

# Abluftreinigung und weitere Möglichkeiten zur Minderung von Emissionen aus Schweinestallungen - Stand der Technik

J. HAHNE, E. HARTUNG, E. GRIMM und H. DÖHLER

## 1 Einleitung

Gasförmige Stoffe werden in der Tierhaltung entweder als Stoffwechselprodukte von den Tieren selbst freigesetzt oder sie entstehen durch den Ab- und Umbau von Nährstoffen bei der vorübergehenden Lagerung der Exkremete im Innenraum. Emissionshöhen variieren je nach klimatischer Region und Jahreszeit, Tierart, Haltungssystem sowie (Flüssigmist-) Management (GROOT KOERKAMP et al., 1998, HARTUNG und MONTENY, 2000, HAEUSSERMANN et al., 2006 a). Neben umwelt- und klimarelevanten gasförmigen Emissionen ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) ist den partikelförmigen Emissionen ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ) Beachtung zu schenken. Letztere können sowohl gesundheits- als auch umweltrelevante Aspekte aufweisen. Hauptquellen stellen Futterbestandteile, Hautpartikel, Exkremete und Einstreumaterialien dar. Die Aerosole setzen sich neben organischen Festpartikeln aus adsorbiertem  $\text{NH}_3$ , Endotoxinen sowie belebten Mikroorganismen zusammen (AARNINK et al., 2004 a, SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Abluftreinigungsanlagen werden zurzeit im Bereich der landwirtschaftlichen Tierhaltung grundsätzlich nur dann eingesetzt, wenn ein Bauvorhaben, z. B. aufgrund der bereits vorhandenen Vorbelastung, ansonsten nicht genehmigungsfähig wäre. In diesen Fällen ist die Abluftreinigung in der Regel die einzige Alternative zur Wahl eines anderen Standortes. Hierbei können die Kosten der Erschließung eines neuen Standortes die einer Abluftreinigungsanlage bei weitem überschreiten. Erschwerend kommt hinzu, dass vielerorts entwicklungsfähige Standorte entweder räumlich stark begrenzt oder überhaupt nicht mehr vorhanden

sind. Insbesondere in sehr viehdichten Regionen sind Abluftreinigungsanlagen daher inzwischen oft das einzige Mittel, um vorhandene Betriebsstandorte weiter zu entwickeln bzw. den Marktgegebenheiten anzupassen (GRIMM et al. 2005).

Bis Ende der 90iger Jahre wurden Abluftreinigungsanlagen im Bereich der landwirtschaftlichen Tierhaltung fast ausschließlich zur Minderung von Geruch - vor allem bei kleineren Schweineställen in Orts- oder Ortsrandlagen - meist mittels Biofilter oder Rieselbettreaktor oder teilweise zur Reduzierung von Geruch und Ammoniak meist mittels Rieselbettreaktor eingesetzt. Allerdings war ihr Einsatz häufig unbefriedigend, da die Anlagen - um Investitionskosten zu sparen - technisch möglichst einfach und mit minderwertigen Komponenten ausgestattet wurden und zudem häufig unterdimensioniert waren. Die Betriebskosten und der Wartungs- und Reparaturaufwand waren hoch. Da eine behördliche Überwachung praktisch nicht stattfand, wurden darüber hinaus viele dieser Anlagen nicht ordnungsgemäß betrieben.

Zurzeit hat, in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortbedingungen, die Minderung von Geruchs- und/oder Ammoniak- und/oder Staubemissionen aus Tierställen die höchste Priorität. Dies hat in den letzten fünf Jahren dazu geführt, dass zur Abluftreinigung vermehrt zwei- oder dreistufige Anlagen, die z. B. aus einem Füllkörperwäscher zur Staubabscheidung, einem chemischen Füllkörperwäscher zur Ammoniakabscheidung und einem Biofilter zur Geruchsreduktion bestehen, genutzt werden. Nunmehr können neben den Gerüchen auch die Ammoniak- und Staubemissionen effektiv gemindert werden.

Allerdings ist die Abluftreinigung grundsätzlich nur bei Ställen mit Zwangslüftung zur weitergehenden Emissionsminderung einsetzbar, da die Abluft gesammelt und durch die Reinigungsanlage geleitet werden muss. Bei Stallanlagen mit freier Lüftung, die insbesondere in der Rindviehhaltung üblich sind, aber auch bei besonderen Verfahren zur Haltung von Schweinen und Geflügel errichtet werden, wird die Abluft großflächig und diffus abgeleitet, so dass sie nicht gereinigt werden kann.

Trotz der verfahrenstechnischen Weiterentwicklungen gehören Abluftreinigungsanlagen nach wie vor nicht zum allgemeinen Stand der Technik emissionsarmer Tierhaltungsverfahren, wie er in der TA Luft (2002) und dem BVT-Referenzdokument (BREF) „Intensive Rearing of Poultry and Pigs“ (EU 2003) definiert ist. Ihr Einsatz ist auf den Einzelfall beschränkt und wird nur dann gefordert, wenn die Anforderungen der §§ 5 und 22 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG 2005) zum Schutz vor bzw. zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen nicht auf andere Art und Weise erfüllt werden können.

