaststall des Louisianatyps ausgewählt. Dieser Typ Stall ist besonders in der spezialisierten Geflügelproduktion in Deutschland verbreitet und beherbergt oft Tierzahlen bis 20.000 Tiere. Diese kostengünstigen eingestreuten Ställe haben allerdings den Nachteil, dass sie hohe Staubkonzentrationen in der Luft aufweisen und wegen des freien Lüftungssystems keine Abluftreinigungsmaßnahmen ergriffen werden können, um hier z. B. Staubemissionen zu reduzieren. Es existieren für frei gelüftete Stallsysteme bisher kaum Angaben zu Emissionswerten, insbesondere nicht zu Feinstaub (PM 10). Hinzu kommen noch immer die erheblichen Schwierigkeiten bei der Standardisierung von Messverfahren zu den Emissionskomponenten insgesamt und vor allem zu PM 10 aus solchen Ställe (vgl. BERRY et al., 2005, KTBL, 2005).
Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Erfassung von PM 10 im Putenstall mit einem in der Immissionsmessung etablierten Messsystems liefern, das unter diesen Bedingungen geprüft und bewertet wird. Ziel ist es, die Ausarbeitung von Hilfsmitteln wie Checklisten für das getestete Messinstrument DIGITEL HVS DHA-80 sowie die Erstellung der notwendigen Protokollblätter für die gravimetrische Bestimmung von PM 10 vorzunehmen. Dies stellt einen Beitrag zur Standardisierung künftiger Messungen in diesem Bereich dar.

Begleitend wurde der Anteil des einatembaren Staubs (ID bzw. PM 100) mit einem SKC-IOM-Messsystem sowie in beiden Luftstaubfraktionen Endotoxine, welche ebenso zu den umwelthygienisch bedeutenden Luftinhaltsstoffen zählen, erfasst.

2. Umwelthygienische Bedeutung und Charakterisierung von Feinstäuben aus Nutztierhaltungen

Seit den 1960er Jahren hat in Deutschland eine erhebliche Reduzierung der Staubemissionen stattgefunden, was hinsichtlich der Luftreinhaltung als positiv zu beurteilen ist. Allerdings zeigen neuere Untersuchungen, dass sich die gesundheitliche Relevanz der Stäube vor allem durch den Anteil an Feinstäuben in der Luft bedingt und weniger durch den Anteil an Grobstaub, auf den der Großteil der eingesetzten Minderungsmaßnahmen zielten. Feinstäube sind als die mess-technisch erfassbaren Staubpartikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist, definiert und werden technisch und in Regelwerken als Particulate Matter (PM 10) bezeichnet. Im Folgenden werden die von Feinstäuben ausgehenden negativen Effekte auf die Gesundheit von Mensch und Tier aufgezeigt. Daran schließen sich die Darstellungen von Feinstaub als Immission sowie als Emission an, wobei insbesondere die Emissionen aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung und die hierzu in Bezug stehenden aktuellen gesetzlichen Regelungen erörtert werden.

2.1. Einfluss von Feinstäuben auf die Gesundheit des Menschen und der Nutztiere

Die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit des Menschen und der Nutztiere sind in letzter Zeit zunehmend in den Mittelpunkt umwelthygienischen und umweltmedizinischen Interesses gerückt. Ausgangspunkt hierfür waren epidemiologische Lang- und Kurzzeitstudien beispielsweise durch die ISEM (International Society of Environmental Medicine), Studien des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (GSF) oder das Projekt „Umwelt und Gesundheit“ (PUG) des Forschungszentrums Karlsruhe, die Ende der neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts die negativen Auswirkungen von Luftschadstoffen, insbesondere von Feinstäuben und biologischen Immissionen, auf die menschliche Gesundheit bestätigt haben. Durch Untersuchungen an staubbelasteten Arbeitsplätzen sind die negativen Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit bereits belegt (vgl. KOLLER, 2003). Weitere Belege für die Toxizität von Partikeln liefern tierexperimentelle und vitro-Untersuchungen (vgl. FROMME, 2005).

Auf der Jahrestagung der ISEM im Jahr 1998 wurden epidemiologische Daten zur Wirkung von Feinstäuben, insbesondere auf das menschliche Atmungs- und Herz-Kreislaufsystem, präsentiert. In den zugehörigen Studien konnten nach PETERS (1998) Assoziationen zwischen erhöhten Partikelkonzentrationen in der Außenraumluft und dem Anstieg der Mortalität nachgewiesen werden. „Diese Ergebnisse werden durch Studien, die die Morbidität der Bevölkerung in Abhängigkeit von Partikelkonzentrationen untersucht haben, unterstützt“ (PETERS, 1998, 189). Diese Zusammenhänge wie auch zunehmende Krankenhausaufenthalte oder die Steigerung der Medikamenteneinnahme bei prädisponierten Patienten mit Atemwegs- oder Herz-Kreislauferkrankungen während der wetterlagenabhängigen erhöhten Partikelkonzentrationen wurden auch in internationalen Studien im Auftrag der WHO und der US-EPA sowie in der APHEA-Studie[1] bestätigt. Ebenso lauten Ergebnisse der Arbeitsgruppe „Wirkung von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft VDI und DIN (KRDL) aus dem Jahr 2003. Die Ergebnisse der Studien zeigten auch deutliche Zusammenhänge zwischen hohen Partikelkonzentrationen und Häufigkeit bzw. Schweregrad bestimmter Krankheitsbilder. Dabei können die Partikel direkt am Aufnahmeort lokale Wirkung zeigen z. B. durch Schädigung der Schleimhaut oder im gesamten Organismus systemische Wirkungen hervorrufen. Daher können sich durch die Feinstaubbelastungen insbesondere Erkrankungen entwickeln, die das Atmungs-, Herz-Kreislauf-System oder auch das autonome Nervensystem betreffen.

Dass Feinstaub Ursache erheblicher Belastungen des Atemtraktes sein kann, ist durch die starke direkte Wechselwirkung der Lunge mit der äußeren Umwelt zu erklären. So berühren pro Tag etwa 7,6 m³ Luft eine Fläche der menschlichen Lunge von etwa 100 m², die zum Gasaustausch fähig ist (vgl. SEEDORF und HARTUNG, 2002). Über die Nase gelangen einatembare Stäube in den Atmungstrakt und erreichen je nach ihrer Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit, Biobeständigkeit und chemischen Komponenten die verschiedenen Lungenregionen. Die aus diesen Eigenschaften entstehende Aerodynamik und / oder Thermodynamik der

[1] APHEA Studie: Europäische Untersuchungen der European Environment Agency zu kurzzeitigen Einflüssen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit, 1991 – 1994.

eingeatmeten Partikel bestimmen dabei den Depositionsort im Atemtrakt. Zur Verdeutlichung der möglichen Reichweite der einatembaren Staubfraktionen in den menschlichen Atemtrakt dient Abbildung 1. Sie stellt eine Abscheidecharakteristik der unterschiedlich großen Partikel in den verschiedenen anatomischen Abschnitten der Lunge dar, wobei der Atemtrakt hier vereinfacht in drei Kompartimente eingeteilt werden kann: nasopharyngealer Bereich, der mit Nase, Rachen und Kehlkopf die oberen Atemwege präsentiert, die mittleren Atemwege als so genannter tracheobronchialer Bereich mit Luftröhre, Hauptbronchien, sekundären sowie terminalen Bronchien und die Alveolen als terminale Atemwegsstrukturen. Größere Partikel werden durch Abwehr- und Reinigungsmechanismen im oberen Atemtrakt aufgehalten.

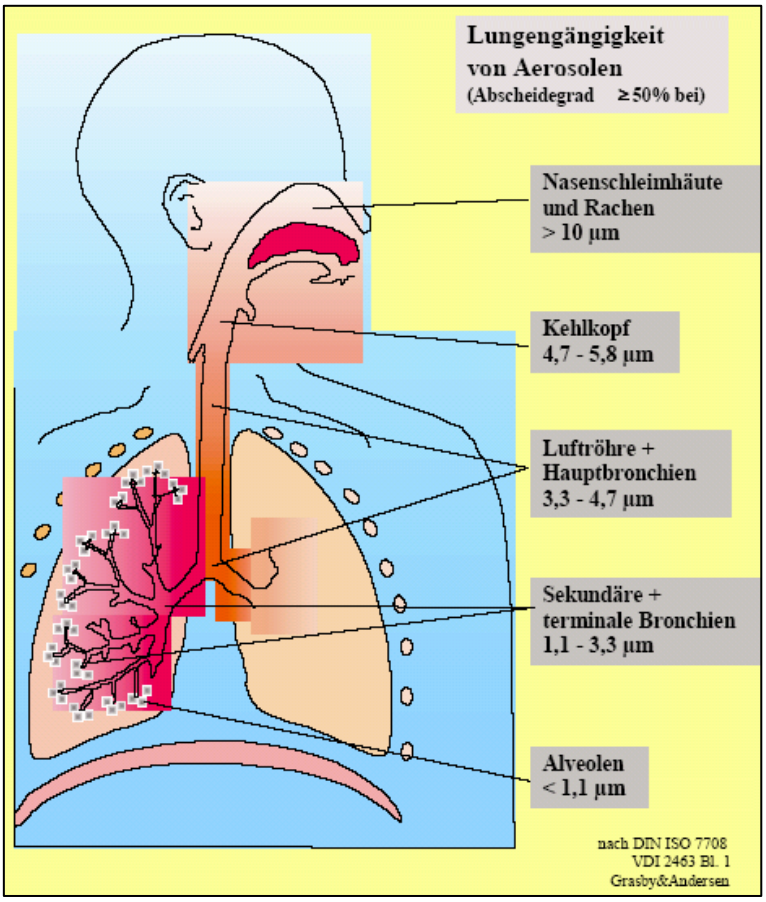

Abbildung 1: Abscheidecharakteristik von Partikeln in der menschlichen Lunge (JOHN, 2002, 2)

Als problematisch hinsichtlich der negativen Effekte auf die Gesundheit gelten vor allem Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser < 5 µm, die Bestandteil des alveolengängigen Staubs (Respirable Dust, RD) oder auch der ultrafeinen Partikel sein können, da in den alveolären Regionen der Lunge die schützende Flimmerepithel tragenden Schleimhäute als körpereigene Schutzmechanismen fehlen.

Die Abscheidung der Partikel basiert prinzipiell auf fünf verschiedenen Mechanismen, wobei Impaktion, Sedimentation und Brown'sche Diffusion die größte Bedeutung haben. Interzeption und elektrostatische Abscheidung spielen hier eine untergeordnete Rolle. Die chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften der inhalierten Partikel sind zusammen mit den ihnen möglicherweise anhaftenden gasförmigen oder toxischen Stoffen für die Wechselwirkungen mit Gewebe und Zellen des Organismus sowie letztendlich für die gesundheitlichen Auswirkungen ausschlaggebend. Hierdurch wird auch die Problematik deutlich, dass man im Allgemeinen im Zusammenhang mit negativen gesundheitlichen Effekten den Feinstaub nicht als isolierten Luftinhaltsstoff betrachten kann, sondern dass dieser stets in Kombination mit weiteren Bestandteilen der Luft zu betrachten ist. Denn insbesondere durch die Interaktion verschiedener Luftschadstoffe wie z. B. Staub und Schwefeldioxid kann deren Einzelwirkung beträchtlich verstärkt werden.

Die Gesamtheit der meist komplex zusammengesetzten Luftinhaltsstoffe, die inerter und / oder organischer Natur sein können und die Fähigkeit besitzen Cluster zu bilden, wird auch als Bioaerosol bezeichnet. So können Feinstäube als Bioaerosole biologische Aktivität entwickeln und dabei irritativ, allgemein toxisch, allergisierend, fibrogen und auch mutagen sowie kanzerogen wirken (vgl. HIRST, 1995, LINSEL, 2001).

Im Folgenden wird das Hauptaugenmerk, bezüglich der Thematik dieser Arbeit, auf den staubförmigen Partikeln liegen, wobei hier noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen sei, dass aufgrund der Komplexität der Luftinhaltsstoffe ihr Gefährdungspotential für die menschliche Gesundheit nicht auf eine bestimmte Größe von Partikeln eingegrenzt werden kann, sondern diese stets in ihrer Zusammensetzung und Fähigkeit biologische Aktivität zu entwickeln betrachtet werden müssen. Für Erkrankungen, die Kurzzeiteffekten unterliegen, bestätigte

sich nach den Untersuchungen der Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der KRDL (2003) aber auch die alleinige Wirkung von Feinstaub (PM 10) ohne die Anwesenheit anderer Luftschadstoffe wie Ozon, Stickoxide oder Schwefeloxide. Hinsichtlich der Beeinträchtigung der Gesundheit durch Feinstäube als Immission ist außerdem erwähnenswert, dass es einen linearen Zusammenhang zwischen Exposition und gesundheitlicher Wirkung gibt, aber bisher noch kein Schwellenwert für die durch PM 10 ausgelösten Effekte nachgewiesen werden konnte (vgl. KRDL 2003).

Die bei den oben genannten epidemiologischen Studien beschriebenen Atemwegserkrankungen gehen vorwiegend aus einer insuffizienten Lungenclearance hervor, das heißt, die körpereigenen Abwehr- und Reinigungsmechanismen sind überlastet bzw. können nur eingeschränkt arbeiten. Als Kurzzeiteffekte sind in den Untersuchungen folgende Krankheitsbilder aufgeführt: vermehrtes Husten, Beeinträchtigung der Lungenfunktion mit folgenden chronisch obstruktiven Lungenveränderungen (COPD) und bei vorbelasteten Patienten wie z. B. Asthmatikern sich verschlimmernde Symptome. Eine erhöhte Mortalität für prädisponierte atemwegserkrankte Patienten sowie gesteigerte Raten für Lungenkrebs und vermehrtes Auftreten infektiöser Atemwegserkrankungen wie z. B. Bronchitis ergaben sich aus Studien zu Langzeiteffekten von partikelförmiger Luftbelastungen (vgl. FROMME, 2005, UBA, 2005). Ähnliche Krankheitsbilder sind bei Berufsgruppen zu finden, die in besonderem Maße den luftgetragenen Partikelbelastungen exponiert sind. Aufgrund der Thematik dieser Arbeit wird im Folgenden der Schwerpunkt auf die Auswirkungen von Feinstaub als Emission bei der Berufsgruppe der Landwirte gelegt. Seit Jahren verzeichnen die betroffenen Berufsgenossenschaften einen Anstieg der Gesundheitsbeschwerden, wobei im Wesentlichen die Atmungsorgane, die Schleimhäute der Augen und die Haut betroffen sind. In Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Betriebsart existieren zahlreiche gas- und staubförmige Schadstoffe, die den Respirationstrakt des Landwirts schädigen können. So führt eine lang andauernde Exposition zur Überlastung oder auch Schädigung der körpereigenen Strukturen, die ihre Schutzfunktionen dann nicht mehr erfüllen können. Beispielsweise kann die Schleimhaut des Atmungsapparates so geschädigt werden, dass es zu einem irreversiblen Verlust der Flimmerhärchen und der schleimproduzierenden Becherzellen kommt und der Abtransport von Schleim und den darin enthaltenen

Partikeln oder gelösten Substanzen erheblich beeinträchtigt wird. Folgen dieser eingeschränkten Lungenclearance können eine erhöhte Neigung gegenüber Infektionen und Entzündungen der oberen Atemwege, Hustenreiz und Entzündungen der Bronchien und des Lungengewebes sowie eine nachteilige Beeinflussung der Lungenfunktion sein.

Typische durch organische Stäube und die länger andauernde Expositionszeit bedingte respiratorische Krankheitsbilder, die 2003 den landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften angezeigt und anerkannt wurden, sind allergische und toxische obstruktive Atemwegserkrankungen sowie exogen allergische Alveolitis (EAA, auch als Farmerlunge bekannt) (vgl. KISTNER, 2005). Weitere Erkrankungen, die im Arbeitsbereich Stall entstehen und sich somit speziell bei Betreuern von Tierhaltungsanlagen entwickeln, sind Asthma, chronische Bronchitis und Allergische Rhinitis. Laut KTBL-Arbeitsgruppe „Biologische Belastungen am Arbeitsplatz Stall“ 2004 mangelt es bei den Tierbetreuern oft an ausreichender Aufklärung über die Gesundheitsrisiken durch die Stallluft, was nicht zuletzt durch eine unzureichende Einschätzung des Gefährdungspotentials der Luft in Tierställen, deren Zusammensetzung erheblich durch eingestallte Tierart, Einstreu und Haltungssystem variieren kann, bedingt ist. Da die Prävalenz der respiratorischen Erkrankungen in der Berufsgruppe der Tierbetreuer hoch ist, besteht hier erheblicher Aufklärungsbedarf hinsichtlich präventiv zu ergreifender Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz Stall einerseits sowie andererseits hinsichtlich der Möglichkeiten der anzuwendenden Emissionsminderungsmaßnahmen für die verschiedenen Tierhaltungssysteme. Letztere würden sich ebenso positiv auf die Tiergesundheit auswirken. Denn die Entwicklung von Atemwegserkrankungen in Abhängigkeit von der Anreicherung der Stallluft mit Gasen, Stäuben und Mikroorganismen ist ebenso bei den in intensiven Masteinrichtungen gehaltenen landwirtschaftlichen Nutztieren bekannt. So fallen im Zusammenhang mit der Fleischbeschau „in Schlachtbetrieben besonders Mastgeflügel und Schweine auf, die trotz ihrer kurzen Lebensspanne bereits schwerwiegende Lungenerkrankungen durchgemacht haben (vgl. HARTUNG, 1994b).

2.2. Umweltrechtliche Regelungen für Feinstaub (PM 10) als Immission

Als Immission werden im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG, § 3, Abs. 2) auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser und die Atmosphäre sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen verstanden. Somit definiert sich die Immission „Feinstaub“ im Sinne des Gesetzes als Luftverunreinigung. Der Feinstaub (PM 10) wird bei Immissionsmessungen als Konzentration, also Masse pro Volumeneinheit Luft, angegeben. Nach aktueller Luftreinhaltepolitik gehört Feinstaub zu den Immissionswerten, die in Belastungsgebieten kontinuierlich erfasst werden müssen. Die Grundlage für die gesetzlichen Regelungen zur Luftreinhaltung bildet die europäische Rahmenrichtlinie Luftqualität 1996/62/EG vom 27. September 1996. In Tochterrichtlinien werden die Maßnahmen zur Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität sowie deren Ziele und Prinzipien konkretisiert, wobei die hier festgelegten Grenzwerte auf Arbeiten der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zur Luftqualität basieren. Die Festlegung von Immissionsgrenzwerten soll eine für das Allgemeinwohl minimale Umweltbelastung sichern.

Mit der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verordnung über Immissionswerte) ist die europäische Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/EG vom 19. Juli 1999 („Neue EU-Richtlinie über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft“) in nationales Recht umgesetzt worden. Die Verordnung legt allgemeine Grenzwerte und die zugehörige Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) (1. BImSchVwV vom 24. Juli 2002) anlagenbezogene Grenzwerte bezüglich partikelförmiger Luftschadstoffe fest. Dabei wurden die bisherigen Grenzwerte für Gesamtschwebstaub (TSP) durch neue Grenzwerte für Feinstaub (PM 10) ersetzt. In der Praxis bedeutet dies, dass, aufgrund der Richtlinie 1996/62/EG über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, seit 1996 eine Mess- und Informationspflicht für Feinstaub besteht.

Artikel 8 der 1. EU-Tochterrichtlinie (1999/30/EG) verlangt zudem seit 1999 die routinemäßige Unterrichtung der Öffentlichkeit. In Deutschland sind die ermittelten tagesaktuellen Daten in Form von Karten mit dazugehörigen Wertetabellen und Ganglinien für jede Messstation für die Komponenten PM 10, Stickstoffdioxid,

Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Ozon über eine Internetplattform des Umweltbundesamtes (http://www.env-it.de/luftdaten/start.fwd) zu beziehen.

Tabelle 1 beinhaltet die ab dem Erlass der Richtlinie 1999/30/EG geltenden Grenzwerte für PM 10 sowie die Toleranzmargen und Zeitpunkte, bis zu denen der jeweilige Grenzwert zu erreichen ist. Seit dem 1. Januar 2005 (Stufe 1) sind als 24-Stunden-Grenzwert 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ und als Jahresgrenzwert 40 $\mu g \cdot m^{-3}$ einzuhalten. Ab dem 1. Januar 2010 gelten die dargestellten verschärften Grenzwerte.

Tabelle 1: Grenzwerte für PM 10 (Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999)

	Mittlungs-Zeitraum	Grenzwert (GW)	Zeitpunkt, bis zu dem der GW zu erreichen ist	Toleranzmarge
Stufe 1				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM 10 dürfen nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden	1. Januar 2005	50 % bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2005
2. Jahres-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM 10	1. Januar 2005	20 % bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate, danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2005
Stufe 2				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM 10 dürfen nicht öfter als 7 mal im Jahr überschritten werden	1. Januar 2010	aus Daten abzuleiten, gleichwertig mit dem Grenzwert der Stufe 1
2. Jahres-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	20 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM 10	1. Januar 2010	50 % am 1. Januar 2005, lineare Reduzierung alle 12 Monate, danach um gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2010

Im Vergleich zu diesen festgesetzten Grenzwerten sind in Tabelle 2 typische Konzentrationsbereiche von PM 10 im Jahr 2001 an deutschen Messstationen aufgeführt. Da PM 10-Konzentrationen stark von der Ausprägung der Umgebung der Messstation abhängig sind, wurden die Messstationen in vier Kategorien mit typischem Hintergrund eingeteilt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Typische Konzentrationsbereiche von PM 10 im Jahr 2001 an deutschen Messstationen (verändert nach KRDL, 2003, 7)

Stationskategorie	„ländlich“	„städtischer Hintergrund“	„verkehrsnah“	„nähere Schwerindustrie“
Jahresmittel PM 10 [$\mu g \cdot m^{-3}$]	10 -18	20 - 30	30 - 45	30 - 40
Anzahl der Tage mit Tagesmittel > 50 $\mu g \cdot m^{-3}$	0 - 5	5 - 20	15 - 100	50 - 90
Spitzenwerte, Tagesmittel [$\mu g \cdot m^{-3}$]	50 - 70	60 - 100	70 - 150	100 - 200

Diese Zusammenstellung zeigt auf, dass sich die Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben in der Praxis in verschiedenen Regionen schwierig gestaltet. Denn trotz eingeleiteter emissionsmindernder Maßnahmen, wie sie beispielsweise im Rahmen des Aktionsplanes (gemäß § 47 Abs. 2 BImSchG) zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in den Städten Hannover, Braunschweig, Osnabrück, Göttingen, Hildesheim und Burgdorf ergriffen wurden, wurden die festgesetzten Jahres-Grenzwerte in diesen Städten an den verkehrsreichen Messstationen schon im ersten Quartal des laufenden Jahres 2006 überschritten.

Ein Maßnahmenkatalog zur Verminderung von Feinstaub, wie ihn die Bundesregierung für die Durchsetzung der 2001 von der EU-Kommission erlassenen Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (2001/81/EG NEC-Richtlinie) für die Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und flüchtige organische Verbindungen vorgelegt hat, gibt es für Feinstaub (PM 10) noch nicht.

2.3. Feinstaub als Emission

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG, §3, Abs. 3) sind Emissionen die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen. Feinstaub zählt im Sinne des Gesetzes zu den Luftverunreinigungen und kann durch verschiedenste Emittenten, natürlichen und anthropogenen Ursprungs, produziert werden. Zu den originär aus der Natur stammenden zählen Aerosole aus Vulkanausbrüchen, Meerwasserspray oder auch Pollen. Anthropogene Quellen für die Feinstaubemissionen bilden Industrie, Haushalte, Verkehr sowie die Landwirtschaft. Hier vor allem emittieren die landwirtschaftlichen Nutztierhaltungen komplex zusammengesetzte Stäube. Laut nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik gilt es die Feinstaubemission aus einer Anlage zu mindern, wobei die Ermittlung von Emissionswerten einer Anlage die Grundlage für Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung darstellt (vgl. TA LUFT, 2002). Außerdem können anhand bekannter Emissionsgrößen einer Anlage mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen Immissionskataster erstellt werden und so Emittenten entsprechend ihrer Quellstärke eingestuft werden.

2.3.1. Emissionen aus der Landwirtschaft

Die Kenntnis der unterschiedlichen Qualitäten der Emissionen und ihren Quellstärken aus den verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsbereichen stellt die Grundlage für die Beurteilung ihrer umwelthygienischen Relevanz und ihrer Risikoabschätzung dar (vgl. SEEDORF, 2003). Um die Problematik der Erfassung und die Beurteilung der Emission „Feinstaub“ im Bereich der Landwirtschaft deutlich zu machen, wird im Folgenden näher auf das Emissionsspektrum aus der Landwirtschaft, insbesondere aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung, eingegangen. Es existieren verschiedene Qualitäten von Emissionen aus den verschiedenen Produktionsbereichen der Landwirtschaft, welche von Lärm, Geruchsstoffen, Gasen bis hin zu Luftverunreinigungen in Form von Staub und Mikroorganismen reichen. Das Verhalten der verschiedenen Emissionen und ihre Wirkung in der Umwelt unterscheiden sich vor allem durch ihre differenzierte physiko-chemikalische Natur. So zählt Lärm zu den als geringer problematisch angesehenen Emissionen z. B. von Intensivtierhaltung, während Geruchsstoffe und Gase vor

allem für Anwohner in unmittelbarer Nähe solcher Anlagen wahrzunehmen sind und oftmals zumindest als störend betrachtet werden. Ein Beispiel erheblicher Beeinflussung der Umwelt durch landwirtschaftliche Emissionen, die von Anwohnern eher kaum zur Kenntnis genommen werden, ist die Eutrophierung der Gewässer, die durch den erhöhten Eintrag von Stickstoff-, Nitrat- und Phosphat-Verbindungen aus Düngung in sensiblen Regionen verursacht wird.

Um die landwirtschaftlichen Feinstaub-Emittenten differenziert zu betrachten, ist eine Gliederung erforderlich. Die wichtigsten Quellen für Feinstaub aus der Landwirtschaft sind in Abbildung 2 zusammengefasst.

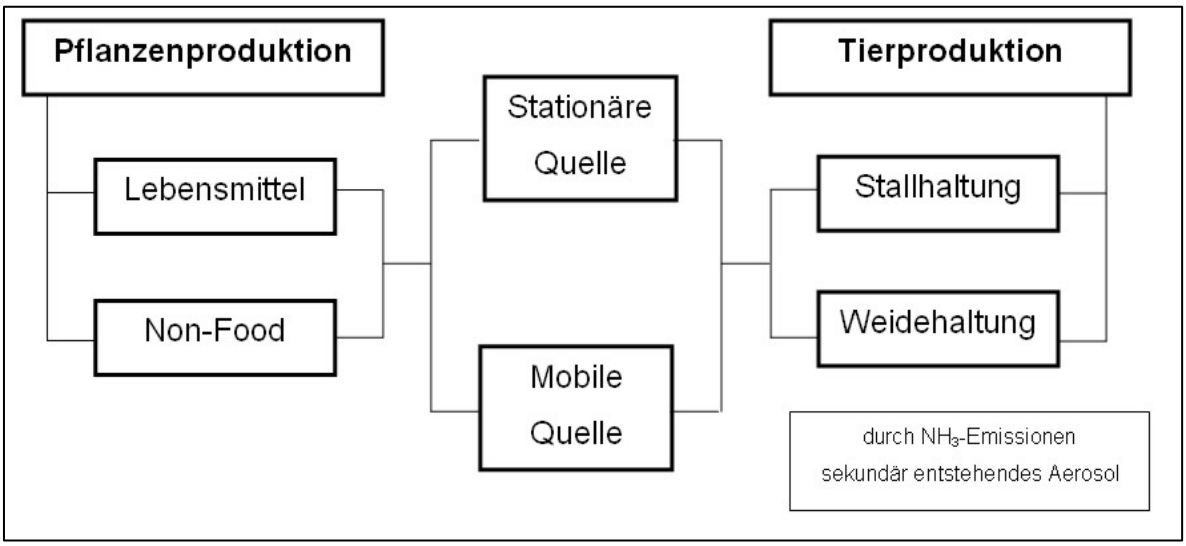

Abbildung 2: Quellen von Feinstaub aus der Landwirtschaft (verändert nach HINZ, 2002, 2)

HINZ (2002) unterscheidet als PM 10-Quellen aus der Landwirtschaft die Bereiche Pflanzenproduktion und Tierproduktion. Die Emissionsquantitäten im Pflanzenbau werden bestimmt durch die unterschiedlichen Vegetationsperioden auf den Feldern sowie die dazugehörigen Pflegemaßnahmen. In der Tierproduktion hingegen hängen die entstehenden Staubmengen vorwiegend von der Tierart, dem Haltungssystem und dem Produktionszyklus ab. Beide Produktionsbereiche zeichnen sich durch unterschiedliche Emissionsqualitäten aus. So besteht beispielsweise üblicher Stallstaub zu etwa 90 % aus organischem Material (vgl. HARTUNG, 2005, 11), während das Aufbringen von Kunstdüngern auf die Ackerflächen eine andere Qualität aufweist. In beiden Bereichen gibt es stationäre und mobile Quellen, wobei erstere ein bleibender Standort wie ein Stallgebäude, eine Lagerstätte für Gülle oder Futter

sein kann. Ein auf die Felder Kunstdünger verteilender Traktor stellt dagegen eine bewegliche Quelle für Feinstaub dar. Im Gegensatz zu weiten Teilen der Industrie entstehen Emissionen aus der Landwirtschaft vorwiegend diskontinuierlich zu verschiedenen Tages- oder auch Jahreszeiten. Auch die Quellstärken können erheblich variieren. Ein weiteres Problem gegenüber industriellen Emissionen ist, dass die Entstehung und Ausbreitung der Emissionen je nach Charakterisierung des Produktionsbereichs wenig kontrollierbar sind, wie es z. B. bei einem Fabrikschornstein durch eine Abluftfilteranlage der Fall ist. Bei der Betrachtung landwirtschaftlicher Emissionen sind zudem sekundäre Aerosole von Bedeutung, deren Partikel sich aus den NH_3-Emissionen der Tierproduktion entwickeln.

2.3.2. Staubemission aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung

Im Weiteren sei das Hauptaugenmerk auf die Staubemissionen, insbesondere Feinstaub (PM 10) aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung, gelegt. Der Feinstaub aus Tierhaltungen ist ein Komponentengemisch, welches sich aus inerten und biogenen Partikeln zusammensetzt, wobei es durch einen hohen Anteil an organischem Material charakterisiert ist. Die enthaltenen organischen Partikel sind verschiedenartigsten Ursprungs. Es handelt sich z. B. um Fragmente von Haaren, Hautschuppen, Federn oder Ausscheidungsprodukte der Tiere oder sie entstammen der Einstreu sowie dem Futter. Neben der veränderlichen Zusammensetzung des Feinstaubs aus Tierställen sind auch die Emissionskonzentrationen aus den Nutztierhaltungsanlagen höchst variabel. Ursachen liegen in der gehaltenen Tierart, dem Haltungssystem, dem Alter der Tiere (Lebenszyklus), der Aktivität der Tiere in Abhängigkeit von Tages- oder Jahreszeit, der Einstreu, der Fütterung und der daraus resultierenden Beschaffenheit der Feinstäube. Daneben haben stallinterne Klimaparameter wie auch äußere Witterungseinflüsse z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftbewegungen (vgl. SEEDORF, 2004) Einfluss auf die Bildung von Staubemissionen.

Bedeutsam für die Quellstärke eines Standorts sind zunehmend die Spezialisierung auf bestimmte Tierarten sowie der Grad der Intensivierung der modernen Nutztierhaltung. So stellt die punktuelle Steigerung der Quellstärke durch die ansteigende regionale Konzentrierung der Tierproduktionsstätten bei gleichzeitiger Intensivierung in Deutschland ein immer größer werdendes Problem dar. Die Tendenz zur Erhö-

hung der Tierdichte ist vor allem in der Geflügelindustrie zu verzeichnen, wobei die Tierzahlen pro Betriebseinheit heute meist bei über 20.000 Tieren liegen. Bezüglich der Quellstärken von Stäuben aus Nutztierhaltungsanlagen gibt es bisher nur eine geringe Anzahl von Feld-Messungen. Bekannt ist, dass Geflügelställe im Vergleich zu Haltungsanlagen anderer Nutztiere im Stall-inneren die höchsten Staubkonzentrationen aufweisen. Dies wird auch im nachfolgenden Überblick über die bisherigen Untersuchungen zu Staubgehalten in Tierställen, die sich hauptsächlich auf die Erfassung der einatembaren Staubfraktion sowie des alveolengängigen Staubs beziehen, deutlich. Diese Daten werden durch die bei neueren Untersuchungen in Tierställen berücksichtigten Messungen der Feinstaub-Komponente (PM 10) ergänzt. Allerdings liegen bisher nur wenige Daten zu PM 10 in Tierställen vor und die Unterschiede zwischen den einzelnen Studien sind beträchtlich (vgl. BERRY et al., 2005). Auch die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten PM 10-Konzentrationen können nur als orientierende Werte betrachtet werden.

Tabelle 3 stellt bekannte stallinterne Staubkonzentrationen für verschiedene Tierarten bzw. Haltungssysteme dar. Die aufgeführten Werte wurden von SEEDORF und HARTUNG (2002) aus 23 verschiedenen Quellen zusammengetragen, wobei hier nur die Unterscheidungsmerkmale inhalierbarer (ID) und alveolengängiger Staub (RD) angeführt wurden. Auffallend sind die großen Unterschiede der Staubkonzentrationen zwischen den verschiedenen Tierställen bzw. Tierhaltungsformen, welche die Abhängigkeit der Staubentstehung von der Tierart selbst und deren Haltungssystem (Einstreu und Fütterung) verdeutlicht.

Tabelle 3: Einschätzung stallinterner Staubkonzentrationen verschiedener Tierarten und Haltungssysteme (SEEDORF UND HARTUNG, 2002, 72)

Tierart / Haltungssystem		Staubkonzentration [mg•m^{-3}]
Schweine		3 – 22
Milchviehhaltung		bis 0,6
Geflügel	Legehennen im Käfig	1 – 5
	Puten in Bodenhaltung	4 – 21
	Broiler	bis 6,2

Angemerkt sei hier, dass sich aus den Angaben von Staubkonzentrationen aus obiger Zusammenstellung neben der geringen Datenmenge für verschiedene Haltungssysteme bzw. Staubfraktionen noch ein weiteres Problem ergibt. „In zahlreichen Veröffentlichungen werden verschiedene Bezeichnungen und speziell die Begriffe „inhalable, Feinstaub, alveolengängiger Staub, respirable“ parallel verwendet, wobei jedoch nicht genau angegeben wird für welche Größenfraktion (PM 100, PM 10, PM 5, PM 4, PM 2,5) die Messungen durchgeführt wurden bzw. welche Begriffsdefinition (alt oder neu) zugrunde liegt“ (HARTUNG E., 2005, 78). Weiter findet man bei SEEDORF und HARTUNG (2002) detailliertere Angaben zu Maximalgehalten für inhalierbaren (ID) und alveolengängigen Staub (RD) in den Stallungen der unterschiedlichen Nutztierarten, wie sie in Tabelle 4 dargestellt sind.

Tabelle 4: Maximalgehalte einatembaren Staubs (ID) und alveolengängigen Staubs (RD) in Stallungen unterschiedlicher Tierarten (SEEDORF und HARTUNG, 2002, 72)

Tierart	ID_{max} [mg•m^{-3}]	RD_{max} [mg•m^{-3}]
Schweine	14,05	0,71
Rinder	2,81	0,24
Geflügel	36,6	1,13

Die von SEEDORF und HARTUNG (2002) aus den zahlreichen Quellen ermittelten Medianwerte der inhalierbaren Fraktion lagen im Geflügelsektor mit 2,45 mg•m^{-3} am höchsten, gefolgt von 2,08 mg•m^{-3} in der Schweinehaltung und 0,66 mg•m^{-3} in der Rinderhaltung. Dieser Trend zeigt sich auch bei den Ergebnissen einer Feldstudie von TAKAI et al. (1998) zu Staubemissionen aus Tierhaltungsbetrieben in vier nordeuropäischen Ländern. Betriebe mit Geflügel wiesen deutlich höhere Werte bei beiden Staubfraktionen auf. Der mittlere Anteil an inhalierbarem Staub (ID) lag nach der nordeuropäischen Studie bei Haltungsanlagen mit Geflügel bei 3,6 mg•m^{-3} und der der alveolengängigen Fraktion (RD) bei 0,45 mg•m^{-3}. Schweineställe wiesen ID-Werte von 2,19 mg•m^{-3} bzw. RD-Werte von 0,23 mg•m^{-3} auf. Im Gegensatz dazu fanden sich deutlich geringere Staubkonzentrationen in Rinderbeständen. Hier lagen die Konzentrationen von einatembarem Staub (ID) bei 0,38 mg•m^{-3} bzw. alveolengängiger Staub (RD) bei 0,07 mg•m^{-3}.

Tabelle 5 zeigt jüngste Ergebnisse von SCHNEIDER et al. (2006) von PM 100 (ID) und PM 10 aus frei gelüfteten Ställen. In dieser Studie ist die alveolengängige Fraktion explizit als PM 10 bestimmt worden. Direkte Vergleiche mit oben aufgeführten Werten sind aufgrund unterschiedlicher Definition der alveolengängigen Fraktion in den verschiedenen Studien nicht möglich. Die erhobenen Werte bei den Mastputen sollen später mit den Ergebnissen dieser Arbeit verglichen werden.

Tabelle 5: Mittlere Staub- und Partikelemissionen und deren Standardabweichung aus kontinuierlichen 24-Stunden-Messungen (verändert nach SCHNEIDER et al., 2006, 152)

Tierart / Haltungssystem		PM 100 (ID) [mg•m^{-3}]	PM 10 [mg•m^{-3}]
Mastschweine		0,79 ± 0,59	0,27 ± 0,26
Milchvieh		0,28 ± 0,43	0,20 ± 0,32
Geflügel	Legehennen	1,57 ± 1,28	0,79 ± 0,73
	Mastputen	0,59 ± 0,33	0,40 ± 0,18

In Ergänzung zu den Staubkonzentrationen soll in Tabelle 6 ein Überblick über die Gehalte an Endotoxinen, im Speziellen in Geflügelställen, gegeben werden.

Tabelle 6: Inhalierbare und aleveolengängige Endotoxine in Stallungen unterschiedlicher Tierarten (verändert nach SEEDORF und HARTUNG, 2002, 75)

Tierart	inhalierbare Endotoxine (Median) [EU•m^{-3}]	alveolengängige Endotoxine (Median) [EU•m^{-3}]	inhalierbare Endotoxine (Maximum) [EU•m^{-3}]	alveolengängige Endotoxine (Maximum) [EU•m^{-3}]
Schweine	525	55	937500	20750
Rinder	85	2,5	6787	1450
Geflügel	945	125	117712	6462

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Endotoxinen für den Menschen sind Gegenstand aktueller Forschungen. Die Neufassung der TA Luft von 2002 fordert schon eine Reduktion nach dem Stand der Technik für die Emissionen Endotoxine

und Keime aus Tierhaltungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher als Begleitmessung die Bestimmung der Aktivitäten von Endotoxinen beider Staubfraktionen mit aufgenommen.

2.3.3. Aktuelle Gesetzeslage zur Bewertung von Staubemissionen aus Tierhaltungsanlagen

Die umweltrechtliche Bewertung von Feinstaubemissionen aus der Nutztierhaltung beruht auf der Bewertung der Tierhaltungsanlage als Emittent selbst. Denn diese Anlagen dürfen nur dann errichtet werden, wenn sie den Anforderungen des Immissions- und Naturschutzes entsprechen. Zusätzlich zur Betrachtung der Tierhaltung als „Anlage“ wird der Tierstall als Arbeitsplatz bezüglich rechtlicher Regelungen beleuchtet sowie als Lebensraum in Bezug auf die Tiergesundheit dargestellt.

2.3.3.1. Umweltrechtliche Regelungen zum Anlagenbetrieb in der Nutztierhaltung

Das BImSchG fordert, dass Betriebe so zu errichten sind, dass von ihnen keine schädlichen Umwelteinwirkungen (BImSchG, § 3 Abs. 1) verursacht werden und nach dem Vorsorgeprinzip entsprechend gegen das Entstehen von Immissionen sowie gegen erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft Vorsorge getroffen wird. Grundlegende Vorgaben für genehmigungspflichtige Anlagen, denen der Gesetzgeber ein gewisses Gefährdungspotential hinsichtlich schädlicher Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen unterstellt, enthalten das BImSchG sowie seine zugehörigen Verordnungen. Mit dem am 27. Juli 2001 beschlossenen Artikelgesetz zur Umsetzung der IVU-Richtlinie, der UVP-Richtlinie und weiterer EU-Richtlinien zum Schutz der Umwelt sind auch Anlagen aus den Produktionsbereichen Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel sowie landwirtschaftliche Erzeugnisse nach §§ 4, 16 BImSchG der zuständigen Überwachungsbehörde anzuzeigen. So unterliegt der Neubau oder auch die bauliche Veränderung von Tierhaltungsanlagen ab einer bestimmten Anlagenkapazität Genehmigungsverfahren, deren Grundlage die Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum BImSchG (1. BImSchVwV vom 24. Juli 2002, TA Luft) ist. Dabei dient diese auch als TA Luft (2002) bekannte Verwaltungsvorschrift den

Verwaltungsbehörden der Länder als verbindliche Regelung, die die Schutz- und Vorsorgeanforderungen des BImSchG (§ 5 BImSchG) sowie oben genannte Richtlinien der EU wie beispielsweise die Richtlinien zur Luftqualität und die IVU-Richtlinie in nationales Recht umsetzt. Nach der TA Luft werden Anträge auf Genehmigungspflicht bzw. -bedürftigkeit überprüft. Durch entsprechende Änderungen im Immissionsschutzrecht und das Artikelgesetz zählen neben Ställen auch Nebeneinrichtungen eines landwirtschaftlichen Betriebes, wie z. B. Lager für Futtermittel, Fütterungseinrichtungen und Entmistungssysteme zur Anlage, die der Neufassung der TA Luft unterliegen. Dabei richtet sich die Einordnung als genehmigungspflichtiger Betrieb als Neu- wie auch als Altanlage nach der Vierten Verordnung zur Durchführung des BImSchG (4. BImSchV) nach der Tierplatzzahl im Bezug zur landwirtschaftlich genutzten Fläche bzw. der Anzahl an Großvieheinheiten (GVE) pro Betrieb bzw. GVE pro Hektar. Eine Großvieheinheit entspricht dabei etwa 500 kg Lebendgewicht, so dass eine Kuh oder ein Pferd eine GVE darstellen. Bei Erreichen der in Tabelle 7 aufgeführten Schwellenwerte aus dem Anhang Nr. 7 der 4. BImSchV, also entsprechender Tierplatzzahlen bzw. Anlagengrößen unabhängig von der Tierart und der Nutzungseinrichtung, ist nach BImSchG (§§ 6, 16) ein Genehmigungsverfahren durchzuführen.

Tabelle 7: Genehmigungsrelevante Anlagekapazitäten (Anzahl der Tierplätze) für Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Geflügel oder Pelztieren oder zum Halten oder zur getrennten Aufzucht von Rindern oder Schweinen (4. BImSchV, Anhang, Nr. 7.1 sowie UVPG, Anlage 1, Nr. 7.1 bis 7.12)

Art der Anlage	4. BImSchV, Anhang, Nr. 7.1			UVPG, Anlage 1, Nr. 7.1 bis 7.12		
	Spalte 1 [Plätze]	**Spalte 2a [Plätze]**	**Spalte 2b**	**Spalte 1 [Plätze]**	**Spalte 2 Vorprüfungen im Einzelfall Standortbezogen**	**allgemein**
Mastschweine (≥30 kg)	**2.000**	**1.500**	Anlagen zum Halten o. zur Aufzucht von Nutztieren mit Plätzen ≥50 GV und ≥2 GV/ha der vom Inhaber der Anlage regelmäßig landwirtschaftlich genutzten Fläche oder ohne LW	**2.000**	**1.500**	Anlagen zum Halten o. zur Aufzucht von Nutztieren mit Plätzen ≥50 GV und ≥2 GV/ha der vom Inhaber der Anlage regelmäßig landwirtschaftlich genutzten Fläche oder ohne LW
Sauen (inkl. Ferkel <30 kg)	**750**	**560**		**750**	**560**	
Ferkel (Aufzucht 10–30 kg)	**6.000**	**4.500**		**6.000**	**4.500**	
Hennen	**20.000**	**15.000**		**42.000**	**15.000**	
Junghennen	**40.000**	**30.000**		**84.000**	**30.000**	
Mastgeflügel	**40.000**	**30.000**		**84.000**	**30.000**	
Truthühner	**20.000**	**15.000**		**42.000**	**15.000**	
Rind	**350**	**250**		**350**	**250**	
Kälber	**1.000**	**300**		**1.000**	**300**	
Pelztiere	**1.000**	**750**		**1.000**	**750**	

Außerdem kann nach den Vorgaben des UVPG eine Vorprüfung zusätzlich eine Umweltverträglichkeitsprüfung verlangt werden (UVPG Ziffer 7.1 bis 7.12). Die 4. BImSchV § 2 ordnet die verschiedenen Anlagekapazitäten (Spalten 1, 2a und 2b) entsprechenden Verfahrensarten der Genehmigung zu.

Für andere Anlagen, die nicht der Genehmigungspflicht nach TA Luft (2002) unterliegen, genügt ein Baugenehmigungsvorhaben, in dem die immissionsrechtlichen Anforderungen überprüft werden. Allerdings ist nach § 22 BImSchG der Geltungsbereich der Neufassung der TA Luft 2002 auch auf diese immissionschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen ausgeweitet. So sollten die Erkenntnisse und Grundsätze zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen sowie die technischen Anforderungen der TA Luft zur Emissionsminderung, insbesondere unter dem Aspekt des Vorsorgeprinzips, berücksichtigt werden, wobei der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit gewahrt bleiben soll. Für die nicht genehmigungspflichtigen Tierhaltungsanlagen gelten Sonderregelungen, die in VDI-Richtlinien für ausgewählte Nutztierarten festgehalten sind. Eine Darstellung entsprechender Minderungsmaßnahmen beinhalten die VDI-Richtlinien „Emissionsminderung Tierhaltung“ für Schweine- und Hühnerhaltung (VDI 3471 (1986) bzw. VDI 3472 (1986)) sowie die Entwürfe VDI 3473 „Rinder“ und VDI 3474 „alle Tierarten“ .

Für einen nachhaltigen Anlagenbetrieb sind die einerseits aus dem Immissionsteil der TA Luft stammenden Vorschriften zum Schutz der Nachbarschaft und der Umwelt vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu berücksichtigen, andererseits die im Emissionsteil beschriebenen baulichen und betrieblichen Anforderungen, wie auch die Grenzwerte für die Emissionen verschiedener Schadstoffe zu beachten. Wobei sich seit der Neufassung der TA Luft im Jahr 2002 für Genehmigungsverfahren von Tierhaltungsanlagen in der Praxis Probleme vor allem bei der Einhaltung der Anforderungen im Immissionsteil ergeben. Schwerpunkt vor der Neufassung der TA Luft bildeten die gasförmigen Emissionen bzw. Geruchsemissionen aus den Ställen und den dazugehörigen Nebeneinrichtungen wie Fest-, Flüssigmist- sowie Silagelagerung. So wurden für die Mindestabstandregelungen neu errichteter Tierhaltungsanlagen zu bebauten Wohngebieten diese Emissionen herangezogen. Zur Reduzierung von Ammoniak existiert daher bereits ein Maßnahmenkatalog mit „Regeln zur Guten fachlichen Praxis der Ammoniak-Emissionsminderung in der Landwirtschaft“. Seit der Neufassung erstrecken sich die Bestimmungen zu den Immissionen im Rahmen

eines Genehmigungsverfahrens von Tierhaltungsanlagen auf Geruchsimmissionen und Umwelteinwirkungen der bedeutenden landwirtschaftlichen Einträge von Ammoniak und Stickstoff sowie den bisher weniger beachteten Schwebstaub (Anmerkung: der Begriff Schwebstaub wird in der TA Luft synonym für PM 10 verwendet).

Da die Grenzwerte für PM 10 gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie1999/30/EG eingehalten werden sollen, sind die Behörden hinsichtlich der Schwebstaubimmission zur Überprüfung der Notwendigkeit der Ermittlung von Immissionen verpflichtet (Prüfung der Ermittlungspflicht Nr. 4.1 TA Luft 2002), unabhängig davon, ob es sich um eine nicht genehmigungsbedürftige oder nach TA Luft genehmigungsbedürftige Anlage handelt. Das heißt in Zahlen, dass die Gesamtbelastung für PM 10 (Schwebstaub) von 40 $\mu g \cdot m^{-3}$ als Jahresmittelwert und 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ als Tagesmittelwert eingehalten werden muss (siehe Tabelle 2), wobei letzterer an höchstens 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf.

Derzeit bereitet bei der Prüfung der Ermittlungspflicht die Einschätzung der PM 10-Konzentrationen aus Tierhaltungsanlagen noch Probleme, da bisher nur wenige Erhebungen der PM 10-Emissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungen existieren, die zumeist noch aus Feldmessungen stammen und keiner standardisierten Messmethodik folgten (vgl. BERRY et al., 2005, NESER, 2006, SCHNEIDER et al., 2006). Um den relevanten Anteil an PM 10 aus einer Tierhaltungsanlage zu berücksichtigen werden derzeit häufig Konvertierungsfaktoren eingesetzt, mit denen eine Abschätzung des PM 10-Anteils am Gesamtstaub möglich ist (vgl. NESER, 2006). Überschreitet eine Tierhaltungsanlage den so genannten Bagatellmassenstrom für Staub bei einer geführten Abluftquelle von 1 kg/h (Quellhöhe mindestens 10 m über Flur und 3 m über Dachfirst nach TA Luft Nr. 5.5.2) oder bei diffusen Quellen, zu denen die frei gelüfteten Ställe zählen, mit 0,1 kg/h, so sind Messungen der Vorbelastung über ein Jahr an zwei Punkten und eine Prognose der Zusatzbelastung mit Ausbreitungsrechnung nach TA Luft 2002 notwendig. Allerdings ist eine weiterführende Ermittlung der Vorbelastung nach der Rundungsregel der Nr. 2.9 der TA Luft erst bei Überschreiten von 1,49 kg/h bzw. 0,149 kg/h notwendig. Mit den derzeit verfügbaren Daten würden nach NESER (2006) Tierhaltungsanlagen, mit Bestandsgrößen von 2159 Mastschweinen oder 367 Milchkühen im Laufstall zu Überschreitungen von 1 kg/h führen. An dieser Stelle sei nochmals auf die Problematik der verschiedenen Datengrundlagen bezüglich PM 10 hinge-

wiesen. In Tabelle 8 sind die ermittelten Staubemissionen verschiedener Anlagen nach SEDLMAIER (2003) dargestellt, die von oben genannten Tierzahlen abweichen. Dies ist ein weiteres Beispiel, dass für eine korrekte Umsetzung der TA-Luft 2002 dringend weitere Daten und standardisierte Verfahren und Messtechnik im Bereich der Stauberfassung erforderlich sind.

Tabelle 8: Tierzahl, ab der der Bagatellmassenstrom von 0,149 (1,49) kg/h erreicht wird (verändert nach SEDLMAIER, 2003)

Tierart	Tierplätze	Großvieheinheit		
		Umrechnungsfaktor GV/Tier	errechnete GV-Zahl	verwendeter Emissionsfaktor* [mg/GV•h]
Rinder	856 (8563)	1,2	1028	145
Schweine	1504 (15041)	0,13	195	762
Hennen	13846 (138463)	0,0034	47	3165

*UBA-Texte 75/02 – Beste verfügbare Technik in der Intensivhaltung

Obwohl viele Haltungssysteme als frei gelüftete Systeme zu den diffusen Quellen zählen, die entgegen den Industrieanlagen mit hohen Schornsteinen bodennah emittieren und im Nahbereich zu erheblich höheren Belastungen führen, leisten die vorgenannten Anlagen nach bisheriger Datengrundlage keinen relevanten Beitrag zum Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen. Geflügelhaltungen gelten jedoch insbesondere bei entsprechenden meteorologischen Verhältnissen als Ausnahmen. Allerdings sind geringste nicht schädliche Umwelteinwirkungen entsprechend dem Verdünnungseffekt zu erwarten, wenn die Mindestabstände für Geruch (TA Luft Nr. 5.4.7.1) eingehalten werden (vgl. SEDLMAIER, 2003, GRIMM 2003). Ein weiterer Grund für eine geringe Gesamtbelastung ist im Allgemeinen durch die geringe Vorbelastung bzw. Hintergrundkonzentration von PM 10 in ländlichen Regionen mit 10 - 18 $\mu g \cdot m^{-3}$ (vgl. KRDL, 2003, 7) bedingt, wobei hier regional sehr unterschiedliche Jahresmittelwerte erreicht werden können. Allerdings muss ohne genaue Ermittlung der Höhe der Schwebstaubemissionen aus den Anlagen die bisherige Beurteilung PM 10 aus Tierställen aufgrund fehlender repräsentativer Daten als unzureichend bewertet werden. Hinzu kommt, dass auch

die Verfrachtungsentfernung der Stallemissionen von zahlreichen Faktoren abhängig ist und regional sehr unterschiedlich durch Emissionsbedingungen (z. B. betriebliche Einrichtungen wie Lüftungssystem oder Abluftgeschwindigkeit) und Ausbreitungsbedingungen (z. B. Windgeschwindigkeit und -richtung) sein kann. Auch ist es schwierig eine Zusatzbelastung durch die entstehende Anlage zu prognostizieren, da die zur Verfügung stehenden Ausbreitungsmodelle der TA Luft oft nicht hinreichend differenzieren (vgl. GRIMM 2003, NESER, 2006). Ein weiteres Problem besteht bei der Ermittlungspflicht von PM 10. Ist die Bestimmung der Immissionskenngröße aufgrund mehrerer diffuser Quellen am Ort oder ungünstiger topographischer wie auch meteorologischer Verhältnisse notwendig, belaufen sich nach GRIMM (2003) die anfallenden Kosten für die Ermittlung der Vorbelastung an ein bis zwei Punkten für ein halbes bis ein Jahr sowie der Zusatzbelastung mit einer Ausbreitungsrechnung auf 25.000 bis 50.000 €. Aus Genanntem wird die Dringlichkeit der Grundlagenforschung bezüglich geeigneter Messverfahren zur Erfassung und Analyse der Emissionen in der Stallluft noch einmal verdeutlicht.

