

Institut für Landtechnik
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. W. Büscher

Verfahrenstechnische Bewertung
mehrstufiger Abluftreinigungssysteme in der Mastschweinehaltung und
deren Zertifizierbarkeit

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am

04.11.2004

von

Dipl.-Ing. agr. Felix Schier

aus

Duisburg

Referent: Prof. Dr. agr. habil. W. Büscher

Korreferent: PD Dr. habil. J. Clemens

Tag der mündlichen Prüfung: 17.Dezember 2004

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulserver der ULB Bonn
http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Erscheinungsjahr: 2005

... gewidmet meiner Familie

Nadine und Hannah-Sophie

Kurzfassung

Verfahrenstechnische Bewertung mehrstufiger Abluftreinigungssysteme in der Mastschweinehaltung und deren Zertifizierbarkeit

Ziel der Arbeit war es, die Leistungsfähigkeit einer mehrstufigen Abluftreinigungsanlage, im Rahmen einer Zertifizierungsmessung zu überprüfen und verfahrenstechnisch zu bewerten. Die Messungen umfassten die Ammoniak- und Staubreduktion sowie die Abscheidungsleistungen von Gerüchen.

Das untersuchte Abluftreinigungssystem arbeitet mit drei aufeinander folgenden Reinigungsstufen. Die erste Stufe arbeitet dabei nach dem physikalischen Prinzip und scheidet in erster Linie Staub durch eine Wasserwäsche ab. Die zweite, chemische Stufe dient zur Abscheidung von Ammoniak. In der chemischen Stufe wird Schwefelsäure eingesetzt. Die dritte Stufe reduziert Geruch, durch den Einsatz einer biologischen Schüttung. Diese besteht aus gerissenem Wurzelholz.

Die Messungen wurden in zwei Messzeiträumen, nach den Vorgaben des „Leitfadens des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung“ unter Winter- und Sommerbedingungen durchgeführt. Hierbei wurden jeweils roh- und reingasseitig Messungen durchgeführt und so das Leistungsvermögen der Anlage festgestellt.

Die Messungen haben ergeben, dass die untersuchte Abluftreinigungsanlage die an sie gestellten Anforderungen erfüllt und einen großen Teil der Emissionsfaktoren Ammoniak, Staub und Geruch abscheiden kann.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Arbeit gezeigt, dass die Abluftreinigung im Allgemeinen mit sehr hohen Kosten verbunden ist. Sowohl die Zertifizierung, als auch der Betrieb einer Abluftreinigungsanlage ist sehr kostenintensiv.

Abstract**An Evaluation of Multi-Stage Exhaust Air Cleaning Systems for Fattening Pig Houses from the Point of View of Process Engineering and the Question of Certifiability**

The aim of this study was to carry out certification measurements to determine the efficiency of a multi-stage exhaust air cleaning system and to evaluate the system's efficiency from the point of view of process engineering. The measurements were carried out to determine the system's capacity to reduce the content of ammonia, dust and odour in the exhaust air from fattening pig houses.

The exhaust air cleaning system under study consists of three consecutive cleaning stages. The first stage, which operates on the basis of physical principles, uses water for the primary purpose of washing dust from the air. In the second, chemical stage, sulphuric acid is used to remove ammonia. The third stage reduces odours by means of a bio-fill of shredded root wood.

Measurements were taken under winter and summer conditions respectively in accordance with the "Guidelines of the Cloppenburg district for determining the suitability of exhaust air cleaning systems in livestock management, for use in building permit procedures and in monitoring". To determine the efficiency of the system under study, measurements were taken in the raw and in the clean gas.

The measurements show that the exhaust air cleaning system fulfils its requirements and that it removes a large proportion of the emission factors ammonia, dust, and odour from the air.

Moreover, the study showed that exhaust air cleaning generally involves large costs. Both the certification and the operation of exhaust air cleaning systems are very cost-intensive.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Problemstellung.....	18
2 Zielsetzung	19
3 Kenntnisstand	20
3.1 Entstehung und Zusammensetzung der Abluft.....	20
3.1.1 Ammoniak	21
3.1.2 Staub.....	26
3.1.3 Geruch	29
3.1.3.1 Intensität des Geruchs.....	31
3.1.3.2 Geruchseinheiten (GE)	32
3.2 Geschichtliche Entwicklung der Abluftreinigung in der Landwirtschaft	32
3.3 Verfahrenstechnische Grundlagen der Abluftreinigung	34
3.3.1 Physikalische Abluftreinigung.....	37
3.3.2 Chemische Abluftreinigung.....	39
3.3.3 Biologische Abluftreinigung.....	40
3.3.4 Mehrstufige Abluftreinigungssystem	41
3.3.4.1 Zweistufige Abluftreinigungssysteme.....	42
3.3.4.1.1 Physikalisch-Chemisch.....	42
3.3.4.1.2 Physikalisch-Biologisch	42
3.3.4.2 Dreistufige Abluftreinigungssysteme	43
3.3.5 Einsatz von Additiven zur Geruchsminderung	43
3.4 Rechtliche Grundlagen der Abluftreinigung	44
3.4.1 BImSchG	44
3.4.2 TA-Luft.....	46
3.4.3 GIRL.....	48
3.4.4 Leitfaden des Landkreises Cloppenburg	49
3.5 Stand der Technik	51
3.5.1 Übersicht der am Markt befindlichen Anlagen.....	53
3.5.1.1 Rieselbettreaktoren.....	54
3.5.1.2 Wäscher	54
3.5.1.3 Biofilter.....	55
3.5.1.4 Mehrstufige Systeme	55

4 Material und Methoden.....	57
4.1 Kenngrößen der untersuchten Anlage	57
4.1.1 Schweinemaststall	57
4.1.2 Abluftreinigungsanlage.....	61
4.2 Messgrößen	65
4.3 Messtechnik und Verfahren der Messungen.....	66
4.3.1 Staubmessung	67
4.3.1.1 Probenahme Staub	67
4.3.1.2 Funktionsprinzip der Staubmessung.....	69
4.3.2 Ammoniakmessung	72
4.3.2.1 Probennahme Ammoniak.....	72
4.3.2.2 Funktionsprinzip der Ammoniakmessung	73
4.3.3 Geruchsmessung.....	75
4.3.3.1 Probennahme	75
4.3.3.2 Olfaktometrie.....	77
4.3.3.2.1 Olfaktometer.....	77
4.3.3.2.2 Probandenkollektiv	78
4.3.4 Volumenstrombestimmung	79
4.3.5 pH-Wertbestimmung	80
4.3.6 Differenzdruckbestimmung.....	81
4.3.7 Temperatur und Feuchtigkeitsbestimmung.....	81
4.3.8 Außentemperatur und Feuchtebestimmung	81
4.3.9 Tieranzahl und Lebendmassebestimmung	83
4.4 Methodische Vorgehensweise.....	84
4.5 Planung und Durchführung	86
5 Ergebnisse	87
5.1 Verfahrenstechnische Bewertung und Beurteilung	87
5.1.1 Reinigungsleistungen und deren Abhängigkeiten.....	90
5.1.1.1 Ammoniakabscheidung.....	90
5.1.1.2 Staubabscheidung	103
5.1.1.3 Geruchsabscheidung	106
5.2 Ökonomische Bewertung.....	112
5.2.1 Investitionskosten	112
5.2.2 Betriebskosten	113

5.2.2.1 Wasser	113
5.2.2.2 Säure	116
5.2.2.3 Energie	116
5.2.3 Arbeitszeitbedarf	121
5.3 Ökonomischer Betrachtung	122
5.4 Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen	125
6 Diskussion	127
6.1 Eignung der Messmethoden	127
6.2 Bewertung der untersuchten Abluftreinigungsanlage anhand der Messergebnisse.....	128
6.3 Vergleich anderer Abluftreinigungssysteme	130
6.4 Das Zertifizierungsverfahren	133
6.5 Einsatz von Abluftreinigungssystem in der Landwirtschaft.....	135
7 Zusammenfassung	139
8 Literaturverzeichnis	141

Verzeichnis der Abkürzungen

µg	Mikrogramm
µm	Mikrometer
A	Jahr
AKh	Arbeitskraftstunden
D	Tag
Dt	Dezitonne
EPA	Environmental Protection Agency
GE	Geruchseinheiten
Gg	Gigagramm (10 ⁹ g)
GV	Großvieheinheit
H	Stunde
K	Kelvin
L	Liter
m ³	Kubikmeter
MAK	Maximal-Arbeitsplatz-Konzentration
MP	Mastplatz
MS	Mastschwein
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PM ₁₀	Particulate Matter ≤ 10µm
PTFE	Polytetrafluorethylen
r.F.	Relative Feuchte
R ²	Bestimmtheitsmaß
S	Sekunde
SG	Schlachtgewicht
SMD	Surface Mounted Device
Tg	Teragramm (1 Tg = 1*10 ¹² _g)
TP	Tierplatz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dynamisches Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Bindungsformen des Stickstoffs [Büs 96] geändert nach [Oec 91].....	23
Abbildung 2: Einfluß des pH-Wertes auf das Dissoziationsgleichgewicht von Ammoniak und Ammonium in wässrigen Lösungen, geändert nach [Loe 77]	24
Abbildung 3: Reaktionsschritte der Lachgasbildung bei der Denitrifikation (anaerob) und der Nitrifikation (aerob) [Sei 81].....	25
Abbildung 4: Unterteilung des Staubes [Hoy 98].....	27
Abbildung 5: Einteilung der Stäube nach Korngrößenfraktionen [Str 77]	28
Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Geruchswahrnehmung nach [FRE 94].....	29
Abbildung 7: Unterteilung von landwirtschaftlichen Abluftreinigungsverfahren nach der Hauptreinigungsart.....	36
Abbildung 8: Schema physikalische Abluftreinigung (horizontaler und vertikaler Aufbau)	37
Abbildung 9: Schematischer Aufbau eines Rieselbettreaktors	38
Abbildung 10: Aufbau einer Säurezugabe innerhalb eines chemischen Wäschers.....	39
Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Biofilters	40
Abbildung 12: Mindestabstandskurve für Geflügel- und Schweineställe [TA-Luft].....	46
Abbildung 13: Lageplan des Hofes und des untersuchten Stalls mit Abluftreinigungsanlage.....	57
Abbildung 14: Längsschnitt durch den Stall.....	58
Abbildung 15: Stallquerschnitt und Zuluftsituation im Winter.....	59
Abbildung 16: Stallquerschnitt und Zuluftsituation im Sommer.....	59
Abbildung 17: Schematische Darstellung eines Abluftkanals mit Drosselklappe.....	60
Abbildung 18: Prinzipskizze der Abluftführung aus dem Tierbereich.....	61
Abbildung 19: Schematische Darstellung eines 3-stufigen Abluftreinigungssystems ...	62
Abbildung 20: Wurzelholzschüttung in Kunststoffkisten	63
Abbildung 21: Lage der Messpunkte für die Emissionskenngrößen.....	66
Abbildung 22: Lage der Messpunkte für die Rahmenparameter	67

Abbildung 23: Positionierung der Staubmessstellen im Roh- und Reingas (Seitenansicht).....	68
Abbildung 24: Strömungsbedingungen für das Reingas nach dem Austritt aus der Anlage.....	69
Abbildung 25: Funktionsschema eines Grimm Staubmessgerätes (Fa. Grimm).....	70
Abbildung 26: Aufbau des Ammoniakmessgeräts und der Probenentnahmesteuerung	72
Abbildung 27:Geräteaufbau und Messprinzip des Multigasmonitors Typ 1302 (nach BRÜEL & KJær 1991)	74
Abbildung 28: Schematische Darstellung des Probennehmers	75
Abbildung 29: Entnahmestellen für die Geruchsproben (Draufsicht)	76
Abbildung 30: Verlauf der Ammoniakkonzentration und des Wirkungsgrades während des Vorversuchs	88
Abbildung 31: Einflussfaktoren auf Ammoniakkonzentrationen	91
Abbildung 32: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas, sowie der Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage während der Wintermessungen.....	92
Abbildung 33: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas, sowie der Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage während der Sommermessungen	93
Abbildung 34:Tageszeitverläufe der Ammoniakkonzentration, der Temperatur und des Volumenstroms während des Winters	94
Abbildung 35: Tagesverläufe der Ammoniakkonzentration, der Temperatur und des Volumenstroms während des Sommers	95
Abbildung 36: Tiergewichtszunahme im Winterzeitraum.....	97
Abbildung 37: Abscheidung und Ammoniakkonzentration im Roh- und Reingas während der Wintermessungen sortiert nach der Rohgaskonzentration.....	96
Abbildung 38: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Rohgas, während der Wintermessungen	97
Abbildung 39: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Reingas, während der Wintermessungen	98
Abbildung 40: Abscheidung und Ammoniakkonzentration im Roh und Reingas während der Sommermessungen sortiert nach der Rohgaskonzentration	99
Abbildung 41: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Rohgas, während der Sommermessungen.....	100
Abbildung 42: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Reingas, während der Sommermessungen	101

Abbildung 43: Ammoniakfracht im Rohgas im Verhältnis zur Ammoniakabscheidung während der Wintermessungen	102
Abbildung 44: Ammoniakfracht im Rohgas im Verhältnis zur Ammoniakabscheidung während der Sommermessungen	103
Abbildung 45: Konzentration der inhalierbaren Partikel im Roh- und Reingas während der Wintermessungen (logarithmische Darstellung).....	104
Abbildung 46: Konzentration der inhalierbaren Partikel im Roh- und Reingas während der Sommermessungen (logarithmische Darstellung).....	105
Abbildung 47: Kategorienskala der hedonischen Bewertung	110
Abbildung 48: Luftgeschwindigkeiten [m/s] hinter der Biologischen Stufe bei maximaler Luftrate	111
Abbildung 49: Verlauf des Wasserverbrauchs während der Wintermessungen	114
Abbildung 50: Verlauf des Wasserverbrauchs während der Sommermessungen.....	115
Abbildung 51: Aufbau der Energiemessungen mit Stromzählern	118
Abbildung 52: Verlauf des Energieverbrauchs	119
Abbildung 53: Verteilung des Gesamtenergieverbrauchs auf die verschiedenen Bereiche	120
Abbildung 54: Einfluss des Volumenstroms auf den Wirkungsgrad der Ammoniakabscheidung	129
Abbildung 55: Übersicht der auf dem Markt erhältlichen Abluftreinigungssysteme	131

Abbildungen im Anhang

Anhang 1: Einzelergebnisse der Staubmessungen	150
Anhang 2: Verlauf der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte während der Wintermessungen	150
Anhang 3: Verlauf der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte während der Sommermessungen	151
Anhang 4: Verlauf der Ammoniakkonzentration und des Wirkungsgrades während des Vorversuchs (vergrößerte Darstellung)	152

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Eigenschaften von Ammoniak (entnommen aus [I 1])	21
Tabelle 2: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mastschweinehaltungsverfahren [UBA 01].....	22
Tabelle 3: NH ₃ -Emissionen in Gg a ⁻¹ NH ₃ für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten) aus der Mastschweinehaltung	26
Tabelle 4: Angabe zu Schwebstaubquellen verschiedener Untersuchungen [Sie 03] .	27
Tabelle 5: Geruchsemissionsfaktoren aus der Schweinemast (nach [Mar+98]).....	30
Tabelle 6: Mögliche Umweltbelastungen durch die Tierhaltung (nach [Sch 75]).....	33
Tabelle 7: Unterteilung der Abluftreinigungsverfahren (nach [SCH 75])	35
Tabelle 8: Zuordnung der Abluftreinigungsanlagen zum Hauptreinigungsprinzip	36
Tabelle 9: Faktoren zur Umrechnung von Tierplatzzahlen in Tierlebensmasse, angegeben in GV [TA-Luft].....	47
Tabelle 10: Abluftreinigungsanlagen für zwangsbelüftete Tierställe (nach [Hah+02])..	50
Tabelle 11: Gerätespezifikation Grimm Aerosol Spektrometer	71
Tabelle 12: Spezifikationen der eingesetzten Olfaktometer	77
Tabelle 13: Wetterdaten.....	82
Tabelle 14: Stallbelegung und Tiergewichte	83
Tabelle 15: Staubabscheidung während der Vorversuche.....	88
Tabelle 16: Geruchsstoffkonzentration während des Vorversuchs	89
Tabelle 17: Übersicht der Abscheidegrade der Abluftreinigungsanlage im Mittel	93
Tabelle 18: Wirkungsgrad der Staubabscheidung im Mittel	104
Tabelle 19: Geruchsstoffkonzentration während der Wintermessungen.....	107
Tabelle 20: Geruchsstoffkonzentration während der Sommermessungen.....	108
Tabelle 21: Geruchsabscheideleistung ohne die biologische Stufe im Winter	109
Tabelle 22: Geruchsabscheideleistung ohne die biologische Stufe im Sommer	109
Tabelle 23: Hedonische Wertung der Reingasproben	110
Tabelle 24: Säureeinsatz und Ammoniakabscheidung	116
Tabelle 25: Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage (Pumpen).....	117

Tabelle 26: Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage (gesamt).....	117
Tabelle 27: Energieverbrauch der Verbrauchergruppen.....	119
Tabelle 28: Energiekosten.....	120
Tabelle 29: Modellkalkulation für die jährlichen Kosten einer Abluftreinigungsanlage (Auslegungsgröße 60000 m ³ /h).....	123
Tabelle 30: Übersicht der Kosten für Abluftreinigungsanlagen bei größeren Tierbeständen [Big 04].....	124
Tabelle 31: Grobe Übersicht zu Investitions- und Betriebskosten von Abluftreinigungsverfahren (zusammengefasst von [Hah+01]).....	124
Tabelle 32: Abscheiderate älterer System (Literaturwerte).....	132
Tabelle 33: Abscheiderate heutiger Systeme (Herstellerangaben)	132
Tabelle 34: Berechnung des Unternehmensgewinn pro Mastschwein nach Beverborg [I 5].....	137

1 Einleitung und Problemstellung

Eine mit Stoffwechselprodukten angereicherte Luft, die mit einer raumluftechnischen Anlage aus einem Gebäude geführt wird, wird nach VDI 1946 als Abluft bezeichnet. Dies gilt auch für Stallanlagen, wobei dort die Abluft zusätzlich stark mit Geruchskomponenten belastet ist. Erst seit wenigen Jahren richtet sich die Aufmerksamkeit darüber hinaus auch auf Ammoniak, Staub und klimarelevante Gase.

In immer mehr Fällen verringert sich der Abstand zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Tierhaltung und so auch Stallungen, zu Wohngebieten. So kann es schwierig werden, einen Stallneubau oder eine Stallerweiterung durchzuführen. Immer öfter kommt es dabei zu Konflikten zwischen dem Landwirt und dritten Personen. Dabei geht es nicht ausschließlich um die Nähe zu bebauten, als Wohnraum genutzten Gebieten, sondern auch um schützenswerte Biotop, Wälder und Naherholungsgebiete.

Um solche Konflikte zu vermeiden, hat sich in den letzten Jahren die Politik dieser Thematik angenommen und versucht eine Richtlinie zu erarbeiten, die sich im Besonderen den Abständen zwischen Emitenten und Immitenten, sowie der Massen von emittierbaren Stoffen widmet. Regelungen werden durch das Bundes Immissionsschutz Gesetz, die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft und die Geruchsimmissions-Richtlinie geregelt.

Gerade in Regionen mit intensiver Tierhaltung sind Stallneubauten kaum möglich, da die Auflagen der oben genannten Verordnungen nicht eingehalten werden können. Eine Möglichkeit trotzdem eine Bauerlaubnis zu erhalten, besteht in der Installation von Abluftreinigungsanlagen. Diese unterscheiden sich in ihrem Einsatzgebiet, Wirkungsgrad und Aufbau.

2 Zielsetzung

In den folgenden Ausführungen wurde die Eignung einer mehrstufigen Abluftreinigungsanlage auf Ihre Abscheidungsleistungen in den Bereichen Staub, Geruch und Ammoniak untersucht. Die Messungen an der Anlage erfolgten gemäß des „Leitfadens des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung [Hah+02]“.

Die Messintervalle und Messgrößen wurden durch diesen Leitfaden vorgegeben. In der nachfolgenden Arbeit wurden die erhobenen Messdaten analysiert und interpretiert. Hierbei liegt der Fokus auf der verfahrenstechnischen Bewertung einer solchen Anlage, dem Vergleich mit bestehenden anderen Systemen und einer Bewertung der Zertifizierungsprozedur.

Die Durchführung der Messungen erforderte einen erheblichen messtechnischen Aufwand, da sowohl unter Winter- als auch Sommerbedingungen Daten zu erfassen waren. Die Langzeitmessungen stellten sehr hohe Anforderungen an die eingesetzte Messtechnik um eine kontinuierliche Datenerfassung zu gewährleisten.

Mit der Arbeit wurden zwei Ziele des Geldgebers verfolgt. Zum einen die Erlangung des Zertifikats und zum anderen die wissenschaftliche Betrachtung der Langzeitmessergebnisse und deren Interpretation.

3 Kenntnisstand

3.1 Entstehung und Zusammensetzung der Abluft

Die Abluft aus Ställen (Emissionen) entsteht durch die im Stall ablaufenden Prozesse. Das heißt, die Frischluft (Zuluft), die in den Stall geführt wird, verändert durch Stoffwechselprozesse ihre Zusammensetzung. Die Stallluft verlässt den Stall als Abluft. Als Abluft bezeichnet man Luft, die durch eine raumluftechnische Anlage oder ein freies Lüftungssystem aus dem Raum abgezogen wird. Als Zuluft wird die gesamte dem Raum zuströmende Luft bezeichnet [DIN 1946]. Diese Freisetzung wird als Emission bezeichnet. Kontinuierliche Emissionen breiten sich von einer Quelle aus. Die Quelle wird von einem Reservoir, auch als Pool bezeichnet, gespeist [Han 90]. Die Zusammensetzung der Abluft ist von den folgenden Faktoren abhängig:

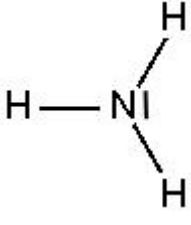


- Tierbesatz und Alter der Tiere
- Futtermittel
- Exkreme
- Lüftungsanlage (Luftmenge und Luftführung)

Die Tiere haben als Faktor durch ihr Gewicht (Lebendmasse) und durch ihre Anzahl einen wesentlichen Einfluss auf das Emissionsgeschehen. Die Lüftungssteuerung ist stark von der Lebendmasse und der Solltemperatur im Stall abhängig. Das Futtermittel bzw. die Fütterung beeinflusst die Freisetzung von Partikeln, die als Staubfracht den Stall verlassen können. Für die Freisetzung von Spurengasen wie z.B. Ammoniak sind die Exkreme der Tiere von primärer Bedeutung. Da sowohl die Menge des Futtermittels, als auch die Menge der Exkreme mit der zunehmenden Lebendmasse im Stall ansteigt, kann das Tier als Haupteinflussfaktor auf das Emissionsgeschehen bezeichnet werden.

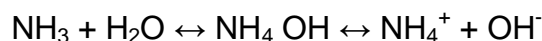
3.1.1 Ammoniak

Ammoniak (nach dem *Ammonssalz* [NH_4Cl = **Ammoniumchlorid**] aus der Ammonoase, heute Oase Siwa; westlichste Oasengruppe Ägyptens in der libyschen Wüste) ist ein äußerst stark stechend riechendes, farbloses Gas, das zu Tränen reizt und erstickend wirkt [I 1].

Tabelle 1: Eigenschaften von Ammoniak (entnommen aus [I 1])

		Name	Ammoniak
		Summenformel	NH_3
		Anderer Name	Als wässrige Lösung: Salmiakgeist
		Kurzbeschreibung	farbloses Gas, reizt die Atemwege
		MAK	20 ml/m ³
		Aggregatzustand	gasförmig
		Farbe	farblos
		Dichte	0,771 kg/N m ³
ätzend	umweltgefährdend	Molmasse	17 g/mol
		Schmelzpunkt	195,75 K (-77,4 °C)
		Siedepunkt	239,75 K (-33,4 °C)
		gut löslich in	Wasser, Alkohole, Benzol, Aceton, Chloroform

Ammoniak ist sehr gut wasserlöslich, bei 0°C lösen sich in 100 ml Wasser 90,7 g.



Das heißt, Ammoniak und Wasser bilden die Base Ammoniumhydroxyd. Ammoniumhydroxyd ist eine hypothetische Substanz, vielmehr ist es so, dass das basische Ammoniakmolekül dem Wassermolekül ein Proton entzieht.[I 1]

Quelle des Ammoniaks in Schweineställen ist vor allem Harnstoff, der wiederum aus den Exkrementen stammt [Gro 93]. Untersuchungen haben ergeben, dass 80 % des freigesetzten Ammoniaks in der Stallluft von den Exkrementen und nur 20 % von den Tieren direkt herrührt [Kra 87].

Ammoniakemissionen aus Tierhaltenden Betrieben (hier: Stall ohne Ausbringung der Gülle) unterscheiden sich in Menge (Massenfracht) durch mehrere Faktoren:

- Tierart
- Haltungsverfahren
- Aufstallungssystem
- Gewicht und Alter der Tiere
- Stallmanagement
- Fütterung
- Güllelagerung und Behandlung

Wie in Tabelle 2 zu sehen ist, können diese Werte stark variieren. Wichtig ist dabei, dass keine Pauschalierung auf einzelne Einflussfaktoren möglich ist. So werden Ställen mit Teilspaltenböden geringere Ammoniak-Emissionen zugesprochen als Ställen mit Vollspaltenböden [UBA 01].

Tabelle 2: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mastschweinehaltungsverfahren [UBA 01]

Mastschweine		E-Faktoren (kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ NH ₃ -N)		
Geschlossene, wärmedämmte Ställe		Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
Flüssigmist	Vollspaltenboden	3	2	4
	Teilspaltenboden	3	2	5
Einstreu	Tiefstreu incl. Kompoststall, 2 –Flächen- Stall incl. Dänische Aufstallung	4	3	6
Außenklimaställe				
Flüssigmist	Kistenstall	2	k.A.	k.A.
Einstreu	Kistenstall	2	k.A.	k.A.
	Tiefstreu incl. Kompoststall, 2 –Flächen- Stall incl. Dänische Aufstallung	4 (Tendenz zu 3)	k.A.	k.A.

Für die Ammoniakfreisetzung sind die Stickstoffumsetzungsprozesse von entscheidender Bedeutung. Die folgende Abbildung 1 zeigt, dass Ammoniak nur eine Stufe oder Bindungsform des Stickstoffes im Kreislauf darstellt ([Rüp 80], [Vet 93]).

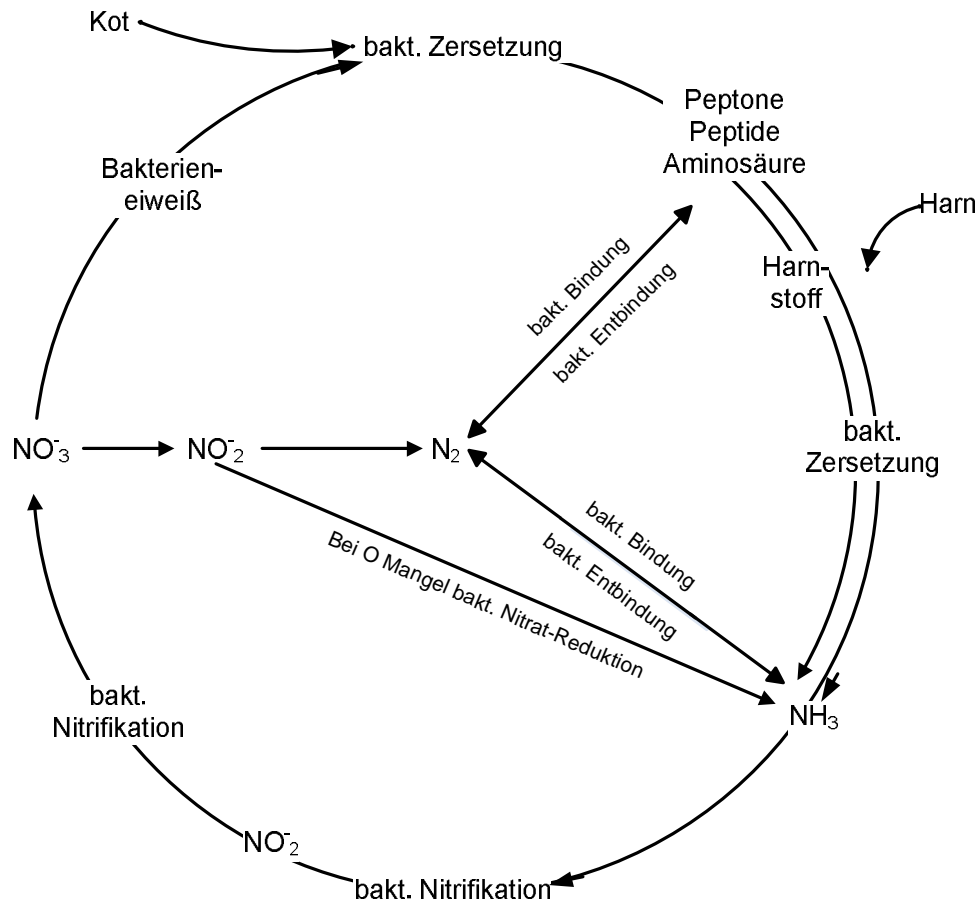
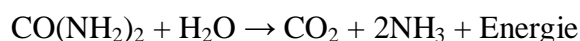


Abbildung 1: Dynamisches Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Bindungsformen des Stickstoffs [Büs 96] geändert nach [Oec 91]

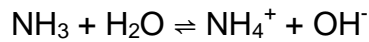
Die Umsetzungsprozesse erfolgen durch enzymatische und mikrobielle Aktivitäten [Kar 84]. Der Abbau ausgehend vom Harnstoff in molekularen Stickstoff (N_2) kann unter speziellen Bedingungen dreistufig verlaufen:

- Ammonifizierung (Harnstoffspaltung);
- Nitrifizierung (Bildung von Nitrit und Nitrat);
- Denitrifizierung (Bildung von molekularem Stickstoff).

Durch die Spaltung von Harnstoff mit Hilfe des Enzyms Urease erfolgt die Ammonifizierung [Kar 84]:



Das so entstandene Ammoniak verbleibt überwiegend im Flüssigmist und geht dort in die wässrige Lösung. Dort unterliegt es dem pH-Wert-abhängigen Dissoziationsgleichgewicht [Büs 96]:



Freies Ammoniak (NH_3) liegt in einer Wasser-Ammoniak-Lösung erst im alkalischen Bereich (pH-Wert $> 8,0$) vor. Bei einem pH-Wert von $< 6,0$ liegt nahezu der gesamte Stickstoff als Ammonium (NH_4^+) vor ([Har 95],[Büs 96]), wie Abbildung 2.

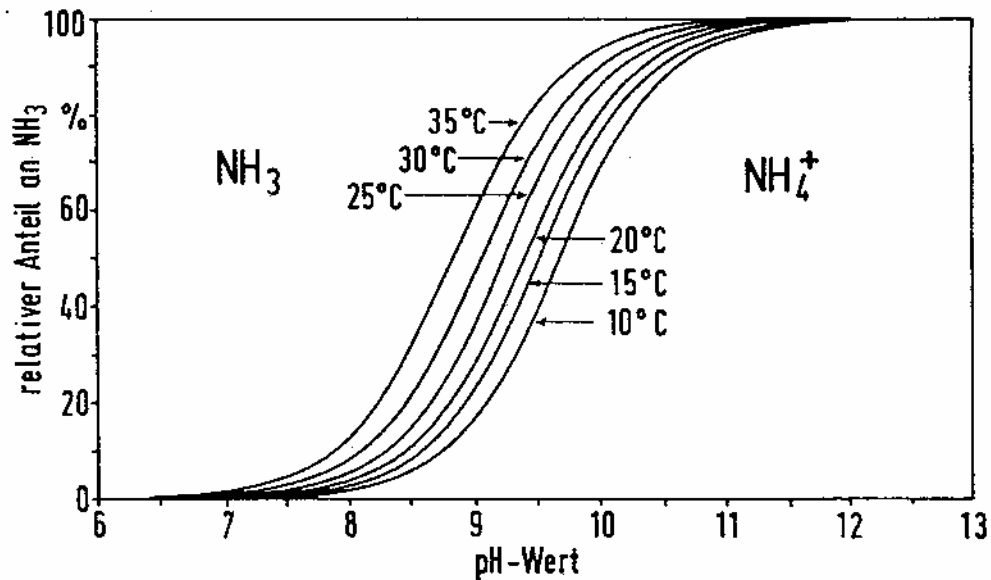


Abbildung 2: Einfluß des pH-Wertes auf das Dissoziationsgleichgewicht von Ammoniak und Ammonium in wässrigen Lösungen, geändert nach [Loe 77]

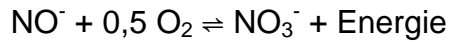
Die Dissoziationskonstante K_b der oben aufgeführten Gleichgewichtskonstante wird durch folgende Beziehungen zum pH-Wert und zur absoluten Temperatur (T) gekennzeichnet [Eme+75].

$$(\text{pK}_w - \text{pK}_b) - \text{pH} = \log_{10} \cdot \frac{C_{\text{NH}_4^+}}{C_{\text{NH}_3}}$$

$$\log_{10} \cdot K_a = -0,09018 - \frac{2729,92}{T}$$

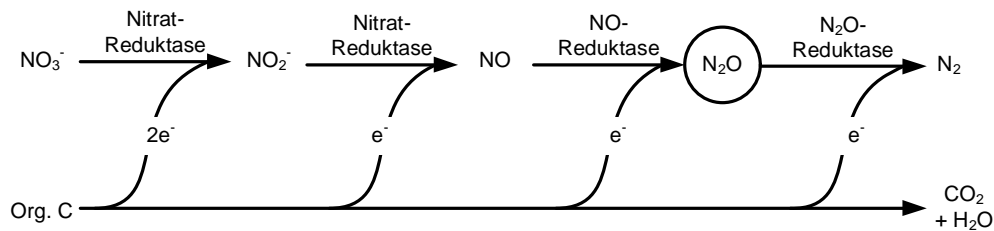
In wässriger Lösung können Ammoniumionen (NH_4^+) von nitrifizierenden Bakterien in zwei Stufen zunächst in Nitrit (NO_2^-) und dann zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert werden. Die erste Stufe der Umwandlung (Ammoniumoxidation) erfolgt durch die Bakterien der Familie *Nitrosomonas*, die zweite Stufe (Nitritoxidation) durch die Bakterien der Familie

Nitrobacter [Büs 96]. Dieser Vorgang wird als Nitrifizierung bezeichnet. Die beiden Stufen laufen wie folgt ab [Sei+81]:



Unter besonderen Bedingungen wird Nitrat im Flüssigmist von speziellen Mikroorganismen durch die Denitrifizierung weiter in molekularen Stickstoff (N_2) umgewandelt. Die folgende Abbildung zeigt, dass das Zwischen- oder Endprodukt der Nitrifizierung, das hochgradig klimarelevante Lachgas sein kann [Sei+81]. Dieses wird aber nur dann gebildet, wenn bei der Reaktion ein begrenztes Sauerstoffangebot vorhanden ist. [Hah+77]. Derartige Bedingungen findet man jedoch nur im Grenzbereich zwischen anaeroben und aeroben Verhältnissen, wie zum Beispiel in wechselfeuchten Böden und im Festmist.

Denitrifikation



Nitrifikation

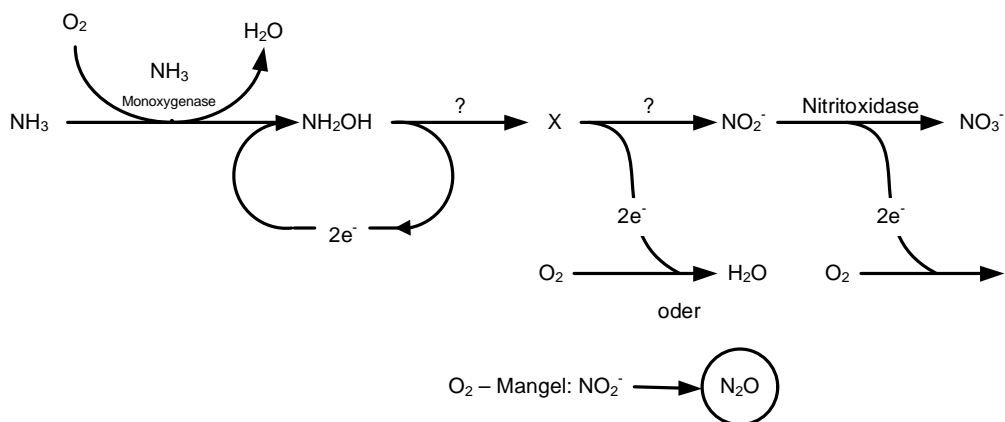


Abbildung 3: Reaktionsschritte der Lachgasbildung bei der Denitrifikation (anaerob) und der Nitrifikation (aerob) [Sei 81]

Die Gesamtammoniakemissionen, resultierend aus der Mastschweinehaltung in Deutschland der Jahre 1994 und 1996, sind in der folgenden Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: NH₃-Emissionen in Gg a⁻¹ NH₃ für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten) aus der Mastschweinehaltung

	1994	1996
Baden-Württemberg	5,8	5,7
Bayern	12,6	12,1
Brandenburg	2,7	2,5
Hessen	3,8	3,6
Mecklenburg-Vorpommern	2,3	2,1
Niedersachsen	23,5	23,9
Nordrhein-Westfalen	17,3	17,4
Rheinland-Pfalz	1,6	1,5
Saarland	0,1	0,1
Sachsen	2,1	1,8
Sachsen-Anhalt	2,7	2,7
Schleswig-Holstein	4,5	4,4
Thüringen	2,3	2,3
Deutschland	81,3	80,1
Deutschland in Tg a⁻¹ (gerundet)	0,08	0,08

3.1.2 Staub

Als Staub werden feinkörnige bzw. feinfaserige Teilchen einer festen Substanz bezeichnet, die abgelagert sind oder sich in einem Gas oder einer Flüssigkeit im Schwebezustand befinden [I 3].

Die Unterteilung der Stäube kann nach den in Abbildung 4 genannten Kriterien differenziert werden.

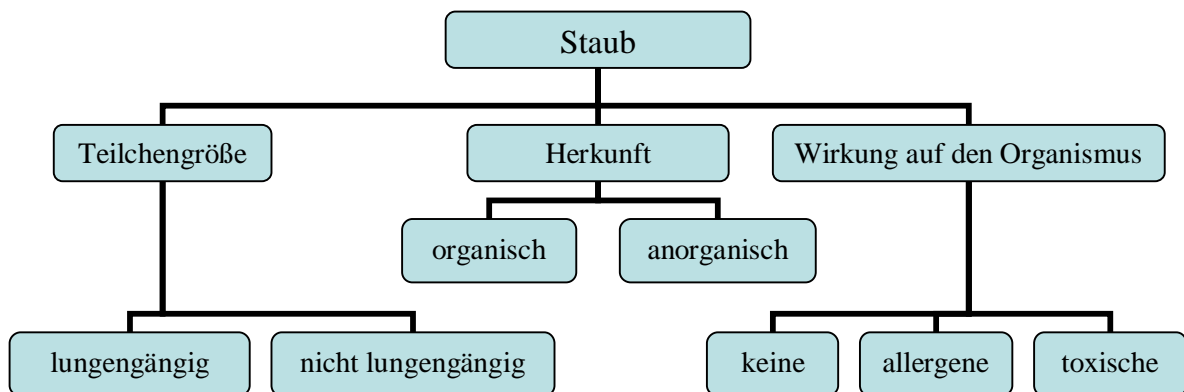


Abbildung 4: Unterteilung des Staubes [Hoy 98]

Der Staub in der Stallluft setzt sich im Wesentlichen aus Futterresten, Hautschuppen, Fäkalien und Einstreu (soweit vorhanden) zusammen. Die Hauptbestandteile der Stäube bilden Partikel aus dem Futter. Der Futterstaub entsteht in erster Linie durch Abriebprozesse während des Transportes und der Fütterung, sowie durch das Spielen der Tiere mit dem Futter. In der folgenden Tabelle 4 sind die relativen Anteile der Schwebstäube entsprechend ihrer Herkunft abgebildet. Die Untersuchungen von Paerson und Sharples aus dem Jahr 1995 [Pae 95] haben ergeben, dass bis zu 90 % des in der Stallluft befindlichen Staubes aus dem Futter herrühren.

Tabelle 4: Angabe zu Schwebstaubquellen verschiedener Untersuchungen [Sie 03]

Staubquelle	Anteil an Schwebstaub in %	Autor
Futter	90	[Pea 95]
Einstreu	55-68	[Pea 95]
Hautbestandteil	>10	[Aar+99]
Fäkalien	2-8	HARTUNG 1986

Die Unterscheidung des Staubs erfolgt in der Literatur durch die Teilchengröße. In der nachfolgenden Abbildung ist die Differenzierung nach Strauch [Str 77] in drei Größenklassen zu sehen.

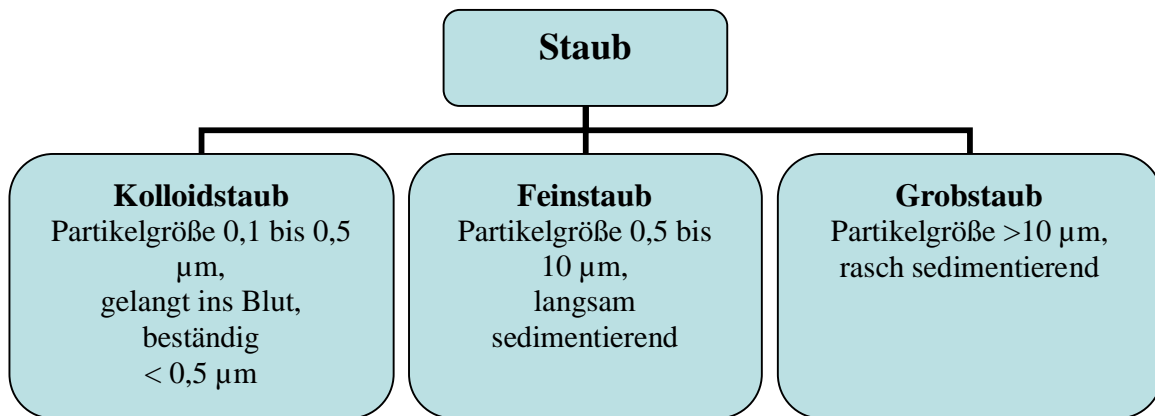


Abbildung 5: Einteilung der Stäube nach Korngrößenfraktionen [Str 77]

Eine weitere Unterteilung kann nach der Partikelgröße der eingeatmeten Aerosole vorgenommen werden. Die Differenzierung wird nach der DIN EN 481 seit November 1993 wie folgt vorgenommen [Sie 03]:

- einatembarer Staub wird durch Mund und Nase eingeatmet
($\leq 100 \mu\text{m}$; bisher „Gesamtstaub“)
- thorakale Staubfraktion Der Staub, der über den Kehlkopf
hinaus zur Lunge vordringt ($\leq 10 \mu\text{m}$)
- alveolengängige Staubfraktion der bis in den innersten Bereich des
Atemtraktes eindringende Massenanteil
($\leq 4 \mu\text{m}$)
- tracheobronchialer Anteil Differenz zwischen thorakalen und
alveolengängigen Anteil.

Diese Unterteilung beschreibt die mögliche Aufnahme von Staubpartikeln über die Atmung. Dabei werden die Staubfraktionen nach den Depositionsort innerhalb des Atemtraktes unterteilt.

3.1.3 Geruch

Als Geruch bezeichnet man die Interpretation der spezifischen Reize, die von Chemorezeptoren im Geruchsorgan an das Gehirn des Lebewesens geliefert werden [I 1]

Die Geruchswahrnehmung, also der Vorgang des Riechens, erfolgt durch den Kontakt von Geruchsmolekülen mit den Chemorezeptoren der Nasenschleimhaut. Diese gelangen durch den Atemstrom in das Geruchsorgan, beim Menschen in die Nase. Der Geruchsnerv (*Nervus olfactorius*) leitet die Reizinformationen, von der Nasenschleimhaut weiter an das Gehirn. Dort wird die Vorstellung einer Geruchsempfindung geweckt. Das Riechen geschieht unwillkürlich.