Ein besonderer Schub beim Bau von Abluftreinigungsanlagen setzte im Jahr 2002 ein, als der Landkreis Cloppenburg für seinen Zuständigkeitsbereich eine freiwillige Zulassungsprüfung für Abluftreinigungsanlagen eingeführt hat; den so genannten „Cloppenburg Leitfaden“. Damit wurden erstmals Mindestanforderungen für die Auslegung, die Wartung und den Betrieb der Anlagen sowie die einzuhaltenden Reinigungsleistungen und deren Überwachung gestellt (HAHNE et al. 2002). Seit 2005 ersetzt die bundesweit gültige Baumuster- und Ge-

**Autoren:** Dr. rer. nat. Jochen HAHNE, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), D-38116 BRAUNSCHWEIG, Dr. Eberhart HARTUNG, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 KIEL, Ewald GRIMM und Helmut DÖHLER, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., D-64289 DARMSTADT, e-mail: h.doehler@ktbl.de

brauchswertprüfung zur Zertifizierung von Abluftreinigungsanlagen (Signum-Test) der DLG e. V. diese Eignungsprüfung (DLG, 2006). Der Test konkretisiert damit, basierend auf dem Leitfaden des Landkreises Cloppenburg, die allgemeinen Anforderungen der VDI-Richtlinien „Biologische Abluftreinigung - Biofilter“ (VDI 3477, 2004), „Biologische Abluftreinigung – Biowäscher und Rieselbettreaktoren“ (VDI, 3478 1996) und der VDI „Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von Abscheideanlagen zur Abtrennung gasförmiger und partikelförmiger Stoffe aus Gasströmen“ (VDI 2264, 2001) sowie der VDI „Technische Gewährleistung für Gasreinigungsanlagen - Partikel- und gasförmige Stoffe“ (VDI 2260, 2004), die den allgemeinen Stand der Technik von Abluftreinigungsanlagen im industriellen Maßstab dokumentieren, für den Einsatz bei Tierhaltungsanlagen.

## 2 Abluftreinigung

### 2.1 Anerkannte Abluftreinigungsanlagen

Durch die Anwendung des Cloppenburg Leitfadens (HAHNE et al., 2002) und des inzwischen bundesweit genutzten DLG-Prüfrahmens „Abluftreinigungssysteme für Tierhaltungsanlagen“ (DLG, 2006) wurde die technische Ausstattung und damit auch die dauerhafte Funktionsfähigkeit von Abluftreinigungsanlagen spürbar verbessert. Auf der Grundlage eines einjährigen Prüfverfahrens, bei dem Hersteller, Betreiber, Sachverständige und eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle beteiligt sind, haben eine Reihe von Herstellern ihre Anlagen mit Erfolg zertifizieren lassen. Diese Anlagen sind dauerhaft in der Lage, Emissionen von Gesamtstaub und Ammoniak um mindestens 70 % zu reduzieren. Ferner wird die Geruchskonzentration in der Reinluft auf unter 300 GE/m<sup>3</sup> reduziert und der stalltypische Geruch vollständig beseitigt.

Zu diesen Anlagentypen gehören einstufige Rieselbettreaktoren, zweistufige Anlagen (Chemowäscher und Wasserwäscher) und dreistufige Anlagen (Wasserwäsche, Chemowäsche und Biofiltration), die nachfolgend dargestellt werden. Der aktuelle Stand der Verfahrenstechnik und der Investitions- und Betriebs-

kosten zertifizierter Anlagen ist in KTBL (2006) beschrieben.

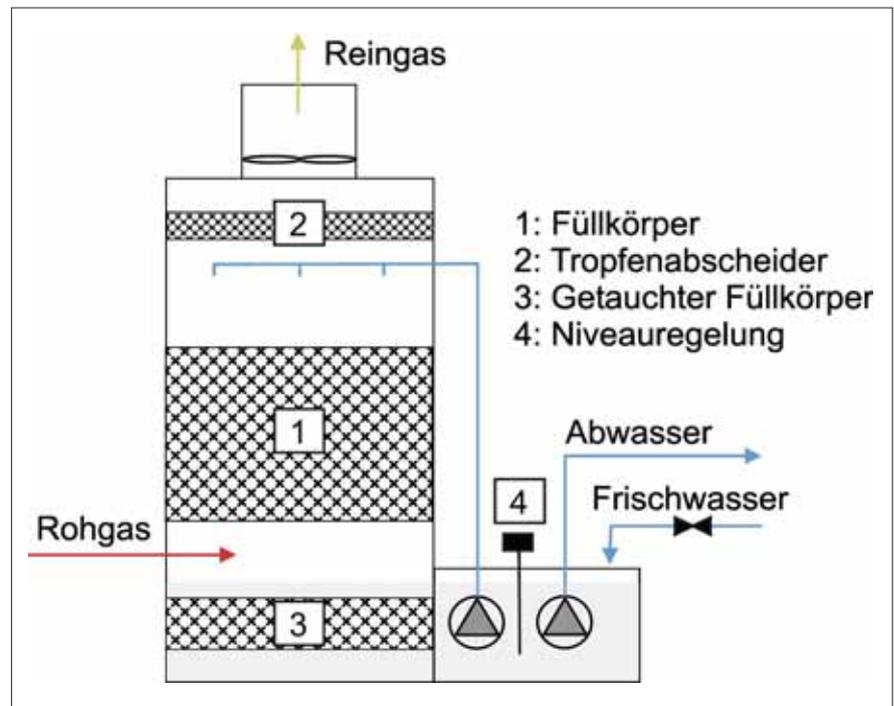
### 2.2 Rieselbettreaktor mit Saugbetrieb

Den prinzipiellen Aufbau eines anerkannten Rieselbettreaktors (RB) zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen zeigt *Abbildung 1*. Das Rohgas tritt unterhalb der Füllkörperpackung (1) in den RB ein und wird im Gegenstrom durch eine permanente Berieselung gewaschen. Die Abluftinhaltsstoffe werden in das Waschwasser überführt und mikrobiell abgebaut. Zur Vermeidung von übermäßigen Aersolausträgen soll ein Tropfenabscheider (2) dienen, der unterhalb der Abluftventilatoren angeordnet ist. Die eingesetzten Ventilatoren sollten einen Druckverlust von 150

Pa ohne nennenswerten Leistungsverlust überwinden können.

Zur Steigerung des biologischen Stoffumsatzes und zur Vermeidung eines übermäßigen Biomasseverlustes wird ein getauchter Füllkörper (3) in der Wasservorlage eingesetzt. Zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Verfahrens muss das belastete Abwasser ausreichend abgeschlämmt werden. Dies wird zeitlich oder besser über die Leitfähigkeit der Wäscherflüssigkeit gesteuert. Eine Niveauregelung (4) sorgt für eine ausreichende Frischwasserversorgung, die neben den Verdunstungsverlusten auch das abgeschlämmte Abwasser ersetzt.