Regelungen zu den Emissionen aus Tierhaltungsanlagen sind im zweiten Teil der TA Luft 2002 aufgeführt. Hier sind auch die für die landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen anzuwendenden Grenzwerte zu Ammoniak- und Staubemissionen zu finden. Für den Gesamtstaub sind Werte von 0,2 kg/h bzw. 20 $mg \cdot m^{-3}$ vorgegeben. Die Mindestabstandregelung einer Anlage zur bebauten Wohnfläche basiert auch in der Neufassung der TA Luft 2002 noch auf geruchlichen Emissionen und wird durch die noch gültigen VDI Richtlinien „Emissionsminderung Tierhaltung“ VDI 3471 und VDI 3472 für Schweine- und Hühnerhaltung ergänzt.
Minderungsmaßnahmen für Emissionen aus Tierhaltungsanlagen sind in Nr. 5.4.7.1. der TA Luft 2002 dargestellt und entsprechend nach dem Stand der Technik umzusetzen. Außerdem verlangt die TA Luft im Sinne des Vorsorgeprinzips und aufgrund der wachsenden Besorgnis der Bevölkerung vor Gesundheitsbeeinträchtigungen eine Reduktion der Emissionen von Keimen und Endotoxinen nach dem Stand der Technik (Nr. 5.4.7.1. TA Luft). Allerdings ist der derzeitige Kenntnisstand für die Beurteilung dieser Stallluftkomponenten und ihrer even-tuellen umweltrelevanten Effekte immer noch ungenügend (vgl. SEEDORF und HARTUNG, 2002, GRIMM 2003, SEEDORF 2006).

2.3.3.2. Arbeitsschutzrechtliche Grundlagen für Staubemissionen am Arbeitsplatz Stall

Im Bereich des Arbeitsschutzes gelten für Stäube ab dem 1. Januar 2005 die neu etablierten Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) der Gefahrstoffverordnung vom 23. Dezember 2004 (GefStoffV). Grund hierfür ist die Aufnahme der beiden Staubfraktionen, einatembarer Staub (E-Staub) und alveolengängiger Staub (A-Staub), in die Liste der Gefahrstoffe (Anhang V Nr. 1 GefStoffV). Nach GefStoffV (§3, Abs. 6) ist der „Arbeitsplatzgrenzwert der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum“. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. Arbeitsplatzgrenzwerte sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition an fünf Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit. Die bisher auf unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben basierende Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) und Technische Richtkonzentration (TRK) werden durch die AGW als neue Luftgrenzwerte am Arbeitsplatz ersetzt. Die AGW entsprechen in ihrer Grenzwertdefinition den ehemals von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) empfohlenen gesundheitbasierenden MAK-Werten. Im Unterschied zu den technikbasierenden TRK-Werten ist der AGW ein Grenzwert, bei dessen Einhaltung nicht mit schädlichen Auswirkung auf die menschliche Gesundheit zu rechnen ist.

Der AGW, der messtechnisch nach DIN EN 481, Ausgabe 1993-09 „Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“ erfassten einatembaren Staubfraktion (E-Staub) beträgt laut Technischer Regeln für Gefahrstoffe 900 (TRGS 900) „Arbeitsplatzgrenzwerte“ 10 $mg \cdot m^{-3}$ und der AGW des alveolengängigen Staubs (A-Staub) 3 $mg \cdot m^{-3}$. Diese Grenzwerte gelten für unlösliche Stäube ohne spezifische Wirkung auf die Atmungsorgane, Mischstäube und Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind, wie z. B. Faser-, Holz- und Mehlstaub. Für lösliche und toxische Stäube sowie Lackaerosole gelten spezifische Stoffgrenzwerte der TRGS 900.

Bisher gibt es keine speziellen berufsbezogenen Staubgrenzwerte für den Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, die auch die Qualität der Stäube im Sinne eines biologischen Grenzwertes berücksichtigen. Für den Arbeitsplatz Stall mit

„Tätigkeiten mit Exposition gegenüber allen alveolengängigen und einatembaren Stäuben“ gelten daher die Anmerkungen der GefStoffV Anhang III Nr. 2 (Partikelförmige Gefahrstoffe). Entsprechend Nr. 2.3 Abs. 2 gilt: Bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber einatembaren Stäuben, für die kein stoffbezogener Arbeitsplatzgrenzwert festgelegt ist, sind die Schutzmaßnahmen entsprechend der Gefährdungsbeurteilung so festzulegen, dass mindestens die Arbeitsplatzgrenzwerte für den einatembaren Staubanteil und für den alveolengängigen Staubanteil eingehalten werden. Außerdem findet man für verwandte Tätigkeitsbereiche, die laut neuer GefStoffV eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung verlangen, in Anhang V Nr. 2 GefStoffV (Liste der Tätigkeiten) unter Nr. 3 „Tätigkeiten mit Belastung durch Getreide- und Futtermittelstäube bei Überschreitung einer Luftkonzentration von 4 Milligramm pro Kubikmeter einatembarem Staub“, sowie Nr. 5 „Tätigkeiten mit Belastung durch Labortierstaub in Tierhaltungsräumen und -anlagen“.

Durch umfangreiche arbeitsmedizinische Untersuchungen sowie durch Statistiken der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften bestätigt, propagieren Fachleute der betroffenen Bereiche auch für den Arbeitsplatz Stall die von der novellierten GefStoffV verlangten Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung des Arbeitsplatzes (3. Abschnitt § 7). Diese nach dem neuen Schutzstufenkonzept (§§ 8 bis 11 GefStoffV) erfolgende Beurteilung kann aber nur auf Basis einer ausreichenden Gefährdungsermittlung erfolgen, die unbedingt Informationen über Arbeitsbedingungen, Exposition sowie Einsatz und Wirkung von Schutzmaßnahmen benötigt. Gerade aufgrund der vielfältigen Faktoren, die die Staubentwicklung im Stall bedingen wie beispielsweise Tierart, Haltungssystem oder Fütterung fordert dieser Arbeitsplatz insbesondere eine intensivere Aufklärung der Tierbetreuer über persönliche Schutzmaßnahmen, wie das Tragen von Masken während staubentwickelnder Arbeiten sowie den Einsatz dem Stand der Technik entsprechender spezifischer Möglichkeiten zur Staubvermeidung im Stall. Konkrete Maßnahmen hierzu können bei unterschiedlichen Tierarten und Haltungsformen sehr verschieden ausfallen. Angewandte Methoden sind beispielsweise das Ersetzen von mehligem durch pelletiertes Futter, der Einsatz einer eiweißreduzierten Phasen-Fütterung in der Schweinehaltung oder bedarfsangepasste Fütterung in der Geflügelmast sowie das Versprühen von Wasser im Stall, um den Staub von Tieren und Einstreu zu binden oder der Einsatz von Abluftreinigungssystemen.

Für eine Emissionsminderung gilt es vorrangig präventive Maßnahmen zur Staubvermeidung einzusetzen. Dies betrifft auch die Tiergesundheit, denn persönliche Schutzmaßnahmen bleiben auf den Menschen beschränkt. Anzumerken bleibt hier, dass bisher keine Grenzwerte existieren, die den Aspekt der Tiergesundheit im Lebensraum Stall berücksichtigen (vgl. SEEDORF und HARTUNG, 2002). Für die Erstellung solcher tierbezogenen Grenzwerte müssten anders als bei den arbeitsmedizinischen Erhebungen für die Festlegung eines AGW während eines Acht-Stunden-Arbeitstages und einer Fünf-Tage-Woche erhobenen Arbeitsplatzgrenzwerte unbedingt die langen Expositionszeiten der Tiere in der Stallatmosphäre von 24 Stunden pro Tag sowie auch die unterschiedliche Einatemhöhe der Tiere berücksichtigt werden.

Dieser Abriss zeigte nochmals den Bedarf zur Förderung der Forschung im Bezug auf emissionsarme und ebenso hinsichtlich menschlicher Gesundheit wie auch Tiergesundheit verträgliche Haltungssysteme. Hierfür ist eine kommunikationsreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit beteiligter Fachbereiche von Nöten.

3. Feinstaubanalyse in der Nutztierhaltung – ein Überblick

Zur Feinstaubanalyse im Allgemeinen kann der Untersucher in Abhängigkeit vom Untersuchungsziel auf verschiedene Messmethoden zurückgreifen. Entscheidende Kriterien für die Wahl eines geeigneten Verfahrens sind die Art der Bestimmung, Emission oder Immission, Kurz- oder Langzeitmessungen, Quellkonfiguration (punktförmige oder diffuse Quellen), größenselektierte Erfassung oder Massenbestimmung. Im Folgenden soll ein Überblick über die im landwirtschaftlichen Bereich eingesetzte Messtechnik für Staubkomponenten, insbesondere Feinstaub, gegeben werden. Daneben werden die bestehenden Probleme bei der Erfassung des Feinstaubs aus Tierställen beleuchtet, aufgrund derer bisher die umwelthygienische Relevanz dieser Tierstallemissionen nur unzureichend beurteilt werden konnte. Es werden die für diese Arbeit ausgewählte Messtechnik sowie die Wahl des Messstandortes vorgestellt.

3.1. Messmethodik und Messtechnik

Die zur Feinstaubanalyse eingesetzten Messtechniken basieren auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien, wie z. B. der Ausnutzung der Schwerkraft oder dem Einsatz optischer Messverfahren sowie verschiedenen Sammelverfahren, die kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Entsprechend dem darzustellenden Messparameter kann innerhalb einer umfangreichen Messmethodik ausgewählt werden. Die zu erhebenden Messparameter können Partikelmassenkonzentration, Partikelgröße, Partikelzahlkonzentration, Partikelgrößenverteilung oder die Partikelbeladung, die Kenntnis über die chemische Zusammensetzung liefert, sein. Eine Zusammenfassung der Messtechnik mit den Mess- und Analysemethoden für verschiedene Messparameter, die für die Feinstaubanalyse in landwirtschaftlich geprägter Umwelt bisher von Bedeutung sind, stellt Tabelle 9 dar. Neben den dort aufgelisteten Messtechniken gibt es noch solche, die die Schwerkraft der Partikel nutzen und die somit passiv diskontinuierlich Staub erfassen können. Zur Erfassung der Feinstaub-Komponente sind diese Sedimentationsverfahren aufgrund ihrer mangelnden Größenselektivität weniger geeignet. Da die Partikelbeladung bzw. die chemische Zusammensetzung von Feinstaub in dieser Arbeit nicht näher

beleuchtet wird, sollen hier nur beispielhaft eingesetzte chemische Analysemethoden wie massenspektrometrische oder spezialisierte röntgentechnologische Verfahren erwähnt werden.

Tabelle 9: Messtechnik sowie ihre Mess- und Analysemethode zur Erfassung unterschiedlicher Parameter in der Feinstaubanalyse

Messtechnik	Mess-methode	Analyse-methode	Parameter
Filtration	diskontinuierlich	gravimetrisch	• Partikelmassenkonzentration [mg•m^{-3}]

Impaktor
• einfach
• Kaskadenimpaktor
	diskontinuierlich	gravimetrisch
		quantitativ
			• Partikelmassenkonzentration [mg•m^{-3}]
			• Partikelgröße [nm]
			• Partikelgrößenverteilung
			  • nach Anzahl
			  • nach Masse

Optische Messgeräte / Optische Partikelzähler	kontinuierlich	quantitativ qualitativ	• Partikelmassenkonzentration [mg•m^{-3}] • Partikelgröße [nm] • Partikelanzahlkonzentration • Partikelgrößenverteilung nach Anzahl
TEOM – Tapared Element Oscillating Microballance	kontinuierlich	quantitativ	• Partikelmassenkonzentration [mg•m^{-3}]
Chemische Analyse	diskontinuierlich	qualitativ (quantitativ)	• Partikelbeladung • absorbierte Bestandteile

Die in Tabelle 9 aufgeführten Techniken können der Bestimmung von Feinstaub als Immission wie auch Emission dienen, wobei sich bestimmte Messmethoden, insbesondere in bestimmten (Stall-)Situationen, bewährt haben. Die Messungen mit diesen Techniken können je nach Untersuchungsziel als stationäre Messungen in unterschiedlichen Messhöhen oder als so genannte „personal samplings“, das heißt personenbezogen im Rahmen von Arbeitsplatzmessungen, durchgeführt werden (vgl. SEEDORF, 2003). Nachfolgend schließt sich ein Überblick über die aufgeführten

Messmethoden zur quantitativen Erfassung von Feinstaub an, wobei diese in kontinuierliche und diskontinuierliche Messmethoden differenziert werden.

3.1.1. Diskontinuierliche Messmethoden (Impaktion, Filtration und Passivsammler)

Zur diskontinuierlichen Erfassung von luftgetragenen Partikeln wurden bisher Systeme der aktiven Abscheidung auf Oberflächen (Impaktion), der fraktionierten Sammlung durch Filtration sowie der passiven Schwerkraftsammlung eingesetzt. Die wichtigsten Messmethoden zur quantitativen Erfassung nach gravimetrischen Standardmethoden stellen die Impaktion sowie die Filtration dar.

Bei der Impaktion werden die Trägheitskräfte der Partikel ausgenutzt, wobei diese aktiv durch einstufige Impaktoren oder durch Kaskadenimpaktoren mehrstufig, dann differenziert nach verschiedenen Größenklassen auf Sammelmedien, z. B. Filter oder speziell beschichtete Glasplatten abgeschieden werden. Je nach Auswahl des Impaktors (mit oder ohne Vorabscheider im Einlasssystem) und Sammelmedium können Partikelmassenkonzentrationen oder massenabhängige Partikelgrößenverteilungen bestimmt werden. Die mit dieser Technik gesammelten luftgetragenen Partikel können im Speziellen dann auch in ihrer Zusammensetzung analysiert werden, wie es beispielsweise bei der Pollenanalyse der Fall ist. Bei der Filtration werden meist Glasfaserfilterpapiere eingesetzt, an denen ein definierter durch spezielle Pumpsysteme erzeugter Luftvolumenstrom ansetzt. Nach Bilanzwägungen der Filter kann so die Gesamtstaubmasse pro Volumenstrom ermittelt werden. Da bei Passivsammlern nur die gesammelte Partikelmenge bezüglich Expositionszeit erfasst wird und die Größenselektivität dieser Sammelart sich nicht für Feinstaub eignet, finden diese hier keine nähere Berücksichtigung.

Die quantitative Bestimmung der bei den aufgeführten Messtechniken eingesetzten Sammelmedien erfolgt durch Gravimetrie. Unabhängig von den Fehlerquellen der einzelnen Messtechniken ergeben sich insbesondere durch die Gravimetrie Fehler, wie z. B. Massedifferenzen der Filtermedien durch Temperatur- und Feuchteänderungen bei der Probenahme, Messungenauigkeiten durch elektrostatische Aufladung oder mechanische Beanspruchungen beim Transport, so dass die Handhabung der Filter unbedingt streng nach standardisierten Vorgaben und unter Berücksichtigung der Guten Laborpraxis (GLP) erfolgen sollte. Beispiele für diese Vorgehensweise

stellen das Anlegen von Referenzfiltern, wie z. B. Labor- und Transportkontrollen, die Äquilibrierung der Filtermedien im Wägelabor unter definierten Feuchte- und Temperaturbedingungen sowie eine gründliche Dokumentation der Vorgehensweise dar. Diese Maßnahmen sind insbesondere von Bedeutung, um Fehler zu erkennen und entsprechend zu bewerten.

3.1.2. Kontinuierliche Messmethoden (Optische Verfahren und TEOM)

Photometrische Messsysteme, die nach dem Prinzip der Streulichtphotometrie arbeiten, sind ebenso zur Erfassung luftgetragener Feinstaubpartikel geeignet. Das von Partikelgröße und -form gestreute Licht, bzw. die durch diese erzeugte Lichtschwächung, steht in Beziehung zur Partikelmasse bzw. Partikelmassenkonzentration im Messvolumen. Beste Ergebnisse mittels dieser Methode werden vor allem in Proben mit Staubpartikeln, deren Gestalt sich stark der idealisierten Kugelform annähert, erzielt. Dies schränkt den Einsatz dieser Messtechniken z. B. in Stallungen ein, da hier die Partikel in ihrer Form stark von der Kugelform abweichen können. So sind beispielsweise Partikel, die der Einstreu oder den Tieren wie Federpartikel entstammen, verschiedenster Gestalt. Daher ist in jedem Fall ein Kalibrieren der Geräte auf die lokalen Gegebenheiten wie Partikelgrößenverteilung bzw. der Partikelform erforderlich. Auch können Vergleichsmessungen zwischen Streulichtphotometer und einem gravimetrisch messenden Standardverfahren unter Beachtung gleicher Einsatzbedingungen notwendig sein. Vorteile dieser kontinuierlich messenden Systeme sind die einfache und sichere Handhabung des Messverfahrens, die direkte Messwertanzeige sowie die Möglichkeit durch Einsatz entsprechender Vorabscheider auch Größenverteilungen der Partikel zu erfassen. Letzteres ist vor allem für Arbeitsplatzmessungen zur Bestimmung der Fraktionen einatembar, thorakal und alveolar vorteilig.

Zur Bestimmung einer quasi-kontinuierlichen Messung der Partikelmassenkonzentration kann auch das Messverfahren der TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) eingesetzt werden. Das Messprinzip der TEOM beruht in der Frequenzänderung einer oszillierenden Filterwaage, wobei die Änderung der Frequenz durch die Masse der sich auf dem Filter absetzenden Partikel verursacht wird. TEOM-Geräte finden ihren Einsatz in Luftgütemessnetzen wie auch bei Arbeitsplatzmessungen.

3.2. Probleme der Feinstaubanalyse in Tierställen

Erhebliche Defizite für eine einwandfreie Beurteilung der umwelthygienischen Relevanz von Tierstallemissionen im Sinne des Immissionsschutzes ergeben sich aus den fehlenden Emissionsdaten für moderne Tierhaltungssysteme (vgl. HINZ 2002, SEEDORF 2003, SCHNEIDER et al. 2006). Dabei ist die Untersuchung von Feinstäuben in der Nutztierhaltung mit vielfältigen Bedingungen verknüpft, wie der Wahl des Messortes (Erhebung von Emissions- oder Immissionswerten), des Messparameters, der Messtechnik, der Messmethode und der Auswertung des erhobenen Datenmaterials. Diese und der damit verbundene oft erhebliche Personal- und Kostenaufwand sind ursächlich für die bisher geringe Anzahl von Messungen und die bisher nicht erfolgte Standardisierung geeigneter Messverfahren. Im Folgenden werden einzelne dieser Problemgebiete, insbesondere die Schwierigkeiten bei Messeinsätzen zur Erfassung von PM 10, herausgegriffen. Die von Fachleuten dringend geforderten Zielsetzungen für eine standardisierte Bestimmung der Partikelemissionen aus der Nutztierhaltung werden dargestellt.

Messort und Messdauer

Zu unterscheiden sind immissionsseitige oder emissionsseitige Messungen, also außerhalb des Stallgebäudes oder stallintern stattfindende Messungen, die jeweils unterschiedliche Ansprüche an Messtechnik und Beprobungszeitraum stellen. Für eine kompetente Auswertung der Feld-Messdaten beispielsweise sollten stets auch meteorologische Daten erfasst werden, um so später die Ergebnisse in einem geeigneten Ausbreitungsmodell verifizieren zu können. Das bedeutet, dass bereits eine Wetterstation, die die geographischen Gegebenheiten des Messortes berücksichtigt, existiert oder gegebenenfalls vor Ort eine mobile Wetterstation etablieren werden muss. Letzteres wäre dann mit zusätzlichem Personal- wie Materialaufwand verbunden.

Für die Erhebung von Immissionen wie auch Emissionen gilt, dass räumlich wie auch zeitlich repräsentative Proben gewährleistet sein müssen. Entscheidend für die Wahl der Messorte und deren Anordnung ist die ausgehende Fragestellung. Soll beispielsweise auf Höhe der Atemzone der Tiere oder personengebunden beprobt werden. Ist ein Messort im Stall gefunden, stellt die Beprobungsdauer wie auch die eventuelle parallele Erfassung verschiedener Messorte ein weiteres

Problem dar. Günstigstenfalls können mehrere Messorte zeitgleich beprobt werden. Allerdings wird dies oft durch die begrenzte Anzahl der meist sehr teuren Messgeräte beschränkt. Nach HARTUNG E. (2005) kann dies z. B. durch eine quasi-kontinuierliche Beprobung mehrere Messpunkte nacheinander (multitime-sampling) umgangen werden. Zur Dauer der Erhebung sei darauf hingewiesen, dass die Messungen nicht nur Momentaufnahmen während des Produktionszeitraums darstellen sollten. Denn die Haltung von Masttieren stellt einen dynamischen Prozess der Entwicklung unter der Berücksichtigung von saisonalen Unterschieden und Produktions- bzw. Lebenszyklen dar. So sind die zu erfassenden Quellstärken ebenfalls von den genannten Parametern abhängig. In diesem Zusammenhang steht auch die Kenntnis der stallinternen Hintergrundkonzentration, die unbedingt bei Beprobung entsprechender Haltungssysteme (z. B. zwangsgelüftete Haltungen) berücksichtigt werden sollte.

Messparameter

Auch die Frage nach dem gewählten Messparameter stellt ein Problem der bisherigen Erhebungen dar. So zeigt HARTUNG E. (2005) deutlich auf, dass in zahlreichen Veröffentlichungen die verschiedenen Bezeichnungen und Begriffe wie „inhalable“, „Feinstaub“ oder „alveolengängig“ und „respirable“ parallel verwendet werden, aber keine konkrete Unterscheidung als PM 100, PM 10 oder PM 2,5 erfolgt. Daher wird die Vergleichbarkeit der publizierten Ergebnisse erheblich eingeschränkt, wenn nicht sogar unmöglich gemacht.

Messtechnik

Da es keine einheitlichen Standards zur Emissionsmessung z. B. für frei gelüftete Ställe gibt, fanden in den bisherigen Untersuchungen unterschiedlichste Messmethoden und Messgeräte ihren Einsatz. Da Stallluft der verschiedenen Haltungssysteme sehr variabel zusammengesetzt sein kann, sind die vorhandenen Messtechniken, wie oben schon erläutert, für bestimmte Stallatmosphären sehr unterschiedlich geeignet. Ein weiteres Problem stellt die tierkonforme Eignung der eingesetzten Technik dar. Hierzu ist anzumerken, dass nicht alle Messmethoden und Messtechniken für die jeweilig zu untersuchende Stallluft bestimmter Tierarten geeignet sind. So muss bei den Messungen beispielsweise gewährleistet sein, dass die Tiere nicht in ihrem Verhalten gestört werden. Als Beispiel hierfür sei die

Beeinträchtigung des Ruheverhaltens der Tiere durch lärmende Pumpen zu erwähnen. Aufgrund mangelnden Ruheverhaltens und damit verbundener erhöhter Aktivität der Tiere kann so das Messergebnis verfälscht wie auch das Mastergebnis der Tiere ungünstig beeinflusst werden. Auch muss die Funktion der ausgewählten Messtechnik für Langzeitmessungen unter „widrigen“ Bedingungen wie es zum Beispiel eine mit Ammoniak angereicherte aggressive Stallatmosphäre darstellt gewährleistet sein.

Datenzuordnung

Neben der Auswahl einer geeigneten Messtechnik wird in der aktuellen Diskussion z. B. um Immissionsdaten die Schwierigkeit der Auswertung der Messdaten im Hinblick auf die Quellzuordnung aufgeführt. So werden für Feld-Messungen zeitnahe Messungen der Mess-Standorte in und entgegen der Windfahnenrichtung (Luv- und Lee-Messungen) und in Abständen zu den Quellen (Haltungsanlagen) gefordert, um die Ergebnisse in einem geeigneten Ausbreitungsmodell verifizieren zu können. Die Erfüllung der genannten Anforderungen an die Messbedingungen wie auch die zeitliche Kontinuität der Messungen gelingt in und in der Nähe von Stallungen unter Feldbedingungen meist nicht. Die zur Verfügung gestellten Ressourcen sind oft begrenzt. So können der hohe Aufwand an aufzuschlagender Messtechnik sowie der Einsatz von entsprechend geschultem Personal nicht bereitgestellt werden.

Fehlende Daten und Datensicherung

Das geringe Aufkommen an Datenmaterial zu Emissionsmessungen in der Nutztierhaltung zieht vornehmlich zwei Probleme mit sich. Zum einen machen die mittels unterschiedlicher Technik erhobenen geringen Mengen an stallinternen Feinstaubdaten einen Vergleich dieser bzw. eine Beurteilung der jeweiligen Luftqualität schwierig. Denn so wurden „die Messungen der Luftqualität in der Vergangenheit häufig nur als Einzelmessungen im Stall durchgeführt, die keine verlässlichen Aussagen über Schwankungen in der Konzentration der Kontaminanten erlauben“ (SEEDORF, 2003, 10). Zum anderen fehlt durch die mangelnde Möglichkeit des Vergleichs von Daten untereinander eine wichtige Möglichkeit der Qualitätssicherung der eigenen Daten im Bezug auf Fehlerquellen in der eigenen Messkette (vgl. HARTUNG E., 2005, SEEDORF 1998). Aufgrund der fehlenden PM 10-Daten, behilft

man sich derzeit, um in Genehmigungsverfahren den relevanten PM 10-Anteil zu berücksichtigen, mit so genannten Konvertierungsfaktoren. Mit diesen, bisher aus wenigen Messungen abgeleiteten Faktoren, soll der PM 10-Anteil am Gesamtstaub abgeschätzt werden (vgl. NESER, 2006).

Ziele

Wie anhand der aufgeführten Probleme im Bereich der Erfassung von Feinstaub deutlich gemacht, stellen vornehmlich stallinterne Emissionsmessungen eine komplexe Aufgabe dar, die nicht zuletzt mit erheblichem Personal- und Kostenaufwand verbunden ist. Experten allerdings sehen das größte Problem zurzeit darin, dass keine einheitliche Messmethode zur Ermittlung der Partikelkonzentrationen in den Ställen besteht. Daher wird ausdrücklich der standardisierte Einsatz von Messtechnik und Messmethoden im Sinne des geforderten Immissionsschutzes verlangt (vgl. GRIMM 2003, BERRY et al., 2005, HARTUNG E. 2005, SEEDORF 2005, NESER 2006, SCHNEIDER et al., 2006).

Voraussetzung für die Umsetzung dieses Ziels ist die Forschung nach geeigneter Technik für die unterschiedlich zusammengesetzten Stallatmosphären. Dabei sollte möglichst ein konventionelles Messverfahren mit klar definierten Einsatzbedingungen ausgewählt werden, um vergleichbare Messwerte insbesondere auch für Langzeitmessungen zu gewährleisten. Ist der Einsatz mehrerer Techniken oder Methoden unumgänglich, sollten zur Vergleichbarkeit der Messwerte für und mit entsprechender Messtechnik optimale Messsequenzen und vergleichbare Bedingungen herausgearbeitet werden.

Des Weiteren findet die Erfassung von Rand- und Umgebungsbedingungen der Messorte, die von der Anzahl der Tiere im Stall, über verfahrenstechnische Einstellungen bis hin zum Fütterungsmanagement reicht, bisher wenig Berücksichtigung. Doch gerade diese Informationen können bei der Interpretation von Daten oder bei Vergleich von Werten wichtige Hinweise liefern. Sind doch Bildung, Transport und die Verteilung von Emissionen sowie auch die Elimination von Partikeln gerade auch von diesen Randbedingungen wie Tieralter, Stallsystem oder Hygienemaßnahmen abhängig (vgl. HARTUNG E. 2005, SCHNEIDER et al., 2006). Auch sollte die für einige Stallsysteme bedeutsame Hintergrundkonzentration Berücksichtigung finden, welche vergleichbar mit der immissionsseitig zu bestimmenden Vorbelastung ist und für die

nach TA-Luft eine Ermittlungspflicht besteht (vgl. GRIMM, 2003). Abschließend soll angemerkt werden, dass die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens enorme Bedeutung für die Datenaufbereitung hat und somit die Basis zur genaue Bewertung von Partikelkonzentrationen darstellt (vgl. HARTUNG E. 2005).

3.3. Ausgewählte Messtechnik und Messstandort

Wie oben erwähnt, existieren für Feinstaub nach ausführlicher Literaturstudie bisher nur wenige Erhebungen stallinterner Quellstärken. Überwiegend lag das Hauptaugenmerk dieser Messungen auf der Untersuchung der mikrobiellen Belastung der Stallluft sowie des Gehaltes an Gesamtschwebstaub. Erst in jüngster Zeit wurden Publikationen mit dem Schwerpunkt der Erhebungen von PM 10 in Tierhaltungssystemen veröffentlicht. Die bisher vorliegenden Daten wurden mit unterschiedlichen Messsystemen zur Erfassung partikelförmiger Luftinhaltsstoffe in Tierställen ermittelt. Die Problematik der Erfassung der Stallemission PM 10 liegt in der Auswahl eines hierfür geeigneten Messsystems, welches wie beschrieben nicht nur hinsichtlich seiner technischen Belange den Anforderungen genügen muss, sondern auch keinen negativen Einfluss auf das Tierverhalten haben darf.

Zur Erhebung der Daten für diese Arbeit wurde eine Messtechnik gefordert, die folgende Bedingungen erfüllen sollte:

- Einsatz eines konventionellen, möglichst standardisierten Messverfahrens zur Erfassung von PM 10
- (quasi-)kontinuierliche Messung zur Erfassung von Tagesgängen (keine punktuellen Einzelmessungen), so dass auch episodenhaft auftretende Höchstwerte erkennbar sind und die Ermittlung z. B. von Tages- und Nachtdurchschnittswerten möglich ist
- Möglichkeit der Bestimmung von 24-Stunden Messwerten (Zeitraum der Exposition der Tiere in vorhandener Stallatmosphäre)
- Robustheit der Technik aufgrund von Langzeitmessungen (in einer Geflügelstallatmosphäre): Erfassung eines gesamten Produktionszyklus (Mastdurchgang)

- Dokumentationsmöglichkeit des Messsystems selbst (Möglichkeit der Kontrolle, Fehlersuche)
- Gewährleistung der parallelen Erfassung weiterer Staubkomponenten mit anderer Messtechnik
- nicht zuletzt bedienerfreundliches Messsystem mit guter Handhabung der Technik für optimales Zeitmanagement (einschließlich entstehender Kosten für Personal- und Materialaufwand)

Anhand der Literaturstudie und der Ergebnisse angelegter Feldtests verschiedener Messsysteme (Klein- und Großfiltergeräte, Low- und High Volume Sammler, Partikelzähler) auf Zweckmäßigkeit hinsichtlich der genannten Bedingungen im Geflügelmaststall wurde ein bereits im Immissionsmessbereich etabliertes und auch in VDI-Richtlinien eingebundenes Messsystem ausgewählt: ein automatischer Staubprobensammler als High Volume Sammler (HVS) mit PM 10-Ansaugsonde unter Verwendung einer gravimetrischen Standardmethode zur Ermittlung der Partikelmassenkonzentration. Der Einsatz dieser Messtechnik in einem Putenmaststall sollte nun im Rahmen dieser Arbeit geprüft und bewertet werden.

Geflügelställe als geeigneter Messstandort

Im Bereich von Tierstallungen treten die höchsten bestimmten Mengen an Staub in Geflügelhaltungen auf (vgl. SEEDORF und HARTUNG 2002). In Deutschland nimmt durch den zunehmenden Pro-Kopf-Verbrauch an Geflügelfleisch die Intensivhaltung verschiedener Geflügelarten zu. Aufgrund dieser beiden Gegebenheiten wurde als Messstandort ein Geflügelmaststall für die Messungen der PM 10 Komponente wie auch der Bestimmung der einatembaren Staubfraktion (ID, hier PM 100) ausgewählt. Um eine kontinuierliche längere Messperiode mit Verfolgung der dynamischen Entwicklung einer Tierherde zu ermöglichen, wurden Puten als Geflügelart ausgewählt, da diese in Deutschland oftmals in der Langmast bis zur Schlachtreife aufgezogen werden. Mit Hilfe von Messungen während einer kompletten Mastperiode, die bei Putenhähnen bis zu 22 Wochen dauert, können bekannte Schwankungen der Quellstärken, beispielsweise durch das Alter und die Aktivitäten der Tiere bedingt, erfasst werden. Die Tiere der ausgewählten Putenmast werden, wie fast alle Puten in Deutschland, in einem eingestreuten Offenstall zur Schlacht-

reife gebracht. Bekannt ist, dass Haltungssysteme mit Einstreu als zusätzliche Staubquelle die Staubemissionen fördern. Das Bodenhaltungssystem des Louisiana-Typs zeichnet sich durch die offenen Längsseiten der Ställe aus, deren Öffnungsgrad durch stufenlos verstellbare Jalousien geregelt werden kann. Diese Bauweise der Stallanlage gewährleistet so eine freie natürliche Lüftung. Durch vorhandene Jalousien vor den längsseitigen Öffnungen, die mit einer Wetterstation oder Stallklimastation verbunden sein können, ist eine Kontrolle der Luftbewegungen möglich. Es werden durch Einschränkung der freien Be- und Entlüftung während kälterer Außentemperaturen durch das regelmäßige Schließen der Jalousien höhere Staubgehalte im Stall aufgrund geringerer Verdünnungseffekte erwartet.

4. Material und Methoden

Die orientierenden Messungen zu den Staubkonzentrationen PM 10 und einatembare Staubkomponente (ID bzw. PM 100) wurden in einem Offenstall für Mastputen mit etwa 1600 Putenhähnen während eines Mastdurchgangs mit einer End-Tierdichte von 3,5 Tieren pro m² durchgeführt. Im Folgenden werden Messstandort, eingesetzte Messsysteme, Methoden und Begleitmessungen erläutert.

4.1. Beschreibung des Messstandorts

Die Untersuchungen zu den verschiedenen Schwebstaubfraktionen wurden in einem frei gelüfteten Mastputenstall vom Louisianatyp auf dem Lehr- und Forschungsgut Ruthe durchgeführt.

Abbildung 3: Überblick über das Gelände des Lehr- und Forschungsguts Ruthe (AEROPHOT DEMOSS, Pressestelle Stiftung Tierärztliche Hochschule, 2003, verändert)

Folgende Daten dienen der geographischen Einordnung des Standortes Ruthe: Ruthe, ein Ortsteil der Stadt Sarstedt, liegt im Landkreis Hildesheim 59 m ü. NN. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 8,5 °C. Die mittlere Niederschlagsmenge liegt bei 600 mm.

Tabelle 10 informiert über das auf dem Lehr- und Forschungsgut Ruthe vorhandene Haltungssystem für Mastputen, die eingesetzte Technik und den üblichen Tierbesatz.

Tabelle 10: Daten zum Lehr- und Versuchsstall der Puten in Ruthe

Gebäude	Naturstall, Bodenhaltung mit Einstreu (Holzspäne) und freier Belüftung über die Traufen, d. h. Frischluftzufuhr über Jalousien, gegliedert in zwei separat zu nutzende Abteile, Stallfläche (innen): 59,4 m • 15,9 m außen liegender überdachter Scharrraum (Wintergarten): 59,4 m • 4,7 m unter Dachfirst: Besuchergang über die gesamte Stalllänge
Haltung	auf Einstreu (Holzspäne) mit der Möglichkeit zur Nutzung des außen liegenden eingestreuten Scharrraums, Besatzdichte etwa 4 Tiere / m² Temperatur: je nach Alter der Tiere von 25 °C (Gasstrahler) auf 22-18 °C abnehmend
Technik	Lüftung über Jalousien bzw. im Bedarfsfall über Zwangslüftung Kühl-, Sprüh- und Beleuchtungsanlage, Futter- und Wasserversorgung in entsprechenden Bahnen (Futter aus Außensilos), automatische, kontinuierliche Datenerfassung von Stallklima, Futter- und Wasserverbrauch und Gewichtsentwicklung der Tiere
Tiere	weiße Mastputen, männlich, Mastdauer 20 Wochen, Endgewicht etwa 21 kg

Zur Verdeutlichung der baulichen Umsetzung genannter Stalleinrichtungen sollen die Abbildungen 4 und 5 dienen. Eine Momentaufnahme vom Ende der Mastperiode stellt Abbildung 4 dar. Hier sind verschiedene Stalleinrichtungen des Stallabteils 1 des Maststalls in Ruthe wie Futter- und Wasserstrecke sowie die Einstreu aus Holzspänen zwischen den Tieren zu sehen. Im Hintergrund des Bildes sind die verstellbaren grünen Jalousien zu erkennen, die eine kontrollierte Frischluftzufuhr gewährleisten können. Um bei Bedarf einen zusätzlichen Luftstrom durch Thermik zu erreichen, gibt es, auf diesem Bild nicht zu erkennen, regulierbare Firstöffnungen.

In der Nähe der Fenster sind außerdem zwei Schwenklüfter zu sehen sowie über der Futterstrecke aufgezogene Gasheizlampen. Diese sorgen bei Neubesatz des Stallabteils mit jungen Puten vor allem in der kalten Jahreszeit für die richtige Temperierung der Stallluft.

Abbildung 4: Putenstall Ruthe, Stallabteil 1

Abbildung 5 zeigt den von den Puten gern genutzten Außenscharrraum, den so genannten Wintergarten, welcher allerdings im beobachteten Messzeitraum den Tieren aufgrund der kalten Außentemperaturen nur am Ende der Mast zugänglich war.

Die etwa 1600 Putenhähne der Rasse Big 6 (Lohmann, Cuxhaven, Deutschland) im Stallabteil 1 wurden Anfang Dezember 2003 eingestallt. Den Tieren standen eine Stallfläche von 476,34 m² sowie eine Wintergartenfläche von 140,31 m² zur Verfügung, was einer Tierdichte am Ende der 20-wöchigen Mastperiode von 3,5 Tieren pro m² entsprach.

Das Einstreumaterial bestand aus Holzspänen. Dieses wurde in der Regel einmal wöchentlich ergänzt, und um eine zu starke Verfestigung der Einstreu zu verhindern, mit einer Egge aufbereitet.

Abbildung 5: Putenstall Ruthe, Wintergarten zu Stallabteil 1

Während des Messzeitraums wurde das wöchentliche Auffüllen mit Holzspänen durch zusätzliches Ausbringen von Einstreu ergänzt. Betroffen von dieser Maßnahme war der Bereich unter den Tränkestrecken, der sich in diesem Mastdurchgang als zu feucht erwies. Regelmäßig, mindestens zweimal täglich, kontrollierten Tierbetreuer die Puten im Stall. Im ersten Drittel der Mast wurden einmal wöchentlich die angesammelten Staubablagerungen auf den Tränke- und Futtereinrichtungen sowie auf den Fensterbänken von den Mitarbeitern entfernt.

4.2. Messzeitraum und Tierbesatz

Im Allgemeinen werden bei Tierhaltungen in den Wintermonaten höhere Konzentrationen an Bioaerosolen beobachtet (vgl. SEEDORF UND HARTUNG, 2002). Daher wurde für die Messungen ein Mastdurchgang bei kalten Außentemperaturen ausgewählt. Der Messzeitraum erstreckte sich vom 07.01.2004 bis 15.03.2004, was den Masttagen 35 bis 103 entspricht. Die Messungen begannen in der 6. Lebenswoche, in der die Tiere durchschnittlich 2 kg Lebendgewicht aufwiesen, und endeten in der 15. Lebenswoche, bei einem durchschnittlichen Gewicht von 15 kg pro Hahn. Zu Beginn der Mast zählte der Besatz 1648 Tiere. Am Ende des Messzeitraums waren es 1558 Tiere, welches einem Tierverlust von etwa 5,5 % entsprach. Dieser Wert liegt innerhalb der derzeit anzunehmenden Abgangsrate bei Mastputen von 3,5 % bis 6 %.

4.3. Vorversuche zur Wahl von Mess- und Pumpsystemen

Die Auswahl des recht kostenintensiven und gegenüber mobilen kompakten Kleingeräten stationären Großfiltersystems begründet sich aus den im Vorfeld angesiedelten Feldeinsätzen verschiedener Messsysteme. Im Allgemeinen kommen zur Bestimmung der Partikelmassenkonzentration von PM 10 gravimetrische Standardmethoden in Betracht. Die Staubsammlung erfolgt dabei vorwiegend aktiv mittels Filtersammelsystemen, wobei ein Pumpsystem einen konstanten Luftvolumenstrom durch ein Filtermedium zieht. Diese Pumpsysteme können nach dem Prinzip eines Low Volume- oder High Volume Sammlers arbeiten, wobei Luftvolumina von 2,3 m³ oder 30 m³ pro Minute fließen.

Im Folgenden sollen beispielhaft einige Ergebnisse von Feldversuchen, die zum Ausschluss verschiedener Messsysteme führten, dargestellt werden. Das ausgesuchte Kleinfiltergrät (TCR Tecora mit PM 10 Ansaugsonde), welches die Vorgaben für ein Low Volume System nach der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 „Ermittlung der PM 10-Fraktion von Schwebstaub“ erfüllte, konnte die geforderten Kriterien für einen 24-stündigen Einsatz im Putenmaststall nicht erfüllen. Hauptsächlich traten Probleme bezüglich der Luftfeuchte auf. Es kam trotz Einsatz von Feuchteabscheidern im Ansaugsystem beim Wechsel der beladenen Filterpapiere zu Zerreissungen

aufgrund der hohen Feuchtigkeit der Filter, weshalb diese nicht mehr gravimetrisch auswertbar waren. Um den Einfluss der Feuchte zu verringern, wurden neben Quarzfaserfiltern auch Filter aus anderen Materialien wie Teflon getestet. Allerdings konnten auch hier die Ergebnisse nicht als befriedigend angesehen werden, da sich neue anders gelagerte Probleme ergaben. Beispielsweise kam es bei der gewünschten Sammelzeit von 24 Stunden regelmäßig zu überladenen Filtern, welche so ebenfalls nicht den Vorschriften entsprechend analysiert werden konnten. Eine kürzere Sammelzeit pro Filter wäre möglich gewesen. Allerdings hätten so nur bestimmte Tagesabschnitte beprobt werden können, da ein Filterwechsel manuell erfolgen muss. Diese Tatsache machte sich ebenfalls negativ in der Bewertung der Handhabung bezüglich geforderter Bedingungen (Aufnahme von 24 Stunden-Messwerten) bemerkbar. Neben den überladenen Filtern, die sich aus zu langen Sammelzeiten ergaben, kam es zu Artefaktbildung der Beaufschlagungsfläche. Diese wurden durch Bestandteile der tierartspezifisch zusammengesetzten Stallluft wie z. B. Teile von Federn hervorgerufen. Federpartikel konnten sich trotz ihrer teilweise erheblichen Größe aufgrund ihrer geringen Dichte auf den Filtern niederschlagen: Dies hatte zur Folge, dass die Filter nicht ohne Substanzverlust aus den Filterhaltern entfernt werden konnten und so nicht hinreichend genau ausgewertet werden konnten. Als weiterer Nachteil stellte sich die erhebliche Lautstärke der Pumpe heraus, aufgrund derer sie nicht direkt im Putenstall unter den gleichen klimatischen Bedingungen wie die Ansaugsonde aufgestellt werden konnte.

4.4. Ausgewähltes Verfahren zur Bestimmung von PM 10

Für die Bestimmung von PM 10 im Geflügelstall wurde ein für die Immissionsmessung bereits etabliertes Messsystem eingesetzt. Die Methodik der gravimetrischen Bestimmung von PM 10, das Messsystem mit seinen Komponenten und das einstufige Impaktionsprinzip als Probenahmeverfahren werden dargestellt.

4.4.1. Bestimmung der Massenkonzentration von PM 10

Als Analysemethode zur Ermittlung von PM 10 diente die gravimetrische Bestimmung. Die Partikelmasse auf den Quarzfaserfiltern wurde durch Differenzwägung

vor und nach der Beladung mit den luftgetragenen Partikeln bestimmt. Der Quotient aus der Partikelmasse und dem vom Sammelgerät aufgezeichneten auf 273 K Normtemperatur und 101,3 kPa Normdruck korrigierten Volumenstrom ergibt die angegebene Massenkonzentration in $\mu g \cdot m^{-3}$.

Die zur Identifizierung durchnummerierten Quarzfaserfilter wurden entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 „Ermittlung der PM 10-Fraktion von Schwebstaub“ unter definierten Bedingungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit konditioniert. Ebenso wurden auch separat angelegte Labor- und Transportkontrollen behandelt. Jeder einzelne Filter wurde zur Konditionierung in einer nicht ganz abgedeckten Glaspetrischale entsprechender Größe in der klimatisierten Wägekammer deponiert. Für die gravimetrische Bestimmung wurde eine Semimikrowaage Typ MC 210 P der Fa. Sartorius (Göttingen, Deutschland) eingesetzt. Die Waage befand sich in einer lufttemperatur- und luftfeuchtigkeitskontrollierten Wägekammer des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie (NLÖ, 2004).

Nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 sollen die Quarzfaserfilter 48 Stunden bei einer Lufttemperatur von 20 ± 1 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 ± 3 % äquilibriert werden. Es wurden drei Laborblindwerte pro Filterpackung (je 50 Stück) angelegt. Bei jedem Wägedurchgang wurden die relativen Luftfeuchten für jeden Filter wie auch für die Filter der stets mitbestimmten Laborkontrollen notiert. So konnten die Werte der Ein- und Rückwaagen der Quarzfaserfilter mit dem Mittelwert der drei Laborblindkontrollen entsprechend des Feuchtegehalts korrigiert werden. Die erfassten Einzelwerte für die Laborkontrollen sind im Anhang II in Tabelle 1 zusammengefasst. Dort ist auch der jeweilige Korrekturwert (LAB-Korrektur) für die entsprechende Korrektur der Ein- und Rückwaagen der Quarzfaserfilter aufgeführt. Bei der oben genannten Art der Äquilibrierung wird gegenüber der Äquilibrierung durch Trocknung bei 105 °C der Verlust von semivolatilen Stoffen vermieden. Allerdings besteht hier der Einfluss des so genannten Hysterese-Effektes. Dieser Effekt tritt durch die unterschiedliche Wasseraufnahme bzw. -abgabe der hygroskopisch wirksamen Partikel auf (Hysteresekurve). So kann es zu chemischen oder biologischen Reaktionen kommen, die die Desorptionen verzögern oder verhindern. Beispielhaft sei hier Ammoniumnitrat genannt. Hier kommt es bei Luftfeuchten über 60 % zur Wasseraufnahme.

Eine Abgabe erfolgt erst wieder bei Luftfeuchtigkeitswerten von unter 40 %. „So können sich bei einer Äquilibrierfeuchte von 50 % rH für die Ammoniumnitratpartikel Massendifferenzen von 20 % ergeben, je nachdem, ob sie vorher höheren Luftfeuchtigkeiten ausgesetzt waren oder nicht“ (JOHN, 2002, 140). Daher ist die Herkunft der gesammelten Partikel bei späterem Vergleich verschiedener Messergebnisse zu berücksichtigen.

4.4.2. Das eingesetzte Messsystem: DIGITEL HVS DHA-80

Zur diskontinuierlichen Erfassung der größenfraktionierten atmosphärischen Schwebstaubkonzentration im Mastputenstall wurde der DIGITEL HVS DHA-80 (Riemer Messtechnik, Hausen / Rhön) eingesetzt. Dieses Sammelgerät gehört zur Klasse der High Volume Sammler und ist in der VDI-Richtlinie VDI 2463, Blatt 11 beschrieben. Dieser konventionelle Filterabscheider mit PM 10-Ansaugsonde ist nach den Bedingungen der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 „Ermittlung der PM 10-Fraktion von Schwebstaub“ als Äquivalenzgerät einsetzbar. Das genannte HVS-System ist nach Novellierung der EG-Richtlinie 80/779/EEC (Schwebstaubreferenzverfahren) eine für Immissionsmessungen etablierte Sammleranordnung, die an vielen Messstationen in Deutschland eingesetzt wird. Es wurden in Ring-versuchen zahlreiche Äquivalenzmessungen zur Referenzbestimmungsmethode (LVS PM 10 Referenzgerät) nach beschriebener VDI-Richtlinie mit diesem HVS-Messsystem durchgeführt.

Der DIGITEL HVS DHA-80 ist ein vollautomatisch arbeitender Staubprobensammler mit Filterwechselautomatik, der aus Ansaugsonde, Probenahmerohr, Filter mit Haltevorrichtung und einer mit hoher Durchflussrate arbeitenden Pumpe besteht. Das Gerät wird zur Sammlung von PM 10 zusammen mit einer nach dem einstufigen Impaktionsprinzip arbeitenden Ansaugsonde mit einem Volumenstrom von 30 $m^3 \cdot h^{-1}$ betrieben. Da der Volumendurchsatz für eine einwandfreie Erfassung der Partikelgröße kontinuierlich gewährleistet sein muss, arbeitet das im Sammler installierte Saugaggregat mittels eines optischen Systems und moderner Umrichtertechnik selbstregulierend.
Der Vorabscheider, in diesem Falle die so genannte Prallplatte, entfernt alle Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser > 10 µm aus dem Aerosolstrom bei

einem Cut-off von 50 %. Die verwendeten bindemittelfreien Quarzfaserfilter QF 20 der Firma Schleicher und Schuell haben einen Durchmesser von 150 mm. Der Durchmesser der effektiven Sammelfläche beträgt 140 mm, so dass sich eine beaufschlagte Fläche von 0,0154 m² ergibt. Die Filter wurden vor und nach ihrer Beaufschlagung gravimetrisch unter genannten konditionierten Bedingungen bestimmt. Vor Einsatz des Messsystems im Mastputenstall wurde eine Durchfluss-Kalibrierung des DIGITEL HVS DHA-80 durch das Labor des NLÖ vorgenommen. Auch wurden entsprechende gerätespezifische Einstellungen, die für den ordentlichen Betrieb an der Messstation von Bedeutung sind, wie z. B. die Eingabe der Höhe der Station über NN, angepasst. Die Angabe der messstationseigenen Parameter ist beispielsweise für die Korrektur des tatsächlich durchgesetzten Volumenstroms auf Normdruck (101,3 kPa) und Normtemperatur (273 K) nach der allgemeinen Gasgleichung von Bedeutung. Die in den Tabellen aufgeführten PM 10-Massenkonzentrationen beziehen sich auf dieses normierte Volumen.

4.4.2.1. Arbeitsweise des DIGITEL HVS DHA-80

Im Messsystem wird die Luft durch eine PM 10-Probenahmesonde mit Entnahmerohr angesaugt und senkrecht von oben nach unten durch ein in die Beströmungskammer eingelegtes Filter gesogen. Der Nachschub für den automatischen Filterwechsel erfolgt aus dem Filterhaltermagazin, wobei das zuvor beaufschlagte Filter zunächst beim Wechselvorgang auf einen Auffangteller abgelegt wird. Hinter dem Filter wird die geförderte Luftmenge in einem Durchflussmesser mit Schwebkörper gemessen und durch entsprechende Regeleinrichtungen das Saugaggregat im Volumenstrom korrigiert, so dass der vorgegebene Sollwert von 30 $m^3 \cdot h^{-1}$ gehalten wird. Als vorteilhaft erweist sich ebenfalls die geringe Anströmgeschwindigkeit über den Filtern, welche geringste Artefaktbildung gewährleistet und Filterdurchschläge beziehungsweise Zerreißungen verhindert. In Abbildung 6 sind genannte Bauteile dargestellt.

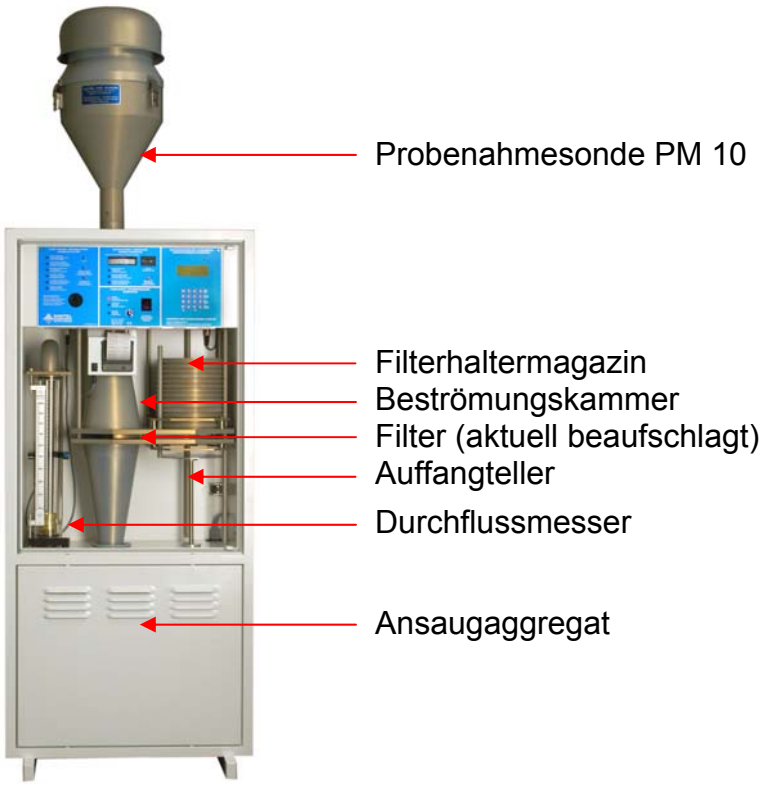

Abbildung 6: Aufbau des DIGITEL HVS DHA-80 (http://www.digitel-ag.com/frameset.htm, 02.05.06)

Die besonderen Vorteile, die diese Gerätebauweise bei den Probenahmen bietet, sind:

- zeitaufgelöste Probenahme durch automatische Filterwechsel,
- konstanter Luftprobendurchsatz durch drehzahlgeregeltes Saugaggregat,
- hohe Korrosions-Beständigkeit und Oberflächenglätte der Probenahmewege,
- geringe Anströmgeschwindigkeiten am großflächigen Filter,
- gleichmäßige Belegung der Filter (Aufteilung der Filter für Analysen möglich),
- Protokoll der Probenahmestation und des Probenahmevolumens.

Diese Vorteile haben sich während des Einsatzes unter Stallatmosphäre bewährt. Ein weiterer Vorteil ist der geräuscharme Betrieb des Messsystems, welcher einen Einsatz im Stall ohne Störung der Tiere ermöglichte.

4.4.2.2. Aufbau der DIGITEL PM 10-Ansaugsonde

Aufgabe der PM 10-Ansaugsonde ist die größenselektive Staubprobenahme. Als Abscheideprinzip findet in der DIGITEL PM 10-Ansaugsonde ein einstufiger Impaktor Anwendung, der zehn Einströmdüsen umfasst. Die Trenncharakteristik dieses Impaktionsverfahrens weist einen Medianwert bei einem aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 µm auf. Diese Forderung besteht bei allen Sammleranordnungen durch die Novellierung der EG-Richtlinie 80/779/EEC (Schwebstaub-Referenzverfahren).
Mit einem Betriebsdurchfluss von 30 $m^3 \cdot h^{-1}$ (entspricht 0,5 $m^3 \cdot min^{-1}$) werden die Partikel > 10 µm bei einem Cut-off von 50 % auf der mit Silikonpaste beschichteten Prallplatte abgeschieden. Lediglich die Fraktion ≤ 10 µm gelangt nach dem Vorabscheider durch ein Rohr auf das Filter, welches durch die hier herrschenden geringen Anströmgeschwindigkeiten gleichmäßig mit Partikeln belegt wird. In der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 sind Angaben zu Reinigungsintervallen zu den einzelnen Bestandteilen in Anhang B 2 beschrieben. Die Reinigung und Einfettung der entsprechenden Bestandteile der Sonde mussten unter den herrschenden Bedingungen der Stallatmosphäre jedoch erheblich frequenter durchgeführt werden. Beispielsweise wurde die Prallplatte nach 24-stündigem Lauf durch eine gesäuberte und mit silikonfett präparierte Prallplatte ausgetauscht. Der Sondenkopf und die Impaktorendüsen wurden nach Kontrolle entsprechend den Vorschriften gereinigt.