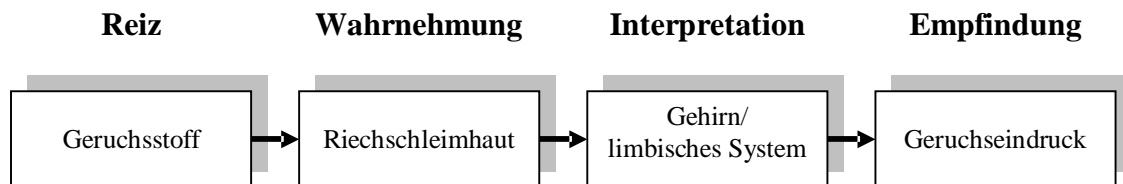


Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Geruchswahrnehmung nach [FRE 94]

Abbildung 6 zeigt den Ablauf der Geruchswahrnehmung. Der Geruchsstoff löst bei der Aufnahme einen Reiz aus, der über die Riechschleimhaut aufgenommen wird. Die Interpretation des wahrgenommenen Geruchsstoffes erfolgt im Gehirn über das limbische System. Als Ergebnis der Interpretation wird ein Geruchseindruck als Empfindung wahrgenommen.

Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft, hier im speziellen auf die Mastschweinehaltung beschränkt, wurden und werden immer wieder untersucht. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse einiger Untersuchungen aufgelistet. Hierbei ist eine Unterscheidung in verschiedene Haltungsverfahren getroffen. Die Tierzahl und das Tiergewicht sind in GV umgerechnet worden, um die in verschiedenen Ställen erhobenen Daten vergleichen zu können. Daraus ergibt sich der Geruchsemissionsfaktor ($GE \cdot s^{-1} \cdot GV^{-1}$).

Die Tabelle zeigt, dass innerhalb der einzelnen Untersuchungen die Geruchsemissionsfaktoren schwanken, und dass im Vergleich der Untersuchungen bei gleichem Haltungsverfahren, eine große Heterogenität zu beobachten ist. Tendenziell ist

jedoch ein Anstieg des Geruchsemissionsfaktors von den extensiven (eingestreuten) zu den intensiven Haltungsformen festzustellen.

Tabelle 5: Geruchsemissionsfaktoren aus der Schweinemast (nach [Mar+98])

Haltungsform	Geruchsemissionsfaktor (GE/s * GV)	Autor
Vollspaltenboden	38	[Old 89]
	33 bis 59	[Mül 94a], [Mül 94b]
	178 bis 272	[Bot+95]
	39 bis 78	[Rat+89]
	16 bis 495	[Har+97]
	66 bis 18	[Hes+97]
	39 bis 78	[Mai+01]
Teilspaltenboden	52	[Old 89]
	96 bis 16	[Hes+97]
	25 bis 49	[Mai+01]
Teilspaltenboden Außenklima	4 bis 20	[Mai+01]
Tiefstreu	31 bis 8(!)	[Hes+97]
Schrägmist	44 bis 12	[Hes+97]
Kompoststall	36 bis 90	[Mül 94b]
Dänische Aufstallung	17	[Rat+89]
Einstreu	8 bis 134	[Old 87], [Old 89]
Einstreu Außenklimastall	3 bis 17	[Mai+01]
strohlos	7 bis 148	[Old 87], [Old 89]

3.1.3.1 Intensität des Geruchs

Die Geruchsintensität, die durch verschiedene Stoffe hervorgerufen wird, unterscheidet sich stark. Die Geruchsempfindung ist dabei von der Menge der eingezeichneten Luft und von der Zusammensetzung der Geruchsstoffe abhängig.

Neben der Intensität ist die Geruchsqualität ein Kriterium zur Beurteilung von Gerüchen. Die Anzahl der Geruchsqualitäten ist sehr groß. Es wird von ca. 10.000 unterscheidbaren „Grundluftnoten“ ausgegangen [BOE 72]. Diese hohe Anzahl kann jedoch nur von sehr geübten „Riechern“ unterschieden werden.

Mit der Einführung des Bundes Immissionsschutzgesetz [BImSchG] und der Technischen Anleitung zu Reinhaltung der Luft [TA-Luft] musste für Geruchsbelästigungen aus der Landwirtschaft ein Beurteilungskriterium entwickelt werden, mit dem sich die Belästigung quantifizieren lässt. Allgemein spricht man von einer Geruchsbelästigung, wenn damit eine wesentliche Minderung der Lebensqualität eintritt. Diese kann in der Folge zur Beeinträchtigung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit führen, da sich Geruchsbeeinträchtigungen im Allgemeinen nicht direkt gesundheitsbeeinträchtigend, sondern indirekt durch neurovegetative Reaktionen auf das Wohlbefinden des Menschen auswirken [Mat 93]. Um Geruchsbelästigungen festzustellen, muss erst ein objektives Maß gefunden werden, das sich erfassen oder berechnen lässt [Boe 03]. Für die Begutachtungspraxis wird unabhängig von Geruchsart, Intensität und Hedonik über reine Zeitanteile der Wahrnehmung die Geruchsbelästigung definiert (z.B. 10% der Jahresstunden in Wohn- und Mischgebieten und 15 % in Gewerbe- und Industriegebieten [LAI 93]). Die Ermittlung dieser Werte erfolgt über eine Rasterbegehung nach VDI 3940.

Die hedonische Bewertung des Geruchs erfolgt in einer Klassifizierung von „äußerst angenehm“ bis „äußerst unangenehm“. Die Hedonik beschreibt den Geruch. Hierbei wird die Geruchsqualität durch die Probanden bewertet.

3.1.3.2 Geruchseinheiten (GE)

Geruchseinheiten (GE) beschreiben die Geruchsstoffkonzentration in einem Kubikmeter Luft. Die Geruchsschwelle ist nach VDI 3881 [VDI 3881] wie folgt definiert: „Die Konzentration von Geruchsträgern an der Geruchsschwelle führt bei 50 % der definierten Grundgesamtheit (Probanden) zu einem Geruchseindruck. Die Geruchsstoffkonzentration ist an der Schwelle definitionsgemäß 1 GE/m³.“ Der Wert 1000 GE/m³ sagt aus, dass die Geruchsprobe 1000 mal verdünnt werden müsste, damit der Geruch nur noch von 50 % aller Probanden wahrgenommen werden würde.

3.2 Geschichtliche Entwicklung der Abluftreinigung in der Landwirtschaft

Die Einführung der Abluftreinigungsverfahren in der Landwirtschaft ging mit zwei Entwicklungen einher. Zum einen veränderte sich ab den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts die landwirtschaftliche Tierhaltung. Die Anzahl der Tierhaltenden Betriebe nahm ab, wobei die Tierzahl pro Betrieb kontinuierlich wuchs [Sch 75]. Dieser Prozess hat sich bis heute fortgesetzt. Somit steigt die Tierbesatzdichte in Deutschland an. Zum anderen ist die Siedlungsentwicklung im ländlichen Raum angestiegen. Während der ländliche Raum früher durch landwirtschaftlich geprägte Dorfstrukturen charakterisiert wurde, ist das Dorfbild heute anders. Viele Dörfer sind durch Neubausiedlungen weit über ihre alten Grenzen hinaus gewachsen. Tierhaltende Betriebe werden damit heute vielfach von Wohnsiedlungen umgeben. Da im Gegensatz zu früheren Zeiten die Landbevölkerung nicht mehr in so großem Maße von der Landwirtschaft lebt, sei es direkt oder im vor- oder nachgelagerten Bereich, ist auch die Akzeptanz gesunken, typisch ländliche Gerüche hinzunehmen. Dieses birgt Konfliktpotential.

Um Konflikte zu vermeiden, kamen Anfang der 70er Jahre die ersten Abluftreinigungsanlagen zum Einsatz. Hierbei handelte es sich in vorrangig um Verfahren zur Geruchsminderung. Die Geruchsminderung stellte damals eine gesellschaftliche Forderung dar. Durch die zunehmende Bebauung der Dörfer und der historischen Lage der

landwirtschaftlichen Höfe, die sich meist im Dorfkern befanden, kam es zu Beschwerden der Anwohner über den Stallgeruch. Die folgende Tabelle zeigt die Art der Belastung und der Belästigung.

Tabelle 6: Mögliche Umweltbelastungen durch die Tierhaltung (nach [Sch 75])

Bereich	Ort	Umweltbelastung erfolgt durch	Art der Belastung	Schädigung	Belästigung	Literatur	
Hofbereich	Stallgebäude	Ventilatoren, Tiere	Lärm		x	[Mül 72]	
		Abluft	Geruch		x	[Sch+71]	
							[Wol 72]
		Art der Bauausführung	Gase/Staub	x ¹⁾		[Hil 72]	
			visuelle Beeinträchtigung		x		
	Futterlager	Silage, Abfälle,	Geruch/Staub		x	[Sch+71]	
		Unsauberkeit,				[Vog 72]	
		Sickersaftablauf	Wasserverunreinigung	x		[Kün 72]	
	Mistlager	Festmiststapel,	Fliegenplage			x	
		offene Flüssigmistbehälter	Geruch			x	[Ble 72]
Jaucheablauf, gezielter Flüssigmistüberlauf, undichte Gruben		Wasserverunreinigung	x			[Tra 71]	
Aufrühren, Umpumpen, Tankwagenbefüllen		Geruch			x	[Sch+71]	
	Übergelaufenes Gut bei Tankwagenbefüllen	Wasserverunreinigung	x ²⁾				
Außenbereich	Ausbringen von Fest- und Flüssigmist	undichter Tankwagen, Ausbringvorgang	Geruch		x	[Sch+71] [Tra 71] [Baa 72] [Tie 72]	
		zu große Mengen =	Bodenüberdüngung	x			
		= Flächen-kompostierung	Wasserverunreinigung	x ³⁾			[Tra 71] [Vet+73] [Kra 72] [Baa 72]
		falscher Zeitpunkt, geringe Aufnahmefähigkeit des Bodens	Wasserverunreinigung	x ³⁾			[Bar 72]

1) der Tiere und der im Stall arbeitenden Menschen

2) wenn kein Rücklauf in die Grube möglich ist

3) durch Abschwemmen in den Vorfluter oder Durchsickern in Grubenwasser

Da es sich bei den Stallgebäuden um einen geschlossenen (umbauten) Emittenten handelt, wurden hier die Abluftreinigungsanlagen eingesetzt. Die Ställe waren damals mit mehreren

Abluftkaminen ausgestattet. Diese Tatsache erforderte entweder eine dezentrale Lösung zur Emissionsminderung, oder die Zusammenführung der Abluft in einem zentralen Schacht. Bei der dezentralen Lösung muss für jeden Abluftschacht eine Reinigungsvorrichtung installiert werden. Bei der zentralen Variante hingegen, kommt man mit einer Anlage aus. Jedoch muss die gesamte Abluft des Stalles zusammengeführt werden.

3.3 Verfahrenstechnische Grundlagen der Abluftreinigung

Es gibt unterschiedliche Verfahren der Abluftreinigung. Als Abluftreinigungsanlage bezeichnet man Anlagen, die zur Minderung oder Beseitigung bestimmter Luftinhaltsstoffe dienen. Die Inhaltstoffe werden durch das System aus dem Rohgas entfernt und verbleiben im Filtermedium.

Eine Unterscheidung und Klassifizierung der verschiedenen Systeme wird in dieser Arbeit auf der Grundlage des Hauptreinigungsprinzips getroffen.

Als Hauptreinigungsverfahren der Anlagentypen sieht die Unterteilung wie folgt aus:

Unterscheidung der verschiedenen Abluftreinigungsverfahren

Es gibt verschiedene Ansätze die unterschiedlichen Abluftreinigungsverfahren zu gliedern. In der folgenden Tabelle werden die Systeme nach den Übergangsphasen unterteilt. Die aufgelisteten Abluftreinigungsverfahren werden jedoch zum größten Teil nicht in der Landwirtschaft eingesetzt. Der Vollständigkeit halber sind sie hier aufgeführt, sollen aber im Folgenden nicht weiter betrachtet werden. Viele dieser Verfahren lassen sich im landwirtschaftlichen Einsatz nicht oder nur mit sehr hohen Kosten einsetzen.

Tabelle 7: Unterteilung der Abluftreinigungsverfahren (nach [SCH 75])

Phase: Gas - Gas	Phase: Gas - Flüssigkeit
Trockenabscheider	Absorption
Schwerkraftabscheider	Sprühwäscher
Trägheitskraftabscheider	Waschturm
Fliehkraftabscheider	Wirbler
Gewebefilter	Rotationswäscher
Umlauffilter	Strahlwäscher
Elektrofilter	Venturiwäscher
	Chemosorption
Chemische Umsetzung	Kondensation
Maskierung	
chemische Mittel	
biochemische Mittel	
Oxidation	Phase: Gas - Feststoff
therm. Verbrennung in Öfen	Trockene Absorption
Abfackeln	
Naßluftoxidation	Adsorption
katalytisches Verbrennen	
Bestrahlung	Biologische Verfahren
	Mehrere Phasen
	Kombinationen

Eine vereinfachte Methode zur Unterteilung der Abluftreinigungsverfahren ist die Zuordnung nach der Hauptreinigungsart. Hierbei wird eine Unterscheidung in die Abscheidungsprozesse getroffen. Bei der Hauptreinigungsart handelt es sich um den primären Abscheidungsprozess. Natürlich sind bei jedem Verfahren immer andere sekundäre Prozesse beteiligt.

Zum Beispiel ist bei einem Biofilter mit einer Wurzelholzschüttung die Hauptreinigungsart die biologische Abscheidung durch die mikrobiologische Aktivität der auf dem Substrat lebenden Organismen. Durch den Einsatz des Wurzelholzes oder eines anderen Filtersubstrats kommt es ebenfalls zur physikalischen Abscheidung von Partikeln, die an der Oberfläche anhaften.

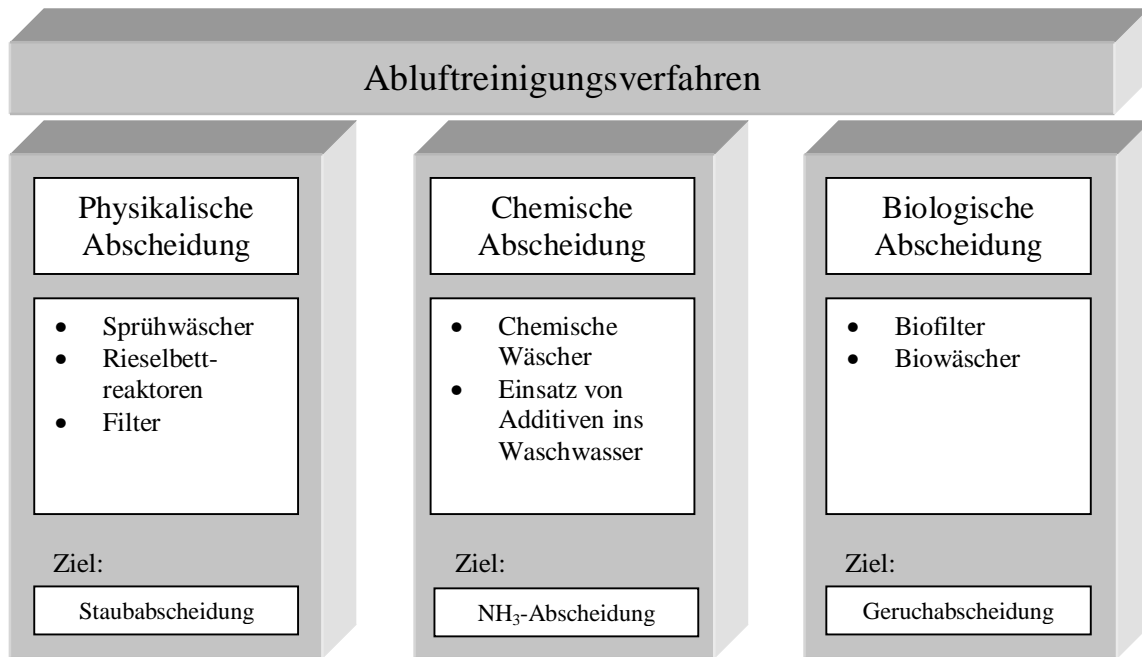


Abbildung 7: Unterteilung von landwirtschaftlichen Abluftreinigungsverfahren nach der Hauptreinigungsart

Tabelle 8: Zuordnung der Abluftreinigungsanlagen zum Hauptreinigungsprinzip

Anlagentyp:	Hauptreinigungsprinzip:
Rieselreaktor	Physikalisch
Chemischer Wäscher	Chemisch
Biofilter	Biologisch
Kombinationsanlagen (mehrstufig)	Kombinationen aus physikalischen, chemischen und biologischen Reinigungsstufen die in Reihe aufgebaut sind

Innerhalb der verschiedenen Anlagensysteme wirken neben dem primären Reinigungsprinzip auch sekundäre. Das heißt das beispielsweise auch bei einem Biofilter physikalische Prozesse bei der Abluftreinigung ablaufen.

3.3.1 Physikalische Abluftreinigung

Die physikalische Abluftreinigung ist in erster Linie für die Abscheidung von Stäuben konzipiert worden. Das Reinigungsprinzip beruht auf der Tatsache, dass sich durch den Einsatz von Wasser, als Filtermedium feuchte Staubpartikel verbinden und so schwerere Klumpen bilden. Diese sinken infolge ihrer größeren Masse zu Boden, oder haften an der Oberfläche von Filterwänden an.

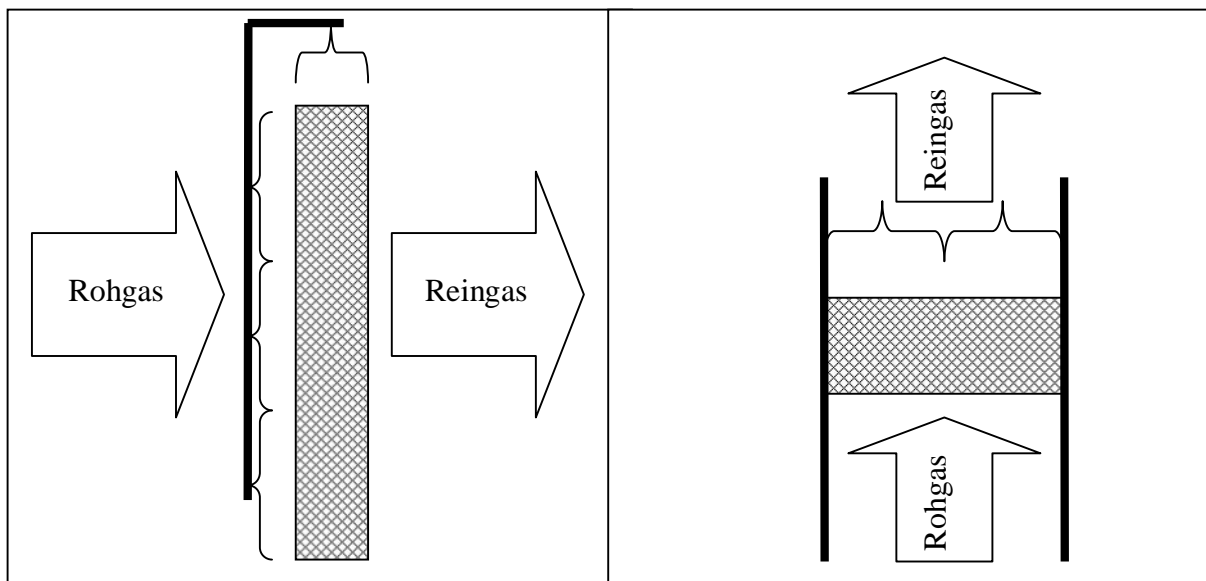


Abbildung 8: Schema physikalische Abluftreinigung (horizontaler und vertikaler Aufbau)

Wie in Abbildung 8 zu sehen ist wird die Rohluft befeuchtet und durch ein Filtermedium geführt. Dabei kann die Passagerichtung sowohl vertikal als auch horizontal sein. Der Wasserkreislauf erfolgt in beiden Fällen vertikal. Das heisst, das Waschwasser wird oberhalb der Filterelemente versprüht, durchrieselt den Filterkörper und wird in einem Sumpf aufgefangen. Von dort aus wird das Wasser wieder über den Filterkörper gepumpt und zirkuliert so. Auf der linken Seite der Abbildung ist ein weiterer vertikaler Düsenstrang dargestellt. Dieser kann zusätzlich eingesetzt werden, wird jedoch nicht als Ersatz für die oben liegenden Düsen dienen. Diese Art der Vorkonditionierung dient in erster Linie zur Reinigung der Filterwand von Ablagerungen (z.B. durch Grobstaub).

In der folgenden Abbildung ist das Prinzip der physikalischen Abluftreinigung dargestellt. Das Waschwasser wird durch Düsen vernebelt und befeuchtet die Luft innerhalb des Reaktionsraums, sowie die Oberfläche der Filterwand. Die im einströmenden Rohgas

befindlichen Staubpartikel werden befeuchtet, verkleben miteinander und sinken zu Boden. Der so aus dem Gas gewaschen Staub setzt sich als Schlamm im Sumpf ab. Nach der Passage der Filterwand werden durch den Tröpfchenabscheider die Aerosole aus dem Gas abgeschieden. Nun verlässt die Luft als Reingas die Abluftreinigungsanlage.

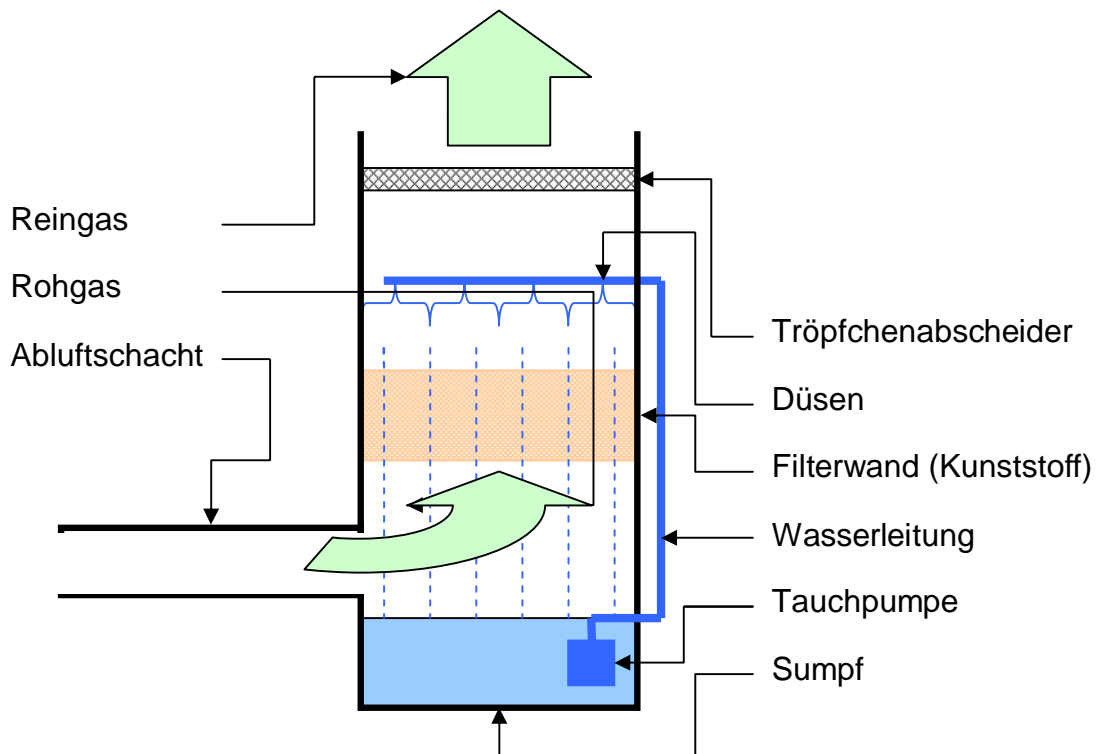


Abbildung 9: Schematischer Aufbau eines Rieselbettreaktors

Diese Art der physikalischen Abluftreinigung wird bei Rieselreaktoren angewandt. Dabei kommen verschiedene Varianten zum Einsatz. Der Einbau zusätzlicher Filterwände und die Applikationspositionen des Waschwassers sind mögliche Varianten, die von Herstellern dieser Anlagen angeboten werden. Rieselreaktoren werden in letzter Zeit häufig auch als Biowäscher bezeichnet. Die Bezeichnung Biowäscher ist auf die mikrobiologische Aktivität auf der Filterwandoberfläche zurückzuführen. Dieser sekundäre Reinigungseffekt ist für einen Teil der Geruchsstoffabscheidung verantwortlich. Physikalische Filtersysteme eignen sich sehr gut zur Staubabscheidung. Eine Minderung des Ammoniakgehaltes ist nur bedingt zu beobachten. Dasselbe gilt für die Geruchsabscheidung.

3.3.2 Chemische Abluftreinigung

Die chemische Abluftreinigung ist in der Landwirtschaft durch den Einsatz von Säure gekennzeichnet. Die Säure wird zur Abscheidung von Ammoniak eingesetzt. Bei den chemischen Wäschern wird zusätzlich zum Washwasser Säure appliziert. Eine chemische Wäsche erfordert den Einsatz von säurebeständigen Dosierpumpen die über den pH-Wert gesteuert werden. Der pH-Wert wird über die Wasserstoffionenkonzentration im Washwasser ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau der Säuredosierung bei einem chemischen Wäscher.

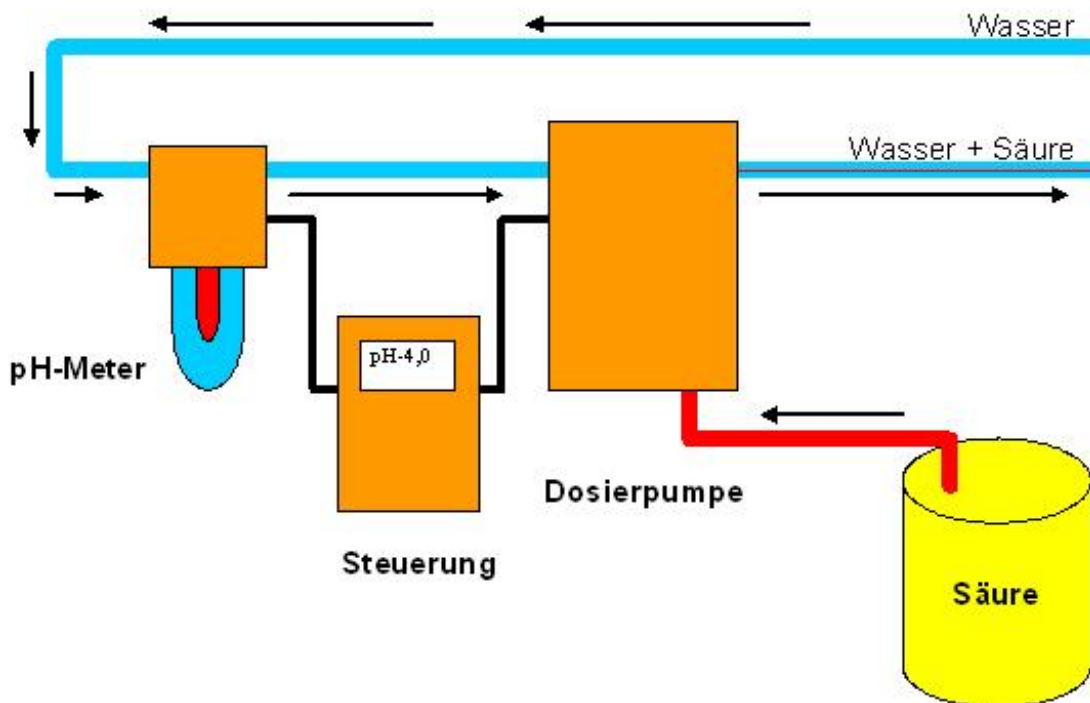


Abbildung 10: Aufbau einer Säurezugabe innerhalb eines chemischen Wäschers

Der pH-Wert des Washwassers wird über ein pH-Meter gemessen. Die Steuereinrichtung errechnet über den Messwert (Ist-Wert) und den eingestellten Sollwert und steuert so die Dosierpumpe. Diese dosiert dem Washwasser die gewünschte Menge an Säure aus dem Vorratsbehälter zu. Dieses geschieht so lange bis Ist- und Sollwert identisch sind.

Chemische Wäscher sind vom Prinzip her Rieselreaktoren, die um den Säureeinsatz erweitert wurden. Wie bei dem Rieselreaktor ist auch hier die physikalische Reinigungswirkung des vernebelten Wasser-Säure-Gemischs zu beobachten. Eine biologische Aktivität ist durch das saure Milieu stark eingeschränkt.

3.3.3 Biologische Abluftreinigung

Die biologische Abluftreinigung erfolgt durch den Einsatz von organischen Filtersubstraten. Das Substrat bildet den Lebensraum für Mikroorganismen, die die Geruchsmoleküle aufspalten und verwerten. So kommt es zur Reduktion des Geruchs. Diese Filtersubstrate bestehen häufig aus Holz- oder Wurzelhackschnitzeln. Es kommen auch andere Pflanzenteile zum Einsatz, wie z.B. Stroh, Heidekraut oder Kokusfasern. In Abbildung 11 ist der prinzipielle Aufbau eines Biofilters zu sehen.

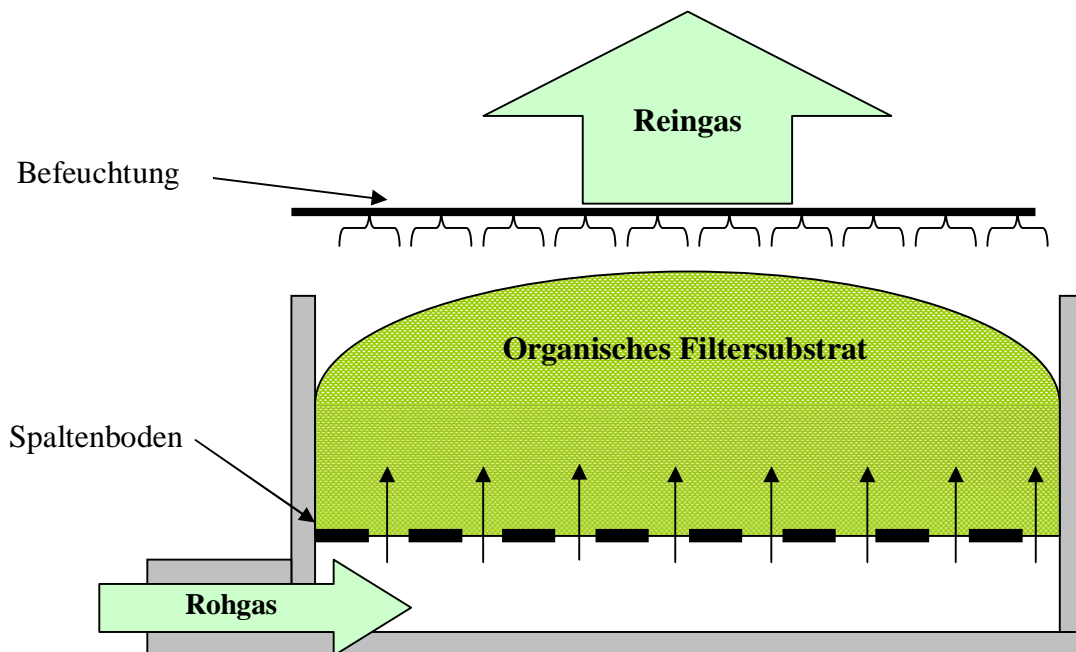


Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Biofilters

Das Rohgas wird unter das Filtersubstrat geführt. Dieses ist auf einer perforierten Oberfläche (z.B. Spaltenboden) angeordnet. Das Gas durchströmt das Filtermedium und verlässt als Reingas den Biofilter.

Da die Abluftreinigung primär durch biologische Umsetzungsprozesse der Mikroorganismen erfolgt, darf die Luftgeschwindigkeit nicht zu groß sein. Die Kontaktzeiten von Gas und biologischem Rasen müssen ausreichend lang sein, um eine Umsetzung zu erlangen. Daraus folgt, dass die Dimensionierung der Biofilter auf den Volumenstrom abgestimmt sein muss. Biofilter sind Flächenfilter. Die geringen Luftraten pro Quadratmeter müssen bei größeren Volumina an Rohgas auf einer größeren Fläche verteilt werden. Da es sich um ein biologisches System handelt, muss das Filtersubstrat, auf dem die Mikroorganismen leben, feucht gehalten werden, um es vor Austrocknung zu schützen. Die Befeuchtung kann auf zwei Arten erfolgen. Entweder befeuchtet man das Rohgas bevor es in den Biofilter gelangt, oder man befeuchtet den Biofilter selber. Mit ansteigendem Feuchtigkeitsgehalt sinkt die Durchströmbarkeit des Filters.

3.3.4 Mehrstufige Abluftreinigungssystem

Mehrstufige oder Kombinationsabluftreinigungssysteme gibt es bei landwirtschaftlichen Anwendungen in verschiedenen Ausführungen. Dabei ist die Anzahl und Art der eingesetzten Reinigungsstufen gemeint. In der Regel unterscheidet man zwei und dreistufige Systeme. Die Stufen sind innerhalb des Abluftstroms aufeinander folgend, in einer Art Kaskade angeordnet. Der Begriff Kombinations- oder Kombi-Abluftreinigungsanlage ist irreführend, da die einzelnen Stufen nicht aus miteinander kombinierten Reinigungsverfahren bestehen. Die Kombination erfolgt innerhalb der gesamten Anlage durch den Einsatz nacheinander durchströmter Reinigungsstufen.

3.3.4.1 Zweistufige Abluftreinigungssysteme

Bei zweistufigen Systemen sind mehrere Stufenkombinationen möglich. Auch hier werden die verschiedenen Systeme nach der primären Abscheidungsart unterteilt.

3.3.4.1.1 Physikalisch-Chemisch

Von einem physikalisch-chemischen System spricht man, wenn vor dem Einsatz einer chemischen Behandlung der Abluft, eine physikalische Abscheidung von Staub stattfindet. Dieses hat den Vorteil, dass große Teile der Staubpartikelfracht der Abluft, vor der chemischen Reinigung entfernt werden. Ist dieses nicht der Fall, kann es zu einer starken Schaumbildung kommen. Der Schaum bildet sich, wenn eiweißhaltige Staubpartikel mit Säure in Verbindung kommen. Darüber hinaus verringert eine Partikelabscheidung in der ersten Stufe, die Verschmutzung der zweiten Stufe durch den Staub. Ein physikalisch-chemisches System dient in erster Linie zur Minderung der Staub- und Ammoniakfracht. Eine Reduzierung der Geruchsstoffkonzentration ist nur begrenzt möglich.

3.3.4.1.2 Physikalisch-Biologisch

Physikalisch-biologische Systeme zeichnen sich durch eine Vorkonditionierung der Abluft vor dem Eintritt in die biologische Reinigungsstufe aus. Hierbei wird die durch die physikalische Staubabscheidung der Partikeleintrag in das Filtersubstrat der biologischen Stufe verringert. Dadurch setzt sich die zweite Stufe weniger stark zu und erhöht die Standzeit des Substrates. Ein weiterer Vorteil einer Feuchtentstaubung vor einer biologische Reinigungsstufe ergibt sich aus dem Umstand, dass das Biosubstrat dadurch feucht gehalten wird, weil die eintretende Abluft durch die erste Stufe nahezu mit Wasser gesättigt ist. Ein Austrocknen des „mikrobiellen Rasens“ wird so vermieden.

3.3.4.2 Dreistufige Abluftreinigungssysteme

Ein dreistufiges Abluftreinigungssystem kombiniert eine physikalische, chemische und biologische Stufe in einer Anlage. Dabei werden die einzelnen Stufen horizontal und/oder vertikal nacheinander vom Abluftstrom passiert. Ein solches System beinhaltet drei verschiedene primäre Abscheidungsstufen, so dass Staub, Ammoniak und Geruch reduziert werden können.

3.3.5 Einsatz von Additiven zur Geruchsminderung

In den letzten Jahren wurden immer wieder Versuche mit Stoffgemischen durchgeführt, die eine Geruchsneutralisation durch Einkapselung der Geruchsmoleküle bzw. durch geruchsmindernde Reaktionen erreichen. Hierbei ist wichtig, dass es sich um eine wirkliche Neutralisation handelt und nicht um eine Maskierung. Im landwirtschaftlichen Bereich tauchen solche „Mittel“ immer wieder auf, haben bislang aber keinen längerfristigen reproduzierbaren Erfolg gehabt. Als Additiv werden chemische Stoffgemische bzw. in einigen Fällen auch Enzyme verwendet. Das Additiv wird dabei entweder im Stall direkt oder im Abluftschacht vernebelt. Eine Wirksamkeit konnte in einigen Fällen [Küh 04] nachgewiesen werden. Diese ist jedoch noch weiter zu untersuchen, da noch keine Langzeitmessungen vorliegen.

Eine Geruchsmaskierung ist im landwirtschaftlichen Einsatz nur begrenzt statthaft, zumal meist eine konkrete Geruchsreduktion durch die zuständigen Behörden gefordert wird. Eine gesetzliche Grundlage gibt es hierfür noch nicht. Die Überdeckung, durch stärkere, angenehmer riechende Stoffe, wie sie bei dem Parfümeinsatz erzeugt werden, würde zwar das Belästigungspotential senken aber nicht die Ursachen bekämpfen. Geruchsüberdeckende Stoffe werden in anderen Bereichen, z.B. Abwasserwirtschaft eingesetzt.

3.4 Rechtliche Grundlagen der Abluftreinigung

3.4.1 BImSchG

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) trat am 1.4.1974 in Kraft und verfolgte erstmals das Vorsorgeprinzip im Genehmigungsverfahren.

(1) Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

(2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch

- der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in der Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie
- dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

Das BImSchG ist das: „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge“. Der landwirtschaftliche Sektor, insbesondere Tierhaltende Betriebe, wird durch § 3 BImSchG betroffen, weil die Stallungen eines Betriebes als Emittent agieren. Der Gesetzgeber regelt mit dem BImSchG:

- die Errichtung und den Betrieb von Anlagen;
- die Genehmigung von Anlagen;
- die Ermittlung von Emissionen und Immissionen, sicherheitstechnische Prüfungen, technischer Ausschluss für Anlagensicherheit;

-
- Beschaffenheit von Anlagen, Stoffen, Erzeugnissen, Brennstoffen, Treibstoffen und Schmierstoffen;
 - Beschaffenheit und Betrieb von Fahrzeugen, Bau und Änderung von Straßen und Schienenwegen;
 - Überwachung der Luftverunreinigung im Bundesgebiet, Luftreinhaltepläne und Lärminderungspläne;

sowie gemeinsame Vorschriften. Für die Immissions- und Emissionsgesetze ist in Folge des BImSchG, die TA-Luft formuliert worden. Das BImSchG ist durch bisher 28 BImSchV ergänzt und geändert worden. Die letzte Änderung wurde am 8.7.2004 in Kraft gesetzt.

3.4.2 TA-Luft

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) vom 24.7.2002, dient als Anleitung und Verwaltungsvorschrift zur Umsetzung des BImSchG. Die TA-Luft dient: „... dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt zu erreichen.“ Der Schutz vor schädlichen Geruchseinwirkungen wird nicht durch die TA-Luft geregelt, wohl aber die Vorsorge gegen diese.

Für den landwirtschaftlichen Bereich sind insbesondere die Regelungen für Mindestabstände zu bebauten Gebieten und Ökosystemen wichtig. Die Mindestabstände sind über die folgende Abstandskurve geregelt.

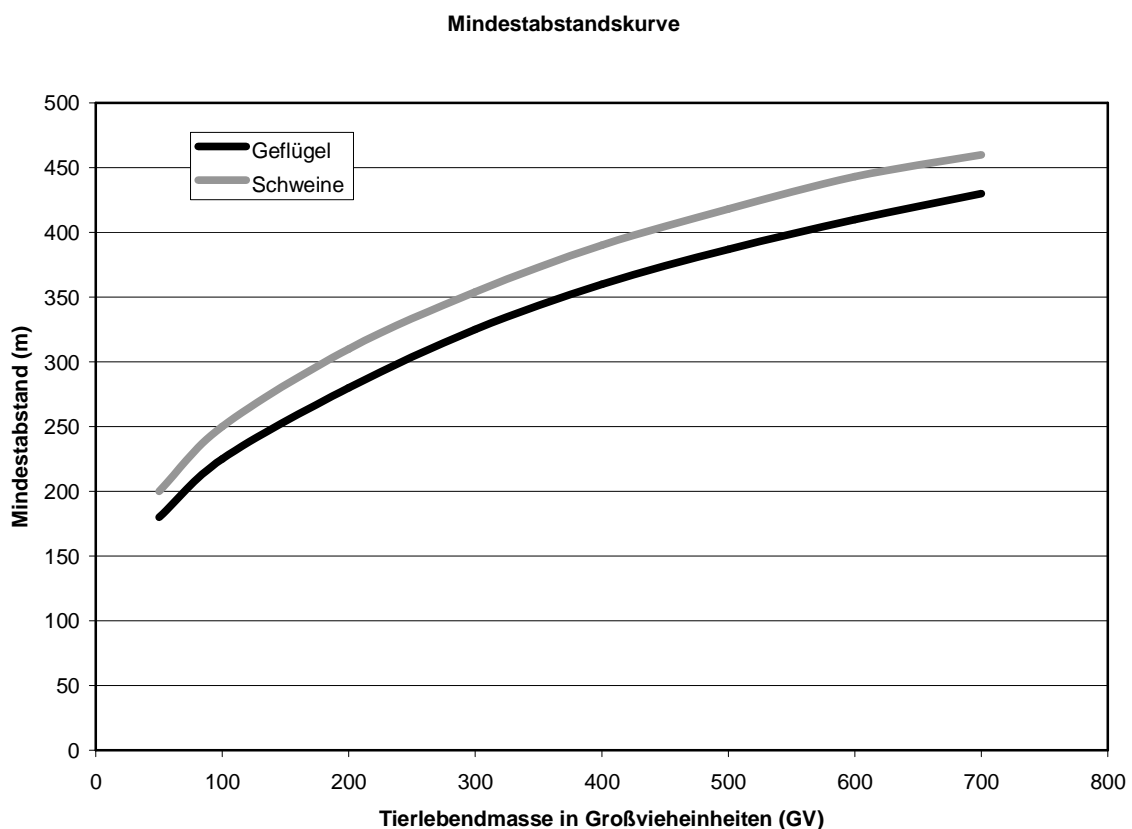


Abbildung 12: Mindestabstandskurve für Geflügel- und Schweineställe [TA-Luft]

Tabelle 9: Faktoren zur Umrechnung von Tierplatzzahlen in Tierlebendmasse, angegeben in GV [TA-Luft]

Tierart	Mittlere Einzeltiermasse (GV/Tier)
Schweine	
Niedertragende und leere Sauen, Eber	0,30
Sauen mit Ferkeln bis 10 kg	0,40
Ferkelaufzucht (bis 25 kg)	0,03
Jungsaunen (bis 90 kg)	0,12
Mastschweine (bis 110 kg)	0,13
Mastschweine (bis 120 kg)	0,15
Geflügel	
Legehennen	0,0034
Junghennen (bis 18. Woche)	0,0014
Masthähnchen bis 35 Tage	0,0015
Masthähnchen bis 49 Tage	0,0024
Pekingentenaufzucht (bis 3. Woche)	0,0013
Pekingentennmast (bis 3. Woche)	0,0038
Flugentenaufzucht (bis 3. Woche)	0,0012
Flugentennmast (bis 10. Woche)	0,0050
Truthühneraufzucht (bis 6. Woche)	0,0022
Truthühnermast, Hennen (bis 16. Woche)	0,0125
Truthühnermast, Hähne (bis 21. Woche)	0,2220

* (1 Großvieheinheit (GV) \triangleq 500 kg Tierlebendmasse)

Die in der Tabelle 9 genannten Faktoren zur Umrechnung der Tierplatzzahlen in Tierlebendmasse dienen zur Bestimmung des Mindestabstandes im jeweiligen Produktionsverfahren. Weicht ein Produktionsverfahren von den Genannten stark ab, kann im Einzelfall die mittlere Einzeltiermasse (in GV/Tier) festgelegt werden.

Beispiel:

Ein landwirtschaftlicher Betrieb hat sowohl einen Mastschweine- als auch einen Sauenstall.

Beide Ställe stehen unmittelbar nebeneinander. Insgesamt hat der Betrieb 500 Schweinemastplätze und 100 Sauenplätze.

$$500 \text{ Mastschweine} \cdot 0,13 = 65 \text{ GV}$$

$$100 \text{ Sauen} \cdot 0,40 = 40 \text{ GV}$$

Somit ergibt sich ein Gesamtbesatz von 105 GV. Aus dem Gesamtbesatz lässt sich anhand des Diagramms in Abbildung 12 ein Mindestabstand von ca. 250 m ermitteln.