Zur Gewährleistung der o. g. Reinigungsleistungen anerkannter Verfahren müssen bei diesem Anlagentyp die in der *Tabel-*



**Abbildung 1: Schema eines anerkannten Rieselbettreaktors zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen**

**Tabelle 1: Wesentliche Kennwerte eines anerkannten Rieselbettreaktors zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen**

Parameter	Einheit	Kennwerte
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≤ 4.200
Filtervolumenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h)	≤ 2.300
Spez. Oberfläche, Füllkörper	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	≥ 240
Berieselungsdichte	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≥ 2,2
pH-Wert, Waschwasser	-	6,5 – 7,5
Abschlämmung		
Variante a) NH <sub>3</sub> -Eintrag	m <sup>3</sup> /kg	0,2 – 0,3
Variante b) Leitfähigkeit, Waschwasser	mS/cm	≤ 15

le 1 genannten Kennwerte eingehalten werden.

Da bei dem beschriebenen Verfahren keine Waschwasserregeneration erfolgt, müssen zur Vermeidung von Aufsalzungen und kritischen Betriebsituationen erhebliche Abschlämmraten eingehalten werden. Beispielsweise wäre je Mastplatz Schwein bei einer Ammoniakemission von 3,64 kg pro Mastplatz und Jahr (Wert der TA Luft, 2002) mit einem Abwasservolumen von mindestens 0,73 m<sup>3</sup> Abwasser zu rechnen. Dieses Abwasser kann gemeinsam mit der anfallenden Gülle im Außenbereich bis zur Ausbringung gelagert werden. Da die Ammoniakfrachten aus den Ställen erheblichen Schwankungen unterliegen, ist die Steuerung der Abschlammung über die Leitfähigkeit jedoch sinnvoller als eine Zeit-

steuerung. Erfahrungen haben gezeigt, dass das Verfahren bei Einhaltung von Leitfähigkeitswerten unter 15 mS/cm im Waschwasser einwandfrei funktioniert.

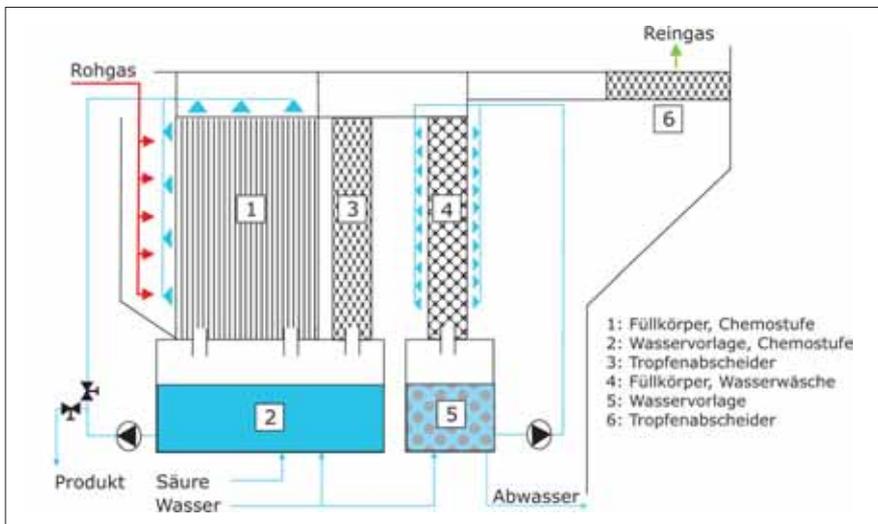
### 2.3 Zweistufige Anlage (Chemowäscher und Wasserwäscher)

Den prinzipiellen Aufbau einer anerkannten, zweistufigen Anlage zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen zeigt *Abbildung 2*.

Das Rohgas wird über die Ventilatoren in die Füllkörper der Chemostufe (1) gedrückt, die aus parallel angeordneten Fasern mit einem hohen Wasserspeichervermögen bestehen. Die Ventilatoren sollten einen Druckverlust von 150 – 200 Pa ohne nennenswerten Leistungsverlust überwinden können. Dieser

Druckverlust ergibt sich aus Lüftungsanlage und Abluftreinigungsanlage. Die Berieselung der Füllkörper erfolgt aus der Waschwasservorlage der Chemostufe (2) intermittierend in Richtung des Luftstromes und senkrecht dazu (Kreuzstrom).

Das Waschwasser fließt in die Wasservorlage zurück, ebenso wie die durch den Tropfenabscheider (3) abgeschiedenen, sauren Aerosole. Das Waschwasser der Chemostufe wird über eine geregelte Säuredosiereinrichtung auf einen pH-Wert von 1,5 eingestellt. Bei Erreichen eines pH-Wertes von 4 (durch die Ammoniakabsorption) wird erneut Säure dosiert, bis der pH-Wert wieder bei 1,5 liegt. Dieser Zyklus läuft fünfmal ab, wobei nach erneutem Erreichen von pH 4 eine komplette Abschlammung und eine anschließende Wiederauffüllung der Vorlage mit Frischwasser und Säure auf pH 1,5 erfolgt. Anschließend gelangt das weitgehend von Ammoniak und Staub befreite Rohgas in die von der Säurestufe vollständig getrennte Wasserstufe, die aus einer Füllkörperpackung (4) besteht, die permanent in Richtung des Luftstromes und im Gegenstrom besprüht wird. Das Waschwasser dieser Stufe fließt in die Wasservorlage (5) zurück, die zur Verbesserung des biologischen Abbaus von Restkomponenten (Geruchsstoffe, Ammoniak, Reststaub u. a.) zusätzlich mit einem getauchten Füllkörper ausgestattet ist. Zur Abscheidung von Aerosolen aus dieser Stufe soll ein weiterer Tropfenabscheider (6) dienen, der unmittelbar am Reingasaustritt angeordnet ist.