Abbildung 7 zeigt die funktionellen Einheiten der Ansaugsonde im Schnittbild sowie schematisch den Weg des Luftstroms durch die Ansaugsonde.

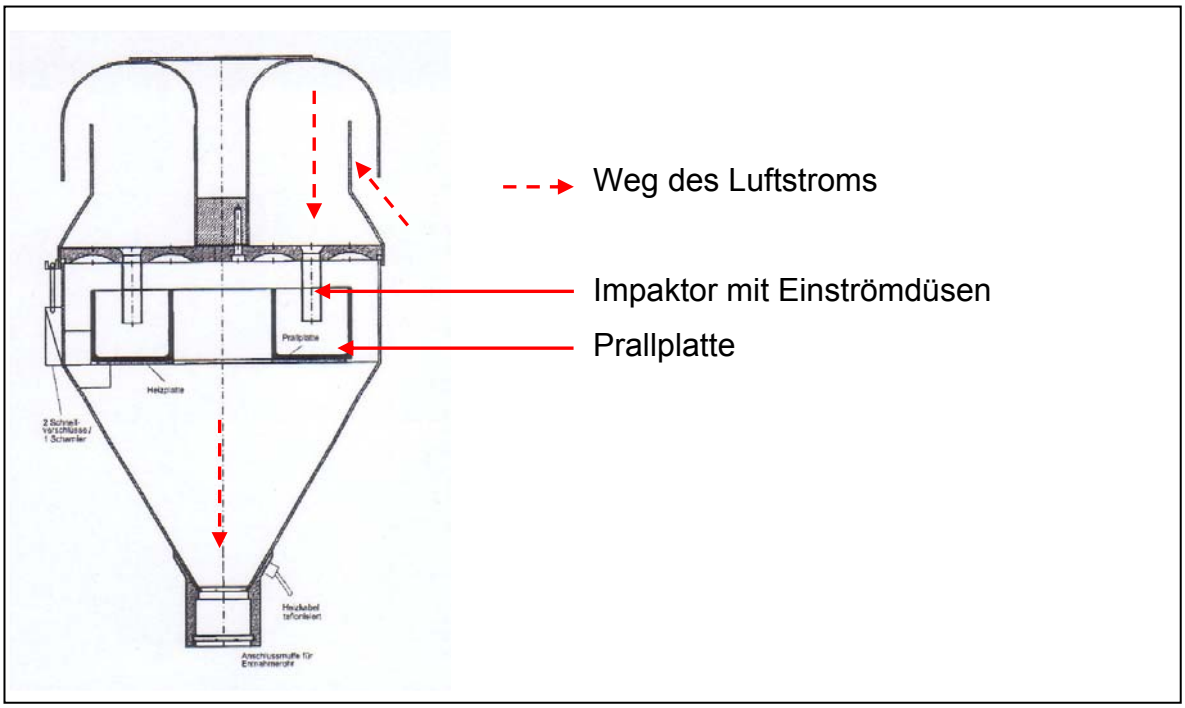

Abbildung 7: Schnittbild des DIGITEL PM 10/30 (RIEMER MESSTECHNIK, 4/99)

Abbildung 8 zeigt eine geöffnete 6 kg schwere DIGITEL PM 10-Ansaugsonde. Zu erkennen sind der Impaktor mit seinen zehn Einströmdüsen sowie die einfach auszutauschende Prallplatte.

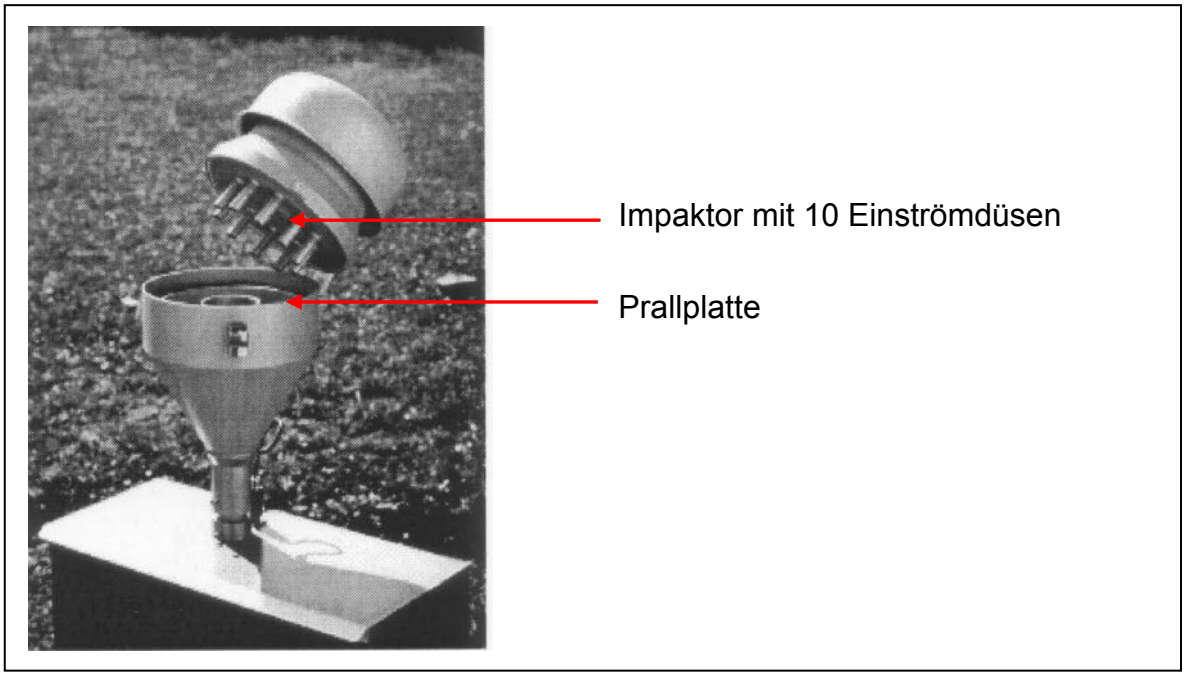

Abbildung 8: DIGITEL PM 10-Ansaugsonde, geöffnet (RIEMER MESSTECHNIK, 4/99)

4.4.3. Das Prinzip der Impaktion

Impaktoren zählen zu den gängigen Messgeräten für eine fraktionierte Aerosolprobenahme. Das hier verwendete Verfahren arbeitet nach dem Prinzip der einstufigen Impaktion, bei der die Massenträgheit der Partikel zur Auftrennung nach Größe ausgenutzt wird. Wie in Abbildung 9 schematisch dargestellt, werden Partikel im Aerosolstrom durch ein Ansatzrohr mit definiertem Durchmesser beschleunigt. Größere Partikel schlagen sich aufgrund ihrer Trägheit auf einer in einem bestimmten Abstand unter der Düse befindlichen mit einem Haftmedium (hier Silikonfett) beschichteten Prallplatte nieder. Partikel, die kleiner sind als der Cut-off (Grenzpartikeldurchmesser), können der scharfen Ablenkung des je nach selektierter Partikelfraktion angelegten Stromflusses folgen und verlassen die Impaktionsstufe im Aerosolstrom. Die gewünschte Partikelfraktion kann dann auf entsprechende Medien beispielsweise Quarzfaserfilter aufgeschlagen werden. Idealerweise können alle Partikel, die kleiner sind als der Cut-off, gesammelt werden und sämtliche größeren Partikel werden auf einer präparierten Prallplatte abgeschieden.

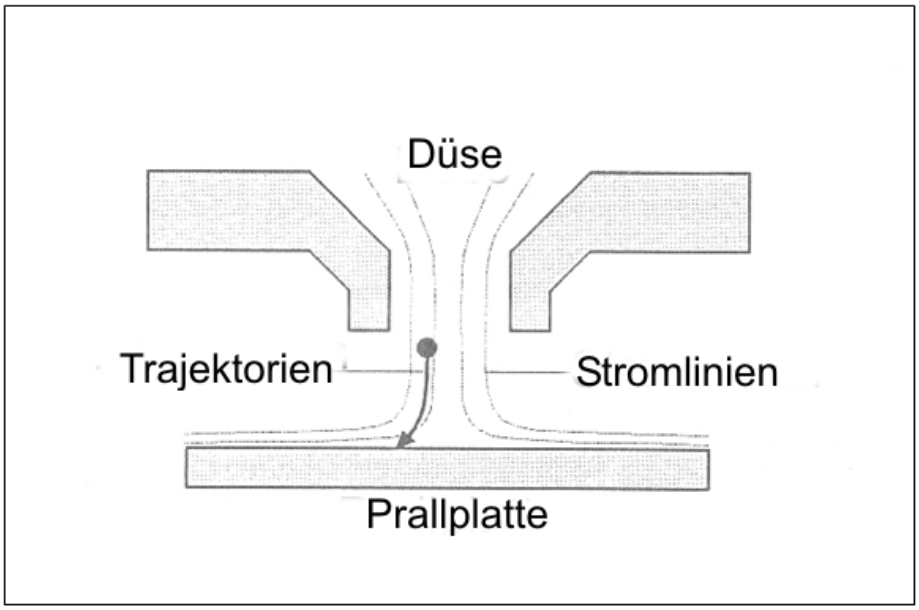

Abbildung 9: Schematische Darstellung des Impaktorprinzips (verändert nach WILLEKE und BARON 1993, 116)

In Abbilddung 10 wird deutlich, dass sich beim Impaktionsverfahren die reale Abscheidekurve von der idealen Treppenfunktion durch einen eher s-förmigen Verlauf unterscheidet, welcher durch die endliche Düsenabmessung und das daraus resultierende Geschwindigkeitsprofil bedingt wird. Außerdem kann es zu weiteren unerwünschten Effekten wie Fehlbeaufschlagungen und Partikelverlusten durch „bounce off“ (durch Zusammenschlagen der Partikel) kommen. So beschreibt der Cut-off $d(ae)_{50}$ hier als Grenzdurchmesser die Partikelgröße, die gerade zu 50 % auf der eingesetzten Prallplatte abgeschieden wird.

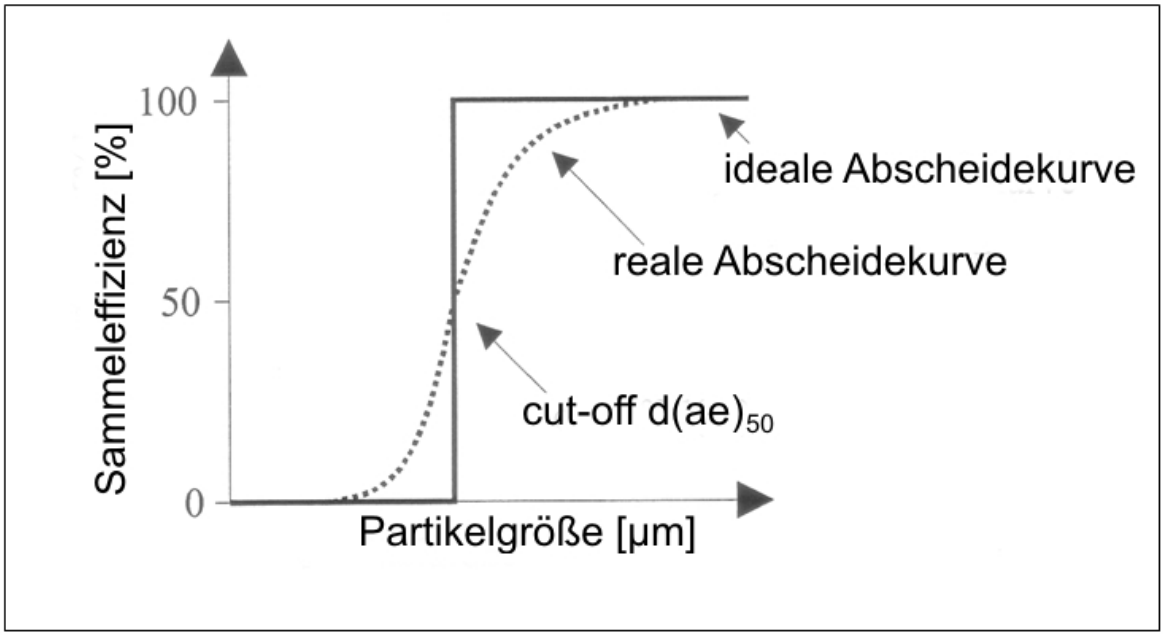

Abbildung 10: Ideale und reale Abscheidekurven eines Impaktors (JOHN, 2002, 9)

4.5. Vorbereitende Messungen zur Erstellung eines Messplans

Da keine Erfahrungswerte bezüglich zu erwartender PM 10-Konzentrationen unter Stallatmosphäre, also Emissionsbedingungen, zur Verfügung standen, wurden zu Beginn des Messzeitraums orientierende Messungen mit dem DIGITEL HVS DHA-80 durchgeführt, die Aussagen über die Dauer der Beaufschlagung der Großfilter lieferten. So wurde versucht eine optimale Laufzeit der Filter zu ermitteln, um zu vermeiden, dass diese überladen werden und somit aufgrund loser Materialauflage nicht auswertbar sind. Anhand dieser Ergebnisse konnte ein Messplan erstellt werden.

4.5.1. Bestimmung der optimalen Sammelzeit

Zunächst wurden unterschiedliche Sammelzeiten innerhalb 24 Stunden mit Filterwechseln nach einem Tag bzw. nach zwölf, vier, drei und zwei Stunden getestet. Hierbei stellte sich heraus, dass eine Sammelzeit von 24 Stunden, wie sie für Immissionsmessungen üblich ist, unter gegebener Stallatmosphäre nicht geeignet war. Die 24 Stunden lang beaufschlagten Filter waren überladen, so dass sie nicht ohne Substanzverluste aus dem Filterhalter entnommen werden konnten. Somit konnten diese Filter keine verwertbaren Wägeergebnisse liefern.

Zielsetzung der orientierenden Messungen war die maximale Sammelzeit pro Filter zu ermitteln, um mit vorhandener Messtechnik genügend Konzentrationswerte (24-Stunden-Werte) während des Messzeitraums zu erfassen. Hintergrund dafür sind die existierenden Immissionsgrenzwerte, die auf 24-Stunden-Werten basieren. Bei den hohen Partikelkonzentrationen im Stall lieferte eine Sammelzeit von zwei Stunden pro Filter eine homogene Beaufschlagung der Filter, wobei die eigentliche Sammelzeit 118 Minuten betrug und zwei Minuten für den automatischen Filterwechsel verwendet wurden. Durch die quasikontinuierliche Aufnahme bei Anwendung der relativ kurzen Sammelzeiten konnten zusätzliche Informationen über den Tagesgang aus den Daten ermittelt werden. So wurden nun für einen Tag als Sammelzeitraum zwölf Filter einkalkuliert, die entsprechend den beschriebenen Verfahren in der Wägekammer des NLÖ konditioniert und für den Transport zum Messstandort vorbereitet wurden.

Anzumerken sei hier, dass die als optimal ausgewählte Sammelzeit nicht unter allen Bedingungen ideal war. Denn im Verlauf der Messkampagne zeigte sich, dass auch bei zweistündiger Sammelzeit überladene, nicht auswertbare Filter auftraten. Hier wurde deutlich, dass die Beaufschlagung der Filter durch die Aktivität der Tiere stärker beeinflusst wurde als zuvor vermutet.

4.5.2. Notwendige Rahmenbedingungen für die Messungen

Zu bemerken ist, dass die anfallende Menge an Großfiltern (zwölf Filter pro Durchgang) ein entsprechendes Management der Versuchsvorbereitung erforderte, da die Kapazität für die 48-stündige Konditionierung der Filter im klimatisierten Wägelabor vor und nach dem Wiegen entsprechend begrenzt war. Um einen

reibungslosen Wechsel ohne Unterbrechung der Messung zwischen den jeweiligen Tagesdurchgängen zu gewährleisten, wurden zwei DIGITEL Filterhaltersätze mit Transportsystem, welche bis zu sechzehn Filter fassen können, verwendet. So konnten die Filterhalter nach jeder Filterentnahme gereinigt und dann mit neuen verwogenen Filtern für den weiteren Einsatz präpariert werden. Gleiches galt für den Einsatz einer zweiten Prallplatte (Abscheider) der PM 10-Ansaugsonde. Um einwandfreie Messergebnisse zu erhalten, musste eine optimale Wartung der PM 10-Ansaugsonde gewährleistet sein. So wurde die Prallplatte nach mindestens 24-stündigem Einsatz ausgetauscht. Durch zu hohe Abscheideraten auf der Prallplatte kann es sonst zu unerwünschten Beaufschlagungen der Quarzfaserfilter mit Partikeln größer als der Cut-off kommen.

Abbildung 11 zeigt links eine mit Silikonfett präparierte Prallplatte vor und rechts nach einem Durchsatz von fünfzehn Filtern.

Abbildung 11: Prallplatteneinsatz für die PM 10-Ansaugsonde

4.5.3. Einschränkungen des Messverfahrens

Einschränkungen des Messverfahrens ergaben sich aufgrund der tierartspezifischen Zusammensetzung der Stallluft. Auf einigen Filtern schlugen sich kleine Federpartikel nieder, die zur Artefaktbildung auf der sonst homogen beaufschlagten Filterfläche führten, welches unter Umständen zum Substanzverlust bei der Entnahme der Filter aus den Filterhaltern führte. Der Gehalt an Federpartikeln, die eine sehr geringe Dichte und sehr große Formenvielfalt aufweisen, zeigt deutlich

eine Problematik der Sammeltechnik auf: Die für die Sammeltechnik notwendigen Berechnungen physikalischer Größen wie beispielsweise die des Betriebsvolumenstroms basieren auf der Annahme idealerweise kugelförmiger Partikel mit definiertem Durchmesser.

Abbildung 12 verdeutlicht die Problematik der Artefaktbildung durch Federpartikel auf den Filtern. Die linke Abbildung zeigt ein Filter mit losen Federpartikeln (Pfeile), das über drei Stunden während der Mittagszeit mit einem Durchflussvolumen von 82,1 m³ beaufschlagt wurde und rechts vergleichend dazu ein zweistündig während der Nacht beaufschlagtes Filter (Durchflussvolumen von 53,8 m³), das sich über die gesamte Sammelfläche homogen darstellt und keine sichtbaren Partikelverluste aufweist. Ein ähnliches Bild wie das der Artefaktbildung stellen überladene Filter dar.

Abbildung 12: Staubbeaufschlagte Filter (links 3 Stunden, rechts 2 Stunden Sammelzeit) nach der Exposition im Putenstall

4.5.4. Zusammensetzung der Proben

An Hand der im Rahmen der vorbereitenden Messungen ausgewerteten Filter war makroskopisch schon eine Variabilität der gesammelten Partikel zu erkennen. Um weitere Hinweise auf die Zusammensetzung der PM 10 beladenen Filter zu erhalten, wurden in einem begleitenden Versuch jeweils zwei Teilfilter (Durchmesser: 39 mm) aus einem Großfilter entnommen und in einem Muffelofen bei 500 °C ausgeglüht. Die Komponenten, die beim Ausglühen verbrennen, sind Bestandteile organischer Materie oder flüchtige Substanzen.

Von einem Messdurchgang (13.03.04) wurden von jedem der zwölf zweistündig beaufschlagten Großfilter je zwei Teilfilter verascht. Da es sich um Teilfilter handelte und keine Einwaage von unbeaufschlagten Teilfiltern des selben Filters zur Verfügung stand, wurde das mittlere Gewicht aus fünf Teilfiltern eines Blindfilters, der dem gleichem Verfahren ausgesetzt wurde, bestimmt. Die ausführliche Datenreihe zu diesem Versuch befindet sich im Anhang II Tabelle 21.

Tabelle 11 zeigt die mittleren prozentualen Anteile der beiden Teilfilter des PM 10 beladenen Quarzfaserfilters an organischem Material und flüchtigen Komponenten. Organische und flüchtige Komponenten bilden dabei Anteile von 46 % bis 64 %. Median und Mittelwert liegen in diesem Fall beide bei 53 %. Der restliche Anteil ist anorganischen Komponenten der Staubfraktion (PM 10) zu zuordnen. Im Vergleich dazu gibt HARTUNG J. (2005) einen Anteil von organischem Material an üblichem Stallstaub von etwa 90 % an, wobei hier keine differenzierte Staubfraktion angegeben ist.

Tabelle 11: Prozentuale mittlere Anteile organischer Substanz (OS) und flüchtiger Komponenten an den mit PM 10 beladenen Quarzfaserfiltern (Messdurchgang am 13.03.04)

Probe-Nr.	Startzeit [Uhrzeit]	%-Mittelwert OS + flüchtige Komponenten
267	0:00	52
268	2:00	52
269	4:00	61
270	6:00	53
271	8:00	48
272	10:00	47
273	12:00	47
274	14:00	54
275	16:00	64
276	18:00	63
277	20:00	54
278	22:00	46

4.5.5. Erstellung eines Messplans

Mittels der Ergebnisse der orientierenden Messungen zu den PM 10-Konzentrationen wurde ein Messplan für die folgende Datenerhebung erstellt. Dieser wurde so gestaltet, dass ein möglichst großes Spektrum an Aktivitätszeiten der Tiere erfasst werden konnte, wie es beispielsweise die „aktivere Zeit“ der Futteraufnahme darstellt. Es wurden aber auch Messungen an Tagen mit geringerer Beeinflussung der Tiere durch die äußere Umwelt, wie z. B. an Wochenenden, durchgeführt. Anzumerken ist, dass im Verlaufe des Messzeitraums abnehmende PM 10-Konzentrationen pro Filter ermittelt wurden, und daher erneut auch Durchgänge mit drei- und vierstündigem Filterwechsel pro Tagesgang ausgetestet wurden.

4.6. Verfahren zur Bestimmung der einatembaren Staubfraktion (PM 100)

Zur Erfassung der einatembaren Staubfraktion (PM 100 bzw. ID) wurde ein für Arbeitsplatzmessungen etabliertes Messsystem verwendet, welches nach dem Sammelverfahren der Filtration arbeitet. Ebenso wie PM 10 wurde ID gravimetrisch bestimmt. Im Folgenden wird das Probenahmeverfahren dargestellt.
Da das Problem mit verschiedensten Begriffen zu gewählter Staubfraktion aus der Literatur bekannt ist (vgl. HARTUNG E., 2005), soll im Folgenden ID klar als PM 100 definiert sein. Mit der synonymen Verwendung soll eine bessere Lesbarkeit in Abbildungen und Tabellen im Bezug zu PM 10 erreicht werden.

4.6.1. Bestimmung der Massenkonzentration von ID (PM 100)

Der einatembare Staub (ID) wurde auf einem Kleinfilter gesammelt und seine Masse anschließend gravimetrisch bestimmt. Die hierzu verwendeten Glasfaserfilter (Whatman, Maidstone, UK) mit einem Durchmesser von 25 mm und einer effektiven Sammelfläche von 0,0005 m² wurden nach Vorschrift zusammen mit der Filterkassette des Messsystems in der lufttemperatur- und luftfeuchtigkeitsregulierten Wägekammer 48 Stunden konditioniert und ihr Gewicht mit einer Semimikrowaage Typ MC 210 P (Fa. Sartorius, Göttingen, Deutschland) bestimmt. Der Quotient aus der durch Differenzwägung ermittelten Partikelmasse und dem von der Pumpe erzeugten Volumenstrom ergibt die angegebene

Massenkonzentration in $\mu g \cdot m^{-3}$. Wie bei den Quarzfaserfiltern zur Bestimmung von PM 10 wurden auch für die Glasfaserfilter je angefangener Filtercharge drei Laborkontrollen und Transportkontrollen angelegt.

4.6.2. Zur Bestimmung von ID eingesetztes Messsystem

Im Mastputenstall wurde zur diskontinuierlichen Erfassung der einatembaren Staubkomponente (ID) über 24 Stunden ein IOM-Staubsammelsystem in Kombination mit einer SKC-Pumpe (SKC Inc. USA) verwendet. Das IOM-SKC-Messsystem ist für die personenbezogene Messung an Arbeitsplätzen durch das Institute of Occupational Medicine (IOM, Edinborough, UK) entwickelt worden und versucht näherungsweise die Gegebenheiten beim menschlichen Einatmungsprozess zu simulieren. Die SKC-Pumpe wurde auf eine Durchflussrate von 2,5 $l \cdot min^{-1}$ (= 0,15 $m^3 \cdot h^{-1}$) eingestellt, welche dem Volumenstrom bei der Einatmung des Menschen näherungsweise entspricht. Im Gegensatz zum eingesetzten HVS System besitzt die SKC-Pumpe keine selbstregulierende Funktion bezüglich des Volumenstroms, so dass sich für eine 24 Stunden dauernde Messung rechnerisch stets ein Volumenstrom von 3,6 m^3 ergibt. Vor jeder Messung wurde die SKC-Pumpe mit einem Einzelrohrströmungsmesser auf ihre Durchflussleistung überprüft. Die aktive Sammelzeit für die eingesetzten Glasfaserfilter betrug 1440 Minuten (entspricht 24 Stunden). Die Möglichkeit der Startzeitwahl durch eine Timer-Einstellung an den Pumpen ermöglichte eine zeitgleiche Erfassung der beiden Staubkomponenten. Neben der aktiven Beaufschlagung der Filter wurde zu jeder durchgeführten 24-Stunden Sammlung von ID eine passive Kontrolle angelegt. Hierfür wurde eine nicht an eine Pumpe angeschlossene IOM-Filterkapsel unter gleichen Bedingungen (Ausrichtung und Standort) der Stallluft exponiert. Hierdurch ließen sich später die nicht durch die Ansaugleistung bedingten Staubablagerungen auf den vom Luftstrom durchflossenen Filtern korrigieren. Neben den passiven Filterkontrollen wurden Verfahrenskontrollen angelegt, die die gleichen Handhabungen wie die übrigen Filter bezüglich Lagerung, Konditionierung, Einlegen in Filterkassetten und Transport erfuhren. Allerdings wurden diese Kontrollen nicht der Stallatmosphäre ausgesetzt. So konnten die Ergebnisse gegen Verluste an Filtermaterial, wie sie beispielsweise durch Abrieb beim Transport vor allem bei Glasfaserfiltern vorkommen können, abgesichert werden.

In Abbildung 13 ist das aus mehreren Komponenten bestehende System der eingesetzten IOM-Filterkapsel dargestellt.

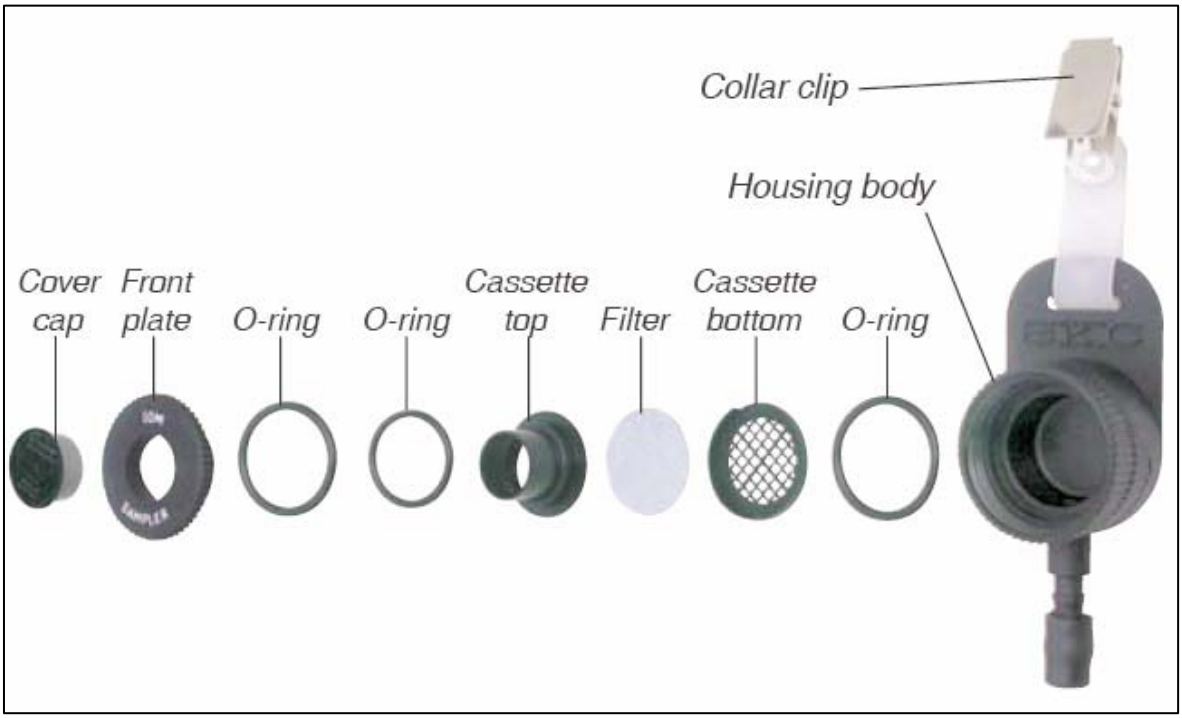

Abbildung 13: Bestandteile der IOM-Filterkapsel des IOM-Inhalable Dust Samplers (SKC, http://www.skcshopping.com/ProductDetails.asp?ProductCode=225-70A&Show=ExtInfo, Stand: 07.05.06)

Beim Einsatz des Systems ist zu beachten, dass das eingelegte Filter laut Vorschrift mit Kassettenboden (Cassette Bottom) und Kassetten-Top zusammen konditioniert und ausgewogen werden muss. Nach jedem Einsatz wurden die Einzelteile der IOM-Filterkapsel für erneute Messungen gereinigt, desinfiziert, im Trockenschrank getrocknet und danach im Wägeraum konditioniert. Die Reinigung und vor allem die Desinfektion der Materialien waren insbesondere für die spätere einwandfreie Endotoxinanalytik der Filter als Begleitmessung von Bedeutung.

4.7. Anordnung der Messpositionen der beiden Messsysteme

Im Folgenden werden Standort und Messposition der Messgeräte zur PM 10- und ID-Bestimmung näher beschrieben. Als problematisch stellte sich heraus, dass diese beiden Parameter nicht frei wählbar waren. Die dafür verantwortlichen Gründe und ermittelten Lösungsansätze werden nachstehend erläutert.

4.7.1. Standort des DIGITEL HVS DHA-80 und des IOM-SKC-Messsystems

Aus früheren Arbeiten von HINZ und LINKE (1999) geht hervor, dass in einem naturbelüfteten Stall durch Simulationsrechnungen der Geschwindigkeits- und Schadstoffverteilung eine zentrale Messstelle geeignet ist, um den Einfluss der die Stallluftqualität bestimmenden Parameter wiederzugeben. Dieser Anhaltspunkt konnte allerdings für das Aufstellen des DIGITEL HVS DHA-80 nur bedingt berücksichtigt werden. Mehrere Gegebenheiten während des Messzeitraums mussten beachtet werden: Bei Arbeiten im Stall, wie die Verteilung oder das Grubbern der Einstreu, sollte das große Sammelgerät nicht behindern, um so ein Verschieben des HVS und des anhängenden IOM-SKC-Messsystems von der gewählten Position zu verhindern. Denn für die einwandfreie Funktionstüchtigkeit des DIGITEL HVS DHA-80 ist eine genaue waagerechte Ausrichtung von großer Bedeutung. Außerdem musste für einen reibungslosen Betrieb des DIGITEL HVS DHA-80 eine kontinuierliche Stromzufuhr gewährleistet sein. Zudem durften die Messungen nicht dem direkten Einfluss von Störgrößen unterliegen, wie es beispielsweise erhöhte Luftbewegungen in direkter Fensternähe oder unter den Abluftanlagen im First darstellen. Aus genannten Gründen ergaben sich nur wenige Möglichkeiten der Platzierung im Stall.

Abbildung 14 zeigt den ausgewählten Standort im Offenstall mit Holzspäneeinstreu und den hier etwa 35 Tage alten Puten. Im Vordergrund der Abbildung ist der DIGITEL HVS DHA-80 zu sehen. Auf der rechten Seite des Bildes sind die Futter- und Tränkeeinrichtungen für die eingestallten Putenhähne zu erkennen. Außerdem sind hier die rot erleuchteten Gasheizstrahler zu sehen, die, vor allem während Zeiten kalter Außentemperaturen, die Stallluft für die jungen Puten auf die notwendige Stallufttemperatur aufheizen. Die Jalousien zur Regulierung der Frischluftzufuhr und Luftabfuhr sind auf dieser Darstellung geöffnet.

Abbildung 14: Standort der Messgeräte sowie Futter- und Tränkeeinrichtungen des frei gelüfteten Mastputenstalls mit etwa 35 Tage alten Puten

4.7.2. Messposition zur Bestimmung von PM 10 und ID

Nach der VDI-Richtlinie DIN EN 12341 „Ermittlung der PM 10-Fraktion von Schwebstaub“ ist für Immissionsmessungen zur Bestimmung von PM 10 eine Messhöhe von 2 m vorgeschrieben. Diese Höhe war aufgrund der Gerätebauweise für die Installation im Immissionsbetrieb fest vorgegeben und konnte mit dem verwendetem Gerät nicht unter- oder überschritten werden. Anzumerken ist hier, dass nach Rücksprache mit dem Hersteller des DIGITEL HVS DHA-80 die Ansaugsonde entsprechenden Messhöhen angepasst werden könnte. Diese Option war allerdings innerhalb des vorgesehenen Messzeitraums nicht mehr umsetzbar. Das Messsystem zur Erfassung der ID-Komponente war dagegen in seiner Höhenpositionierung variabel einsetzbar, welches ein Vorteil insbesondere bei personenbezogenen Messungen darstellt. Die Installation der IOM Filterkapseln zur aktiven und passiven Erfassung der einatembaren Staubfraktion erfolgte, wie es für Arbeitsplatzmessungen mit Hilfe des personenbezogenen IOM-SKC-Sammelsystems üblich

ist, auf Höhe der menschlichen Einatemtätigkeit in etwa 1,50 m über dem Boden. Auf eine Installation auf gleicher Messhöhe wie die PM 10-Beprobung wurde verzichtet, da die vorliegenden stallinternen Daten auf Arbeitshöhe erfasst wurden und die Ergebnisse daher mit diesen vergleichbar sind. Dies ist natürlich bei der späteren Aus- und Bewertung der erhobenen Daten der beiden Sammelsysteme zu berücksichtigen.

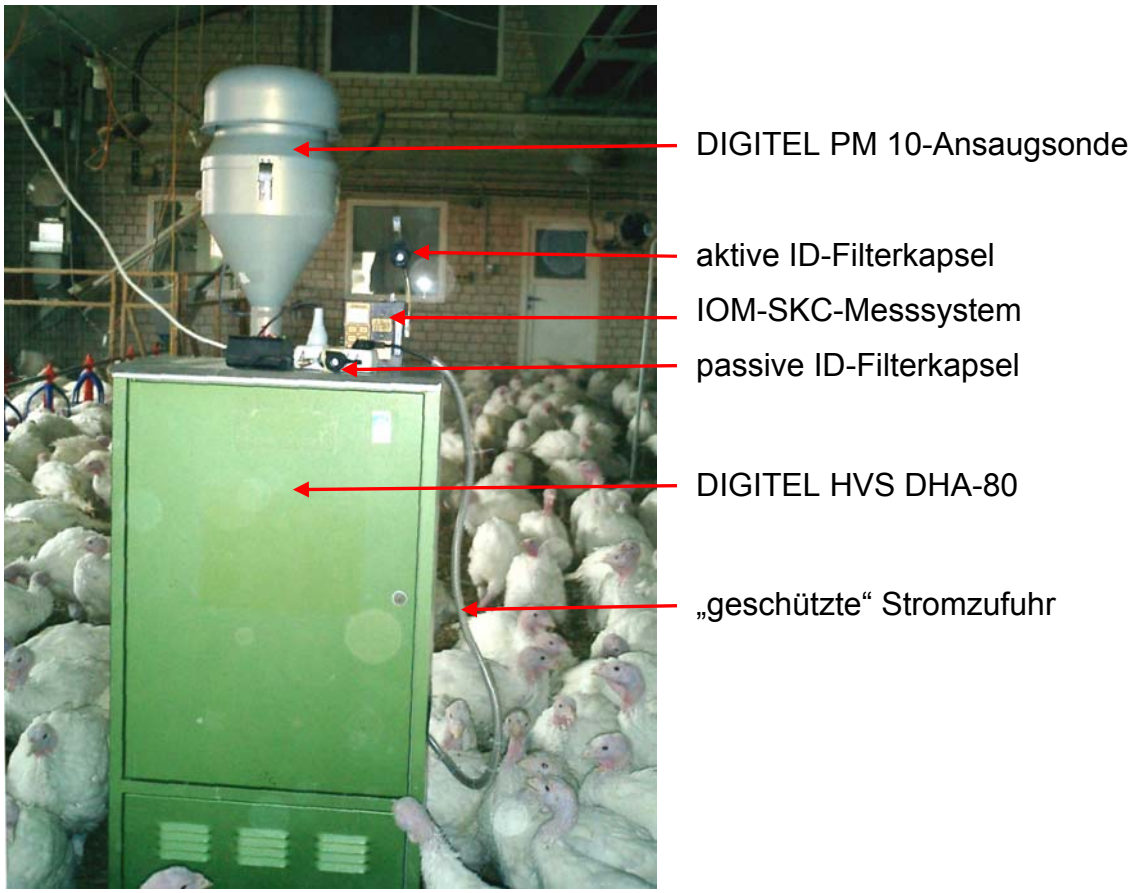

Abbildung 15: DIGITEL HVS DHA-80 mit PM 10-Ansaugsonde und IOM-SKC-Messsystem im Putenstall

Abbildung 15 zeigt die Konstellationen der Messsysteme zueinander. Hier sind außerdem einige Maßnahmen zur Sicherung der Messanordnung, die aufgrund des neugierigen Explorationsverhaltens der Tiere notwendig wurden, zu sehen. So musste beispielsweise das freiliegende Stromkabel zusätzlich durch einen Plastikschlauch gesichert werden oder das auf dem Metallgehäuse des Sammlers stehende IOM-SKC-Messsystem stets mit Klebeband fixiert werden.

4.8. Übersicht über die Anzahl erhobener 24-Stunden Messungen

Am Ende des 69 Tage dauernden Messzeitraums ergaben sich aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten der Messsysteme fünfzehn zeitlich parallel erfasste 24-stündige Sammlungen von PM 10 und ID. Diese Anzahl (n = 15) stand zur gemeinsamen statistischen Analyse zur Verfügung. Die Anzahl der Erhebungen sowie die Zahl der jeweilig bestimmten Endotoxinanalysen sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Anzahl der durchgeführten 24-stündigen Messungen von PM 10 und ID

	PM 10	**ID**
Messzeitraum (Tage)	69	
Anzahl der Messungen (24-stündige Tagesdurchgänge)	38	21
Anzahl der parallel erfassten Messungen	15	
Analyse der Endotoxine (Anzahl der Tagesgänge)	3	20

4.9. Arbeitsanweisungen und Protokollblätter

Da bisher für Emissionsmessungen in frei gelüfteten Nutztierhaltungen keine einheitlichen Standards existieren und da die Standardisierung von Messungen nur mit Versuchsplanungen und entsprechender Dokumentation einhergehen können, wurden im Rahmen dieser Arbeit für das zu prüfende Messsystem DIGITEL HVS DHA-80 speziell für den Einsatz im Geflügelstall Arbeitsanweisungen sowohl für den Stall als Ort der Probenahme (Stationsprotokoll, siehe Abbildung 16) wie auch für das Arbeiten im Labor ausgearbeitet. Die Arbeitsanweisungen bzw. Protokolle zur Probenahme sind als Checklisten zu verstehen, die wichtige dokumentationspflichtige Elemente enthalten.

Stationsprotokoll: DIGITEL HVS DHA-80 Blatt Nr. ____

Messstation				Jahr		Monat
Messgerät-Nr.		Steuerung		Durchflußrate		m³/min
Startzeit (Uhrzeit)		Pausenzeit		min		
		Beaufschlagungszeit		min		
Filtertyp		Porengröße		µm		

lfd. Nr.	Filter Nr.	Filterhalter Nr.	Probenahme Datum	Normvolumen [m³]	Bemerkungen
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Abbildung 16: Stationsprotokoll DIGITEL HVS DHA-80

Aufgrund der wiederkehrenden Forderungen von Experten ist ein weiteres Protokollblatt zur Aufnahme der Rand- und Nebenbedingungen erstellt worden. Die Festlegung geeigneter und eventuell parallel zu erfassender Randparameter kann nach HARTUNG E. (2005) einen wesentlichen Beitrag zur Interpretation der erhobenen Daten leisten und deren kritische Qualitätsbewertung und -einstufung unterstützen. So konnte beispielsweise in vorliegender Arbeit anhand der Aufzeichnung der Einstreuphasen ein erheblicher Einfluss dieser auf die Staubkonzentrationen ausgeschlossen werden. Abbildung 17 zeigt das Protokollblatt zur Aufnahme der Rand- und Umgebungsbedingungen. Für das Arbeiten im Labor wurden ebenfalls eine Arbeitsanweisung „Handhabung Filter“ (siehe Abbildung 18), die die Vorgehensweise der gravimetrischen Filteranalyse beinhaltet, sowie Protokollblätter zur Wägung entworfen.

Alle entworfenen Hilfsmittel wie Checklisten und Protokollblätter befinden sich im Anhang I dieser Arbeit. Die Listen können, bedingt durch ihr tabellarisches Format, einfach auf andere Gegebenheiten übertragen und entsprechend abgeändert werden, um so die eigene Versuchsplanung zu erleichtern und das Zeitmanagement zu optimieren.

Protokollblatt: Rand- und Umgebungsbedingungen Blatt Nr. ____

Messstation _____ Jahr ____ Monat ____

Ort _____

Tierart _____

Tieralter _____ Geschlecht _____

Aufstallungsform _____

Beleuchtungsregime _____

Stalldurchgang _____

Stallgebäude / Stall-Abteil

Maße (Größe) _____

Art + Anzahl der Funktionsbereiche _____

Einstreu

Material _____ Technik _____

Einstreuphasen _____

Futter / Fütterung

Zusammensetzung _____

Technik _____

Fütterungszeit _____

Lüftung

Lüftungsart _____

Luftwechselrate _____ [ ]

Lufttemperatur _____ [ ] Luftfeuchte _____ [ ]

Erfassung Stallklima (durch Landwirt selbst) Nein O Ja O

kontinuierlich O diskontinuierlich O Daten-Sicherung Nein O Ja O

eingesetzte Messinstrumente _____

Parameter, die erfasst werden sollten: _____

Entmistung

Technik _____ Häufigkeit _____

Bodenoberfläche _____

Geruch im Stall _____

Emissionsminderungsmaßnahmen

_____

Säuberungs- und Hygienemaßnahmen

_____

staubreduzierende Maßnahmen (z. B. Ölapplikation zum Futter, Luftbefeuchtung,..)

_____

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Abbildung 17: Protokollblatt: Rand- und Nebenbedingungen

Checkliste - Labor: Handhabung FILTER Blatt Nr. ____

Wägelabor (Ort)		Jahr		Monat	
Waagentyp		Filtermedium		Format	

Handhabung der Quarzfaserfilter zur Erfassung von PM 10

Filter stets mit einer sterilen Pinzette nur randständig erfassen!

Präparation der Filter

- Nummerierung des unteren Filterrandes durch Stempeln
- Einlegen des Filters in eine vorbereitete beschriftete Glaspetrischale
- Äquilibrierung der Filter in der klimatisierten Wägekammer für 48 Stunden in nicht vollständig abgedeckten Glaspetrischalen

Gravimetrische Filteranalyse

- Filter ausschließlich mit steriler Pinzette am Rand erfassen
- bei jeder Ein- bzw. Rückwaage Laborkontrollen mitverwiegen
- Filter bis zur Gleichgewichtseinstellung auswiegen (120 sec) (STOPPUHR)
- ermitteltes Gewicht und Wert der relativen Feuchte im Protokollblatt notieren

Gewichtsbestimmung

- Rückwaage - Einwaage = Gewicht "Feinstaub"
- Feuchtekorrektur durch Bestimmung des Mittelwertes der Laborkontrollen
- Korrektur durch Bestimmung des Mittelwertes Transportkontrolle

Bestückung der Filterhalter

- mittels steriler Pinzette Filter am Rand erfassen
- in den gereinigten und desinfizierten Filterhalter einlegen
- Silikonring auflegen
- Filterspannring mit zugehöriger Pinzette aufsetzen
- bestückte Filterhalter für den Weg zum Einsatzort in den verschließbaren Transportbehälter legen

Entnahme aus den Filterhaltern

- Filterspannring mit zugehöriger Pinzette entfernen
- Silikonring vorsichtig mit steriler Pinzette entfernen
- mittels steriler Pinzette Filter am Rand erfassen
- vorsichtig in eine gereinigte und desinfizierte Glaspetrischale einlegen

Reinigung und Desinfektion der Filterhalter (mit Filterspann- und Silikonringen)

- nach Entnahme der beaufschlagten Filter ist der komplette Filterhalter zu reinigen
- je nach Fragestellung der zu untersuchenden Parameter (z. B. Untersuchung auf Endotoxine) ist ggf. eine Desinfektion der Filterhalter notwendig

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Abbildung 18: Checkliste - Labor: Handhabung Filter

4.10. Begleitmessungen und ergänzende Datenerhebung

Begleitend zu den Messungen von PM 10 und ID wurden aufgrund ihrer besonderen medizinischen Relevanz Endotoxineinheiten (EU) von einigen der staubbeaufschlagten Filtern bestimmt. Außerdem wurden Daten zum Stall- und Tiermanagement sowie die Wetterdaten der klimatologischen Messstation des Lehr- und Forschungsguts Ruthe zur Ermittlung eines möglichen Witterungseinflusses auf die Messergebnisse erfasst.

4.10.1. Bestimmung der Endotoxine

Aufgrund genannter Bedeutung hinsichtlich der negativen Beeinflussung der menschlichen und tierischen Gesundheit durch Endotoxine sowie ihrer engen Verbundenheit mit unterschiedlichen Staubfraktionen wurden die Endotoxinaktivitäten von den PM 10- und ID-Staubproben als Begleitmessung aufgenommen.
Endotoxine sind hochmolekulare, thermostabile Heteropolymere der Zellwandstruktur gram-negativer Bakterien, die zum größten Teil aus Lipopolysacchariden (LPS) bestehen und als einzelnes Membranfragment oder Aggregat vorkommen können. Luftgetragene Endotoxine sind als Aggregate oft mit Stäuben verbunden und besitzen arbeits- und umweltmedizinische Relevanz. Sie sind als gesundheitlich problematisch anzusehen, da sie lange in der Umwelt persistieren und sich im menschlichen und tierischen Organismus nachteilig auswirken können. Endotoxine können im Organismus pyrogene Wirkung entfalten sowie Symptomatiken der Entzündung hervorrufen. Auch Schocksymptomatiken können durch diese Heteropolymere entstehen. Die Aggregation mehrerer LPS-Moleküle korreliert positiv mit ihrer Toxizität (vgl. HARTUNG, 2002).
Die Endotoxinaktivitäten der Staubproben wurden mit dem chromogen-kinetischen Limulus-Amoebozyten-Lysat-Test (LAL-Test) bestimmt. Diese Analyse wurde auf Grundlage nationaler und europäischer Empfehlungen und Normen durchgeführt.
Die Proben wurden zunächst in wässriger endotoxinfreier Lösung extrahiert. Der Extraktion schließt sich unmittelbar die Analyse mit dem LAL-Test an. Eine definierte Menge an Extraktionslösung wird mit dem LAL-Substrat-Reagenz versetzt und zur photometrischen Auswertung in ein kinetikfähiges temperierbares Photometer (Kinetic-QCL-Reader) eingesetzt. Das in der Probe enthaltene Endo-

toxin katalysiert nun bei 37 °C die Spaltung des farblosen Reagenz, wobei ein gelber Farbstoff entsteht. Die fortschreitende Reaktion wird bei einer Wellenlänge λ von 405 nm in definierten Abständen gemessen. Die Reaktionszeit ist umgekehrt proportional zur vorhandenen Endotoxinaktivität. Die Ergebnisse werden gegen eine Standardkurve abgeglichen. Die Angabe der Endotoxinaktivitäten der Luftstaubproben erfolgt in Endotoxin-Einheiten pro Probenahmevolumen [$EU \cdot m^{-3}$]. Zur routinemäßigen Analyse der Endotoxinaktivitäten der ID Staubproben wurden die kompletten Kleinfilter verwendet. Für die mit PM 10 beaufschlagten Großfilter standen noch keine Erfahrungswerte in der Endotoxinbestimmung zur Verfügung. Wegen des hohen Analysenaufwands und Materialverbrauchs beim LAL-Test konnten nur Teilfilter der großen Quarzfaserfilter mit einem Durchmesser von 39 mm untersucht werden. Dabei können die Teilfilter, aufgrund der in zahlreichen Analysen bestätigten vorteilhaften Eigenschaft der gleichmäßigen Beaufschlagung der Großfilter durch die Probenahme mittels DIGITEL HVS DHA-80, als repräsentativ betrachtet werden. Zunächst wurden drei mal fünf Teilfilter (Durchmesser 39 mm) eines Großfilters analysiert und ausgewertet. Da die Endotoxin-Analytik durch ihren Material- und Arbeitsaufwand sehr kostenintensiv ist, wurde nach Bewertung der ersten Ergebnisse für eine weitere Endotoxinanalyse aus den PM 10-Großfiltern entschieden, dass jeweils zwei Teilfilter als repräsentativ anzunehmen sind. Dennoch variieren die Ergebnisse der beiden Teilfilter eines Großfilters zum Teil stark, welches aber auch durch die Schwierigkeit der Endotoxinanalytik im Allgemeinen bedingt ist.

4.10.2. Daten zu den Mastputen im Stallabteil 1 in Ruthe

Während des Messzeitraums wurde zur detaillierteren Interpretation der Messdaten von PM 10 und ID der Verlauf des Mastgewichts der Tiere und die Gegebenheiten oder speziellen Ereignisse zum Stall- und Tiermanagement erfasst. Aufgenommen wurden die Tage, an denen der Stallboden eingestreut wurde und Tage, an denen den Puten der Wintergarten zur Verfügung stand. Die Tabelle mit entsprechenden Eintragungen befindet sich im Anhang V (Tabelle 1) dieser Arbeit. Da die Aktivität der Tiere von der Helligkeit im Stall beeinflusst wird, und zu vermuten war, dass dies Einfluss auf die Staubemission hat, werden an dieser Stelle die kontrollierten Lichtverhältnisse im Stall erläutert. Im Putenstall in Ruthe wird die Stallbeleuch-

tung durch ein „Lichtprogramm“ geregelt, so dass die Puten kontrollierter Helligkeit ausgesetzt werden können. Kunstlicht und Tageslicht sind dabei auf einander abgestimmt. Die Regelung des natürlichen Lichteinfalls ist ebenso wie die Be- und Entlüftung des Stalls vom Öffnungsgrad der Jalousien abhängig, so dass tagsüber bei Bedarf künstliches Licht zugeschaltet werden kann. Während des Messzeitraumes war in der Zeit von 22 Uhr bis 6 Uhr das künstliche Licht bis auf ein Notlicht ausgeschaltet.

4.10.3. Klimadaten der Klimamessstation Ruthe

Die meteorologischen Klimadaten der Messstation Lehr- und Forschungsgut Ruthe wurden während des Messzeitraums vom 07.01.2004 bis 15.03.2004 als stündliche Mittelwerte erfasst. Aufgezeichnet wurden folgende klimatologischen Parameter: Lufttemperatur [°C], relative Luftfeuchte [%], Luftdruck [hPa], Niederschlag [mm], Windgeschwindigkeit [m/s], Windmaximum [m/s], Windrichtung [°], Globalstrahlung [W/m²], UV-Strahlung [W/m²], Beleuchtungsstärke [lux] und die Verdunstung nach Haude [mm]. Die aufgenommenen Daten sind im Anhang V (Tabelle 2 und 3, Abbildung 1) aufgeführt.

4.11. Statistische Auswertung

Dargestellt werden die angewandten Verfahren der Statistik zur Darstellung und Interpretation der erhobenen Staubkonzentrationen.

4.11.1. Deskriptive Statistik

Aufgrund der, statistisch betrachtet, geringen Anzahl n an Messdaten je Messmethodik, welche durch die eingesetzte Messtechnik und die zur Verfügung stehenden Ressourcen begrenzt wurde, wurden im Wesentlichen die Methoden der deskriptiven Statistik zur Auswertung der ermittelten Daten angewandt. Die Ergebnisse wurden tabellarisch oder graphisch dargestellt und interpretiert.

4.11.2. Analytische statistische Auswertungen

Mit Hilfe von Tests der analytischen Statistik wurden die parallel erfassten PM 10- und ID-Werte untersucht. Zielsetzung der zeitgleichen Erfassung war eine Korrelation zwischen PM 10 und ID zu ermitteln, welche wegen der geringen Anzahl von Messungen jedoch erst durch deutlich umfangreichere Messreihen bestätigt werden muss. Die analytisch statischen Auswertungen und Erstellungen von Diagrammen erfolgte mit „Statistica Version 6“ einem Softwareprogramm zur Datenanalyse der Firma StatSoft INC 1984-2001.

5. Ergebnisse

Einleitend sind die ermittelten PM 10- und ID-Konzentrationen im Einzelnen, ihre Häufigkeitsverteilung und die Entwicklung der Konzentrationen während des Messzeitraums dargestellt. Die Abhängigkeit der PM 10-Konzentrationen von der Tieraktivität wird anhand differenzierter Betrachtung von Wochentagen und Wochenenden beziehungsweise Tag- und Nachtphasen untersucht. Es folgen Ergebnisse der untersuchten Abhängigkeit der beiden Staubfraktionen untereinander. Im Anschluss stehen die Ergebnisse der Begleitmessungen zu den Endotoxinanalysen beider Staubkomponenten.

Tabelle 13 zeigt die den einzelnen PM 10-Messkampagnen zugeordneten Probenahmezeiträume, die Laufzeit pro Filter, die Anzahl der Filter pro Messkampagne sowie die zugehörigen Filternummern.

Tabelle 13: Messkampagnen „PM 10“

Mess-kampagne	Probenahmezeitraum [tt.mm.jjjj]		Laufzeit/ Filter [h]	Filter-Nr.
	von	bis		
1	05.01.2004	18.01.2004	24	1678-1692
2	20.01.2004	27.01.2004	12	1693-1707
3	28.01.2004	29.01.2004	2	1709-1723
4	30.01.2004	31.01.2004	2	1724-1738
5	03.02.2004	04.02.2004	3	1739-1753
6	06.02.2004	08.02.2004	3	1754-1768
7	11.02.2004	13.02.2004	4	1769-1783
8	14.02.2004	16.02.2004	3	1784-1798
9	17.02.2004	18.02.2004	2	1799-1813
10	22.02.2004	23.02.2004	2	1814-1828
11	25.02.2004	26.02.2004	2	1829-1843
12	27.02.2004	28.02.2004	2	1844-1858
13	02.03.2004	03.03.2004	2	1859-1873
14	03.03.2004	04.03.2004	2	1874-1888
15	09.03.2004	10.03.2004	2	1889-1907
16	10.03.2004	11.03.2004	2	1908-1918
17	11.03.2004	12.03.2004	2	1919-1933
18	12.03.2004	13.03.2004	2	1934-1955
19	14.03.2004	16.03.2004	12	1956-1958

Tabelle 14 gibt die Anzahl der mittleren PM 10-Konzentrationen in Abhängigkeit des jeweiligen Messprogramms, welches die Laufzeit pro Filter beinhaltet, wieder.