3.4.3 GIRL

Die Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) wurde 1998 zur Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen erlassen und 1999 durch Auslegungshinweise ergänzt. Anlass dieser Richtlinie war die Tatsache, dass: „die TA Luft keine näheren Vorschriften enthält, in welcher Weise zu prüfen ist, ob von einer Anlage Geruchsimmissionen hervorgerufen werden, die eine erhebliche Belästigung im Sinne § 3 Abs. 1 Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG) darstellen“ [GIR 99]. Die GIRL dient als bundeseinheitliche Richtlinie zur Beurteilung von Geruchsimmissionen. Für den landwirtschaftlichen Sektor ist sie relevant für [GIR 99 Abs. 1]:

- Tierintensivhaltungen
- Landwirtschaft
- Vegetation

„Handelt es sich um eine Tierhaltung, so kann die Genehmigungsbehörde auf die Anwendung der Regelungen der GIRL verzichten und das Vorliegen der Genehmigungsvoraussetzungen mit der Einhaltung des Abstandsdiagrammes (Nr. 3.3.7.1.1

TA Luft) begründen, sofern nicht die besonderen Umständen des Einzelfalles (z.B. besondere topografische Verhältnisse, Geruchsvorbelastung) eine andere Vorgehensweise erfordern. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Tierhaltungen kann in derartigen Fällen die Genehmigungsbehörde die Entscheidung auf die Einhaltung der Abstände nach den entsprechenden Richtlinien VDI 3471 und VDI 3472 gründen.“ Das bedeutet, dass in diesen Fällen die Mindestabstände gemäß den genannten Richtlinien bestimmt werden. Dieses erfolgt durch das 100 Punktesystem. Hierbei werden bestimmte Emissionshauptfaktoren mit Punkten bewertet (VDI 3472 Tabelle 5). Aus der Gesamtpunktzahl und der Bestandsgröße, kann der Mindestabstand aus dem Diagramm der entsprechenden Richtlinie entnommen werden(VDI 3472, Bild 13).

Für die Ermittlung der Kenngrößen der Geruchsemission stehen zwei Methoden zur Verfügung.

Die Auswahl der Methoden erfolgt über die zu ermittelnde Kenngröße. Um die *vorhandene Geruchsbelastung* zu ermitteln, ist vorrangig die Rasterbegehung nach VDI 3940 anzuwenden. Bei der Rasterbegehung erfolgt eine olfaktometrische Ermittlung der Geruchsemissionen durch Probanden und eine Bestimmung der Häufigkeitsverteilung. Die Ermittlung der *zu erwartenden Zusatzbelastung* erfolgt vorrangig über eine Ausbreitungsrechnung. Dabei wird eine Berechnung der Geruchsimmission (GE/m^3) aus der Emission des Geruchsstoffstroms (GE/h) und Bestimmung der Häufigkeitsverteilung, unter Berücksichtigung der Fluktuationsgrößen Windrichtung und Windgeschwindigkeit durchgeführt. Die Geruchsimmissions-Richtlinie beschreibt die Beurteilungskriterien sowie die Messverfahren und deren Auswertung.

3.4.4 Leitfaden des Landkreises Cloppenburg

Der Landkreis Cloppenburg setzte sich als erster Landkreis mit den Problemen der Abluftreinigung auf regionaler Ebene auseinander. Dabei entstand bis zum Juni 2002 der „Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung“. Die Veranlassung zu diesem Schritt bestand in der Notwendigkeit, der Landwirtschaft auch in Regionen mit einer hohen Tierbesatzdichte, die

Möglichkeit des Wachstums zu geben. Der Landkreis sah die Option, mit dem Einsatz von Abluftreinigungsanlagen die landwirtschaftlichen Emissionen zu senken und so die Genehmigungen für Stallneubauten und/oder Erweiterungen zu erteilen. Um im Genehmigungsverfahren eine Aussage über die einzusetzende Technik treffen zu können, muss eine Information über die Eignung der geplanten Abluftreinigungsanlage bestehen. Der Leitfaden des Landkreises Cloppenburg beschreibt hierbei die Unterteilung der verschiedenen Systeme und deren Anwendungsbereiche. Die Anwendungsbereiche werden in das Abscheidungsvermögen von Staub, Ammoniak und Geruch differenziert. Die Tabelle 10 zeigt die Unterteilung in die Anlagenarten und die geforderten Abscheidungsleistungen.

Tabelle 10: Abluftreinigungsanlagen für zwangsbelüftete Tierställe (nach [Hah+02])

Anlagenart	Nutzung	a) Aufstallung b) Entlüftung	Abscheidung von		
			Staub	NH ₃	Geruch
Chemische Wäscher	Schweine, Rinder, Trockenkotlager	a) Spaltenboden b) Zentral/Halle	70%	90%	n.g.
Rieselbettreaktoren nach VDI 3478	Schweine, Rinder	a) Spaltenboden b) Zentral/Unterflur	70%	70%	k.R.w. 300 GE/m ³
Biofilter Nach VDI 3477	Schweine, Rinder	a) Spaltenboden b) Dezentral	70%	n.g.	k.R.w. 300 GE/m ³
2-stufige Kombinationen <ul style="list-style-type: none"> • Chemischer Wäscher / Rieselbettreaktor • Chemische Wäscher / Biofilter 	Schweine, Rinder, Trockenkotlager	a) Spaltenboden b) Zentral/Halle	>70%	90%	k.R.w. und 300 GE/m ³
3-stufige Kombi-Anlage Wasserwäsche / chemische Wäsche / Biofilter	Alle Tierarten <ul style="list-style-type: none"> • Schweine • Rinder • Geflügel • Trockenkotlager 	a) alle Fest- / Flüssigmistverfahren b) zentral/Halle	90%	90%	k.R.w. und 300

Im Rahmen einer Zulassungsprüfung für eine Abluftreinigungsanlage müssen die in Tabelle 10 genannten Abscheidungsleistungen durch ein Messprogramm erreicht und vom zuständigen Gremium anerkannt werden. Das Messprogramm umfasst dabei wöchentliche Staubmessungen, mehrwöchige kontinuierliche Ammoniakmessungen, sowie die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentrationen (ausgenommen rein chemische Wäscher) jeweils roh- und reingasseitig.

Für das geforderte Messprogramm sind neben den Emissionskenngrößen auch die Messkomponenten und –häufigkeiten spezifiziert. Die Messdauer variiert bei den

verschiedenen Tierarten. Bei Mastschweinen beträgt die Messdauer zwei Monate im Sommer und zwei Monate im Winter, unter Einbeziehung der Endmastphase bei gleichmäßiger (durchschnittlicher) Belegung. Während bei Masthähnchen (Broiler) und Enten zwei Mastdurchgänge im Sommer, wie auch im Winter gefordert werden.

3.5 Stand der Technik

Der Begriff „Stand der Technik“ wird im Bundes-Immissionsschutzgesetz an verschiedenen Stellen erwähnt (vgl. § 5 Abs. 1 Nr.2, § 22 Abs. 1, § 41 Abs. 1 und § 48 Nr. 2). Er wird schon seit der TA Luft von 1964 verwendet. Der Begriff „Stand der Technik“ ist rechtlich sehr unscharf, weshalb in § 3 Abs. 6 BImSchG von 1974 versucht worden ist, ihn näher zu definieren.

Hansmann [HAN 93] erläutert den Begriff wie folgt: „Stand der Technik ist nach dem Bundes- Immissionsschutzgesetz ein Kriterium zur Beurteilung der Frage, ob eine Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen praktisch und nicht erst nach Durchführung langwieriger Entwicklungsvorhaben geeignet ist. Die Antwort auf diese Frage ergibt sich aus dem allgemeinen technischen Entwicklungsstand. Sie setzt nicht voraus, dass das konkrete technische Problem bereits in allen Einzelheiten gelöst ist. Vergleichbare Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen sind zwar ein Anhaltspunkt, aber nicht Voraussetzung für die Bejahung des Standes des Technik in Bezug auf eine Emissionsbegrenzungsmaßnahme. Auf keinen Fall müssen sich Vergleichsanlagen bereits im Betrieb u.U. während eines längeren Zeitraumes – bewährt haben.“

Nach Feldhaus [FEL 98] definiert das § 3 Abs. 6 BImSchG den Stand der Technik wie folgt:

„Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind“.

Darüber hinaus verweist § 3 Abs. 6 des BImSchG auf die im Anhang aufgeführten Kriterien zur Bestimmung des „Standes der Technik“ [BImSchG]:

Bei der Bestimmung des „Standes der Technik“ unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Einsatz abfallarmer Technologie,
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe,
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffen und gegebenenfalls der Abfälle,
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden,
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen,
6. Art, Auswirkung und Menge der jeweiligen Emissionen,
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder bestehenden Anlagen
8. für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit,
9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz
10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern,
11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Menschen und Umwelt zu verringern
12. Informationen, die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft gemäß Artikel 16 Abs. 2 der Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (ABl. EG NR. L 257 S. 26) oder von internationalen Organisationen veröffentlicht werden.

Das Problem des Gesetzgebers eine bestimmte Anforderung an eine Technik als Stand der Technik vorzuschreiben ist die Gefahr, für neuere, bessere Techniken nicht offen zu sein, so [FEL 98]. Über die Kriterien im Anhang des BImSchG hinaus definiert Feldhaus den Begriff Stand der Technik über 10 wesentliche Kriterien, die sog. „Feldhauskriterien“:

1. Wirksamkeit der Emissionsminderung,
2. Lebensdauer,
3. Verfügbarkeit,
4. Betriebssicherheit,
5. An- und Abfahrvorgänge,
6. Wartungsaufwand,
7. Medienübergreifende Emissionsverlagerung,
8. Verursachung anderer Emissionen oder Gefahren,
9. Energieaufwand,
10. Investitions- und Betriebskosten dürfen jedenfalls nicht so hoch sein, dass man nicht mehr von einer vernünftigen technischen Lösung sprechen kann.

Die genannten Kriterien haben oft gegenläufige Tendenzen. Sie müssen im konkreten Fall gegeneinander abgewogen werden [FEL 98].

Für den Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Landwirtschaft bedeutet das, dass eine sehr genaue Beurteilung anhand der oben genannten Kriterien stattfinden muss. Es muss sehr genau unterschieden werden zwischen dem technischen Standard, den eine Anlage erfüllt und dem Sachverhalt, dass eine Anlage dem zeitlichen Stand der Technik entspricht. Letzteres suggeriert, dass durch die technische Entwicklung eine Abluftreinigungsanlage zu einem zeitgemäßem tierhaltenden Betrieb gehört. Ein wesentlicher Punkt ist hier die Verhältnismäßigkeit, die standortspezifisch geprüft werden sollte.

3.5.1 Übersicht der am Markt befindlichen Anlagen

Im Rahmen der Mitarbeit an einem KTBL-KU Projekt zur Erhebung von Kalkulationsunterlagen zum Thema „Abluftreinigungsanlagen“ wurde versucht, alle Hersteller von Abluftreinigungsanlagen die in der Landwirtschaft eingesetzt werden, zu befragen. Die Befragung diente zur Erhebung von Planungsgrundlagen, die für eine Kalkulation notwendig sind. Das Ziel dieser Datenerhebung ist die Schaffung einer Datengrundlage mit deren Hilfe verschiedene Abluftreinigungssysteme geplant und

kalkuliert werden können. Dieses Werkzeug soll Landwirten, Beratern und anderen Nutzergruppen als Informationsquelle zur Verfügung stehen. Die Datengrundlage sind dabei real existierende Systeme, die in Form einer Datenbank als Datensätze aufgenommen werden. Der Endnutzer erhält dabei aber nur einen eingeschränkten Zugriff auf ausgewählte Beispielanlagen, die in ihrer Auslegungsgröße variiert werden können.

Die Befragung der Anlagenhersteller erfolgte über einen Fragebogen in dem Dimensionierung, Anzahl und Aufbau der Reinigungsstufen erfasst wurden. Darüber hinaus wurden die Kosten und Arbeitsaufwendungen erfragt. In den folgenden Punkten wird eine kurze Übersicht der Befragungsergebnisse dargestellt.

3.5.1.1 Rieselbettreaktoren

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung wurden drei verschiedene Rieselbettreaktoren angeboten. Hierbei wurden zwei dieser Systeme als Biowäscher vertrieben. Es handelt sich aber in allen Fällen um Rieselbettreaktoren [nach VDI 3778], da keine Belüftung des Waschmediums erfolgte. Die Bezeichnung eines Rieselbettreaktors als Biowäscher lässt sich aus Marketingaspekten nachvollziehen.

Alle betrachteten Systeme entsprechen in ihren Bestandteilen dem in Abbildung 9 beschriebenen Aufbau (vgl. 3.3.1). Das heißt, sie verfügen über einen Wasserkreislauf, der aus einem Düsenstrang, einer Tauchpumpe und einen Wasserreservoir besteht. Dabei wird das Wasser zirkulierend über eine Füllkörperschicht mit Düsen versprüht. Das versprühte Wasser rieselt durch den Füllkörper und sammelt sich im Wasserreservoir. Von hier wird es durch eine Pumpe wieder zu den Düsen gepumpt.

3.5.1.2 Wäscher

Am Markt befinden sich z.Zt. nur zwei Hersteller, die sich auf die Produktion reiner Luftwäscher spezialisiert haben. Eines dieser Systeme befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Die Wäscher arbeiten mit Düsen, die das Waschmedium (i.d.R. Wasser) in einem Reaktionsraum vernebeln. Das Rohgas wird durch diesen Reaktionsraum geführt. Die Reinigung des Gases erfolgt beim Kontakt mit dem Waschmedium.

Luftwäscher verzichten auf den Einsatz von Füllkörpern. Dieses hat den Vorteil das der Druckwiderstand wesentlich geringer ist, als bei anderen Systemen. Um jedoch den Wasserverbrauch durch austretende Aerosole zu senken, wird bei Wäschern in der Regel ein Tröpfchenabscheider eingebaut.

3.5.1.3 Biofilter

Zurzeit bieten drei Hersteller Flächenbiofilter [nach VDI 3477] an. Die drei verschiedenen Systeme unterscheiden sich im Wesentlichen durch das eingesetzte Schüttgut und in der technischen Umsetzung der Bauweise. Als organisches Substrat wird in zwei Systemen eine Wurzelholzschüttung eingesetzt. Das dritte System arbeitet mit einer Strohschüttung, die mit Hackschnitzeln abgedeckt ist. Im Aufbau verwendet ein Hersteller eine strikte Modulbauweise, durch die der Biofilter aus Bausteinen zusammengesetzt ist. Die anderen Systeme lassen sich sowohl modular als auch massiv aufbauen.

3.5.1.4 Mehrstufige Systeme

Zum Zeitpunkt der Umfrage konnten zwei Hersteller von Abluftreinigungsanlagen mehrstufige Systeme anbieten. Die Systeme sind sowohl in zwei- als auch dreistufiger Ausführung erhältlich. Die zweistufigen Systeme bestanden aus einer physikalischen und einer chemischen Abscheidestufe. Als Material wurde von einem Hersteller eine aus Kunststoff bestehende Filterwand eingesetzt und von dem Mitbewerber eine Filterwand aus Karton (vgl. 4.1.2).

Die dreistufige Variante setzt zusätzlich nach der chemischen Abscheidung noch eine biologische Stufe ein. Diese bestand in beiden Fällen aus einer aus gerissenem Wurzelholz bestehenden Filterstufe.

Die Befeuchtung der Filterwände war im Wesentlichen identisch, wobei jede Wand jeweils von oben mit Wasser bzw. Wassersäuregemisch berieselt wurde. Vor der ersten Filterwand

wurde zu Reinigungszwecken ein Düsengestänge angeordnet, um grobe Verunreinigungen von der Filterwand zu beseitigen.

4 Material und Methoden

4.1 Kenngrößen der untersuchten Anlage

4.1.1 Schweinemaststall

Der untersuchte Schweinemaststall mit der Abluftreinigungsanlage ist 2001 erbaut worden. Er liegt in Steinfeld/Harpendorf im Landkreis Vechta in Ortsrandlage. In der Abbildung 13 (Lageplan) sind die Stall- und Hofgebäude gekennzeichnet, sowie die Hauptstraße (B 214), die durch den Ort führt.

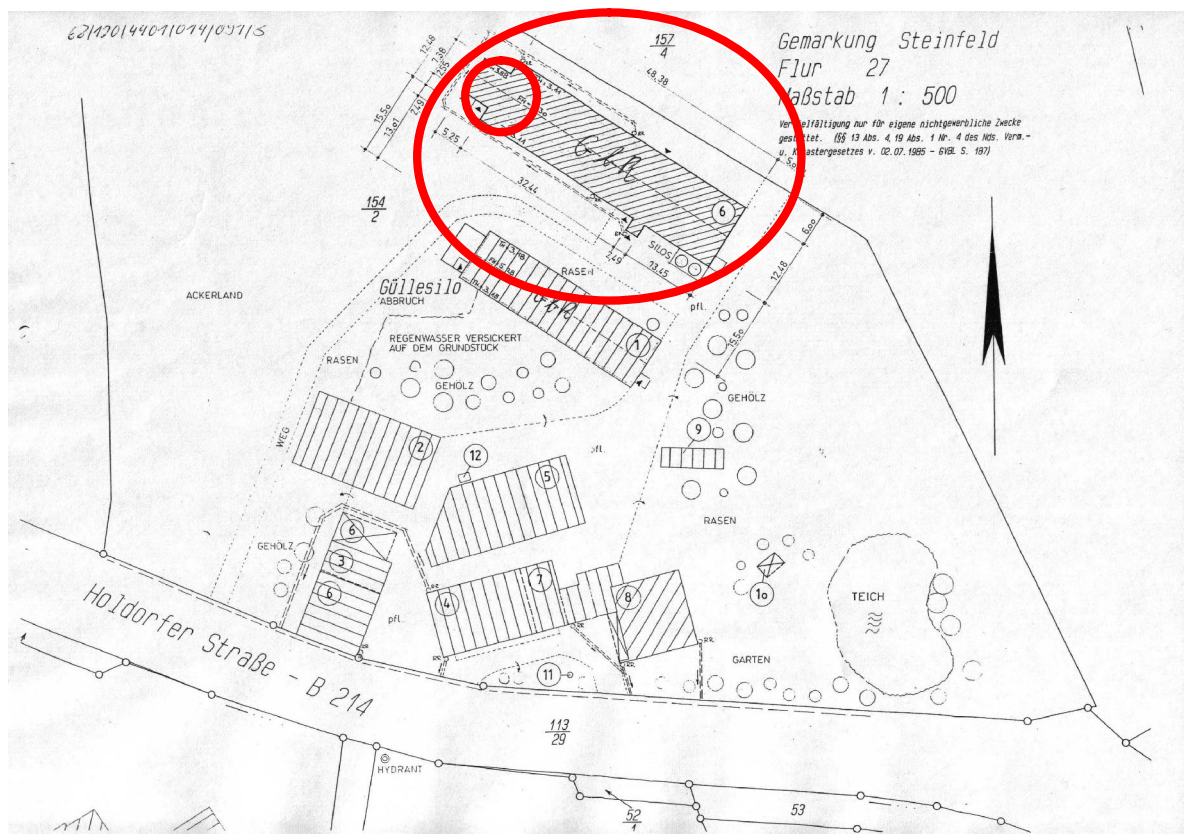


Abbildung 13: Lageplan des Hofes und des untersuchten Stalls mit Abluftreinigungsanlage

In der Abbildung 13 sind der Stall und die Abluftreinigungsanlage mit zwei Kreisen gekennzeichnet. Der große Kreis umschließt den Schweinemaststall. Der kleine Kreis markiert den Anbau für die Abluftreinigungsanlage. Die Ausblasrichtung des Reingases ist West-Nordwest auf der Giebelseite des Stallgebäudes.

Der Stall ist für 600 Mastschweine ausgelegt, die in zwei Abteilen zu 200 und 400 Tieren aufgestellt sind. Die Mastschweine werden in Gruppen von ca. 17 Tieren pro Bucht gehalten. Der Buchtenboden besteht aus Betonvollspalten mit Kotschlitz an den Buchtenwänden. In der Abbildung 14 ist der Grundriss des Stalls zu sehen. Die beiden Abteile sind durch einen Servicegang getrennt. In diesem sind die Computer für die Klimasteuerung, Fütterung und die Medikation untergebracht.

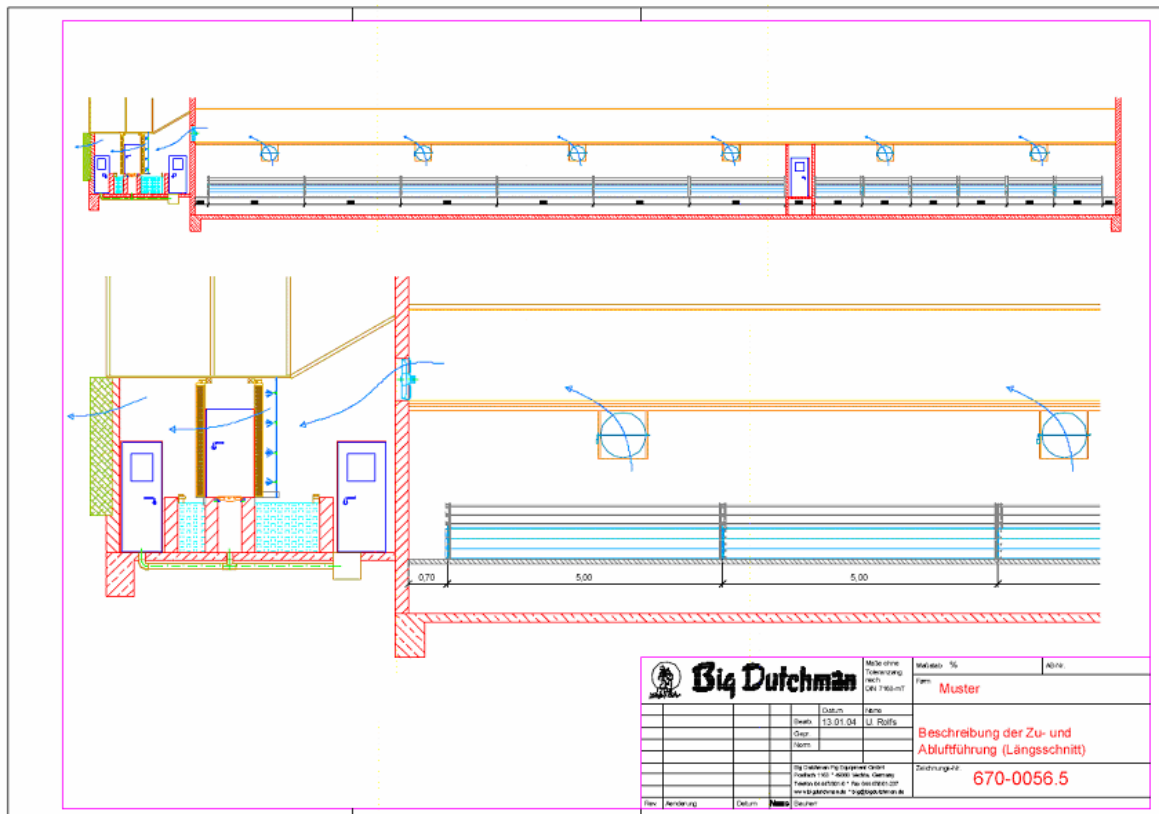


Abbildung 14: Längsschnitt durch den Stall

Strom-, Gas- und Wasserzähler, wie auch der Sicherungskasten befinden sich in einem Anbau, der sich auf der Stalllängsseite befindet.

Die Zuluftführung erfolgt, wie in Abbildung 15 und Abbildung 16 zu sehen ist, über die Längsseite des Stalls. Dabei unterscheiden sich die Luftströmungen im Winter und Sommer durch die Unterschiede in der Luftwechselrate. Diese beeinflusst die Strömungssituation durch die im Sommer höheren Luftgeschwindigkeiten.

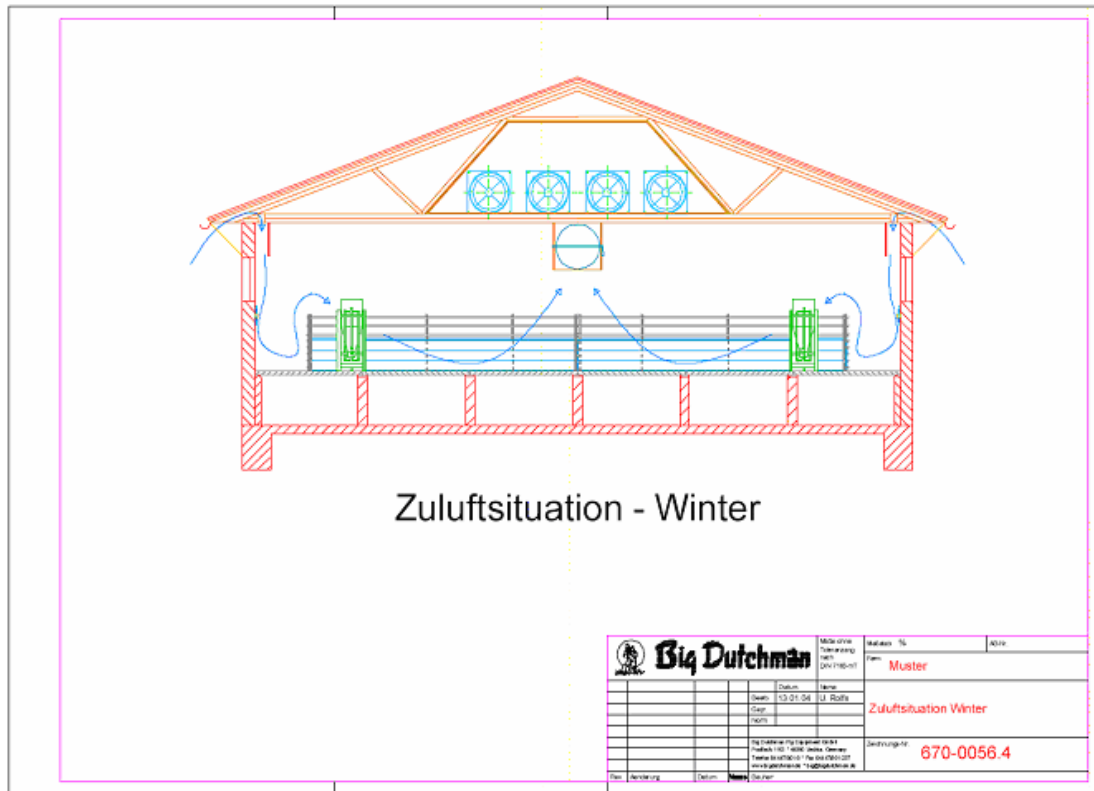


Abbildung 15: Stallquerschnitt und Zuluftsituation im Winter

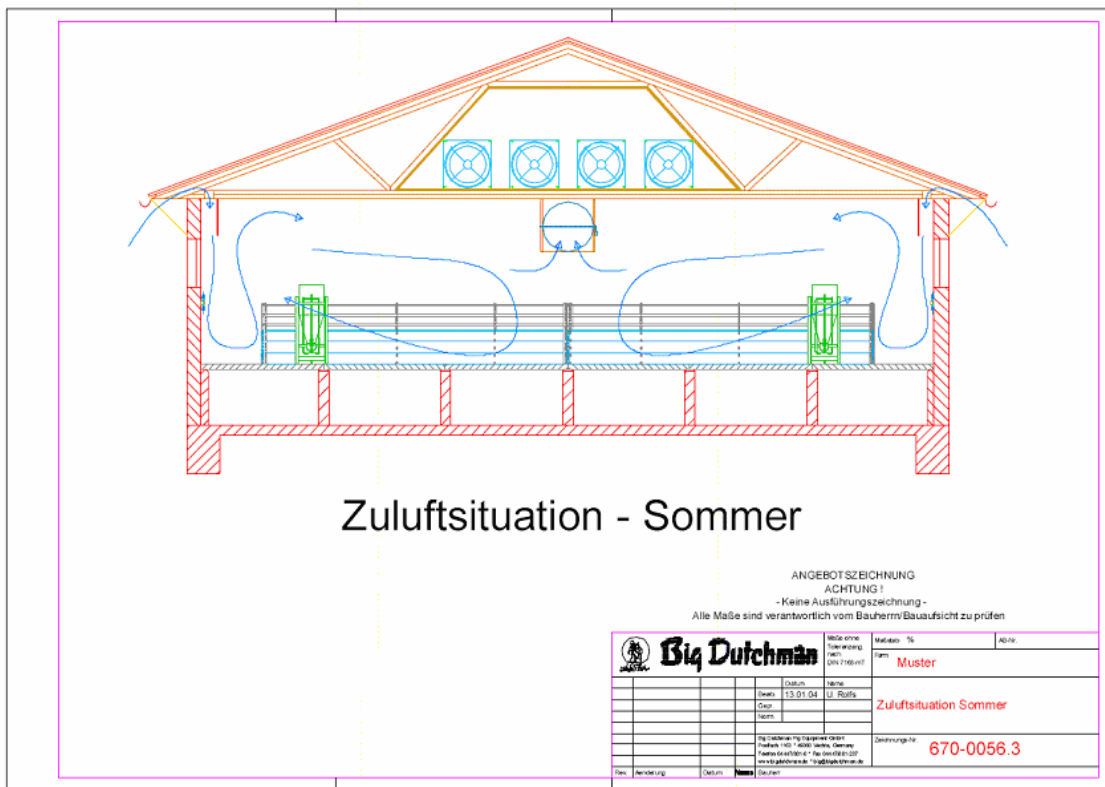


Abbildung 16: Stallquerschnitt und Zuluftsituation im Sommer

Die Abluftführung erfolgt über einen zentralen Abluftschacht. Die Abluft gelangt durch Abluftkanäle aus dem Tierbereich in den Zentralschacht. Die in Abbildung 14 dargestellten Abluftkanäle sind mit einer Drosselklappe versehen. Jeder der 6 Kanäle hat eine Absaugfläche von $0,528 \text{ m}^2$. Durch die Drosselklappe kann die Ansaugung des Abluftvolumenstroms gesteuert werden.

In den Abbildungen Abbildung 14 bis Abbildung 16 sind die Positionen der Ventilatoren zu sehen. Diese saugen die Abluft aus dem Tierbereich über die Kanäle in den zentralen Abluftschacht. Das Rohgas wird von den Ventilatoren mit Überdruck in die Abluftreinigungsanlage gedrückt.

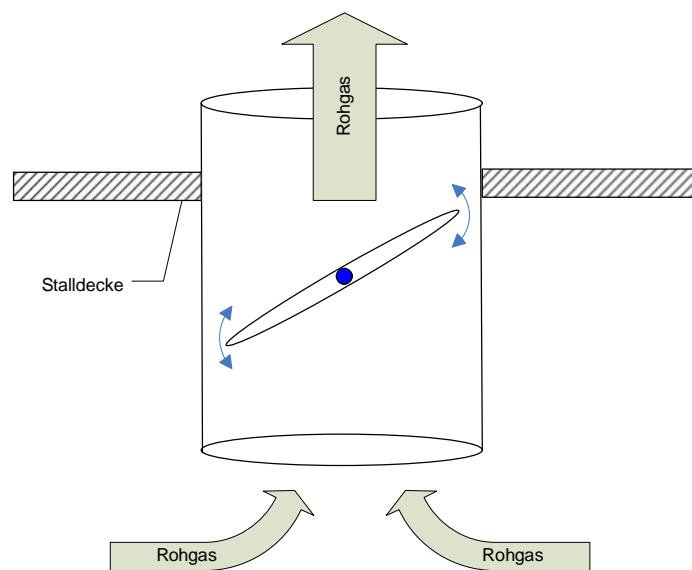


Abbildung 17: Schematische Darstellung eines Abluftkanals mit Drosselklappe

Abbildung 17 zeigt den Aufbau der Abluftkanäle. Innerhalb des Kanals befindet sich eine Drosselklappe, die den Volumenstrom begrenzen kann. Diese Klappe kann über ihre Neigung die geöffnete Fläche des Abluftkanals einstellen. Die Steuerung erfolgt über den Klimacomputer des Stalls. Die Drosselklappe kann bei Nichtbelegung des Stalls komplett geschlossen werden um ein Auskühlen zu verhindern. Bei extrem hohen Sommertemperaturen und notwendiger maximaler Lüftungsleistung ist eine komplette Öffnung des Kanalquerschnitts möglich.

Das Rohgas gelangt durch den Abluftkanal in den zentralen Abluftschacht. Dieser ist in den Dachraum eingebaut. Der Einbau in den Dachraum erfordert eine angepasste

Dachstuhlkonstruktion, bei der innerhalb des Abluftschachtes keine Dachbalken stehen sollten, um den Gegendruck gering zu halten.

Ingesamt sind über den Stall sechs Abluftkanäle verteilt, die jeweils in den Zentralschacht führen. In der Abbildung 18 ist schematisch die Anordnung der Kanäle abgebildet. Auf der linken Seite des zentralen Abluftschachtes sind die Ventilatoren angebracht, die das Rohgas aus dem Stall saugen.

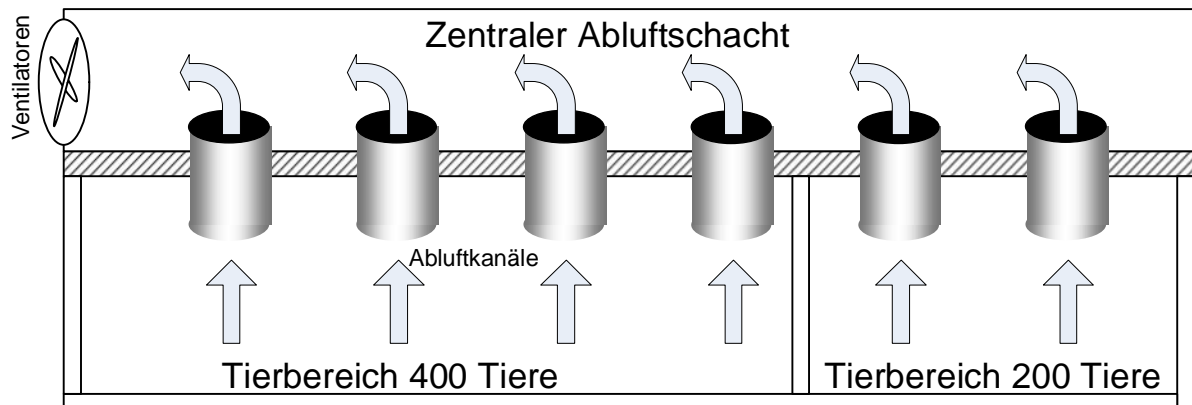


Abbildung 18: Prinzipskizze der Ablufführung aus dem Tierbereich

Der zentrale Abluftschacht reicht über die gesamte Stalllänge und nahezu die gesamte Breite. Für je 100 Tiere ist ein Abluftkanal vorhanden.

4.1.2 Abluftreinigungsanlage

Die untersuchte Abluftreinigungsanlage ist der „MagixX-Abluftwäscher“, der Firma Big Dutchman International GmbH in der dreistufigen Bauweise. Dieser Abluftwäscher ist für die Abscheidung von Staub, Geruch und Ammoniak konzipiert.

Dabei wird das Rohgas über den zentralen Abluftschacht in die Abluftreinigungsanlage gedrückt. Das Rohgas wird durch drei Reinigungsstufen geführt.

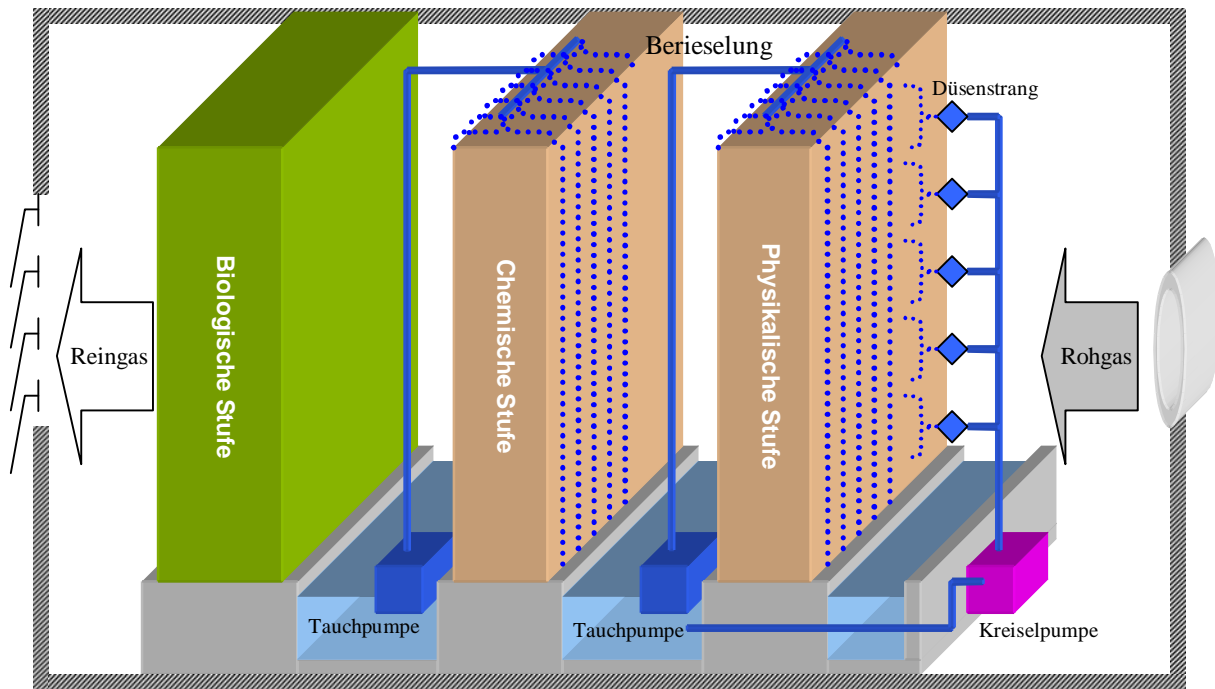


Abbildung 19: Schematische Darstellung eines 3-stufigen Abluftreinigungssystems

Zur Staubabscheidung dient die erste Stufe, die aus einer so genannten Padwand besteht. Hierbei handelt es sich um eine aus Karton bestehende luftdurchlässige Wand, die von oben mit Wasser berieselt wird. Darüber hinaus versprüht eine Düsengruppe einen feinen Wassernebel, der das Rohgas befeuchtet und die Filterwand reinigt. Die Düsengruppe arbeitet im Intervallbetrieb. Der Wassernebel wird alle 5 Minuten für eine Minute angeschaltet.

Die zweite Stufe entspricht im Aufbau und der Dimensionierung der ersten Filterwand. Jedoch wird hier auf den Düsensstrang verzichtet. Die Funktion der zweiten Stufe ist die Reduzierung des Ammoniakgehaltes im Rohgas. Dieses erfolgt durch den Einsatz von Säure der pH-Wert gesteuert ist. Dabei wird der pH-Wert kontinuierlich gemessen und je nach Bedarf Schwefelsäure dosiert. Der Bedarf richtet sich nach dem eingestellten Sollwert des pH-Wertes im zweiten Waschwasserbecken hinter der chemischen Stufe.

Wie in der Abbildung 19 zu sehen ist, folgt nach der chemischen, eine biologische Stufe. Die biologische Abluftreinigung erfolgt, bei der betrachteten Anlage durch eine Wurzelholzschnittung. In Abbildung 20 ist zu sehen, dass die Wurzelholzschnitzel in übereinander gestapelte Kunststoffkisten gefüllt sind. Die Kisten sind aneinander befestigt und bilden so eine Wand.



Abbildung 20: Wurzelholzschüttung in Kunststoffkisten

Da es sich bei der Geruchsabscheidung um einen mikrobiologischen Prozess handelt, ist es wichtig ein Austrocknen des Biosubstrates zu vermeiden. Die beiden vorhergehenden Stufen der Abluftreinigung, sättigen die Abluft nahezu mit Wasser. Die Luft hat also eine relative Feuchte von ca. 99 %. Durch diese hohe Luftfeuchtigkeit kann ein Austrocknen vermieden und auf eine weitere Befeuchtung größtenteils verzichtet werden. Bei der untersuchten Anlage befindet sich die biologische Stufe vollständig innerhalb des Filterhauses. Dadurch wird sie nicht von der Umgebungsluft z.B. durch Wind getrocknet, wie bei Filterwänden, die eine Außenwand ersetzen.

Die untersuchte Abluftreinigungsanlage ist bei der betrachteten Stallung für eine Luftrate von 65000 m³/h ausgelegt. Die durchschnittliche Luftrate wird vom Hersteller mit 26000 m³/h angegeben.

Die Abluftreinigungsanlage hat eine Filterfläche von insgesamt 38,2 m² und ein Filtervolumen von 9,34 m³. Daraus resultiert eine durchschnittliche Filtervolumenbelastung von 2784 m³ Luft pro Kubikmeter Filtervolumen je Stunde. Bei maximaler Luftrate beträgt die Filtervolumenbelastung ca. 6960 m³/h/m³. Die Strömungsgeschwindigkeit bei durchschnittlicher Luftrate beträgt ca. 0,6 m/s, bei maximaler Luftrate 1,5 m/s.

Die physikalische Abscheidung, die in der ersten Stufe der Reinigungsanlage erfolgt, wird durch eine 15 cm starke Padwand erreicht. Die Padwand besteht aus einem beschichteten, imprägnierten, formstabilen Zellstoff. Die Filterfläche der ersten Stufe beträgt 12 m² (6 m breit und 2 m hoch), dieses entspricht einem Volumen von 1,8 m³. Die spezifische Oberfläche der Padwand ist vom Hersteller mit 440 m²/m³ angegeben, das heißt, die zur Verfügung stehende Kontaktfläche liegt bei ca. 792 m².

Die chemische Behandlung der zweiten Filterstufe ist in ihrer Dimensionierung mit der ersten identisch. Somit entsprechen die oben genannten Daten, denen der zweiten Padwand.

Für den Einbau der Zellstoffwände wurde ein korrosionsbeständiges Edelstahlrahmensystem verwendet, in dem die ersten beiden Padwände gehalten werden.

Als dritte (biologische) Stufe wurde eine Wurzelholzschüttung gewählt. Das Wurzelholz ist dabei in Kunststoffkisten gefüllt, die über und nebeneinander gestapelt eine Wand bilden. Die Wand besteht aus 70 Kisten, die miteinander durch Kabelbinder verbunden sind. Die Stoßkanten der Kisten wurden mit einem säurebeständigen geschlossenzelligen Polyethylen-Schaumstoff gefüllt, um so ein vorbeiziehen der Luft zu vermeiden. Der Schaumstoff ist photostabil und kann in einem Temperaturbereich von -80°C bis +80°C eingesetzt werden. Die Kunststoffkisten sind stapelbar und überlappen mit der Stapelkante 12 mm. Um eine höhere Stabilität zu gewährleisten sind die Kisten fest miteinander verbunden. Zu Kontrollzwecken können zwei der Kisten herausgenommen werden, um so den Bereich zwischen zweiter und dritter Wand zu sichten.

Insgesamt hat die biologische Stufe eine Fläche von 14,34 m² und ein Volumen von 5,73 m³. Die Wand hat die Abmessungen 2,24 x 6,4 x 0,4 (Höhe, Breite, Dicke). Daraus resultiert eine Filterflächenbelastung von 4534 m³/h/m² bei maximaler Luftrate und 1814 m³/h/m² bei durchschnittlicher Luftrate. Die Filtervolumenbelastung beträgt

4534 m³/h/m³ und entsprechend für die maximale Auslegung 11335 m³/h/m³. Das Wurzelholz stammt aus einem Siebüberlauf und hat eine mittlere Länge von 15 cm. Die Befeuchtung erfolgte durch wie in Kap. 5.2.2.1 beschrieben über den sehr hohen Wassergehalt der Luft. Zusätzlich konnte durch den Landwirt eine manuelle Befeuchtung über einen Berieselungsschlauch erfolgen. Die zusätzliche Befeuchtung kam während der Untersuchungen nur sehr selten zum Einsatz, und beschränkte sich auf wenige Tage im Jahr.

4.2 Messgrößen

Für die Messungen im Rahmen einer Zertifizierung sind verschiedene Parameter in unterschiedlichen Intervallen zu erfassen. Auf der einen Seite sind die Emissionskenngrößen in Form der Staub-, Ammoniak- und Geruchskonzentration im Roh- und Reingas zu erfassen, und zum anderen sind die Rahmenparameter aufzuzeichnen, die einen Einfluss auf die Emissionen haben können. Hierbei handelt es sich um:

- Volumenstrom
- pH-Wert im Waschwasser
- Differenzdrücke
- Temperatur im Roh- und Reingas
- Relative Luftfeuchtigkeit im Roh- und Reingas
- Außentemperatur und -feuchtigkeit
- Betriebsmittelverbrauch (Wasser und Säure)
- Energieverbrauch
- Tieranzahl und deren Lebendmasse

4.3 Messtechnik und Verfahren der Messungen

Im Rahmen der Untersuchung an der Abluftreinigungsanlage wurden die Konzentrationen von Staub-, Geruch- und Ammoniak ermittelt. Damit die Abscheideleistung dieser Emissionsgrößen ermittelt werden konnte, wurden jeweils roh- und reingasseitig Proben entnommen. In der Abbildung 21 sind die Entnahmepunkte gekennzeichnet.