**Abbildung 2: Schema einer anerkannten, zweistufigen Anlage zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen**

**Tabelle 2: Wesentliche Kennwerte einer anerkannten, zweistufigen Anlage (Chemowäscher und Wasserwäscher) zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen**

Parameter	Einheit	Kennwerte
<b>Chemowäscher</b>		
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≤ 5.000
Filtervolumenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h)	≤ 10.000
Spez. Oberfläche, Füllkörper	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	≥ 133
Berieselungsdichte	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≥ 1,5
pH-Wert, Waschwasser	-	1,5 – 4
Abschlammung	m <sup>3</sup> /d	0,1 – 0,14 <sup>1)</sup>
<b>Wasserwäscher</b>		
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	5.000
Spez. Oberfläche, Füllkörper	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	≥ 240
Berieselungsdichte	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≥ 2,5
Abschlammung	m <sup>3</sup> /d	0,07 – 0,11 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die angegebenen Abschlämmraten beziehen sich auf einen Volumenstrom von 30.000 m<sup>3</sup>/h nach DIN 18910.

Zur Gewährleistung der o. g. Reinigungsleistungen anerkannter Verfahren müssen bei diesem Anlagentyp die in der *Tabelle 2* genannten Kennwerte eingehalten werden.

### 2.4 Dreistufige Anlage (Wasserwäscher, Chemowäscher und Biofilter)

Den prinzipiellen Aufbau einer anerkannten, dreistufigen Anlage zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen zeigt *Abbildung 3*. Angesichts der großen Filterflächen ist es für diesen Anlagentyp besonders wichtig, dass die Zahl der Ventilatoren, deren Anordnung sowie deren Steuerung so realisiert wird, dass sowohl unter Winter- als auch unter Sommerluftbedingungen eine gleichmä-

ßige Anströmung der Filterflächen (1), (2) und (3) erreicht wird. Die Ventilatoren sollten einen Druckverlust von 150 Pa ohne nennenswerten Leistungsverlust überwinden können. Dieser Druckverlust ergibt sich aus Lüftungssystem und Abluftreinigungsanlage. Im Waschkreislauf 1 erfolgt im Regelfall eine Staubabscheidung und in gewissem Umfang auch eine Ammoniakabscheidung. Die Filterwand (1) besteht in den meisten Fällen aus einer Kunststoffpackung mit einer spezifischen Oberfläche von ca. 320 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> und einer Schichtdicke von 0,15 m.

Aber auch andere (größere) Schichtdicken und Materialien mit anderen spezifischen Oberflächen sind grundsätzlich möglich. Demgegenüber haben sich jedoch Zellstoffwände aufgrund von statischen Unzulänglichkeiten als nicht langzeitstabil erwiesen. Die Filterwand (1) wird mit Wasser über eine Tauchpumpe aus der Wasservorlage W 1 permanent berieselt. Das aus der Waschwand (1) auslaufende Wasser läuft in freiem Gefälle wieder in die Wasservorlage W 1 zurück, so dass ein geschlossener Wasserkreislauf realisiert wird und keine Durchmischung mit der Wasservorlage W 2 erfolgt. Zur Vermeidung von Staubablagerungen auf der Filterwand (1) können zusätzliche Düsenysteme eingesetzt werden, die eine flächige Benetzung der Wand ermöglichen und im Regelfall intermittierend betrieben werden. Die wesentliche Ammoniakabscheidung wird durch die Filterwand (2) realisiert, die mit einer verdünnten Mineralsäure (im Regelfall Schwefelsäure) aus der Wasservorlage (2) mit einer säurefesten Tauchpumpe permanent berieselt wird. Auch dieser Waschkreislauf ist im Regelfall geschlossen. Der pH-Wert in der Wasservorlage (2) ist unter pH 5 zu halten, wenn eine weitgehende Ammoniakabscheidung erreicht werden soll. Die über eine pH-Mess- und Regeleinheit gesteuerte Dosierung der Schwefelsäure aus einer Säurevorlage erfolgt überwiegend in die Druckleitung der Tauchpumpe. Die pH-Wertmessung sollte im Becken W 2 oder im Rücklauf aus der Filterwand (2) erfolgen. Als Füllkörper werden Kunststoffpackungen mit spezifischen Oberflächen von 320 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> und Schichtdicken von 0,15 m eingesetzt. Grundsätzlich sind aber auch andere Schichtdicken und auch andere spezifische Oberflächen ein-

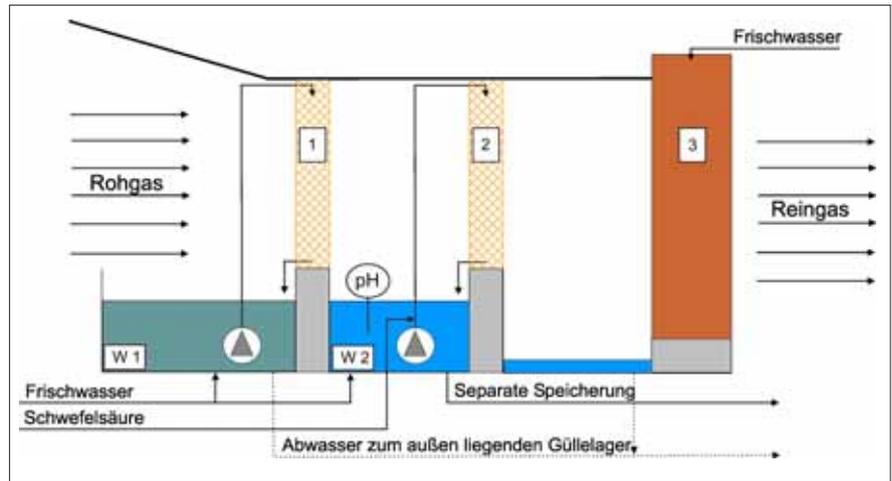


Abbildung 3: Schema einer anerkannten, dreistufigen Anlage zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen

Tabelle 3: Wesentliche Kennwerte einer anerkannten, dreistufigen Anlage (Wasserwäscher, Chemowäscher und Biofilter) zur Reinigung von Abluft aus einstreulosen Schweinehaltungen

Parameter	Einheit	Kennwerte
<i>Wasserwäscher</i>		
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≤ 3.000
Spez. Oberfläche, Füllkörper	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	≥ 320
Berieselungsdichte	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≥ 1,5
Abschlammung	Anzahl/Jahr	4 <sup>1)</sup>
<i>Chemowäscher</i>		
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≤ 3.000
Spez. Oberfläche, Füllkörper	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	≥ 320
Berieselungsdichte	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≥ 1,5
pH-Wert, Waschwasser	-	< 5
Abschlammung	Anzahl/Jahr	4 <sup>2)</sup>
<i>Biofilter</i>		
Filterflächenbelastung	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	≤ 3.000
Filtermaterial:		
gerissenes Wurzelholz, Laubholz	Körnung	≈ 150 mm
Schichtdicke	m	≥ 0,6

<sup>1)</sup> Beispielsweise hat die Wasservorlage W 1 bei einem Tierbestand von 520 Mastschweinen ein Volumen von 11,6 m<sup>3</sup>. Das abzuschlammende Volumen beträgt dann ca. 46 m<sup>3</sup>/a aus der Wasservorlage W 1.

<sup>2)</sup> Beispielsweise hat die Wasservorlage W 2 bei einem Tierbestand von 520 Mastschweinen ein Volumen von 5 m<sup>3</sup>. Das abzuschlammende Volumen beträgt dann ca. 20 m<sup>3</sup>/a aus der Wasservorlage W 2.

setzbar. Als letzte Reinigungsstufe kommt eine Biofilterwand (3) mit einer Schichtdicke von mindestens 0,6 m zum Einsatz. Bauartbedingt wird als Filtermaterial nur grobes, gerissenes Wurzelholz eingesetzt, das beidseitig mit korrosionsbeständigen Metallmatten in Form gehalten wird. Diese Filterwand weist gegenüber den Waschwänden zur Vorbeugung gegen Materialsetzungen und Rohgasdurchbrüchen eine größere Schütthöhe auf. Sie muss so installiert werden, dass ein Nachfüllen von Filtermaterial von oben gewährleistet ist. In dieser Stufe wird neben einer weitgehenden Geruchs-

minderung vor allem die Beseitigung prozesstypischer Gerüche erreicht.

Trotz der beiden vorgeschalteten Waschwände kann es insbesondere im Sommer zur Austrocknung der äußeren Filterwand kommen (Sonneneinstrahlung, Windexposition). Daher ist auch für diese Reinigungsstufe eine möglichst flächendeckende Befeuchtung vorzusehen, die im Regelfall intermittierend betrieben wird. Die Wasserverluste über die Verdunstung und die erforderliche Abschlammung sind durch Frischwassereinspeisungen auszugleichen, die automatisch und für jede Wasserstufe getrennt geregelt erfol-

gen sollte. Die Wasservorlagebecken sind Wasser undurchlässig auszuführen, das Becken W 2 ist zusätzlich mit einem korrosions- und säurebeständigen Anstrich zu versehen.

Anfallendes Abwasser aus der Wasservorlage W 1 und ggf. Überschusswasser aus der Filterwand (3) kann direkt in den außen liegenden Güllebehälter gepumpt werden. Demgegenüber darf die Ammoniumsulfatlösung nicht gemeinsam mit Gülle gelagert werden, so dass ein separater Lagerbehälter hierfür erforderlich ist.

Zur Gewährleistung der o. g. Reinigungsleistungen anerkannter Verfahren müssen bei diesem Anlagentyp die in der *Tabelle 3* genannten Kennwerte eingehalten werden.

## 2.5 Einstufiger Biofilter (nicht anerkannt)

Den prinzipiellen Aufbau eines einstufigen Biofilters zur Geruchs-beseitigung und Staubabscheidung aus Abluft von einstreulosen Schweinehaltungen zeigt *Abbildung 4*.

Bei diesem modular aufgebauten Biofilter wird das Rohgas aus dem Stall über eine Umlenkung von unten in die Druckkammer gedrückt. Die eingesetzten Ventilatoren müssen mindestens eine Druckdifferenz von 150 Pa bis 200 Pa ohne nennenswerten Leistungsverlust überwinden können. Ein Druckverlust von 150 Pa kann bei maximaler Sommerluft-rate allein von der Filterschüttung verursacht werden.

Die dreischichtige Filterschüttung besteht aus kreuzweise verlegten Buchenholzschwarten, einer Recyclatschicht und einer Holzhackschnitzelschicht, die mit einem Additiv beimpft wird. Die gesamte Schütthöhe beträgt etwa einen Meter. Der Biofilter verfügt nicht über eine Wasservorlage, aus der die Beregnung des Biofilters erfolgt. Vielmehr wird diese über eine Frischwassereinspeisung aus der Hauswasserversorgung oder dem Trinkwassernetz realisiert.

Das Beregnungssystem besteht aus einem höhenverstellbaren Edelstahlgestänge mit nach oben gerichteten Kunststoffdüsen. Über ein Gefälle wird das Leerlaufen des Systems bei Beregnungspausen und damit die Frostsicherheit gewährleistet. Zur Vermeidung von Randgängigkeiten dient eine umlaufende Randabdeckung in Höhe der Recyclatschicht.