Tabelle 14: Anzahl n der ermittelten mittleren PM 10-Konzentrationen in Abhängigkeit des Messprogramms

Filterwechsel alle	24 h	12 h	4 h	3 h	2 h
Anzahl n	11	8	2	3	14

5.1. PM 10-Konzentration

Zur Bestimmung der PM 10-Konzentration wurden die jeweilige Partikelmasse auf den beaufschlagten Großfiltern und das durch die Filter durchgesetzte Luftvolumen bestimmt. Die Partikelmasse wurde gravimetrisch in einer klimatisierten Wägekammer unter Korrektur der Werte der angelegten Labor- und Transportkontrollen ermittelt. Das zur Berechnung der Massenkonzentration der Staubfraktion notwendige Volumen pro Filter ist der auf 101,3 kPa normierte Betriebsvolumenstrom des HVS, der dem Protokollausdruck des Sammlers direkt entnommen werden kann. Der Quotient beider Werte ergibt die Konzentration von PM 10 in der Einheit $mg \cdot m^{-3}$. Für alle Messprogramme mit mehr als einem Filter pro 24 Stunden wurden aus den Einzelwerten die mittleren PM 10-Konzentrationen für 24 Stunden berechnet. Diese mittleren PM 10-Konzentrationen sind in Tabelle 15 dargestellt. Zusätzlich sind neben dem Probenahme-Datum, der Masttag, der Wochentag, der Erfassungszeitraum insgesamt, das erfasste auf 101,3 kPa normierte Volumen und die Laufzeit pro Filter aufgeführt.

Tabelle 15: Mittlere PM 10-Konzentrationen

Probenahme Datum	Mast-tag	Wochen-tag	PM 10-Konzentration [mg•m^{-3}]	Erfassungs-zeitraum [min]	Erfasstes Volu-men* [m³]	Lauf-zeit/ Filter [h]	Mess-kampagne
06.01.2004	34	Di	2,44	1366	606,00	24	1
07.01.2004	35	Mi	1,41	1427	641,19	24	1
08.01.2004	36	Do	1,43	1440	648,24	24	1
10.01.2004	38	Sa	0,98	1440	645,06	24	1
11.01.2004	39	So	0,67	1440	649,30	24	1
12.01.2004	40	Mo	0,63	1440	647,28	24	1
13.01.2004	41	Di	0,63	1440	643,43	24	1
14.01.2004	42	Mi	0,61	1440	643,56	24	1
15.01.2004	43	Do	1,00	1440	641,88	24	1
16.01.2004	44	Fr	0,96	1440	644,68	24	1
17.01.2004	45	Sa	0,83	1440	644,21	24	1
18.01.2004	46	So	1,42	1440	644,79	24	1
20.01.2004	48	Di	1,57	1438	650,70	12	2
21.01.2004	49	Mi	1,77	1438	653,40	12	2
22.01.2004	50	Do	1,87	1438	653,09	12	2
23.01.2004	51	Fr	1,90	1438	650,67	12	2
24.01.2004	52	Sa	2,04	1438	648,04	12	2
25.01.2004	53	So	1,66	1438	651,72	12	2
26.01.2004	54	Mo	1,70	1438	651,56	12	2
28.01.2004	56	Mi	2,44	1425	642,11	2	3
29.01.2004	57	Do	/	/	/	/	/
30.01.2004	58	Fr	2,02	1425	645,21	2	4
03.02.2004	62	Di	0,77	1428	653,73	3	5
06.02.2004	65	Fr	/	/	/	/	/
07.02.2004	66	Sa	1,11	1428	647,00	3	6
08.02.2004	67	So	/	/	/	/	/
11.02.2004	70	Mi	0,98	1431	657,24	4	7
12.02.2004	71	Do	1,24	1432	655,95	4	7
14.02.2004	73	Sa	0,94	1430	654,80	3	8
17.02.2004	76	Di	0,83	1425	655,50	2	9
22.02.2004	81	So	1,03	1425	650,25	2	10
25.02.2004	84	Mi	1,54	1425	646,68	2	11
27.02.2004	86	Fr	1,88	1425	644,33	2	12
02.03.2004	90	Di	0,56	1425	663,39	2	13
03.03.2004	91	Mi	0,92	1425	661,93	2	14
04.03.2004	92	Do	1,41	1425	661,92	2	14/15
09.03.2004	97	Di	1,28	1425	661,53	2	15/16
10.03.2004	98	Mi	1,12	1425	663,50	2	16/17
11.03.2004	99	Do	1,27	1425	661,90	2	17
12.03.2004	100	Fr	1,10	1425	658,52	2	18
13.03.2004	101	Sa	0,71	1425	656,96	2	18/19
14.03.2004	102	So	/	/	/	/	/
15.03.2004	103	Mo	/	/	/	/	/
16.03.2004	104	Di	0,73	1438	663,46	12	19

Erläuterungen: * auf 101,3 kPa korrigiertes Volumen; / = keine Messung erfolgt

Nachfolgend werden die mittleren PM 10-Konzentrationen in ihrer Häufigkeitsverteilung sowie ihrer Entwicklung über den gesamten Messzeitraum dargestellt. Zur ersten Abgrenzung des Einflusses der tageszeitlich schwankenden Tieraktivitäten auf die Staubkonzentration wurde die mittlere PM 10-Konzentration im Hinblick auf Unterschiede zwischen Werktagen (Wochentage Montag bis Freitag) und Wochenenden (Samstag und Sonntag) sowie die Tagesgänge des Messprogramms mit Filtern mit zwei Stunden Sammelzeit auf Unterschiede zwischen Tag- und Nachtphasen hin analysiert.

5.1.1. Häufigkeitsverteilung der mittleren PM 10-Konzentrationen

Abbildung 19 zeigt das aus den 39 berechneten mittleren PM 10-Konzentrationen erstellte Histogramm. Die Häufigkeitsverteilung ist in 0,5-mg•m^{-3}-Klassen aufgeteilt, wobei vier von den fünf dargestellten Kategorien besetzt sind.

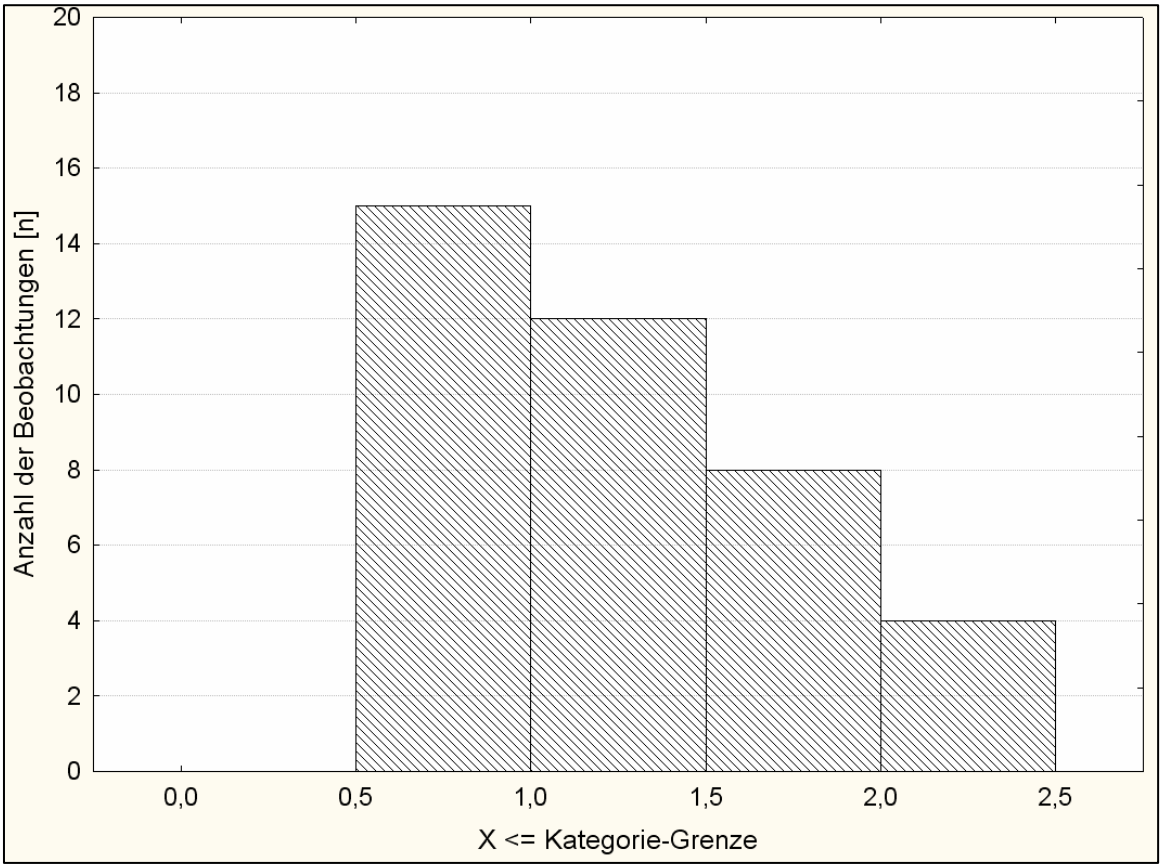

Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der erhobenen mittleren PM 10-Konzentrationen (n = 39, Anzahl der Kategorien = 5)

Es lassen sich eindeutige Häufungen der Messwerte erkennen. Fast 70 % (Anzahl der Beobachtungen n = 27) der PM 10-Konzentrationen liegen im Bereich 0,50 mg•m^{-3} bis 1,49 mg•m^{-3}. Nur 10 % der Werte liegen über 2 mg•m^{-3}. Im Messzeitraum wurden keine Werte kleiner 0,5 mg•m^{-3} bestimmt, daher ist hier diese Kategorie unbesetzt.

5.1.2. Zeitreihenbetrachtung der mittleren PM 10-Konzentrationen

Ein Verlauf der mittleren PM 10-Konzentrationen der beprobten Masttage ist in der Zeitreihenbetrachtung in Abbildung 20 wiedergegeben. Anzumerken ist, dass hier aufgrund der geringen Anzahl an Messungen alle Daten der unterschiedlichen Messprogramme (Laufzeit der Filter), also auch die anfänglich erhobenen Werte der Filter, die 24 Stunden lang beaufschlagt wurden, enthalten sind. Dies wurde als legitim angesehen, da die Ergebnisse als erste Orientierung bezüglich der zeitlichen Entwicklung der PM 10-Konzentrationen dienen sollten. Andernfalls wäre für die Betrachtung der zeitlichen Entwicklung die Anzahl n an Messwerten zu gering.

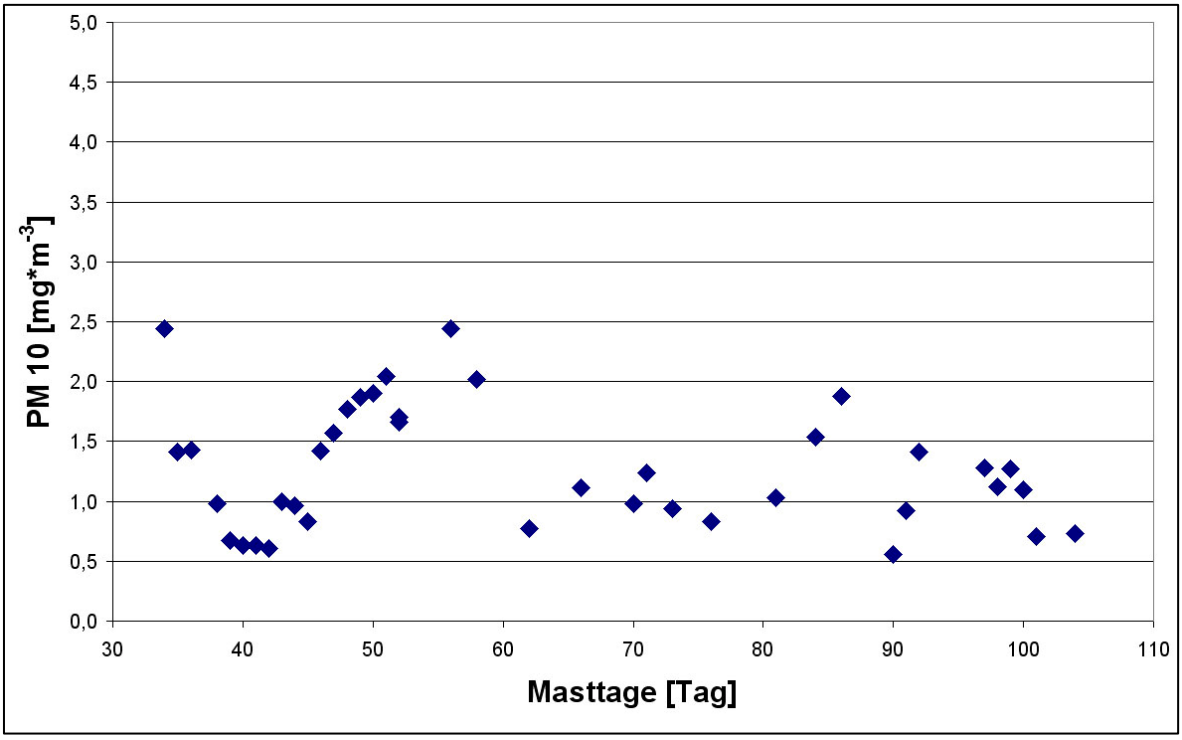

Abbildung 20: Mittlere PM 10-Konzentrationen [mg•m^{-3}] vom Masttag 34 bis 104

Über den gesamten Messzeitraum ist kein eindeutiger Trend der Werte zu erkennen. Werden kürzere Messperioden betrachtet, zeichnet sich ein aufsteigender linearer Trend von Masttag 40 bis 54 sowie ein Trend vom 92. bis 104. Masttag mit linear abnehmenden Werten ab. Aufgrund der geringen Anzahl an zur Verfügung stehenden Werten sollte hier keine allgemeine Schlussfolgerung bezüglich Tiergewicht und Staubentwicklung gezogen werden. Beobachtungen der aufliegenden Staubmengen auf den Einrichtungen im Stall, wie zum Beispiel den Fensterbänken oder den Futter- und Tränkestrecken, haben allerdings gezeigt, dass prinzipiell im Verlauf der Mast mit einem abnehmenden Trend der Staubentwicklung im Stall zu rechnen ist. Denn die jüngeren noch leichten und kleinen Tiere mit einem Körpergewicht von etwa 4,5 kg zu Beginn des Beobachtungszeitraums weisen höhere Bewegungsaktivitäten auf als die etwa 3-fach schwereren Tiere gegen Ende der Datenerfassung.

5.1.3. Variation der mittleren PM 10-Konzentration in Abhängigkeit der Tieraktivität

Da bereits zu Beginn der Messungen erhebliche Unterschiede in der Beaufschlagung der Filter aufgefallen waren, wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Beeinflussung durch die Aktivität der Tiere im Stall untersucht. Verglichen wurden Messungen, die werktags (Wochentage Montag bis Freitag) stattfanden, mit den Ergebnissen der Messungen an Wochenenden (Samstag und Sonntag). Angemerkt sei hier, dass die Tage der winterlichen Wochenenden auf dem Lehr- und Forschungsgut Ruthe sich durch einen weniger regen Betrieb auf dem Hofgelände auszeichnen. Außerdem ist bekannt, dass die Aktivität der Tiere ohne störende äußere Einflüsse, wie es beispielsweise die Anlieferung von Futter oder der allgemeine Maschinenverkehr auf dem Gut darstellt, geringer ist.

Tabelle 16: Vergleich der mittleren PM 10-Konzentration werktags und den Wochenenden

	PM 10 werktags [mg•m⁻³]	PM 10 Wochenende [mg•m⁻³]	PM 10 alle Messungen [mg•m⁻³]
Anzahl der Messungen [n]	29	10	39
Mittelwert (arithm.)	1,31	1,14	1,27
Median	1,27	1,00	1,12
Minimum	0,56	0,67	0,56
Maximum	2,44	2,04	2,44
Quartile (25 % - 75 %)	0,92 – 1,70	0,63 – 1,42	0,83 – 1,66

Das ermittelte Minimum der mittleren PM 10-Konzentration innerhalb des gesamten Messzeitraums lag bei 0,56 mg•m^{-3} (Masttag 90). Der 24-Stunden-Maximumwert wurde am Masttag 56 mit 2,44 mg•m^{-3} erreicht. Beide Werte wurden wochentags ermittelt. Der Median der Wochenend-Werte (Samstag und Sonntag) lag annähernd 20 % unter dem Median, den die PM 10-Konzentrationen der 29 Messungen an Werktagen (Montag bis Freitag) ergaben. Der Median aller Messungen lag bei 1,12 mg•m^{-3}. Die Quartile (25 % - 75 %) der Wochenendmesswerte befanden sich, verglichen mit den Wochentagsmesswerten, in einem niedrigeren Wertebereich. Somit kann ein Einfluss der Aktivität der Tiere auf die PM 10-Konzentration angenommen werden. Allerdings zeigt das wochentags erhobene Minimum deutlich, dass neben der Tieraktivität weitere Faktoren auf die Ausbreitung von Partikeln in der Stallluft Auswirkungen haben. Als Beispiel seien hier vor allem die klimatischen Bedingungen genannt. Durch höhere Windgeschwindigkeiten beispielsweise, die einen verstärkten Luftaustausch im frei gelüfteten Mastputenstall nach sich ziehen, ergibt sich ein Verdünnungseffekt der Luftinhaltsstoffe, der die aktivitätsbedingten Effekte übersteigt.

5.1.4. Variation der PM 10-Konzentration im Tagesgang

Die erheblichen Unterschiede der einzelnen Filtergewichte des Messprogramms mit einem Filterwechselintervall von zwei Stunden gaben einen deutlichen Hinweis auf einen Tagesgang der PM 10-Konzentration. Durch das Wechseln der Filter im zwei Stunden-Rhythmus als quasi-kontinuierliche Erfassung eines Tagesgangs konnten die Ergebnisse der einzelnen Filter entsprechenden Tageszeiten zugeordnet werden.

Da die Stallbeleuchtung im Putenstall durch ein „Lichtprogramm“ geregelt ist, können die aktive „Tag-“ und weniger aktive „Nachtphase“ klar voneinander abgegrenzt werden. Entsprechend wurden die Filter eines Tages in die Gruppen „Tag“ und „Nacht“ eingeteilt. Für diese Untersuchung konnten zwölf Tagesgänge aus dem Messzeitraum zwischen dem 56. und 100. Masttag herangezogen werden. Das geführte Lichtregime „Nacht“ dauert jeweils von 22 Uhr eines Masttages bis 6 Uhr des nächsten Masttages. Da die ausgewählten Tagesgänge keine kontinuierliche Abfolge von Masttagen darstellen, konnte der um 22 Uhr startende Filter des jeweilig erhobenen Masttages nicht in die Auswertung mit einbezogen werden, da dieser Wert dem Nachtregime des folgenden Masttages zugeordnet werden muss. So konnten für die Beurteilung der Variation „Nacht“ innerhalb eines Masttages jeweils nur die drei Werte der Filter von 0 Uhr bis 4 Uhr (Laufzeit von 0:00 bis 5:58 Uhr) verwendet werden. Der Variante „Tag“ sind die acht Filter mit der Laufzeit von 6 bis 20 Uhr (Laufzeit von 6:00 bis 21:58) zugeordnet.

Zur Bestimmung der Einflussnahme der Tieraktivität im Tagesgang zeigt Tabelle 17 die Aufstellung der je zweistündig erfassten PM 10-Konzentrationen [$mg \cdot m^{-3}$] von zwölf verschiedenen Masttagen in Bezug zur jeweiligen Startzeit der Filter sowie zur zugehörigen Phase „Tag“ oder „Nacht“. Für beide Aktivitätsphasen der Tiere sind die jeweiligen statischen Größen Minimum, Maximum und der durch diese Extremwerte begrenzte Wertebereich (Range) aufgeführt. Ein Hinweis auf Tage, an denen eingestreut wurde, wird zusätzlich gegeben. Dabei ist zu erkennen, dass sich hohe Maximumwerte (gilt für Tages- und Nachtwerte) nicht zwangsläufig an Tagen ergaben, an denen eingestreut wurde.

Tabelle 17: PM 10-Konzentrationen differenziert in Tag- und Nacht-Werte

Masttag	56	58	76	81	84	86	90	91	97	98	99	100
TAG-Uhrzeit												
6	3,14	2,74	1,42	1,35	2,04	2,37	0,51	1,01	1,55	1,46	1,40	2,11
8	3,45	2,64	1,15	1,19	1,91	2,47	0,44	0,85	1,25	1,32	1,59	1,62
10	3,01	2,84	1,00	1,09	1,79	2,10	0,43	0,84	1,10	1,25	0,98	1,22
12	3,80	2,10	0,79	0,95	1,72	1,99	0,43	0,64	1,40	1,23	0,84	0,89
14	3,42	2,54	0,57	0,92	1,81	2,05	0,83	0,63	1,22	1,31	1,78	1,15
16	2,77	2,66	0,79	1,04	1,27	2,37	0,56	0,89	1,64	1,41	1,92	0,82
18	2,58	2,38	0,66	0,96	1,55	2,70	0,72	1,57	2,18	1,35	1,52	1,01
20	2,91	3,11	0,51	1,13	1,58	1,68	0,75	1,73	1,64	0,75	1,34	0,78
Minimum	2,58	2,10	0,51	0,92	1,27	1,68	0,43	0,63	1,10	0,75	0,84	0,78
Maximum	3,80	3,11	1,42	1,35	2,04	2,70	0,83	1,73	2,18	1,46	1,92	2,11
Range	1,22	1,01	0,91	0,43	0,77	1,02	0,40	1,10	1,08	0,71	1,08	1,33
NACHT-Uhrzeit												
0	1,27	0,57	0,83	0,91	1,14	1,02	0,66	1,01	0,90	0,79	0,82	1,25
2	0,70	0,43	0,72	0,79	0,96	0,70	0,42	0,85	0,62	0,57	0,56	0,86
4	1,52	1,43	1,04	1,15	1,51	1,60	0,38	0,84	0,83	1,13	0,86	1,14
Minimum	0,70	0,43	0,72	0,79	0,96	0,70	0,38	0,84	0,62	0,57	0,56	0,86
Maximum	1,52	1,43	1,04	1,15	1,51	1,60	0,66	1,01	0,90	1,13	0,86	1,25
Range	0,82	1,00	0,32	0,36	0,55	0,90	0,28	0,17	0,28	0,56	0,30	0,39
Einstreu	X			X	X			X	X		X	

Durch die Markierung der Maximum Werte (diese sind grau unterlegt) in Tabelle 17 wird deutlich, dass am Tag die höchsten Werte wiederholt in den frühen Morgenstunden (Laufzeit 6:00 bis 7:58 Uhr) zu Beginn des Lichtprogramms oder gegen Abend (Laufzeiten zwischen 18:00 und 21:58 Uhr) auftreten.

Zum Verständnis der nachfolgenden Abbildungen (Box-Plot-Darstellungen), die weitere Variationen des Tagesgangs darstellen, soll Abbildung 21 dienen. Angegeben sind jeweils die statistischen Größen Median, Quartilen-Intervall (25 % - 75 %) sowie die jeweiligen Extremwerte (Minimum und Maximum), wobei die Box den Bereich zwischen dem zweiten und dritten Quantil (25 % - 75 %) darstellt. Die Extremwerte sind jeweils am oberen bzw. unteren Ende durch eine Markierung, die mit der Box verbunden ist, gekennzeichnet. Es ist zu berücksichtigen, dass die Darstellung „Nacht“ sich aus jeweils nur drei Werten zusammensetzt, so dass über die grafische Darstellung hinaus, im Vergleich zur Grafik „Tag“ keine statistische Analyse vorgenommen werden konnte.

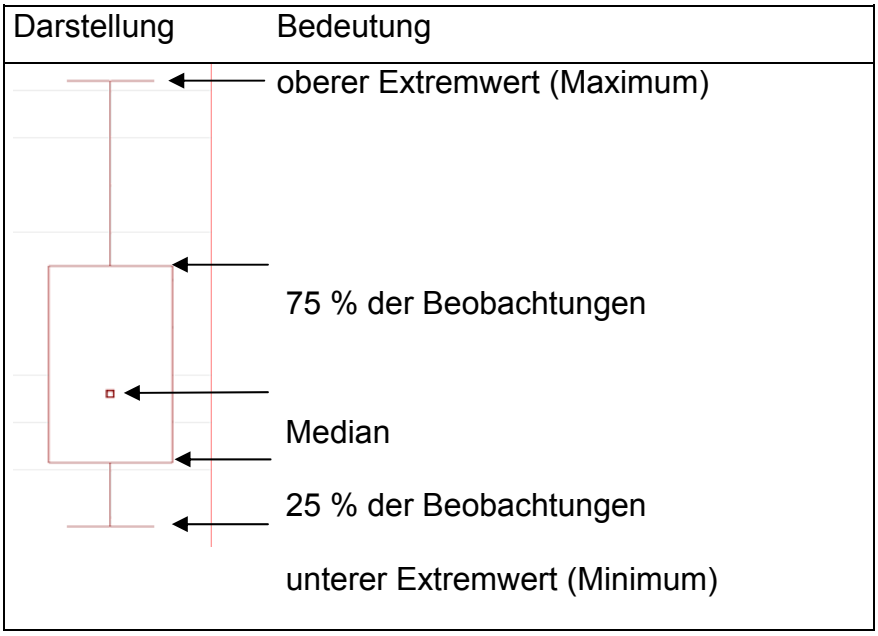

Abbildung 21: Darstellung und Bedeutung eines Box-Plots

Abbildungen 22 und 23 zeigen die Variation der PM 10-Konzentrationen der zweistündig beaufschlagten Filter getrennt für „Tag“ und „Nacht“ an den ausgewählten zwölf Messtagen.

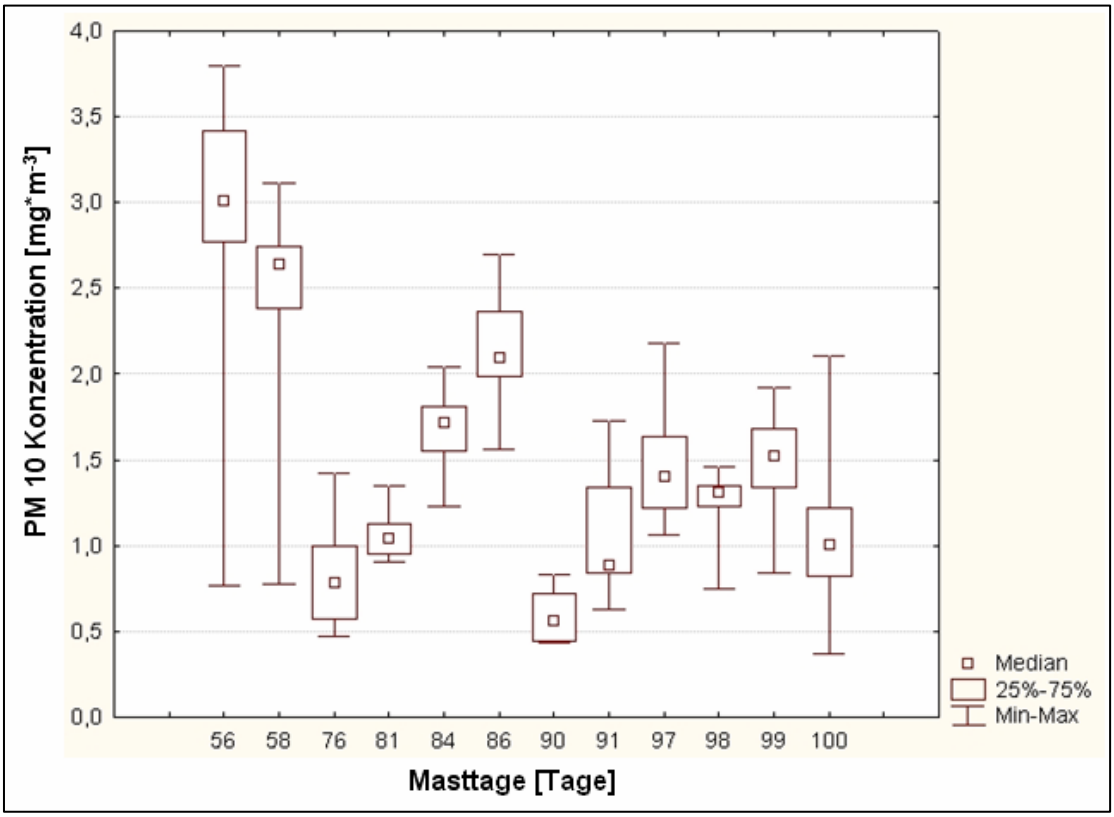

Abbildung 22: PM 10-Konzentrationen während des Tages (8 Filter, 6 bis 20 Uhr)

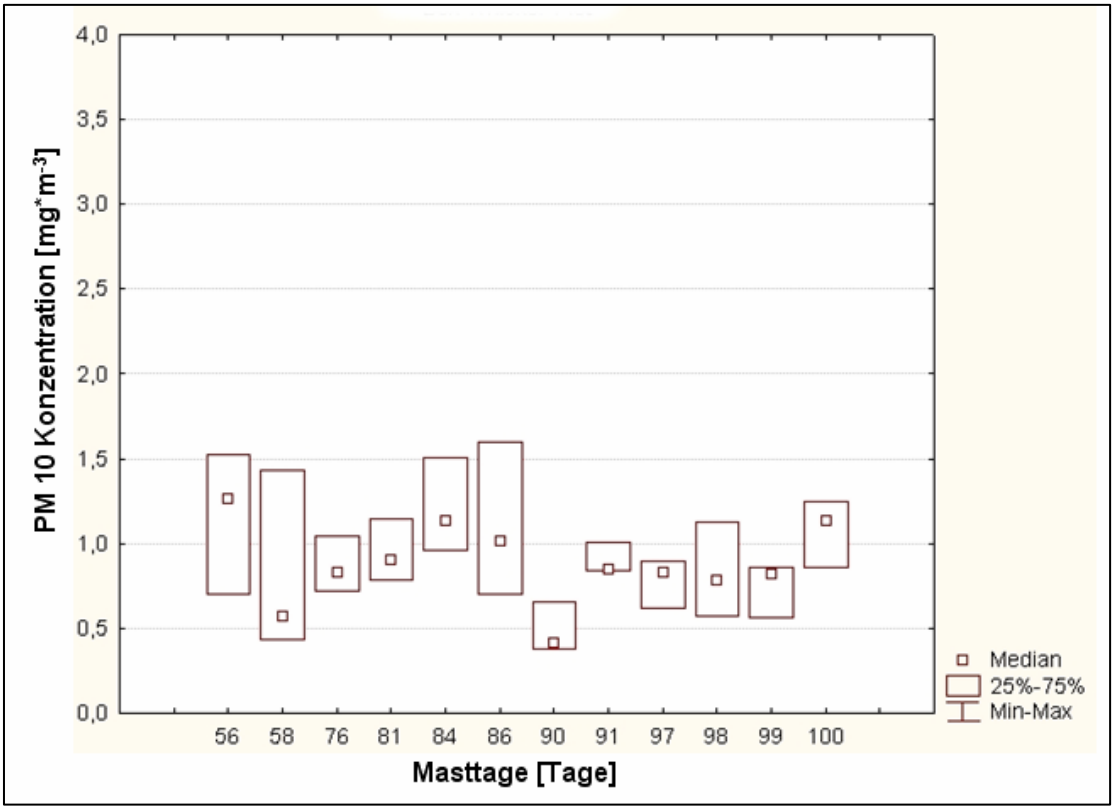

Abbildung 23: PM 10-Konzentrationen während der Nacht (3 Filter, 0 bis 4 Uhr)

Stellt man die PM 10-Konzentrationen dieser zwölf Masttage den einzelnen Tageszeiten gegenüber, ergibt sich die nachfolgende Darstellung.

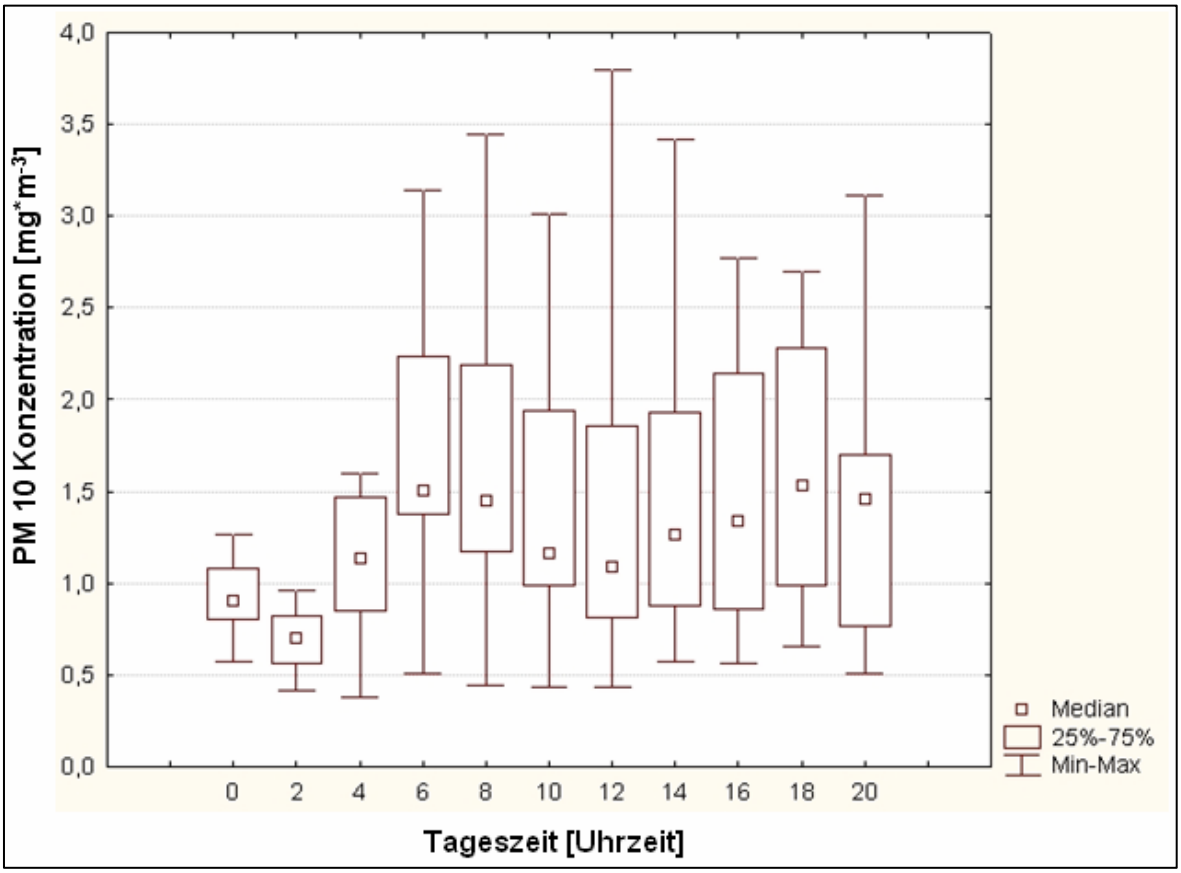

Abbildung 24: Tageszeitlicher Verlauf der PM 10-Konzentrationen (je 12 Werte, von 0 bis 20 Uhr)

Das Boxplot in Abbildung 24 bestätigt nochmals, dass die PM 10-Konzentration nachts in der Zeit von 0 bis 5:59 Uhr deutlich geringer ist und weniger stark in ihren Werten schwankt. Die stärksten Variationen am Tage (8 bis 14 Uhr) decken sich mit den Tageszeiten, zu denen die Betreuer die Herde kontrollieren, Reinigungsarbeiten im Stall erledigen, Einstreuen etc. wie auch mit der Zeit, während derer die Tiere mit der Futteraufnahme beschäftigt sind. Auffallend ist hier, dass die Quartile (25 % - 75 %) dieser Tageszeiten durch sehr ähnliche Werte geprägt sind. Die entsprechenden Mediane befinden sich überwiegend im unteren Drittel dieses Bereichs. Die oberen Extremwerte schwanken stärker als die unteren Extremwerte.

Tabelle 18: Häufigkeitsverteilung der PM 10-Konzentrationen und prozentuale Verteilung der Kategorien (Klasse 0,5 mg•m^{-3})

Kategorie [mg•m^{-3}]	Häufigkeit Tag	%-Anteil Tag	Häufigkeit Nacht	%-Anteil Nacht
0,00 – 0,49	3	3,1	3	8,3
0,50 – 0,99	24	25,0	20	55,6
1,00 – 1,49	26	27,1	10	27,8
1,50 – 1,99	18	18,8	3	8,3
2,00 – 2,49	10	10,4	0	0
2,50 – 2,99	9	9,4	0	0
3,00 – 3,49	5	5,2	0	0
3,50 – 3,99	1	1,0	0	0

Differenziert man die Häufigkeitsverteilung der PM 10-Konzentrationen nach „Tag“ und „Nacht“ und vergleicht die prozentuale Verteilung (Tabelle 18) der in Kategorien angeordneten Messwerte der ausgewählten Daten, so liegen etwa Dreiviertel der Tageswerte und 92 % der Nachtwerte der zwölf betrachteten Masttage im Bereich der Kategorien mit den Konzentrationen von 0,50 mg•m^{-3} bis 1,99 mg•m^{-3}. Ein Viertel der Tageswerte liegt über 2 mg•m^{-3}, während keiner der Nachtwerte diese Konzentration überschreitet.

5.2. ID-Konzentrationen

Nachfolgend sind die Ergebnisse zu den Erhebungen für die einatembare Staubkomponente (ID) dargestellt. Für die Berechnung der ID-Konzentrationen wurden die Gewichte der beaufschlagten Filter unter kontrollierten Bedingungen bestimmt sowie der benötigte Volumenstrom zur Quotientenbildung aus den Betriebseinstellungen der Pumpe mit 3,6 m³ berechnet. Dieser Wert kann aufgrund der eingesetzten Messtechnik als konstant angenommen werden.

Tabelle 19 gibt die Ergebnisse der durchgeführten ID-Messungen samt Probenahme-Datum, Masttag, Wochentag, zugehöriger Messkampagne sowie Erfassungszeitraum und erfasstem Volumen wieder.

Tabelle 19: ID-Konzentrationen

Probenahme Datum	Mast-tag	Wochen-tag	ID-Kon-zentration [mg•m^{-3}]	Erfassungs-zeitraum [h]	Erfasstes Volumen [m³]	Mess-kampagne
26.01.2004	54	Mo				*
28.01.2004	56	Mi	4,34	24	3,6	2
29.01.2004	57	Do	3,31	24	3,6	2
30.01.2004	58	Fr	3,57	24	3,6	2
03.02.2004	62	Di	1,88	24	3,6	3
06.02.2004	65	Fr	0,98	24	3,6	3
07.02.2004	66	Sa	1,49	24	3,6	3
08.02.2004	67	So	1,55	24	3,6	4
11.02.2004	70	Mi	1,55	24	3,6	4
12.02.2004	71	Do	2,19	24	3,6	4
14.02.2004	73	Sa	0,83	24	3,6	5
17.02.2004	76	Di	1,43	24	3,6	5
22.02.2004	81	So	1,55	24	3,6	5
25.02.2004	84	Mi				
27.02.2004	86	Fr	3,05	24	3,6	6
02.03.2004	90	Di	1,02	24	3,6	6
03.03.2004	91	Mi	1,97	24	3,6	6
04.03.2004	92	Do	2,02	24	3,6	6
09.03.2004	97	Di	2,28	24	3,6	7
10.03.2004	98	Mi	1,92	24	3,6	7
11.03.2004	99	Do	/	/	/	/
12.03.2004	100	Fr	/	/	/	/
13.03.2004	101	Sa	1,74	24	3,6	8
14.03.2004	102	So	1,54	24	3,6	8
15.03.2004	103	Mo	1,01	24	3,6	8
16.03.2004	104	Di	/	/	/	/

Erläuterungen: / = keine Messung erfolgt, * Messkampagne 1 verworfen

Die ermittelten Werte wurden auf ihre Häufigkeitsverteilung und hinsichtlich ihres Verlaufs über den gesamten Messzeitraum untersucht. Auch der Einfluss der Aktivität der Tiere im Stall auf die ermittelten ID-Konzentrationen wurde überprüft.

5.2.1. Häufigkeitsverteilung der ID-Konzentrationen

Um einen Überblick über die Verteilung der ID-Konzentrationen zu erhalten, wurde eine Häufigkeitsverteilung mit Einteilungen in 0,5 mg•m^{-3}-Klassen bzw. Kategorien für die vorliegenden Konzentrationen (n = 21) erstellt.

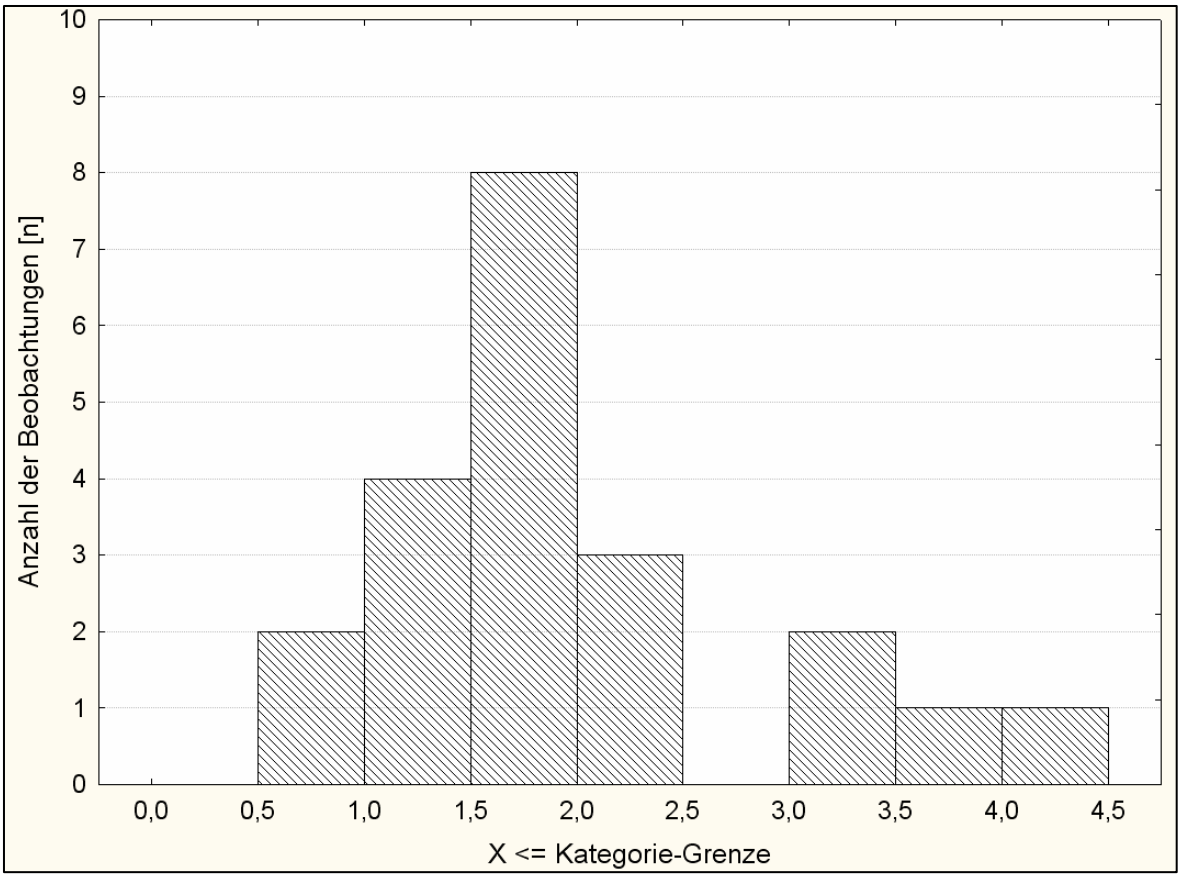

Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung der erhobenen ID-Konzentrationen (n = 21, Anzahl der Kategorien = 9)

Abbildung 25 zeigt die Häufigkeitsverteilung in neun Kategorien der Konzentrationen 0 mg•m^{-3} bis 4,5 mg•m^{-3}. Wie auch bei den Daten zur PM 10-Fraktion muss darauf hingewiesen werden, dass die ID-Konzentrationen keine voneinander abhängigen Werte darstellen. Die Verteilung soll lediglich eine Orientierung bieten, welche Wertebereiche betroffen sind. Etwa 40 % der Werte befinden sich in der Kategorie mit den Konzentrationen 1,50 mg•m^{-3} bis 1,99 mg•m^{-3} (Anzahl der Beobachtungen 8). Zwei Drittel der Konzentrationen liegen unter 2 mg•m^{-3}. Ein Fünftel der Werte sind Konzentrationen über 3 mg•m^{-3}. Im Messzeitraum sind in der ersten Kategorie (Klasse 0,0 mg•m^{-3} bis 0,49 mg•m^{-3}) keine Werte vertreten.

5.2.2. Zeitreihenbetrachtung der ID-Konzentrationen in der Stallluft

Abbildung 26 zeigt die ermittelten Konzentrationen der einatembaren Staubfraktion (ID) in mg•m^{-3} über 43 Tage während des Messzeitraums vom 56. bis zum 101. Masttag.

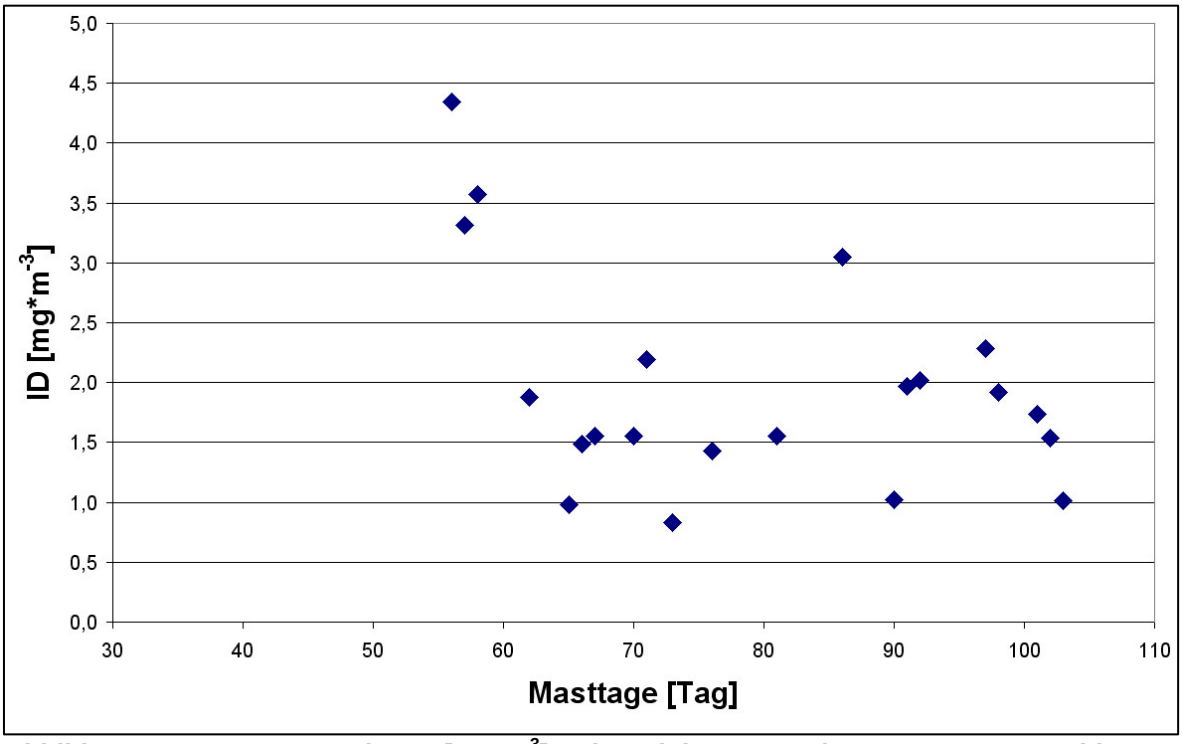

Abbildung 26: ID-Konzentrationen [mg•m^{-3}] während des Messzeitraums: Masttag 56 bis 101

Die geringste ID-Konzentration wurde am Masttag 73 mit 0,83 mg•m^{-3} ermittelt. Die höchste Konzentration mit 4,34 mg•m^{-3} wurde am Masttag 56 erhoben. Den gesamten Messzeitraum betrachtend, ist im Verlauf kein eindeutiger Trend der Konzentrationen zu erkennen.

5.2.3. Variation der ID-Konzentration in Abhängigkeit zur Tieraktivität

Die Ergebnisse der statistischen Analyse der 21 ID-Messungen sind in Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 20: Vergleich der ID-Konzentrationen an Werktagen und Wochenenden

	ID werktags [mg•m^{-3}]	ID Wochenende [mg•m^{-3}]	ID alle Messungen [mg•m^{-3}]
Anzahl der Messungen [n]	15	6	21
Mittelwert (arithm.)	2,17	1,45	1,96
Median	1,97	1,54	1,74
Minimum	0,98	0,83	0,83
Maximum	4,34	1,74	4,34
Quartile (25 % - 75 %)	1,43 – 3,05	1,49 – 1,55	1,49 – 2,19

Der Median der ID-Konzentrationen der Messtage am Wochenende (Samstag und Sonntag) liegt etwa 20 % unterhalb des Medians der wochentags erhobenen ID-Konzentrationen. Im Gegensatz zu den PM 10-Bestimmungen wurde bei den ID-Konzentrationen das Minimum am Wochenende erreicht. Das Maximum mit 4,34 mg•m^{-3} wurde wochentags ermittelt.

5.3. Zusammenhang zwischen PM 10 und ID

Tabelle 21 beinhaltet die Zusammenstellung der Konzentrationen und zugehörigen Durchflussvolumina der zeitgleich an verschiedenen Masttagen mit beiden Messsystemen ermittelten Staubfraktionen. Den PM 10-Werten ist jeweils noch die Information über die Laufzeit eines Filters während der verschiedenen Messkampagnen hinzugefügt.

Da PM 10 ein Bestandteil der ID-Staubfraktion ist, sollte der Quotient, sprich das Verhältnis von PM 10 zu ID, stets kleiner eins sein. In Tabelle 21 weicht hiervon der Wert am 73. Masttag ab. Festzuhalten ist hierbei, dass es sich bei beiden Staub-fraktionen im Vergleich zu anderen Messtagen um sehr niedrige Konzentrationen handelt. Die Variation des Quotienten zeigt einen PM 10-Anteil von 40 % bis 70 % an der einatembaren Staubfraktion (ID) auf.

Tabelle 21: PM 10- und ID-Konzentrationen (24 Stunden-Werte) im Mastputenstall

		DIGITEL HVS DHA-80 – PM 10			IOM-SKC-Sammler - ID		
Probe-nahme Datum	Mast-tag	Laufzeit/ QF-Filter [h]	PM 10-Konzentration [mg•m^{-3}]	Durchfluss-Volumen [m³]	ID-Konzentration [mg•m^{-3}]	Durchfluss-Volumen [m³]	Verhältnis PM 10/ID
28.01.2004	56	2	**2,44**	642,1	**4,34**	3,6	0,56
30.01.2004	58	2	2,02	645,2	3,57	3,6	0,57
03.02.2004	62	3	0,77	653,7	1,88	3,6	0,41
07.02.2004	66	3	1,11	647,0	1,49	3,6	0,74
11.02.2004	70	4	0,98	657,2	1,55	3,6	0,63
12.02.2004	71	4	1,24	656,0	2,19	3,6	0,57
14.02.2004	73	3	0,94	654,8	**0,83**	3,6	**1,13**
17.02.2004	76	2	0,83	655,5	1,43	3,6	0,58
22.02.2004	81	2	1,03	650,3	1,55	3,6	0,66
27.02.2004	86	2	1,88	644,3	3,05	3,6	0,62
02.03.2004	90	2	**0,56**	663,4	1,02	3,6	0,55
04.03.2004	92	2	1,41	661,9	1,97	3,6	0,72
09.03.2004	97	2	1,28	661,5	2,28	3,6	0,56
10.03.2004	98	2	1,12	663,5	1,92	3,6	0,58
13.03.2004	101	2	0,71	657,0	1,74	3,6	0,41

In Tabelle 22 sind die wichtigsten statistischen Werte beider Staubfraktionen sowie deren Quotienten gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Differenz zwischen den Extremwerten bei ID deutlich größer ist, wohingegen bei PM 10 das Quartil größer ausfällt.

Tabelle 22: Gegenüberstellung statistischer Kennwerte der parallel erhobenen ID- und PM-10-Konzentrationen (n = 15)

	ID mg•m^{-3}	PM 10 mg•m^{-3}	Verhältnis PM 10/ID
Mittelwert	2,05	1,22	0,59
Median	1,74	1,00	0,57
Minimum	0,83	0,56	0,67
Maximum	4,34	2,44	0,56
Quartile (25 % - 75 %)	1,49 – 2,19	1,00 – 2,00	0,67 – 0,91

KORRELATION

Die parallele Erfassung der beiden Staubfraktionen PM 10 und ID mit unterschiedlichen Messsystemen sollte dazu dienen, eine Korrelation zwischen beiden Komponenten herauszuarbeiten. Bei sehr guter Korrelation könnte man dann hinsichtlich des Aufwands für Messtechnik und Arbeit zur Datenerfassung auf das

einfachere leicht zu handhabende Messsystem zur Erfassung der einatembaren Staubfraktion zurückgreifen.

Abbildung 27 stellt die Korrelation der parallel erhobenen 24-Stunden-Konzentrationen von ID und PM 10 dar, wobei die Anzahl n = 15 ist. Die Korrelation ist durch folgende Gleichung beschrieben: y = -0,0413 + 1,7159 x.

Die Korrelation r ist mit 0,934 berechnet. Das Bestimmtheitsmaß r^2 ist mit 0,872 angegeben. Somit können 87,2 % der Gesamtvarianz der PM 10 Messwerte auf die Varianz der Messwerte der einatembaren Staubfraktion zurückgeführt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit muss die Aussage aufgrund der geringen Anzahl an Werten darauf beschränkt bleiben, dass eine ausreichende Korrelation der Werte von ID und PM 10 zu vermuten ist. Diese ist durch deutlich umfangreichere Messkampagnen zu verifizieren.