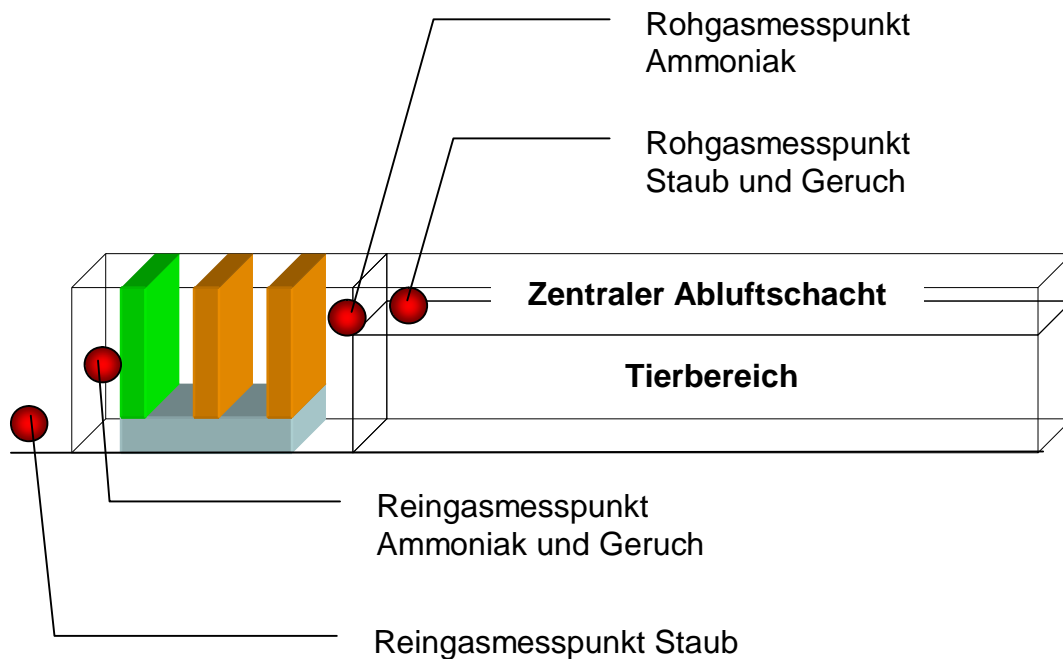


Abbildung 21: Lage der Messpunkte für die Emissionskenngrößen

Die Wahl der Entnahmepunkte und die Durchführung der Probennahme wird in den folgenden Kapiteln beschrieben. Die Messpunkte der Rahmenparameter wurden an den in der Abbildung 22 markierten Punkten installiert. Diese sind im Einzelnen nachfolgend aufgeführt (vgl. 4.3.4 ff.).

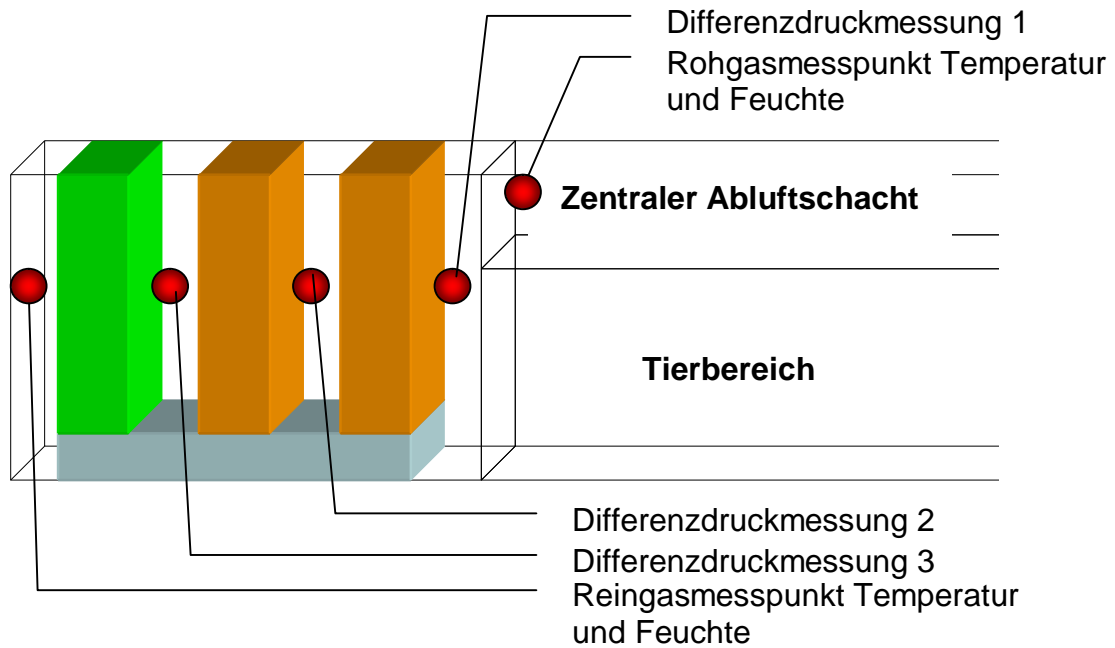


Abbildung 22: Lage der Messpunkte für die Rahmenparameter

4.3.1 Staubmessung

4.3.1.1 Probenahme Staub

Bei der Probenahme handelt es sich nicht um die klassische Entnahme eines zu prüfenden Stoffes und der späteren Auswertung. Bedingt durch die eingesetzte Messtechnik wird die Probe am Entnahmepunkt ausgewertet. Diese Messpunkte wurden an zwei Stellen eingerichtet. Die rohgasseitige Staubkonzentrationsmessung erfolgte im zentralen Abluftschacht unmittelbar vor den Ventilatoren. Die Messstelle wurde gewählt, um zu garantieren, dass die gesamte Staubfracht aus allen Abluftkanälen den Messpunkt passiert.

Reingasseitig wurde der Messpunkt ca. zwei Meter hinter den Auslassgittern in einer Höhe von 0,4 m positioniert. Eine Messung direkt hinter der dritten Abscheidungsstufe konnte aufgrund des angewendeten Messverfahrens, der Photospektroskopie nicht durchgeführt werden. Unmittelbar hinter der biologischen Stufe enthält das Gas viele Tröpfchen, die durch das Messgerät eingesaugt werden und das Messergebnis stark verfälschen würden.

Ein weiterer Grund ist, dass sich zwischen Filterstufe und Außenwand viel der im Reingas enthaltenen Feuchtigkeit an den Wänden und am Auslassgitter niederschlägt und die Abluftreinigungsanlage nicht verlässt. Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, wurde der Messpunkt aufgrund der Neigungswinkel der Auslassgitterbleche gewählt.

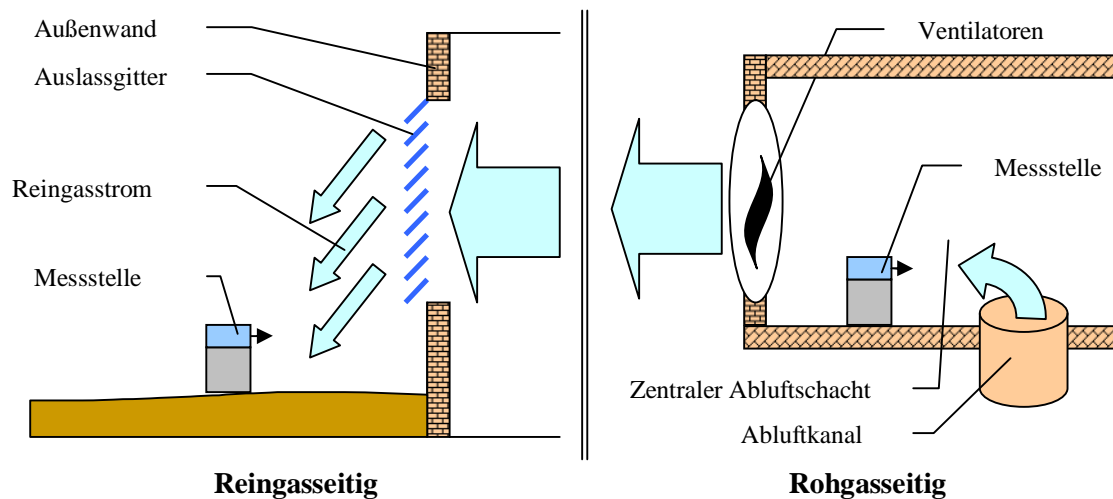


Abbildung 23: Positionierung der Staubmessstellen im Roh- und Reingas (Seitenansicht)

Die Wahl des Messpunktes wurde wiederholt durch den Einsatz von Nebel verifiziert.

Die Probennahme konnte, bedingt durch das Messverfahren, nicht an Tagen mit Niederschlag und starkem Seitenwind durchgeführt werden. Alle in Punkt 5.1 aufgeführten Messwerte wurden unter geeigneten Witterungsverhältnissen ermittelt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht die Ausströmrichtung der Reinluft und die Lage der Messstelle. Aus der Darstellung wird deutlich, dass der Bereich der Messstelle im Zentrum des austretenden Luftstroms positioniert ist. Die Gitterlammellen lenken die Luft in einem Winkel von 48° ab, so dass eine Impaktionszone am Boden in der Entfernung von 1,1 und 3,3 Metern entsteht (Bereich zwischen den beiden gestrichelten Linien). Der Pfeil veranschaulicht den Weg der Reinluft nach dem Verlassen der Abluftreinigungsanlage.

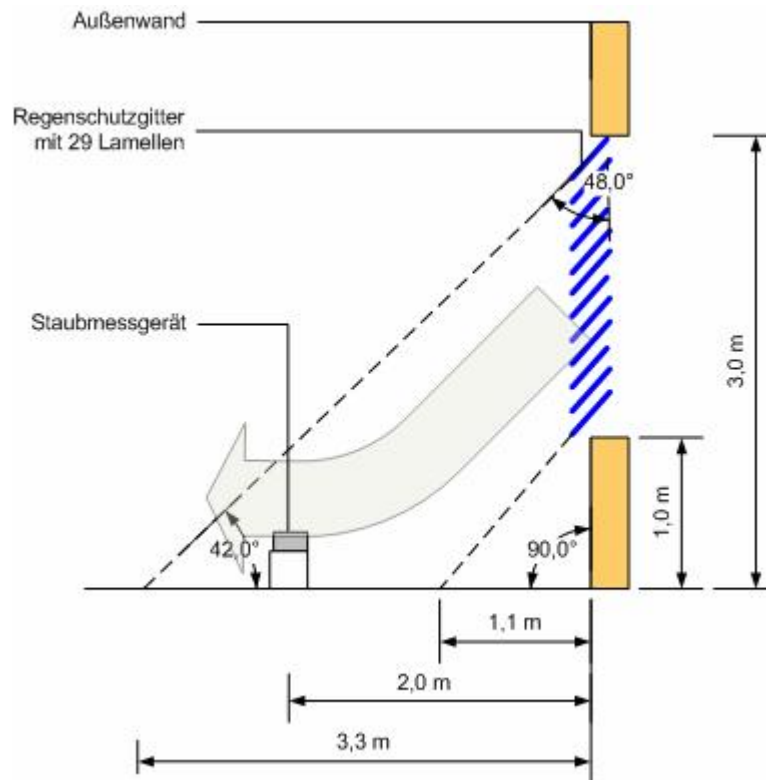


Abbildung 24: Strömungsbedingungen für das Reingas nach dem Austritt aus der Anlage

4.3.1.2 Funktionsprinzip der Staubmessung

Das Aerosol Spektrometer Modell 1.108 „Aircheck“ der Firma Grimm Aerosol Technik GmbH & Co KG, Airring ermöglicht die Einzelpartikelzählung und Größenklassifizierung in Echtzeit.

Die Probennahme erfolgt durch die in Abbildung 25 abgebildete Öffnung. Diese ist je nach Anwendungsbereich mit einem Probennehmer bestückt. Der so gesammelte Staub wird durch volumenstromgeregelte Pumpen als Luftfracht in die erschütterungsunempfindliche optische Messbank geführt. Hier werden die Partikel durch einen fokussierten Lichtstrahl gesaugt, der von einer Laserdiode erzeugt wird. Durch das Auftreffen des Laserstrahls auf das Partikel entsteht ein Streulichtsignal. Das Streulichtsignal wird von einer im 90° Winkel zur Laserdiode angebrachten High-Speed-Photodiode erfasst, so dass Farbveränderungen außer Acht gelassen werden können. Der so entstandene Impuls wird von einem Impulshöhenanalysator analysiert und in verschiedene Größenbereiche klassifiziert und gezählt. Masse oder Anzahl (pro Größenbereich) werden als Messdaten

auf die Datenspeicherkarte geschrieben. Die Messergebnisse werden als Masse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder als Anzahl in Partikel/Liter angegeben. Die Daten werden in Intervallen von sechs Sekunden (oder einer Minute) auf dem Display angezeigt.

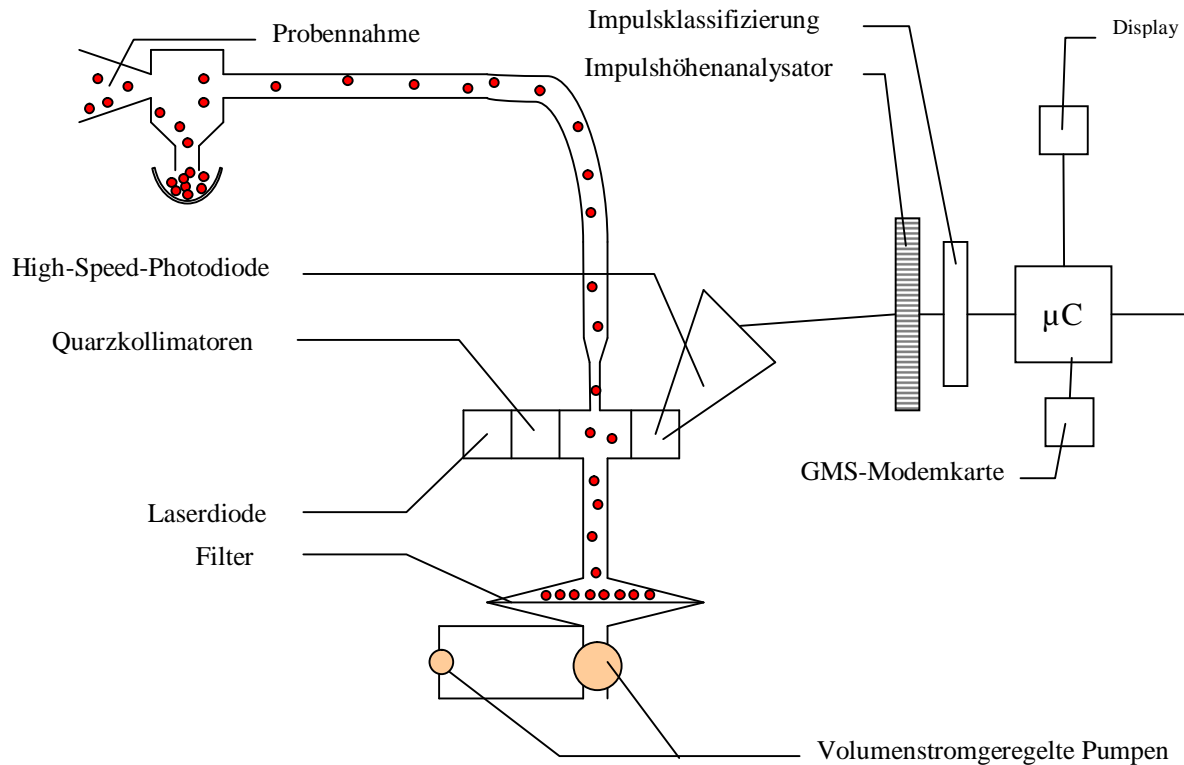


Abbildung 25: Funktionsschema eines Grimm Staubmessgerätes (Fa. Grimm)

Der Betrieb des Messgerätes kann alleine oder mit angeschlossenem Rechner erfolgen. Wird das „Aircheck“ Aerosol-Spektrometer alleine betrieben, werden die Werte aus einer Minute gebildet und gespeichert. Diese können dann später über eine serielle Schnittstelle (RS-232) auf einen Rechner übertragen werden. Bei einem Betrieb mit angeschlossenem Rechner ist eine direkte Datenübertragung der Messwerte möglich. Die Daten werden in sechs Sekundenintervallen übertragen.

Das Gerät kann in verschiedenen Modi, je nach Anwendungsbereich betrieben werden:

- *Partikelanzahl:* Es ist eine Bestimmung der Partikelanzahl von 1 bis 2000000 Partikel pro Liter ohne Veränderung des Größenbereichs oder der Verdünnung möglich. Die Ausgabe erfolgt in 15 Kanalgrößen (von 0,3 bis $>20 \mu\text{m}$).

- *Partikelmasse*: Die Messergebnisse werden (wie bei einem Impaktor) in 15 verschiedene Größenbereiche von 0,3 bis >20 µm, mit einer Massenkonzentration von 1 bis 100000 µg/m³ ausgegeben.
- *Arbeitsmedizinische Messwerte*: Unterteilung des Staubs in einatembare, thorakale und alveolengängige Massenfraktionen, entsprechend EN 481, ISO 7708 und OSHA.
- *EPA*: Gleichzeitige Ausgabe der Immissionswerte als PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁.

Der aktive Probengasfluss beträgt 72 Liter/Stunde bei konstanter Volumenkontrolle. Die gemessene Probe wird auf einem abnehmbaren 47 mm Teflon-Filter zur späteren gravimetrischen oder chemischen Analyse gesammelt [GRI 04].

Tabelle 11: Gerätespezifikation Grimm Aerosol Spektrometer

Bezeichnung:	Grimm Aerosol Spektrometer „Aircheck“
Modell Nr.:	1.108
Größenkalibrierung:	Mit monodispersen Latex
Massenkalibrierung	Mit polydispersen Stearin
Auflösung:	1 µg/m ³
Dichtekorrelation	Mit 47 mm PTFE-Filter
Stabile Durchflussrate	+/- 2%, unabhängig von der Partikelkolektion auf der Filteroberfläche
Arbeitstemperatur:	+ 4 bis +45°C
Datenspeicherung	256 Kb bis 64 Mb Karte
Datenausgabe:	Über RS 232 Datenausgang
Modemverbindung	Mittels PCMCIA Analogkarte
Abschluss:	12 VDC oder 110/220 VAC
Akkulaufzeit	Bis zu 7 Stunden
Speichertemperatur	-20 bis +60 °C
Gewicht:	2,5 kg
Abmessungen:	24 x 12 x 6 cm

4.3.2 Ammoniakmessung

4.3.2.1 Probennahme Ammoniak

Die Ammoniakkonzentration im Roh- und Reingas wurde mit einem Multigas Monitor der Firma Brüel & Kjær ermittelt. Zur Bestimmung des NH_3 -Gehaltes muss das zu testende Gas in das Messgerät geführt werden. Der Multigas Monitor verfügt über eine Pumpe, die über Schläuche das Probengas in die Messkammer pumpt.

Bei der Installation der Schläuche für die Probengasentnahme ist darauf zu achten, dass die Schläuche möglichst mit Gefälle verlegt werden. Das Gefälle sollte dabei in Richtung Gaseintrittsseite führen. So kann eventuell eintretende Feuchtigkeit, in Form von Aerosolen bzw. Kondenswasser aus dem Schlauch herauslaufen. Während des Messzeitraums hat sich die Installation eines Trichters vor der Einlassöffnung bewährt. Der Trichter ist mit der breiten Öffnung nach unten angebracht und schützt so den Ansaugschlauch vor Spritzwasser. Zusätzlich bieten die Trichterinnenwände eine große Kondensationsfläche, um Tröpfchen vor dem Schlaucheintritt abzusecheiden. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau des Messgerätes, sowie die Steuerung der Probenluftentnahme.

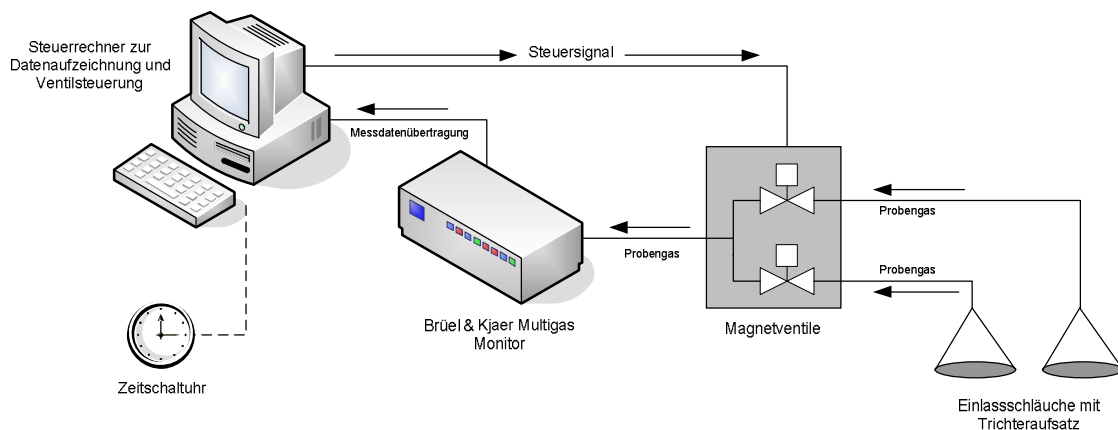


Abbildung 26: Aufbau des Ammoniakmessgerätes und der Probenentnahmesteuerung

Der Brüel & Kjær Multigas Monitor pumpt das Probengas über den angeschlossenen Schlauch in die Messkammer. Die Messdaten werden über eine serielle Schnittstelle an

den angeschlossenen Rechner übermittelt und dort gespeichert. Da bei der Messung sowohl im Roh- als auch im Reingas Probengas entnommen werden muss, sind zwei Messstellen nötig. Zu diesem Zweck sind zwei Magnetventile installiert worden, die abwechselnd eine der beiden Entnahmestellen freischalten. Die Steuerung der Magnetventile erfolgt über den angeschlossenen Steuerrechner. Dieser Rechner ist ein handelsüblicher Personal Computer. Da während der Sommermessungen im Steuerungsraum extrem hohe Temperaturen herrschten und es so des öfteren zu Systemabstürzen kam, wurde der Rechner per handelsüblicher Zeitschaltuhr zwei Mal am Tag heruntergefahren und nach kurzer Abkühlung automatisch mit dem Datenaufzeichnungsprogramm neu gestartet. Durch diese einfache Methode konnte der Datenverlust durch Systemausfälle minimiert werden. Die erste Abschaltung erfolgte von 0:00 bis 0:15 Uhr und die zweite von 17:45 bis 18:00 Uhr. Die Zeitpunkte der Abschaltung wurden so gewählt, weil davon ausgegangen werden konnte, dass die Raumtemperatur am frühen Abend soweit gesunken war, dass der Rechner wieder arbeiten konnte. Aus Sicherheitsgründen wurde der zweite Neustart in der Nacht durchgeführt. Die Systemausfälle waren auf eine Überhitzung des IDE-Controllers zurückzuführen und somit konnten keine Zugriffe mehr auf den Datenträger erfolgen. Das hatte zur Folge, dass die Daten vom Multigas-Monitor zwar korrekt übermittelt aber nicht gespeichert werden konnten. Mit der Installation der Zeitschaltuhr wurde der Datenverlust auf ca. 3 bis 4 Stunden begrenzt. Die dokumentierten Systemausfälle (Zeit und Datum des letzten Messwerts) fanden immer am frühen Nachmittag zwischen 14:00 und 16:00 Uhr statt.

4.3.2.2 Funktionsprinzip der Ammoniakmessung

Der Multigas Monitor Typ 1302 der Firma Brüel & Kjaer arbeitet mit einem photoakustischen Infrarot Spectrometer. In der folgenden Abbildung ist der schematische Aufbau des Messgerätes zu sehen.

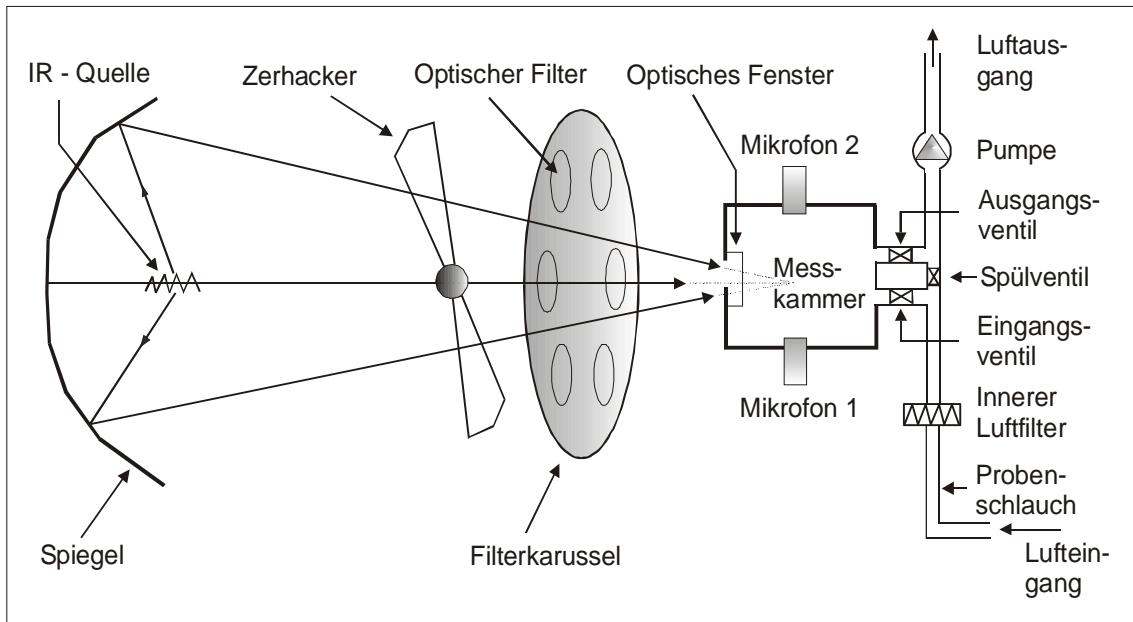


Abbildung 27: Geräteaufbau und Messprinzip des Multigasmonitors Typ 1302 (nach BRÜEL & KJær 1991)

Das Probegas wird mittels der integrierten Pumpe durch einen Schlauch in die Messkammer gepumpt. Die Funktionsweise der photoakustischen IR-Spectrometrie beruht auf der Tatsache, dass die zu messenden Gasmoleküle durch eine IR-Lichtquelle in Schwingung versetzt werden können. Diese Bewegung erzeugt Druck, der durch hochempfindliche Mikrofone gemessen werden kann.

Zwischen der Infrarotlichtquelle und der Messkammer ist ein mechanischer Zerhacker und ein optischer Filter installiert. Das infrarote Licht wird von der Quelle gegen einen Spiegel ausgestrahlt, dort reflektiert und gebündelt. Der so entstehende Lichtstrahl wird zerhackt und passiert den entsprechenden optischen Filter. Durch ein optisches Fenster gelangt der IR-Lichtstrahl in die Messkammer und trifft dort auf die Gasmoleküle. Beim Auftreffen auf die Gasmoleküle werden diese angeregt und erzeugen durch ihre Bewegung einen Druckstoß. Der so erzeugte Schalldruck wird von zwei hochempfindlichen Mikrofonen gemessen. Durch die akustische Detektion wird die Konzentration, des gesuchten Gases ermittelt.

4.3.3 Geruchsmessung

4.3.3.1 Probennahme

Die für die Messungen nötigen Proben wurden an verschiedenen Stellen im Roh- und Reingas entnommen (siehe Kap. 4.3; Abbildung 21).

Die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration erfolgte durch die olfaktometrische Auswertung der Roh- und Reingasproben [Man 02]. Die Proben wurden mit einem Probennehmer (Vacuum Sampling Device), der Firma ECOMA Emissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH entnommen. Bei dem Probennehmer handelt es sich um ein Kunststoffrohr, mit integrierter Vakuumpumpe. In diesem Rohr wird ein Probenbeutel fixiert. Dann wird es mit einem Deckel verschlossen. Betätigt man nun die Vakuumpumpe, entsteht im Rohr ein Unterdruck, der den Beutel mit dem Probegas füllt. Das Gas gelangt über die im Deckel befindliche Einlassöffnung in den Beutel. In der folgenden Abbildung ist der Aufbau schematisch dargestellt.

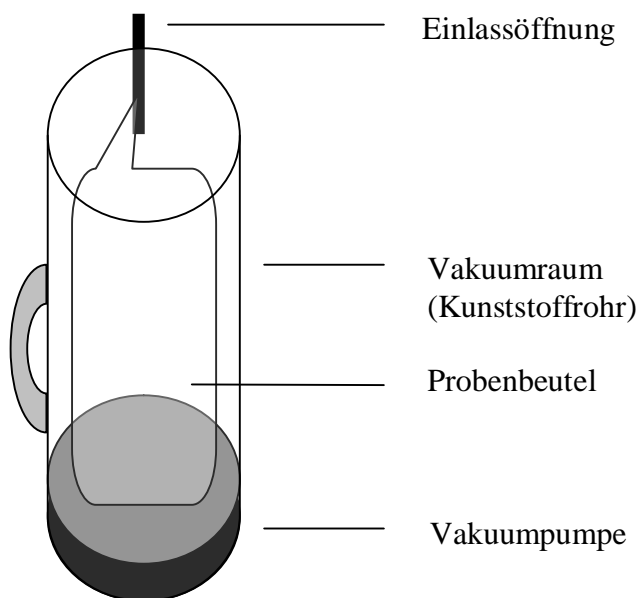


Abbildung 28: Schematische Darstellung des Probennehmers

Die Geruchsproben für die Bestimmung der Rohgasbelastung wurden im zentralen Abluftschacht unmittelbar vor den Ventilatoren entnommen (siehe Abbildung 21). Eine weitere Probe wurde zwischen der zweiten und dritten Filterwand entnommen. Die

Entnahme der Reingasproben erfolgte hinter der dritten Filterwand. Da diese noch innerhalb des Gebäudes installiert ist, konnte auf eine Saugglocke verzichtet werden, die normalerweise nach VDI 3881 zur Entnahme von Geruchsproben an Biofiltern verwendet werden muss.

Die Auswertung der Geruchsproben erfolgte gemäß VDI Richtlinie 3881 im Labor innerhalb von 24 Stunden nach Entnahme des Probengases. Zur olfaktometrischen Analyse der Proben wurden im Verlauf der Messung verschiedene Olfaktometer eingesetzt. Im Einsatz waren TO7 und TO8 der Firma Ecoma Emissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH. Die zur Olfaktometrie eingesetzten Probanden wurden alle mehrmalig auf ihre Eignung geprüft. Die Eignung der Probanden wurde mit N-Butanol festgestellt. Nach der VDI-Richtlinie muss der Gasgeruch von jedem Probanden innerhalb eines Fensters von 500 bis 2000 GE/m³ erkannt werden.

Die Geruchstoffkonzentration der Proben wurde mit je 4 Probanden und je zwei Wiederholungen ermittelt. Die Messungen im Winter wurden im Zeitraum vom 15.1.2003 bis zum 20.3.2003, die Sommermessungen vom 22.5.2003 bis zum 22.9.2003 durchgeführt.

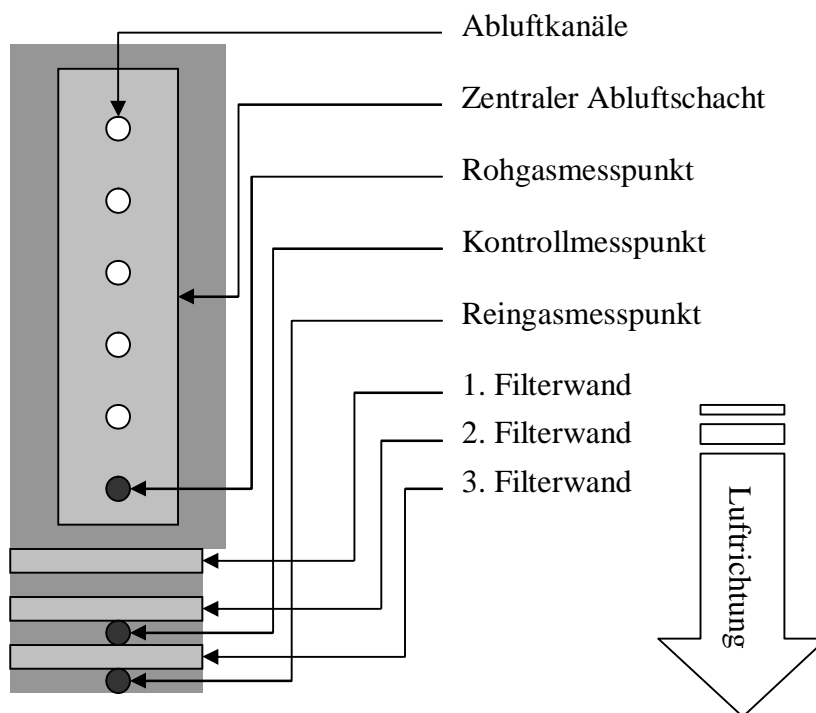


Abbildung 29: Entnahmestellen für die Geruchsproben (Draufsicht)

4.3.3.2 Olfaktometrie

4.3.3.2.1 Olfaktometer

Die zur olfaktometrischen Auswertung der Geruchsproben eingesetzten Olfaktometer variierten während des Messzeitraumes. Das zum Start der Messungen angeschaffte Olfaktometer Typ „TO8 der Fa. Ecoma Emissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH, Honigsee“ funktionierte aufgrund von Soft- und Hardwareproblemen nicht einwandfrei. Somit wurden die ersten Geruchsproben mit einem von der Firma Ecoma gestellten TO7 ausgewertet. Im Verlauf der späteren Messungen war das TO8 wieder einsatzbereit.

Tabelle 12: Spezifikationen der eingesetzten Olfaktometer

	Kommerzielles Olfaktometer	Kommerzielles Olfaktometer
Fabrikat	Ecoma GmbH	Ecoma GmbH
Typ	TO7	TO8
Baujahr	2000	2002
Geräte-Nr.	EO.063	EO.0817
Verdünnungsprinzip	Gasstrahlpumpe	Gasstrahlpumpe
Integrierte Vorverdünnung	Mit Gasstrahlpumpe, einstellbares Vormischverhältnis	-
Regelmechanismus der Volumenströme	Schwebekörper-Durchflussmesser, Optische Kontrolle der Verdünnungseinstellung	Kalibrierte Messblenden
Optische Kontrolle der Verdünnungseinstellung	Nein	Nein
Überschussauslass für Probenluft	Vormischerabluft über Aktivkohlefilter	Abluft über Aktivkohlefilter
Anzahl der Ausgänge für Riechproben	4 (1 je Probandenplatz)	4 (1 je Probandenplatz)
Anzahl der Probanden, die gleichzeitig am Gerät arbeiten	4	4
Gestaltung des Olfaktometers Ø Riechrohr mm Maske (Material: Glas) Volumenstrom der Riechprobe min 1,2 m ³ /h	Nicht abdichtende Glasmaske Je Messplatz (Einatemphase)	Nicht abdichtende Glasmaske Je Messplatz (Einatemphase)
Größte einstellbare Verdünnungseinheit ohne/mit	640 / 64000	2 ¹⁶

Vorverdünnung Kleinste einstellbare Verdünnungseinheit ohne/mit Vorverdünnung	2,5 / 62,5	2 ²
Standardabweichung der Einstellung der Verdünnungsstufen	< 10%	< 10%
Datum der letzten Kalibrierung des Gerätes	17.12.2002 (Fa. Ecoma)	17.12.2002 (Fa. Ecoma)
Befeuchtungseinrichtung für Neutralluft	Nein	Nein
Befeuchtungseinrichtung für Riechproben	Nein	Nein
Ansprechzeit	< 1 s	< 1 s
Einstellzeit	< 1,5 s	< 1 s

4.3.3.2.2 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv bestand bei beiden eingesetzten Olfaktometern aus je vier Probanden und einem Probenleiter. Die Eignung der Probanden wurde regelmäßig kontrolliert. Diese Kontrolle erfolgte durch eine Geruchsschwellenprüfung mit N-Butanol. Jeder der Probanden musste dabei den Gasgeruch innerhalb eines Geruchsfensters von 500 bis 2000 GE/m³ erkennen [VDI 3881]. Durch diese Eignungsprüfung konnte sichergestellt werden, dass die Probanden für die Olfaktometrie geeignet waren. Der Probenleiter wurde durch den Einsatz des TO8, im Gegensatz zu den Vorläufermodellen, stark entlastet, da die Verdünnungsstufen nicht mehr manuell eingestellt werden mussten. Dadurch konnte der Probenleiter sich voll und ganz um die Messungen kümmern.

Die Darbietungszeit der Proben betrug 2,2 Sekunden. Das heißt, dass jeweils für Ein- und Ausatemphase ein Wert von 2,2 Sekunden eingestellt war. Dieses entspricht einem normalen Atemtakt. Zwischen den einzelnen Probendurchläufen wurde die vorgeschriebene Pausenzeit von mindestens einer Minute eingehalten. Bei einer Auswertung von mehreren Proben wurde dem Probandenkollektiv eine entsprechende Pause gewährt.

4.3.4 Volumenstrombestimmung

Die Bestimmung des Volumenstroms wurde über eine Wirkdruckmessung an genormten Drosselgeräten durchgeführt [nach DIN EN ISO 5167 und VDI/VDE 2040]. Die am Axialventilator, der Firma Ziehl-Abegg Künzelsau, durchgeführte Wirkdruckmessung arbeitet nach folgendem Prinzip. Es wird der statische Druck vor der Einlaufdüse mit dem statischen Druck in der Einlaufdüse verglichen und ergibt den statischen Differenzdruck(= Wirkdruck Δp_w). Der zu prüfende Ventilator wird innerhalb eines Ventilatorprüfstandes angebracht. Dort werden Volumenstrom, statischer Druck, elektrische Motordaten und Wirkdruck etc. ermittelt. Über diese Messungen kann jedem Volumenstrom ein Wirkdruck zugeordnet werden. Aus diesen ermittelten Wertepaaren (Δp_w und Volumenstrom) wird durch die Verwendung der folgenden Gleichungen ein k-Faktor errechnet, dessen Wert über alle Betriebspunkte als konstant angenommen wird.

$$\bar{V} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_w}{\rho}} \quad (1)$$

Fasst man die „düsenpezifischen“ Größen einschließlich der Dichte zu einem gemeinsamen Faktor (k) zusammen ergibt sich daraus (2):

$$\bar{V} = k \sqrt{\Delta p_w} \quad (2)$$

V	Volumenstrom [m ³ /s]
α	dimensionslose Durchflusszahl
ε	dimensionslose Expansionszahl
A_d	Querschnittsfläche der Einlaufdüse am Ort der Druckmessung [m ²]
Δp_w	Differenzdruck der statischen Drücke [Pa]
ρ	Luftdichte [kg/m ³]
k	düsenpezifischer Faktor

Der k-Faktor fasst die spezifischen Eigenschaften einer speziellen Ventilator-Düsenkombination zusammen. Der k-Faktor ist dichteabhängig. Soll der auf dem

Prüfstand ermittelte k-Faktor auf unterschiedliche Luftdichten umgerechnet werden, so gilt folgender Zusammenhang.

$$k_{p2} = \frac{k_{p1}}{\sqrt{\frac{p_2}{p_1}}} \quad (3)$$

k_{p1} k-Faktor bei Dichte p_2

k_{p2} k-Faktor bei Dichte p_1

p_1 bekannte Luftdichte bei der der k-Faktor am Prüfstand ermittelt wurde

p_2 Luftdichte, für die der k-Faktor zu bestimmen ist

4.3.5 pH-Wertbestimmung

Die Messung des pH-Wertes wurde mit einem pH-Wert-Messgerät, Modell Dulcotest, der Firma ProMinent, Heidelberg durchgeführt. Die Dosierung der Säure wurde über Messung des pH-Werts gesteuert. Die Beta Magnet Membran Dosierpumpe wird durch das Dulcometer Modell D2C gesteuert.

Über eine pH-Wert-kontrollierte Schwefelsäuredosierung wird eine erhöhte Ammoniakabscheidung im zweiten Wasserkreislauf (Wasserspeicherbecken 2) erreicht. Hierzu wird der im Vorraum des Abluftwäschers platzierten pH-Wert-Elektrode kontinuierlich ein Teilstrom aus der Druckleitung dieses Wasserkreislaufes zur Bestimmung des pH-Wertes zugeführt. Der Wasserfluss wird einmalig über einen dafür vorgesehen Kugelhahn eingestellt. Überschreitet der gemessene pH-Wert den eingestellten pH-Sollwert am Regler, der je nach benötigtem Ammoniakabscheidungsgrad zwischen 4 und 7 liegen kann, so wird über die Dosierpumpe Schwefelsäure dem Wasser zugeführt und drucklos in das Wasserspeicherbecken 2 geleitet. Die Eindosierung des Wasser/Säure-Gemisches erfolgt in der Nähe der Tauchpumpe, so dass eine gleichmäßige Verteilung sichergestellt ist. Die gesamte Säuredosiertechnik (Säurevorratsbehälter, Dosierpumpe, pH-Wert Elektrode, usw.) ist in dem dafür vorgesehenen Vorraum installiert.

4.3.6 Differenzdruckbestimmung

Die Differenzdruckmessung erfolgte mit dem Sensor Thor 2 der Firma ConSens GmbH, Ilmenau. Dieser Sensor überträgt Druck über ein Membranmesswerk. Dabei wird die Lageänderung einer Silikonmembran von einem Differentialtransformator erfasst und über die eingebaute Elektronik in SMD-Technik in ein Ausgangssignal von 0...10 V umgeformt. Die Fehlergrenze (Nullpunktabweichung) liegt bei ca. +/- 0,75 %. Der Temperaturdrift um den Nullpunkt wird vom Hersteller mit +/- 0,3%/10 K angegeben. Innerhalb der Messspanne beträgt dieser +/- 0,2%/10 K.

4.3.7 Temperatur und Feuchtigkeitsbestimmung

Die Lufttemperaturen wurden, wie in Abbildung 22 zu sehen ist, jeweils vor und nach der Abluftreinigungsanlage gemessen. Die erste Temperaturmessung erfolgte rohgasseitig im zentralen Abluftschacht. Reingasseitig wurde innerhalb des Gebäudes der Abluftreinigungsanlage zwischen der dritten Stufe und den Auslassöffnungen gemessen.

Das Gerät misst die Temperatur mit einem NTC10K Sensorelement und die Feuchtigkeit der Luft mit einem kapazitiven Sensor. Der Temperaturmessbereich liegt bei 0-50°C, mit einer Messgenauigkeit von +/- 0,5 K (bei 20°C). Die relative Feuchte kann in einem Bereich von 10 bis 99,9% r.F. gemessen werden. Die Messgenauigkeit beträgt +/- 5% r.F. Der Sensor erreicht eine Langzeitstabilität von +/- 1% r.F./Jahr.

4.3.8 Außentemperatur und Feuchtebestimmung

Für die Ermittlung der Außenbedingungen, z.B. Temperatur und Luftfeuchte wurde die Wetterstation in Holdorf genutzt. Die Wetterstation Holdorf erschien durch die räumliche Nähe als Messstelle nach Rücksprache mit dem regionalen Wetterdienst geeignet.

Die in Tabelle 13 aufgeführten Wetterdaten wurden mit einer Funk-Wetterstation WMR 900 H der Firma Huger Elektronik digital gemessen. Zur Auswertung wurde die Software Weather Display genutzt. Die Bestimmung der Niederschlagswerte wurde manuell mit einem Hellmann-Regenmesser durchgeführt.

Die durchschnittliche Wintertemperatur (von Januar bis März) betrug 3,5°C, bei einer Luftfeuchtigkeit von 64,4 %. Während des Sommers konnte eine durchschnittliche Temperatur von ca. 20,3°C, bei einer Luftfeuchtigkeit von 58,4 % ermittelt werden. Diese Temperaturen entsprechen jahreszeittypischen klimatischen Gegebenheiten. Der Juli 2003 wies jedoch die höchsten Temperaturen seit Beginn der Datenaufzeichnung 1901 auf.