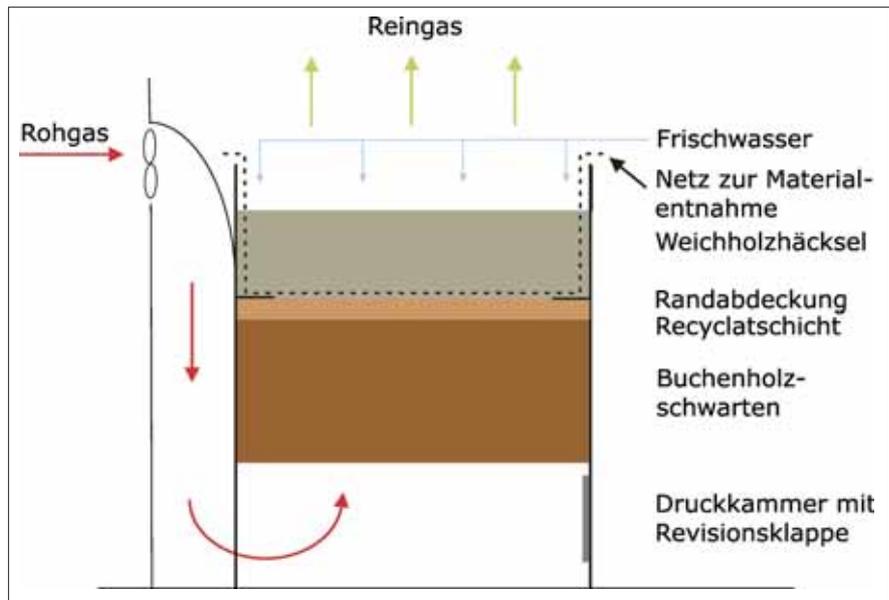


Abbildung 4: Schema eines in der Prüfung befindlichen Biofilters zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen

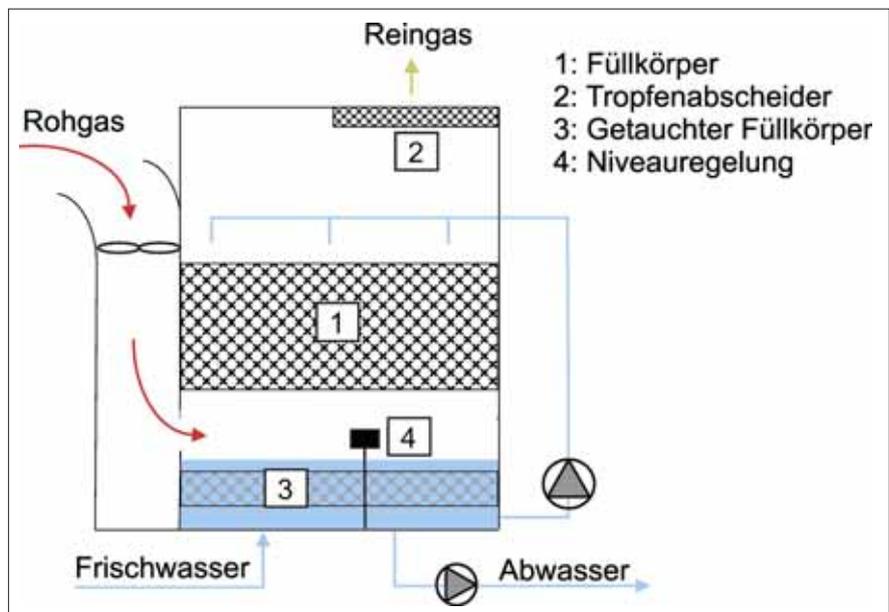


Abbildung 5: Schema eines in der Prüfung befindlichen Rieselbettreaktors zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen

Die durch die Schweinehaltung verursachten Ammoniakfrachten tragen zu einer beschleunigten Zersetzung der mikrobiell aktiven Holzhäcksel-schicht bei, so dass diese einmal im Jahr komplett zu tauschen ist, um eine dauerhaft hohe Geruchsminderung und Staubabscheidung zu gewährleisten. Hierzu wird beim Filtermaterialaufbau ein Netz oberhalb der Recyclatschicht eingebracht, um ein mechanisiertes und somit schnelles Wechseln des Filtermaterials im Rahmen eines Wartungsvertrages zu ermöglichen. Der beschriebene Anlagentyp hat die Eignungsprüfung in Hinblick auf die Ge-

ruchsabscheidung (Reingas  $\leq 300 \text{ GE/m}^3$  und kein Rohgasgeruch) und Gesamtstaubabscheidung ( $> 70 \%$ ) erfüllt. Klärungsbedarf besteht in Hinblick auf die Befeuchtungssteuerung und -regelung.

## 2.6 Rieselbettreaktor mit Druckbetrieb (nicht anerkannt)

Den prinzipiellen Aufbau eines weiteren, in der Prüfung befindlichen Rieselbettreaktors mit Druckbetrieb zur Reinigung von Abluft einstreuloser Schweinehaltungen zeigt *Abbildung 5*. Das Rohgas wird über eine Umlenkung von groben Staub-

partikeln befreit und von unten in die Füllkörperpackung (1) gedrückt, in der Abluftinhaltsstoffe durch eine permanente Berieselung im Gegenstrom ausgewaschen und mikrobiell abgebaut werden. Die Ventilatoren sollten einen Druckverlust von 100 Pa ohne nennenswerten Leistungsverlust überwinden können.

Zur Vermeidung von Aerosolausträgen soll ein Tropfenabscheider (2) dienen, der unmittelbar unter dem Reingasaustritt angeordnet ist. Zur Verbesserung des biologischen Abbaus und zur Vermeidung einer übermäßigen Abschlammung aktiver Biomasse dient ein getauchter Füllkörper (3). Dieses Verfahren ist durch vergleichsweise hohe Abschlammraten gekennzeichnet, die neben den Verdunstungsverlusten über eine Frischwasser-Niveauregelung ausgeglichen werden müssen (4).

Der beschriebene Anlagentyp hat die Eignungsprüfung in Hinblick auf die Geruchsabscheidung (Reingas  $\leq 300$  GE/m<sup>3</sup> und kein Rohgasgeruch), Ammoniakminderung ( $> 70$  %) und Gesamtstaubabscheidung ( $> 70$  %) erfüllt. Durch die vergleichsweise sehr hohen Abschlammraten werden für Ammoniak Minderungsgrade von nahezu 90 % erzielt.