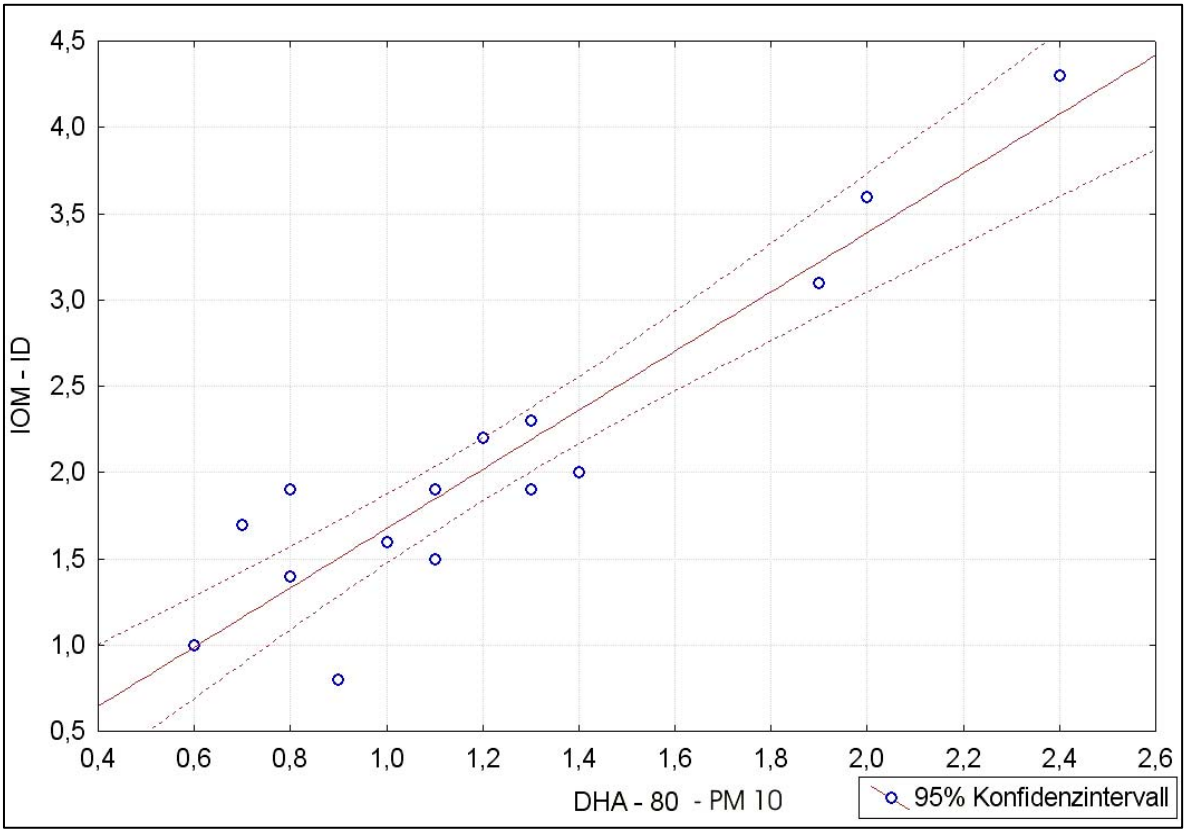

Abbildung 27: Korrelation der parallel bestimmten Konzentrationen von PM 10 und ID

5.4. Endotoxine

Als Begleitmessung wurde von einigen der staubbeaufschlagten Filter die Endotoxinaktivität bestimmt. Zur Analyse kamen alle ausgewogenen ID Kleinfilter. Da die Endotoxinanalytik wie eingangs beschrieben sehr arbeits- und materialaufwendig ist, konnten von den PM 10 Großfiltern nur Teilfilter mit einem Durchmesser von 39 mm analysiert werden. Die Darstellung der Endotoxinaktivitäten erfolgt pro Volumeneinheit [m³] beziehungsweise bei Blindwerten sowie passiv beaufschlagten Filtern und Transportkontrollen pro Filter.

5.4.1. Endotoxinaktivitäten der ID-Filter

Neben den aktiv beaufschlagten Kleinfiltern wurden auch die Endotoxinaktivitäten der passiv beaufschlagten Filter (passive Kontrollen) und ausgewählter Transportkontrollen analysiert (Tabelle 23). Die passiv beaufschlagten Kontrollfilter, die vor allem sedimentativen Prozessen in der Stallatmosphäre unterliegen, waren wie auch die Transportkontrollen, keinem aktiven Luftvolumendurchsatz ausgesetzt, sodass hier die Werte nur pro Filter angegeben werden können.

Tabelle 23: Endotoxinaktivitäten der ID-Filter

Probe [Datum]	*Endotoxine [EU•m⁻³]*		Probe [Datum]	*Endotoxine [EU•m⁻³]*
28.01.2004	*1024,59*		02.03.2004	*623,89*
29.01.2004	*1006,11*		03.03.2004	*1368,33*
30.01.2004	*1614,97*		04.03.2004	*3061,11*
03.02.2004	*381,48*		09.03.2004	*3052,78*
06.02.2004	*243,75*		10.03.2004	*3330,56*
07.02.2004	*185,80*		13.03.2004	*2537,22*
08.02.2004	*149,00*		14.03.2004	*1072,78*
11.02.2004	*140,59*		15.03.2004	*742,22*
12.02.2004	*92,36*		BLIND*	0,00
14.02.2004	*838,89*		BLIND*	0,00
17.02.2004	*1230,00*		BLIND*	< 0,05
22.02.2004	*5544,44*		TK-7*	2,06
27.02.2004	*165,50*		TK-8*	0,57

Anmerkung: * Angabe [EU/Filter]

Aktiv beaufschlagte Filter

Die niedrigsten Endotoxinaktivitäten der aktiv beaufschlagten ID-Filter liegen um etwa 100 EU•m^{-3}, der Maximalwert bei 5.544 EU•m^{-3}. Etwa 50 % der im einatem-

baren Staub bestimmten Endotoxinaktivitäten lagen unterhalb eines Wertes von 1.000 EU•m^{-3} (siehe Abbildung 28). Bei SEEDORF (2003) findet man Angaben zu Masthähnchenställen, die entsprechend den Puten mit Einstreu aufgestallt waren, mit (medianen) Tageswerten für einatembare Endotoxine um 2.225 EU•m^{-3} und entsprechenden nächtlichen Werten um 2.098 EU•m^{-3}.

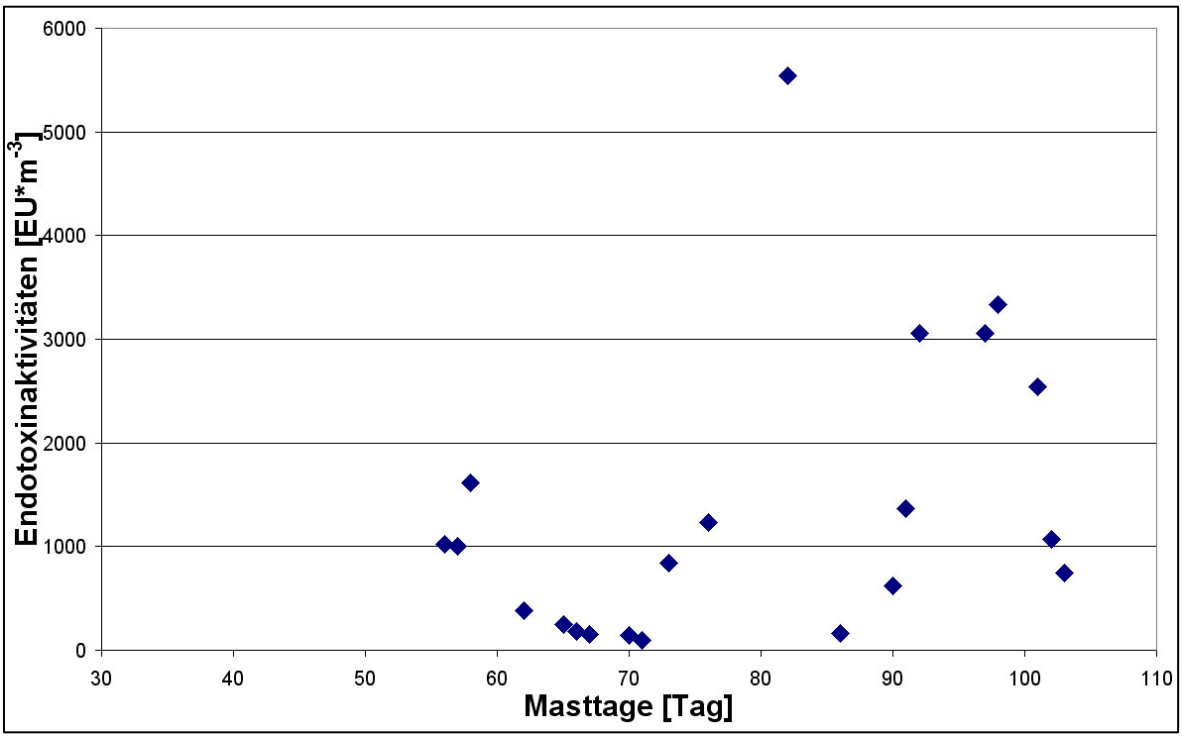

Abbildung 28: Endotoxinaktivität [EU•m^{-3}] der aktiv beaufschlagten ID-Filter

Passiv beaufschlagte Filter

In Abbildung 29 sind die ermittelten Endotoxineinheiten [EU/Filter] der passiven Filterkontrollen dargestellt. Die Werte verteilen sich von 2 bis 252 EU/Filter, wobei ab Masttag 92 mehrfach höhere Werte auffällig sind.

Die Transportkontrollen wiesen Werte von 0,57 und 2,06 EU/Filter auf. Die drei analysierten Blindwerte (Laborkontrollen) zeigten Endotoxinaktivitäten kleiner als 0,05 EU/Filter. Detaillierte Daten hierzu sind in Anhang IV Tabelle 1 aufgelistet.

Anmerkung: Die Skalierung des Ordinatenabschnitts in Abbildungen 28 und 29 wurde aufgrund der erheblichen Differenzen der bestimmten Endotoxinaktivitäten zugunsten der günstigeren Darstellung unterschiedlich ausgewählt.

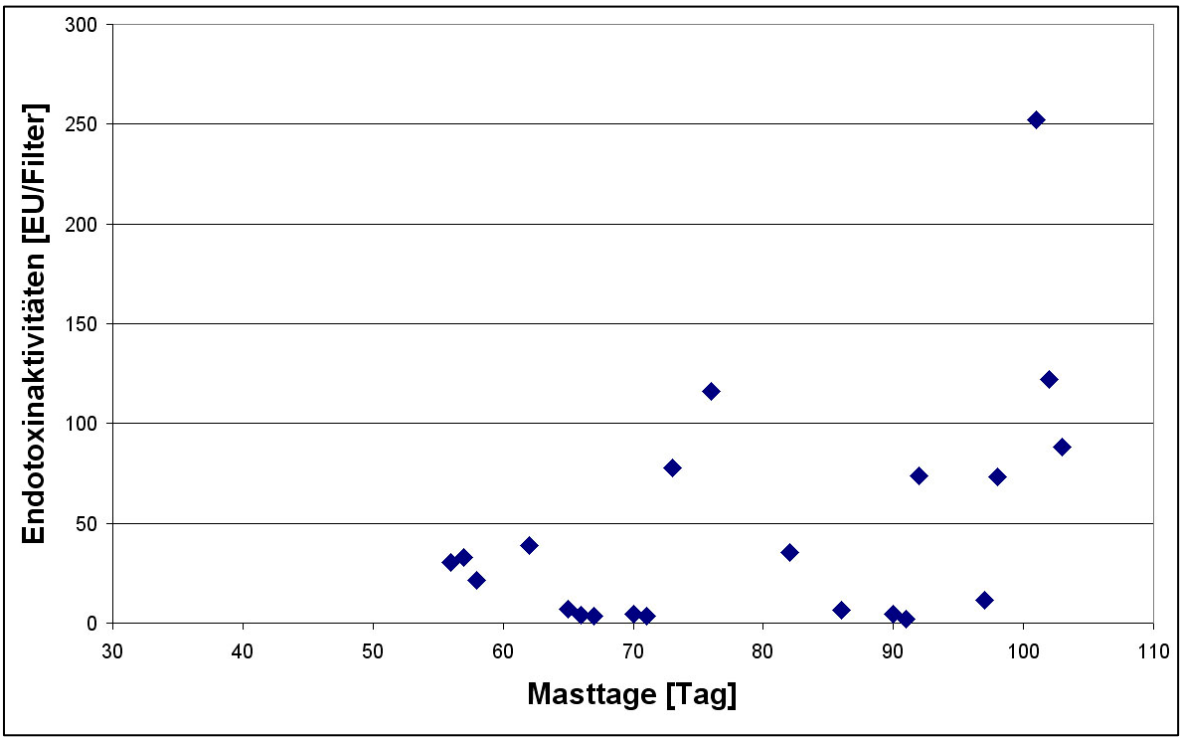

Abbildung 29: Endotoxinaktivität [EU/Filter] der passiven ID-Filter

5.4.2. Endotoxinaktivitäten der PM 10-Teilfilter

Von den PM 10-Großfiltern wurden jeweils mindestens 2 Teilfilter (Durchmesser 39 mm) ausgewählter Tage der Messkampagnen mit zweistündigem Filterwechsel auf Endotoxine analysiert.

Abbildung 30 soll eine orientierende Vorstellung der ermittelten Endotoxinaktivitäten auf den PM 10 beaufschlagten Filtern geben. Dargestellt sind die Mittelwerte der Teilfilter im Tagesgang der untersuchten Masttage 81, 92 und 97. Wie bei PM 10 und ID sind auch hier Schwankungen während der Tages- und Nachtphasen erfasst worden.

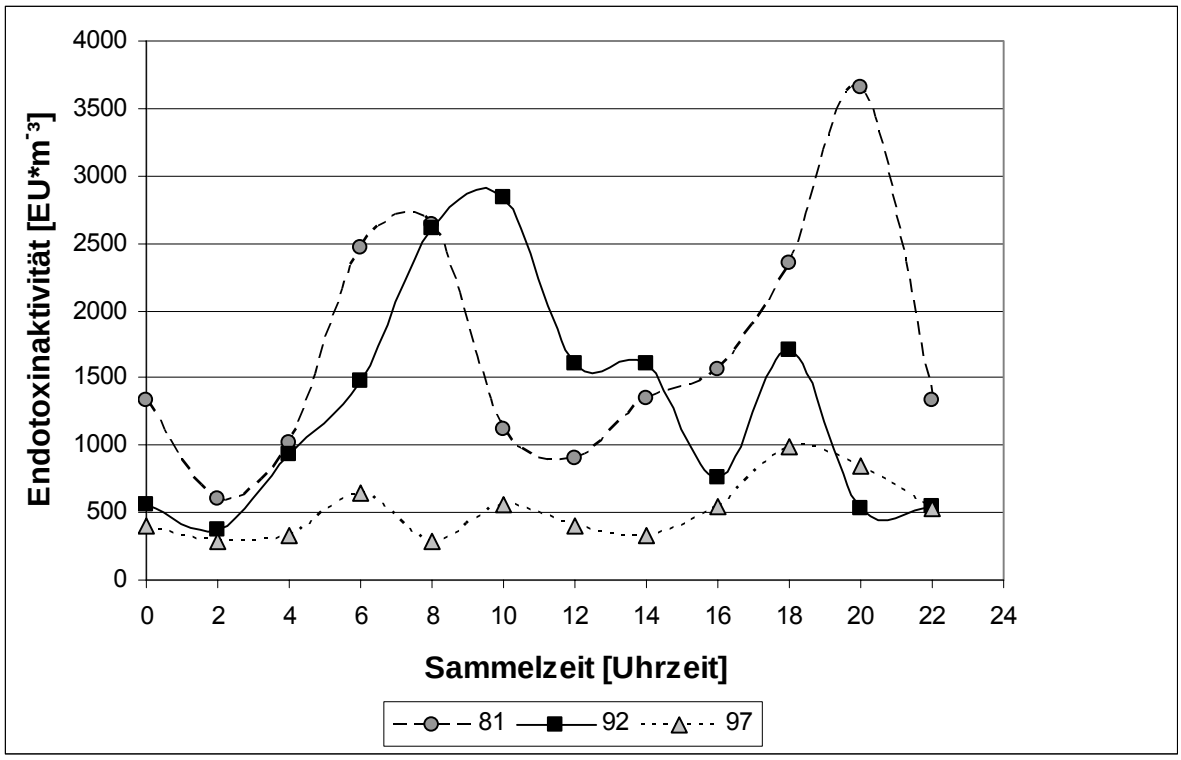

Abbildung 30: Endotoxinaktivitäten [EU•m^{-3}] der 2-stündig beaufschlagten PM10-Teilfilter eines Großfilters an den Masttagen 81, 92 und 97

5.4.3. Vergleich zwischen Endotoxinaktivitäten der ID Filter und PM 10-Teilfilter

Das Balkendiagramm in Abbildung 31 stellt die an den drei Masttagen 81, 92 und 97 analysierten Endotoxaktivitäten der ID-Filter und die je zwölf zu einem 24-Stunden-Wert zusammengefassten Werte der PM 10 Teilfilter dar. Um einen Anhaltspunkt zu den jeweilig ermittelten ID- und PM 10-Konzentration zu haben, sind diese zusätzlich im Diagramm integriert.

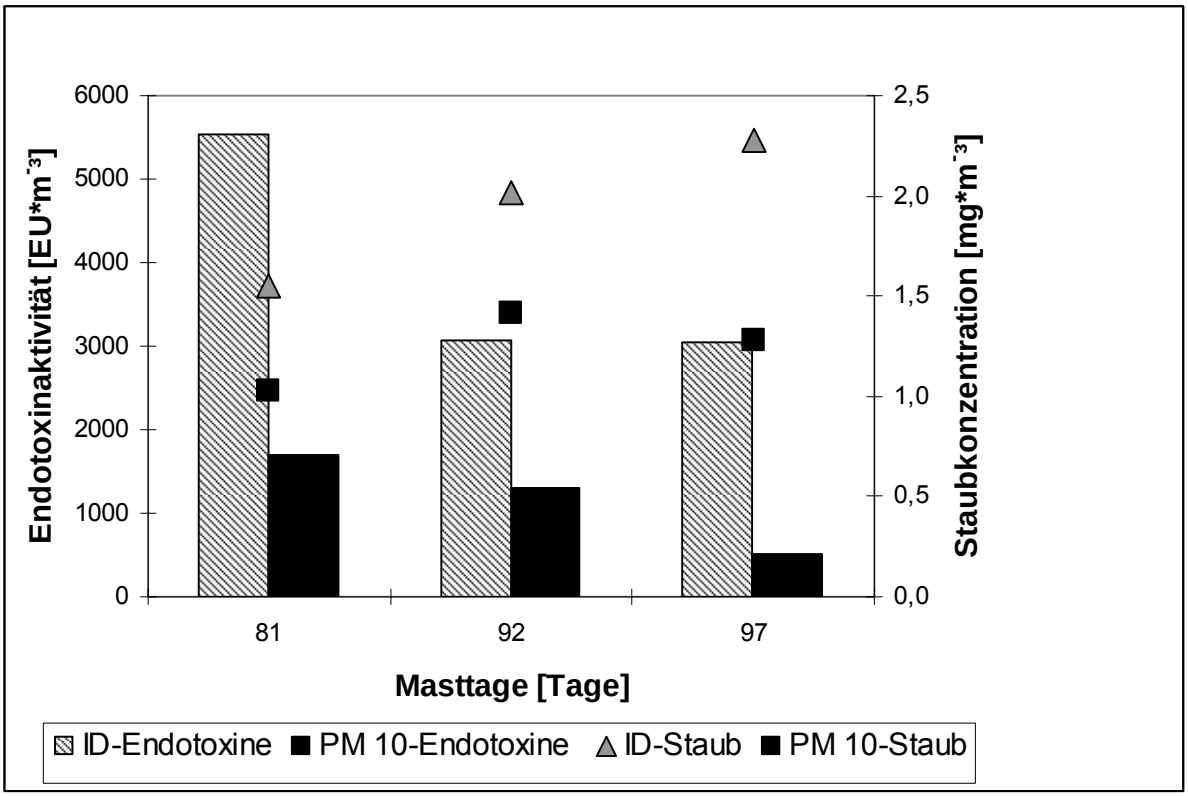

Abbildung 31: Endotoxinaktivitäten [EU•m^{-3}] der ID-Kleinfilter und der PM 10 Teilfilter an drei Messtagen (Masttag 81, 92 und 97)

Die Endotoxinaktivitäten [EU•m^{-3}] der PM 10 Teilfilter liegen jeweils unterhalb der Werte der ID Filter. Beim Vergleich der ID- beziehungsweise PM 10-Konzentrationen und der zugehörigen Endotoxinwerte an den drei Masttagen ist kein direkter Zusammenhang zu erkennen. Während die Konzentration an einatembarem Staub (ID) ansteigt, zeigen die zugehörigen Endotoxinwerte eine entgegengesetzte Tendenz. Dieses Beispiel macht die große Variabilität der Zusammensetzung der Bioaerosole deutlich.

6. Diskussion

Die für die Erhebung der alveolengängigen und einatembaren Staubfraktion angewandten Messtechniken und verwendeten Materialien werden hinsichtlich ihrer Eignung unter den Bedingungen der Stallatmosphäre eines Putenmaststalls diskutiert. Unter Berücksichtigung umwelthygienischer und umweltrechtlicher Aspekte und bekannter Konzentrationen werden die ermittelten PM 10- und ID-Konzentrationen und die in Begleitmessung erhobenen Endotoxinaktivitäten eingeschätzt.

6.1. Kritische Prüfung der eingesetzten Messtechnik

Hier werden die eingesetzte Messtechnik zur Erfassung von PM 10 und ID sowie die Probenahmeverfahren und verwendeten Materialien bezüglich der Eignung unter den gegebenen Feldbedingungen diskutiert.

6.1.1. Der DIGITEL HVS DHA-80

Für die Bestimmung von Feinstaub (PM 10) unter den Bedingungen einer Stallatmosphäre eines frei gelüfteten Geflügelstalls wurde das in der Immissionsmessung schon etablierte Messsystem DIGITEL HVS DHA-80 geprüft. Da mit der Staubsammlung auf Filtermedien eine gravimetrische Standardmethode verbunden ist, ist dies als Vorteil für den Einsatz dieses Messsystems zu sehen. Während des Prüfungszeitraums der Messtechnik stellte sich dieses als bedienerfreundliches Messsystem dar, insbesondere durch seine Übersichtlichkeit und seine Verlässlichkeit während des gesamten Messzeitraums auch unter den herrschenden Stallluftbedingungen. So liegen die Vorzüge des Messsystems im Einzelnen in seiner einfachen Bedienung beispielsweise beim Wechsel der Filterhaltermagazine, bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten für Elemente wie Ansaugsonde und Prallplatte. Allerdings sind diese Arbeiten mit einem entsprechenden Arbeitsaufwand verbunden. Während jeder Gerätekontrolle wurde ein Verlaufsprotokoll mit den wichtigsten Kenngrößen der Probenahmestation und dem Probenahmevolumen ausgedruckt. Mit diesem konnte der regelgerechte Probenahmeverlauf überprüft werden. So konnte zum Beispiel die Einhaltung des für die Probenahme vorgeschriebenen Luftvolumendurchsatzes geprüft und die Zuverlässigkeit des automatischen Filter-

wechsels kontrolliert werden. Bedeutsam für eine zeitaufgelöste Probenahme war der (ebenfalls ohne Probleme erfolgende) automatische Filterwechsel, der durch ein drehzahlgeregeltes Saugaggregat konstante Luftdurchsatz, die hohe Korrosions-Beständigkeit und Oberflächenglätte der Probenahmewege, die geringe Anströmgeschwindigkeit am großflächigen Filter sowie eine homogene Belegung der Filter bei optimalen Sammelzeiten. Letztere ist insbesondere für eine Aufteilung der Filter für weitere Analysen wichtig.

Da keine Erfahrungswerte für den Einsatz unter Stallbedingungen vorlagen, wurde die optimale Sammelzeit pro Filter anhand von Probemessungen bestimmt. Im Hinblick auf die Fragestellung ergab sich als geeignete Sammelzeit für eine homogene Impaktion eine zweistündige Beaufschlagung der Großfilter. Anzumerken ist, dass auch kürzere Laufzeiten pro Filter ausgewählt werden können, um so zum Beispiel detailliertere Informationen zu Konzentrationsspitzen im Verlauf eines Tagesgangs zu erhalten. Die Anzahl der pro Messkampagne einsetzbaren Filter ist jedoch durch die Aufnahmekapazität des Filterhaltermagazins begrenzt. So können zum Beispiel für eine unterbrechungsfreie Messung über 24 Stunden maximal 16 Filter eingesetzt werden. Bei kürzeren Laufzeiten pro Filter sind jedoch bei der Planung unbedingt die notwendigen Vor- und Nacharbeiten zu den Auswertungen der Filter und die entsprechend notwendigen Kapazitäten im Wägeraum zu berücksichtigen, welche nicht unerheblich sind. Somit ist der anfallende Mehraufwand an Arbeitszeit und Kosten einzukalkulieren.

Trotz optimaler Beaufschlagungszeit stellten sich zu Zeiten stärkerer Tieraktivitäten beprobte Filter als problematisch hinsichtlich ihrer gravimetrischer Auswertung dar, entweder durch Artefaktbildungen aufgrund von Auflagerungen von losem Material oder auch durch Überladung. Hier zeigte sich, dass insbesondere die Zusammensetzung der Stallluft Probleme für die Sammeltechnik darstellen kann. Diese eignet sich optimal zur Sammlung von Partikeln nahe am theoretischen Modell des physikalisch ideal geformten Partikels. Die Artefaktbildung auf den Filtern wurde durch die Beaufschlagung von Federpartikeln verursacht. Die Federpartikel wiesen neben ihrer großen Formenvielfalt eine sehr geringe Dichte auf und konnten somit im Probenahmeluftstrom ohne Abscheidung auf der Prallplatte auf die zu belegenden Filter gelangen. Bezüglich der Leistung des geprüften Messsystems, homogen beaufschlagte Filter zu liefern, kann man schließen, dass

diese entsprechend des Gehaltes an nicht idealen Partikeln in der Stallluft abnimmt. Die eingesetzte Messtechnik scheint für eine allgemeine Einschätzung der Staubbelastung im eingestreuten Putenstall jedoch durchaus geeignet zu sein. Nicht zuletzt ist der geräuscharme Lauf der Messtechnik zu erwähnen, der einen tierkonformen Einsatz im belegten Stall ermöglicht und der die Auswahl des Standortes innerhalb des Stalls nicht einschränkt.

Als für das Messsystem gegenüber Kleinfiltersystemen nachteilig anzusehen sind seine Größe und Gewicht, die zu einer geringen Mobilität des Messsystems führen. Allerdings ist der DIGITEL HVS DHA-80 ja auch als stationäres Messsystem konzipiert, so dass ein Standortwechsel im Rahmen einer Messreihe nicht vorgesehen ist. So beziehen sich die ermittelten Konzentrationen auf die stationär erfasste Messhöhe in der Stallatmosphäre. Zeitlich eingeengte Konzentrationsspitzen wie sie mittels personenbezogener Systeme bei Begehungen des Stalls ermittelt werden, könnten mit diesem stationär festgelegten Messsystem nur durch zeitlich gering aufgelöste Messprogramme erfasst werden.

6.1.2. Das IOM-SKC-Messsystem

Das kombinierte IOM-SKC-Messsystem stellt einen schon vielfach bewährten internationalen Standard für die personenbezogene Staubsammlung dar. Auch für Messungen im Putenmaststall bestätigte die robuste SKC-Pumpe in Kombination mit dem IOM-Sammelsystem ihre Leistung. Die Vorteile der mobilen Messeinheit, die in diesem Fall stationär betrieben wurde, liegen vor allem in der leichten Handhabung und Wartung des Systems. Während des Messzeitraums waren keine Ausfälle zu verzeichnen. Die Möglichkeit zur Einstellung der Startzeit der Pumpe sowie der Dauer der Messung (hier 1440 Minuten) konnten für eine zeitgleiche Erfassung zu den PM 10-Quarzfaserfiltern genutzt werden. Üblicherweise wird dieses Messsystem für eine personenbezogene Arbeitsplatzmessung im achtstündigen Betrieb verwendet. Aber auch die 24-stündige stationäre Probenahme der einatembaren Staubfraktion (PM 100) wurde vom System ohne Probleme bewältigt.

6.1.3. Messunsicherheiten der Probenahmeverfahren

Ziel der Erfassung einer Messgröße muss sein, deren wahren Wert zu bestimmen, das heißt, es ist eine Bestimmung ohne Messfehler anzustreben. Messunsicherheiten oder -fehler können zum einen aus der Messmethode und zum anderen aus der Messung selbst, die im günstigsten Fall unter standardisierten Bedingungen abläuft, resultieren und kommen als zufällige und/oder systematische Messunsicherheiten vor. Um Messunsicherheiten einzuschätzen, die z. B. durch das Einlegen des Filters in den Filterhalter bzw. die Filterkassette, durch den Transport der Filter (mechanische Beanspruchung, unterschiedliche Luftfeuchten etc.) oder durch die Exposition im Stall resultieren, wurden für jedes der beiden Messsysteme Verfahrens-, Transport- und Laborkontrollen angelegt. Die jeweiligen Ergebnisse der Kontrollfilter wurden dementsprechend bei der Berechnung der Konzentrationen berücksichtigt.

Gerade im Bereich der Emissionsmesstechnik kann die Fehlerfortpflanzung durch die Summierung der einzelnen Beiträge der Messunsicherheiten zu erheblichen Unter- als auch Überschätzungen führen. Mehrfach wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass die Messergebnisse aus Erhebungen in Tierställen stets mit Ergebnissen anderer günstigenfalls schon mehrfach eingesetzten Verfahren verglichen werden sollten. Dies kann als Qualitätssicherung der Daten dienen (vgl. HARTUNG E. 2005). Nach COX et al. (1995) ist bei verwendeten Sammelverfahren mit Fehlern von bis zu 20 % zu rechnen. Dieser Wert ist hier durch die bisher nicht erfolgte Standardisierung der fraktionierten Stauberfassung im Tierstall höher einzuschätzen.

6.1.3.1. Messunsicherheit aufgrund der Sammeltechnik

Die durch die Sammeltechnik bedingten Messunsicherheiten können sich unter anderem aus der Sammelflussrate, der Sammelgeschwindigkeit über dem Filter und der gesammelten Masse selbst ergeben. Für die Sammlung mit dem HVS bedeutet dies, dass Fehler aus der Nichteinhaltung des für die Probenahme vorgeschriebenen Luftvolumendurchsatzes von 30 $m^3 \cdot h^{-1}$ resultieren können, da eine konstante Flussrate für eine exakte Messung unentbehrlich ist. Für Staubsammlungen problematisch können auch die in der Messumwelt herrschenden klimatischen Bedingungen wie Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sein. Der Einfluss des

Windes bzw. der durch diesen bedingten Luftströmungen im Stall auf den Sammelvorgang sind bei einem frei gelüfteten Stall schwer abschätzbar. Die Partikel aus der Anströmrichtung erfahren durch die variierende freie Luftströmung unterschiedlich starke Ablenkungen. Daher sollte, wie dies hier bei der stationären Probenahme erfolgte, die Ausrichtung der Eintrittsöffnung des Sammelkopfes während der Messung zum Luftstrom unverändert bleiben, da je nach Anströmrichtung bevorzugte Partikelgrößen angesaugt werden. Schließlich bedingen die Eigenschaften der zu erfassenden Partikel selbst die Effizienz der nach dem Impaktionsprinzip arbeitenden Sammler. Die Messunsicherheit für die Erfassung von PM 10 wird vom Hersteller für das DIGITEL HVS DHA-80 mit kleiner gleich 2 % angegeben. Für das System zur Probenahme der einatembaren Staubfraktion (PM 100) liegen für die langen Probenahmezeiten keine bekannten Werte über Messunsicherheiten vor. Mittels Angaben aus der Literatur kann von einer Messunsicherheit kleiner 5 % ausgegangen werden.

6.1.3.2. Messunsicherheiten aufgrund der verwendeten Materialien

Wie eingangs erwähnt, können nicht nur die Messverfahren sondern auch die verwendeten Materialien Messunsicherheiten bedingen. Beim eingesetzten Filtermaterial für die PM 10-Messung waren weniger die Transport- oder Verfahrenskontrollen auffällig als vielmehr die Ergebnisse der angelegten Laborfilter. Es wurden drei Filterkontrollen angelegt, die bei jeder Ein- und Rückwaage mitverwogen wurden. Bei der statistischen Überprüfung der Werte der drei Laborkontrollen fiel auf, dass sich lediglich eine *befriedigende* Regression aus den Werten der Luftfeuchten und der Gewichte der Filter ergab. Diese Beziehung sollte jedoch *sehr gut linear* beschrieben sein, weshalb eine weitere Laborkontrolle (L4) hinzugefügt und ausgewertet wurde. Die vorherigen Ergebnisse bestätigten sich erneut. So wurden die Massen der Filter stets mittels der parallel verwogenen Kontrollfilter korrigiert. Bekannt sind solche Einflüsse der Luftfeuchte aufgrund unterschied-licher Wasseraufnahme bzw. -abgabe von hygroskopisch wirksamen Partikeln auf den Filtern, insbesondere wenn diese ein Bindemittel enthalten. Der eingesetzte Quarzfaserfilter ist allerdings bindemittelfrei. Der Fehler kann durch die Größe der Filter bedingt sein. Die genauen Gründe für das Verhalten der Quarzfaserfilter waren jedoch nicht zu eruieren. Daher ist zu betonen, dass die

Anlage von Laborkontrollen für die Quarzfaserfilter sowie eine ausreichende Filteräquilibrierung aller verwendeten Großfilter unter gleich verlaufender Konditionierung von Bedeutung sind.
Die ID-Sammlung erfolgte mittels des IOM-Filterkassetten-Systems und Kleinfiltern aus Glasfasermaterial. Wie auch bei den Großfiltern spielen hygroskopische Eigenschaften bei Verwendung dieses Systems mit eingelegtem Kleinfilter eine Rolle, aufgrund deren das komplette System (Filterkassette mit eingelegtem Filter) zur Konditionierung vor gravimetrischen Bestimmungen 48 Stunden definierten Umgebungsbedingungen ausgesetzt sein muss. Für das IOM-Sammelsystem waren vor allem die Ergebnisse der vom Hersteller empfohlenen Transportkontrollen zu berücksichtigen. Mittels mehrfach angelegter Transportkontrollen wurden vor allem Faserverluste der netzwerkartigen Filterstruktur der verwendeten Glasfaserfilter erfasst. Zu erklären sind diese durch unvermeidbare mechanische Beanspruchungen während des Transports.

6.1.4. Höhe der Entnahmestelle über Grund

Da das übliche Einsatzgebiet des DIGITEL HVS DHA-80 die Bestimmung von Immissionen ist, ist die PM 10-Ansaugsonde entsprechend den Vorgaben zur Immissionsmessung für eine Probenahme in 2 m Höhe ausgelegt. Diese Probenahmehöhe ist durch das verwendete Messgerät DIGITEL HVS DHA-80 fest vorgegeben und wurde so über den gesamten Messzeitraum beibehalten. Nach Rücksprache mit dem Hersteller der Messtechnik wäre dieses bautechnische Problem zu lösen, so dass, falls es die Fragestellung erfordert, auch ein Einsatz in variablen Höhen erfolgen kann, um beispielsweise tierbezogene Werte zu bestimmen. Die parallele stationäre Probenahme der einatembaren Staubfraktion erfolgte auf einer Messhöhe von 1,5 m, die üblicherweise bei personenbezogenen Messungen gewählt wird. Da es sich hier vornehmlich um orientierende Messungen handelte, wurde die Differenz zwischen den Messhöhen der parallel erfassten Staubkonzentrationen bei deren gemeinsamen Auswertung nicht berücksichtigt.

6.2. Einschätzung der PM 10-Konzentrationen

Die vorliegenden Messergebnisse wurden im Winterhalbjahr ermittelt, folglich zu der Jahreszeit, in der im Allgemeinen erhöhte Bioaerosolkonzentrationen festzustellen sind (vgl. SEEDORF UND HARTUNG, 2002). Anzumerken ist, dass während des Messzeitraums die Stalljalousien aufgrund der kalten Außentemperaturen (siehe Lufttemperaturverlauf, Anhang V, Abbildung 1) oft geschlossen waren (dies wurde als Randbedingung mit erfasst), sodass durch die eingeschränkte Be- und Entlüftung der Verdünnungseffekt durch den Austausch mit der Außenluft als gering anzunehmen ist. Es ist somit zu erwarten, dass sich die ermittelten PM 10-Konzentrationen in oberen Bereichen des jahreszeitlichen Werteverlaufs befinden. Nachfolgend werden die ermittelten PM 10-Werte mit bekannten stallinternen Staubkonzentrationen sowie den Arbeitsplatzgrenzwerten der TRGS 900 (2002) verglichen. Auch der Einfluss der Tieraktivität auf die Staubkonzentration wird diskutiert.

6.2.1. PM 10-Konzentrationen im Vergleich

Die in der Literatur angegebenen Maximalgehalte alveolengängigen Staubes sind für Geflügel mit 1,13 $mg \cdot m^{-3}$ und durchschnittlich mit 0,45 $mg \cdot m^{-3}$ (vgl. SEEDORF UND HARTUNG, 2002, 72) angegeben. Bei SCHNEIDER et al. (2006) ist ein PM 10-Wert (plus Standardabweichung) für Mastputen von 0,4 (±0,18) $mg \cdot m^{-3}$ aufgeführt. Die im Rahmen dieser Arbeit in einem Mastputenstall des Louisiana-Typs bestimmten Werte liegen bei maximal 2,44 $mg \cdot m^{-3}$ sowie durchschnittlich bei einer PM 10-Konzentration von 1,27 $mg \cdot m^{-3}$. Damit liegen beide Massenkonzentrationen deutlich über den angegebenen Vergleichswerten aus der Literatur. Zu berücksichtigen ist, dass erstere Literaturwerte lediglich einer Tierart zugeordnet sind und keine Angaben über die Geflügelart, das Haltungssystem oder Messzeiträume vorhanden sind. Die Werte von SCHNEIDER et al. sind auf Mastputen bezogen. Zieht man den Medianwert der Messreihe, welcher weniger durch Ausreißerwerte beeinflusst wird als der Mittelwert, als Vergleichswert heran, so liegt dieser mit 1,12 $mg \cdot m^{-3}$ über dem Medianwert für ein ebenfalls eingestreutes Bodenhaltungssystem (Masthähnchenstall) von 0,75 $mg \cdot m^{-3}$ (vgl. SEEDORF, 2003, 68).
Vergleicht man die in dieser Arbeit ermittelten PM 10-Konzentrationen mit dem bekannten Arbeitsplatzgrenzwert der TRGS 900 (2002), der für unlöslichen und

nicht anderweitig regulierten (welches auf Stallstaub zutrifft) alveolengängigen Staub (A-Staub) mit einem Wert von 3 mg•m^{-3} festlegt ist, so liegen die ermittelten Konzentrationen unterhalb dieses AGW. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den vorliegenden Konzentrationen um 24-Stunden-Werte von stationären, in 2 m Höhe ermittelten Messungen und nicht um personen- oder arbeitsplatzbezogene Messungen handelt. Personenbezogene Messungen liefern im Allgemeinen durch die Bewegung im Raum an sich und tätigkeitsbezogene Staubentwicklung deutlich höhere Messwerte. So wurden in Bodenhaltungssystemen für Legehennen für A-Staub bei tätigkeitsassoziierten Messungen in Wintermonaten Werte bis zu 7 mg•m^{-3} ermittelt (vgl. BLOMBERG et al., 2005). Solche Konzentrationsspitzen, die nur temporär auftreten, insbesondere bei Arbeiten im Stall, die mit erhöhter Tieraktivität verbunden sind, konnten mit dem stationären Messsystem und einer Sammelzeit über zwei Stunden nicht erfasst werden.

6.2.2. Einfluss der Tieraktivität auf die PM 10-Konzentrationen

Die analytische Auswertung der Filter bestätigte die schon zu Beginn des Messzeitraumes auffällig gewordenen Unterschiede der mittleren PM 10-Konzentrationen von Messungen an Werktagen (Wochentage Montag bis Freitag) beziehungsweise an Wochenenden (Samstag und Sonntag). Begründet werden können diese Differenzen durch den Einfluss der Aktivität der Tiere auf die PM 10-Konzentration, da diese an Wochenenden geringer ausfällt. An Wochenenden ist die Umgebung des Stalls durch deutlich weniger äußere Einflüssen, wie es beispielsweise der Maschinenverkehr oder Futtermittellieferungen auf dem Hofgut darstellen, geprägt, sodass es auch zu geringeren Störungen der Tiere von außen kommt. Auch entfallen zu diesen Zeiten aufwendigere Arbeiten im Stall wie z. B. das Einstreuen. Der Median der Wochenendwerte liegt etwa 20 % unter dem Median, der mittels der Werte werktags bestimmt wurde.

Ähnliche Phänomene zeigen sich durch tagesrhythmische Ereignisse. Da die Ermittlung von Tages- und Nachtdurchschnitten helfen können tageszeitliche Effekte einzuschätzen, wurde der Einfluss der Tieraktivität auf den Tagesverlauf der PM 10-Konzentrationen mit den Daten des Messprogramms mit zweistündigem Filterwechsel untersucht. Allerdings wurde nicht die von HARTUNG E. (2005) vorgeschlagene Einteilung in zwölf Stunden-Durchschnittswerte vorgenommen, da

sich durch das Lichtprogramm im Putenmaststall eine deutliche Teilung in Aktivitätsphasen und Ruhephasen der Tiere ergab. So ergaben sich bei den der „Nacht“ zugeordneten Filtern aufgrund der geringeren Tieraktivität wesentlich niedrigere PM 10-Konzentrationen als zu Zeiten der aktiven Tierbetreuung und Futteraufnahme am „Tag“. Auffällig ist, dass die Medianwerte und Quartile der Zeiten von 6 bis 14 Uhr, zu denen vermehrt Aktivitäten der Tiere beobachtet werden konnten, nahe zusammen liegen, die Extremwerte in ihrer Verteilung aber erheblich schwanken.

Da zusätzlich der Umgebungsparameter „Einstreuen“ aufgenommen wurde, wurden die Einflüsse dieser Stallarbeit auf die PM 10-Konzentrationen analysiert. Hier ist anzumerken, dass keine gleich bleibende Uhrzeit des Einstreuens eingehalten wurde, da das Einstreumanagement sehr unterschiedlich in den Betriebsablauf eingefügt wurde. Ein direkter Zusammenhang zwischen hohen PM 10-Konzentrationen und Tagen, an denen eingestreut wurde, konnte nicht festgestellt werden. Dies kann daran liegen, dass sich die kurzen Konzentrationsspitzen während der Einstreuphase bei den stationären Messungen bei einer zeitlichen Auflösung (Sammelzeit) von zwei Stunden nicht deutlich auf den Mittelwert auswirken, der offenbar stärker von der generellen Tageskonzentration bestimmt wird. So lagen die mittleren Konzentrationen an den Einstreutagen überwiegend (mit einer Ausnahme) in den unteren bis mittleren Konzentrationsbereichen. Dies könnte ein Hinweis sein, dass das Einstreuen nur einen geringen Beitrag zur gesamten PM 10-Entstehung leistet. Angemerkt sei hier, dass die parallel ermittelten ID-Konzentrationen ebenso in den Kategorien zu finden sind, die von etwa 70 % der Werte besetzt werden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Kenntnis zahlreicher Parameter des Betriebsmanagements wie Zeiten der Tierbetreuung oder Fütterungszeiten sowie auch klimatologische Bedingungen unbedingt als Rand- oder Umgebungsparameter miterfasst werden sollten. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein entsprechendes Protokollblatt zur Erhebung der genannten Parameter entworfen. Denn nur bei genauer Kenntnis der Ursache von bestimmten Quellstärken sowie deren Spitzen, wie es die Extremwerte der Konzentrationen darstellen, können entsprechende präventive Staubminderungsmaßnahmen entwickelt und wirksam eingesetzt werden. Um genauere Hinweise zu durch bestimmte Ereignisse bedingten Konzentrations-

spitzen in geringerer zeitlicher Auflösung zu erhalten, müssten dann kontinuierlich arbeitende Erfassungssysteme wie z. B. das TEOM eingesetzt werden.

6.3. Einschätzung der ID-Konzentrationen

Die Ergebnisse der Messungen der einatembaren Staubfraktion werden mit bekannten Werten aus der Literatur verglichen und im Bezug auf existierende Grenzwerte diskutiert. Der Einfluss der Tieraktivität auf die ID-Konzentration wird erörtert.

6.3.1. ID-Konzentrationen im Vergleich

Einschätzungen nach SEEDORF UND HARTUNG (2002) der stallinternen ID-Konzentration bei Puten in Bodenhaltung liegen bei 4 $mg \cdot m^{-3}$ bis 21 $mg \cdot m^{-3}$ und Maximalkonzentrationen der Geflügelhaltung bei 36,6 $mg \cdot m^{-3}$. Im Vergleich hierzu liegen von BLOMBERG et al. (2005) in den Wintermonaten ermittelte E-Staub-Werte in Bodenhaltungen von Hühnern von 11,3 $mg \cdot m^{-3}$ bis 20,3 $mg \cdot m^{-3}$. Ein von WARTEMANN (2005) bestimmter Maximalwert für Gesamtstaub in einem Putenstall lag bei 33,7 $mg \cdot m^{-3}$. Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelte maximale Konzentration lag bei 4,34 $mg \cdot m^{-3}$. Dieser Wert liegt deutlich im unteren Bereich der angegebenen Konzentrationen. Die im Jahresverlauf von SCHNEIDER et al. (2006) erfasste mittlere Konzentration (mit Standardabweichung) liegt bei 0,59 (±0,33) $mg \cdot m^{-3}$, welche deutlich unter der mittleren Konzentration dieser Messreihe mit 1,96 $mg \cdot m^{-3}$ liegt. Die berechnete Mediankonzentration von 1,74 $mg \cdot m^{-3}$ liegt zwischen den von SEEDORF (2003) angegebenen einatembaren Staubgehalten der Masthähnchen von 6,13 $mg \cdot m^{-3}$ und Legehennen von 1,29 $mg \cdot m^{-3}$ und unterhalb des für den Geflügelsektor angegebenen Medianwertes von 2,45 $mg \cdot m^{-3}$ nach SEEDORF UND HARTUNG (2002). Hier wird beim Vergleich mit anderen publizierten Werten nochmals deutlich, dass zum Vergleich der Daten stets die eingesetzte Messtechnik, die Probenahmedauer pro Tag sowie auch der Zusammenhang mit dem jeweiligen Haltungssystem und der Tierart berücksichtigt werden muss. Sind für das beprobte Haltungssystem keine Daten vorhanden, ist am ehesten der Vergleich mit einem

ähnlichen Haltungssystem erlaubt, wie es beispielsweise das eingestreute Bodenhaltungssystem der Masthähnchen zum betrachteten Putenmaststall darstellt.
Zurzeit ist in Deutschland ein allgemeiner Arbeitsplatzgrenzwert für unlöslichen und nicht anderweitig regulierten E-Staub von 10 mg•m^{-3} festgelegt. Die berechnete mittlere Konzentration mit 1,96 mg•m^{-3} sowie auch der Maximalwert von 4,34 mg•m^{-3} liegen weit unter diesem Grenzwert. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich hier um Ergebnisse stationärer Messungen in 1,5 m Höhe handelt. So betrugen beispielsweise von BLOMBERG et al. (2005) in Bodenhaltungsformen von Legehennen ermittelte tätigkeitsassoziierte E-Staub Werte im Winter bis zu 39,2 mg•m^{-3}. Zur Beurteilung der ID-Konzentrationen gilt Gleiches wie bei den Feinstäuben. Bezüglich der gesundheitlichen Effekte sollte nicht nur die Quantität sondern auch die Qualität des Stallstaubs berücksichtigt werden. Für bestimmte Gefahrstoffe oder Tätigkeitsbereiche existieren Arbeitsplatzgrenzwerte, die in der Gefahrstoffverordnung von 2004 aufgeführt sind. Berufsbezogene Grenzwerte für den Bereich der Nutztierhaltung fehlen jedoch.

6.3.2. Einfluss der Tieraktivität auf die ID-Konzentrationen

Auch für die ID-Konzentrationen konnte eine Abhängigkeit von der Tieraktivität mittels der durchgeführten Messungen bestätigt werden. Der Medianwert der am Wochenende, der Zeit geringerer Tieraktivität, ermittelten ID-Konzentration liegt etwa 20 % unterhalb des für die Werktage berechneten Medians. Die Schwankungen der Extremwerte an Wochenenden fallen hier deutlich geringer aus. Auffallend ist das deutlich geringere Quartil von 1,49 mg•m^{-3} bis 1,55 mg•m^{-3} gegenüber dem der Werktage mit 1,43 mg•m^{-3} bis 3,05 mg•m^{-3}. Wie auch bei den PM 10-Konzentrationen konnte kein Zusammenhang zu den Tagen, an denen die Tiere frisch eingestreut wurden, ermittelt werden. Wiederum lagen diese Konzentrationen im unteren bis mittleren Bereichen. Hier wurde mit erhöhten Konzentrationen gerechnet durch das Einstreuen des Stalles an sich sowie durch diese Tätigkeit verursachte vermehrte Tieraktivität. Anzunehmen wäre, dass sich die durch diese Arbeiten verursachten Partikelkonzentrationen in geringeren Höhen niederschlagen, so dass eine Erfassung einer vermehrten Staubentwicklung durch Einstreuen nur in tierbezogener Messhöhe möglich ist. Dieses wäre zu überprüfen.

6.4. Vergleich beider Staubfraktionen im Zusammenhang

Mit der zeitgleichen Aufnahme beider Staubfraktionen ist es möglich, die Abhängigkeit beider Konzentrationen voneinander festzustellen. Die beiden, durch eine gravimetrische Standardmethode verbundenen, eingesetzten stationären Messsysteme werden ebenso miteinander verglichen. Dass die Proben von PM 10 und ID aus gering differierenden Messhöhen gezogen wurden, wurde beim Vergleich vernachlässigt. Angemerkt sei, dass die Konzentration von ID aus dem Wert einer 24-Stunden-Messung resultiert, während die verglichene PM 10-Konzentration eine mittlere Konzentration der Filter des jeweiligen Messprogramms darstellt. Letzterer Wert ist somit aufgrund seiner Zusammensetzung aus Einzelmessungen mit einer erhöhten aber unbekannten Fehlerquote bzw. Messunsicherheit behaftet. Die maximal erreichten Konzentrationen beider Staubfraktionen wurden am 56. Masttag mit Tieren von etwa 4,9 kg Körpergewicht erreicht. Die Mediankonzentration von PM 10 liegt 42,5 % unterhalb der medianen Konzentration von 1,74 $mg \cdot m^{-3}$ der einatembaren Staubfraktion (ID), somit beträgt der PM 10-Anteil an ID 57,5 %. Der Range der Extremwerte ist bei ID fast doppelt so groß wie der bei PM 10, allerdings liegt hier der Wertebereich der Quartile (25 % -75 %) enger zusammen.

Mittels der parallel erhobenen Wertepaare wurden beide Messsysteme DIGITEL HVS DHA-80 und IOM-SKC korreliert. Grund für die Suche nach einer (sehr) guten Korrelation, ist die Möglichkeit, eine fehlende oder nur schwer zu bestimmende Variable (hier PM 10-Konzentration) aus der vorhandenen zu berechnen. So werden bisher im Rahmen von Genehmigungsverfahren aufgrund von mangelnden Daten zu PM 10-Konzentrationen diese Werte mittels Konvertierungsfaktoren aus vorhandenen Messungen von Gesamtstaub abgeschätzt (NESER, 2006).

Die Korrelation r ist mit 0,934 berechnet worden, wobei die zugehörige Korrelationsgleichung mit 87,2 % erklärt werden kann, das heißt 87,2 % der Gesamtvarianz der PM 10-Messwerte können auf die Varianz der Messwerte von ID zurückgeführt werden. Da es sich bei dieser Zusammenstellung um eine geringe Anzahl von Wertepaaren handelt, kann hier lediglich eine ausreichende Korrelation der Werte vermutet werden. Allerdings müsste diese durch deutlich umfangreichere Messkampagnen verifiziert werden.

Folgende Werte findet man bei NESER (2006, 99) in einer Zusammenstellung aus unterschiedlichen Publikationen: für verschiedene Haltungsformen von Geflügel allgemein werden PM 10-Anteile am Gesamtstaub (ID) von 0,15 – 0,46 angegeben. Für Puten in Bodenhaltung ist ein Anteil von 0,25 angegeben, wobei mit einem Konventionswert von 0,3 gerechnet wird. Setzt man diesen Konventionswert bei den in dieser Arbeit ermittelten ID-Konzentrationen an, so würden erheblich niedrigere PM 10-Konzentrationen berechnet werden als tatsächlich bestimmt wurden. In gleicher Quelle sind jedoch für Legehennen in Bodenhaltung sowie Masthähnchen in Bodenhaltung Werte um die 0,59 bzw. 0,58 angegeben, die ähnlich den hier berechneten mittleren Anteil von 0,59 sind. Zu erklären könnte dies damit sein, dass aufgrund der kalten Außentemperaturen während des Messzeitraumes die Jalousien stets geschlossen waren. So nähern sich die Messwerte eher Systemen wie der Bodenhaltung von Legehennen und Masthähnchen an. An diesem Beispiel wird die Relevanz der Aufnahme von Umgebungsparametern besonders deutlich. Ohne diese Zusatzinformation und die Vergleiche mit den Literaturwerten, wäre die Interpretation dieser Daten nicht sinnvoll möglich. Auch hier wird deutlich, dass gerade im Bereich der Feinstaubmessung unbedingt weitere Daten erhoben werden müssen, um eine Einschätzung einer Anlage im Rahmen von Genehmigungsverfahren auch gerecht zu werden. Berücksichtigt werden sollte auch, dass ein Vergleich unterschiedlicher Messsysteme nur unter vergleichbaren Bedingungen erfolgen sollte.

6.5. Einschätzung der Endotoxinaktivitäten

Endotoxine sind neben Mikroorganismen als gesundheitlich problematische Komponente der Luft aus Tierställen anzusehen, da sie sich im menschlichen und tierischen Organismus nachteilig auswirken können. Daher sind, insbesondere für eine umwelthygienische Beurteilung, neben der Quantität der Staubfraktionen aus Tierställen unbedingt die stets mit den Stäuben verbundenen organischen Komponenten unterschiedlicher Zusammensetzung zu berücksichtigen. Für Endotoxine bestehen derzeit keine Grenzwerte. Verschiedene Quellen geben für Arbeitsplätze Orientierungswerte beziehungsweise Richtwerte an, wobei die Angaben von 50 $EU \cdot m^{-3}$ bis 1.000 $EU \cdot m^{-3}$ reichen. Die Streuungsbreite dieser Werte spiegelt die Schwierigkeit

der Analytik der Endotoxine wieder. Diese stellte sich auch im Rahmen der Analyse der PM 10-Teilfilter dar. Durch die homogene Beaufschlagung der Großfilter sollten sich bei der Analyse annähernd ähnliche Endotoxinaktivitäten für die Teilfilter ergeben. Es zeigte sich aber, dass die Werte der beiden Teilfilter eines Großfilters stark variieren. Anzumerken ist, dass die Homogenität der Beaufschlagung und Repräsentativität der Teilfilter schon vielfach durch Analysen von Luftinhaltsstoffen bestätigt wurde. Die Gründe der Variation liegen also in der zu ermittelnden Komponente selbst. Diese Analysen der PM 10-Teilfilter zeigen wie unterschiedlich die Zusammensetzung von Stäuben aus Tierställen sein kann.