Tabelle 13: Wetterdaten

Datum	Uhrzeit	Temperatur °C	Luftfeuchtigkeit %	Taupunkt °C	Luftdruck hPa	Windgeschwindigkeit kt	Windgeschwindigkeit m/s	Windrichtung	Niederschlag l/qm	MaxT °C	MinT °C
16.01.03	10:00	5,5	79,0	2,2	1018	13	6,63	235	0,1	7,4	5,1
22.01.03	10:00	5,5	82,0	2,7	986	1	0,51	115	1,2	9,3	5,5
06.02.03	10:00	0,5	59,0	-6,6	1014	2	1,02	25	0,0	3,3	0,0
20.02.03	07:00	0,0	15,0	-23,6	1014	0	0,00	0	0,0	1,8	-2,7
27.02.03	10:00	1,4	65,0	-4,5	1011	0	0,00	0	0,0	10,4	-0,6
12.03.03	10:00	7,7	85,0	5,3	1013	8	4,08	225	0,7	9,2	7,4
20.03.03	19:11	3,9	66,0	-1,9	1023	0	0,00	0	0,0	7,3	3,4
22.04.03	10:00	15,7	43,0	3,2	1010	2	1,02	110	2,0	16,3	11,5
27.04.03	10:00	13,5	73,0	8,8	1002	18	9,18	230	0,0	24,7	11,8
18.06.03	10:00	21,4	73,0	16,4	1010	2	1,02	265	0,0	26,6	18,6
08.07.03	10:00	22,0	57,0	13,1	1017	3	1,53	150	3,4	27,6	13,7
06.08.03	10:00	24,5	51,0	13,7	1020	3	1,53	70	0,0	31,6	18,0
11.08.03	10:00	26,8	36,0	10,5	1015	6	3,06	65	0,0	34,7	21,6
17.09.03	10:00	16,2	86,0	13,9	1019	0	0,00	245	0,0	25,3	14,0
22.09.03	10:00	22,6	48,0	11,0	1006	8	4,08	120	2,9	29,0	17,1

4.3.9 Tieranzahl und Lebendmassebestimmung

Die Stallbelegung innerhalb der zwei Messzeiträume ist der Tabelle 14 zu entnehmen. Die maximale Tierzahl bei voller Belegung beträgt 600 Mastschweine. Die Tierzahl und deren Gewicht wurde durch den Landwirt dokumentiert. Das Einstallgewicht der Schweine betrug ca. 28 kg Lebendmasse. Beim Ausstallen hatten die Tiere ein Gewicht von ca. 115 kg.

Tabelle 14: Stallbelegung und Tiergewichte

Zeitraum1:	30.10.2002 bis 20.03.2003	
	Anzahl Tiere	Tiergewicht [kg]
30.10.2002	563	85
06.11.2002	563	90
13.11.2002	563	95
20.11.2002	362	100
27.11.2002	224	105
04.12.2002	224	110
11.12.2002	72	115
18.12.2002	600	28
25.12.2002	600	33
01.01.2003	600	38
08.01.2003	600	44
15.01.2003	600	50
22.01.2003	600	56
29.01.2003	600	63
05.02.2003	600	70
12.02.2003	600	76
19.02.2003	600	82
26.02.2003	600	88
05.03.2003	600	93
12.03.2003	600	98
20.03.2003	600	104

Zeitraum2:	22.05.2003 bis 22.09.2003	
	Anzahl Tiere	Tiergewicht [kg]
22.05.2003	600	28
27.05.2003	600	31
03.06.2003	600	35
10.06.2003	600	40
17.06.2003	600	45
24.06.2003	600	51
01.07.2003	600	56
08.07.2003	600	62

15.07.2003	600	68
23.07.2003	600	74
30.07.2003	600	80
06.08.2003	600	85
13.08.2003	600	90
20.08.2003	600	95
25.08.2003	600	100
01.09.2003	600	105
08.09.2003	600	110
15.09.2003	600	115
22.09.2003	210	115

4.4 Methodische Vorgehensweise

Die methodische Vorgehensweise wurde entsprechend den Vorgaben des Leitfadens des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung durchgeführt.

Der Leitfaden gibt ein Programm für die Durchführung der Messungen vor. Die Durchführung des Messprogramms kann durch eine Messstelle, nach § 26 BImSchG oder eine Hochschule nach den Vorgaben des Länderausschuss Immissionsschutz (LAI) erfolgen. Die Messkomponenten und –häufigkeiten sind in „Allgemeine Parameter“ und Emissionskenngrößen aufgeteilt. Darüber hinaus gibt es noch spezifische Parameter für Abluftwäscher und -filter.

Der Leitfaden schreibt folgende wöchentliche Einzelmessungen vor:

- Außentemperatur und Feuchte;
- Temperatur und Feuchte im Roh- und Reingas;
- Differenzdruck vor und nach der Anlage;
- Volumenstrombestimmung.

Die Bestimmung der Emissionskenngrößen erfolgt nach folgenden Vorgaben:

- Messung der Staubkonzentrationen im Roh- und Reingas, wöchentlich
- Ammoniak- / Temperaturmessungen im Roh- und Reingas, kontinuierlich
- Geruchsbestimmung nach VDI 3881, wöchentlich 3x Rohgas und 3x Reingas, sowie die Beschreibung des Reingasgeruchs

Als spezifische Parameter werden die folgenden Daten gefordert:

- Drainage – bzw. Wäscherwassermengen;
- Frischwasserverbrauch / Abschlammrate;
- Mengenbilanz aller flüssigen Einsatzstoffe und Verbleib der Reststoffe;
- pH-Wert;
- Stickstoffbilanz (zur Vermeidung von Sekundäremissionen).

Beim Einsatz von Biofiltermaterial werden zusätzlich die folgenden Parameter gefordert:

- Frischwasserverbrauch
- Wassergehalt des Materials
- pH-Wert

Des Weiteren ist eine Fahnenbegehung (Geruchsschwellenentfernung) nach [VDI 3940] durchzuführen.

Die Messdauer ist je nach Tierart und Haltungsart unterschiedlich. Für die Schweinehaltung schreibt der Leitfaden des Landkreises Cloppenburg eine Messdauer von je zwei Monaten während des Winters und während des Sommers vor. Hierbei ist eine gleichmäßige und durchschnittliche Belegungsdichte zu berücksichtigen. Zusätzlich sollte die Endmastphase in den Messzeitraum mit einbezogen werden.

4.5 Planung und Durchführung

Aus den im vorhergehenden Punkt 4.4 genannten Vorgaben des Leitfadens des Landkreises Cloppenburg resultierte die Planung und die Durchführung der Messreihe. Die im Leitfaden geforderten Parameter wurden zum einen durch die in Punkt 4.3 aufgeführte Messtechnik bestimmt, und zum anderen durch die anlageneigene Messwertaufzeichnungs- und Steuerungsanlage „Amacs“.

Vorversuch:

Der Zeitraum des Vorversuchs begann Ende September 2002 und endete im Dezember 2002. Während dieses Zeitraums wurde die untersuchte Abluftreinigungsanlage von zwei auf drei Stufen erweitert und verschiedene Einstellungen der Säuredosierung getestet.

Mitte November wurde mit der biologische Schüttung die dritte Stufe der Abluftreinigungsanlage hinzugefügt, um so die Wirksamkeit der Geruchsabscheidung zu erhöhen.

Im Rahmen einer Testreihe wurde im Vorversuchszeitraum komplett auf den Schwefelsäureeinsatz verzichtet, eine sehr geringe Säurekonzentration gefahren und schließlich die „Anlaufzeit“ nach einem kompletten Waschwasserwechsel untersucht.

Hauptversuch

Der Hauptversuch wurde als Messreihe gemäß des Cloppenburger Leitfadens in zwei Blöcken durchgeführt. Der erste Block, der Wintermessungen begann am 06.01.2003 und endete am 20.03.2003. In diesem Zeitraum konnte der Einfluss jahreszeittypischer Witterungsverhältnisse untersucht werden. Die Messungen unter Sommerbedingungen wurden in einem zweiten Block durchgeführt. Der Messzeitraum begann am 22.05.2003 und endete am 22.09.2003.

Die Fahnenbegehung wurde durch die LUFA Nord-West, Institut für Boden und Umwelt durchgeführt.

5 Ergebnisse

5.1 Verfahrenstechnische Bewertung und Beurteilung

Im Rahmen des Vorversuchs wurde die Ammoniakabscheidung der Abluftreinigungsanlage ermittelt. Hierzu wurde neben den Punkten zur Roh- und Reingasmessung noch ein weiterer Messpunkt zwischen erster und zweiter Reinigungsstufe eingerichtet. In Abbildung 30 ist der Verlauf der Ammoniakkonzentration über den Vorversuchszeitraum zu sehen. Bis zum 5. November 2002 wurde die Abluftreinigung mit Schwefelsäure betrieben. In diesem Zeitraum ist zu beobachten, dass die Konzentrationen von Roh- und „Zwischengas“ (Zwischengas beschreibt die Ammoniakkonzentration zwischen erster und zweiter Reinigungsstufe, also vor der Säurebehandlung) ähnlich verlaufen. Der Abstand zwischen den beiden Graphen und dem des Reingases ist jedoch größer. Dieses deutet auf eine durch die Säure bedingte Abscheideleistung hin. Vom 7. bis 9. November wurde die Anlage umgerüstet, gereinigt und das Waschwasser gewechselt. Der folgende Zeitabschnitt wurde ohne Säureeinsatz in der zweiten Stufe gefahren. Abbildung 30 zeigt ein Abfallen der Ammoniakkonzentration im Rein- und Zwischengas, sowie einen durch das Tiergewicht bedingten Anstieg des Rohgases. Die Schwankungen der Reingaskurve Anfang Dezember sind auf das teilweise Ausstellen und Reinigen des Stalls zurückzuführen. Das Ausstallgewicht der Tiere betrug ca. 115 kg. Gegen Ende des Messzeitraums (18.12.02) ist der Stall neu mit voller Tierzahl belegt worden. Die Tiere waren beim Einstellen ca. 28 kg schwer.

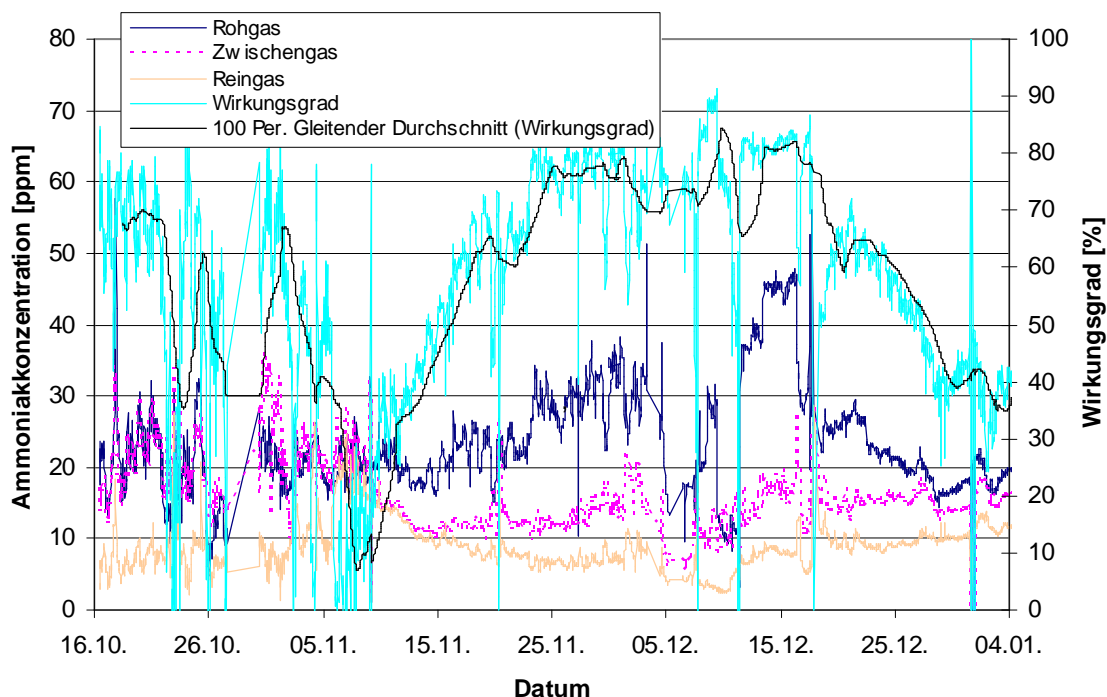


Abbildung 30: Verlauf der Ammoniakkonzentration und des Wirkungsgrades während des Vorversuchs

Betrachtet man den Verlauf des Wirkungsgrades, so ist zu sehen, wie ohne Säureinsatz unter Winterbedingungen eine Abscheideleistung von über 70 % erzielt wurde. Fraglich ist jedoch, wie lange diese Leistung aufrechterhalten werden kann, da sich eine Sättigung des Washwassers mit Ammoniak einstellen wird. Um den Kurvenverlauf besser zu erkennen ist das Diagramm in Anhang 4 in einer größeren Darstellung zu finden.

Wie in Tabelle 15 zu sehen ist, konnte bereits im Vorversuchszeitraum eine Staubabscheidung der inhalierbaren Partikel von 93,2 % im Mittel erreicht werden. Bei den Partikeln der Größenklasse PM_{10} lag die mittlere Abscheidung bei 89,1 %.

Tabelle 15: Staubabscheidung während der Vorversuche

inhalierbar Datum	Rohgas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reingas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkungsgrad %
01.10.2002	780,0	36,0	95,38
09.10.2002	854,4	59,7	93,01
16.10.2002	1375,8	75,9	94,48
23.10.2002	598,5	71,1	88,12

PM₁₀ Datum	Rohgas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reingas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkungsgrad %
01.10.2002	363,3	31,5	91,33
09.10.2002	348,9	48,6	86,07
16.10.2002	417,3	51,0	87,78
23.10.2002	343,8	63,0	81,68
* Gravimetriefaktor von 0,3, vgl. 5.1.1.2			

Während des Vorversuchszeitraums war die Abluftreinigungsanlage lediglich mit zwei Reinigungsstufen ausgerüstet. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Geruchskonzentrationen im Roh- und Reingas haben gezeigt, dass die Geruchsreduktion ohne eine biologische Stufe nur bis ca. 43 % möglich war. Auffällig ist, dass die Reingaskonzentrationen sehr hoch liegen. Die hedonische Bewertung der Geruchsproben im Reingas ergab, dass typische Schweinegeruch eindeutig wahrnehmbar war.

Tabelle 16: Geruchsstoffkonzentration während des Vorversuchs

Datum	Geruchskonzentration im Rohgas [GE/m ³]	Geruchskonzentration im Reingas [GE/m ³]	Wirkungsgrad [%]
19.09.2002	2366	1433	39,9
25.09.2002	1700	1450	14,7
09.10.2002	2650	1750	33,9
16.10.2002	3750	2700	28,0
23.10.2002	3500	2000	42,8

Um die Geruchsabscheidung entscheidend zu verbessern, wurde anschließend eine dritte biologische Reinigungsstufe eingebaut.

5.1.1 Reinigungsleistungen und deren Abhängigkeiten

Die Reinigungsleistung ist von mehreren Faktoren abhängig. In den folgenden Punkten wird untersucht, welche Faktoren einen Einfluss auf die Reinigungsleistungen der Emissionsfaktoren „Ammoniak“, „Geruch“ und „Staub“ haben. Da die Abluftreinigungsanlage mit einem fest eingestellten pH-Wert arbeitet, ist dieser über den Zeitverlauf als Einflussfaktor zu vernachlässigen. In den nachfolgenden Untersuchungen werden die folgenden Einflussgrößen betrachtet:

- Lufttemperatur im Rohgas
- Tierzahl und Lebendmasse
- Luftvolumenstrom
- relative Luftfeuchte im Rohgas

5.1.1.1 Ammoniakabscheidung

Die Ammoniakabscheidung ist von mehreren Faktoren abhängig. Den größten Einfluss haben hierbei das Wasserwechselintervall, der pH-Wert des Wassers, also die eingesetzte Säuremenge und die Temperatur. Allgemein kann man sagen, dass der Abscheidungsgrad steigt, wenn das Wasser häufig gewechselt wird, der Säuregehalt hoch ist, entsprechend der pH-Wert niedrig und die Temperatur des Waschmediums bei $>20^{\circ}\text{C}$ liegt.

Im folgenden Diagramm der Abbildung 31 sind die Einflussfaktoren auf die Ammoniakkonzentrationen dargestellt. Mit zunehmender Lebendmasse der Tiere steigt die Temperatur im Rohgas, sowie die Menge der ausgeschiedenen Exkreme. Die Exkreme beeinflussen die Ammoniakkonzentration des Rohgases. Die Temperatur im Rohgas wird durch den Volumenstrom geregelt, wobei die Lüftungsrate über die Rohgastemperatur gesteuert wird. Durch einen erhöhten Volumenstrom wird die

Ammoniakkonzentration im Rohgas gesenkt, da es hier zu einer Verdünnung des Gases kommt.

Durch den Betrieb einer Abluftreinigungsanlage wird ein Teil des Ammoniaks abgeschieden, so dass lediglich die Restkonzentration im Reingas den Stall verlässt.

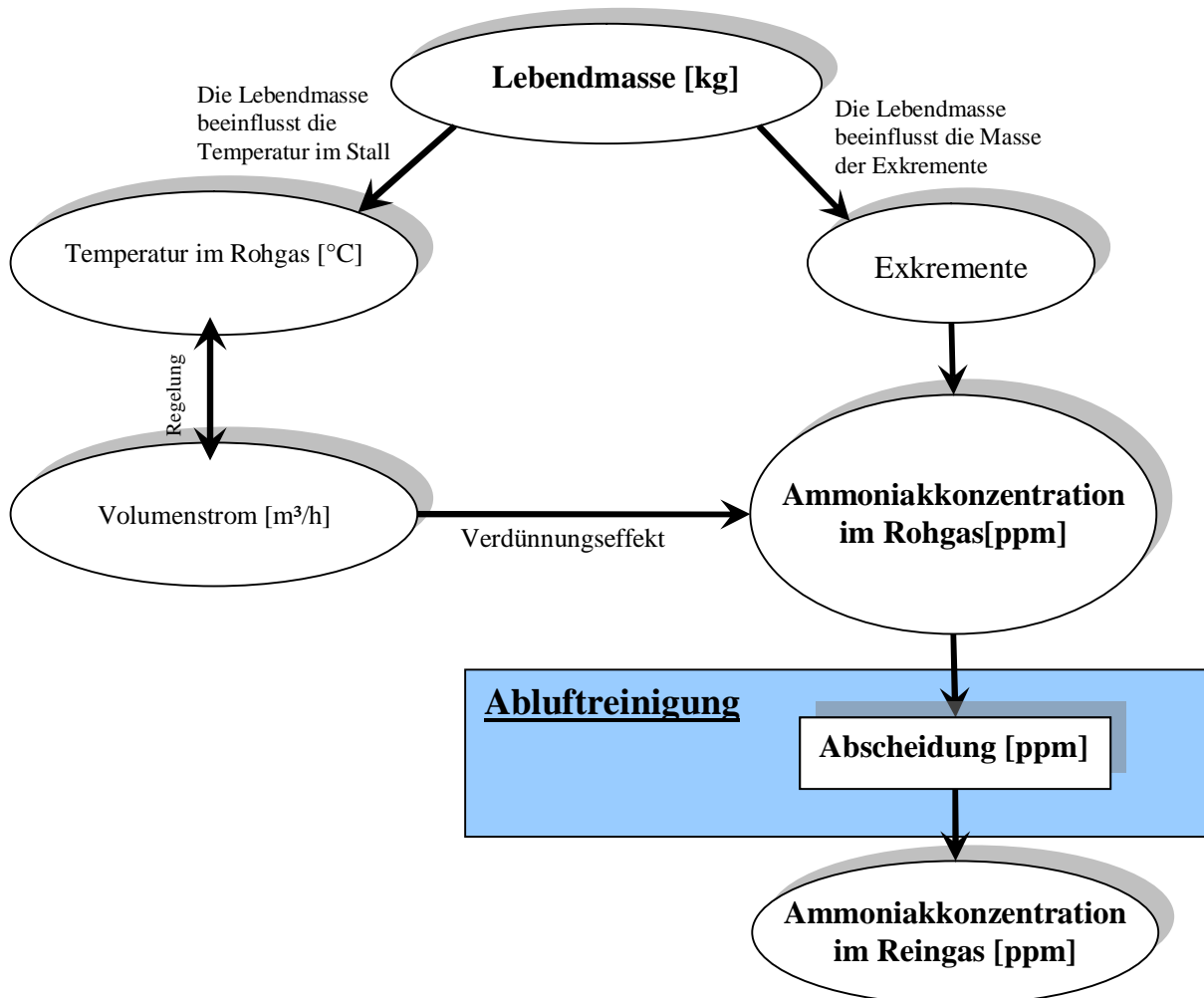


Abbildung 31: Einflussfaktoren auf Ammoniakkonzentrationen

Die folgenden Diagramme zeigen den Verlauf der Ammoniakkonzentration während der beiden Messperioden. Neben den Ammoniakkonzentrationen des Roh- und Reingases ist der daraus resultierende Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage abgebildet.

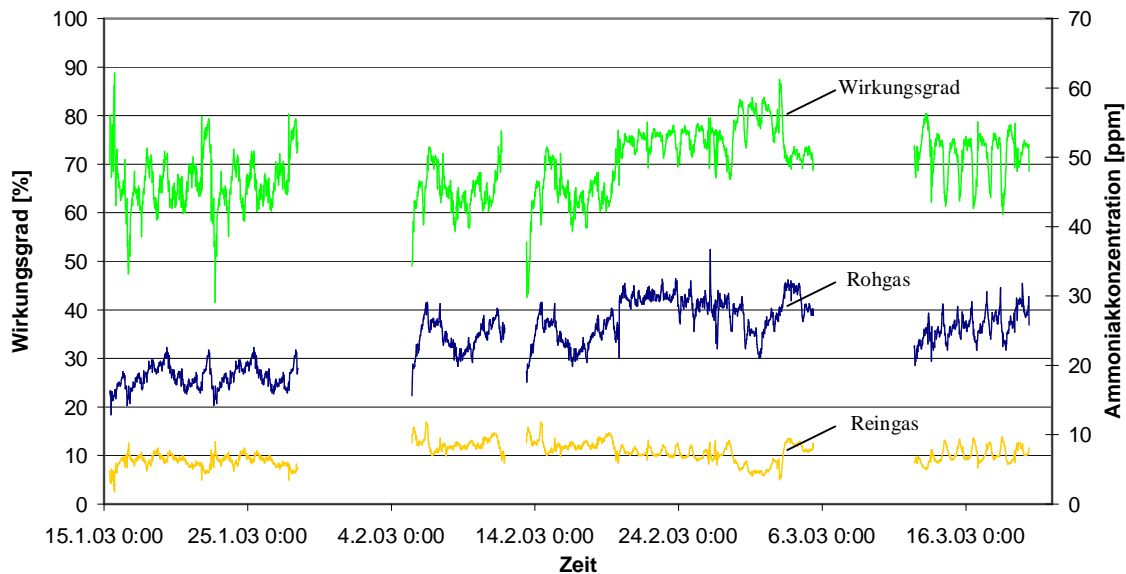


Abbildung 32: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas, sowie der Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage während der Wintermessungen

Wie in Abbildung 32 zu sehen ist, sind innerhalb der Messungen im Winter drei Lücken im zeitlichen Verlauf entstanden, die auf Messstörungen zurückzuführen sind. Diese waren technisch bedingt und konnten während des Sommermesszeitraums behoben werden. Die Störungen waren auf Verstopfungen in den Ansaugschläuchen für die Probenluft sowie auf einen Stromausfall zurückzuführen. Nach dem Stromausfall führte die Messtechnik zu der Zeit noch keinen automatischen Neustart durch. Dieses Problem wurde durch den Einbau einer Zeitschaltuhr behoben, wie unter Punkt 4.3.2.1 beschrieben. Die Abbildung 32 zeigt, dass der Verlauf der Rohgaskonzentration während des Messzeitraums ansteigt. Dieses ist auf die Gewichtszunahme und der dadurch größeren Exkrementausscheidung der Tiere zurückzuführen. Die Reingaskonzentration verläuft relativ konstant auf dem Niveau von ca. 7 ppm. Der aus den Gaskonzentrationen errechnete Wirkungsgrad schwankt mit dem Verlauf der Rohgaskonzentration. Im Mittel ergibt sich eine Abscheidungsrate von ca. 70 %. Betrachtet man einen beliebigen Tagesverlauf der Ammoniakkonzentration, wie er in Abbildung 34 dargestellt ist, so kann man erkennen, dass die Tageszeit nur sehr geringe Auswirkungen auf die Ammoniakkonzentration hat.

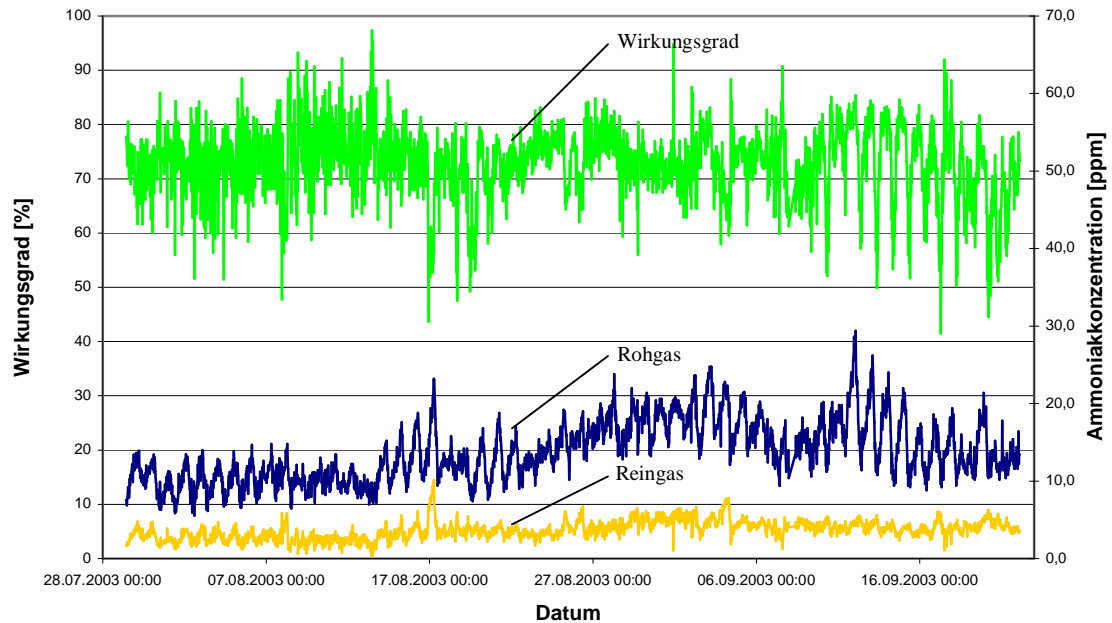


Abbildung 33: Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas, sowie der Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage während der Sommermessungen

Abbildung 33 zeigt den Konzentrationsverlauf des Ammoniaks im Roh- und Reingas während der Sommermessungen. Im Vergleich zu den Wintermessungen ist zu sehen, dass sowohl die Roh- als auch Reingaskonzentrationen geringer sind. Der Wirkungsgrad verläuft in beiden Messzeiträumen auf einem ähnlichen Niveau. In der folgenden Tabelle 17 sind die Mittelwerte der Ammoniakkonzentrationen und des Wirkungsgrades für die beiden Messzeiträume aufgeführt. Diese verdeutlichen die o.g. Aussage.

Tabelle 17: Übersicht der Abscheidegrade der Abluftreinigungsanlage im Mittel

Messperiode	Rohgaskonzentration [ppm]	Reingaskonzentration [ppm]	Wirkungsgrad [%]
Wintermessungen	24,1	7,2	70,1
Sommersmessungen	13,7	3,7	72,9

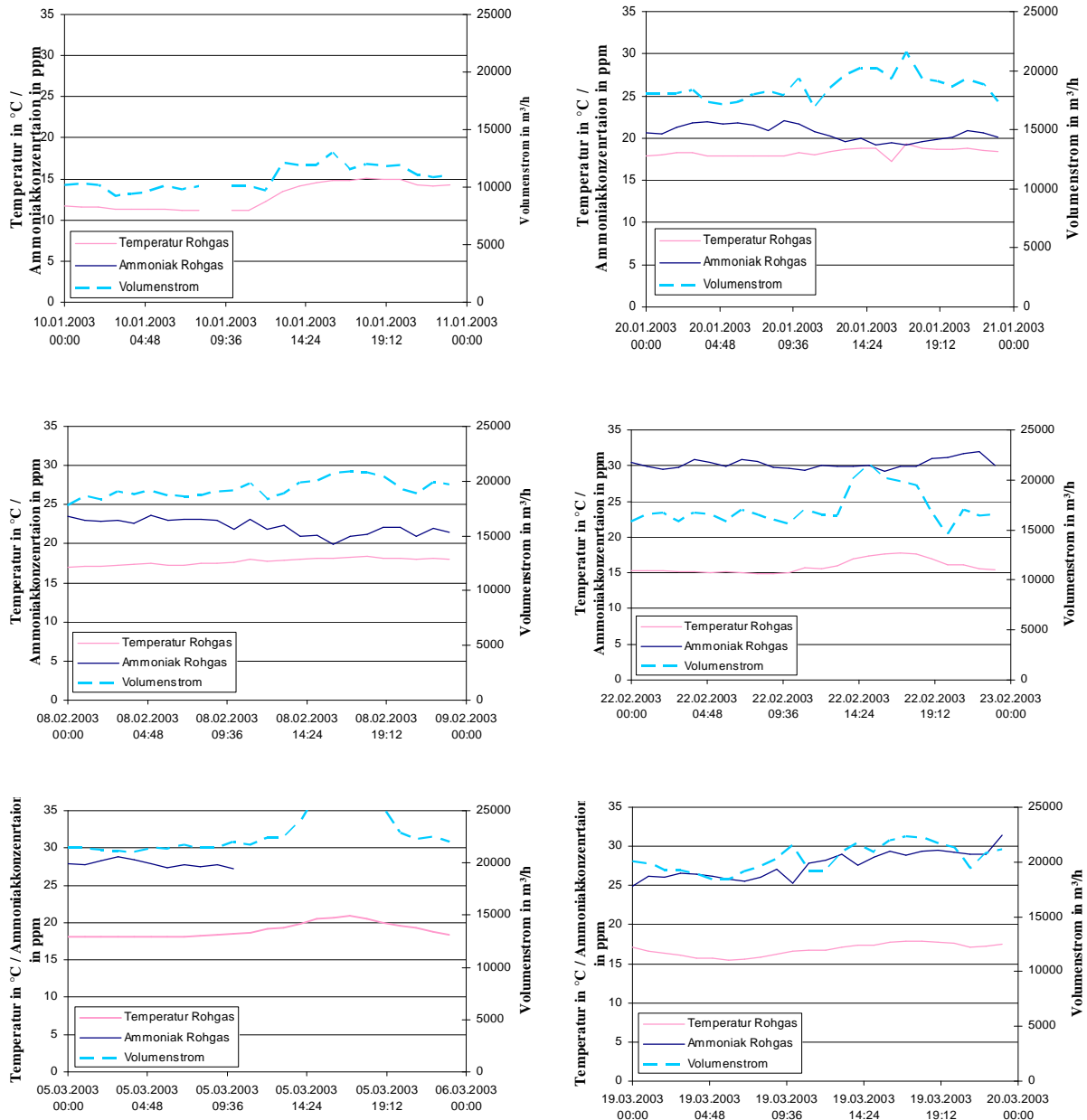


Abbildung 34: Tageszeitverläufe der Ammoniakkonzentration, der Temperatur und des Volumenstroms während des Winters

In Abbildung 34 sind sechs Tagesverläufe der Ammoniakkonzentration im Rohgas, der Temperatur im Rohgas, sowie der Luftvolumenstrom abgebildet. Die Auswahl erfolgte willkürlich und soll Aufschluss über die tageszeitlichen Änderungen geben.

Betrachtet man die Entwicklung des Verlaufs von Diagramm zu Diagramm, so ist zu sehen, dass die Ammoniakkonzentration insgesamt zunimmt. Die Temperatur des Rohgasstroms ändert sich im Tagesverlauf kaum. Dies wird aber auch durch die Lüftungseinstellung des Klimacomputers beeinflusst. In den Diagrammen ist gut zu sehen,

dass sich der Volumenstrom während des Tages verändert. Dieser Effekt ist während der Wintermonate jedoch nur recht schwach ausgeprägt, da hier nur ein geringer Luftwechsel stattfindet.

Betrachtet man die Graphen in Abbildung 35, so sieht man, dass unter Sommerbedingungen die Ammoniakkonzentration abnimmt, wenn der Volumenstrom ansteigt. Der Volumenstrom wird über die Temperatur geregelt und wirkt direkt verdünnend auf die Konzentration, wie den Diagrammen zu entnehmen ist. Dieser Zusammenhang wurde schon in Abbildung 31 gezeigt.

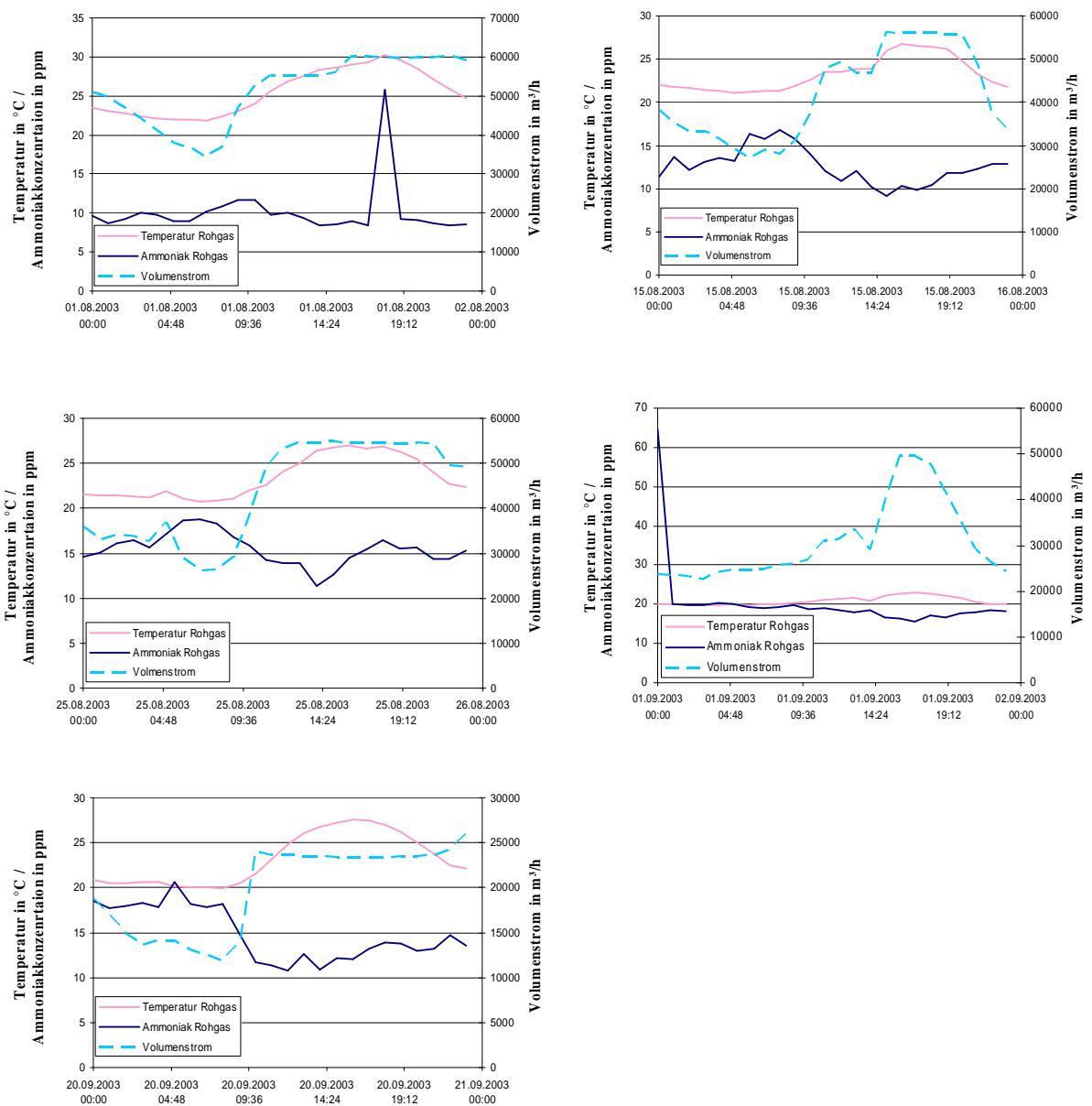


Abbildung 35: Tagesverläufe der Ammoniakkonzentration, der Temperatur und des Volumenstroms während des Sommers

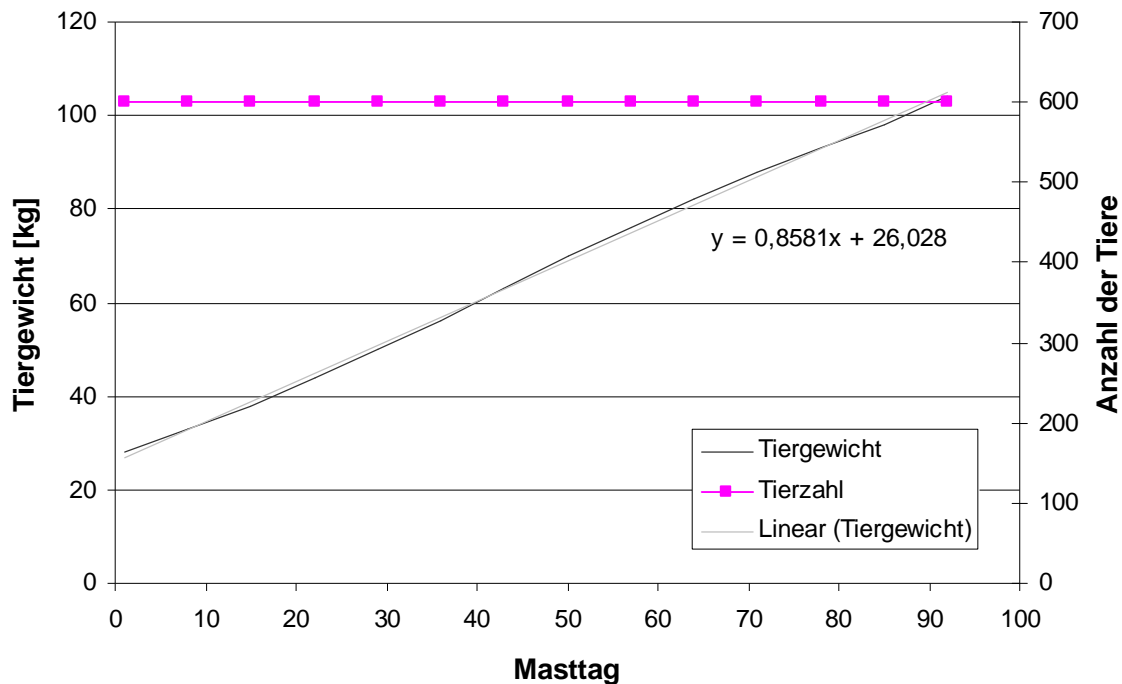


Abbildung 36: Tiergewichtszunahme im Winterzeitraum

Die Abbildung 36 zeigt die Gewichtszunahme der Tiere und die Stallbelegung während des betrachteten Zeitraums. In der Abbildung ist zu sehen, dass die Tiergewichtszunahme nahezu linear verläuft. Die Tieranzahl variierte während des betrachteten Zeitraums nicht. Die Tageszunahme beträgt ca. 0,85 kg/d. Das Endgewicht beim Ausstallen der Tiere betrug ca. 104 kg.

Abbildung 37 zeigt die Konzentrationen des Ammoniaks im Roh- und Reingas sowie die Abscheidung (in ppm) während der Wintermessungen. Die Werte sind aufsteigend nach der Rohgaskonzentration aufgeführt. Hierbei ist zu sehen, dass sich die Reingaskonzentration unabhängig von der des Rohgases verhält. Zwar ist die Reingaskonzentration einer großen Streuung ($R^2=0,0004$) unterlegen, jedoch lässt der Verlaufstrend mit einer Steigung von nahezu Null darauf schließen, dass bei den geringen Volumenströmen im Winter die Ammoniakkonzentration des Rohgases keinen Einfluss auf die des Reingases hat. Die Abscheidung verläuft nahezu parallel zur Rohgaskonzentration.

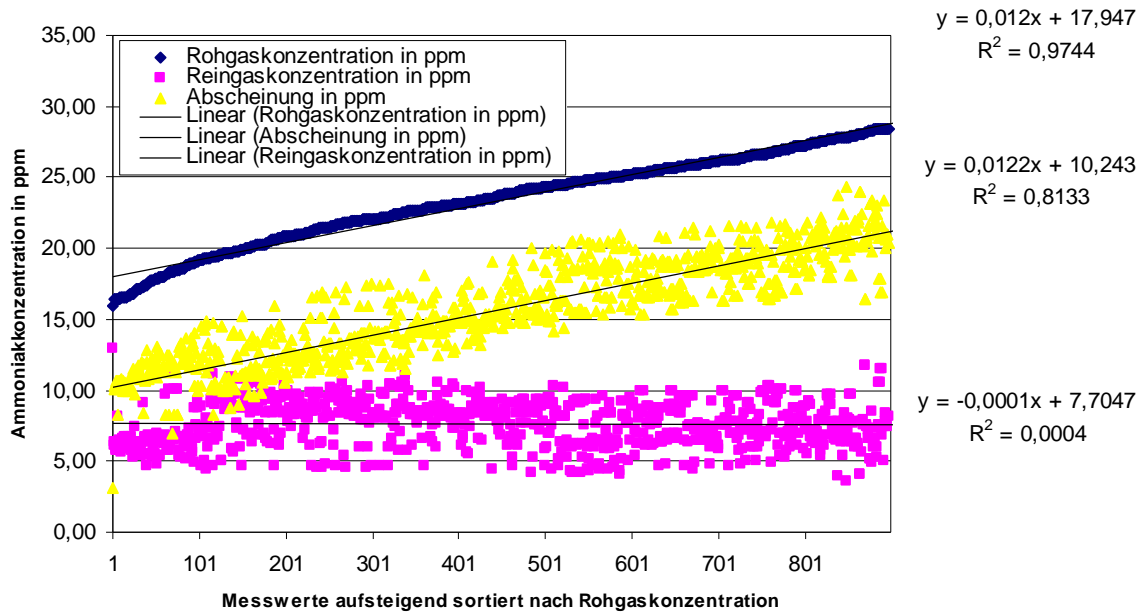


Abbildung 37: Abscheidung und Ammoniakkonzentration im Roh- und Reingas während der Wintermessungen sortiert nach der Rohgaskonzentration

Abbildung 38 gibt Aufschluss über den Verdünnungseffekt. Hierzu wurde die Ammoniakkonzentration und der Ammoniakmassenstrom über den korrespondierenden Volumenstrom abgebildet. Abbildung 38 zeigt, dass sich mit steigendem Volumenstrom tendenziell die Ammoniakkonzentration im Rohgas nicht geändert hat. Sehr wohl ist jedoch ein Anstieg des Ammoniakmassenstroms mit zunehmendem Luftvolumen zu beobachten.

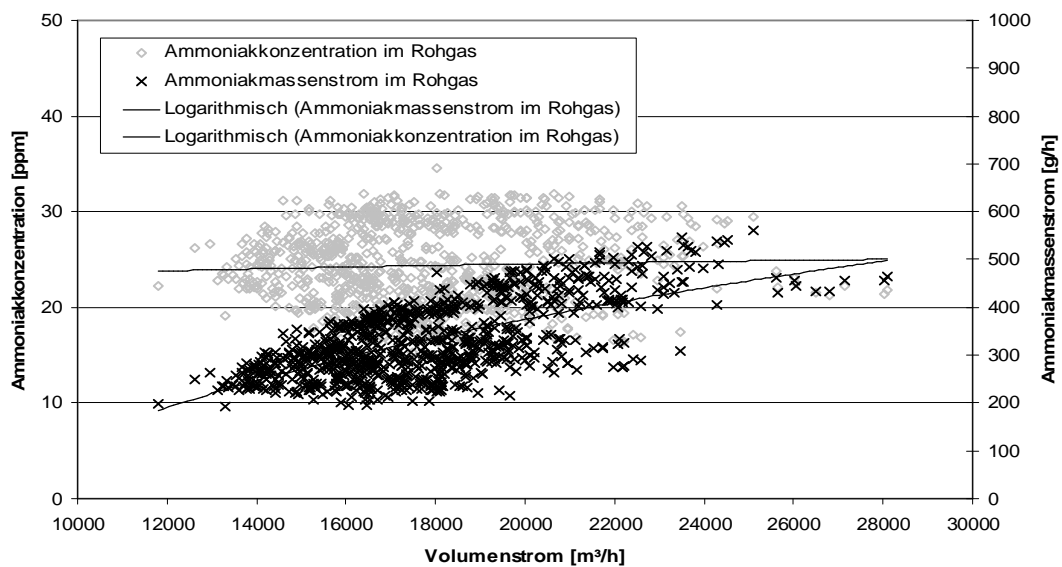


Abbildung 38: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Rohgas, während der Wintermessungen

Reingasseitig ist in Abbildung 39 eine Reduzierung der Ammoniakkonzentration zu sehen. Im Gegensatz zur vorher stehenden Abbildung könnte dieses auf eine Verdünnung hinweisen. Der Ammoniakmassenstrom nimmt mit steigendem Luftvolumenstrom zu, wobei der Anstieg gering ist. Aufgrund der starken Streuung der Messwerte (n=1124) können die Kurven lediglich einen Trend zeigen.