### 3 Ökonomie der Abluftreinigung

#### 3.1 Berechnungsgrundlagen

Bei der Berechnung der Kosten von Abluftreinigungsanlagen werden nur zertifizierte Anlagen berücksichtigt, die die Voraussetzungen für eine wirksame Abluftreinigung und den ordnungsgemäßen Betrieb erfüllen und für den Einsatz empfohlen werden können. Bis Redaktionsschluss erfüllten nur Biowäscher und mehrstufige Abluftreinigungsanlagen diese Anforderungen. Zertifizierte Biofilter und reine Chemowäscher werden bisher nicht angeboten. Daher sollte bei Investitionsentscheidungen in jedem Fall geprüft werden, ob entsprechende oder andere zertifizierte Systeme zwischenzeitlich angeboten werden<sup>1</sup>.

Bei den Angaben zu den Kosten handelt es sich um Planungswerte, die eine Vorstellung über den Aufwand und die un-

gefährten Kosten der Abluftreinigung vermitteln sollen und einen Vergleich der Verfahren erlaubt. Außerordentliche Preisentwicklungen sowie Preisnachlässe, die im Einzelfall erheblich sein können, wurden nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Berechnungen wurde zwischen dem Investitionsbedarf bzw. den Kosten für die Anlagentechnik und das Bauwerk (Rohbau) sowie dem Arbeitszeitbedarf zur Kontrolle und Wartung der Anlagen unterschieden.

Der Investitionsbedarf für die Anlagen basiert auf den Angebotspreisen der Anlagenhersteller, Basis 2005/2006. In der Regel bieten die Anlagenhersteller nur die Anlagentechnik an. Der Rohbau wird zumeist von Bauunternehmungen oder in Eigenleistung erstellt. Der Investitionsbedarf für das Bauwerk wurde auf der Grundlage der Baumassen, die nach der Kostenblockmethode der DIN 276 (2006) anhand von Planunterlagen ermittelt wurden, mit ALB-Richtpreisen (ALB, 2005) kalkuliert oder geschätzt. In der Regel wurden die unteren bis mittleren Werte der jeweiligen Preisspanne angesetzt. Da in der Praxis die tatsächlichen Angebotspreise regional unterschiedlich von den Richtpreisen abweichen, wurde im Rahmen der Kostenkalkulation neben dem mittleren Investitionsbedarf nach ALB-Richtpreis eine Spanne von +/- 15 % angesetzt.

Um die durch den Einsatz der Abluftreinigung verursachten Kosten möglichst vollständig zu erfassen, wurden auch die Mehrkosten, die z. B. für die Lagerung des Abwassers aus den Reinigungsanlagen und druckstabilere Lüftungsanlagen entstehen, berücksichtigt. Dies gilt ebenso für die betrieblichen Mehrkosten, die durch den größeren Stromverbrauch der Lüftungsanlage im Vergleich zu einer konventionellen Stalllüftung und den zusätzlichen Aufwand für die landbauliche Verwertung des Abwassers verursacht werden.

Grundsätzlich wurden die Betriebskosten anhand der Naturalgrößen für den Verbrauch von Energie und sonstigen Hilfsstoffen und den Abwasseranfall auf Grundlage der Kennwerte der bis dato zertifizierten Anlagen berechnet. Die Preise für Strom, Frischwasser, Abwasserwertung und Arbeit wurden der KTBL-Datensammlung „Betriebspla-

nung Landwirtschaft, Ausgabe 2006/2007“ entnommen (KTBL, 2006 b).

Da für die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs zur Kontrolle und Wartung der Anlagen durch den Landwirt zurzeit keine gemessenen Werte verfügbar sind, wurde der Zeitaufwand nach Erfahrungswerten abgeschätzt. Die Kosten für Wartungsverträge wurden gesondert berücksichtigt.

Die Auslegung der Anlagen orientiert sich an der maximalen Sommerluftfrate nach DIN 18910, (2004). Bezugs- und Planungsgröße ist dabei ein Luftdurchsatz von 1.000 m<sup>3</sup>/h. Die Kalkulation der Kosten bezieht sich auf die Randbedingungen in der einstreulosen Mastschweinehaltung, denn zum einen werden hier am häufigsten Abluftreinigungsanlagen eingesetzt werden und zum anderen sind alle Verfahren für diesen Einsatz geeignet.

Da der Investitionsbedarf bzw. die Kosten von der Anlagenkapazität abhängen, wurden die Berechnungen für Anlagen mit einer unterschiedlichen Kapazität durchgeführt, die die Kostendegression aufzeigen (Auslegungsluftvolumenstrom von ca. 40.000 bis ca. 160.000 m<sup>3</sup>/h).

Die Kalkulationsgrundlagen sind in KTBL (2006 a) ausführlich beschrieben.

#### 3.2 Kosten

Die mittleren jährlichen Gesamtkosten sind in *Abbildung 6* dargestellt (KTBL 2006 a). Sie nehmen von 18 bis 21 auf 13 bis 17 • pro Tierplatz und Jahr ab, wenn Anlagen mit einer Kapazität im Bereich von 50.000 m<sup>3</sup>/h und 150.000 m<sup>3</sup>/h miteinander verglichen werden. Die Kostendegression über diesen Kapazitätsbereich beträgt etwa 20 bis 30 %. Die Kosten der unterschiedlichen Verfahren unterscheiden sich mit Ausnahme des zweistufigen Chemowäschers bei den mittleren und großen Anlagenkapazitäten kaum (vor allem unter Berücksichtigung der Spannweiten). Dabei ist zu berücksichtigen, dass insbesondere der zweistufige Anlagentyp mit Chemo- und Wasserstufe und der dreistufige Anlagentyp mit Wasser- und Chemostufe sowie Biofilter nicht nur hinsichtlich Geruch und Gesamtstaub eine hohe Reinigungsleistung gewährleisten können, sondern auch im Hinblick auf Ammoniak. Im Vergleich hierzu ist die Reinigungsleistung von Rieselbettreaktoren und