In der Literatur sind nur wenige Angaben zu Gehalten an Endotoxinen in Tierställen zu finden. Bei SEEDORF UND HARTUNG (2002) sind verschiedene Angaben zu Endotoxinaktivitäten gegeben. Dort ist ein Wert für einen Putenhennen-Stall von 10.960 EU•m^{-3} aufgeführt. Als bekannte Arbeitsplatzkonzentration in der Geflügelhaltung werden Werte von 0,5 µg•m^{-3} bis 2,68 µg•m^{-3} (diese entsprechen 6.250 bis 33.500 EU•m^{-3} [2]) angegeben, wobei hier keine Angabe auf einen Bezug zu einer Staubfraktion gegeben ist. SEEDORF (2003) ermittelte in Masthähnchenställen, die vergleichbar mit dem beprobten Putenmaststall mit Einstreu aufgestallt waren, (mediane) Tageswerte für einatembare Endotoxine um 2.225 EU•m^{-3} und entsprechende nächtliche Werte um 2.098 EU•m^{-3}.

Für die in dieser Arbeit analysierten Endotoxinaktivitäten ergab sich für die aktiv beaufschlagten ID-Filter ein Werte-Bereich von 100 EU•m^{-3} bis 5.544 EU•m^{-3}. Mehr als die Hälfte der ermittelten Werte im einatembarem Staub lagen unterhalb von 1.000 EU•m^{-3} und somit unterhalb des oberen Orientierungswerte von 1000 EU•m^{-3}. Auf den zugehörigen passiven Filtern wurden Werte um 100 EU/Filter bestimmt. Die ermittelten Endotoxinaktivitäten liegen im Vergleich zum angegebenen Wert aus dem Putenhennen-Stall mit 10.960 EU•m^{-3} deutlich niedriger. Auf den PM 10-Filtern wurden Endotoxinaktivitäten von 150 EU•m^{-3} bis 3.500 EU•m^{-3} ermittelt. Im Vergleich dazu stehen die von SEEDORF (2003) ermittelten Medianwerte bei Masthähnchen von tagsüber 200 EU•m^{-3} und nachts 343 EU•m^{-3} im alveolengängigen Staub.

[2] 25 EU = 2 ng, aus HARTUNG (1994b), S. 64

Mittels der analysierten Filter lassen sich keine Zusammenhänge zwischen der betrachteten Staubfraktion und der Endotoxinaktivität beweisen (siehe Abbildung 31). Dies bestätigt erneut die große Variabilität des Vorkommens und der Zusammensetzung von Bioaerosolen.

6.6. Berücksichtigung umwelthygienischer und umweltrechtlicher Aspekte

Die Einschätzung des Gefahrenpotentials der Stäube aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung in Bezug auf die Belastung der menschlichen Gesundheit ist wegen der komplexen Zusammensetzung des organischen Stallstaubs schwierig. Es konnten bei den ermittelten stationären Konzentrationen keine Überschreitungen der zur Zeit für Stallstaub zugeordneten allgemeinen Grenzwerte (AGWs der TRGS 900) für E-Staub und A-Staub festgestellt werden. So scheint sich diese Stallluft aber dennoch negativ auf die Tiergesundheit auszuwirken, denn organischer Stallstaub gilt als ein wichtiger Verursacher von respiratorischen Erkrankungen bei Landwirten und Nutztieren. Unter der Berücksichtigung, dass derzeit noch kein Schwellenwert für die durch PM 10 ausgelösten Effekte auf die Gesundheit des Menschen nachgewiesen werden konnte (vgl. KRDL 2003), sollte zukünftig für eine ausreichende umwelthygienische Beurteilung nicht nur die Quantität der Staubfraktionen in ihrer Variabilität erfasst werden, sondern es muss auch eine hinreichende Analyse der Zusammensetzung erfolgen. Allerdings beweist sich in diesem Zusammenhang die große Variabilität des Staubs aus Tierställen aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren wie z. B. Tierart, Haltungssystem, Fütterung, Jahreszeit und Lüftungsregime als problematisch. Selbst die Ermittlung bekannter Bestandteile wie z. B. Endotoxine gestaltet sich schwierig, da diese auch innerhalb von Proben, wie es die Analyse der PM 10-Teilfilter zeigte, erhebliche Variationen aufweisen. So liegt das Problem in der Beurteilung der Frage welche Zusammensetzung in welcher Konzentration zu negativen biologischen Wirkungen bei Menschen oder Tier führt. Aufgrund ihrer Bauweise stellen frei gelüftete Haltungssysteme diffuse Emissionsquellen dar. Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass sich zu bestimmten Tageszeiten und vor allem an Werktagen Konzentrationsspitzen ergeben und ein Offenstall somit als eine potentiell bedeutsame Emissionsquelle für PM 10 angesehen muss. Derzeit wird allerdings davon ausgegangen, dass diese frei

gelüfteten Haltungssysteme keine negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch PM 10 ausüben, da durch die Abstandsregelung der TA LUFT (2002) eine ausreichende Verdünnung von PM 10 erfolgen sollte. Diese Annahme ist jedoch nicht durch ausreichende Messungen in Ställen und in der Stallumgebung gesichert. Hier sind dringend längerfristige Messungen bei verschiedenen Nutztierarten, besonders Geflügel, notwendig, wobei - wie diese Untersuchungen zeigen – auch gezielt die Aufklärung der Quellstärken-Variabilität und Quellstärkenspitzen von PM 10 sowie eine Erfassung der meteorologischen Bedingungen, des Stallklimas und des Betriebmanagement notwendig ist.

7. Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen liefern orientierende Daten zu PM 10-Konzentrationen in einem frei gelüfteten Putenmaststall. So können für das eingesetzte Messsystem DIGITEL HVS DHA-80 zur Erfassung von PM 10 und aus den Erfahrungen bezüglich des Umgangs mit Material und Messtechnik, begleitender Dokumentation und Datenauswertung nachfolgende Empfehlungen für künftige Messprojekte gegeben werden.

7.1. Messtechnik: DIGITEL HVS DHA-80

Für die Einsatzmöglichkeit des DIGITEL HVS DHA-80 im eingestreuten Putenmaststall lässt sich zusammenfassend feststellen:

- Der DIGITEL HVS DHA-80 ist als stationäres Messsystem zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung von PM 10 grundsätzlich unter Stallbedingungen, wie den hier im eingestreuten frei gelüfteten Putenstall untersuchten, geeignet.
- Die Messtechnik ist bedienerfreundlich und zeichnet sich aus durch gute Handhabbarkeit bei Wartungsarbeiten, durch Übersichtlichkeit und Verlässlichkeit während des gesamten Messzeitraumes.
- Je nach Fragestellung kann die Häufigkeit der Filterwechsel variiert werden. Jedoch ist durch die Anzahl der automatisch wechselnden Filterhalter die zeitliche Auflösung bei Messungen über 24 Stunden auf 16 Filter begrenzt.
- Zu lange Sammelzeiten können zur Überladung der Filter führen, welche dann nicht hinreichend genau gravimetrisch analysiert werden können.
- Die Bildung von Artefakten kann durch Bestimmung optimaler Sammelzeiten eingeschränkt werden. Bei gegebener Fragestellung in diesem Fall lag die optimale Sammelzeit bei zwei Stunden.
- Kurze Sammelzeiten erlauben durch quasi-kontinuierliche Probenahme die Darstellung von Verläufen und tagesrhythmischen Ereignissen.

- Anschaffungskosten und benötigte Verbrauchsmaterialien
    - Anschaffungskosten: hoch (um 22.000 €, je nach Ausstattung des HVS)
    - Verbrauchsmaterialien (im Vergleich zu Kleinfiltergeräten)
        - Filter (einzusetzen sind Großfilter aus Quarzfaser): hoch
        - für Wartung wie z. B. Siliconfette: niedrig
- Personal- und Zeitaufwand:
    a) für die Montage: Auf- und Abbau des Messsystems erfordern bedingt durch Gewicht und Abmessungen des Gerätes zwei Personen.
    b) für die Kontrollen: je nach Fragestellung und angestrebtem Messprogramm Der Aufwand bei Messprogrammen mit kurzen Filterlaufzeiten ist für die Kontrollen des Messgerätes und der Austausch des Filtermagazins deutlich erhöht. Hierbei sind dann außerdem die vermehrt anfallenden Fahrtzeiten zum Messstandort zu berücksichtigen. Bei Messprogrammen mit sehr hohem Filterwechsel können diese Arbeiten dann täglich anfallen.
    c) für Vor- und Nacharbeiten: Einzuplanen ist der nicht unerhebliche Zeitaufwand der Vorarbeiten für die Messungen wie das Auswiegen der Filter und Präparieren der Filterhalter. Gleiches gilt für die Nachbereitungen der Messungen, welche das erneute Auswiegen der Filter sowie Reinigung und gegebenenfalls Desinfektion der Materialien beinhalten.
    d) Organisation: Für einen reibungslosen Ablauf hat sich die Erstellung eines detaillierten Messplans bewährt.

Daraus ergibt sich, dass der DIGITEL HVS DHA-80 die messtechnischen Voraussetzungen für einen Einsatz im Tierstall besitzt. Zu berücksichtigen ist, dass nur stationäre Messungen durchgeführt werden können. Angemerkt sei hier, dass zukünftig nach Angaben des Herstellers dieser Messtechnik auf Anfrage auch Probenahmen in unterschiedlichen Messhöhen erfolgen können, so dass ein variabler Einsatz in Höhe des Einatembereichs von Tieren oder Personen möglich ist. Für mobile Messungen kann das Gerät wegen seines Gewichtes nicht genutzt werden. Für eine allgemeine Einschätzung der Staubbelastung am Arbeitsplatz Stall scheint es jedoch durchaus geeignet zu sein.

7.2. Folgerungen für zukünftige Messprojekte und Zielsetzungen für die standardisierte Erfassung von PM 10 in Tierställen

Haltungssysteme für Nutztiere sind nur in geringem Umfang standardisiert. Auch vermeintlich gleiche Stalltypen unterscheiden sich oftmals in Stallgröße, Fütterungseinrichtungen, Boden- und Einstreugestaltung und Management. Hinzu kommen geographische und klimatische Unterschiede in den verschiedenen Regionen. Durch die vielfältigen und unterschiedlich Einflussnehmenden Variablen ist daher eine standardisierte Probenahme von PM 10 in Nutztierhaltungen, die auch für die Bestimmung von Emissionsfrachten benutzt werden können, nur eingeschränkt möglich. Sinnvolle Ansätze zur Standardisierung zeigten sich im Rahmen dieser Arbeit besonders im Bereich der Probenahme sowie durch die Dokumentation von Rand- und Umgebungsparametern. Letztere liefert wichtige Hinweise zur Interpretation und ist ebenso bei Vergleichen von Daten unterschiedlicher Herkunft bedeutsam. Hilfreich ist weiter die Benutzung von Stations- und Protokollblättern zur Dokumentation der Bedingungen. Für zukünftige Projekte zur Staubbestimmung sollte die Erfassung der genannten Parameter zum Standard gehören. Auch der Vergleich mit anderen Messsystemen, wie dies in dieser Arbeit mit dem DIGITEL HVS DHA-80 und dem IOM-SKC-Messsystem erfolgte, hilft die Befunde richtig einzuschätzen. Insbesondere im Hinblick auf Genehmigungsverfahren ist es erstrebenswert validierte Messsysteme zur fraktionierten Stauberfassung einzusetzen.

8. Zusammenfassung

Es wurden Staubmessungen in der Luft eines Putenmaststalls mit dem Ziel der Charakterisierung der Höhe und des Verlaufs besonders der Feinstaubfraktion PM 10 (Particulate Matter 10, Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist) und der einatembaren Staubfraktion (ID bzw. PM 100) im Laufe eines Mastdurchganges durchgeführt. Zur Erfassung von PM 10 wurde das für Emissionsmessungen bereits etablierte Messsystem DIGITEL HVS DAH-80 eingesetzt, um es auf Eignung unter Stallbedingungen zu testen. Die Ansaughöhe zur Probenahme betrug 2 m über Grund. Parallel dazu wurde die einatembare Staubfraktion mit einem in der Arbeitsmedizin gebräuchlichen, stationär positionierten Personal Sampler (IOM-SKC-Messsystem) erfasst.

Anlass der Erfassung der Staubkonzentrationen war der unbefriedigende Kenntnisstand bezüglich der Zuordnung der Emissionen zur Quelle „Tierstall“ und bezüglich der Quantitäten der Staubfrachten. Ein wesentlicher Grund für die bislang geringe Anzahl von Feinstaubmessungen in Tierhaltungen liegt in dem Fehlen standardisierter Messverfahren für diese Komponente, was zudem den Vergleich der bisherigen Messergebnisse erschwert. Der Wert der genauen Kenntnis der Konzentrationen der partikelförmigen Emissionen besonders Feinstaub (PM 10) in und aus landwirtschaftlicher Nutztierhaltung liegt in der Einschätzung des Gefährdungspotentials für den Menschen unter Berücksichtigung umwelthygienischer und umweltrechtlicher Aspekte. Letztere werden u. a. durch das Vorsorgeprinzip im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) dargestellt, wobei die Minderung der von Tierhaltungen ausgehenden Emissionen bereits wichtiger Bestandteil nationaler und europäischer Luftreinhaltepolitik ist. So beschäftigen sich Umwelt- und Arbeitsmediziner aufgrund des Verdachts erhöhter Prävalenz umweltbezogener Beschwerdebilder wie Störungen im Bereich der Atemwege in Regionen mit spezialisierter Tierhaltung und bezüglich des Auftretens als arbeitsschutzrelevanter Arbeitsstoff verstärkt mit diesem Feinstaub. Darüber hinaus werden die Daten von den Behörden als Entscheidungshilfe für die Bewilligung neuer Stallbauten benötigt, um Anwohner vor möglichen negativen Einflüssen zu bewahren.

Derzeit wird davon ausgegangen, dass PM 10 aus Nutztierhaltungen, aufgrund der durch die Abstandsregelung der TA Luft (2002) greifenden Verdünnungseffekte keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Anwohnern hat. Diese Annahme ist allerdings bisher nicht durch ausreichende Messungen abgesichert.

Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Messkampagnen haben zusammen mit der Literaturrecherche ergeben, dass das Messsystem DIGITEL HVS DAH-80 zur Erfassung von PM 10-Konzentrationen in Geflügelstallungen als geeignet bewertet werden kann. Die über 24 Stunden maximal erfasste mittlere PM 10-Konzentration beträgt 2,44 mg•m^{-3}, der Durchschnitt liegt bei 1,27 mg•m^{-3}, wobei die PM 10-Konzentrationen im Tagesverlauf tagesrhythmische Ereignisse widerspiegeln. Die ebenso über 24 Stunden erfassten ID-Konzentrationen liegen in Bereichen von 0,83 mg•m^{-3} bis 4,34 mg•m^{-3}. Bei der Auswertung der Daten wie auch im Vergleich mit Literaturwerten zeigte sich, dass für eine standardisierte Probenahme die Dokumentation von Rand- und Nebenbedingungen unverzichtbar ist und so hierfür adäquate Stations- und Protokollblätter entworfen wurden. Beide Staubfraktionen wurden im Hinblick auf bekannte Arbeitsplatz-Grenzwerte (AGW) sowie in Bezug auf umweltrechtliche Aspekte bewertet. Da bisher keine berufsbezogenen Grenzwerte existieren, wurden die beiden Staubkonzentrationen als arbeitsschutzrelevante Arbeitsstoffe mit den allgemein gültigen Grenzwerten der GefStoffV von E-Staub (einatembarer Staub) und A-Staub (Alveolengängiger Staub) mit einem AGW von 10 mg•m^{-3} bzw. 3 mg•m^{-3} verglichen. Selbst die bestimmten maximalen Tages-Konzentrationen liegen unterhalb dieser AGWs. Von ausgewählten Staubproben beider Fraktionen wurden die Aktivitäten der ebenso zu den umwelthygienisch bedeutenden Luftinhaltsstoffen zählenden Endotoxine ermittelt und mit bekannten Werten aus der Literatur verglichen. Für diese biologische Komponente besteht derzeit kein Grenzwert, sondern nur Orientierungswerte, die von 50 EU•m^{-3} bis 1.000 EU•m^{-3} reichen. Mehr als die Hälfte der ermittelten Endotoxinaktivitäten im E-Staub lagen unterhalb von 1.000 EU•m^{-3} und die der analysierten PM 10-Teilfilter lagen im Bereich von 150 EU•m^{-3} bis 3.500 EU•m^{-3}.

Zukünftige Beurteilungen umwelthygienischer oder arbeitsmedizinischer Fragestellungen, stellen die Qualität der Staubfraktionen zunehmend in den Fokus der Messungen, da diese aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren eine erhebliche Variabilität aufweisen kann. Die weitere Bearbeitung des relativ neuen Arbeitsgebietes PM 10 (Feinstaub) im Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und den Austausch von Erkenntnissen und Erfahrungen zwischen den beteiligten Disziplinen der Wissenschaft und Forschung aber auch mit Gesetzgebern und Genehmigungsbehörden.

9. Literaturverzeichnis

AHLGRIMM, H.-J., DÄMMGEN, U. (1994): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission von klimarelevanten Spurengasen. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung, Teil II, Sonderheft 148, S. 75-106

AID/KTBL (Hrsg.) (2003): Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft mindern – Gute fachliche Praxis, Bonn.

ANGERSBACH-HEGER, S. (2002): Untersuchungen zur Emission und Verfrachtung luftgetragener Mikroorganismen von der Auslauffläche einer Legehennenfreilandhaltung, Hannover

BERRY, N. R., ZEYER, K., EMMENEGGER, L., KECK, M. (2005): Emission von Staub (PM 10) und Ammoniak (NH_3) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung, Ettenhausen.

BERUFSGENOSSENSCHAFT der keramischen und Glas-Industrie: Staub-Info,
URL: http://www.bgglaskeramik.de/d/staub-info/definition/index.html
(Stand: 20.04.2006)

BERUFSGENOSSENSCHAFTLICHES Institut für Arbeitsschutz (Hrsg.) (1995): Messung von Gefahrstoffen (Analyseverfahren) – Arbeitsmappe 9410: Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz, Berlin

BLOMBERG, N., GAYER, P., WANKA, U., DAMME, K., RIEGER, M. (2005): Alternative Legehennenhaltung: Auswirkung auf die Belastung. In: KTBL (Hrsg.): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, Darmstadt, S. 109-117

BUNDESAMT für UMWELT, WALD und LANDSCHAFT, Abteilung Luftreinhaltung und NIS (2001): PM 10: Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Maßnahmen, Bern

BURGE, H. A. (1995): Bioaerosols, Boca Raton

COX, C. S., WATHES, C. M. (1995): Bioaerosols handbook, Boca Raton

DEWI, I., AP, AXFORD, R. F. E., MARAI, I. F. M., OMED, H. M: (Hrsg.) (1994): Pollution in livestock production-systems, Wallingford

DIGITEL ELEKTRONIK AG: Aerosol-, Gas- und Regenprobensammler,
URL: http://www.digitel-ag.com/frameset.htm (Stand: 02.05.06)

DIN EN 481 (1993): Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel, Deutsche Fassung EN 481:1999, Berlin

DIN EN 12341 (1999): Luftbeschaffenheit – Ermittlung der PM 10 Fraktion von Schwebstaub. Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Messverfahren und Referenzmeßmethode; Deutsche Fassung EN 12341:1998. In: KRdL (Hrsg.): VDI-DIN Handbuch Reinhaltung der Luft - Band 5, Analysen und Messverfahren, Berlin

DIN ISO 7708 (1995): Luftbeschaffenheit – Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstaub-probenahme, ISO 7708:1995. In: KRdL (Hrsg.): VDI-DIN Handbuch Reinhaltung der Luft - Band 5, Analysen und Messverfahren, Berlin

DIN ISO 8756 (1994): Luftbeschaffenheit – Handhabung von Temperatur-, Druck- und Feuchtedaten; ISO 8756:1994. In: KRdL (Hrsg.): VDI-DIN Handbuch Reinhaltung der Luft - Band 5, Analysen und Messverfahren, Berlin

EG-Richtlinie 80/779/EWG vom 15. Juli 1980 über Grenzwerte und Leitwerte für Schwefeldioxid und Schwebstaub, ABl. EG 1980 Nr. L 229/

EIKMANN, T., SEITZ, H. (2002): Klein aber oho! Von der zunehmenden Bedeutung der Feinstäube In: Umweltmedizinische Forschung und Praxis 7, S. 63-64

ERSTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), i. d. F. vom 24. Juli 2002 (GMBl. 2002 S. 511).

FÖRDERGEMEINSCHAFT NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFT e. V.,
URL: www.fnl.de (Stand: 24.02.2005)

FROMME, H. (2005): Gesundheitliche Bewertung der PM 10- und Feinstaub-Problematik.
URL: www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltmedizin/feinstaub.htm (Stand: 28.01.2007)

GESETZ ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVPG) vom 12. Februar 1990, zuletzt geändert durch Art. 2 G vom 21. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3316)

GESETZ ZUM SCHUTZ VOR SCHÄDLICHEN UMWELTEINWIRKUNGEN DURCH LUFTVERUNREINIGUNGEN, GERÄUSCHE, ERSCHÜTTERUNGEN UND ÄHNLICHE VORGÄNGE (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), i. d. F. d. Bek. vom 26. September 2002 (BGBl I 2002 S. 3830), zuletzt geändert durch Art. 2 G vom 22. Dezember 2004 (BGBl I 2004 S. 3704)

GESETZ ZUR UMSETZUNG DER UVP-ÄNDERUNGSRICHTLINIE, DER IVU-RICHTLINIE UND WEITERER EG-RICHTLINIEN ZUM UMWELTSCHUTZ (Artikelgesetz), i. d. F. d. Bek. vom 3. August 2001 (BGBl. 2001 S. 1950)

GRIMM, E., ECKHOF, W. (2002): Assessment of immission of dust and micro-organisms as part of permitting procedures for livestock management installations – legal basis and methods. In: HINZ, T., RÖNNPAGEL, B., LINKE, S.: Particulate matter in and from agriculture, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 235, Braunschweig, S. 7-19

GRIMM, E. (2003): Zur Neufassung der TA Luft 2002
URL: http://www.ktbl.de/recht/ta_luft.htm (Stand: 26.01.2007)

GUARINO, M., PIERLUIGI, N., LAURA, V., AMANDA, S. (2002): Particulate matter concentrations in two different buildings for laying hens. A first note. In: HINZ, T., RÖNNPAGEL, B., LINKE, S. (Hrsg.): Particulate matter in and from agriculture, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 235, Braunschweig, S. 175-179

HARTUNG, E. (2005): Messung von Gasen und Partikeln – Maßnahmen zur Qualitätssicherung. In: KTBL (Hrsg.): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, Darmstadt, S. 74-91

HARTUNG, J. (1994a): Environment and Animal Health. In: WATHES, C. M., CHARLES, D. R. (Hrsg.): Livestock housing, Wallingford

HARTUNG, J. (1994b): The effect of airborne particulates on livestock health and production In: Pollution in Livestock Production Systems. Ap Dewi, I. Axford R.F.E. Marai, I. F. M.; Omed, H. (eds.), CAB International, Wallingford, UK, S. 55-69

HARTUNG, J., WATHES, C. M. (2001): Environmental Impact of Livestock Farming in Europe In: HARTUNG, J., WATHES, C. M. (Hrsg.): Livestock farming and the environment, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 226, Braunschweig, S. 1-3

HARTUNG, J. (2002): Effects of bioaerosol related particulate matter on animal health. In: HINZ, T., RÖNNPAGEL, B., LINKE, S. (Hrsg.): Particulate matter in and from agriculture, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 235, Braunschweig, S. 119–123

HARTUNG, J., SEEDORF, J. (2003): Probenahme und Bestimmung von Bioaerosolen in Umfeld von Tierhaltungsanlagen. In: KTBL (Hrsg.): 6. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Vechta, S. 290-295

HARTUNG, J. (2005): Luftverunreinigungen in der Nutztierhaltung. In: KTBL (Hrsg.): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, KTBL Schrift 436, Darmstadt, S. 7-19

HAHN, H., FALKE, D., KAUFMANN, S. H. E., ULLMANN, U. (2001): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Berlin

HILLIGER, H. G. (1991): Emissionen von Staub und Keimen aus Ställen. In: Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 98, S. 257-261

HINZ, T., LINKE, S. (1998): A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings, Part 2: Results. In: Journal of Agricultural Engineering Research, 70, S. 119-129

HINZ, T., BERK, J., HARTUNG, J., LINKE, S. (1999): Environment enrichments and dust emissions in turkey production. In: Proceedings on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May – 2 June, Aarhus, Denmark, S. 237-243

HINZ, T., LINKE, S. (1999): Luftfremde Stoffe in und aus einem Schweinemaststall und einem Hähnchenmaststall. Landbauforschung Völkenrode 49, Braunschweig, S. 90-101

HINZ, T., RÖNNPAGEL, B., LINKE, S. (Hrsg.) (2002): Particulate matter in and from agriculture. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 235, Braunschweig

HINZ, T (2005): Wechselbeziehung zwischen Nutztierhaltung und Umwelt. In: KTBL (Hrsg.): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, Darmstadt, S. 151-156

HIRST, J. M. (1995): Bioaerosols: Introduction, retrospect and prospect. In: COX, C. S., WATHES, C. M. (Hrsg.): Bioaerosols Handbook, Boca Raton, Florida, USA, S. 5-14

HOPPENHEIDT, K., MÜCKE, W. (1998): Bioaerosole in Innenräumen. In: LfU-Fachseminar „Ursachen, Messungen und Bewertungen von Luftverunreinigungen in Innenräumen“, Wackersdorf, 23.06.1998,
URL: http://www.bifa.de/download/bioaerosole.pdf (Stand 24.02.2005)

INFOSERVICE TIERPRODUKTION (Hrsg.) (2002): I§T-Vortragsveranstaltung: Neue bau- und umweltrechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung, Vechta

INTERESSENGEMEINSCHAFT BARSSELER BÜRGER GEGEN MASSENTIERHALTUNG UND FÜR ARTGERECHTE MENSCHENHALTUNG (IBBM-AM),
URL: http://www.die-stoerenfriede.de (Stand: 12.10.2005)

JOHN, A. (2002): Probenahme und chemische Analyse von Korngrößenfraktionierten Immissions- und Emissionsaerosolen, Duisburg

JOHN, A., KUHLBUSCH, T. (2004): Ursachenanalyse von Feinstaub (PM 10)-Immissionen in Berlin auf der Basis von Messungen der Staubinhaltsstoffe am Stadtrand, in der Innenstadt und in einer Straßenschlucht, Abschlussbericht, IUTA-Bericht Nr. LP 09/2004, Berlin

KISTNER, R. (2005): Berufskrankheiten-Statistik der landwirtschaftlichen Unfallversicherung – Erfassung und Auswertung. In: KTBL (Hrsg): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, Darmstadt, S. 52-60

KOMMISSION REINHALTUNG der Luft im VDI und DIN, Arbeitsgruppe „Wirkung von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ (2003): Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft.
URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/stellung-nahmen_krdl_partikelluft.pdf (Stand: 28.05.2006)

KOLLER, U. (2003): Fein- und Feinststäube – Partikel mit großer Wirkung.
URL: www.gsf.de/flugs/Feinstaeube.pdf (Stand: 28.01.2007)

KUHLBUSCH, T., JOHN, A. (2000): Korngrößenabhängige Untersuchungen von Schwebstaub und Inhaltsstoffen, Duisburg

KTBL (Hrsg.) (2005): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall – Herkunft, Erfassung, Wirkung, Maßnahmen, Darmstadt

LIEBERS, V (2004): Belastungen am Arbeitsplatz Stall – ein Tagungsbericht,
URL: www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de/publik/info0304/stall.php (Stand: 10.10.2005)

LINSEL, G. (2001): Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkungen,
URL: http://www.baua.de/nn_11598/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Publikationen/Fachbeitraege-Forschungsergebnisse/artikel04,xv=vt.pdf (Stand: 24.02.2004)

LINSEL, G., DOERING, C., DUGGAL, S., HARTUNG, J., KOCH, A., KOTTMAIR, A., LOHMEYER, M., SCHIERL, R., WEIST, K., ZUCKER, B.-A. (2002): Ergebnisse eines Ringversuches zur Messung luftgetragener Endotoxine. In: VDI-Berichte Nr. 1656, S. 329-339

LINSEL, G. (2003): Probleme bei der Messung luftgetragener Endotoxine. In: Symposium für Richtwerte Endotoxine am Arbeitsplatz, Berlin 14. Mai 2003

LOHMEYER, A., KUHLBUSCH, T., GIESEN, K.-P., DREISEIDLER, A. (2003): Aerosolbudget in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Niedersachen - 3. Materialband für Maßnahmenpläne nach der Eu-Richtlinie zur Luftqualität
URL: http://www.lohmeyer.de/literatur/Boesel_Kurzbericht12.02.2004.pdf
(Stand: 03.05.2005)

MEYJOHANN, D., ZELL, L., SOMMERFELD, A., MACK, U., BUCHTER, A., SEYBRECHT, G. W. (2002): Arbeitsbedingte Atemwegs- und Lungenkrankheiten In: Diagnostik Arbeitsbedingter Erkrankungen,
URL: http://www.uniklinikum-saarland.de/med_fak/arbeitsmedizin/diagnostik/kap3.html
(Stand: 06.12.2002)

MÜNZBERGER, E (2005): Modularer Lehrbrief „Einführung in die Arbeitsmedizin“ – Abschnitt Exposition gegenüber nichttoxischen Stäuben, Medizinische Fakultät – Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Universität Rostock
URL: http://arbmed.med.uni-rostock.de/lehrbrief/staub.htm#DefinitionStaub
(Stand: 20.04.2006)

NESER, S. (2006): Partikelemissionen aus der Nutztierhaltung. In: KTBL (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung, KTBL Schrift 449, Darmstadt, S. 94-103

PAUL SCHERER INSTITUT (Hrsg.) (2005): Aerosolforschung auf dem Jungfraujoch,
URL: http://aerosolforschung.web.psi.ch/ (Stand: 24.02.2005)

PAUL SCHERER INSTITUT (Hrsg.) (2005): Warum Aerosolforschung? Komplexe Vorgänge besser verstehen,
URL: http://aerosolforschung.web.psi.ch/Warum_Page/Warum_Page.htm
(Stand: 24.02.2005)

PAUL SCHERER INSTITUT (Hrsg.) (2005): Was sind Aerosole? Vielfältige Mini-Teilchen in unserer Luft.
URL: http://aerosolforschung.web.psi.ch/Was_Page/Was_Page.htm
(Stand: 24.02.2005)

PEDERSEN, S. (1993): Time based variation in airborne dust in respect to animal activitiy. Proceedings of the 4th International Symposium “Livestock Environment IV” in Coventry, 6-9. July, England, S. 718-725

PETERS, A. (1998): Epidemiologische Daten zur Wirkung von Feinstäuben. In: Umweltmedizinische Forschung und Praxis, 3 (4), S. 189

RADON, K. (2005): Atemwegsgesundheit und Allergiestatus junger Erwachsener in ländlichern Regionen Niedersachsens – Niedersächsische Lungenstudie, München

REDWINE, J. S., LACEY, R.E., MUKHTAR, S., CAREY, J.B. (2002). Concentration and emission of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler houses under summer conditions in Texas. Transactions of the ASAE, 45, S. 1101-1109.

RICHTLINIE 1996/61/EG DES RATES vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, ABl. EG Nr. L 257 vom 24. September 1996 S. 26

RICHTLINIE 1996/62/EG DES RATES vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, ABl. EG Nr. L 296 vom 21. November 1996 S. 55

RICHTLINIE 1999/30/EG DES RATES vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickoxide, Partikel und Blei in der Luft, ABl. EG Nr. L 163 vom 29.Juni 1999, S. 41

RICHTLINIE 2001/81/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES Vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe, ABl. EG L 309 vom 27.November 2001, S. 22

SALEH, M., SEEDORF, J., HARTUNG, J. (2003): Zum Umfang des allgemeinen Luftkeimgehaltes in drei verschiedenen Legehennenhaltungssystemen. In: Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 110 (9), S. 394 – 400

SCHNEIDER, F., EICHELSER, R., NESER, S. (2006): Emission aus frei gelüftetem Ställen – Entwicklung von Messmethoden und Ergebnisse der Feldmessungen. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft - Artgerechte, umweltverträgliche und wettbewerbsfähige Tierhaltungsverfahren, Band 15, Freising-Weihenstephan

SCHWEIZERISCHE UNFALLVERSICHERUNGSANSTALT (Suva) (2004): Grenzwerte am Arbeitsplatz 2005,
URL: http://www.itsp1.suva.ch/sap/its/mimes/waswo/99/pdf/01903-d.pdf
(Stand: 26.09.2005)

SCHRÖTER, G. (2003): An Grenzen stoßen – Messunsicherheiten bei Waagen. In: Qualität und Zuverlässigkeit, München, 48 (7), 48, S. 716-718

SEDLMAIER, N. (2003): Anwendung der TA Luft auf die Tierhaltung
URL: http://www.bayern.de/lfu/bestell/ta_luft_10_7_03/anwendung_2.pdf
(Stand: 10.01.2007)

SEEDORF, J., HARTUNG, J., SCHRÖDER, M., LINKERT, K.H., PHILLIPS, V.R, HOLDEN, M.R., SNEATH, R.W., SHORT, J.L. WHITE, R. P., PEDERSEN, S., TAKAI, H., JOHNSEN, J. O., METZ, J. H. M., GROOT KOERKAMP, P. W. G., UENK, G. H., WATHES, C. M. (1998): Concentrations and emissions of airborne

endotoxins and microorganisms in livestock builduings in Northern Europe, In: Journal of Agricultural Engineering Research, 70 (1), S. 97-109

SEEDORF, J. , HARTUNG, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung, Reinheim

SEEDORF, J. (2003): Die integrierte tier- und umwelthygienische Erfassung und Bewertung von Bioaerosolen in der Nutztierhaltung unter Einsatz eines mobilen Meßkonzepts, Habilitationsschrift, Hannover

SEEDORF, J. (2005): Messung luftgetragener biologischer Komponenten. In: KTBL (Hrsg.): Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall, KTBL Schrift 436, Darmstadt, S. 66-73

SEEDORF, J. (2006): Bioaerosole in und aus der Tierhaltung – umwelthygienische Bedeutung und Messbarkeit. In: KTBL (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung, Darmstadt, S. 115-137

SKC (2004): Operating Instructions – IOM Personal Sampler
URL: http://www.skcinc.com/instructions/37372.pdf (Stand: 28.01.04)

StatSoft (Europe) GmbH (1984-2001): STATISTICA Version 6, Hamburg,
URL: http://www.statsoft.de (Stand: 28.01.06)

TAKAI, H., PEDERSEN, S., JOHNSEN, J. O., METZ, J.H.M., GROOT KOERKAMP, P.W.G., UENK, G.H., PHILLIPS, V.R., HOLDEN, M.R., SNEATH, R.W., SHORT, J.L., WHITE, R.P., HARTUNG, J., SEEDORF, J., SCHRÖDER, M., LINKERT, K.H., WATHES, C.M. (1998): Concentrations and emissions of airborne dust in livestock builduings in Northern Europe, In: Journal of Agricultural Engineering Research, 70 (1), S. 59-77

TAKAI, H., PEDERSEN, S. (2002): Livestock related fine dust – composition, structure and flows. In: HINZ, T., RÖNNPAGEL, B., LINKE, S.: Particulate matter in and from agriculture, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 235, Braunschweig, S. 139–144

TECHNISCHE REGELN FÜR GEFAHRSTOFFE (TRGS): TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, BArbBl. 1/2006 S. 41 - 12/2006 S. 172

TODAR, K. (2002): Mechanisms of bacterial pathogenicity: endotoxins,
URL: http://www.bact.wisc.edu/Bact330/lectureendo (Stand: 19.05.2003)

UMWELTBUNDESAMT (2005a): Informationsdatenbank des Umweltbundesamtes im Internet: Großräumige Entwicklung der Konzentration luftgetragener Schadstoffe (September 2004)
URL: http://www.env-it.de/umweltdaten/jsp/documentListPrint.do (Stand: 26.09.05)

UMWELTBUNDESAMT (2005b): Aktuelle Luftwerte in Deutschland,
URL: http://www.env-it.de/luftdaten/start.fwd (Stand: 28.09.05)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg) (2005c): Hintergrundpapier zum Thema Staub / Feinstaub (PM).
URL: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/feinstaub.pdf (Stand: 12.12.06)

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2006): Particulate Matter – basic information,
URL: http://www.epa.gov/oar/particlepollution/basic.html (Stand: 20.04.2006)

VDI 2463 Blatt 1 (1999): Messen von Partikel – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft – Grundlagen. In: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss (Hrsg.): VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4, Analysen- und Messverfahren, Berlin

VDI 2463 Blatt 11 (1999): Messen von Partikel – Messen der Massenkonzentration (Immission) – Filterverfahren – Filterwechsler DIGITEL HVS DHA-80. In: KRdL (Hrsg.): VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4, Analysen- und Messverfahren, Berlin

VDI 3472 (1999): Emissionsminderung – Tierhaltung – Hühner. In: KRdL (Hrsg.): VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, Emissionsminderung (Fortsetzung), Berlin

VERBAND DEUTSCHER PUTENERZEUGER e. V.,
URL: http://www.deutsche-puten.de/ (Stand: 28.09.05)

VERORDNUNG ZUM SCHUTZ VOR GEFAHRSTOFFEN (GefStoffV), i. d. Fas. d. Bek. 23 Dezember 2004, BGBl. S. 3758, geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3855) und geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 11. Juli 2006 (BGBl. I S. 1577)

VERORDNUNG ZUM SCHUTZ LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZTIERE UND ANDERER ZUR ERZEUGUNG TIERISCHER PRODUKTE GEHALTENER TIERE BEI IHRER HALTUNG (TierSchNutzV), i. d. F. d. Bek. vom 22. August 2006 (BGBl 2006 S. 2043)

VIERTE VERORDNUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZES (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV), i. d. Fas. d. Bek. vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert durch Art. 6 G vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1619)

WARTEMANN, S. (2005): Tierverhalten und Stallluftqualität in einem Putenmaststall mit Außenklimabereich unter Berücksichtigung von Tiergesundheit, Leistungsmerkmalen und Wirtschaftlichkeit, Hannover

WATHES, C. M., CHARLES, D. R. (1994): Livestock housing, Wallingford

WEYHE, S. (2001): Wägetechnik im Labor – Technologie und Anwendung. 2. Auflage, Landsberg/Lech

WIESNER, E., RIBBECK, R. (2000): Lexikon der Veterinärmedizin, 4. Auflage, Stuttgart

WILLEKE, K., BARON, P. (1993): Aerosol measurement – principles techniques and applications, New York

Danksagung

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bei Herrn Professor Dr. Dietmar Schröder bedanken. Er hat es mir durch die Übernahme als universitätsangehöriger Betreuer ermöglicht, diese Arbeit zu verwirklichen.

Herrn Professor Dr. Jörg Hartung, Leiter des Instituts für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITT), Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, möchte ich für die Übernahme des Amtes des extern betreuenden Gutachters wie auch für die Beteiligung und Integrierung in der Arbeitsgruppe „Bioaerosole“ des ITTs danken.

Auch den Mitarbeitern des Instituts für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie an der Tierärztlichen Hochschule Hannover, insbesondere Herrn Dr. Jens Seedorf und Herrn Dipl. Biologe Jochen Schulz sowie Frau Monika Tegtmeyer und Frau Petra Sommer möchte ich für ihre stetige Bereitschaft mich zu unterstützen, danken. Besonderer Dank an Frau Karin Pavanetto-Born und den im Labor tätigen Institutsangehörigen.

Für die gute Zusammenarbeit sowie die Bereitstellung des Wägeraums und der Laboreinrichtungen geht ein herzliches Dankeschön an Herrn Dr. Erich Klasmeier, Landesamt für Ökologie Niedersachen (NLOE). Auch möchte ich mich für seine stetige Bemühung, Lösungen für auftauchende messtechnische Problemen zu finden, und die zahlreichen anregenden fachlichen Diskussionen bedanken.

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. Christian Sürie, Leiter des Lehr- und Forschungsguts Ruthe, und seinen Mitarbeitern für die problemlose Zusammenarbeit und Überlassung des Putenmaststalls für die Durchführung der Feinstaubmessungen.

Des Weiteren danke ich recht herzlich meiner Familie und den Freunden, die mich während der Fertigstellung dieser Dissertation unterstützt haben. Ein besonders herzlicher Dank geht an meine lieben Eltern, Ursula und Wolfgang Schütz, und meinen Lebensgefährten Sebastian Tille.

Wissenschaftlicher Werdegang

Name:	**Schütz, Andrea**
Geboren am:	10.03.1975
Geboren in:	Trier
Staatsangehörigkeit:	Deutsch

Wissenschaftliche Tätigkeiten

10 2002 – 01 2005	**Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Stiftung Tierärztliche Hochschule, Hannover** Arbeitsgruppe Bioaerosole

Hochschulausbildung

10 2002 – 03 2008	**Studium der Tiermedizin, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover** **Abschluss: Tierärztin**
10 1997 – 09 2002	**Studium der Angewandten Umweltwissenschaften, Universität Trier** Studienschwerpunkt: Bodenkunde und Chemie Thema der Diplomarbeit: Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung von Biomasseresteoffen aus der Region Trier **Abschluss: Diplom-Umweltwissenschaftlerin**

Schulausbildung

1985 – 1994	Auguste Viktoria Gymnasium in Trier **Abschluss: Allgemeine Hochschulreife**
1981 – 1985	Grundschule Kenn

Datum: 26.03.2008 Andrea Schütz

Glossar

Aerodynamischer Durchmesser

Der aerodynamische Durchmesser ist die funktionsbestimmende Größe für den Transport und die Anlagerung des Staubes. Er beschreibt die zugeordnete Größe eines luftgetragenen Partikels, welches sehr unterschiedliche Formen und Dichten aufweisen kann. Er ist ein Äquivalenzdurchmesser, der den Durchmesser einer Kugel (Idealform eines Staubteilchens) mit der Dichte 1 $g \cdot cm^{-3}$ beschreibt. Dieses idealisierte Staubteilchen besitzt die gleiche Sinkgeschwindigkeit in ruhender Luft beziehungsweise das gleiche aerodynamische Verhalten wie das betrachtete Partikel. Mittels des aerodynamischen Durchmessers können beispielsweise Abscheidecharakteristiken beschrieben werden. Abbildung 32 zeigt beispielhaft die Beziehung zwischen Durchlassgrad eines Vorabscheiders nach DIN EN 481 und dem aerodynamischen Durchmesser für einatembare und alveolengängige Stäube.

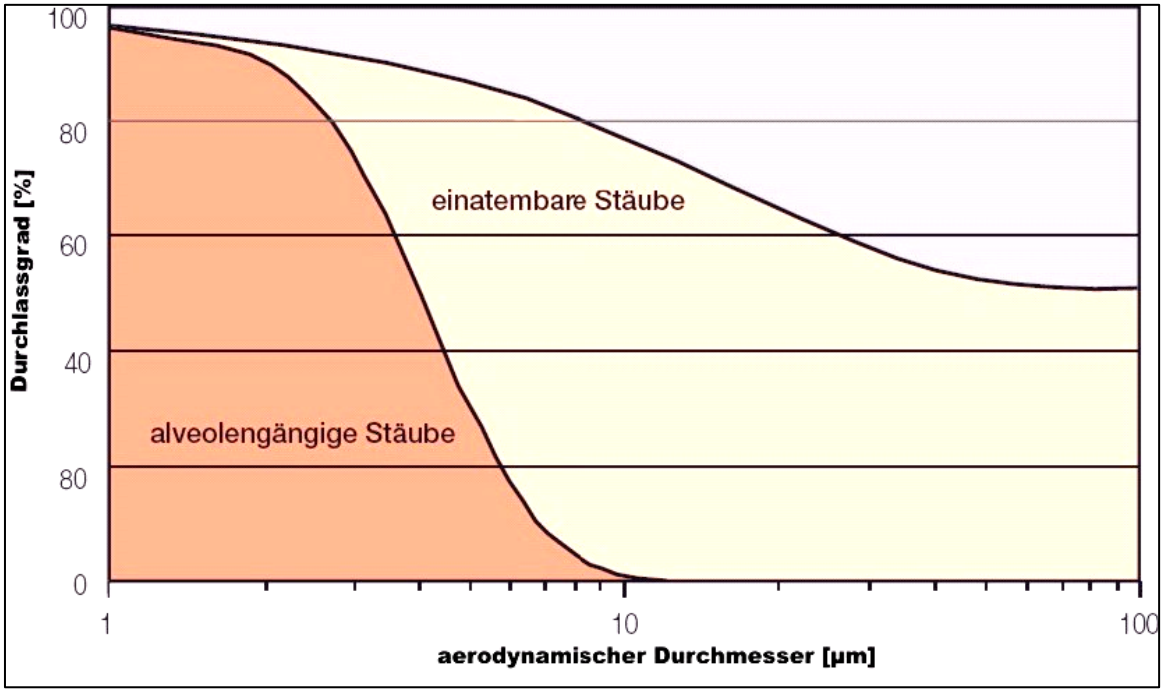

Abbildung 32: Aerodynamischer Partikeldurchmesser [µm] und Durchlassgrad [%] eines Vorabscheiders nach DIN EN 481[3] für einatembare und alveolengängige Stäube (http://wwwitsp1.suva.ch/sap/its/mimes/waswo/99/pdf/01903-d.pdf, 26.09.2005)

[3] **DIN EN 481**, Ausgabe: 1993-09, Arbeitsplatzatmosphäre: Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel; Deutsche Fassung EN 481:1993

Aerosole

Aerosole sind kolloidale feinst dispergierte, feste oder flüssige Partikel in Gasen, üblicherweise Luft, mit einem Teilchendurchmesser von 0,001 bis 10 µm. Aerosole können homogen oder heterogen strukturiert sowie natürlichen wie auch anthropogenen Ursprungs sein. Typische Beispiele für Aerosole sind Wassertröpfchen im Nebel, Staub, Pollen oder Rußpartikel in der Luft. Aerosole können durch spontane Kondensation oder Desublimation in übersättigten Gasen wie auch durch Absorptionsprozesse entstehen. Ebenso werden Aerosole durch mechanische Effekte aus Feststoffen, Flüssigkeiten oder Suspensionen freigesetzt.

Alveolengängiger Staub (Respirable Dust - RD)

Unter alveolengängigem Staub (A-Staub, engl. respirable dust - RD oder auch respirable particles) versteht man die Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche bis in die Lungenalveolen gelangen können. Nach DIN ISO 7708 umfasst der alveolengängige Staub Partikel, die einen definierten größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm von 50 % aufweist.

Bioaerosole

Der Begriff der Bioaerosole wird in aktueller Literatur sehr vielfältig umschrieben und ist bisher im rechtlichen Sinne nicht definiert. Bioaerosole sind komplexe luftgetragene Partikel, welche aus belebten und unbelebten Komponenten aufgebaut sind. Die belebten Komponenten umfassen die Gruppe der Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze, Milben und Protozoen sowie Bestandteile biogenen Ursprungs wie Fragmente und Ausscheidungsprodukte von Tieren und Menschen (Haare, Hautschuppen, Kotballen von Milben) oder pflanzliche Strukturen (Blütenpollen, Samen) aber auch biogene Produkte wie Endotoxine, Mykotoxine oder virale Infektionserreger, die keinen eigenen Stoffwechsel haben. Die unbelebten und inerten Bestandteile der Bioaerosole sind dem zuzuordnen.

Als Substrat oder Transportmedium besitzen sie die Eigenschaft zu akkumulieren oder Cluster zu bilden. Hierdurch kann sich ihre Zusammensetzung verändern und ihre Größe von 0,01 bis 100 µm variieren. Durch die veränderlichen Anteile der belebten Bestandteile wie Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte sind

Bioaerosole auch in der Lage biologische Aktivität zu entwickeln (vgl. HARTUNG (1994b), HIRST (1995) und LINSEL (2001)). Sie können ein toxisches, infektiöses oder allergieauslösendes Potenzial sowie pharmakologische Wirkungen besitzen. In nachfolgender Abbildung sind verschiedene Komponenten und Größenordnungen der Bioaerosole sowie deren unterschiedliche Möglichkeiten der Lungendeposition beim Passieren der menschlichen Luftwege dargestellt.

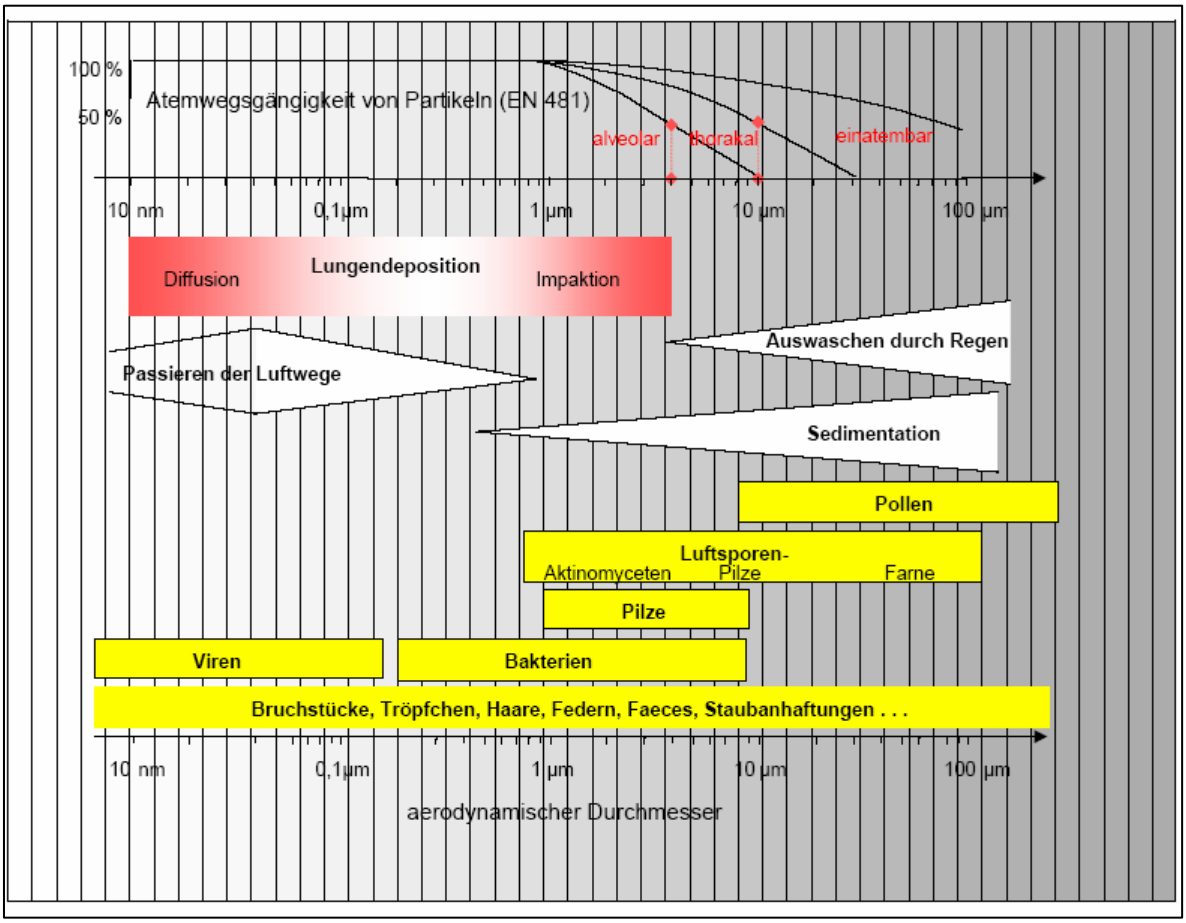

Abbildung 33: Bioaerosole in der menschlichen Lunge (Linsel, 2001, 3)

Cut-off

Ein Begriff, der im Zusammenhang mit der Probenahmetechnik und den oben genannten Abscheidecharakteristiken steht. Der als (aerodynamischer) Grenzdurchmesser beschriebene Cut-off stellt die Partikelgröße dar, die gerade zu 50 % in der jeweiligen Impaktionsstufe abgeschieden wird. Der Cut-off einer Impaktionsstufe wird von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst wie beispielsweise vom angelegten Volumenstrom, dem Durchmesser und der Länge der eingesetz-

ten Düsen des jeweiligen Impaktors sowie durch Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck.

Einatembarer Staub (Inhalable Dust - ID)

Unter einatembarem Staub (E-Staub, engl. inhalable dust - ID) versteht man die Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche durch Mund und Nase eingeatmet werden können und an diesen Lokalisationen, wie auch im Bereich des oberen Atemtraktes, zurückgehalten oder durch körpereigene Mechanismen eliminiert werden können. Technisch wird diese Staubfraktion auch als Particulate Matter 100 (PM 100) bezeichnet. Abbildung 34 verdeutlicht, welche Austauschregionen des menschlichen Atemtrakts bei Einatmung von ID-Komponenten (inhalable dust = gelb gefärbte Bereiche) im Vergleich zum alveolengängigen Staub (respirable dust = pink gefärbte Bereiche) betroffen sind.

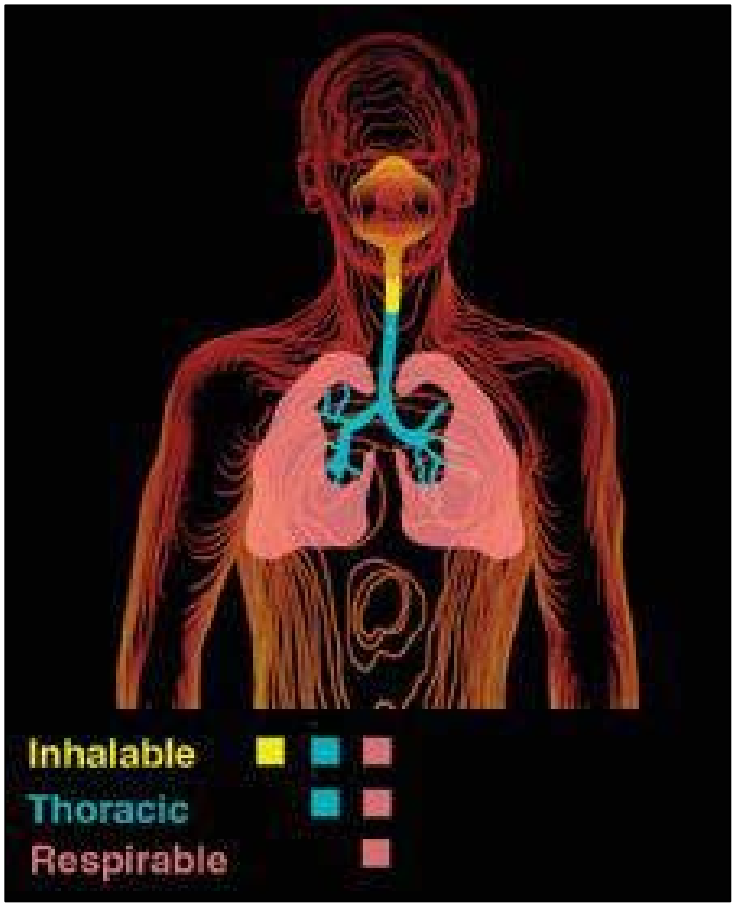

Abbildung 34: Austauschregionen unterschiedlicher Staubfraktionen im menschlichen Atemtrakt

(http://www.skcshopping.com/ProductDetails.asp?ProductCode=225-70A&Show= ExtInfo, Stand 07.05.2006)

Endotoxine

Endotoxine sind hochmolekulare, thermostabile Heteropolymere der Zellwandstruktur gram-negativer Bakterien wie z. B. Enterobakterien, die zum größten Teil aus Lipopolysacchariden (LPS) bestehen und als einzelnes Membranfragment oder Aggregat vorkommen können. Sie sind Staubinhaltsstoffe und zählen somit zu den Bioaerosolen. Endotoxine sind als gesundheitlich problematisch anzusehen, da sie lange in der Umwelt persistieren und sich im menschlichen und tierischen Organismus nachteilig auswirken können.