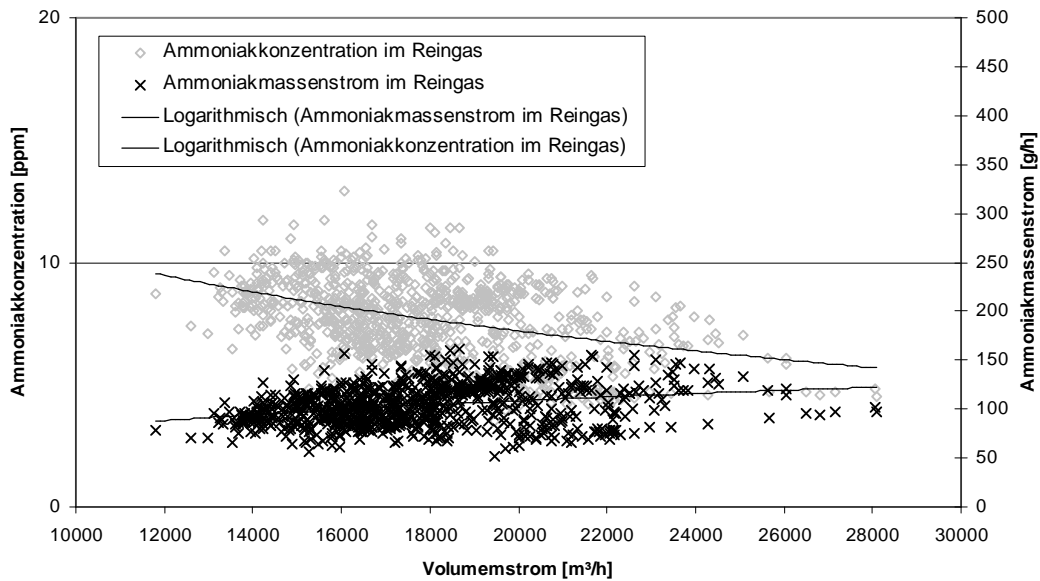


Abbildung 39: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Reingas, während der Wintermessungen

Betrachtung der Sommermessungen

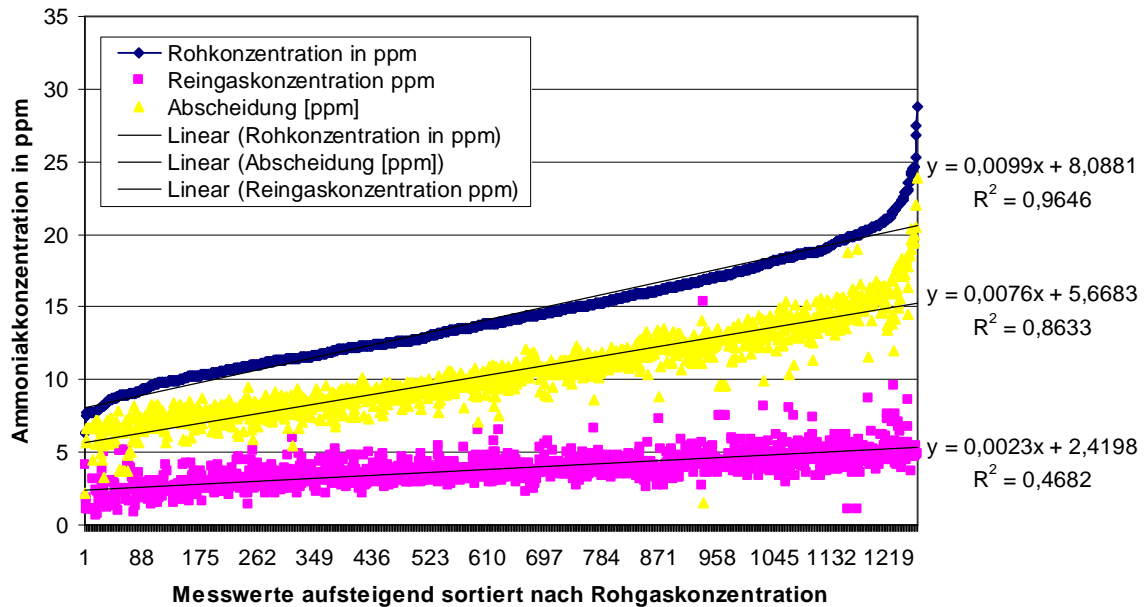


Abbildung 40: Abscheidung und Ammoniakkonzentration im Roh und Reingas während der Sommermessungen sortiert nach der Rohgaskonzentration

In Abbildung 40 sind die Ammoniakkonzentrationen im Roh- und Reingas, sowie die Abscheidung (Rohgas - Reingas) unter Sommerbedingungen abgebildet. Die Messwerte sind aufsteigend nach der Rohgaskonzentration sortiert. Die lineare Regression der Rohgaswerte hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,9646. Bei den beiden anderen Funktionen reduziert sich das Bestimmtheitsmaß auf 0,4682 im Reingas und 0,8633 bei der Abscheidung. Bei der Betrachtung der Funktionsverläufe ist zu sehen, dass die Rohgaskonzentration im Vergleich zu der des Reingases eine größere Steigung besitzt. Der mittlere Wert der Rohgaskonzentrationsfunktion beträgt 14,0 ppm mit einer Abweichung von -5,9 ppm und +6,6 ppm. Der mittlere Wert der Reingaskonzentrationsfunktion beträgt 3,8 ppm mit einer Abweichung von -1,4 ppm und +1,5 ppm. Betrachtet man Abbildung 40, so ist zu sehen, dass der Anstieg der Rohgaskonzentration im Verhältnis zu dem der Reingaskonzentration 4,3 zu 1 beträgt.

Der Anstieg der Reingaskonzentration ist im Verhältnis zu der des Rohgases sehr gering. Dieses lässt darauf schließen, dass die Reingaskonzentration einen Minimalwert, unter dem eingestellten pH-Wert nicht unterschreiten kann.

In Abbildung 41 ist der Verdünnungseffekt durch die ansteigende Luftrate auf die Ammoniakkonzentration zu sehen. Man kann deutlich sehen, wie die Ammoniakkonzentration [in ppm] bei steigendem Luftvolumenstrom abnimmt und der Massenstrom [in g/h] mit steigendem Luftvolumen zunimmt. Hieraus ergibt sich, dass bei hohen Luftraten zwar die Konzentration des Ammoniaks abnimmt, jedoch die absolute Ammoniakmassenfracht ansteigt.

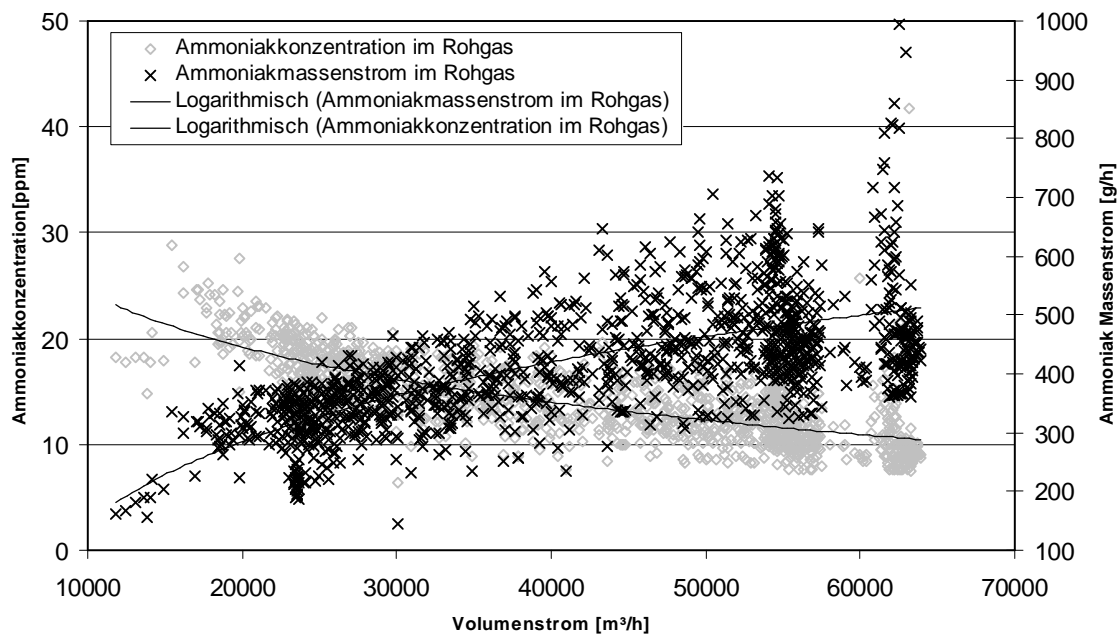


Abbildung 41: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Rohgas, während der Sommermessungen

In der Abbildung 42 wurde zum Vergleich Ammoniakkonzentration und Massenstrom bei verschiedenen Volumenströmen im Reingas dargestellt. Hier ist ein ähnlicher Effekt wie schon zuvor in Abbildung 41 zu sehen. Die Skalierung wurde jedoch geändert, da die beiden Kurven auf einem viel geringeren Niveau verlaufen. Des Weiteren ist zu sehen, dass der Kurvenverlauf flacher ist und somit der Verdünnungseffekt reingasseitig geringer ausfällt. Ein genauer Vergleich der Abbildung 41 und Abbildung 42 ist durch die starke Streuung der Messwerte und die dadurch geringen Bestimmtheitsmaße nicht möglich. Der Vergleich der Kurvenverläufe soll lediglich eine Tendenz zeigen. Jedoch zeigt Abbildung 42, dass beim Einsatz einer Abluftreinigungsanlage die Ammoniakfrachten im Reingas nur sehr gering ansteigen, wenn die Luftraten zunimmt.

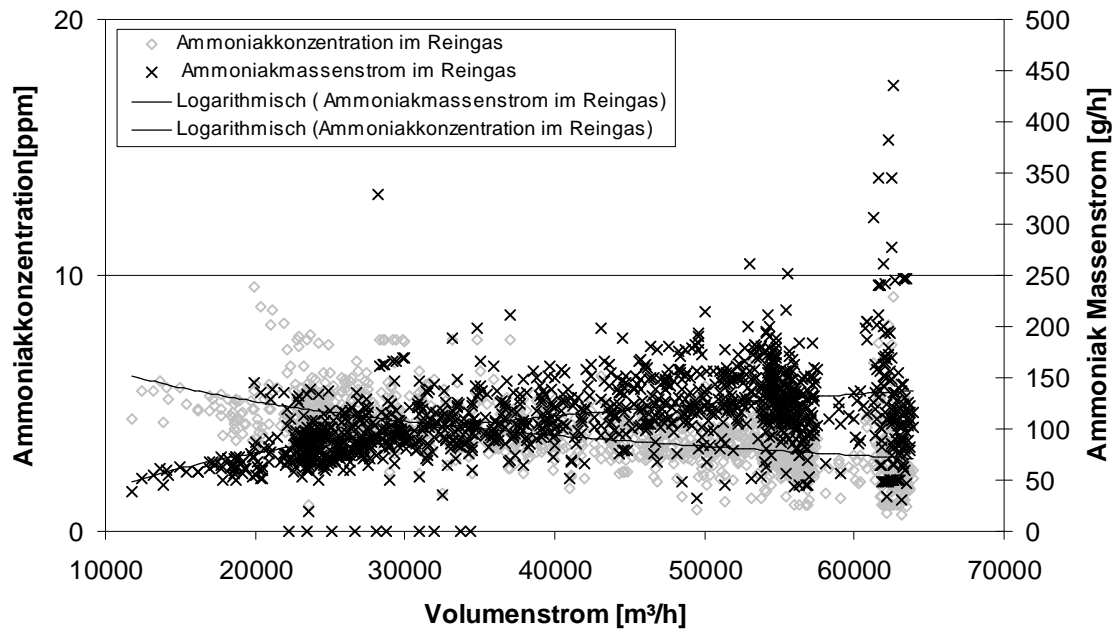


Abbildung 42: Ammoniakkonzentration und Ammoniakmassenstrom bezogen auf den Volumenstrom im Reingas, während der Sommermessungen

Abbildung 43 zeigt das Verhältnis von Ammoniakfracht im Rohgas und deren Abscheidung durch die untersuchte Abluftreinigungsanlage während der Wintermessungen. Das Bestimmtheitsmaß der Funktion beträgt 0,9303. Dies zeigt, dass von einem Gramm Ammoniak im Rohgas 0,94 g durch die Abluftreinigungsanlage abgeschieden werden.

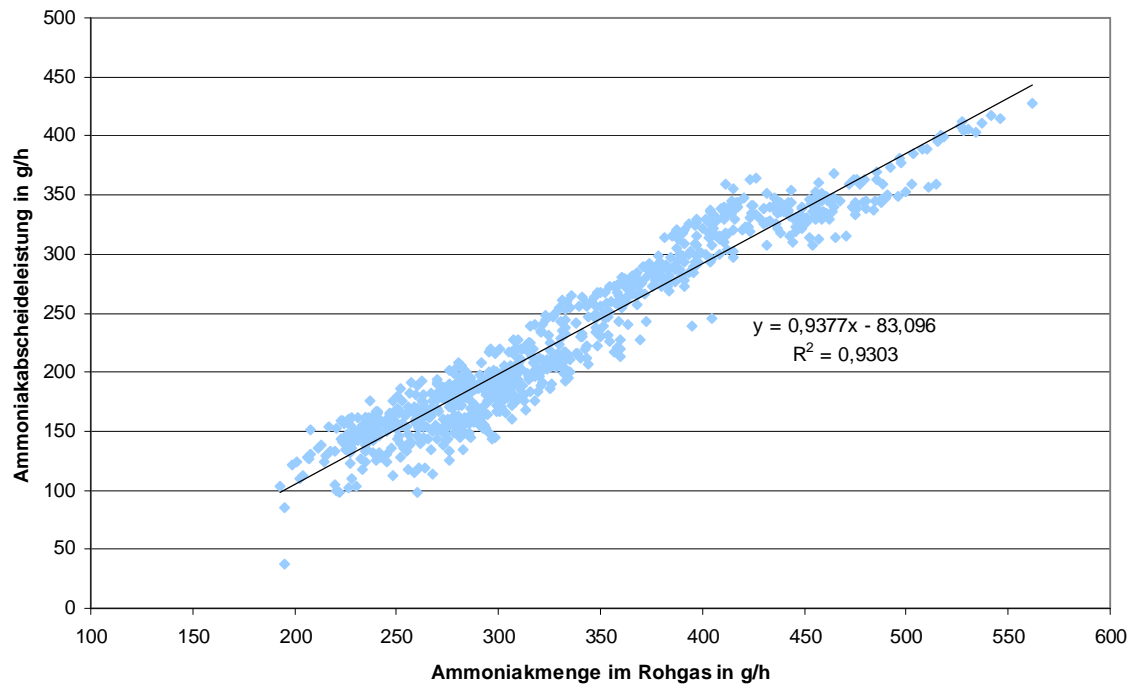


Abbildung 43: Ammoniakfracht im Rohgas im Verhältnis zur Ammoniakabscheidung während der Wintermessungen

Abbildung 44 zeigt, dass auch die Abscheideleistung in g/h mit der Ammoniakfracht (g/h) im Rohgas während der Sommermessungen zunimmt. Die Funktion, mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,9104 zeigt, dass von einem Gramm Ammoniak 0,79 Gramm abgeschieden werden. Daraus geht hervor, dass die untersuchte Abluftreinigungsanlage auch bei stark zunehmenden Ammoniakfrachten im Rohgas eine sehr gute Abscheideleistung erreicht und nicht ab einem der beobachteten Ammoniakmassenströmen einbricht.

Wie sich die Abscheideleistung bei noch größeren Ammoniakmassenströmen verhalten würde, konnte im Rahmen der Versuchsreihe nicht untersucht werden.

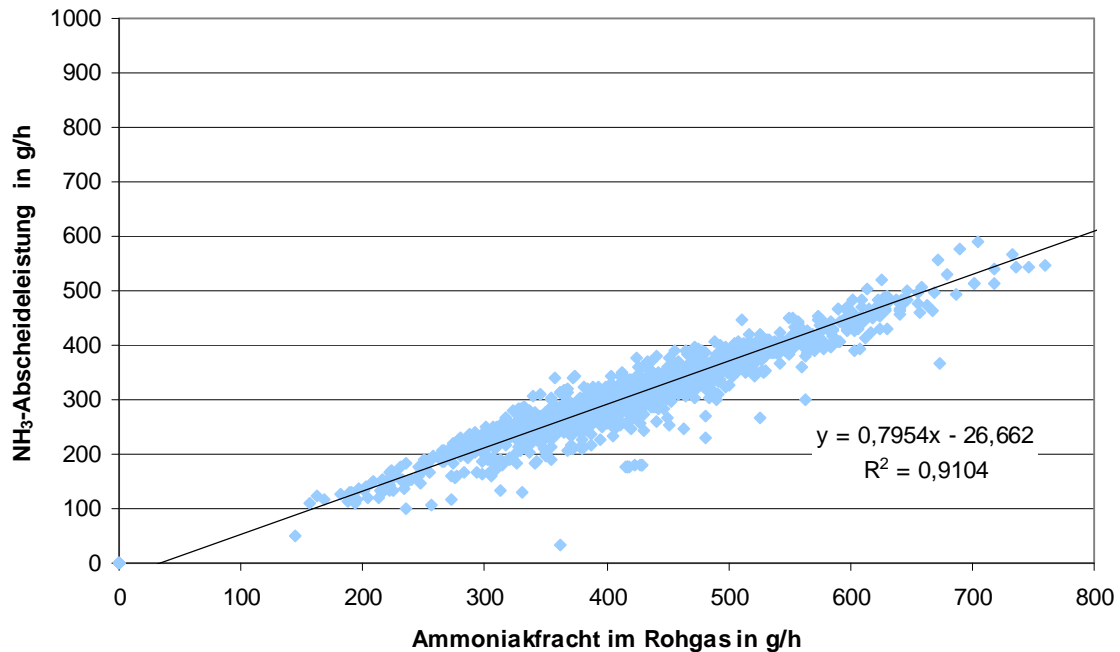


Abbildung 44: Ammoniakfracht im Rohgas im Verhältnis zur Ammoniakabscheidung während der Sommermessungen

5.1.1.2 Staubabscheidung

Die Staubkonzentrationen wurden wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben ermittelt. Da die Bestimmung der Abscheideleistung der Abluftreinigungsanlage gemäß des Cloppenburger Leitfadens (vgl. 3.4.4) ermittelt wurde, konnte auf die Bestimmung des Gravimetriefaktors verzichtet werden. Der Cloppenburger Leitfaden fordert eine Bestimmung der Abscheideleistung in Prozent. Bei der Berechnung des Wirkungsgrades hat der Gravimetriefaktor keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad.

$$\text{C - Faktor} = \frac{\text{tatsächliche Zunahme des Filtergewichtes}}{\text{kalkulierte Filtergewichtszunahme}}$$

$$\text{Wirkungsgrad } \eta [\%] = \left(1 - \frac{\text{Reingaskonzentration} \times \text{C - Faktor}}{\text{Rohgaskonzentration} \times \text{C - Faktor}} \right) \times 100$$

Um die Bestimmung des Wirkungsgrades der Staubabscheidung durchzuführen, wurde an jeweils drei Messpunkten der Staubgehalt untersucht. Die Messung des Staubes erfolgte in

zwei verschiedenen Fraktionen. Differenziert wurden die Staubpartikelgrößen: „PM₁₀“ und „inhalierbare Staubpartikel“. Die durchgeführten Messungen ergaben die in Tabelle 18 aufgeführten Ergebnisse.

Tabelle 18: Wirkungsgrad der Staubabscheidung im Mittel

Fraktion	Wirkungsgrad [%] Winter	Wirkungsgrad [%] Sommer
PM ₁₀	92,7	87,4
Inhalierbare Staubpartikel	95,3	95,1

Um das absolute Niveau der roh- und reingasseitigen Partikelkonzentrationen zu ermitteln, wurde für die folgende Abbildung ein Gravimetriefaktor von 0,3 angenommen. Dieser ergibt sich aus einer Reihe von laufenden Versuchsreihen, die seit 2003 am Institut für Landtechnik der Universität Bonn durchgeführt werden. Hierbei hat sich gezeigt, dass der Gravimetriefaktor bei verschiedenen Tierarten nahezu identisch ist. Innerhalb der Tierart, in verschiedenen Haltungssystemen und Handlungsabschnitten ist eine geringe Variation zu beobachten. Für die Mastschweinehaltung auf Vollspaltenboden mit Trockenfütterung kann der oben genannte Gravimetriefaktor verwendet werden.

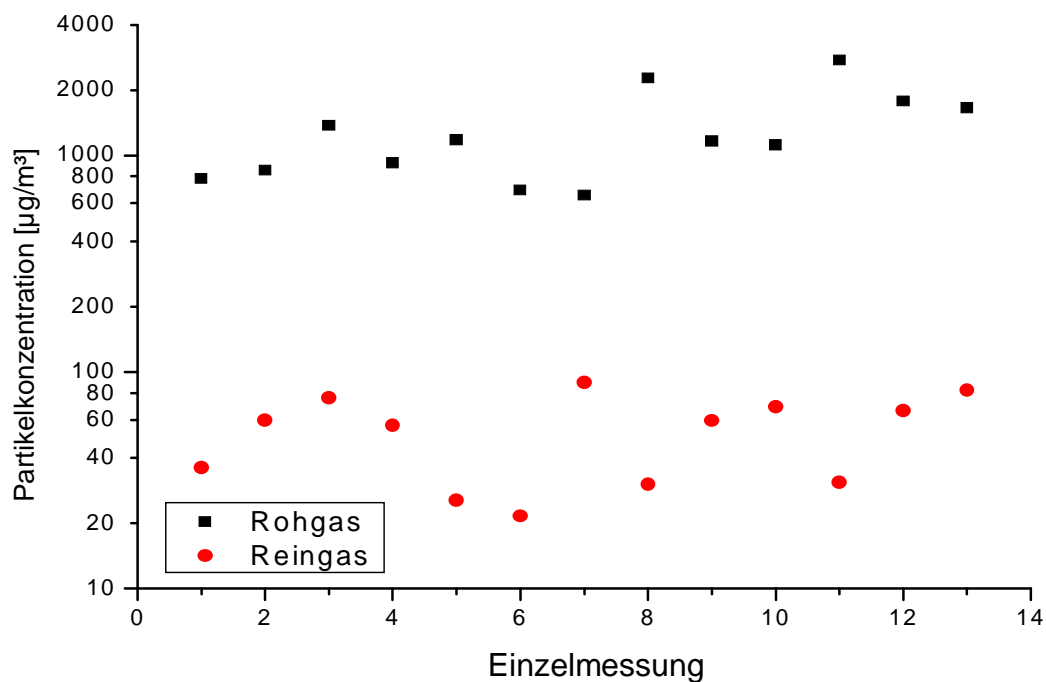


Abbildung 45: Konzentration der inhalierbaren Partikel im Roh- und Reingas während der Wintermessungen (logarithmische Darstellung)

Aus den in Abbildung 45 gezeigten Werten ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration von $1321 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Rohgas und $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Reingas. Jedoch ist die Streuung der Werte sehr groß, sodass die Standardabweichungen bei $637,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Rohgas und $22,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Reingas liegen.

Für den Sommerzeitraum ist in Abbildung 46 ein ähnliches Bild zu sehen. Hier beträgt der Mittelwert $940 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Rohgas und $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Reingas. Die Standardabweichung beträgt $559,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rohgasseitig und $29,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reingasseitig.

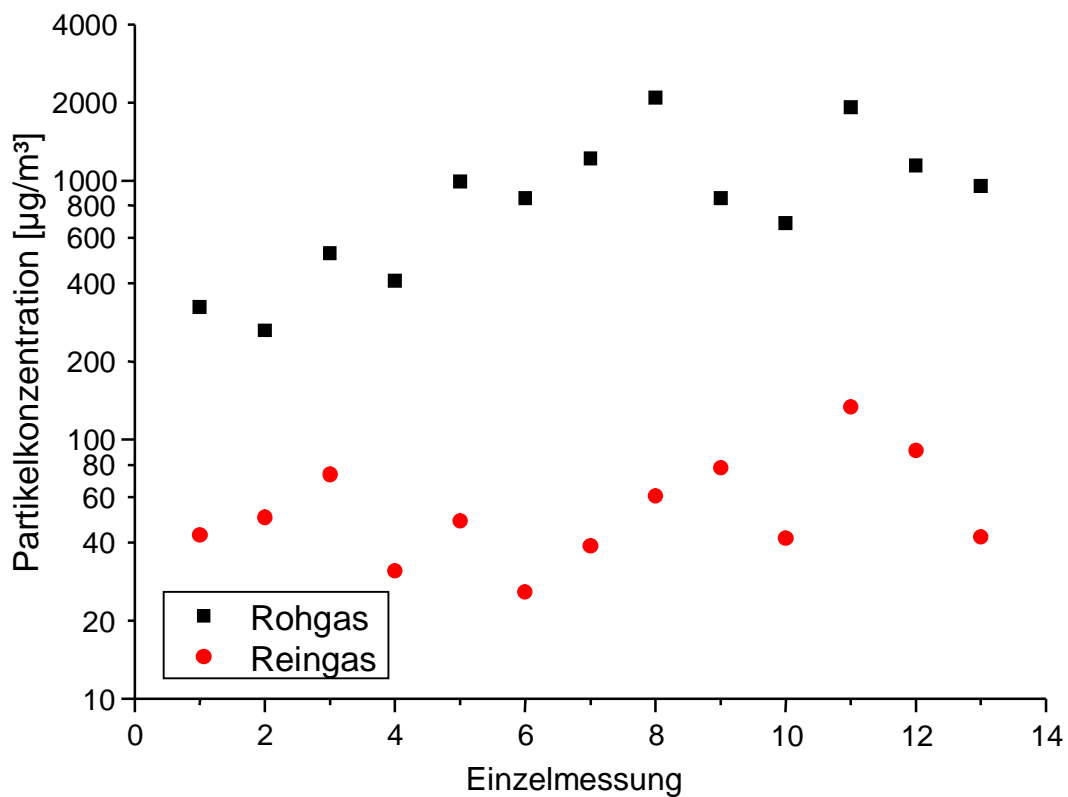


Abbildung 46: Konzentration der inhalierbaren Partikel im Roh- und Reingas während der Sommermessungen (logarithmische Darstellung)

Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen um welche Größenordnungen es sich bei den Partikelkonzentrationen handelt.

Unter der Annahme, dass die installierte Lüftungsleistung $60000 \text{ m}^3/\text{h}$ beträgt und im Jahresmittel 40 % genutzt werden, beträgt der durchschnittliche Volumenstrom ca. $24000 \text{ m}^3/\text{h}$. Das bedeutet eine Abscheidung von ca. $25,8 \text{ g}/\text{h}$ an inhalierbarem Staub. Die

Partikelquellstärke im Rohgas beträgt bei dem o.g. Volumenstrom 27,1 g/h. Die Partikelquellstärke kann somit auf ca. 1,3 g/h reingasseitig reduziert werden.

Ausgehend von einer Partikelquellstärke von 27,1 g/h würden ohne eine Reinigung der Abluft 237,4 kg/a emittiert werden. Das bedeutet es ergeben sich ca. 0,4 kg inhalierbarer Staub pro Mastplatz und Jahr. Untersuchungen von [Har 95] haben ca. 0,5 kg Gesamtstaub pro Tier und Jahr ergeben.

5.1.1.3 Geruchsabscheidung

Die Geruchsabscheidung wurde ebenfalls nach den Vorgaben des Cloppener Leitfadens durchgeführt. Die entnommenen Geruchsproben wurden im Labor des Instituts für Landtechnik olfaktometrisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte innerhalb von 24 Stunden nach Entnahme der Proben. In den folgenden Tabellen sind die Einzelergebnisse der olfaktometrisch ermittelten Geruchstoffkonzentrationen dargestellt. Jede Roh- und Reingaskonzentration ist aus drei Einzelproben ermittelt worden. Die Einzelproben wurden mit zwei Wiederholungen vom Probandenkollektiv untersucht. Das heißt, jede Geruchstoffkonzentration setzt sich aus insgesamt 9 Analysedurchläufen zusammen. Jeder dieser Durchläufe wurde von einem vierköpfigen Probandenkollektiv durchgeführt. So erhielt man 36 Antworten, die die Konzentration an Geruchsstoffen im Probengas ergeben.

Tabelle 19: Geruchsstoffkonzentration während der Wintermessungen

Datum	Geruchsstoffkonzentration im Rohgas [in GE/m ³]	Geruchsstoffkonzentration im Reingas [in GE/m ³]	Eliminierte Geruchseinheiten [in GE/m ³]	Wirkungsgrad [%]	Messgerät
16.01.2003	1080,0	265,0	815,0	75,5	TO7
22.01.2003	993,0	330,0	663,0	66,8	TO7
06.02.2003	1130,0	160,0	970,0	85,8	TO7
14.02.2003	1966,0	120,0	1846,0	93,9	TO7
20.02.2003	2433,0	117,0	2316,0	95,2	TO7
27.02.2003	1233,0	250,0	983,0	79,7	TO7
12.03.2003	3700,0	540,0	3160,0	85,4	TO8
20.03.2003	2333,0	270,0	2063,0	88,4	TO7
Mittelwerte	1858,5	256,5	1602,0	83,8	
Standardabw.	943,8	138,1	885,8	9,5	

Aus der Tabelle 19 ist zu entnehmen, dass über den Wintermesszeitraum eine mittlere Rohgaskonzentration von 1858,5 GE/m³ festgestellt wurde. Die Standardabweichung betrug 882,8 GE/m³. Die mittlere Reingaskonzentration betrug 256,5 GE/m³, mit einer Standardabweichung von 129,2 GE/m³. Die Geruchsstoffabscheidung lag im Mittel bei 83,8 %. Die Standardabweichung von diesem Mittelwert betrug ca. 9,5 %. Zu beobachten war, dass im Mittel 1602,0 GE/m³ eliminiert werden konnte, wobei hier die Standardabweichung ca. 828,6 GE/m³ betrug.

Während der Wintermessungen kam bis auf einem Messtag ausschließlich das TO7 als Messgerät zum Einsatz. Am 12.03.2003 wurde das Folgemodell TO8 für die Geruchsprobenauswertung benutzt. Auf Grund von Softwareproblemen, die bei anschließenden Messungen auftraten, wurde die letzte Wintermessung wieder mit dem TO7 durchgeführt.

In den darauf folgenden Sommermessungen wurde sowohl die Software als auch das Olfaktometer (TO8) vom Hersteller überarbeitet, so dass eine gesicherte, kontinuierliche und zuverlässige Arbeit mit dem Messgerät gewährleistet war.

Die Tabelle 20 zeigt die Messergebnisse der Geruchsprobenauswertung während des Sommermesszeitraumes.

Tabelle 20: Geruchsstoffkonzentration während der Sommermessungen

Datum	Geruchsstoffkonzentration im Rohgas [in GE/m ³]	Geruchsstoffkonzentration im Reingas [in GE/m ³]	Eliminierte Geruchseinheiten [in GE/m ³]	Wirkungsgrad [%]	Messgerät
22.05.2003	1800,0	245,0	1555,0	86,4	TO7
27.05..2003	3133,0	275,0	2858,0	91,2	TO7
18.06.2003	1513,0	335,0	1178,0	77,9	TO8
08.07.2003	1171,0	245,0	926,0	79,1	TO8
06.08.2003	356,0	177,0	179,0	50,4	TO8
11.08.2003	670,0	241,0	429,0	64,0	TO8
17.09.2003	1417,0	363,0	1054,0	74,4	TO8
22.09.2003	587,0	109,0	478,0	81,4	TO8
Mittelwerte	1330,9	248,8	1082,1	75,6	
Standardabw.	884,3	81,0	846,7	13,0	

Aus Tabelle 20 ist zu entnehmen, dass die mittlere Geruchsstoffkonzentration des Reingases 1330,9 GE/m³, mit einer Standardabweichung von 827,2 GE/m³ betrug. Die Konzentration im Reingas betrug im Durchschnitt 248,75 GE/m³ mit einer Standardabweichung von 75,8 GE/m³. Daraus ergab sich ein mittlerer Wirkungsgrad von ca. 75,6 % mit einer Standardabweichung von 13,0 %. Das heißt, es wurden durchschnittlich 1082,1 GE/m³ eliminiert.

Um die Wirksamkeit der biologischen Geruchsabscheidung durch die dritte Stufe zu überprüfen, wurde an 16 Messtagen zusätzlich zu den Roh- und Reingasproben ein Probenbeutel zwischen zweiter und dritter Stufe entnommen. Da für eine olfaktometrische Geruchskonzentrationsbestimmung drei Probenbeutel notwendig sind (VDI 3881 bzw. DIN EN 13725) sollte die Auswertung dieser Probe lediglich als Anhaltspunkt dienen. In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die Geruchsabscheidungsleistungen der Abluftreinigungsanlage ohne die dritte Stufe dargestellt, sowie die daraus resultierenden Wirkungsgrade.

Tabelle 21: Geruchsabscheideleistung ohne die biologische Stufe im Winter

Datum	Geruchsstoff- konzentration im Rohgas [in GE/m ³]	Geruchsstoffkonzentration vor der biologische Stufe [in GE/m ³]	Wirkungsgrad [%]
16.01.2003	1080,0	940,0	13,0
22.01.2003	993,0	280,0	71,8
06.02.2003	1130,0	1000,0	11,5
14.02.2003	1966,0	2100,0	-6,8
20.02.2003	2433,0	1600,0	34,2
27.02.2003	1233,0	1300,0	-5,4
12.03.2003	3700,0	3400,0	8,1
20.03.2003	2333,0	2400,0	-2,9
Mittelwerte	1858,5	1627,5	15,4
Standardabw.	943,8	982,1	26,4

Im Winter ergab sich daraus ein mittlerer Wirkungsgrad von 15,4 % mit einer Standardabweichung von 26,4 %. Der Anstieg des Wirkungsgrades durch den Einbau der dritten Stufe betrug somit 68,4 %.

Tabelle 22: Geruchsabscheideleistung ohne die biologische Stufe im Sommer

Datum	Geruchsstoff- konzentration im Rohgas [in GE/m ³]	Geruchsstoffkonzentration vor der biologische Stufe [in GE/m ³]	Wirkungsgrad [%]
22.05.2003	1800,0	1200,0	33,3
27.05..2003	3133,0	1300,0	58,5
18.06.2003	1513,0	940,0	37,8
08.07.2003	1171,0	609,0	48,0
06.08.2003	356,0	155,0	56,5
11.08.2003	670,0	431,0	35,7
17.09.2003	1417,0	406,0	71,3
22.09.2003	587,0	450,0	23,4
Mittelwerte	1330,9	686,4	45,6
Standardabw.	884,3	412,8	15,8

Im Mittel ergab sich im Sommer eine Geruchsstoffabscheidung von 45,6 % mit einer Standardabweichung von 15,8 %. Das heißt, dass durch die zusätzliche dritte Stufe der Wirkungsgrad der Geruchsabscheidung um ca. 30,0 % Punkte anstieg.

In der Tabelle 23 ist die hedonische Bewertung, im Mittel der Reingasproben, durch die Probanden aufgeführt. Die Hedonik wurde auf Grundlage der VDI-Richtlinie 3882 durchgeführt. Dabei wurden die Probanden zur Beschreibung und Kategorisierung des Geruchs aufgefordert. Bei der Kategorie handelt es sich um die, in VDI 3882 Blatt 2 beschriebene, Einstufung in einer Skala von -4 bis +4 (siehe Abbildung 47).

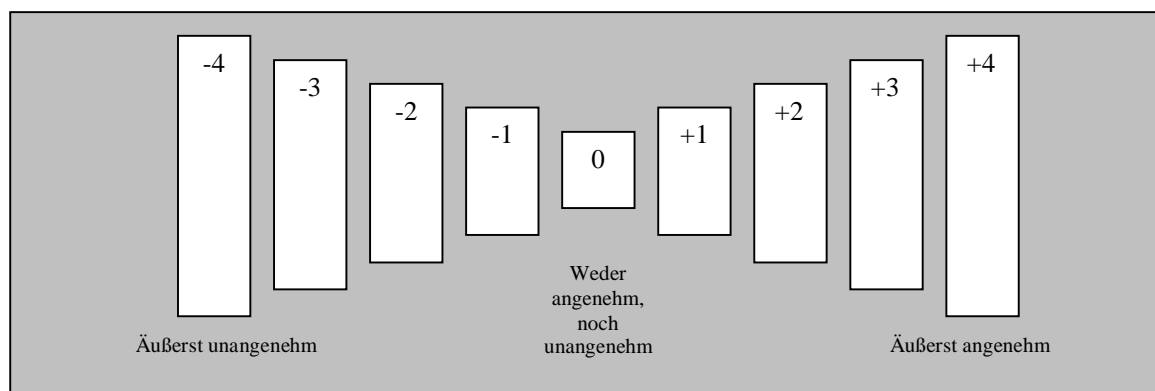


Abbildung 47: Kategorienskala der hedonischen Bewertung

Tabelle 23: Hedonische Wertung der Reingasproben

Datum:	Proband 1		Proband 2		Proband 3		Proband 4	
	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach
16.01.2003	0	Schwefel	1	Kompost	0	Schwefel	2	Holz
22.01.2003	1	Holz	1	Holz	1	Holz	2	Holz
06.02.2003	0	Holz	2	Holz	1	Humus	2	Holz
14.02.2003	0	Humus	1	Holz	0	Holz	1	Holz
20.02.2003	1	Holz	2	Holz	1	Holz	1	Holz
27.02.2003	1	Holz	3	Humus	2	Humus	2	Humus
12.03.2003	2	Holz	2	Holz	1	Humus	2	Holz
20.03.2003	2	Humus	2	Holz	2	Holz	1	Holz

Datum:	Proband 1		Proband 2		Proband 3		Proband 4	
	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach	Kategorie	riecht nach
22.05.2003	0	Kompost	0	Kompost	0	Kompost	0	Schwefel
27.05.2003	0	Kompost	1	Humus	0	Humus	1	Humus
18.06.2003	1	Humus	2	Humus	2	Holz	1	Humus
08.07.2003	2	Holz	2	Holz	1	Humus	2	Holz
06.08.2003	2	Holz	1	Holz	1	Humus	1	Humus
11.08.2003	1	Holz	1	Humus	1	Humus	1	Humus
17.09.2003	2	Holz	2	Holz	2	Holz	1	Holz
22.09.2003	2	Holz	2	Holz	3	Holz	2	Holz

* übereinstimmend kein Schweinegeruch mehr wahrnehmbar

Da die Geruchsabscheidung im Wesentlichen von der dritten Stufe, der Bioschüttung abhängig ist wurden im Rahmen einer Punktmessung am 07.08.2003 die Luftgeschwindigkeiten hinter der biologischen Stufe ermittelt. Hierzu wurden an jeder Kunststoffkiste zehn Messpunkte gewählt und an diesen Rasterpunkten die Luftgeschwindigkeiten mit einem Flügelradanemometer gemessen. Insgesamt wurden so 672 Messpunkte bemessen. Um die Extremsituation zu betrachten, wurde die Lüftung auf die Maximalleistung eingestellt. Abbildung 48 zeigt anhand eines Diagramms, dass die Luftgeschwindigkeiten zwischen 0 und 4 m/s liegen. Nach oben hin findet man vereinzelt Luftgeschwindigkeiten >4 m/s. Die Luftgeschwindigkeiten nehmen jeweils zum seitlichen Rand (links und rechts) jeder Kunststoffkiste zu. Im Mittel ergibt sich eine Luftgeschwindigkeit von 2,43 m/s mit einer Standardabweichung von 0,88 m/s. Der Variationskoeffizient beträgt somit 36,2 %. Dieses ist als kritisch zu bewerten und bedarf einer Verbesserung (vgl. 6.2).

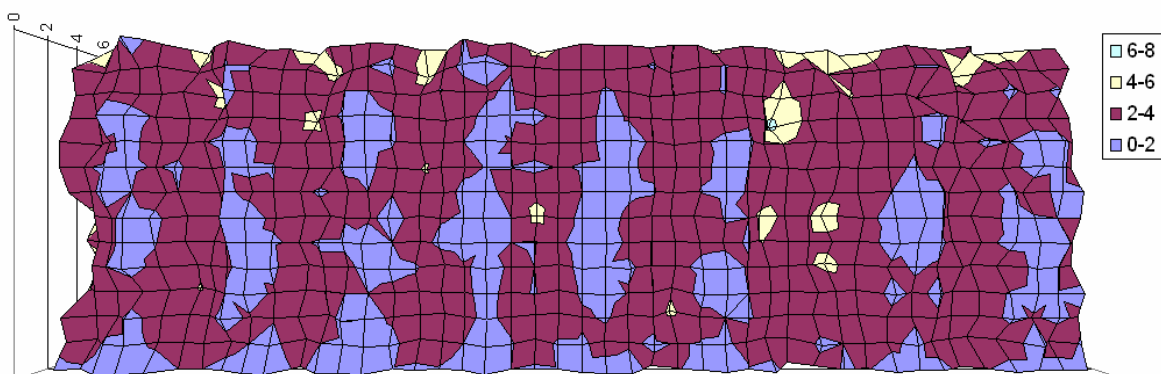


Abbildung 48: Luftgeschwindigkeiten [m/s] hinter der Biologischen Stufe bei maximaler Lüftrate

Die Geruchsfahnenbegehung, die von der LUFA-Nord-West nach VDI-Richtlinie 3940 durchgeführt wurde, hat ergeben das bereits im Nahbereich <50 m keine emissionsbedingten Gerüche der Abluftreinigungsanlage mehr wahrgenommen werden konnten.

5.2 Ökonomische Bewertung

5.2.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten für die betrachtete Abluftreinigungsanlage setzen sich wie folgt zusammen:

Gebäude	ca. 9000 €
Abluftreinigungsanlage	ca. 21000 €
<hr/> Investitionsbedarf gesamt	<hr/> ca. 30000 €

Bei dem Gebäude handelt es sich um eine massive Bauweise. Der Filteranbau ist genau wie der Stall aus Poroton-Stein errichtet worden. Die Dacheindeckung entspricht ebenfalls der des Stallgebäudes. Die Investitionskosten für die Abluftreinigungsanlage in Höhe von ca. 21000 € beinhalten die gesamte technische Einrichtung der Anlage, inklusive der Steuerung, der Filterstufen, Pumpen etc. .

Bei einem Gesamtinvestitionsbedarf von 30000 € ergibt sich bei 600 Mastplätzen ein Betrag von 384,6 €/je GV.

5.2.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten setzen sich aus den folgenden Aufwendungsblöcken zusammen.

- Wasserverbrauch
- Säureverbrauch
- Energieverbrauch
- Arbeitszeit

5.2.2.1 Wasser

Der Wasserverbrauch der Abluftreinigungsanlage ist wie folgt zu beschreiben. Beide Becken werden nach jedem Mastdurchlauf vollständig geleert und neu befüllt. Insgesamt beträgt das Fassungsvermögen 12 m³ Wasser. Diese teilen sich in 9 m³ Wasser im ersten Becken und 3 m³ im zweiten Wasserbecken auf. Der eigentliche Verbrauch des Wassers erfolgt durch Verdunstung bzw. durch den Austrag von Aerosolen. Die Aerosole werden zwar zum größten Teil nicht aus der Anlage heraus getragen, sondern schlagen sich an den Außenwänden der Anlage oder den Regenschutzgittern nieder, stehen aber so dem Reinigungsprozess nicht mehr zur Verfügung.

Bei den durchgeführten Messungen wurde der Wasserverbrauch über die Temperatur, Luftfeuchte und den Volumenstrom ermittelt. Dabei wurde kontinuierlich die Wasserfracht des Roh- und Reingases bestimmt. Den Berechnungen liegt das h,x-Diagramm nach Richard Mollier (1863-1935) zu Grunde.

Der durchschnittliche Wasserverbrauch lag während des Winterzeitraums bei ca. 0,36 m³/d und während des Sommers bei ca. 1,60 m³/d. In den folgenden Diagrammen ist der Verlauf des Wasserverbrauchs über die beiden Zeiträume aufgetragen.