Sie können im Organismus pyrogene Wirkung besitzen und können Symptomatiken der Entzündung, hier vor allem bei Respiration in den Atemwegen, oder auch Schockzustände auslösen. Eine erhöhte Toxizität ist vor allem durch die Zusammenlagerung einzelner LPS-Moleküle bedingt (vgl. HARTUNG, 2002).

Feinstaub

Im Allgemeinen wird als Feinstaub eine definierte kleine Staubpartikelgröße, die in Luft nicht sofort Sedimentationsprozessen unterliegt, bezeichnet.

Aufgrund neuerer europäischer Bewertungsgrundlagen von Immissionen versteht man unter Feinstaub bezüglich der angewandten messtechnischen Verfahren die Partikelgrößen, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Die Einteilung in diese Staubfraktion ist an den im Jahre 1987 eingeführten amerikanischen National Air Quality Standard for Particulate Matter (PM) angelehnt und wird daher auch als PM 10 bezeichnet. Feinstaub dieser Teilchengröße repräsentiert den thorakalen Anteil der Gesamtstaubmasse.

Grenzwert

Nach der Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 stellt der Grenzwert einen Wert dar, der aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen eines Stoffes oder einer Substanz auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhüten oder zu verringern, und der, wenn er innerhalb eines bestimmten Zeitraums erreicht wird, danach nicht überschritten werden darf.

Immissionen

Immissionen sind im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG, § 3, Abs. 2) auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen. Sie werden nach der TA Luft als Massenkonzentration [$mg \cdot m^{-3}$] angegeben oder als Deposition, welches die zeitbezogene Flächenbedeckung durch die Masse der luftverunreinigenden Stoffe ist.

Impaktion

Im Allgemeinen versteht man unter Impaktion die Ablagerung von Teilchen an einem Hindernis infolge ihrer Trägheit.

Im Nachfolgenden stellt die Impaktion den Vorgang der aktiven Abscheidung bei gebräuchlichen Probenahmetechniken für die genannten Staubkomponenten dar.

Die zu erfassenden Luftinhaltsstoffe wie z. B. Bioaerosolpartikel werden in Impaktoren in einem senkrecht auf die Abscheideplatte (Prallplatte) gerichteten Düsenstrahl beschleunigt. Unmittelbar oberhalb der Prallplatte wird der Luftstrom im Partikelsammler zur starken Richtungsänderung gezwungen, dem theoretisch nur die kleinere zu erfassende Fraktion folgen kann. Größere Partikel prallen aufgrund ihrer Massenträgheit direkt auf die mit einer klebrigen Substanz (zum Beispiel Siliconfett) beschichteten Oberfläche der Prallplatte. Dieses Verfahren, beispielsweise mit einer kleinen Glasplatte als Prallplatte, eignet sich besonders um Sporen oder Pollen aus der Luft direkt mikroskopisch nachzuweisen. Im Zusammenhang bezüglich der Abscheidung von Partikeln in verschiedenen Abschnitten der Lungen trägt das physikalische Prinzip der Impaktion neben Sedimentation und Brown'scher Diffusion die größte Bedeutung. Eine untergeordnete Rolle spielen hier die Mechanismen Interzeption und elektrostatische Abscheidung.

Louisianastall

Als Louisianastall wird die Bauvariante eines Naturstalls in der Geflügelhaltung bezeichnet, bei dem beide Längswände großflächig mit Öffnungen versehen sind, die stufenlos mit Jalousien verschlossen werden können, aber immer einen Luftaustausch mit der Außenwelt durch natürliche Luftbewegungen gewährleisten.

Der Boden ist hier in der Regel nicht befestigt und mit Stroh oder Weichholzspänen ausgestreut.

Particulate Matter

Der Begriff Particulate Matter wurde 1987 von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als so genannter National Air Quality Standard for Particulate Matter eingeführt.

Im engeren Sinne stellt Particulate Matter (PM) die Feinstaubfraktion von 0,5 bis 10 µm dar. Eine Einteilung der Feinstaubfraktionen in verschiedene Größenkategorien, beispielsweise in PM 10 oder PM 2.5, ist hinsichtlich umwelthygienischer oder arbeitsmedizinischer Belange von Bedeutung.

PM 10

Unter PM 10 (Particulate Matter 10) werden nach der Richtlinie 1999/30/EG messtechnisch die Partikel verstanden, die einen größenselektierten Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Im medizinischen Bereich wird mit PM 10 näherungsweise die Fraktion beschrieben, die mit mittlerer Wahrscheinlichkeit in den Tracheobronchialbaum und den thorakalen Alveolarbereich eindringt. Diese Partikel werden nach ISO 7708 auch als thorakaler Schwebstaub (thoracic particulates) bezeichnet.

PM 2.5

Als PM 2.5 (Particulate Matter 2.5) bzw. nach ISO 7708 als alveolengängiger Schwebstaub (respirable particulates) werden messtechnisch lungengängige Feinstäube bezeichnet, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

Staub

Unter der Sammelbezeichnung „Staub“ werden dispers in der Luft verteilte feinste feste Partikel bezeichnet. Die Staubpartikel entstehen beispielsweise durch mechanische Prozesse in der Natur wie Abrasionen, Aufwirbelungen von Erdma-

terial oder durch Verbrennungsprozesse. Umwandlungen von Schadgasen in der Atmosphäre, marine Aerosole sowie Blütenpollen können ebenso Quellen fester Partikel in der Luft sein. Rauche, als in der Luft feinst verteilte Teilchen, zählen ebenso zu den Stäuben. Stäube können je nach Fragestellung nach ihrer Größe z. B. als Grob- oder Feinstaub oder Herkunftsart wie natürlichen oder anthropogenen Ursprungs eingeteilt werden. Je nach Problemstellung und Zusammensetzung der beprobten Atmosphäre kann die messtechnische Erfassung und Darstellung von Staub sowohl partikelbezogen als auch massenbezogen erfolgen. Insbesondere die partikelbezogene Staubmessung als Erfassung definierter Korngrößenklassen findet bezüglich der Beurteilung sowohl der Qualität von Staubbelastung an Arbeitsplätzen oder der Leistung von Luftfiltersystemen und Absaugvorrichtungen zunehmende Bedeutung. Denn die potentielle Gesundheitsgefährdung von Staub steht in Abhängigkeit mit seiner Zusammensetzung also der Partikelgrößenverteilung und somit der an der Oberfläche adsorbierten Substanzen.

Staubfraktionen

Stäube werden im Sinne des BImSchG (§ 3 Abs. 4) neben Rauch, Russ, Gasen, Aerosolen, Dämpfen und Geruchsstoffen den Luftverunreinigungen zugeordnet. Für unterschiedliche Staubfraktionen (Einteilung nach Größe oder Herkunft) existieren in verschiedenen europäischen Richtlinien Grenzwerte für verschiedenste Bereiche, die national ratifiziert sind.

So gelten beispielsweise im Bereich des Arbeitsschutzes in Deutschland seit 1. Januar 2005 Arbeitsplatzgrenzwerte für definierte Staubfraktionen. So wird seit 1999 bei Arbeitsplatzmessungen im Bereich der Feinstaubfraktionen zwischen „einatembarem Staub“ (E-Staub, englisch: inhalable dust) und „alveolengängigem Staub“ (A-Staub, englisch: respirable dust) unterschieden. Diese Unterscheidung wurde auch für die Bewertung von Immissionen übernommen.

Neben der Erfassung von Gesamtimmissionen (Gesamtschwebstaub) besteht in den nationalen Messnetzen seit 1996 aufgrund der Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität eine Mess- und Informationspflicht für Feinstaub. Entsprechende Daten für Deutschland sind dem Bürger täglich aktuell über eine Internetplattform des

Umweltbundesamts („Aktuelle Immissionsdaten und Ozonvorhersage“, http://www.env-it.de/luftdaten/start.fwd) zugänglich.

Ultrafeine Partikel

Mit dem Sammelbegriff ultrafeine Partikel werden Aerosole, Stäube, Rauche und Nebel bezeichnet, deren Teilchen einen thermodynamischen Durchmesser < 0,1 µm aufweisen. Sie entstehen insbesondere als Kondensationsprodukt bei thermischen und chemischen Gasphasenreaktionen. Beispiele sind neben den natürlich vorkommenden Aerosolen technische Ruße, partikelförmige Dieselmotor-Emissionen oder Pyrogene. Die unstabilen Ultrafeinstäube lagern sich leicht zu größeren Teilchenagglomeraten zusammen und werden so messtechnisch mit größeren Staubpartikeln erfasst. Für die ultrafeine Staubfraktion existieren aufgrund noch nicht ausreichender Arbeitsplatzmessungen und fehlender medizinisch-toxikologischer Erkenntnisse keine Expositionsgrenzwerte. Das Verhalten dieser Teilchen im Atemtrakt wird wegen ihrer Größe durch Diffusionsbewegungen bestimmt und unterscheidet sich damit von den größeren Staubfraktionen.

Anhang

Anhang I

Checkliste: DIGITEL HVS DHA-80 (PM 10)

Checkliste: DIGITEL HVS DHA-80 (PM 10) Blatt Nr. ____

Datum _____ Messstation _____

Für einen ungestörten Betrieb des DIGITEL HVS DHA-80 im Geflügelstall sind insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

Standortwahl im Stall (Vor-Ort-Besichtigung)

- in natürlich belüfteten Ställen, vorzugsweise zentrale Messstelle
- Berücksichtigung des Abluftregimes (Position aktiver und passiver Abluftanlagen)
- Funktionsbereiche (z. B. Position von Futter- und Tränkestrecken)
- Wegstrecken des Personals / eingesetzter Maschinen (z. B. Traktoren)
- Gewährleistung einer dauernden Stromzufuhr

Aufstellen des DIGITEL HVS DHA-80

- Gewährleistung einer strikten waagerechten Ausrichtung
- Verhindern der Manipulation des Gerätes durch Tiere / Menschen (z. B.: Schutz der freiliegenden Stromzufuhr, Beachtung der Wegstrecken des Personals)

zeitlicher Aufwand bis zur Inbetriebnahme am Standort

- variiert je nach Aufwand z. B. zum Verlegen der Stromzufuhr etc.
- eingeplant werden sollten 0,5 Arbeitstage plus An- und Abfahrt bei vorheriger Vor-Ort-Besichtigung

In Betriebnahme

- Überprüfung von Durchfluss, Einsatz eines Leerfilters
- Einstellung der Stationsdaten (z. B. Höhe ü.NN., aktueller Luftdruck, etc.) Hinweis: diese Einstellungen können auch im Labor nach Kalibrierung erfolgen
- Einstellung des Messintervalls / Beaufschlagungszeit je nach Fragestellung

laufender Betrieb

- Überprüfung Ansaugsonde (z. B. auf Staubauflagerungen,..)
- Austausch der Prallplatte nach maximal 24-stündiger Laufzeit
- Überprüfung Protokollausdruck auf Unregelmäßigkeiten (Notiz im Stations-protokoll z. B. Überlast, Stromausfall)
- Kontrolle der Filterhalter / Wechsel der Filter

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang I

Stationsprotokoll: DIGITEL HVS DHA-80

Stationsprotokoll: DIGITEL HVS DHA-80 Blatt Nr. ____

Messstation			Jahr	Monat	
Messgerät-Nr.		Steuerung		Durchflußrate	m^3/min
Startzeit (Uhrzeit)		Pausenzeit	min		
		Beaufschlagungszeit	min		
Filtertyp		Porengröße	µm		

lfd. Nr.	Filter Nr.	Filterhalter Nr.	Probenahme Datum	Normvolumen [m^3]	Bemerkungen
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang I

Protokollblatt: Rand- und Umgebungsbedingungen

Protokollblatt: Rand- und Umgebungsbedingungen Blatt Nr. ____

Messstation		Jahr		Monat	
Ort					
Tierart					
Tieralter		Geschlecht			
Aufstallungsform					
Beleuchtungsregime					
Stalldurchgang					
Stallgebäude / Stall-Abteil					
Maße (Größe)					
Art + Anzahl der Funktionsbereiche					
Einstreu					
Material		Technik			
Einstreuphasen					
Futter / Fütterung					
Zusammensetzung					
Technik					
Fütterungszeit					
Lüftung					
Lüftungsart					
Luftwechselrate	[ ]				
Lufttemperatur	[ ]	Luftfeuchte	[ ]		
Erfassung Stallklima (durch Landwirt selbst)				Nein O	Ja O
kontinuierlich O	diskontinuierlich O	Daten-Sicherung		Nein O	Ja O
eingesetzte Messinstrumente					
Parameter, die erfasst werden sollten:					
Entmistung					
Technik		Häufigkeit			
Bodenoberfläche					
Geruch im Stall					
Emissionsminderungsmaßnahmen					
Säuberungs- und Hygienemaßnahmen					
staubreduzierende Maßnahmen (z. B. Ölapplikation zum Futter, Luftbefeuchtung,..)					

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang I

Checkliste – Labor: Handhabung FILTER

Checkliste - Labor: Handhabung FILTER Blatt Nr. ____

Wägelabor (Ort)		Jahr		Monat	
Waagentyp		Filtermedium		Format	

Handhabung der Quarzfaserfilter zur Erfassung von PM 10

Filter stets mit einer sterilen Pinzette nur randständig erfassen!

Präparation der Filter

- Nummerierung des unteren Filterrandes durch Stempeln
- Einlegen des Filters in eine vorbereitete beschriftete Glaspetrischale
- Äquilibrierung der Filter in der klimatisierten Wägekammer für 48 Stunden in nicht vollständig abgedeckten Glaspetrischalen

Gravimetrische Filteranalyse

- Filter ausschließlich mit steriler Pinzette am Rand erfassen
- bei jeder Ein- bzw. Rückwaage Laborkontrollen mitverwiegen
- Filter bis zur Gleichgewichtseinstellung auswiegen (120 sec) (STOPPUHR)
- ermitteltes Gewicht und Wert der relativen Feuchte im Protokollblatt notieren

Gewichtsbestimmung

- Rückwaage - Einwaage = Gewicht "Feinstaub"
- Feuchtekorrektur durch Bestimmung des Mittelwertes der Laborkontrollen
- Korrektur durch Bestimmung des Mittelwertes Transportkontrolle

Bestückung der Filterhalter

- mittels steriler Pinzette Filter am Rand erfassen
- in den gereinigten und desinfizierten Filterhalter einlegen
- Silikonring auflegen
- Filterspannring mit zugehöriger Pinzette aufsetzen
- bestückte Filterhalter für den Weg zum Einsatzort in den verschließbaren Transportbehälter legen

Entnahme aus den Filterhaltern

- Filterspannring mit zugehöriger Pinzette entfernen
- Silikonring vorsichtig mit steriler Pinzette entfernen
- mittels steriler Pinzette Filter am Rand erfassen
- vorsichtig in eine gereinigte und desinfizierte Glaspetrischale einlegen

Reinigung und Desinfektion der Filterhalter (mit Filterspann- und Silikonringen)

- nach Entnahme der beaufschlagten Filter ist der komplette Filterhalter zu reinigen
- je nach Fragestellung der zu untersuchenden Parameter (z. B. Untersuchung auf Endotoxine) ist ggf. eine Desinfektion der Filterhalter notwendig

Bemerkungen:

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang I

Wäge-Protokoll - Referenzfilter

Wäge-Protokoll - REFERENZFILTER Blatt Nr. ____

Wägelabor		Jahr	
Waagentyp		Monat	
Filtermedium		Format	

Im Wägelabor über mindestens 48 Stunden äquilibriert.
Dauer der Gewichtseinstellung bei Einwaage [g] und Rückwaage [g] jeweils 120 sec.

Bemerkungen	Gravimetrische Filteranalyse					
	Einwaage	**r.F. [%]**	**Datum**	**Rückwaage**	**r.F. [%]**	**Datum**

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang I

Wäge-Protokoll - Filter

Wäge-Protokoll Blatt Nr. ____

Wägelabor		Jahr	
Waagentyp		Monat	
Filtermedium		Format	

Im Wägelabor über mindestens 48 Stunden äquilibriert.
Dauer der Gewichtseinstellung bei Einwaage [g] und Rückwaage [g] jeweils 120 sec.

Probenahme			Gravimetrische Filteranalyse					
Datum	**Filter-Nr.**	**Halter-Nr.**	**Einwaage**	**r.F. [%]**	**Datum**	**Rückwaage**	**r.F. [%]**	**Datum**

Projekt:_____ Bearbeiter: _____

Anhang II

Tabelle 1: Laborkontrollen der PM 10-Messungen: Übersicht über Einwaagen [g] und Rückwaagen [g] mit Datum [tt.mm.jjjj] der angelegten Quarzfaserfilter als Laborkontrollen L1, L2, L3 und teilweise L 4 je Messkampagne und die aus dem Mittel dieser berechneten Korrektur (LAB-Korrektur)

Probe-	Filter-Nr.	Mess-kampagne	Datum (Rückwaage)	Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Differenz [g]	LAB-Korrektur [g]
L1	1675	1	20.01.2004	1,57242	1,57165	-0,00077	-0,00080
L2	1676	1	20.01.2004	1,57242	1,57155	-0,00087	
L3	1677	1	20.01.2004	1,54894	1,54817	-0,00077	
L1	1675	1	23.01.2004	1,57242	1,57092	-0,00150	-0,00153
L2	1676	1	23.01.2004	1,57242	1,57080	-0,00162	
L3	1677	1	23.01.2004	1,54894	1,54748	-0,00146	
L1	1675	2	29.01.2004	1,57189	1,57103	-0,00086	-0,00086
L2	1676	2	29.01.2004	1,57178	1,57090	-0,00088	
L3	1677	2	29.01.2004	1,54849	1,54765	-0,00084	
L1	1675	2	02.02.2004	1,57189	1,57249	0,00060	0,00061
L2	1676	2	02.02.2004	1,57178	1,57246	0,00068	
L3	1677	2	02.02.2004	1,54849	1,54905	0,00056	
L1	1675	3	02.02.2004	1,57158	1,57249	0,00091	0,00093
L2	1676	3	02.02.2004	1,57151	1,57246	0,00095	
L3	1677	3	02.02.2004	1,54813	1,54905	0,00092	
L1	1675	4	05.02.2004	1,57103	1,57367	0,00264	0,00266
L2	1676	4	05.02.2004	1,57090	1,57371	0,00281	
L3	1677	4	05.02.2004	1,54765	1,55019	0,00254	
L1	1675	5	09.02.2004	1,57113	1,57243	0,00130	0,00132
L2	1676	5	09.02.2004	1,57107	1,57242	0,00135	
L3	1677	5	09.02.2004	1,54774	1,54905	0,00131	
L1	1675	6	12.02.2004	1,57367	1,57214	-0,00153	-0,00160
L2	1676	6	12.02.2004	1,57371	1,57201	-0,00170	
L3	1677	6	12.02.2004	1,55019	1,54863	-0,00156	
L1	1675	7	16.02.2004	1,57243	1,57263	0,00020	0,00009
L2	1676	7	16.02.2004	1,57242	1,57244	0,00002	
L3	1677	7	16.02.2004	1,54905	1,54909	0,00004	
L1	1675	8	18.02.2004	1,57214	1,57238	0,00024	0,00028
L2	1676	8	18.02.2004	1,57201	1,57234	0,00033	
L3	1677	8	18.02.2004	1,54863	1,54891	0,00028	
L1	1675	9	23.02.2004	1,57263	1,57114	-0,00149	-0,00142
L2	1676	9	23.02.2004	1,57244	1,57102	-0,00142	
L3	1677	9	23.02.2004	1,54909	1,54774	-0,00135	
L1	1675	10	27.02.2004	1,57238	1,57090	-0,00148	-0,00143
L2	1676	10	27.02.2004	1,57234	1,57088	-0,00146	
L3	1677	10	27.02.2004	1,54891	1,54756	-0,00135	
L1	1675	11	02.03.2004	1,57114	1,57136	0,00022	0,00023
L2	1676	11	02.03.2004	1,57102	1,57126	0,00024	
L3	1677	11	02.03.2004	1,54774	1,54798	0,00024	
L1	1675	12	03.03.2004	1,57114	1,57127	0,00013	0,00008
L2	1676	12	03.03.2004	1,57102	1,57119	0,00017	

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Probe-	Filter-Nr.	Mess-kampagne	Datum (Rückwaage)	Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Differenz [g]	LAB-Korrektur [g]
L3	1677	12	03.03.2004	1,54775	1,54797	0,00022	
L4	F 3	12	03.03.2004	1,55741	1,55720	-0,00021	
L1	1675	13	08.03.2004	1,57080	1,57083	0,00003	-0,00110
L2	1676	13	08.03.2004	1,57069	1,57059	-0,00010	
L3	1677	13	08.03.2004	1,54738	1,54737	-0,00001	
L4	F3	13	08.03.2004	1,55719	1,55286	-0,00433	
L1	1675	14	08.03.2004	1,57080	1,57083	0,00003	-0,00110
L2	1676	14	08.03.2004	1,57069	1,57059	-0,00010	
L3	1677	14	08.03.2004	1,54738	1,54737	-0,00001	
L4	F3	14	08.03.2004	1,55719	1,55286	-0,00433	
L1	1675	15	11.03.2004	1,57127	1,57166	0,00039	0,00012
L2	1676	15	11.03.2004	1,57119	1,57122	0,00003	
L3	1677	15	11.03.2004	1,54797	1,54788	-0,00009	
L4	F3	15	11.03.2004	1,55720	1,55733	0,00013	
L1	1675	16	15.03.2004	1,57083	1,57228	0,00145	0,00115
L2	1676	16	15.03.2004	1,57059	1,57223	0,00164	
L3	1677	16	15.03.2004	1,54737	1,54875	0,00138	
L4	F3	16	15.03.2004	1,55730	1,55741	0,00011	
L1	1675	17	15.03.2004	1,57101	1,57228	0,00127	0,00099
L2	1676	17	15.03.2004	1,57095	1,57223	0,00128	
L3	1677	17	15.03.2004	1,54750	1,54875	0,00125	
L4	F3	17	15.03.2004	1,55724	1,55741	0,00017	
L1	1675	18	17.03.2004	1,57101	1,57351	0,00250	0,00190
L2	1676	18	17.03.2004	1,57095	1,57342	0,00247	
L3	1677	18	17.03.2004	1,54750	1,54993	0,00243	
L4	F3	18	17.03.2004	1,55724	1,55745	0,00021	
L1	1675	19	19.03.2004	1,57166	1,57347	0,00181	0,00201
L2	1676	19	19.03.2004	1,57122	1,57340	0,00218	
L3	1677	19	19.03.2004	1,54788	1,54991	0,00203	
L4	F3	19	19.03.2004	1,55733	1,55749	0,00016	

Anhang II

Tabelle 2: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 1: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1681	06.01./ 07.01.2004	14:31	1,54330	2,44973	0,90563	641,186	1427,20	***1,41***
1682	07.01./ 08.01.2004	14:20	1,55191	2,48013	0,92742	648,242	1439,71	***1,43***
1683	08.01./ 09.01.2004	14:22	1,56787	*verworfen*		642,690	1439,71	
1684	09.01./ 10.01.2004	14:24	1,55921	2,19488	0,63487	645,055	1439,70	***0,98***
1685	10.01./ 11.01.2004	14:26	1,54906	1,98478	0,43492	649,304	1439,71	***0,67***
1686	11.01./ 12.01.2004	14:28	1,54491	1,95424	0,40853	647,282	1439,71	***0,63***
1687	12.01./ 13.01.2004	14:30	1,56310	1,97201	0,40811	643,430	1439,71	***0,63***
1688	13.01./ 14.01.2004	14:32	1,56575	1,96023	0,39368	643,558	1439,71	***0,61***
1689	14.01./ 15.01.2004	14:34	1,57828	2,22047	0,64066	641,876	1439,71	***1,00***
1690	15.01./ 16.01.2004	14:36	1,57316	2,19589	0,62120	644,678	1439,71	***0,96***
1691	16.01./ 17.01.2004	14:38	1,57540	2,11125	0,53432	644,209	1439,71	***0,83***
1692	17.01./ 18.01.2004	14:40	1,56849	2,48313	0,91311	644,786	1439,71	***1,42***
1693	/	/	1,54803	*verworfen*	/	/	/	***/***

Anhang II

Tabelle 3: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 2: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1693	20.01.2004	0:00	1,56486	1,91528	0,35128	325,290	718,80	***1,08***
1694	20.01.2004	12:00	1,58460	2,25580	0,67206	325,418	718,71	***2,07***
1695	21.01.2004	0:00	1,57101	2,10402	0,53387	327,247	718,71	***1,63***
1696	21.01.2004	12:00	1,57246	2,19715	0,62555	326,196	718,71	***1,92***
1697	22.01.2004	0:00	1,57866	2,20938	0,63158	327,043	718,71	***1,93***
1698	22.01.2004	12:00	1,55469	2,14726	0,59343	326,050	718,71	***1,82***
1699	23.01.2004	0:00	1,57581	2,07230	0,49735	326,639	718,71	***1,52***
1700	23.01.2004	12:00	1,57505	2,31610	0,74191	324,035	718,71	***2,29***
1701	24.01.2004	0:00	1,56854	2,13763	0,56995	326,216	718,71	***1,75***
1702*	24.01.2004	12:00	1,58867	2,33789	0,75008	321,820	718,40	***2,33***
1703	25.01.2004	0:00	1,56029	2,04360	0,48417	326,242	718,71	***1,48***
1704	25.01.2004	12:00	1,55670	2,15434	0,59850	325,473	718,71	***1,84***
1705	26.01.2004	0:00	1,53364	2,06841	0,53538	326,750	718,71	***1,64***
1706	26.01.2004	12:00	1,54091	2,11489	0,57459	324,812	718,71	***1,77***
1707	27.01.2004	0:00	1,56684	2,30835	0,74212	324,415	718,71	***2,29***
1708	/	/	1,56072	*verworfen*	***/***	***/***	***/***	***/***

* = kurzzeitiger Stromausfall

Anhang II

Tabelle 4: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 3: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1709	28.01.2004	0:00	1,53834	1,60728	0,06801	53,680	118,80	***1,27***
1710	28.01.2004	2:00	1,54448	1,58277	0,03736	53,489	118,71	***0,70***
1711	28.01.2004	4:00	1,56743	1,64981	0,08145	53,440	118,71	***1,52***
1712	28.01.2004	6:00	1,55849	1,72725	0,16783	53,535	118,71	***3,14***
1713	28.01.2004	8:00	1,56359	1,74976	0,18524	53,699	118,71	***3,45***
1714	28.01.2004	10:00	1,54175	1,70457	0,16189	53,728	118,71	***3,01***
1715	28.01.2004	12:00	1,52546	1,72991	0,20352	53,554	118,71	***3,80***
1716	28.01.2004	14:00	1,52260	1,70653	0,18300	53,526	118,71	***3,42***
1717	28.01.2004	16:00	1,54279	1,69179	0,14807	53,432	118,71	***2,77***
1718	28.01.2004	18:00	1,57014	1,70875	0,13768	53,322	118,71	***2,58***
1719	28.01.2004	20:00	1,51555	1,67186	0,15538	53,398	118,71	***2,91***
1720	28.01.2004	22:00	1,53526	1,57730	0,04111	53,309	118,71	***0,77***
1721	29.01.2004	0:00	1,53716	1,57855	0,04046	53,159	118,71	***0,76***
1722	29.01.2004	2:00	1,50196	1,53929	0,03640	53,215	118,71	***0,68***
1723	29.01.2004	4:00	1,51310	1,62255	0,10852	53,340	118,71	***2,03***

Anhang II

Tabelle 5: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 4: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1724	30.01.2004	0:00	1,5244	1,55791	0,03085	53,704	118,80	***0,57***
1725	30.01.2004	2:00	1,52607	1,55191	0,02318	53,69	118,71	***0,43***
1726	30.01.2004	4:00	1,5132	1,59251	0,07665	53,701	118,71	***1,43***
1727	30.01.2004	6:00	1,53074	1,68064	0,14724	53,726	118,71	***2,74***
1728	30.01.2004	8:00	1,53355	1,67827	0,14206	53,81	118,71	***2,64***
1729	30.01.2004	10:00	1,54231	1,69825	0,15328	53,894	118,71	***2,84***
1730	30.01.2004	12:00	1,53519	1,6509	0,11305	53,943	118,71	***2,10***
1731	30.01.2004	14:00	1,55376	1,69335	0,13693	53,879	118,71	***2,54***
1732	30.01.2004	16:00	1,53901	1,68482	0,14315	53,842	118,71	***2,66***
1733	30.01.2004	18:00	1,54182	1,67267	0,12819	53,826	118,71	***2,38***
1734	30.01.2004	20:00	1,54245	1,71185	0,16674	53,686	118,71	***3,11***
1735	30.01.2004	22:00	1,52448	1,56902	0,04188	53,82	118,71	***0,78***
1736	31.01.2004	0:00	1,55047	1,60059	0,04746	53,713	118,71	***0,88***
1737	31.01.2004	2:00	1,54048	1,58550	0,04236	53,711	118,71	***0,79***
1738	31.01.2004	4:00	1,52997	1,58351	0,05088	53,592	118,71	***0,95***

Anhang II

Tabelle 6: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 5: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1739	03.02.2004	0:00	1,51981	1,55120	0,03007	81,996	178,00	***0,37***
1740	03.02.2004	3:00	1,51849	1,55283	0,03302	81,791	178,71	***0,40***
1741	03.02.2004	6:00	1,53789	1,64688	0,10767	81,663	178,71	***1,32***
1742	03.02.2004	9:00	1,52689	1,59912	0,07091	81,845	178,71	***0,87***
1743	03.02.2004	12:00	1,53081	1,58451	0,05238	81,817	178,71	***0,64***
1744	03.02.2004	15:00	1,51065	1,61737	0,10540	81,553	178,71	***1,29***
1745	03.02.2004	18:00	1,51325	1,58685	0,07228	81,525	178,71	***0,89***
1746	03.02.2004	21:00	1,53290	1,56331	0,02909	81,539	178,71	***0,36***
1747	04.02.2004	0:00	1,52361	1,53837	0,01344	81,637	178,71	***0,16***
1748	04.02.2004	3:00	1,53800	1,56311	0,02379	81,578	178,71	***0,29***
1749	04.02.2004	6:00	1,52822	1,60039	0,07085	81,734	178,71	***0,87***
1750	04.02.2004	9:00	1,53805	1,59187	0,05250	81,902	178,71	***0,64***
1751	04.02.2004	12:00	1,52941	1,56940	0,03867	81,847	178,71	***0,47***
1752	04.02.2004	15:00	1,54194	1,57866	0,03540	81,566	178,71	***0,43***
1753	04.02.2004	18:00	1,51699	1,55895	0,04064	81,313	178,71	***0,50***

Anhang II

Tabelle 7: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 6: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1754	06.02.2004	13:00	1,51827	1,58662	0,06995	81,331	178,80	***0,86***
1755	06.02.2004	16:00	1,50662	1,59570	0,09068	80,850	178,71	***1,12***
1756	06.02.2004	19:00	1,48459	1,51439	0,03140	81,041	178,71	***0,39***
1757	06.02.2004	22:00	1,51575	1,53544	0,02129	81,033	178,71	***0,26***
1758	07.02.2004	01:00	1,47576	1,48826	0,01410	81,130	178,71	***0,17***
1759*	07.02.2004	04:00	1,49505	1,56784	0,07439	80,044	176,66	***0,93***
1760	07.02.2004	07:00	1,51011	1,65906	0,15055	80,759	178,71	***1,86***
1761	07.02.2004	10:00	1,49307	1,60236	0,11089	81,045	178,71	***1,37***
1762	07.02.2004	13:00	1,49913	1,60658	0,10905	81,031	178,71	***1,35***
1763	07.02.2004	16:00	1,50183	1,60976	0,10953	81,075	178,71	***1,35***
1764	07.02.2004	19:00	1,54150	1,65647	0,11657	80,981	178,71	***1,44***
1765	07.02.2004	22:00	1,53681	1,57126	0,03605	80,940	178,71	***0,45***
1766	08.02.2004	01:00	1,51178	1,54016	0,02998	81,045	178,71	***0,37***
1767	08.02.2004	04:00	1,53220	1,61840	0,08780	80,675	178,71	***1,09***
1768	08.02.2004	07:00	1,52355	1,63584	0,11389	80,666	178,71	***1,41***

* = kurzzeitige Überlast

Anhang II

Tabelle 8: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 7: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1754	11.02.2004	0:00	1,54239	1,62858	0,08610	108,955	238,00	***0,79***
1755	11.02.2004	4:00	1,51867	1,56831	0,04955	109,415	238,71	***0,45***
1756	11.02.2004	8:00	1,49097	1,60302	0,11196	109,542	238,71	***1,02***
1757	11.02.2004	12:00	1,53397	1,66021	0,12615	109,640	238,71	***1,15***
1758	11.02.2004	16:00	1,51256	1,64071	0,12806	109,664	238,71	***1,17***
1759	11.02.2004	20:00	1,45120	1,59448	0,14319	110,028	238,71	***1,30***
1760	12.02.2004	0:00	1,55454	1,66854	0,11391	109,350	238,71	***1,04***
1761	12.02.2004	4:00	1,50705	1,66717	0,16003	109,375	238,71	***1,46***
1762	12.02.2004	8:00	1,55308	1,73138	0,17821	109,221	238,71	***1,63***
1763	12.02.2004	12:00	1,52508	1,65287	0,12770	109,373	238,71	***1,17***
1764	12.02.2004	16:00	1,52592	1,64318	0,11717	109,299	238,71	***1,07***
1765	12.02.2004	20:00	1,50594	1,62488	0,11885	109,336	238,71	***1,09***
1766	13.02.2004	0:00	1,53047	1,58464	0,05408	109,673	238,71	***0,49***
1767	13.02.2004	4:00	1,52250	1,56553	0,04294	110,009	238,71	***0,39***
1768	13.02.2004	8:00	1,52355	1,58584	0,06220	110,028	238,71	***0,57***

Anhang II

Tabelle 9: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 8: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1784	14.02.2004	0:00	1,54239	1,60895	0,06665	82,027	178,80	***0,81***
1785	14.02.2004	3:00	1,51867	1,59673	0,07815	81,710	178,71	***0,96***
1786	14.02.2004	6:00	1,49097	1,63069	0,13981	81,502	178,71	***1,72***
1787	14.02.2004	9:00	1,53397	1,59873	0,06485	81,876	178,71	***0,79***
1788	14.02.2004	12:00	1,51256	1,57502	0,06255	82,057	178,71	***0,76***
1789	14.02.2004	15:00	1,45120	1,56965	0,11854	82,026	178,71	***1,45***
1790	14.02.2004	18:00	1,55454	1,56916	0,01471	81,829	178,71	***0,18***
1791	14.02.2004	21:00	1,50705	1,58096	0,07400	81,774	178,71	***0,90***
1792	15.02.2004	0:00	1,55308	1,55402	0,00103	81,885	178,71	***0,01***
1793	15.02.2004	3:00	1,52508	1,59305	0,06806	81,869	178,71	***0,83***
1794	15.02.2004	6:00	1,52592	1,53923	0,01340	82,195	178,71	***0,16***
1795	15.02.2004	9:00	1,50594	1,55653	0,05068	82,266	178,71	***0,62***
1796	15.02.2004	12:00	1,53047	1,57337	0,04299	82,252	178,71	***0,52***
1797	15.02.2004	15:00	1,52250	1,55999	0,03758	82,053	178,71	***0,46***
1798	15.02.2004	18:00	1,52355	1,57317	0,04971	82,015	178,71	***0,61***

Anhang II

Tabelle 10: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 9: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1799	17.02.2004	0:00	1,56096	1,60482	0,04528	54,612	118,80	***0,83***
1800	17.02.2004	2:00	1,52311	1,56122	0,03953	54,556	118,71	***0,72***
1801	17.02.2004	4:00	1,56388	1,61882	0,05636	54,433	118,71	***1,04***
1802	17.02.2004	6:00	1,53427	1,61029	0,07744	54,397	118,71	***1,42***
1803	17.02.2004	8:00	1,51881	1,58027	0,06288	54,528	118,71	***1,15***
1804	17.02.2004	10:00	1,53689	1,59031	0,05484	54,573	118,71	***1,00***
1805	17.02.2004	12:00	1,51790	1,55961	0,04313	54,715	118,71	***0,79***
1806	17.02.2004	14:00	1,53224	1,56181	0,03099	54,817	118,71	***0,57***
1807	17.02.2004	16:00	1,54337	1,58499	0,04304	54,703	118,71	***0,79***
1808	17.02.2004	18:00	1,53067	1,56559	0,03634	54,703	118,71	***0,66***
1809	17.02.2004	20:00	1,50869	1,53529	0,02802	54,721	118,71	***0,51***
1810	17.02.2004	22:00	1,53511	1,55915	0,02546	54,740	118,71	***0,47***
1811	18.02.2004	0:00	1,53757	1,55793	0,02178	54,711	118,71	***0,40***
1812	18.02.2004	2:00	1,55650	1,57776	0,02268	54,664	118,71	***0,41***
1813	18.02.2004	4:00	1,47460	1,51131	0,03813	54,664	118,71	***0,70***

Anhang II

Tabelle 11: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 10: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1814	22.02.2004	0:00	1,52993	1,57788	0,04938	54,221	118,80	***0,91***
1815	22.02.2004	2:00	1,55011	1,59142	0,04274	54,021	118,71	***0,79***
1816	22.02.2004	4:00	1,51994	1,58066	0,06215	54,115	118,71	***1,15***
1817	22.02.2004	6:00	1,53879	1,61056	0,07320	54,094	118,71	***1,35***
1818	22.02.2004	8:00	1,55843	1,62172	0,06472	54,253	118,71	***1,19***
1819	22.02.2004	10:00	1,53715	1,59471	0,05899	54,253	118,71	***1,09***
1820	22.02.2004	12:00	1,54524	1,59550	0,05169	54,253	118,71	***0,95***
1821	22.02.2004	14:00	1,52126	1,56980	0,04997	54,265	118,71	***0,92***
1822	22.02.2004	16:00	1,52993	1,58464	0,05614	54,151	118,71	***1,04***
1823	22.02.2004	18:00	1,54084	1,59176	0,05235	54,264	118,71	***0,96***
1824	22.02.2004	20:00	1,56838	1,62799	0,06104	54,179	118,71	***1,13***
1825	22.02.2004	22:00	1,55995	1,60776	0,04924	54,180	118,71	***0,91***
1826	23.02.2004	0:00	1,51061	1,55232	0,04314	54,259	118,71	***0,80***
1827	23.02.2004	2:00	1,52232	1,56030	0,03941	54,230	118,71	***0,73***
1828	23.02.2004	4:00	1,53661	1,60015	0,06497	54,259	118,71	***1,20***

Anhang II

Tabelle 12: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 11: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1829	25.02.2004	0:00	1,53426	1,59576	0,06127	53,928	118,00	***1,14***
1830	25.02.2004	2:00	1,52262	1,57426	0,05141	53,826	118,71	***0,96***
1831	25.02.2004	4:00	1,53924	1,62068	0,08121	53,871	118,71	***1,51***
1832	25.02.2004	6:00	1,53834	1,64827	0,10970	53,832	118,71	***2,04***
1833	25.02.2004	8:00	1,53960	1,64294	0,10311	53,952	118,71	***1,91***
1834	25.02.2004	10:00	1,52825	1,62483	0,09635	53,935	118,71	***1,79***
1835	25.02.2004	12:00	1,52877	1,62187	0,09287	53,869	118,71	***1,72***
1836	25.02.2004	14:00	1,52412	1,62171	0,09736	53,887	118,71	***1,81***
1837	25.02.2004	16:00	1,53213	1,60072	0,06836	53,970	118,71	***1,27***
1838	25.02.2004	18:00	1,52260	1,60669	0,08386	54,007	118,71	***1,55***
1839	25.02.2004	20:00	1,56036	1,64557	0,08498	53,776	118,71	***1,58***
1840	25.02.2004	22:00	1,53197	1,59853	0,06633	53,823	118,71	***1,23***
1841	26.02.2004	0:00	1,55551	1,61160	0,05586	53,768	118,71	***1,04***
1842	26.02.2004	2:00	1,52185	1,56886	0,04678	53,806	118,71	***0,87***
1843	26.02.2004	4:00	1,53128	1,61892	0,08741	53,737	118,71	***1,63***

Anhang II

Tabelle 13: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 12: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1844	27.02.2004	0:00	1,54563	1,60039	0,05459	53,742	118,00	***1,02***
1845	27.02.2004	2:00	1,52547	1,56360	0,03796	53,873	118,71	***0,70***
1846	27.02.2004	4:00	1,53545	1,62183	0,08621	53,741	118,71	***1,60***
1847	27.02.2004	6:00	1,54481	1,67215	0,12717	53,544	118,71	***2,37***
1848	27.02.2004	8:00	1,55235	1,68447	0,13195	53,526	118,71	***2,47***
1849	27.02.2004	10:00	1,50338	1,61633	0,11278	53,679	118,71	***2,10***
1850	27.02.2004	12:00	1,57067	1,67749	0,10665	53,507	118,71	***1,99***
1851	27.02.2004	14:00	1,50607	1,61638	0,11014	53,741	118,71	***2,05***
1852	27.02.2004	16:00	1,50228	1,62943	0,12698	53,604	118,71	***2,37***
1853	27.02.2004	18:00	1,50762	1,65286	0,14507	53,648	118,71	***2,70***
1854	27.02.2004	20:00	1,50899	1,60000	0,09084	53,918	118,71	***1,68***
1855	27.02.2004	22:00	1,53321	1,61709	0,08371	53,806	118,71	***1,56***
1856	28.02.2004	0:00	1,49538	1,55801	0,06246	53,912	118,71	***1,16***
1857	28.02.2004	2:00	1,53441	1,58912	0,05454	53,864	118,71	***1,01***
1858	28.02.2004	4:00	1,52942	1,62188	0,09229	53,835	118,71	***1,71***

Anhang II

Tabelle 14: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 13: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1859	02.03.2004	0:00	1,51460	1,55085	0,03628	55,203	118,00	***0,66***
1860	02.03.2004	2:00	1,48029	1,50348	0,02322	55,174	118,71	***0,42***
1861	02.03.2004	4:00	1,48347	1,50450	0,02106	55,288	118,71	***0,38***
1862	02.03.2004	6:00	1,47650	1,50454	0,02807	55,394	118,71	***0,51***
1863	02.03.2004	8:00	1,49973	1,52431	0,02461	55,432	118,71	***0,44***
1864	02.03.2004	10:00	1,51880	1,54277	0,02400	55,346	118,71	***0,43***
1865	02.03.2004	12:00	1,55955	1,58342	0,02390	55,297	118,71	***0,43***
1866	02.03.2004	14:00	1,56516	1,61077	0,04564	55,211	118,71	***0,83***
1867	02.03.2004	16:00	1,56253	1,59358	0,03108	55,269	118,71	***0,56***
1868	02.03.2004	18:00	1,54202	1,58206	0,04007	55,288	118,71	***0,72***
1869	02.03.2004	20:00	1,55548	1,59672	0,04127	55,231	118,71	***0,75***
1870	02.03.2004	22:00	1,53346	1,56869	0,03526	55,250	118,71	***0,64***
1871	03.03.2004	0:00	1,56372	1,58920	0,02551	55,164	118,71	***0,46***
1872	03.03.2004	2:00	1,56196	1,58576	0,02383	55,174	118,71	***0,43***
1873	03.03.2004	4:00	1,56411	1,60222	0,03814	55,174	118,71	***0,69***

Anhang II

Tabelle 15: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 14: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1874	03.03.2004	6:00	1,56276	1,61843	0,05570	55,193	118,71	***1,01***
1875	03.03.2004	8:00	1,54817	1,59527	0,04713	55,374	118,71	***0,85***
1876	03.03.2004	10:00	1,53648	1,58325	0,04680	55,403	118,71	***0,84***
1877	03.03.2004	12:00	1,57191	1,60723	0,03535	55,336	118,71	***0,64***
1878	03.03.2004	14:00	1,56672	1,60160	0,03491	55,326	118,71	***0,63***
1879	03.03.2004	16:00	1,56453	1,61350	0,04900	55,221	118,71	***0,89***
1880	03.03.2004	18:00	1,55640	1,64252	0,08615	54,985	118,71	***1,57***
1881	03.03.2004	20:00	1,56319	1,65763	0,09447	54,741	118,71	***1,73***
1882	03.03.2004	22:00	1,54445	1,61810	0,07368	54,845	118,71	***1,34***
1883	04.03.2004	0:00	1,55831	1,60625	0,04797	55,023	118,71	***0,87***
1884	04.03.2004	2:00	1,54862	1,59655	0,04796	54,995	118,71	***0,87***
1885	04.03.2004	4:00	1,52677	1,59809	0,07135	55,089	118,71	***1,30***
1886	04.03.2004	6:00	1,46666	1,55766	0,09103	55,165	118,71	***1,65***
1887	04.03.2004	8:00	1,47576	1,63444	0,15871	54,835	118,71	***2,89***
1888	04.03.2004	10:00	1,50009	1,63547	0,13541	54,845	118,71	***2,47***
1889	04.03.2004	12:00	1,51343	1,58630	0,07276	55,222	118,71	***1,32***
1890	04.03.2004	14:00	1,49651	1,56857	0,07195	55,441	118,71	***1,30***
1891	04.03.2004	16:00	1,51822	1,56208	0,04375	55,365	118,71	***0,79***
1892	04.03.2004	18:00	1,50688	1,57643	0,06944	55,355	118,71	***1,25***
1893	04.03.2004	20:00	1,51172	1,57435	0,06252	55,307	118,71	***1,13***
1894	04.03.2004	22:00	1,48575	1,54591	0,06005	55,279	118,71	***1,09***

Anhang II

Tabelle 16: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 15: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1889	04.03.2004	12:00	1,51343	1,58630	0,07276	55,222	118,71	***1,32***
1890	04.03.2004	14:00	1,49651	1,56857	0,07195	55,441	118,71	***1,30***
1891	04.03.2004	16:00	1,51822	1,56208	0,04375	55,365	118,71	***0,79***
1892	04.03.2004	18:00	1,50688	1,57643	0,06944	55,355	118,71	***1,25***
1893	04.03.2004	20:00	1,51172	1,57435	0,06252	55,307	118,71	***1,13***
1894	04.03.2004	22:00	1,48575	1,54591	0,06005	55,279	118,71	***1,09***
1895	Verfahrens-kontrolle	/	1,51452	1,51470	0,00007	0,000	0,00	
1896	09.03.2004	0:00	1,50553	1,55606	0,04959	55,251	118,80	***0,90***
1897	09.03.2004	2:00	1,52470	1,56001	0,03437	55,213	118,71	***0,62***
1898	09.03.2004	4:00	1,53279	1,57961	0,04588	55,403	118,71	***0,83***
1899	09.03.2004	6:00	1,49532	1,58153	0,08527	55,127	118,71	***1,55***
1900	09.03.2004	8:00	1,52648	1,59624	0,06882	55,194	118,71	***1,25***
1901	09.03.2004	10:00	1,53817	1,59989	0,06078	55,241	118,71	***1,10***
1902	09.03.2004	12:00	1,53548	1,61376	0,07734	55,194	118,71	***1,40***
1903	09.03.2004	14:00	1,53160	1,60008	0,06754	55,184	118,71	***1,22***
1904	09.03.2004	16:00	1,54252	1,63427	0,09026	54,967	118,71	***1,64***
1905	09.03.2004	18:00	1,56144	1,68103	0,11959	54,807	118,71	***2,18***
1906	09.03.2004	20:00	1,55722	1,64711	0,08989	54,892	118,71	***1,64***
1907	09.03.2004	22:00	1,55942	1,61756	0,05814	55,061	118,71	***1,06***

Anhang II

Tabelle 17: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 16: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1904	09.03.2004	16:00	1,54252	1,63427	0,09026	54,967	118,71	***1,64***
1905	09.03.2004	18:00	1,56144	1,68103	0,11810	54,807	118,71	***2,15***
1906	09.03.2004	20:00	1,55722	1,64711	0,08840	54,892	118,71	***1,61***
1907	09.03.2004	22:00	1,55942	1,61756	0,05665	55,061	118,71	***1,03***
1908	10.03.2004	0:00	1,53863	1,58346	0,04334	55,099	118,71	***0,79***
1909	10.03.2004	2:00	1,55306	1,58610	0,03155	55,099	118,71	***0,57***
1910	10.03.2004	4:00	1,54857	1,61216	0,06210	55,176	118,71	***1,13***
1911	10.03.2004	6:00	1,50173	1,58414	0,08092	55,242	118,71	***1,46***
1912	10.03.2004	8:00	1,48368	1,55798	0,07281	55,356	118,71	***1,32***
1913	10.03.2004	10:00	1,51789	1,58851	0,06913	55,365	118,71	***1,25***
1914	10.03.2004	12:00	1,50812	1,57777	0,06816	55,384	118,71	***1,23***
1915	10.03.2004	14:00	1,48830	1,56239	0,07260	55,394	118,71	***1,31***
1916	10.03.2004	16:00	1,55068	1,63026	0,07809	55,241	118,71	***1,41***
1917	10.03.2004	18:00	1,55868	1,63490	0,07473	55,346	118,71	***1,35***
1918	10.03.2004	20:00	1,55286	1,59590	0,04155	55,499	118,71	***0,75***
1919	10.03.2004	22:00	1,55820	1,60516	0,04569	55,298	118,71	***0,83***

Anhang II

Tabelle 18: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 17: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1919	10.03.2004	22:00	1,55820	1,60516	0,04569	55,298	118,71	***0,83***
1920	11.03.2004	0:00	1,56053	1,60703	0,04523	55,203	118,71	***0,82***
1921	11.03.2004	2:00	1,57786	1,61028	0,03115	55,222	118,71	***0,56***
1922	11.03.2004	4:00	1,55917	1,60794	0,04750	55,203	118,71	***0,86***
1923	11.03.2004	6:00	1,47192	1,55042	0,07723	55,185	118,71	***1,40***
1924	11.03.2004	8:00	1,47687	1,56580	0,08766	55,081	118,71	***1,59***
1925	11.03.2004	10:00	1,52004	1,57565	0,05434	55,269	118,71	***0,98***
1926	11.03.2004	12:00	1,54406	1,59170	0,04637	55,374	118,71	***0,84***
1927	11.03.2004	14:00	1,52773	1,62725	0,09825	55,183	118,71	***1,78***
1928	11.03.2004	16:00	1,53600	1,64257	0,10530	54,909	118,71	***1,92***
1929	11.03.2004	18:00	1,48512	1,57011	0,08372	55,231	118,71	***1,52***
1930	11.03.2004	20:00	1,49816	1,57331	0,07388	55,165	118,71	***1,34***
1931	11.03.2004	22:00	1,49029	1,58395	0,09239	54,873	118,71	***1,68***
1932	12.03.2004	0:00	1,56445	1,63437	0,06865	54,749	118,71	***1,25***
1933	12.03.2004	2:00	1,57264	1,62100	0,04709	54,805	118,71	***0,86***

Anhang II

Tabelle 19: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 18: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1934	12.03.2004	4:00	1,55569	1,62066	0,06250	54,785	118,71	***1,14***
1935	12.03.2004	6:00	1,55800	1,67586	0,11539	54,664	118,71	***2,11***
1936	12.03.2004	8:00	1,55977	1,65115	0,08891	54,832	118,71	***1,62***
1937	12.03.2004	10:00	1,54962	1,61934	0,06725	54,983	118,71	***1,22***
1938	12.03.2004	12:00	1,54246	1,59406	0,04913	55,068	118,71	***0,89***
1939	12.03.2004	14:00	1,54745	1,61287	0,06295	54,888	118,71	***1,15***
1940	12.03.2004	16:00	1,56147	1,60887	0,04493	54,879	118,71	***0,82***
1941	12.03.2004	18:00	1,55089	1,60864	0,05528	54,887	118,71	***1,01***
1942	12.03.2004	20:00	1,56163	1,60707	0,04297	54,897	118,71	***0,78***
1943	12.03.2004	22:00	1,51769	1,54079	0,02063	55,087	118,71	***0,37***
1944	13.03.2004	0:00	1,54582	1,57124	0,02295	54,992	118,71	***0,42***
1945	13.03.2004	2:00	1,51951	1,54271	0,02073	54,898	118,71	***0,38***
1946	13.03.2004	4:00	1,54405	1,58091	0,03439	54,765	118,71	***0,63***
1947	13.03.2004	6:00	1,55131	1,58424	0,03046	54,897	118,71	***0,55***
1948	13.03.2004	8:00	1,55752	1,59374	0,03375	54,841	118,71	***0,62***
1949	13.03.2004	10:00	1,55784	1,59297	0,03312	54,767	118,71	***0,60***
1950	13.03.2004	12:00	1,56996	1,60862	0,03665	54,609	118,71	***0,67***
1951	13.03.2004	14:00	1,55733	1,61010	0,05076	54,498	118,71	***0,93***
1952	13.03.2004	16:00	1,55090	1,60306	0,05015	54,481	118,71	***0,92***
1953	13.03.2004	18:00	1,55493	1,63415	0,07721	54,499	118,71	***1,42***
1954	13.03.2004	20:00	1,55418	1,59738	0,04119	54,742	118,71	***0,75***
1955	13.03.2004	22:00	1,55184	1,58673	0,03288	54,968	118,71	***0,60***

Anhang II

Tabelle 20: PM 10-Massenkonzentration - Messkampagne 19: Identifizierung der Quarzfaserfilter [Nr.], zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min], LAB-korrigierte Differenz [g] und Konzentration von PM 10 [mg•m⁻³]

Filter-Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB-korrigierte Differenz [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme zeit [min]	*PM 10-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
1949	13.03.2004	10:00	1,55784	1,59297	0,03312	54,767	118,71	***0,60***
1950	13.03.2004	12:00	1,56996	1,60862	0,03665	54,609	118,71	***0,67***
1951	13.03.2004	14:00	1,55733	1,61010	0,05076	54,498	118,71	***0,93***
1952	13.03.2004	16:00	1,55090	1,60306	0,05015	54,481	118,71	***0,92***
1953	13.03.2004	18:00	1,55493	1,63415	0,07721	54,499	118,71	***1,42***
1954	13.03.2004	20:00	1,55418	1,59738	0,04119	54,742	118,71	***0,75***
1955	13.03.2004	22:00	1,55184	1,58673	0,03288	54,968	118,71	***0,60***
1956	14.03.2004	0:00	1,54378	1,57708	0,03129	55,006	118,71	***0,57***
1957	16.03.2004	0:00	1,55997	1,74594	0,18396	332,708	718,80	***0,55***
1958	16.03.2004	12:00	1,56414	1,86446	0,29831	330,754	718,71	***0,90***

Anhang II

Tabelle 21: Gewichte – Glühversuch: Identifizierung (Probe Nr., Teilfilter Nr., Probenahmetag), Startzeit, Einwaage [g] und Rückwaage [g] der PM 10-Quarzfaserfilter und berechnetes mittleren Blindfiltergewicht [g]

Nr.	Teil-filter Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Einwaage [g]	Rück-waage [g]	mittleres Blindfilter-gewicht [g]	korrigierte Einwaage-Teilfilter [g]	korrigierte Rückwaage-Teilfilter [g]
267	1	13.03.2004	0:00	0,10754	0,10485	0,10216	0,00538	0,00269
267	2	13.03.2004	0:00	0,10718	0,10450	0,10216	0,00502	0,00234
268	1	13.03.2004	2:00	0,10438	0,10328	0,10216	0,00222	0,00112
268	2	13.03.2004	2:00	0,10581	0,10381	0,10216	0,00365	0,00165
269	1	13.03.2004	4:00	0,10722	0,10414	0,10216	0,00506	0,00198
269	2	13.03.2004	4:00	0,10718	0,10416	0,10216	0,00502	0,00200
270	1	13.03.2004	6:00	0,10697	0,10425	0,10216	0,00481	0,00209
270	2	13.03.2004	6:00	0,10794	0,10508	0,10216	0,00578	0,00292
271	1	13.03.2004	8:00	0,10869	0,10579	0,10216	0,00653	0,00363
271	2	13.03.2004	8:00	0,10798	0,10497	0,10216	0,00582	0,00281
272	1	13.03.2004	10:00	0,10926	0,10637	0,10216	0,00710	0,00421
272	2	13.03.2004	10:00	0,10742	0,10461	0,10216	0,00526	0,00245
273	1	13.03.2004	12:00	0,10910	0,10592	0,10216	0,00694	0,00376
273	2	13.03.2004	12:00	0,10860	0,10549	0,10216	0,00644	0,00333
274	1	13.03.2004	14:00	0,11018	0,10581	0,10216	0,00802	0,00365
274	2	13.03.2004	14:00	0,10840	0,10509	0,10216	0,00624	0,00293
275	1	13.03.2004	16:00	0,10842	0,10442	0,10216	0,00626	0,00226
275	2	13.03.2004	16:00	0,10857	0,10440	0,10216	0,00641	0,00224
276	1	13.03.2004	18:00	0,11152	0,10528	0,10216	0,00936	0,00312
276	2	13.03.2004	18:00	0,11256	0,10641	0,10216	0,01040	0,00425
277	1	13.03.2004	20:00	0,10882	0,10559	0,10216	0,00666	0,00343
277	2	13.03.2004	20:00	0,10806	0,10458	0,10216	0,00590	0,00242
278	1	13.03.2004	22:00	0,10891	0,10612	0,10216	0,00675	0,00396
278	2	13.03.2004	22:00	0,10768	0,10487	0,10216	0,00552	0,00271
Blind	1	Kontrolle		0,10343	0,10334			
Blind	2	Kontrolle		0,10206	0,10198			
Blind	3	Kontrolle		0,10098	0,10089			
Blind	4	Kontrolle		0,10142	0,10133			
Blind	5	Kontrolle		0,10289	0,10281			

Anhang II

Tabelle 22: Organische und flüchtige Komponenten der Quarzfaserfilter - Glühversuch: Prozentuale Anteile und mittlere prozentuale Anteile der Asche sowie prozentuale Anteile organischer Substanz und flüchtiger Stoffe an den veraschten PM 10-Teilfilter (Durchmesser 39 mm)

Nr.	Teil-filter Nr.	Probenahme-Datum	Start-zeit	%-Anteil ASCHE	%-MW ASCHE	%-Anteil OS + flüchtige Stoffe	%-MW OS + flüchtige Stoffe
267	1	13.03.2004	0:00	50	48	50	52
267	2	13.03.2004	0:00	47		53	
268	1	13.03.2004	2:00	50	48	50	52
268	2	13.03.2004	2:00	45		55	
269	1	13.03.2004	4:00	39	39	61	61
269	2	13.03.2004	4:00	40		60	
270	1	13.03.2004	6:00	43	47	57	53
270	2	13.03.2004	6:00	51		49	
271	1	13.03.2004	8:00	56	52	44	48
271	2	13.03.2004	8:00	48		52	
272	1	13.03.2004	10:00	59	53	41	47
272	2	13.03.2004	10:00	47		53	
273	1	13.03.2004	12:00	54	53	46	47
273	2	13.03.2004	12:00	52		48	
274	1	13.03.2004	14:00	46	46	54	54
274	2	13.03.2004	14:00	47		53	
275	1	13.03.2004	16:00	36	36	64	64
275	2	13.03.2004	16:00	35		65	
276	1	13.03.2004	18:00	33	37	67	63
276	2	13.03.2004	18:00	41		59	
277	1	13.03.2004	20:00	52	46	48	54
277	2	13.03.2004	20:00	41		59	
278	1	13.03.2004	22:00	59	54	41	46
278	2	13.03.2004	22:00	49		51	

Anhang III

Tabelle 1: Laborkontrollen ID: Übersicht der Einwaagen [g] und Rückwaagen [g] mit Datum [tt.mm.jjjj] der angelegten ID-Glasfaserfilter als Laborkontrollen L1, L2, L3 je Durchgang und die aus dem Mittel dieser berechneten Korrektur (LAB-Korrektur) und zugehörige Transportkontrollen (TK) mit Angabe des Korrekturfaktors

Nr.	Durch-gang	Datum (Rückwaage)	Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Differenz [g]	LAB-Korrektur Faktor [g]	TK-Korrektur Faktor [g]
L1	1	26.01.2004	1,12539	1,12538	-0,00001	-0,00002	
L2	1	26.01.2004	1,12610	1,12607	-0,00003		
L3	1	26.01.2004	1,12601	1,12599	-0,00002		
TK	1	26.01.2004	1,17197	1,17207	0,00008		0,00008
L1	2	02.02.2004	1,12605	1,12604	-0,00001	0,00000	
L2	2	02.02.2004	1,12549	1,12546	-0,00003		
L3	2	02.02.2004	1,12618	1,12621	0,00003		
TK	2	02.02.2004	0,92418	0,92425	0,00007		0,00007
L1	3	06.02.2004	1,12604	1,12601	-0,00003	-0,00001	
L2	3	06.02.2004	1,12546	1,12547	0,00001		
L3	3	06.02.2004	1,12621	1,12619	-0,00002		
TK	3	06.02.2004	0,92418	0,92444	0,00026		0,00026
L1	4	12.02.2004	1,12601	1,12601	0,00000	0,00000	
L2	4	12.02.2004	1,12547	1,12549	0,00002		
L3	4	12.02.2004	1,12621	1,12620	-0,00001		
TK	4	12.02.2004	1,16045	1,16079	0,00034		0,00034
L1	5	25.02.2004	1,12601	1,12602	0,00001	0,00001	
L2	5	25.02.2004	1,12549	1,12549	0,00000		
L3	5	25.02.2004	1,12620	1,12621	0,00001		
TK	5	25.02.2004	1,18600	1,18649	0,00049		0,00049
L1	6	09.03.2004	1,12603	1,12605	0,00002	0,00001	
L2	6	09.03.2004	1,12549	1,12549	0,00000		
L3	6	09.03.2004	1,12619	1,12620	0,00001		
TK	6	09.03.2004	1,14938	1,14968	0,00030		0,00030
L1	7	15.03.2004	1,12604	1,12604	0,00000	0,00001	
L2	7	15.03.2004	1,12547	1,12549	0,00002		
L3	7	15.03.2004	1,12621	1,12622	0,00001		
TK	7	15.03.2004	1,14926	1,15010	0,00084		0,00084
L1	8	19.03.2004	1,12604	1,12600	-0,00004	-0,00001	
L2	8	19.03.2004	1,12551	1,12549	-0,00002		
L3	8	19.03.2004	1,12620	1,12622	0,00002		
TK	8	19.03.2004	0,91684	0,91694	0,00010		0,00010

Anhang III

ID Datenaufnahme, Messkampagne Nr. 1

verworfen, aufgrund fehlerhafter Messeinstellungen

Tabelle 2: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 2: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück-waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
8	28.01.04	12:40	1,17200	1,18841	0,01634	0,01564	3,6	1440	***4,34***
9	28.01.04	12:40	1,16612	1,16689	0,00070	/	0,0	1440	
10	29.01.04	13:10	1,16795	1,18044	0,01242	/	0,0	1440	
11	29.01.04	13:10	1,16976	1,17035	0,00052	0,01190	3,6	1440	***3,31***
12	30.01.04	14:05	1,19923	1,19975	0,00045	/	0,0	1440	
13	30.01.04	14:05	0,92735	0,94071	0,01329	0,01284	3,6	1440	***3,57***

Tabelle 3: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 3: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
15	03.02.04	0:00	1,19306	1,19399	0,00068	0,00678	3,6	1440	***1,88***
16	03.02.04	0:00	1,16698	1,17469	0,00746	/	0,0	1440	
17	06.02.04	0:00	1,19611	1,19701	0,00065	/	0,0	1440	
18	06.02.04	0:00	1,15180	1,15622	0,00417	0,00352	3,6	1440	***0,98***
19	07.02.04	0:00	1,18885	1,18966	0,00056	/	0,0	1440	
20	07.02.04	0:00	1,15364	1,15983	0,00594	0,00538	3,6	1440	***1,49***

Anhang III

Tabelle 4: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 4: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
22	08.02.04	0:00	1,17356	1,18010	0,00620	0,00559	3,6	1440	***1,55***
23	08.02.04	0:00	1,15762	1,15857	0,00061	7	0,0	1440	
24	11.02.04	0:00	1,17052	1,17149	0,00063	/	0,0	1440	
25	11.02.04	0:00	1,19848	1,20503	0,00621	0,00558	3,6	1440	***1,55***
26	12.02.04	0:00	1,15101	1,15136	0,00001	/	0,0	1440	
27	12.02.04	0:00	0,92622	0,93445	0,00789	0,00788	3,6	1440	***2,19***

Tabelle 5: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 5: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
29	14.02.04	0:00	1,19544	1,19604	0,00010	0,00299	3,6	1440	***0,83***
30	14.02.04	0:00	1,18050	1,18409	0,00309	/	0,0	1440	
31	17.02.04	0:00	1,16849	1,16927	0,00028	/	0,0	1440	
32	17.02.04	0:00	1,16297	1,16888	0,00541	0,00513	3,6	1440	***1,43***
33	22.02.04	0:00	1,15341	1,15957	0,00566	/	0,0	1440	
34	22.02.04	0:00	1,17193	1,17252	0,00009	0,00557	3,6	1440	***1,55***

Anhang III

Tabelle 6: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 6: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
36	27.02.04	0:00	1,14229	1,14264	0,00004	/	0,0	1440	
37	27.02.04	0:00	1,16055	1,17189	0,01103	0,01099	3,6	1440	***3,05***
38	02.03.04	0:00	1,17340	1,17383	0,00012	/	0,0	1440	
39	02.03.04	0:00	1,16747	1,17159	0,00381	0,00369	3,6	1440	***1,02***
40	04.03.04	0:00	1,19903	1,20658	0,00724	0,00710	3,6	1440	***1,97***
41	04.03.04	0:00	1,15204	1,15249	0,00014	/	0,0	1440	

Tabelle 7: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 7: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID- Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
43	04.03.04	0:00	1,13834	1,14669	0,00750	0,00727	3,6	1440	***2,02***
44	04.03.04	0:00	1,19408	1,19516	0,00023	/	0,0	1440	
45	09.03.04	0:00	1,15334	1,16263	0,00844	0,00822	3,6	1440	***2,28***
46	09.03.04	0:00	1,17927	1,18034	0,00022	/	0,0	1440	
47	10.03.04	0:00	1,21036	1,21119	0,00002	/	0,0	1440	
48	10.03.04	0:00	1,17014	1,17792	0,00693	0,00691	3,6	1440	***1,92***

Anhang III

Tabelle 8: ID-Massenkonzentration - Messkampagne 8: Identifizierung der ID-Glasfaserfilter, zugehöriger Probenahmetag [Datum], Startzeit [Uhrzeit], Einwaage [g] und Rückwaage [g], LAB und TK-korrigierte Werte [g], aktive ID-Werte [g], Probevolumen [m³], Probenahmezeit [min] und ID-Konzentration [mg•m⁻³]

Nr.	Probe-nahme-Datum	Start-zeit	Ein-waage [g]	Rück - waage [g]	LAB+TK-korrigierte ID Werte [g]	aktive-passive ID-Werte [g]	Probe-volumen [m³]	Probe-nahme-zeit [min]	*ID-Konzen-tration [mg•m⁻³]*
50	13.03.04	0:00	1,17041	1,17739	0,00689	0,00628	3,6	1440	***1,74***
51	13.03.04	0:00	1,15305	1,15375	0,00061	/	0,0	1440	
52	14.03.04	0:00	1,16896	1,17601	0,00696	0,00570	3,6	1440	***1,58***
53	14.03.04	0:00	1,16995	1,17130	0,00126	/	0,0	1440	
54	15.03.04	0:00	1,17068	1,17166	0,00089	/	0,0	1440	
55	15.03.04	0:00	1,16909	1,17371	0,00453	0,00364	3,6	1440	***1,01***

Anhang III

Tabelle 9: PM 10- und ID-Massenkonzentrationen an Werktagen: Datenreihe zur Bestimmung des Einfluss des Wochentags (Mo-Fr)

Probenahme-Datum	Mast-tag	Wochen-tag	24 h PM 10-Konzentrationen [mg•m^{-3}]	24-h ID-Konzentrationen [mg•m^{-3}]
06.01.2004	34	Di	2,44	/
07.01.2004	35	Mi	1,41	/
08.01.2004	36	Do	1,43	/
12.01.2004	40	Mo	0,63	/
13.01.2004	41	Di	0,63	/
14.01.2004	42	Mi	0,61	/
15.01.2004	43	Do	1,00	/
16.01.2004	44	Fr	0,96	/
20.01.2004	47	Di	1,57	/
21.01.2004	48	Mi	1,77	/
22.01.2004	49	Do	1,87	/
23.01.2004	50	Fr	1,90	/
26.01.2004	52	Mo	1,70	/
28.01.2004	56	Mi	2,44	4,34
29.01.2004	57	Do	***/***	3,31
30.01.2004	58	Fr	2,02	3,57
03.02.2004	62	Di	0,77	1,88
06.02.2004	65	Fr	/	0,98
11.02.2004	70	Mi	0,98	1,55
12.02.2004	71	Do	1,24	2,19
17.02.2004	76	Di	0,83	1,43
25.02.2004	84	Mi	1,54	/
27.02.2004	86	Fr	1,88	3,05
02.03.2004	90	Di	0,56	1,02
03.03.2004	91	Mi	0,92	1,97
04.03.2004	92	Do	1,41	2,02
09.03.2004	97	Di	1,28	2,28
10.03.2004	98	Mi	1,12	1,92
11.03.2004	99	Do	1,27	/
12.03.2004	100	Fr	1,10	/
15.03.2004	103	Mo	/	1,01
16.03.2004	104	Di	0,73	/

Anhang III

Tabelle 10: PM 10- und ID-Massenkonzentrationen an Wochenenden: Datenreihe zur Bestimmung des Einfluss des Wochentags (Sa-So)

Probenahme-Datum	Mast-tag	Wochen-tag	24 h PM 10 Konzentrationen [mg•m^{-3}]	24 h ID Konzent-rationen [mg•m^{-3}]
10.01.2004	38	Sa	0,98	/
11.01.2004	39	So	0,67	/
17.01.2004	45	Sa	0,83	/
18.01.2004	46	So	1,42	/
24.01.2004	51	Sa	2,04	/
25.01.2004	52	So	1,66	/
07.02.2004	66	Sa	1,11	1,49
08.02.2004	67	So	/	1,55
14.02.2004	73	Sa	0,94	**0,83**
22.02.2004	81	So	1,03	1,55
13.03.2004	101	Sa	0,71	1,74
14.03.2004	102	So	/	1,54

Anhang IV

Tabelle 1: Endotoxinaktivität der ID-Filter: Zuordnung des Probenahme-Datum der einatembaren Endotoxine der aktiv beaufschlagten und passiven ID-Glasfaserfilter sowie Blindfilter- und Transportkontrolle

Nr.	Probenahme-Datum bzw. Probe	Volumen [m³]	Endotoxine [EU/Filter]	*Endotoxine [EU•m⁻³]*
1	28.01.2004	3,60	3688,52	*1024,59*
2	28.01.2004	0,00	30,54	
3	29.01.2004	3,60	3621,98	*1006,11*
4	29.01.2004	0,00	32,68	
5	30.01.2004	0,00	21,43	
6	30.01.2004	3,60	5813,89	*1614,97*
7	03.02.2004	3,60	1373,33	*381,48*
8	03.02.2004	0,00	38,76	
9	06.02.2004	3,60	877,50	*243,75*
10	06.02.2004	0,00	6,90	
11	07.02.2004	0,00	3,92	
12	07.02.2004	3,60	668,89	*185,80*
13	08.02.2004	3,60	536,39	*149,00*
14	08.02.2004	0,00	3,72	
15	11.02.2004	0,00	4,43	
16	11.02.2004	3,60	506,11	*140,59*
17	12.02.2004	0,00	3,44	
18	12.02.2004	3,60	332,50	*92,36*
19	14.02.2004	0,0	77,93	
20	14.02.2004	3,6	3020,00	*838,89*
21	17.02.2004	0,0	116,10	
22	17.02.2004	3,6	4428,00	*1230,00*
23	22.02.2004	3,6	19960,00	*5544,44*
24	22.02.2004	0,0	35,59	
25	27.02.2004	3,6	595,80	*165,50*
26	27.03.2004	0,0	6,43	
27	02.03.2004	0,0	4,47	
28	02.03.2004	3,6	2246,00	*623,89*
29	03.03.2004	0,0	2,15	
30	03.03.2004	3,6	4926,00	*1368,33*
31	04.03.2004	3,6	11020,00	*3061,11*
32	04.03.2004	0,0	73,58	
33	09.03.2004	3,6	10990,00	*3052,78*
34	09.03.2004	0,0	11,60	
35	10.03.2004	3,6	11990,00	*3330,56*
36	10.03.2004	0,0	73,25	
37	13.03.2004	3,6	9134,00	*2537,22*
38	13.03.2004	0,0	252,30	
39	14.03.2004	3,6	3862,00	*1072,78*

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Nr.	Probenahme-Datum bzw. Probe	Volumen [m³]	Endotoxine [EU/Filter]	*Endotoxine [EU•m⁻³]*
40	14.03.2004	0,0	122,30	
41	15.03.2004	3,6	2672,00	*742,22*
42	15.03.2004	0,0	88,38	
43	BLIND	0,0	0,00	
44	BLIND	0,0	0,00	
45	BLIND	0,0	< 0,05	
46	TK-7	0,0	2,06	
47	TK-8	0,0	0,57	

Anhang IV

Tabelle 2: Endotoxinaktivität der PM 10 Teilfilter, Blindkontrolle, Transportkontrolle

Nr.	Probenahme-Datum	Startzeit [Uhrzeit]	Endotoxine [EU/Filter*]	Nr.	Probenah-me-Datum	Startzeit [Uhrzeit]	Endotoxine [EU/Filter]
Blind	09.01.2004		**0,06**	1883	04.03.2004	0:00	**2526,00**
Blind	09.01.2004		**0,49**	1883	04.03.2004	0:00	**2175,00**
1814	22.02.2004	0:00	**4051,00**	1884	04.03.2004	2:00	**1249,00**
1814	22.02.2004	0:00	**7151,00**	1884	04.03.2004	2:00	**1836,00**
1815	22.02.2004	2:00	**2374,00**	1885	04.03.2004	4:00	**3653,00**
1815	22.02.2004	2:00	**2665,00**	1885	04.03.2004	4:00	**4119,00**
1816	22.02.2004	4:00	**4540,00**	1886	04.03.2004	6:00	**4685,00**
1816	22.02.2004	4:00	**3995,00**	1886	04.03.2004	6:00	**7761,00**
1817	22.02.2004	6:00	**8039,00**	1887	04.03.2004	8:00	**11050,00**
1817	22.02.2004	6:00	**12650,00**	1887	04.03.2004	8:00	**10860,00**
1818	22.02.2004	8:00	**14380,00**	1888	04.03.2004	10:00	**13110,00**
1818	22.02.2004	8:00	**7793,00**	1888	04.03.2004	10:00	**10720,00**
1819	22.02.2004	10:00	**3794,00**	1889	04.03.2004	12:00	**7005,00**
1819	22.02.2004	10:00	**5581,00**	1889	04.03.2004	12:00	**6492,00**
1820	22.02.2004	12:00	**4052,00**	1890	04.03.2004	14:00	**5596,00**
1820	22.02.2004	12:00	**3579,00**	1890	04.03.2004	14:00	**7902,00**
1820	22.02.2004	12:00	**2660,00**	1891	04.03.2004	16:00	**4857,00**
1820	22.02.2004	12:00	**8891,00**	1891	04.03.2004	16:00	**1467,00**
1820	22.02.2004	12:00	**9997,00**	1892	04.03.2004	18:00	**5918,00**
1821	22.02.2004	14:00	**5567,00**	1892	04.03.2004	18:00	**8435,00**
1821	22.02.2004	14:00	**5744,00**	1893	04.03.2004	20:00	**3073,00**
1822	22.02.2004	16:00	**7319,00**	1893	04.03.2004	20:00	**1324,00**
1822	22.02.2004	16:00	**5833,00**	1894	04.03.2004	22:00	**3239,00**
1823	22.02.2004	18:00	**9274,00**	1894	04.03.2004	22:00	**1363,00**
1823	22.02.2004	18:00	**10520,00**	TK	04.03.2004	TK	**< 0.05**
1824	22.02.2004	20:00	**14280,00**	1895	04.03.2004	TK	**< 0,05**
1824	22.02.2004	20:00	**16470,00**	TK	04.03.2004	TK	**< 0,05**
1825	22.02.2004	22:00	**5112,00**	1896	09.03.2004	0:00	**2018,00**
1825	22.02.2004	22:00	**6086,00**	1896	09.03.2004	0:00	**1354,00**
1874	03.03.2004	6:00	**2426,00**	1897	09.03.2004	2:00	**795,30**
1874	03.03.2004	6:00	**3814,00**	1897	09.03.2004	2:00	**1625,00**
1875	03.03.2004	8:00	**2637,00**	1898	09.03.2004	4:00	**1454,00**
1875	03.03.2004	8:00	**2394,00**	1898	09.03.2004	4:00	**1304,00**
1875	03.03.2004	8:00	**2685,00**	1899	09.03.2004	6:00	**3365,00**
1875	03.03.2004	8:00	**2307,00**	1899	09.03.2004	6:00	**2057,00**
1875	03.03.2004	8:00	**2609,00**	1900	09.03.2004	8:00	**610,40**

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Probenahme-Datum	Startzeit [Uhrzeit]	Endotoxine [EU/Filter]
1876	03.03.2004	10:00	**3512,00**
1876	03.03.2004	10:00	**2956,00**
1876	03.03.2004	10:00	**1164,00**
1876	03.03.2004	10:00	**2974,00**
1876	03.03.2004	10:00	**2858,00**
1877	03.03.2004	12:00	**1824,00**
1877	03.03.2004	12:00	**1849,00**
1877	03.03.2004	12:00	**1525,00**
1877	03.03.2004	12:00	**2169,00**
1877	03.03.2004	12:00	**2455,00**
1878	03.03.2004	14:00	**1222,00**
1878	03.03.2004	14:00	**1354,00**
1879	03.03.2004	16:00	**1712,00**
1879	03.03.2004	16:00	**1675,00**
1880	03.03.2004	18:00	**4054,00**
1880	03.03.2004	18:00	**4837,00**
1880	03.03.2004	18:00	**2427,00**
1880	03.03.2004	18:00	**3905,00**
1880	03.03.2004	18:00	**4038,00**
1881	03.03.2004	20:00	**1655,00**
1881	03.03.2004	20:00	**2103,00**
1882	03.03.2004	22:00	**2521,00**
1882	03.03.2004	22:00	**5902,00**

Nr.	Probenah-me-Datum	Startzeit [Uhrzeit]	Endotoxine [EU/Filter]
1900	09.03.2004	8:00	**1811,00**
1901	09.03.2004	10:00	**2921,00**
1901	09.03.2004	10:00	**1799,00**
1902	09.03.2004	12:00	**834,10**
1902	09.03.2004	12:00	**2581,00**
1903	09.03.2004	14:00	**1607,00**
1903	09.03.2004	14:00	**1150,00**
1904	09.03.2004	16:00	**691,80**
1904	09.03.2004	16:00	**3858,00**
1905	09.03.2004	18:00	**2149,00**
1905	09.03.2004	18:00	**6184,00**
1906	09.03.2004	20:00	**4261,00**
1906	09.03.2004	20:00	**2811,00**
1907	09.03.2004	22:00	**1854,00**
1907	09.03.2004	22:00	**2617,00**

Anhang V

Tabelle 1: Entwicklung des Körpergewichts der Puten im Stallabteil 1 im Verlauf der Mast, Zuordnung der Einstreu-Tage sowie der Tage der Wintergartennutzung

Datum	Mast-tag	Stallabteil 1: Tier-Gewicht [g]	Ein-streu	Winter-garten	Datum	Mast-tag	Stallabteil 1: Tier-Gewicht [g]	Ein-streu	Winter-garten
07.01.2004	35		X	0	12.02.2004	71	7579		0
08.01.2004	36	2009		0	13.02.2004	72	7857	X	0
09.01.2004	37	2128		0	14.02.2004	73	8035		0
10.01.2004	38			0	15.02.2004	74			0
11.01.2004	39			0	16.02.2004	75	8374		0
12.01.2004	40	2449		0	17.02.2004	76		X	0
13.01.2004	41	2568		0	18.02.2004	77	8805		0
14.01.2004	42	2716	X	0	19.02.2004	78			0
15.01.2004	43	2861		0	20.02.2004	79			0
16.01.2004	44	2982		0	21.02.2004	80	9349		0
17.01.2004	45			0	22.02.2004	81		X	0
18.01.2004	46			0	23.02.2004	82	9785		0
19.01.2004	47	3348		0	24.02.2004	83	10059		0
20.01.2004	48	3504	X	0	25.02.2004	84	10291	X	0
21.01.2004	49	3667		0	26.02.2004	85	10566		0
22.01.2004	50	3821		0	27.02.2004	86			0
23.01.2004	51	4003		0	28.02.2004	87	10905		0
24.01.2004	52	4164		0	29.02.2004	88			0
25.01.2004	53			0	01.03.2004	89	11303		0
26.01.2004	54	4517		0	02.03.2004	90	11550	X	0
27.01.2004	55	4723	X	0	03.03.2004	91	11746		0
28.01.2004	56	4900		0	04.03.2004	92	12139		0
29.01.2004	57	5089		0	05.03.2004	93	12340	XO	0
30.01.2004	58	5239		0	06.03.2004	94			0
31.01.2004	59	5447		0	07.03.2004	95			0
01.02.2004	60			0	08.03.2004	96	12965	X	0
02.02.2004	61	5798		0	09.03.2004	97	13251		0
03.02.2004	62		X	0	10.03.2004	98	13459		0
04.02.2004	63	6159		0	11.03.2004	99	13670	XO	0
05.02.2004	64			0	12.03.2004	100	13713		0
06.02.2004	65	6512		0	13.03.2004	101	14229		0
07.02.2004	66	6669		0	14.03.2004	102			0
08.02.2004	67			0	15.03.2004	103	14481		1
09.02.2004	68	7009		0	16.03.2004	104		X	1
10.02.2004	69	7127	X	0	17.03.2004	105	14982		1
11.02.2004	70	7383		0					

Erläuterungen

Einstreu

normale Einstreu	X
Einstreu nur unter Tränken	X O

Wintergarten

Tieren nicht zugänglich	0
Tieren zugänglich	1

weitere Angaben zum Stall

Stallfläche

Stallabteil 1	476,34	m²
Wintergarten	140,31	m²

Anzahl der Puten

Einstallung	1648
Masttag 122	1558

Anhang V

Tabelle 2: Klimatologische Daten der Wetterstation Ruthe während des Messzeitraums vom 05.01. bis 18.03.2004, Teil 1

Datum	Zeit	Luft-temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Nieder-schlag [mm]	Windge-schwindig-keit [m/s]	Wind-maximum [m/s]	Wind-richtung [°]
05.01.2004	0.00 - 23.59	-0,7	95,8	0	2,2	4,9	144,0
06.01.2004	0.00 - 23.59	2,3	94,3	2,1	3,1	7,6	178,6
07.01.2004	0.00 - 23.59	4,7	96,3	0	2,0	4,8	211,4
08.01.2004	0.00 - 23.59	4,0	89,3	0,6	2,2	5,7	158,8
09.01.2004	0.00 - 23.59	4,3	96,4	1,7	2,1	5,7	195,4
10.01.2004	0.00 - 23.59	5,4	94,0	0,0	2,1	4,8	253,3
11.01.2004	0.00 - 23.59	7,2	89,1	2,3	4,0	10,4	205,4
12.01.2004	0.00 - 23.59	5,2	88,0	3,5	3,2	7,9	207,1
13.01.2004	0.00 - 23.59	6,4	89,1	0,8	4,6	11,2	227,0
14.01.2004	0.00 - 23.59	5,5	84,9	2,0	4,9	11,8	226,1
15.01.2004	0.00 - 23.59	4,0	90,9	0,4	4,0	8,3	268,4
16.01.2004	0.00 - 23.59	5,1	87,1	2,8	6,4	14,3	214,7
17.01.2004	0.00 - 23.59	5,3	84,1	0,0	3,9	8,6	200,7
18.01.2004	0.00 - 23.59	0,9	89,1	0,0	1,8	5,4	173,5
19.01.2004	0.00 - 23.59	2,6	92,9	4,4	5,8	11,6	245,4
20.01.2004	0.00 - 23.59	1,3	93,2	0,0	1,7	4,5	284,8
21.01.2004	0.00 - 23.59	-0,6	87,4	0,0	0,9	2,5	247,9
22.01.2004	0.00 - 23.59	-1,2	84,5	0,0	0,8	2,6	116,9
23.01.2004	0.00 - 23.59	1,1	74,8	0,0	1,8	4,8	181,8
24.01.2004	0.00 - 23.59	1,2	71,2	0,0	2,9	7,3	185,6
25.01.2004	0.00 - 23.59	2,6	97,7	0,2	2,1	4,7	253,3
26.01.2004	0.00 - 23.59	1,7	96,4	0,0	0,6	2,6	171,4
27.01.2004	0.00 - 23.59	-1,0	95,7	0,0	0,4	1,9	135,2
28.01.2004	0.00 - 23.59	0,1	91,7	0,0	2,7	6,5	210,0
29.01.2004	0.00 - 23.59	0,1	90,9	0,4	4,9	11,3	248,4
30.01.2004	0.00 - 23.59	2,0	87,9	2,9	5,0	11,4	245,3
31.01.2004	0.00 - 23.59	4,9	74,9	0,0	7,0	14,9	205,8
01.02.2004	0.00 - 23.59	10,1	83,5	1,6	7,1	15,6	249,5
02.02.2004	0.00 - 23.59	10,2	87,0	1,8	4,2	9,8	238,1
03.02.2004	0.00 - 23.59	13,1	80,1	0,1	5,5	11,6	236,2
04.02.2004	0.00 - 23.59	14,8	69,2	0,1	7,7	16,4	239,4
05.02.2004	0.00 - 23.59	13,6	78,9	0,3	4,7	10,7	250,0
06.02.2004	0.00 - 23.59	12,8	82,2	0,3	4,7	10,7	237,3
07.02.2004	0.00 - 23.59	7,8	82,5	2,9	6,4	15,5	253,4
08.02.2004	0.00 - 23.59	3,2	89,3	2,7	6,4	13,8	260,6
09.02.2004	0.00 - 23.59	2,1	89,6	0,4	7,2	13,1	290,2
10.02.2004	0.00 - 23.59	2,5	90,8	1,1	4,7	10,7	255,5
11.02.2004	0.00 - 23.59	3,4	91,9	0,0	1,9	5,3	174,4
12.02.2004	0.00 - 23.59	1,5	96,0	0,1	1,3	3,0	134,7
13.02.2004	0.00 - 23.59	6,9	96,7	0,0	3,8	6,5	285,0
14.02.2004	0.00 - 23.59	7,3	97,6	0,0	2,1	3,9	280,7
15.02.2004	0.00 - 23.59	5,6	93,6	0,0	2,1	4,0	298,5
16.02.2004	0.00 - 23.59	2,2	93,9	0,0	1,8	3,8	278,1
17.02.2004	0.00 - 23.59	4,0	89,4	0,0	3,4	6,6	254,7

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Datum	Zeit	Luft-temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Nieder-schlag [mm]	Windge-schwindig-keit [m/s]	Wind-maximum [m/s]	Wind-richtung [°]
18.02.2004	0.00 - 23.59	4,8	79,8	0,8	3,0	6,3	286,2
19.02.2004	0.00 - 23.59	0,7	80,4	0,0	1,9	6,8	60,4
20.02.2004	0.00 - 23.59	-0,6	74,5	0,0	4,8	10,5	92,3
21.02.2004	0.00 - 23.59	-0,1	74,9	0,0	2,5	5,6	84,8
22.02.2004	0.00 - 23.59	0,6	82,8	0,0	2,7	5,2	281,2
23.02.2004	0.00 - 23.59	0,8	75,9	0,0	3,5	7,0	301,8
24.02.2004	0.00 - 23.59	0,5	81,7	0,0	4,1	8,3	226,5
25.02.2004	0.00 - 23.59	0,9	91,5	1,6	3,0	7,2	247,7
26.02.2004	0.00 - 23.59	0,6	79,7	0,2	3,1	6,9	221,7
27.02.2004	0.00 - 23.59	0,5	78,0	0,3	1,4	3,5	201,9
28.02.2004	0.00 - 23.59	0,2	81,3	0,0	1,2	3,1	147,6
29.02.2004	0.00 - 23.59	-0,3	88,0	0,0	0,6	2,5	110,2
01.03.2004	0.00 - 23.59	0,8	89,6	0,0	2,9	5,8	236,8
02.03.2004	0.00 - 23.59	5,2	89,4	0,0	5,3	10,0	296,2
03.03.2004	0.00 - 23.59	4,3	85,6	0,1	4,4	7,5	245,2
04.03.2004	0.00 - 23.59	1,4	73,5	0,0	3,4	6,9	93,3
05.03.2004	0.00 - 23.59	0,6	68,6	0,0	3,8	7,7	101,9
06.03.2004	0.00 - 23.59	-0,2	84,5	0,7	1,9	4,6	159,5
07.03.2004	0.00 - 23.59	1,7	85,7	0,0	2,0	4,1	237,7
08.03.2004	0.00 - 23.59	1,4	82,2	0,0	1,6	3,7	222,9
09.03.2004	0.00 - 23.59	1,1	91,7	1,7	1,1	4,6	65,7
10.03.2004	0.00 - 23.59	1,2	98,4	0,6	1,1	4,5	46,7
11.03.2004	0.00 - 23.59	2,6	95,4	0,0	1,2	3,9	70,6
12.03.2004	0.00 - 23.59	4,4	81,2	0,0	2,2	5,1	105,1
13.03.2004	0.00 - 23.59	9,5	75,9	0,0	3,1	6,9	176,6
14.03.2004	0.00 - 23.59	9,9	74,1	0,0	3,5	7,6	201,1
15.03.2004	0.00 - 23.59	11,6	72,0	0,0	4,8	10,1	235,8
16.03.2004	0.00 - 23.59	13,5	79,0	0,0	3,5	8,0	244,0
17.03.2004	0.00 - 23.59	14,6	72,5	0,0	2,2	5,2	200,6
18.03.2004	0.00 - 23.59	12,1	85,8	0,0	1,7	3,9	173,5

Anhang V

Tabelle 3: Klimatologische Daten der Wetterstation Ruthe während des Messzeitraums vom 05.01. bis 18.03.2004, Teil 2

Datum	Zeit	Luftdruck [hPa]	Global-strahlung [W/m²]	UV-Strahlung [W/m²]	Beleuchtungs-stärke [Lux]	Verdunstung (Haude) [mm]
05.01.2004	0.00 - 23.59	1019,1	11,8	0,23	674,7	2,4
06.01.2004	0.00 - 23.59	1016,2	7,7	0,09	416,3	2,4
07.01.2004	0.00 - 23.59	1016,7	12,1	0,26	688,9	2,4
08.01.2004	0.00 - 23.59	1011,5	32,0	0,88	1857,7	4,4
09.01.2004	0.00 - 23.59	1002,8	18,4	0,4	1095,0	5,2
10.01.2004	0.00 - 23.59	1012,5	24,6	0,7	1408,2	4,4
11.01.2004	0.00 - 23.59	1005,9	8,2	0,2	526,4	5,2
12.01.2004	0.00 - 23.59	1000,9	26,5	0,9	1602,3	7,4
13.01.2004	0.00 - 23.59	990,5	8,5	0,3	532,7	10,4
14.01.2004	0.00 - 23.59	995,2	21,3	0,7	1312,9	6,8
15.01.2004	0.00 - 23.59	1003,6	22,6	0,8	1359,5	9,6
16.01.2004	0.00 - 23.59	995,4	19,6	0,6	1240,8	8,6
17.01.2004	0.00 - 23.59	1000,5	20,7	0,8	1305,8	8,2
18.01.2004	0.00 - 23.59	1024,2	23,9	1,0	1495,7	7,6
19.01.2004	0.00 - 23.59	1014,5	7,2	0,4	506,0	2,8
20.01.2004	0.00 - 23.59	1015,8	13,1	0,6	851,2	2,0
21.01.2004	0.00 - 23.59	1027,1	28,9	1,1	1758,4	4,8
22.01.2004	0.00 - 23.59	1029,0	23,5	1,0	1577,8	5,8
23.01.2004	0.00 - 23.59	1026,6	21,6	1,0	1346,5	8,2
24.01.2004	0.00 - 23.59	1020,9	22,9	1,0	1456,6	11,6
25.01.2004	0.00 - 23.59	1018,0	15,9	0,7	1039,1	9,4
26.01.2004	0.00 - 23.59	1014,0	25,3	1,0	1605,6	3,4
27.01.2004	0.00 - 23.59	1009,0	12,7	0,6	858,1	3,8
28.01.2004	0.00 - 23.59	1004,1	31,2	1,4	1984,0	2,4
29.01.2004	0.00 - 23.59	1003,5	45,0	1,8	2664,1	5,4
30.01.2004	0.00 - 23.59	1015,1	34,6	1,7	2124,7	7,6
31.01.2004	0.00 - 23.59	1009,6	16,7	0,9	1158,0	4,8
01.02.2004	0.00 - 23.59	1013,9	17,2	0,7	1111,0	5,8
02.02.2004	0.00 - 23.59	1020,9	14,9	0,6	1022,6	9,2
03.02.2004	0.00 - 23.59	1027,8	23,8	1,1	1504,7	13,0
04.02.2004	0.00 - 23.59	1026,3	17,6	0,7	1111,4	11,4
05.02.2004	0.00 - 23.59	1023,8	9,2	0,4	631,5	7,2
06.02.2004	0.00 - 23.59	1018,2	35,0	1,3	2210,5	12,2
07.02.2004	0.00 - 23.59	1012,4	15,4	0,8	985,0	14,2
08.02.2004	0.00 - 23.59	1010,8	29,9	1,2	1827,7	5,2
09.02.2004	0.00 - 23.59	1030,1	37,8	1,6	2306,5	4,4
10.02.2004	0.00 - 23.59	1032,8	24,3	1,1	1571,4	8,2
11.02.2004	0.00 - 23.59	1028,5	19,2	0,9	1230,2	7,6
12.02.2004	0.00 - 23.59	1037,0	35,5	1,6	2251,6	3,8
13.02.2004	0.00 - 23.59	1035,5	20,5	1,0	1318,5	3,4
14.02.2004	0.00 - 23.59	1030,5	16,1	0,7	1055,1	3,8
15.02.2004	0.00 - 23.59	1029,2	42,5	1,6	2562,2	5,4
16.02.2004	0.00 - 23.59	1034,4	22,9	1,1	1462,0	7,6
17.02.2004	0.00 - 23.59	1031,4	35,3	1,5	2212,8	5,8

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Datum	Zeit	Luftdruck [hPa]	Global-strahlung [W/m²]	UV-Strahlung [W/m²]	Beleuchtungs-stärke [Lux]	Verdunstung (Haude) [mm]
18.02.2004	0.00 - 23.59	1027,1	93,0	3,1	5439,8	12,2
19.02.2004	0.00 - 23.59	1033,7	53,5	2,3	3247,5	16,2
20.02.2004	0.00 - 23.59	1035,3	99,7	3,2	5656,8	13,0
21.02.2004	0.00 - 23.59	1024,4	65,3	2,4	3930,8	12,4
22.02.2004	0.00 - 23.59	1014,5	54,0	2,1	3288,8	8,6
23.02.2004	0.00 - 23.59	1020,2	93,9	3,3	5583,1	10,2
24.02.2004	0.00 - 23.59	1020,9	72,0	2,8	4285,4	13,4
25.02.2004	0.00 - 23.59	1008,3	72,4	2,9	4440,4	10,0
26.02.2004	0.00 - 23.59	997,2	105,7	3,1	6064,0	10,2
27.02.2004	0.00 - 23.59	995,4	117,7	3,1	6836,3	14,4
28.02.2004	0.00 - 23.59	1000,9	83,6	2,4	4832,0	13,4
29.02.2004	0.00 - 23.59	1017,0	89,6	2,3	5291,4	12,0
01.03.2004	0.00 - 23.59	1027,5	83,0	2,5	4875,1	13,0
02.03.2004	0.00 - 23.59	1025,0	27,5	0,9	1623,5	11,4
03.03.2004	0.00 - 23.59	1026,7	29,7	1,0	1782,5	8,2
04.03.2004	0.00 - 23.59	1026,8	134,5	4,0	7647,9	10,6
05.03.2004	0.00 - 23.59	1024,5	137,7	4,1	7894,7	13,0
06.03.2004	0.00 - 23.59	1017,3	37,5	1,5	2441,5	10,4
07.03.2004	0.00 - 23.59	1020,7	98,9	3,7	5808,7	8,8
08.03.2004	0.00 - 23.59	1029,0	131,1	3,8	7498,1	14,4
09.03.2004	0.00 - 23.59	1031,0	63,2	2,6	3974,7	11,4
10.03.2004	0.00 - 23.59	1027,5	32,5	1,2	2140,0	5,2
11.03.2004	0.00 - 23.59	1024,6	28,8	1,0	1806,7	2,4
12.03.2004	0.00 - 23.59	1019,1	107,1	3,5	6405,0	9,4
13.03.2004	0.00 - 23.59	1019,4	63,3	2,8	3968,4	19,2
14.03.2004	0.00 - 23.59	1027,7	133,0	4,7	8132,4	23,2
15.03.2004	0.00 - 23.59	1029,9	48,4	2,0	3102,6	26,8
16.03.2004	0.00 - 23.59	1032,5	61,8	2,4	3883,2	20,0
17.03.2004	0.00 - 23.59	1030,1	146,4	4,9	9083,4	33,4
18.03.2004	0.00 - 23.59	1026,8	85,2	3,1	5446,2	43,0

Anhang V

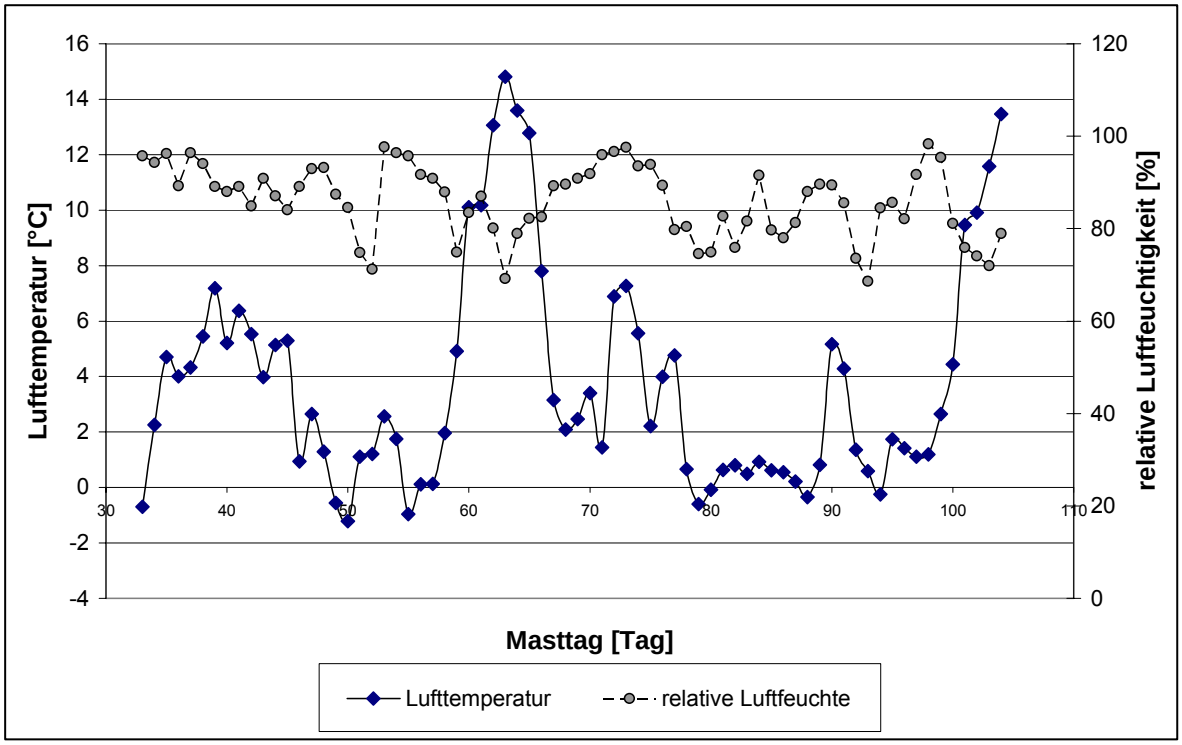

Abbildung 1: Verlauf der mittleren Lufttemperatur [°C] und mittlerer relativer Luftfeuchte [%] während des Messzeitraums an der Wetterstation Ruthe

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Abscheidecharakteristik von Partikeln in der menschlichen Lunge	7
Abb. 2	Quellen von Feinstaub aus der Landwirtschaft	15
Abb. 3	Überblick über das Gelände des Lehr- und Forschungsguts Ruthe	40
Abb. 4	Putenstall Ruthe, Stallabteil 1	42
Abb. 5	Putenstall Ruthe, Wintergarten zu Stallabteil 1	43
Abb. 6	Aufbau des DIGITEL HVS DHA-80	49
Abb. 7	Schnittbild des DIGITEL PM 10/30	51
Abb. 8	DIGITEL PM 10-Ansaugsonde, geöffnet	51
Abb. 9	Schematische Darstellung des Impaktorprinzips	52
Abb. 10	Ideale und reale Abscheidekurven eines Impaktors	53
Abb. 11	Prallplatteneinsatz für die PM 10-Ansaugsonde	55
Abb. 12	Staubbeaufschlagte Filter (links 3 Stunden, rechts 2 Stunden Sammelzeit) nach der Exposition im Putenstall	56
Abb. 13	Bestandteile der IOM-Filterkapsel des IOM-Inhalable Dust Samplers	60
Abb. 14	Standort der Messgeräte sowie Futter- und Tränkeeinrichtungen des frei gelüfteten Mastputenstalls mit etwa 35 Tage alten Puten	62
Abb. 15	DIGITEL HVS DHA-80 mit PM 10-Ansaugsonde und IOM-SKC-Messsystem im Putenstall	63
Abb. 16	Stationsprotokoll DIGITEL HVS DHA-80	65
Abb. 17	Protokollblatt: Rand- und Nebenbedingungen	67
Abb. 18	Checkliste - Labor: Handhabung Filter	68
Abb. 19	Häufigkeitsverteilung der erhobenen mittleren PM 10-Konzentrationen (n = 39, Anzahl der Kategorien = 5)	76
Abb. 20	Mittlere PM 10-Konzentrationen [$mg \cdot m^{-3}$] vom Masttag 34 bis 104	77
Abb. 21	Darstellung und Bedeutung eines Box-Plots	82
Abb. 22	PM 10-Konzentrationen während des Tages (8 Filter, 6 bis 20 Uhr)	83
Abb. 23	PM 10-Konzentrationen während der Nacht (3 Filter, 0 bis 4 Uhr)	83
Abb. 24	Tageszeitlicher Verlauf der PM 10-Konzentrationen (je 12 Werte, von 0 bis 20 Uhr)	84

Seite

Abb. 25 Häufigkeitsverteilung der erhobenen ID-Konzentrationen (n = 21, Anzahl der Kategorien = 9) 87

Abb. 26 ID-Konzentrationen [mg•m^{-3}] während des Messzeitraums: Masttag 56 bis 101 88

Abb. 27 Korrelation der parallel bestimmten Konzentrationen von PM 10 und ID 91

Abb. 28 Endotoxinaktivität [EU•m^{-3}] der aktiv beaufschlagten ID-Filter 93

Abb. 29 Endotoxinaktivität [EU/Filter] der passiven ID-Filter 94

Abb. 30 Endotoxinaktivitäten [EU•m^{-3}] der 2-stündig beaufschlagten PM 10-Teilfilter eines Großfilters an den Masttagen 81, 92 und 97 95

Abb. 31 Endotoxinaktivitäten [EU•m^{-3}] der ID-Kleinfilter und der PM 10 Teilfilter an drei Messtagen (Masttag 81, 92 und 97) 96

Abb. 32 Aerodynamischer Partikeldurchmesser [µm] und Durchlassgrad [%] eines Vorabscheiders nach DIN EN 481 für einatembare und alveolengängige Stäube 132

Abb. 33 Bioaerosole in der menschlichen Lunge 134

Abb. 34 Austauschregionen unterschiedlicher Staubfraktionen im menschlichen Atemtrakt 135

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 1	Grenzwerte für PM 10 (Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999)	12
Tab. 2	Typische Konzentrationsbereiche von PM 10 im Jahr 2001 an deutschen Messstationen	13
Tab. 3	Einschätzung stallinterner Staubkonzentrationen verschiedener Tierarten und Haltungssysteme	17
Tab. 4	Maximalgehalte einatembaren Staubs (ID) und alveolengängigen Staubs (RD) in Stallungen unterschiedlicher Tierarten	18
Tab. 5	Mittlere Staub- und Partikelemissionen und deren Standardabweichung aus kontinuierlichen 24-Stunden-Messungen	19
Tab. 6	Inhalierbare und aleveolengängige Endotoxine in Stallungen unterschiedlicher Tierarten	19
Tab. 7	Genehmigungsrelevante Anlagekapazitäten (Anzahl der Tierplätze) für Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Geflügel oder Pelztieren oder zum Halten oder zur getrennten Aufzucht von Rindern oder Schweinen (4. BImSchV, Anhang, Nr. 7.1 sowie UVPG, Anlage 1, Nr. 7.1 bis 7.12)	21
Tab. 8	Tierzahl, ab der der Bagatellmassenstrom von 0,149 (1,49) kg/h erreicht wird	24
Tab. 9	Messtechnik sowie ihre Mess- und Analysemethode zur Erfassung unterschiedlicher Parameter in der Feinstaubanalyse	30
Tab. 10	Daten zum Lehr- und Versuchsstall der Puten in Ruthe	41
Tab. 11	Prozentuale mittlere Anteile organischer Substanz (OS) und flüchtiger Komponenten an den mit PM 10 beladenen Quarzfaserfiltern (Messdurchgang am 13.03.04)	57
Tab. 12	Anzahl der durchgeführten 24-stündigen Messungen von PM 10 und ID	64
Tab. 13	Messkampagnen „PM 10“	73
Tab. 14	Anzahl n der ermittelten mittleren PM 10-Konzentrationen in Abhängigkeit des Messprogramms	74

		Seite
Tab. 15	Mittlere PM 10-Konzentrationen	75
Tab. 16	Vergleich der mittleren PM 10-Konzentration werktags und den Wochenenden	79
Tab. 17	PM 10-Konzentrationen differenziert in Tag- und Nacht-Werte	81
Tab. 18	Häufigkeitsverteilung der PM 10-Konzentrationen und prozentuale Verteilung der Kategorien (Klasse 0,5 mg•m-3)	85
Tab. 19	ID-Konzentrationen	86
Tab. 20	Vergleich der ID-Konzentrationen an Werktagen und Wochenenden	89
Tab. 21	PM 10- und ID-Konzentrationen (24 Stunden-Werte) im Mastputenstall	90
Tab. 22	Gegenüberstellung statistischer Kennwerte der parallel erhobenen ID- und PM-10-Konzentrationen (n = 15)	90
Tab. 23	Endotoxinaktivitäten der ID-Filter	92

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
ABl. EG	Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft
Abs.	Absatz
AGW	Arbeitsplatzgrenzwerte
arithm.	arithmetisch
BArbBl.	Bundesarbeitsblatt
BGBl.	Bundes-Gesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
1. BImSchVwV	1. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissions-schutzgesetz = TA Luft
Bl.	Blatt-Nummer im Zusammenhang mit VDI-Richtlinien
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
d. Bek.	der Bekanntmachung
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsche Industrie Norm
EAA	Exogene allergische Alveolitis
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
engl.	englisch
EPA	Environmental Protection Agency
et al.	und andere
EU	Europäische Union
EU	Endotoxin Units (25 EU = 2 ng)
Fa.	Firma
G	Gesetz
g	Gramm

GMBl	Gemeinsames Ministerialblatt
GVE	Großvieheinheit
h	Stunde
HVS	High Volume Sampler (High Volume Sammler)
i. D.	im Durchmesser
ID	Inhalable Dust
i. d. F.	in der Fassung
IOM	Institute of Occupational Medicine, Edinborough
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISEM	International Society of Environmental Medicine
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
KFZ	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
kPa	kilo Pascal
KRdL	Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
LM	Lebendmasse
LPS	Lipopolysaccharide
m	Meter
mg	Milligramm
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
max	maximal
µg	Mikrogramm
MIK	Maximale Immissionskonzentration
min	Minute
µm	Micrometer
mm	Millimeter
M^3	Kubikmeter
N	Elementsymbol für Stickstoff
NEC	National Emission Ceilings

NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
NN	Normal Null
OS	Organische Substanz
P	Wahrscheinlichkeit
PM	Particulate Matter
PM 10	Particulate Matter mit Partikeln kleiner als 10 µm
PM 2.5	Particulate Matter mit Partikeln kleiner als 2,5 µm
QF	Quarzfaser
r	relation
RD	Respirable Dust
rH	relative Humidity
SKC	SKC INC. USA (Firmenname)
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
Tab.	Tabelle
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRK	Technische Richtkonzentration
TSP	Total Suspended Particulates
u. a.	unter anderem
UK	United Kingdom
USA	United States of America
ü.	über
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
<	kleiner als
>	größer als
%	Prozent
§	Paragraph