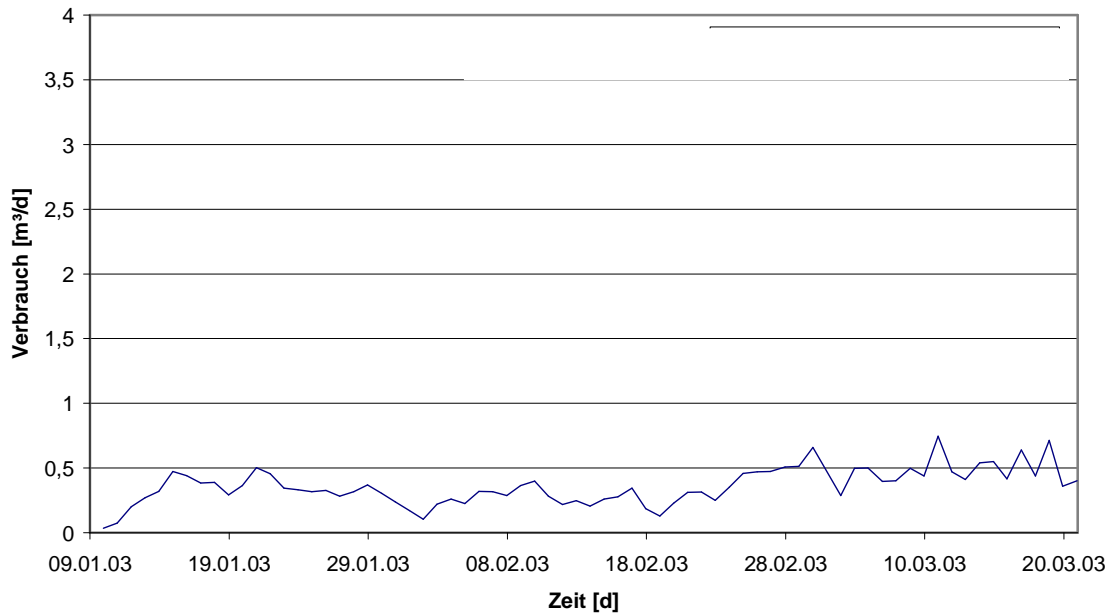


Abbildung 49: Verlauf des Wasserverbrauchs während der Wintermessungen

Während des Winters verläuft der Wasserverbrauch, aufgrund der gleichmäßig niedrigen Temperaturen und der daraus folgenden geringen Volumenströme nahezu linear. Die starken Schwankungen des Wasserverbrauch während der Sommermessungen sind zum Teil auf die hohen Temperaturen (Anfang August) zurückzuführen. Im Nachhinein konnte nicht geklärt werden, worauf die Schwankungen in der zweiten Hälfte des Sommermesszeitraums zurückzuführen waren.

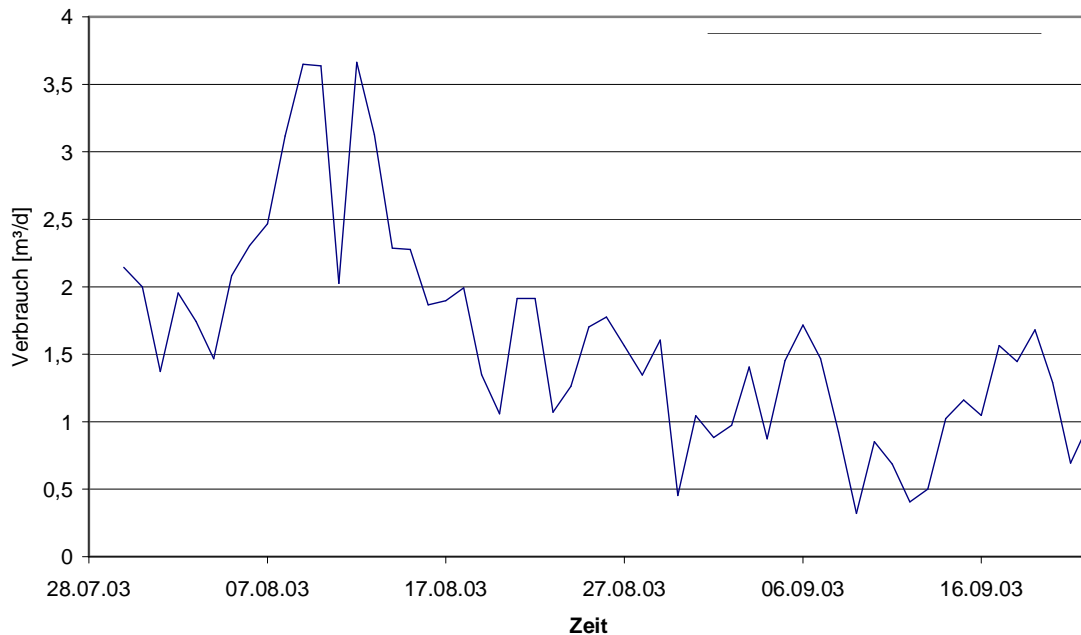


Abbildung 50: Verlauf des Wasserverbrauchs während der Sommermessungen

Das Frischwasser für die Abluftreinigungsanlage wurde aus einem eigenen Brunnen gefördert und anschließend dem landwirtschaftlichen Prozess als Dünger zugeführt. Dieses bedeutet, dass keine Wasserkosten für den Betreiber angefallen sind, da er weder Wasser zukaufte, noch die Abwassergebühr entrichten muss. Lediglich die Kosten für die Wasserförderung, in Form des Energieverbrauchs der eingesetzten Pumpe können als Kosten angesetzt werden.

Die Pumpe arbeitet mit 0,75 kW und hat eine Förderleistung von 4 m³/h. Bei einem Strompreis von 0,14 €/kWh ergeben sich Energiekosten von 0,02625 €/m³ für das bereitgestellte Wasser. Bei der Annahme, dass über das gesamte Jahr ca. 0,98 m³/d verbraucht werden ((0,36 m³/d im Winter + 1,60 m³/d im Sommer)/2) und das Waschwasser in beiden Becken drei Mal vollständig gewechselt wird (12 m³ * 3=36 m³) ergibt sich eine benötigte Wassermenge von ca. 393,7 m³/a. Bei dem oben genannten Energiekosten pro m³ ergibt sich ein Kostenaufwand von ca. 10,34 € pro Jahr für die Wasserversorgung der Abluftreinigungsanlage.

5.2.2.2 Säure

Während der beiden Messperioden wurde die zweite Filterstufe der Abluftreinigungsanlage mit Säure im Waschwasser betrieben. Hierbei handelte es sich um 75%ige Schwefelsäure. Die Säuredosierung erfolgte wie unter Punkt 3.2.2 beschrieben.

Während der Wintermessungen wurden insgesamt 140 kg H₂SO₄ für die Abscheidung von Ammoniak benötigt. Während des Sommerzeitraums belief sich die eingesetzte Menge auf 390 kg. Die folgende Tabelle zeigt, wie groß die Aufwendungen an Säure für die Abscheidungen des NH₃ waren.

Tabelle 24: Säureeinsatz und Ammoniakabscheidung

	Zeitraum [d]	Säureeinsatz gesamt [kg H ₂ SO ₄]	Säureeinsatz pro Tag [kg H ₂ SO ₄]	Säureeinsatz pro Tier und Tag [g/Tier/d]
Winter	45	140	3,11	5,1833
Sommer	57	390	6,84	11,4000

75%ige Schwefelsäure kann mit ca. 0,5 €pro kg veranschlagt werden. Daraus ergeben sich im Winter Säurekosten in Höhe von ca. 1,55 €/d und im Sommer von ca. 3,42 €/d.

5.2.2.3 Energie

Der Verbrauch an elektrischer Energie verteilt sich bei der untersuchten Abluftreinigungsanlage in erster Linie auf die eingesetzten Pumpen, die Steuerungseinrichtung, sowie die zum Betreiben der Anlagen stärkeren Ventilatoren. Diese müssen aufgrund des höheren Druckwiderstandes eingesetzt werden.

Die Abluftreinigungsanlage arbeitet mit zwei kontinuierlich laufenden Tauchpumpen die das Waschwasser zirkulieren lassen (vgl. 4.1.2). Jede dieser Pumpen hat eine Leistungsaufnahme von 0,55 kW. Zusätzlich arbeitet eine Kreiselpumpe 20 % der Zeit mit einer Nennleistung von 0,75 kW. Die Kreiselpumpe fördert das Wasser für die

Wasservernebelung vor der ersten Filterstufe (vgl. 4.1.2). Daraus ergibt sich, wie in Tabelle 25 dargestellt ein Energieverbrauch von ca. 30 kWh/d.

Tabelle 25: Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage (Pumpen)

Energieverbraucher	Anzahl	Nennleistung [kW]	Einsatzdauer pro Tag [h]	Energieverbrauch [kWh/d]
Tauchpumpe	2	0,55	24,0	26,4
Kreiselpumpe	1	0,75	4,8	3,6
Gesamtenergieverbrauch pro Tag				30,0

Der Energiebedarf für die Anlagensteuerung und die Dosierung wurde vom Hersteller der Anlage mit <0,5 kWh/d benannt.

Tabelle 26: Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage (gesamt)

Energieverbrauch der Abluftreinigung	
Pumpen	30,0 kWh/d
Steuerung	0,5 kWh/d
Gesamt	30,5 kWh/d ~ 11132,5 kWh/a

Die Herstellerangaben konnten durch eigene Messungen verifiziert werden. Vom 22.11.2002 bis zum 3.6.2003 wurden täglich die Zählerstände für den Energieverbrauch notiert. Der Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage wurde mit einem eigenen Stromzähler gemessen. Die folgende Abbildung zeigt die angeschlossenen Energieverbraucher und die zugehörigen Stromzähler.

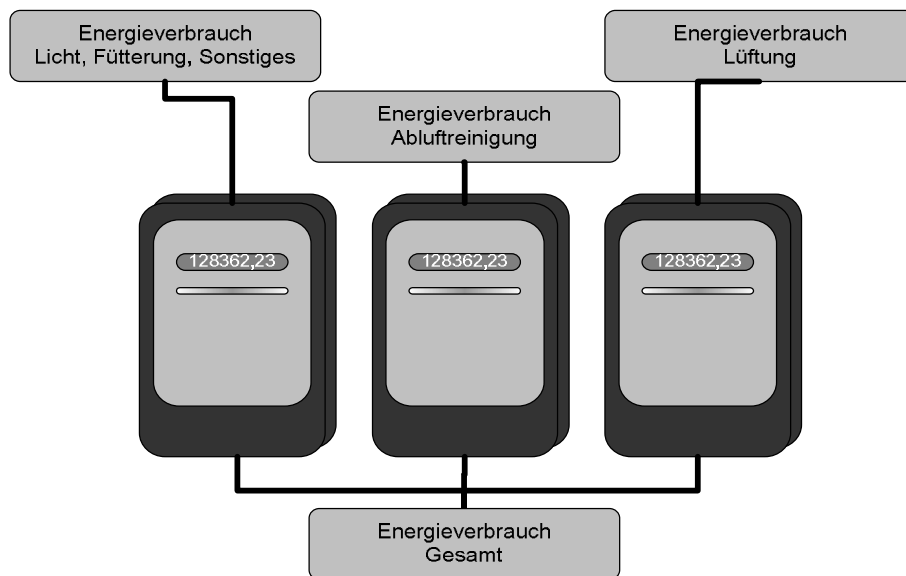


Abbildung 51: Aufbau der Energiemessungen mit Stromzählern

Bei den Stromzählern handelte es sich um handelsübliche kalibrierte Drehstromzähler. Es wurden drei Zähler installiert. Je ein Zähler zeichnete den Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlage und den der Lüftung auf, der dritte Zähler protokollierte den restlichen Verbrauch. Dieser teilte sich in Fütterung, Licht und alle weiteren Verbraucher auf. Hierzu zählten z.B. auch der Hochdruckreiniger und andere Geräte zur Reinigung und Wartung.

Jeder Zählerstand wurde mit Datum und Uhrzeit vermerkt, so dass eine Interpolation auf eine Stunde, Tag oder Jahr möglich ist. Das nachfolgende Diagramm zeigt den Verlauf des Stromverbrauchs über den Messzeitraum.

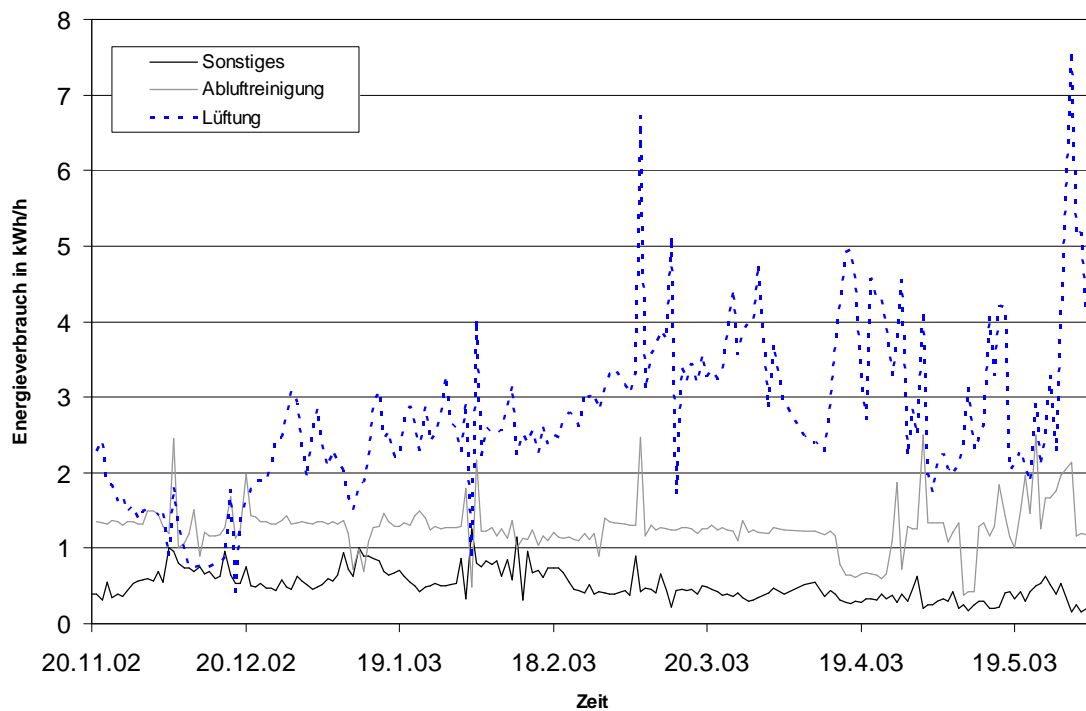


Abbildung 52: Verlauf des Energieverbrauchs

Die folgende Tabelle zeigt den Energieverbrauch der drei verschiedenen Verbraucherguppen. Die Werte wurden aus den täglichen Zählerständen wie folgt berechnet:

$$\sum_i \frac{z_i - z_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \times 24h \times 365d = \text{Energieverbrauch kWh/a}$$

z = Zählerstand in kWh t = Messzeitpunkt in h

Tabelle 27: Energieverbrauch der Verbraucherguppen

	Energieverbrauch pro Stunde [kWh]	Energieverbrauch pro Tag [kWh/d]	Energieverbrauch pro Jahr [kWh/a]
Zähler 1 sonstiges	0,5108	12,2581	4461,9487
Zähler 2 Abluftreinigung	1,2657	30,3761	11056,8838
Zähler 3 Lüftung	2,7223	65,3342	23781,6517
Gesamtenergieverbrauch	4,4987	107,9684	39300,4843

Bei einem Vergleich des errechneten Energieverbrauchs mit dem der Zählerstände, ist zu sehen, dass die Differenz bei ca. 75 kWh/a liegt. Dieses entspricht einer sehr kleinen Abweichung von 0,68 % zum errechneten Jahresenergieverbrauch auf Grundlage von 365 Tagen.

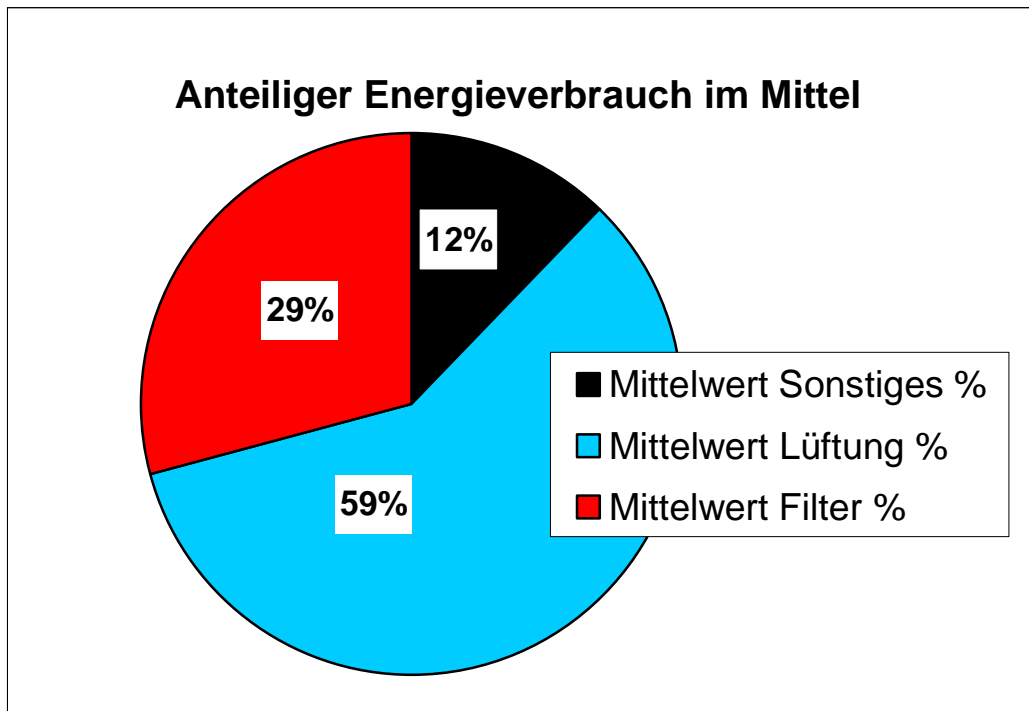


Abbildung 53: Verteilung des Gesamtenergieverbrauchs auf die verschiedenen Bereiche

Der Energieverbrauch der gesamten Anlage teilt sich wie in Abbildung 53 dargestellt auf. Dabei fallen 29 % auf den Betrieb der Abluftreinigungsanlage und 59 % auf den der Lüftung. Die restlichen 12 % werden für alle sonstigen Verbraucher genutzt.

Bei einem Energiepreis von 0,14 €/kWh ergeben sich die in den folgenden Tabelle stehenden Energiekosten.

Tabelle 28: Energiekosten

	Energiekosten [€/h]	Energiekosten [€/d]	Energiekosten [€/a]
Sonstiges	0,071	1,70	620,50
Abluftreinigung	0,177	4,25	1551,25
Lüftung	0,381	9,14	3336,10
Gesamt	0,629	15,1	5507,85

5.2.3 Arbeitszeitbedarf

Der Arbeitszeitbedarf wird vom Hersteller der Abluftreinigungsanlage mit 10 Minuten pro Tag angegeben. Diese Angabe wurde durch den Landwirt bestätigt. Der Arbeitszeitbedarf kann in die folgenden drei Punkte unterteilt werden:

- Kontrolle
- Reinigung
- Wartung

Diese beinhalten die in den folgenden Punkten beschriebenen Arbeiten. Sie fallen in unterschiedlicher Häufigkeit an und werden so auf die täglichen 10 Minuten Arbeitszeit aufgeteilt. Der jährliche Arbeitszeitbedarf beträgt somit ca. 61 Stunden.

Die Kontrolle der Abluftreinigungsanlage gehört zu den täglichen Aufgaben des Landwirts. Sie beinhalten die Kontrolle der Anlagensteuerung und der Anlage selbst. Bei der Steuerung sind die Verläufe des pH-Werts zu kontrollieren. Hierbei muss gewährleistet sein, dass der eingestellte Soll-Wert dem des Ist-Wert entspricht.

Ein täglicher Kontrollgang beinhaltet die Funktionsüberprüfung der Pumpen, eine Sichtkontrolle der Filterstufen (ob diese ausreichend befeuchtet sind), die Bedüsung der ersten Padwand und die Wasserstände in den Wasserspeicherbecken.

Das pH-Meter, das für die Kontrolle des pH-Werts und der Dosierung der Schwefelsäure eingesetzt wird, muss in regelmäßigen Abständen kalibriert werden. Hierzu sollte mindestens alle vier Wochen die pH-Wert Elektrode mit den geeigneten Pufferlösungen überprüft und justiert werden.

Um eine einwandfreie Funktionsweise der biologischen Stufe zu gewährleisten ist der Feuchtigkeitsgehalt zu überprüfen. Ein Austrocknen dieser Stufe muss vermieden werden.

Die Reinigung der Abluftreinigungsanlage sollten nach jedem Produktionsdurchgang, spätestens jedoch alle drei Monate durchgeführt werden. Jedes Reinigungsintervall muss die Reinigung der Padwände und der Düsen beinhalten. Die Padwände werden mit einem Hochdruckreiniger gesäubert. So wird der auf den Padwänden festsitzende Staub entfernt und Verstopfungen vermieden. Dadurch, dass die Düsen mit Zirkulationswasser betrieben werden, können Schwebstoffe aus dem Wasserbecken die Düsen verstopfen. Eine regelmäßige Reinigung ist für den einwandfreien Einsatz der Düsen erforderlich. Zur Reinigung der Anlage gehört auch der Austausch des Waschwassers. Dieses wird in einem Intervall von drei Monaten getauscht. Beim Wasserwechsel wird darüber hinaus auch der Beckensumpf vom dem abgesetzten Schlamm befreit.

Das Abwasser aus dem Reinigungsprozess inklusive des Schlamms ist in einem geeigneten Behälter zu lagern und soweit möglich, der landwirtschaftlichen Verwendung wieder zuzuführen.

Die Wartung der Abluftreinigungsanlage erfolgt in regelmäßigen Abständen durch die Kalibrierung der pH-Wert Messsonde. Das Intervall wird vom Hersteller mit maximal vier Wochen angegeben. Die Wartung beinhaltet darüber hinaus den Austausch von Filtermaterialien. Die Padwände haben eine Haltbarkeit, die vom Hersteller der Anlage mit fünf Jahren angegeben wird. Die Wurzelholzschüttung der biologischen Reinigungsstufe ist in regelmäßigen Abständen auf Durchbrüche zu untersuchen. Diese sorgen dafür, dass Abluft ungefiltert durch das Material strömt. Werden Durchbrüche erkannt, so können diese durch Auflockern und Nachschütten des Materials geschlossen werden.

5.3 Ökonomischer Betrachtung

Die Investitionskosten für die Installation einer Abluftreinigungsanlage sind je nach System verschieden. Zunächst ist zwischen Neubau und Nachrüstung zu unterscheiden. Bei der Nachrüstung können unter Umständen beträchtliche Anteile der bestehenden Bausubstanz genutzt werden. Bei einem Neubau ist der Investitionsbedarf, unabhängig von System und der Dimensionierung, abhängig von der Bauausführung. Relevant für die

Kostenkalkulation ist die Art der Bauausführung. Es kann zum Beispiel eine massive Bauweise oder eine leichte, aus einer Stahlgerüstkonstruktion, die mit Wellblech verkleidet wird, gewählt werden. In sofern ist die Angabe von Pauschalbeträgen schwierig. Im Rahmen der Herstellerbefragung verwiesen viele Hersteller darauf, dass Preise und Rabatte oftmals individuell kalkuliert werden. Bei Neubauten, bei der eventuell auch der Stall vom gleichen Hersteller geliefert wird, wird eine andere Preiskalkulation angewandt als bei der Preisberechnung für ein einzelnes Abluftreinigungssystem.

Bei der untersuchten Anlage können die Kosten für die Abluftreinigungsanlage wie folgt kalkuliert werden:

Tabelle 29: Modellkalkulation für die jährlichen Kosten einer Abluftreinigungsanlage (Auslegungsgröße 60000 m³/h)

Kostenblock	Beschreibung	Kosten in €/a
Abschreibung	Linear über 10 Jahre	3000
Kosten für Säure	Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 4,9 kg/d	900
Energiekosten	Jahresverbrauch von 11000 kWh, zu einem Preis von 0,14 €	1540
Wasserkosten	Förderung aus eigenem Brunnen	10
Kosten für Arbeitskräfte	61 AKh/a à 15 €/h	990
Reparatur und Wartung	3% der Investitionskosten	900
Gesamtkosten pro Jahr		7340

Aus den Gesamtkosten von 7340 €/a ergeben sich bei 600 Mastplätzen Kosten von 12,38 €/MP. Bei 2,5 Mastdurchgängen ergeben sich Kosten in Höhe von 4,95 € pro Mastschwein durch die Abluftreinigungsanlage.

Die Kosten sinken sehr stark mit größeren Tierbeständen, wie die folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 30: Übersicht der Kosten für Abluftreinigungsanlagen bei größeren Tierbeständen [Big 04]

Mastplätze	Kosten pro Jahr	Kosten pro MP	Kosten pro Mastschwein
1000 MP	8800 €	8,80 €	3,52 €
2000 MP	13700 €	6,85 €	2,74 €

Die Umfragen haben ergeben, dass die Investitionskosten für eine Abluftreinigungsanlage (inkl. Gebäude) bei ca. 350 bis 380 €GV liegen. Hierbei handelt es sich um Kostenkalkulationen für technisch sehr aufwendige Anlagen, die mit Säureeinsatz arbeiten. Die Investitionskosten für eine chemischen Wäscher an einem Broilerstall für 32000 Tiere, diesen entspricht 76,8 GV betragen ca. 27000 €. Dabei fallen 10000 € auf das Gebäude der Abluftreinigungsanlage und 14000 € auf die technische Ausstattung (inkl. Filterstufen etc.). Für den Säureeinsatz, der chemischen Wäsche steigen die Kosten um 3000 € an. Hieraus ergeben sich Investitionskosten einer solchen Anlage von ca. 351,56 €GV (27000€/ 76,8 GV).

In der folgenden Tabelle 31 sind die Kosten verschiedener Abluftreinigungsverfahren in €/Mastplatz und Jahr aufgelistet. Den Werten ist zu entnehmen, dass je nach System mit Kosten in Höhe von 8,5 bis 39 €/je Mastplatz zu rechnen ist.

Tabelle 31: Grobe Übersicht zu Investitions- und Betriebskosten von Abluftreinigungsverfahren (zusammengefasst von [Hah+01])

	Investitionskosten* [€(m ³ h)]		Betriebskosten* [€(1000 m ³ h)]	Gesamtkosten* [€(MP a)]
	V= < 20000 m ³ /h hochwertig	V= > 20000 m ³ /h Mindeststandard		
Biofilter	12,5-37,5	4-7,5	0,2-0,75	10-27
Rieselbett	10	7,5	0,5-1	8,5-18
Biowäscher	10-40	4-20	0,5-2,5	17-39
Chemowäscher	25	4	0,5-2,5	8,5-18
Thermische Verfahren	25	12,5	1,5-7,5	-
* Neuinstallation				

5.4 Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen

Die Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen im Rahmen der Eignungsfeststellung, wie sie nach dem Leitfaden des Landkreises Cloppenburg gefordert wird, verfolgt folgende Ziele:

- Abluftreinigungsanlagen sollen nachweislich die vom Hersteller angegebenen Abscheideleistungen erreichen,
- die Anlagen müssen ihre Betriebssicherheit beweisen,
- eine kontinuierliche Arbeitsweise muss sichergestellt sein,
- der Betrieb unter Extrembedingungen muss gewährleistet sein.

Der Leitfaden des Landkreises Cloppenburg ist aus umweltpolitischen Notwendigkeiten entstanden. Dabei spielten in erster Linie Abluftbehandlungsmethoden eine Rolle, die keine oder nur sehr kurzzeitige Wirkungen erzielten. Die Landwirtschaft ist jedoch in belasteten Regionen auf eine funktionierende Technik angewiesen. Aus diesem Grund war maßgebend, wie man sicherstellen kann, dass die eingesetzten Abluftreinigungsanlagen den Anforderungen genügen. Das Zertifizierungsverfahren, das im Rahmen des Leitfadens des Landkreises Cloppenburg erarbeitet wurde, legt als erstes Mindestforderungen für Abluftreinigungsanlagen fest.

Im Rahmen der Zertifizierung werden sämtliche Daten der Anlagen vom Hersteller abgefragt. Dieser ist gezwungen alle Planungsgrundlagen offen zu legen und so einen großen Teil seiner Forschungs- und Entwicklungsergebnisse kommentiert an Dritte zu geben. Die Wirkungsgrade der zu zertifizierenden Anlage werden durch Messungen verifiziert. Das Messprogramm beinhaltet dabei für die jeweilige Tierart und Haltungsform typische Bedingungen. Diese beziehen sich auf die Belegungsdichte, die Lebendmasse und die Einbeziehung von Extremsituationen. Als Extreme sind innerhalb der Messungen tiefe Temperaturen im Winter und hohe im Sommer einzubeziehen. Bei der Mast ist die Endphase innerhalb der Messzyklen mit zu dokumentieren.

Durch dieses umfangreiche Messprogramm ist der Zeitraum, den die Messungen für eine Zertifizierung benötigt, sehr lang. Durch die nötigen Winter- und Sommermessungen ist mit einer Dauer von einem Jahr für die Messungen zu rechnen.

Die Kosten für eine Zertifizierung nach dem Landkreis Cloppenburg variieren je nach dem zu bemessenden System. Der Umfang der Messungen wird durch den Leitfaden bestimmt, hierbei sind die Kriterien: die Tierart, deren Haltungsform und das eingesetzte Abluftreinigungssystem.

Beispiel:

Bei der Mastgeflügelhaltung umfassen die Messungen zwei Durchgänge im Sommer und zwei im Winter. Die hier zu Grunde liegenden Messungen für Mastschweine umfassten zwei Monate im Winter und zwei Monate im Sommer unter Einbeziehung der Endmastphase.

Während die untersuchte Anlage sowohl auf Ammoniak-, Geruch- und Staubabscheidung untersucht wurde, würde bei einem Biofilter auf die Ammoniakabscheidung verzichtet werden, da dieser grundsätzlich für diese Emissionskomponente nicht geeignet ist ([Hah+02] S. 4).

6 Diskussion

In der nun folgenden Diskussion werden anhand der vorhergehenden Kapitel die folgenden Punkte betrachtet:

- Eignung der Messmethoden,
- Bewertung der untersuchten Abluftreinigungsanlage anhand der Messergebnisse,
- Vergleich anderer Abluftreinigungssysteme,
- das Zertifizierungsverfahren,
- Einsatz von Abluftreinigungssystemen in der Landwirtschaft.

6.1 Eignung der Messmethoden

Die in Kapitel 4 beschriebenen Messmethoden wurden anhand der Vorgaben des „Leitfadens des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung [Hah+02]“ gewählt. Da es sich bei den beiden Messzeiträumen jeweils um Langzeitmessungen handelte, stellten diese sehr hohe Anforderungen an die Messgeräte und den Messaufbau. Gerade die Ammoniakmessung mit dem eingesetzten Multigasmonitor der Firma Brüel & Kjaer erwies sich zu Beginn als schwierig. Zum einen mussten die langen Ansaugschläuche für das Probengas so verlegt werden, dass möglichst keine Aerosole und Staubpartikel eingesaugt werden. Zum anderen ist die chemisch-physikalische Belastung des Messgerätes durch die Stallluft sehr hoch. Hierdurch kam es zu einigen Störungen während der Vorversuche und zu Beginn der Wintermessungen. Zwar war die Messtechnik nicht unmittelbar im Stall, sondern in einem separaten Serviceraum aufgestellt, jedoch war auch in diesem eine hohe Staub- und Ammoniakkonzentration vorhanden.

Wie auch schon andere Versuche [Sie 03], [Kec 97] und [Bü 01] gezeigt haben, ist die verwendete Ammoniakmesstechnik geeignet für Langzeitmessungen.

Die Entnahme und Auswertung der Geruchsproben mit den eingesetzten Geräten TO7 und TO8 verlief problemlos. Einzig die in Kapitel 4.3.3.2 beschriebenen Anfangsprobleme des, von der Firma Ecoma Emissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH neu entwickelten, TO8 können hier als Störung bezeichnet werden. Dieses hatte jedoch keine Auswirkung auf die Messwertanalyse, da unmittelbar mit dem Vorgängermodell gearbeitet werden konnte.

Die mit dem Aerosolspektrometer durchgeführten Partikelkonzentrationsmessungen waren rohgasseitig unproblematisch. Reingasseitig ist jedoch auf die Witterung zu achten, da eventuell eingesaugte Aerosole vom Gerät als Partikel miterfasst werden. Die gravimetrische Staubmessung ermöglicht hier durch Trocknung eine Korrektur. Jedoch hat die rein gravimetrische Staubmessung einige Nachteile. Sie dauert sehr lange, weil ein großes Volumen gefiltert werden muss, um eine messbare Menge an Partikeln zu sammeln. Des Weiteren ist durch die Gravimetrie lediglich der Gesamtstaub zu bestimmen. Die Bestimmung des inhalierbaren Staubs durch die angewendete Streulichtmethode beschreibt zwar das Gefahrenpotential der Partikel besser, ist jedoch bei den derzeitigen Forderungen für die Zertifizierungsmessungen nicht der gravimetrischen Methode vorzuziehen, wie sich im Nachhinein herausgestellt hat (siehe Kapitel 6.3).

Zusammenfassend sind die verwendeten Messmethoden für die Messungen an Abluftreinigungsanlagen als geeignet zu bezeichnen.

6.2 Bewertung der untersuchten Abluftreinigungsanlage anhand der Messergebnisse

Wie in der Ergebnisdarstellung (Kapitel 5) gezeigt wurde, konnte im Rahmen der Messungen eine hohe Abscheidung der Emissionsfaktoren Ammoniak, Staub und Geruch nachgewiesen werden. Die Ammoniakabscheidung erreichte sowohl im Winter- als auch im Sommermesszeitraum im Mittel einen Wirkungsgrad von über 70%. Durch die unterschiedlichen Zeiträume wurde die Ammoniakabscheidung der Abluftreinigungsanlage bei verschiedenen Luftvolumenströmen ermittelt. In der folgenden Abbildung ist zu sehen,

dass sich die Ammoniakabscheidung (Wirkungsgrad in %) unabhängig vom Volumenstrom verhält. Insgesamt ist eine sehr große Streuung zu beobachten.

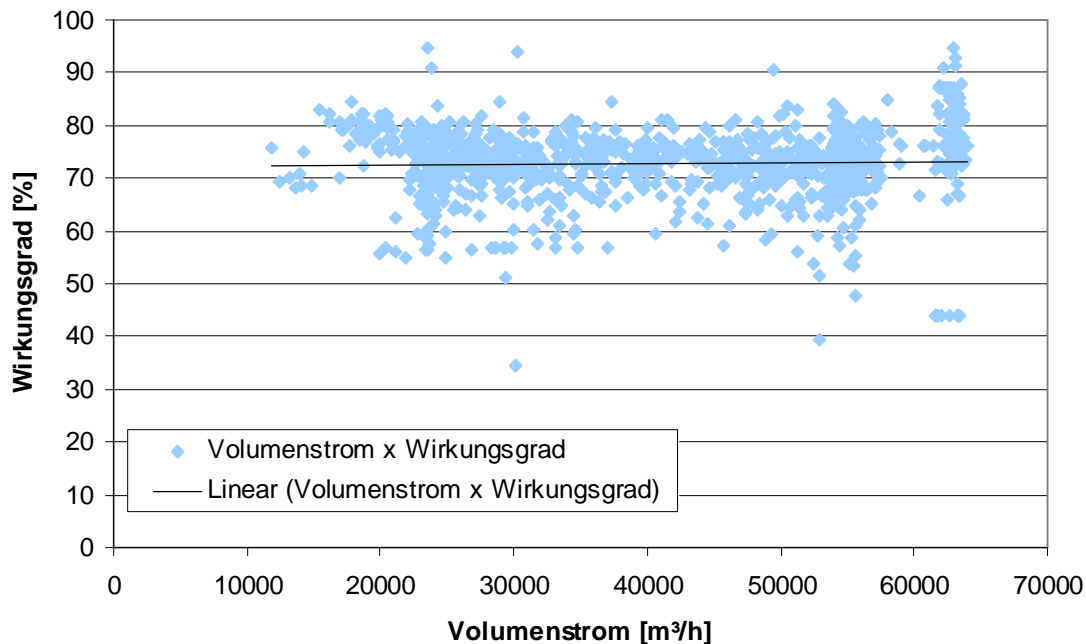


Abbildung 54: Einfluss des Volumenstroms auf den Wirkungsgrad der Ammoniakabscheidung

Die Staubabscheidung lag im Mittel bei über 95 % des inhalierbaren Staubes. Dieses konnte im Rahmen der Winter- und Sommermessreihen wiederholt festgestellt werden. Die Partikelkonzentration im Reingas betrug im Winter im Mittel $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchste Konzentration lag bei $89,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die niedrigste bei $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Während der Sommermessungen erhöhte sich die Partikelkonzentration im Reingas auf $52,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Mittel, bei einem Maximalwert von $133,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einem Minimalwert von $25,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zusammenfassend ist das Staubabscheidungsvermögen der betrachteten Abluftreinigungsanlage als sehr gut zu bezeichnen. Der Wirkungsgrad verlief über den betrachteten Zeitraum sehr konstant auf hohem Niveau.

Die Ergebnisse der Geruchsabscheidung durch die Abluftreinigungsanlage haben gezeigt, dass sich durch den Einbau der dritten Reinigungsstufe aus Wurzelholz, die Reinigungsleistung erheblich erhöht hat. Die Nutzung der biologischen Stufe erhöhte die Geruchsabscheidung im Winter um ca. 68 % und im Sommer um ca. 30 %. Die

Geruchstoffkonzentration im Reingas betrug während des Winterzeitraums im Mittel 256,5 GE/m³. Im Sommer sank die durchschnittliche Geruchstoffkonzentration im Reingas auf 248,8 GE/m³. Reingasseitig konnte kein Rohgasgeruch von den Probanden wahrgenommen werden. Betrachtet man diese Ergebnisse, so ist das System als geeignet zu bezeichnen.

Der Aufbau der biologischen Stufe, in den gestapelten Kunststoffkisten, ist aus arbeitszeitlicher Sicht als ungünstig zu bezeichnen. Zum einen wird zwar das Zusammensacken des Substrats, durch das geringere Gewicht reduziert, zum anderen ist ein Nachbefüllen der Kisten sehr umständlich. Da das Biofiltersubstrat mit der Zeit zusammensackt, bilden sich in jeder Kiste Luftdurchbrüche. Um diese zu schließen müssten dann alle Kisten nachgefüllt werden. Dieses stellt einen enormen arbeitszeitlichen Aufwand dar. Der Hersteller der Abluftreinigungsanlage hat dieses Problem erkannt und verwendet bei neuen Anlagen keine Kunststoffkisten mehr. Hier kommt jetzt ein durchgängiger verzinkter Stahlkäfig zum Einsatz. Dieser ersetzt die Außenwand, so dass er von oben mit einem Frontlader zu befüllen ist. Somit ist ein Nachbefüllen der biologischen Schüttung unproblematisch.

Die Anlage arbeitete über den gesamten Messzeitraum zuverlässig und ist in sofern als geeignet zu bewerten. Wie eingehend bereits dargestellt wurde, sind in beiden Messzeiträumen jeweils die Endmastphasen von zwei Mastdurchgängen in der Datenaufnahme enthalten. Die jahreszeittypischen klimatischen Gegebenheiten wurden erfasst und können so einen Aufschluss über das Leistungsvermögen der Anlage in Extremsituationen geben. Es wurden sowohl minimale als auch maximale Luftwechselraten erfasst.

6.3 Vergleich anderer Abluftreinigungssysteme

Für einen Vergleich mit älteren und bestehenden Systemen wurde auf Literaturquellen zurückgegriffen. Im Vergleich von älteren Systemen ist die technische Entwicklung, die diese Systeme genommen haben, sehr gut zu dokumentieren.

Im Rahmen der KTBL-Datenerhebung wurden, die in Deutschland und auf dem deutschen Markt aktiven Hersteller zu ihren, zurzeit, angebotenen Abluftreinigungsanlagen befragt. Dreizehn Hersteller wurden angeschrieben. Von jedem Hersteller wurde ein System ausgewählt, das dieser im Moment vertreibt. Abbildung 55 zeigt das Ergebnis der Datenerhebung.

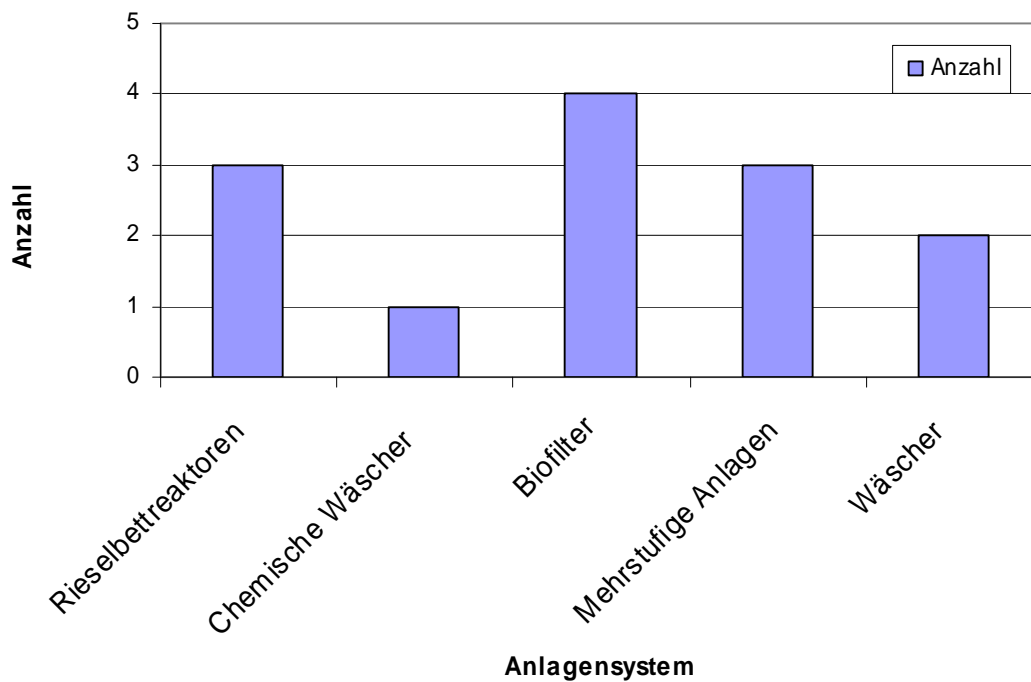


Abbildung 55: Übersicht der auf dem Markt erhältlichen Abluftreinigungssysteme

Die Abbildung zeigt, dass zum Zeitpunkt der Befragung 13 Anlagentypen vertreten waren. Davon sind vier Biofilter, drei Rieselbettreaktoren, drei mehrstufige Anlagen, zwei Wäscher und ein chemischer Wäscher. Die Unterteilung ist nicht so eindeutig möglich, da einige Hersteller darauf hingewiesen haben, dass z.B. ein normaler Wäscher auch mit Säuredosierung umgerüstet und so als chemischer Wäscher betrieben werden kann. Das Gleiche gilt auch umgekehrt. Bei den drei mehrstufigen Anlagen handelt es sich um zwei dreistufige Systeme und ein zweistufiges. Laut Herstellerangabe können die dreistufigen Systeme auch als zweistufiges physikalisch-chemisches System angeboten werden.

Die Abscheideleistung der Emissionsfaktoren Ammoniak, Staub und Geruch der verschiedenen Systeme sind in den folgenden zwei Tabellen anhand von Beispielen aufgeführt. Tabelle 32 zeigt eine Übersicht verschiedener Abluftreinigungsanlagen und

deren Abscheideleistungen. Die Daten sind verschiedenen Veröffentlichungen entnommen und können so auf die Durchführung von Messungen überprüft werden.

Tabelle 32: Abscheiderate älterer System (Literaturwerte)

Abluftreinigung Typ	Abscheiderate [in %]			Jahr	Quelle
	Ammoniak	Staub	Geruch		
Naßabscheider/Biofilter- kombination	>90	>80	6-41	1996	[Sie 96]
Biofilter I	26	k.A.	61	1996	[Lai 96]
Biofilter II	36		89		
Biofilter III	22		85		
Biofilter „Biochips“ Biofilter „Rindenhackholz“	7-26	k.A.	ca. 75 60-65	2001	[Mar 01]
Gewebefilter	k.A.	68	k.A.	1975	[Sch 75]
UV-Bestrahlung	ca. 32	k.A.	65		
Sprühwäscher	46	81	53		
Chemischer Wäscher	67	k.A.	60	1973	[Lar 73]
Biofilter I	49		48	1981	[Kow 81]
Biofilter II	<80		78		
Biofilter	73-93		61-97	1998	[Nic 98]
Biofilter mit vorgesaltetem Wäscher	55-98		65-95	2000	[She+00]
Biofilter mit vorgesaltetem Wäscher	-40 -80		-20 -80	1995	[Man 95]
Biofilter mit vorgesaltetem Wäscher	60-98		60-98	1998	[Hop 98]

Tabelle 33 zeigt die Abscheiderate heutiger Abluftreinigungsanlagen. Die Reinigungsleistungen sind als Wirkungsgrad von den jeweiligen Herstellern angegeben worden. Messprotokolle zu den angegebenen Werten liegen nur zum Teil vor.

Tabelle 33: Abscheiderate heutiger Systeme (Herstellerangaben)

Abluftreinigung Typ	Abscheideleistung [in %]		
	Ammoniak	Staub	Geruch
Wäscher	bis 90	65-75	bis 90
Chemischer Wäscher	80	85	80
Rieselbettreaktor	30	100	75
Kombinationssystem 3- stufig	70	95	80
Biofilter	20-60	>95	70 (Sommer) 99 (Winter)

Vergleicht man die Daten der beiden Tabellen, ist zu erkennen, dass die angegebenen Abscheideraten angestiegen sind.

Die Arbeitszeit kann man in tägliche und unregelmäßige Arbeiten einteilen. Diese Einteilung dient dazu einen Vergleich zwischen den verschiedenen Systemen durchführen zu können. Zum Teil ist es so, dass einige Systeme während ihrer normalen Laufzeit sehr wenig Arbeitszeit benötigen, jedoch beim Wechsel (z.B. des Filtermaterials) äußerst arbeitszeitintensiv sind. Eine tägliche Kontrolle der verschiedenen Systeme wird von jedem Hersteller angeraten. Allgemein kann man sagen, dass mit steigender Technisierung der Anlagen (mehrstufige Systeme) der tägliche Arbeitszeitbedarf, der u.a. für Kontrollen benötigt wird, ansteigt. Bei Systemen, wie z.B. Biofiltern ist der tägliche Arbeitszeitbedarf vergleichsweise gering. Jedoch fällt bei diesen Systemen der Arbeitszeitbedarf für unregelmäßige Arbeiten wie z.B. Wechsel des Filtersubstrats sehr hoch aus.

6.4 Das Zertifizierungsverfahren

Das Zertifizierungsverfahren kann aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Aus der Sicht der Landwirte, die eine Abluftreinigungsanlage betreiben müssen, bietet die Zertifizierung von Anlagen eine Sicherheit über die Funktionsfähigkeit der Anlage. Der Betreiber der Anlage, kann sich durch die Zertifizierung über die nachgewiesene Leistungsfähigkeit des Systems informieren.

Aus der Sicht der Hersteller hat das Zertifizierungsverfahren zwei Seiten. Zum einen ist die Zertifizierung mit hohen Kosten verbunden. Diese Kosten werden zwar auf die Landwirte umgelegt, jedoch müssen die Hersteller erst in Vorleistung gehen. Neben den Kosten kommt es durch die Messungen zu einem zeitlichen Aufschub von mindestens einem Jahr, bis das Zertifizierungsverfahren durchlaufen ist. Während dieser Zeit kann der Hersteller seine Abluftreinigungsanlagen in bestimmten Landkreisen nicht vertreiben. Die Zertifizierung erfordert die Offenlegung von Planungsdaten, die zu den Betriebsgeheimnissen (Know-How der Hersteller) gehören. Zum anderen kann das Zertifikat werbewirksam eingesetzt werden.

Den zuständigen Behörden, in den Landkreisen wird über die Zertifizierung ein Instrument für die Empfehlung von Anlagen in die Hand gegeben. Durch das Zertifikat der

Abluftreinigungsanlagen können die einzelnen Landkreise den Landwirten eine exakte Vorgabe machen, welche Abluftreinigungsanlagen den Anforderungen entspricht und für das jeweilige Emmissionsproblem geeignet ist.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen sinnvoll, da so die Hersteller eine objektive Darstellung der Leistungsfähigkeit ihrer Anlage erbringen müssen. Es wird damit ausgeschlossen, dass Anlagen betrieben werden, die nur geringe Leistungen erreichen oder nach kurzer Zeit, die an sie gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllen können.

Die Zertifizierung sollte durch eine geschulte und erfahrene Prüfungskommission erfolgen. Dabei ist besonders wichtig, dass dem Antragssteller eine genaue und eindeutige Vorgabe zum durchzuführenden Messprogramm mit allen Rahmenparametern gemacht wird. Diese Vorgaben beinhalten auch eine Anleitung zur Erstellung des Messberichtes. Dieses ist sowohl für den Antragssteller eine Erleichterung als auch für die Prüfer. Ein genormter Bericht beschleunigt die Bearbeitung. Die Bearbeitungszeit muss kurz gehalten werden, da es sich bei dem Messprogramm im Rahmen der Zertifizierung schon um einen zeitlichen Aufschub von ca. einem Jahr handelt (Sommer- und Wintermessungen), muss ein sehr zeitnaher Abschluss erfolgen. Antragssteller und Prüfstelle sollten sich im Voraus über alle Messbedingungen einigen und offene Fragen klären. Eine Veränderung des Messprogramms (Intervalle, Messgrößen und Messgeräte) von Seiten der Prüfstelle ist nicht statthaft. Eine Nachmessung bei offenen Fragen der Prüfungskommission sollte die Ausnahme sein.

Ab dem 1.1.2005 wird die Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen von der DLG im Rahmen eines „Signumtests“ durchgeführt. Dieses beinhaltet im Wesentlichen die Prüfkriterien, die im Leitfaden des Landkreises Cloppenburg formuliert sind. Darüber hinaus sind folgende Unterlagen vorzulegen:

- Liste der Referenzanlagen
- Genaue Funktionsbeschreibung des Abluftreinigungssystems
- Notwendige Ausstattung (Stromzähler, Wasseruhr, ...)
- Einsatzplan für die beantragten Tierarten / Haltungsformen / Entlüftungstechnik mit Auslegung in Grundrissen Schnitten sowie genaue Abmessungen für jede der beantragten Anwendungen

- Beschreibung des ordnungsgemäßen Betriebes und Steuerung oder Regelung der notwendigen Parameter – Benutzerhandbuch
- Revisions- und Wartungsplan sowie Betriebstagebuch

Nach Eingang der Antragsunterlagen wird die Festlegung des Prüfrahmens für den Funktionsnachweis durch die Prüfkommision bestimmt. Der Nachweis der Abscheideleistung der Abluftreinigungsanlage hat über Messungen einer Messstelle zu erfolgen.

Neben den bereits im Leitfaden des Landkreises Cloppenburg beschriebenen Prüfkriterien, wird mit Rahmen des Signumtests eine Überprüfung der Sicherheit erfolgen. Diese beinhaltet die Arbeits-, Feuer- und die Umweltsicherheit. Hier ist besonders der Umgang mit Chemikalien, die Geräuschentwicklung der Anlage, sowie die Entsorgung der eingesetzten Reinigungsmedien zu betrachten.

Der Wechsel der Zertifizierung vom Landkreis Cloppenburg an die DLG hat einige Konsequenzen für die Hersteller bzw. die Messstellen für die Zertifizierungsmessungen. Die Durchführung des Signumtests wird erheblich kostenintensiver als das bisherige Verfahren. Die Zertifizierungsmessungen müssen durch eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle durchgeführt werden. Diese Prüfstelle muss sowohl Staub, Geruch und Ammoniak messen können. Kann dieses nicht von einer Stelle geleistet werden, müssen mehrere Prüfstellen beauftragt werden. Hochschulen werden in Zukunft wohl keine derartigen Messungen durchführen können, da eine Akkreditierung teuer ist, und das benötigte Personal innerhalb der Hochschulinstitute zu schnell wechselt.

Andererseits wird den Herstellern durch die DLG eine kompetente Beratung und Betreuung vor- und während der Zertifizierungsphase zur Seite gestellt.

6.5 Einsatz von Abluftreinigungssystem in der Landwirtschaft

Im Rahmen der KTBL-Kalkulationsunterlagenerhebung konnte eine Übersicht der am Markt befindlichen Abluftreinigungsanlagen erstellt werden. Hier ist zu sehen, dass alle gängigen Anlagentypen von verschiedenen Herstellern angeboten werden. Die Herstellerangaben der einzelnen Abscheidungsleistungen sind jedoch in Einzelfällen zu

hinterfragen oder zu prüfen, da sie zum Teil sehr hoch angesetzt sind. Eine Prüfung der Messprotokolle bietet sich in Einzelfällen an.

Jedoch konnte im Rahmen der durchgeführten Messungen und Sichtung verschiedener Anlagen festgestellt werden, dass viele Hersteller bestrebt sind, für die Landwirtschaft einsetzbare Systeme anzubieten. Grundsätzlich gibt es für die verschiedenen Emissionsprobleme auch verschiedene Lösungsangebote. Sei es eine reine Geruchsminderung durch Biofilter, Staubabscheidung durch z.B. Wäschersysteme, Ammoniakreduktion durch den Einsatz von chemischen Wäschern, oder Kombinationen aus diesen.

Abluftreinigungsanlagen haben in der Landwirtschaft einen, wie auch das untersuchte System zeigt, hohen technische Stand erreicht. Dieses ist aber nicht gleichzusetzen mit dem „Stand der Technik“. Bei einer Zuordnung der Abluftreinigungsanlagen zum Stand der Technik, sind neben der Wirksamkeit immer auch die damit verbundenen Aufwendungen zu betrachten. Im Folgenden wird gezeigt, dass hier keine Verhältnismäßigkeit besteht wenn über 90% des Unternehmensgewinns für die Abluftreinigung aufgewendet werden muss. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist die Abluftreinigung eine teure Technik. Das betrifft sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten. Dazu kommt der erhöhte Arbeitsaufwand, der durch den Landwirt abgedeckt werden muss. Die Abluftreinigungssysteme, die zurzeit angeboten werden, bedürfen einer regelmäßigen Kontrolle und Wartung. Sie sind noch weit von vollautomatischen Systemen entfernt. Betrachtet man die Kosten von ca. 12 € pro Mastplast für eine Abluftreinigungsanlage, die Ammoniak, Staub und Geruch reduzieren kann, so wirft sich die Frage auf: „Welcher Einfluss hat die Abluftreinigung auf den Unternehmensgewinn?“. Die folgende Tabelle 34 zeigt beispielhaft wie sich der Unternehmensgewinn pro erzeugtem Mastschwein zusammensetzt. Hier wird in erfolgreiche und weniger erfolgreiche Mäster unterschieden.

Tabelle 34: Berechnung des Unternehmensgewinn pro Mastschwein nach Beverborg [I 5]

	Erfolgreicher Mäster	Weniger erfolgreicher Mäster
Verkaufserlös 9.2.2004: 1,28 €/kg SG Nord-West-Preis	125 €	119 €
94 kg Schlachtgewicht		
Abzug Vorkosten, Maskenschlupf*, Teilschäden	-0,06 / -0,12 €/kg SG	
Magerfleischanteil	56,7 % / 55,7 %	
Ferkel, 28 kg	44 €	44 €
Einstallmonat Oktober 2003		
Futterkosten	44 €	46 €
90 kg Zuwachs, 17 €/dt Futter		
Futterverwertung	1:2,89 / 1:3,01	
Sonstige Kosten (Tierarzt, Energie, Tierseuchenkasse etc.)	7 €	8 €
Summe Direktkosten	95 €	98 €
Direktkostenfreie Leistungen	30 €	21 €
Lohnanspruch 15 €/AKh 0,4 AKh/Mastschwein	6 €	6 €
Gebäudekosten, Gemeinkosten und Zinsanspruch 400€/Platz * 12 % = 48 €/Platz	19 €	20 €
Umtriebe	2,6 / 2,4	
Unternehmensgewinn/-verlust pro Mastschwein	5 €	-5 €

Werte in Euro pro Mastschwein (94 kg SG), gerundet, inkl. MwSt., *Abweichung vom Maskenoptimum

Wenn ein erfolgreicher Mäster einen Unternehmensgewinn von 5 € erzielt, kann er bei 2,6 Umtrieben einen Gewinn von 13 € pro Mastplatz realisieren. Bei kalkulierten Kosten für die Abluftreinigungsanlage von ca. 12 € pro Mastplatz bleibt ein Gewinn von 1 € pro Mastplatz und Jahr. Für einen weniger erfolgreichen Mäster verdoppelt sich der Unternehmensverlust von 12 € auf 24 €.

Diese hohen Kosten und die damit verbundene Gewinnminderung werfen die Frage auf, ob es sich durch die Forderungen einzelner Landkreise nach Abluftreinigungsanlagen um einen systematischen Wettbewerbsnachteil für die dort wirtschaftenden Landwirte handelt. Werden in einzelnen Regionen Abluftreinigungsanlagen gefordert und in anderen nicht, so ergibt sich ein wirtschaftlicher Nachteil für die Schweinemäster in der betreffenden Region. Denn die Abluftreinigungssysteme sind für den einzelnen Landwirt lediglich ein Kostenfaktor. Der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen wird nicht entlohnt.

Abluftreinigungssysteme die Säuren zur Ammoniakabscheidung einsetzen, bilden ein hohes Gefahrenpotential, da der Umgang mit den hochkonzentrierten Chemikalien gefährlich ist. Hier muss seitens der Hersteller alles unternommen werden, den Umgang mit den Chemikalien für den Betreiber sicher zu machen. Dieses gilt sowohl für den in Betrieb der Abluftreinigungsanlage, als auch für die Lagerung. Die Säurefässer, sowohl die gefüllten als auch die leeren, müssen für unbefugte Personen unzugänglich gelagert werden. Entleerte Säurefässer enthalten immer noch Reste der Chemikalien, die fachgerecht entsorgt werden müssen. Die Betreiber von Abluftreinigungsanlagen mit chemischer Wäsche sollten eine genaue Einweisung über den Umgang mit Säuren bekommen. Sie sollten auch für Unfälle geschult sein. Beim Umgang mit gefährlichen Chemikalien sind entsprechende Schutzmaßnahmen zu treffen, z.B. Schutzkleidung, Augendusche etc.. Dieses sollte sowohl dem Hersteller der Anlage, als auch dem Betreiber klar sein.

7 Zusammenfassung

Durch die zunehmende Besiedlung der ländlichen Regionen verringert sich der Abstand zwischen Wohngebieten und tierhaltenden Betrieben immer mehr. Dieses birgt ein großes Konfliktpotential und somit hat sich in den letzten Jahren die Politik dieser Problematik angenommen. Hierbei wurden Regelungen zu Mindestabständen und emittierbaren Stoffmassen erarbeitet. Gerade Regionen mit einer großen Tierbestandsdichte sind an Lösungen zur Verringerung von Emissionen aus Stallanlagen interessiert. Eine Möglichkeit zur Reduzierung von Emissionen ist die Abluftreinigung. Da jedoch in der Vergangenheit immer wieder Anlagen mit unzureichender Leistungsfähigkeit eingesetzt wurden, ließ der Landkreis Cloppenburg einen Leitfaden für die Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen erarbeiten. Dieser regelt im Rahmen einer Zertifizierung die Mindestanforderungen, die eine Abluftreinigungsanlage erbringen muss. Der Leistungsnachweis erfolgt über Zertifizierungsmessungen.

Im Rahmen der Zertifizierung, wurde nach den Vorgaben des Landkreises Cloppenburg die Leistungsfähigkeit einer dreistufigen Abluftreinigungsanlage untersucht. Die Anlage arbeitet mit je einer physikalischen, chemischen und biologischen Reinigungsstufe. Die durchgeführten Messungen der Ammoniak-, Staub- und Geruchsabscheidung belegen, dass das untersuchte System eine mittlere Ammoniakreduktion von 70 % erreicht. Der mittlere Wirkungsgrad für die Abscheidung von inhalierbaren Staubpartikeln wurde im Bereich von 95 % ermittelt. Die Geruchsstoffkonzentration kann im Durchschnitt im Winter um 83% und im Sommer um 75 % gesenkt werden. Im Mittel lag die Reingasgeruchskonzentration damit während der Wintermessungen bei ca. 257 GE/m³ und während des Sommers bei ca. 249 GE/m³. In beiden Messzeiträumen konnten bei keiner Messung der prozesstypische Rohgasgeruch im Reingas festgestellt werden.

Die Messungen nach den Zertifizierungsvorgaben des Landkreises Cloppenburg, erfordern ein hohes Maß an messtechnischer Sicherheit für eine derartige Langzeitmessung. Die Anforderungen, die an die Messgeräte gestellt werden, sind gerade bei extremen Klimabedingungen und unter den stalltypischen Umgebungsbedingungen, sehr hoch. Die Zertifizierung der Anlagen ist mit einem extrem hohen Messaufwand verbunden, der sehr viel Zeit und Geld kostet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Abluftreinigung in der Landwirtschaft im Allgemeinen einen sehr hohen technischen Stand erreicht hat. Man kann sie jedoch nicht als „Stand der Technik“ bezeichnen. Die untersuchte Anlage erfüllte über den Messzeitraum die an sie gestellten Anforderungen.

Die Zertifizierung von Abluftreinigung ist durch Ihren messtechnischen und zeitlichen Umfang für die Hersteller und damit letztendlich auch für den Landwirt mit sehr hohen Kosten verbunden. Sie bietet jedoch den Landkreisen und auch den Betreibern eine Sicherstellung der Funktionstauglichkeit. Die Funktionssicherheit hingegen ist sehr stark von der Kontrolle und Wartung durch den Betreiber abhängig.

8 Literaturverzeichnis

- [Aar+99] AARNINK, A.J.A.; ROELOFS, P.F.M.M.; ELLEN, H.: GUNNINK, H.: Dust sources in animal houses. Proceedings on Dust Control in Animal Production facilities, 30. Mai-2. Juni, Aarhus, Dänemark: 34-40, 1999
- [Baa 72] BAADER, W.; THAER, R., TRAULSEN, H.: Verfahren zur Behandlung von Abfällen der tierischen Produktion. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 612-627
- [Bar 72] BARDTKE, D.; JESERICH, G.: Einfluß von Abfällen und Ausscheidungen in der tierischen Produktion auf Wasser und Gewässer. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 666-674
- [Big 04] BIG DUTCHMAN INTERNATIONAL GmbH, Vechta-Calveslage: nach Herstellerangaben. 2004
- [Ble 72] BLENDL, H.M.; HILLINGER, H.G.: Minderung von Geruchsbildung in der Tierhaltung. Haltungstechnische Maßnahmen zur Minderung der Emissionen. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 529-542
- [Boe 03] BOECKER, P.: Habilitationsschrift: Die Objektivierung des Geruchseindrucks, Publikation der Arbeitsgruppe Sensorik am Institut für Landtechnik, Universität Bonn, 2003
- [Boe+72] BOECKH, J. GERUCH; IN GRAUER, O.; KRAMER, K.; JUNG, R. (Hrsg.): Physiologie des Menschen II: Somatische Sensibilität, Geruch und Geschmack, 169-204, Urban & Schwarzenberg, München, 1972
- [Bot+95] BOTH, R.; ESSERS, K.-H.; GLIWA, H.; KÜLSCHKE, S.: Untersuchungen zur Geruchsausbreitung und Geruchsbelästigung an einem großen Schweinemastbetrieb. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 1995
- [Bü 01] BÜSCHER, W. UND FROSCH, W.: Erfahrungen mit Messventilatoren zur Volumenstromermittlung. Landtechnik (56), H.2 S96-97, 2001

- [Büs 96] BÜSCHER, W.: Ammoniakfreisetzung aus zwangsbelüfteten Stallanlagen mit Flüssigmist – Ansätze zu deren Reduzierung - . Agrartechnische Berichte, Habilitationsschrift, Hohenheim, 1996
- [DIN 1946] DIN 1946 Teil 1: Raumluftechnik – Terminologie und graphische Symbole (VDI-Lüftungsregeln). 1988-10
- [DIN EN 13725] DIN EN 13725 (07-03): Europäische Norm 13725, 2003: Luftbeschaffenheit: Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Deutsche Fassung EN 13725: 2003, Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin, Ref.Nr. DIN EN 3725:2003-07
- [DIN EN 481] Arbeitsplatzatmosphäre - Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel (09..93); Beuth, Berlin, 1993
- [DIN EN ISO 5167] DIN EN ISO 5167: Durchflußmessungen von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt. 1995-11
- [Eme+75] EMERSON, K.; ROSSO, R.C.; LUND, R.E.; THURTON, R.V.: Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and temperature, J.Fish. Res. Board Can. 32, 1975, S. 2379-2383
- [FEL 98] FELDHAUS, G.: Stand der Technik nach dem BImSchG. In: Tagungsband Förderkreis Stallklima, ALB Niedersachsen (1998)
- [Fre 94] FRECHEN, F.: Gerüche/Einzelstoffe in: ATV Dokumentation und Schriftreihe aus Wissenschaft und Praxis, Band 33, 29-40; 1994
- [GIRL 99] GIRL, Geruchsimmissions-Richtlinie; MURL-Erl. n.V.; Stand 13.05.1998 / 07.05.1999
- [Gro 93] GRONAUER, A.: Einflussfaktoren auf die Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist als Grundlage verfahrenstechnischer Verbesserungen. Dissertation Technische Universität München, Gelbes Heft Nr. 47 des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 1993
- [Hah 77] HAHN, J.; JUNGE, C.: Atmospheric nitrous oxide: A critical Review. Zeitschrift für Naturforschung, Teil A, H. 32a, 1977, S. 190-214

- [Hah+02] HAHNE, J.; SCHIRZ, ST.; SCHUMACHER, W.: Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung. Landkreis Cloppenburg (Herausgeber) (2002)
- [Han 90] HANEL, B.: Einführung in die konvektive Wärme- und Stoffübertragung. Verlag ,Technik GmbH, Berlin, 1990
- [Han 93] HANSMANN, H.: Bundes-Immissionsschutzgesetz 12. Auflage mit Erläuterungen. Nomus Verl. Baden-Baden (1993)
- [Har 95] HARTUNG, E.: Entwicklung einer Meßmethode und Grundlagenuntersuchung zur Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist. VDI-MEG-Schrift 275, Dissertation, Hohenheim, 1995
- [Har+97] HARTUNG, E.; MARTINEC M.; JUNGBLUTH, T.: Reduzierung der Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Tierhaltungsanlagen der Landwirtschaft durch biologische Abluftfilter. VDI-MEG-Schrift 320, Hohenheim, 1997.
- [Hes+97] HESSE, D.; ZERBE, F.; MANNEBECK, H; HOLSTE, D.: Weiterentwicklung von Mastschweinehaltungsverfahren mit und ohne Einstreu, im Hinblick auf Tier- und Umweltschutz. In: Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3 Internationalen Tagung, 11. und 12. März 1997, Kiel , ISSN 0948-7786, S. 130-137
- [Hil 72] HILLINGER, H.G.; MATTHES, S.: Wirkung von Staub-, Keim- und Geruchsimmissionen auf Mensch und Tier. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 557-570
- [Hop 98] HOPP, J.: Entwicklung und Bau von Biofilteranlagen im Baukastensystem und verfahrenstechnische Bewertung. VDI-MEG Schrift 327, Dissertation, Kiel 1998
- [Hoy 98] HOY, S.: Nur etwas Staub und sonst nicht? DGS Spezial 8/1998
- [ISO 17025] DIN EN ISO / IEC 17025 Norm für die Akkreditierung als Prüflaboratorium
- [Kar 84] KARLSON, P.: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Stuttgart 1984

- [Kec 97] KECK, M.: Beeinflussung von Raumluftqualität und Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung durch verfahrenstechnische Maßnahmen. Forschungsbericht Agrartechnik der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Hohenheim 1997. Dissertation an der Universität Hohenheim, Institut für Landtechnik
- [Kow 81] KOWALESKY, H.: Verminderung von Geruchsemissionen durch Erdfilter. Landtechnik, 36. Jahrgang, 1981, Heft 1, S. 8-10
- [Kra 72] KRAUSE, R.: Technische Verfahren zur Anwendung behandelter Produktionsabfälle auf Nutzflächen, Brach- und Ödland. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 628-637
- [Kra 87] KRAUSE, K.-H.; JANSEN, J.: Stallinterne Beeinflussung der Gesamtemissionen aus Tierhaltungen. Grundlagen der Landtechnik, 1987, Bd. 37, Nr. 6, S. 2313-220
- [Küh 04] KÜHR, R.: Einsatz von Additiven zur Geruchsneutralisation von Stallabluft. Diplomarbeit, Inst. für Landtechnik, Universität Bonn, 2004
- [Kün 72] KÜNTZEL, U.; ZIMMER, E.: Ausmaß und Minderung von Umweltbelastungen durch Verarbeitungsrückstände der Futtermittelkonservierung. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 589-596
- [Lai 96] LAIS, S.: Untersuchung zur Reduzierung der Ammoniak- und Geruchsemissionen aus der Schweinehaltung durch biologische Abluftwäscher, Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG) 293, Dissertation, Hohenheim, 1996
- [LAI] LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz): Ergebnis über die Sitzung des Unterausschusses Luft/Technik am 5./6.6.1991 in Wasserburg/ Inn; 1991
- [Lar 73] LARSON, C.E.: Twa Rapport över företagen provning av bygnadsbyran, Göteborg (1973) (unveröffentlichtes Manuskript)
- [Loe 77] LOEHR, R.C.: Pollution Control for Agriculture. Academic Press, New York, 1977

- [Mai+01] MAIER, B.; RATHMER, B.; RIESS, G.; ZEISIG, H.D.; GRONAUER, A.: Messungen von Geruchsemissionen – Einsatz von Olfaktometrie und Chemo-Sensorarrays zum Vergleich von Haltungssystemen in der Schweinemast, agrartechnische Forschung 7 (2001), Heft 1, S.6-10
- [Man 02] MANNEBECK, D., MANNEBECK, H.: Bedienungsanleitung Olfaktometer TO8 System Mannebeck, Emissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH (ECOMA), Honigsee, 2002
- [Man 95] MANNEBECK, D.: Biofilter an Schweineställen. Analyse der Wirkungsweise und Konsequenzen. Forschungsbericht Agrartechnik (MEG) 260. Dissertation, Kiel 1995
- [Mar 01] MARTINEC, M.: Optimierung von Biofiltern in der Landwirtschaft, Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG) 377, Dissertation, Hohenheim, 2001
- [Mar+98] MARTINEC, M.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T.: Daten zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung . KTBL-Arbeitspapier 260, KTBL, Darmstadt, 1998
- [Mat 93] MATZKE, U.: Geruchsbelästigung und ihre immissionsschutzrechtliche Beurteilung, UWSF-Z, 5/2, 112-113, © ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg, 1993
- [Mül 72] MÜLLER, F.-W.: Möglichkeiten zur Lärminderung in landwirtschaftlichen Produktionsanlagen. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 571-579
- [Mül 94a] MÜLLER, H.-J.: Geruchs- und Schadgasemissionsströme aus Tierhaltungen. Landtechnik, 6, S. 360-361; 1994
- [Mül 94b] MÜLLER, H.-J.: Vergleichende Untersuchung zu den Geruchs- und Ammoniakemissionen verschiedener Stallsystem. In: Immissionsschutz in der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 207. KTBL, Darmstadt. S. 67-76; 1994
- [Nic 98] NICOLAI, R. E. UND JANNI, K. A.: Biofiltration-Technology for odour reduction from swine buildings. International Conference on Odour, Water Quality, Nutrient Management and Socio-economics Issues, Des Moines, Iowa, July 19-22 1998, S. 327-332

- [Oec 91] OECHSLER, H.: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Entseuchung von Flüssigmist durch aerob-thermophile Stabilisierung. MEG-Schrift 203, Dissertation, Hohenheim , 1991
- [Old 87] OLDENBURG, J.; MANNEBECK, H.: Emissionen bei Stallungen – Stand der Technik. Landtechnik 42. Jahrgang, 1987, Nr. 11, S.476-478
- [Old 89] OLDENBURG, J.: Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung, KTBL-Schrift 333, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1998
- [Pae 95] PEARSON, C.C.; SHARPLES, T.J.: Airborn dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. J. agric. Engng Res.; 60: 145-154, 1995
- [Rat+89] RATZKI, E.; HARKORZ, W.; MEDROW, W.: Forschungsvorhaben Geruchsbelästigung durch Schweineintensivhaltung. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Okt. 1989
- [Rüp 80] RÜPRICH, W.: Geruchsfreie Gülle – umweltfreundlich. Verlagsunion Agrar, Frankfurt, 1980
- [Sch 75] SCHIRZ, ST.: Abluftreinigungsverfahren in der Intensivtierhaltung, KTBL-Schrift 200, Darmstadt (1975)
- [Sch+71] SCHIZ, ST. UND 5 MITARBEITER: Geruchsbelästigung durch Nutztierhaltung und die Möglichkeit der Vermeidung und Abhilfe. KTBL-Bauschrift Nr 13, Ffm (1971)
- [Sei+81] SEILER, W.; CONRAD, R.: Mikrobielle Bildung von N₂O (Distickstoffoxid) aus Mineraldünger- ein Umweltproblem? Forum Mikrobiologie, 6, 1981, S. 322-328
- [She+00] SHERIDAN, B. A.; COLLIGAN, J. G.; CURRAN, T. P.; DODD, V. A.: Biofiltration of Exhaust Ventilation Air from Pig Units. Air Pollution from Agricultural Operations, Des Moines, Iowa, USA, Octobre 9-11 2000
- [Sie 03] SIEBER, E.: Quantifizierung von Geruchs-, Spurengas- und Staubemissionen und deren Emissionsquellen im Stall als Grundlage für den Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen

- [Sie 96] SIEMERS, V.: Naßabscheider/Biofilterkombinationen zur Verminderung von Ammoniak-, Geruchs- und Staubemissionen aus Schweineställen, Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG) 304, Dissertation, Göttingen, 1996
- [Str 77] STRAUCH, D.: Abfälle aus der Tierhaltung: Anfall, Umweltbelastung, Behandlung, Verwertung. Ulmer-Verlag, Stuttgart, 1977
- [TA-Luft] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)
- [Tie 72] TIETJEN, C.; VETTER, H.: Einfluß von Abfällen und Ausscheidungen der tierischen Produktion auf Boden und Pflanze. In: Berichte über Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 650-665
- [Tra 71] TRAULSEN, H.: Verfahren zur Beseitigung tierischer Exkreme. KTBL-Berichte über Landtechnik Nr 147, Ffm (1971)
- [UBA 01] UBA, Umwelt Bundes Amt (Hrsg.): Abschlußbericht zum Projekt: Anpassung der dt. Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der dt. Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahr 2010. UBA (2001)
- [VDI 3471] VDI-Richtlinie 3471: Emissionsminderung; Tierhaltung – Schweine. 1986-06
- [VDI 3472] VDI-Richtlinie 3472: Emissionsminderung; Tierhaltung – Hühner. 1986-06
- [VDI 3477] VDI-Richtlinie 3477 Entwurf: Biologische Abgasreinigung - Biofilter (2002-08)
- [VDI 3478] VDI-Richtlinie 3478: Biologische Abgasreinigung – Biowäscher und Rieselbettreaktoren (1996-07)
- [VDI 3881] VDI-Richtlinien: VDI 3881
- Blatt 1 (05-86), Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Grundlagen
 - Blatt 2 (01-87), Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Probennahme

- Blatt 3 (11-86), Olfaktometrie;
Geruchsschwellenbestimmung; Olfaktometer mit
Verdünnung nach dem Gasstrahlprinzip
 - Blatt 4 Entwurf (12-89), Olfaktometrie;
Geruchsschwellenbestimmung; Anwendungsvorschriften und
Verfahrenskenngrößen
- [VDI 3882] VDI-Richtlinien: VDI 3882
- Blatt 1 (1992) Teil 1: Olfaktometrie, Bestimmung der
Geruchsintensität
 - Blatt 2 E (1992) Teil 1: Olfaktometrie, Bestimmung der
hedonischen Geruchswirkung
- [VDI 3940] VDI-Richtlinie: VDI 3940: Bestimmung der Geruchsemissionen
durch Begehung. 1993-10
- [VDI 3940] VDI-Richtlinie 3940: Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch
Begehungen. 1993-10
- [VDI/VDE
2040] VDI/VDE-Richtlinie 2040, Blatt 2: Berechnungsgrundlagen für die
Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren;
Gleichungen und Gebrauchsformeln. 1984-04
- [Vet 93] VETTER, H.: Ammoniak und Umwelt. RKL-Schrift 18/93
- [Vet+73] VETTER, H. et al: Mist und Gülle – Verwertung und Beseitigung
von Flüssigmist und Hühnerkot. Ffm (1966)
- [Vog 72] VOGT, H.; BÖHME, H.: Anwendung von tierischen Verarbeitung s-
und Produktionsabfällen in der Nutztierfütterung. In: Berichte über
Landwirtschaft Bd 50 (1972), heft 3, S. 638-649
- [Wol 72] WOLFERMANN H.F.; REUTTER, L.: Möglichkeiten zur Abhilfe der
Geruchsbelästigung in- und außerhalb von Ställen. In: Berichte über
Landwirtschaft Bd 50 (1972), Heft 3, S. 543-556

Literaturquellen aus dem Internet

- [1 1] Die freie Enzyklopädie <http://de.wikipedia.org>
- [1 2] Umweltlexikon <http://www.umweltlexikon-online.de>
- [1 3] Institut für <http://arbmed.med.uni-rostock.de/pdf/Staubexposition.pdf>
Arbeitsmedizin,
Universität Rostock,
2004
- [1 4] Institut für [http://www.tu-berlin.de/fak3/fakultaetstag/
Energietechnik/olfdezipol.pdf](http://www.tu-berlin.de/fak3/fakultaetstag/Energietechnik/olfdezipol.pdf)
Energietechnik, TU-
Berlin, Fitzner, K. 2004
- [1 5] Landwirtschaftskammer [http://www.lwk-we.de/
lw_tp_tiergesundheit_3854.html](http://www.lwk-we.de/lw_tp_tiergesundheit_3854.html)
Weser-Ems,
Beverborg, R. 2004

Anhang

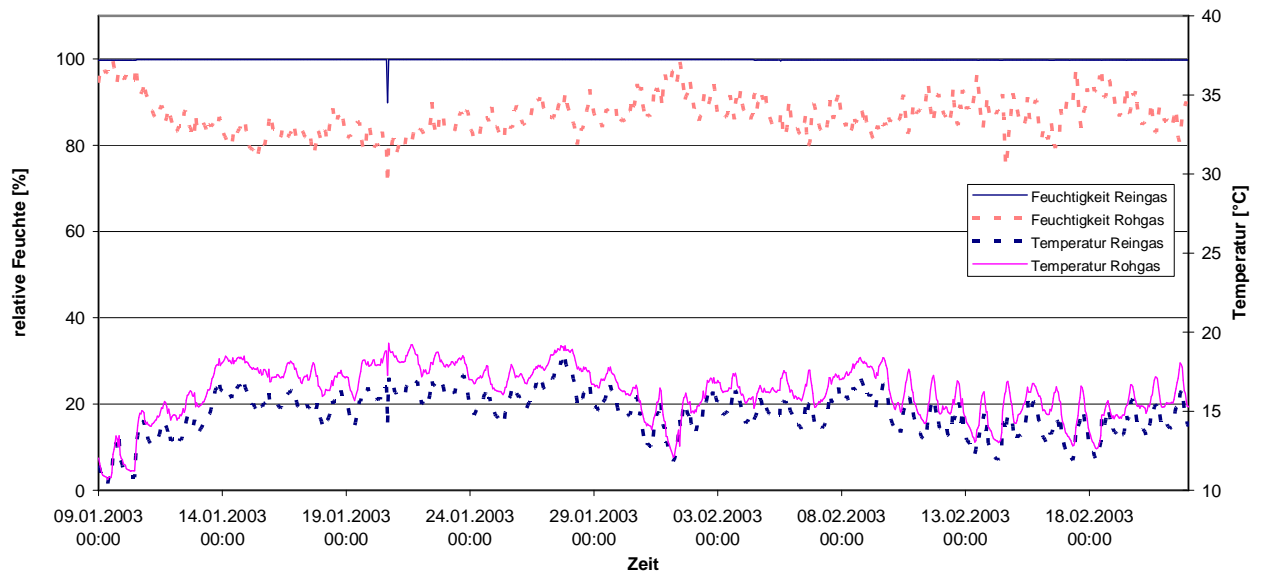
inhalierbar	Rohluft	Reinluft	Wirkungsgrad
Datum	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
30.10.2002	920,10	56,40	93,87
06.11.2002	1176,30	25,50	97,83
11.12.2002	689,40	21,60	96,87
18.12.2002	653,40	89,40	86,32
08.01.2003	2270,10	30,30	98,67
22.01.2003	1112,10	69,00	93,80
26.02.2003	2750,40	30,90	98,88
12.03.2003	1776,60	66,00	96,29

PM₁₀	Rohluft	Reinluft	Wirkungsgrad
Datum	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
30.10.2002	415,20	48,00	88,44
06.11.2002	493,20	13,50	97,26
11.12.2002	609,30	17,40	97,14
18.12.2002	474,00	81,00	82,91
08.01.2003	1013,10	26,70	97,36
22.01.2003	444,00	54,30	87,77
26.02.2003	961,80	17,70	98,16
12.03.2003	698,10	54,30	92,22

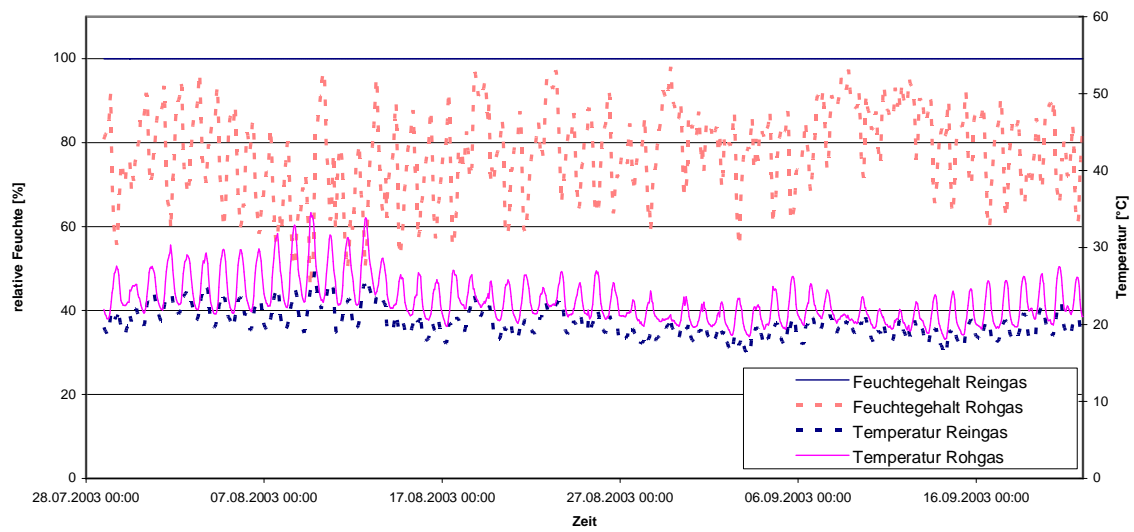
inhalierbar	Rohluft	Reinluft	Wirkungsgrad
Datum	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
24.06.2003	410,10	31,20	92,39
08.07.2003	990,60	48,60	95,09
23.07.2003	856,80	25,80	96,99
30.07.2003	1217,40	39,00	96,80
06.08.2003	2081,92	60,66	97,09
25.08.2003	684,40	41,63	93,92
01.09.2003	1919,09	133,44	93,05
22.09.2003	950,11	42,28	95,55

PM₁₀	Rohluft	Reinluft	Wirkungsgrad
Datum	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
24.06.2003	185,10	25,80	86,06
08.07.2003	312,30	42,60	86,36
23.07.2003	765,60	23,10	96,98
30.07.2003	379,50	35,10	90,75
06.08.2003	181,03	31,71	82,48
25.08.2003	168,88	21,23	87,43
01.09.2003	383,97	70,58	81,62
22.09.2003	173,26	22,29	87,13

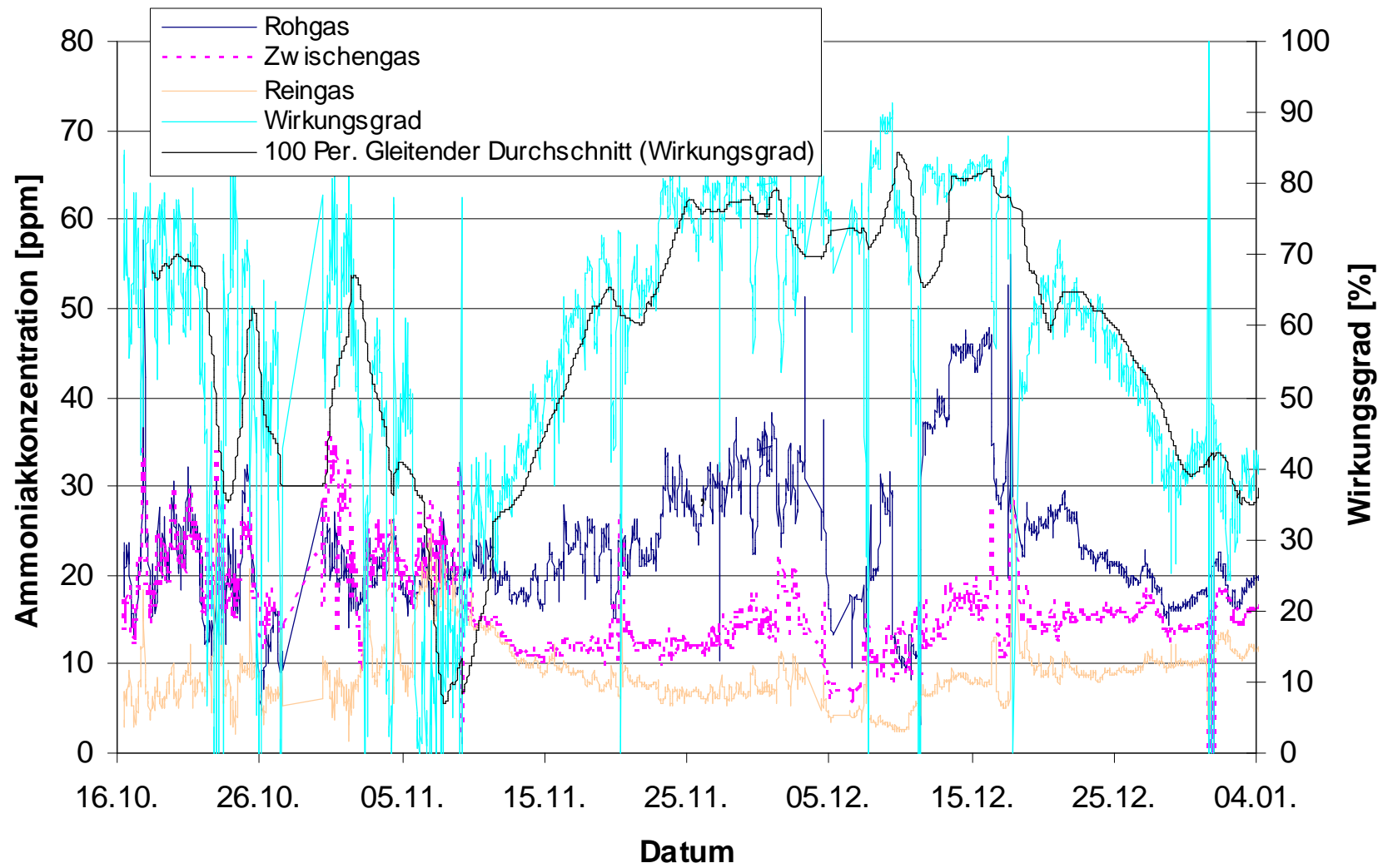
Anhang 1: Einzelergebnisse der Staubmessungen



Anhang 2: Verlauf der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte während der Wintermessungen



Anhang 3: Verlauf der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte während der Sommermessungen



Anhang 4: Verlauf der Ammoniakkonzentration und des Wirkungsgrades während des Vorversuchs (vergrößerte Darstellung)

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Prof. Dr. W. Büscher für die hervorragende Betreuung und Unterstützung während der letzten 2 ½ Jahren bedanken.

Er war maßgeblich an meiner Entscheidung für den Beginn einer Promotion beteiligt.

Des Weiteren danke ich meinen Kollegen Gregor Schmitt, Till Schneider, Dr. Andrea Wagner und Dr. Oliver Wallenfang für die vielen Anregungen und Diskussionen, die mir sehr geholfen haben.

Abschließend danke ich meiner Familie, die mich auf dem Weg bis hierhin immer unterstützt und bestärkt hat. Meinen Eltern, meiner Schwester und meiner Verlobten Nadine!