<sup>1</sup> aktuelle Informationen können unter [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de) und [www.dlg-test.de](http://www.dlg-test.de) abgerufen werden

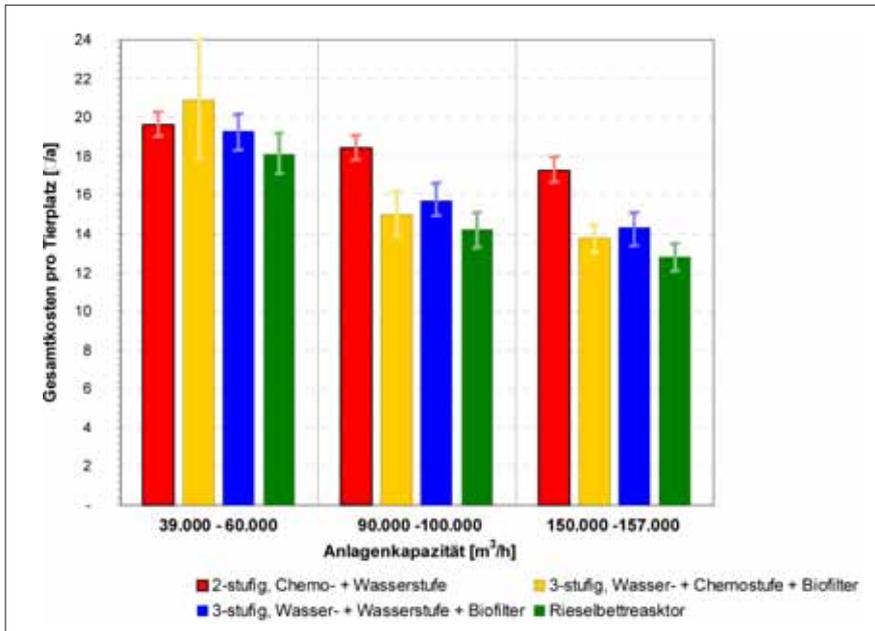


Abbildung 6: Mittlere jährliche Gesamtkosten und deren Spannweite pro Mast Schweineplatz (2,7 Umtriebe pro Jahr), Angaben ohne Mehrwertsteuer



Abbildung 7: Beispielhafte Zusammensetzung der Betriebskosten für Anlagen mit hoher Ammoniakabscheidung (Anlagen mit Säurestufe, Wirkungsgrad  $\geq 90\%$ )

dreistufigen Anlagen mit zwei Wasserstufen (ohne Chemostufe) und Biofilter geringer.

Der Anteil der Baukosten beträgt bis zu 30 % der jährlichen Investitionskosten, deshalb kann hier Eigenleistung am ehesten effizient zur Kostenminderung eingesetzt werden (der Rohbau wird in der Regel - nach Plänen des Anlagenanbieters - vom Bauherrn selbst in Eigen- oder Fremdleistung erstellt).

Die Betriebskosten haben im Durchschnitt einen Anteil von 60 % an den Gesamtkosten (KTBL 2006 a). Die Aufteilung der Betriebskosten in *Abbildung 7* zeigt, dass die Stromkosten vor allem für

den Betrieb der Pumpen und den Mehrverbrauch der Stalllüfter mit rund 45 bis 50 % (Anlagen mit/ohne Säurestufe) den größten Anteil daran ausmachen. Die Mehrkosten der Lüftung überwiegen bei den Stromkosten mit einem Anteil von 50 bis 70 %.

Bei Anlagen mit Säurestufe beträgt der Anteil der Säure-, Frischwasser- und Abwasserkosten weitere 34 %; bei Anlagen ohne Säurestufe beträgt der analoge Anteil der Frischwasser- und Abwasserkosten 28 %. Diese Kostenanteile sind bei Anlagen mit einer hohen Ammoniakabscheidung insbesondere aufgrund der Kosten für die Schwefelsäure größer als bei den Anlagen ohne Säurestufe und ei-

nem geringeren Wirkungsgrad für Ammoniak (hier machen die Kosten zur Verwertung des Abwassers aufgrund der höheren Abschlämrate einen im Vergleich größeren Anteil aus). Für Anlagen mit/ohne Säurestufe sind die Kostenanteile für Arbeit (15 %) und Reparaturen (6 %) vergleichbar.

Der Arbeitsaufwand für die Überwachung und Wartung der Anlagen kann grob mit 70 bis 80 Stunden pro Jahr abgeschätzt werden. Die Arbeiten umfassen insbesondere eine tägliche Sicht- und Funktionskontrolle der Anlage (über 75 % der gesamten Arbeitszeit). Für das Reinigen der Anlagen und den Wechsel des Waschwassers sowie die regelmäßige Kalibration der pH-Wert-Messung sind zusätzlich ca. 10 bis 20 Stunden pro Jahr zu veranschlagen. Der Arbeitsaufwand für das Ausbringen des Abwassers der Anlagen ist im Abwasserpreis der Betriebskosten berücksichtigt. Die zusätzlichen Kosten für einen Wartungsvertrag (in der Regel Funktionsprüfung) fallen mit etwa 240 bis 800 € pro Jahr kaum ins Gewicht.

Durch den Düngewert des Stickstoffs im Abwassers der Säurestufe ergibt sich bei eigenbetrieblicher oder externer Verwertung ein zusätzlicher Nutzen, der o. g. Kosten mindert. Eine weitere Kostenminderung ist durch den Einsatz einer anderen als Schwefelsäure möglich, wenn das Abwasser der Säurestufe zusammen mit dem Flüssigmist und nicht in einem zusätzlichen Behälter gelagert werden kann (KTBL 2006 a).

#### 4 Weitere Minderungsmaßnahmen

Gas- und partikelförmige Emissionen aus Mastschweineställen werden sowohl von der Fütterung, dem Haltungssystem, dem Einstreu- bzw. Flüssigmistmanagement, der Buchtengestaltung als auch der Lüftung beeinflusst. So emittieren Außenklimaställe nach bisherigem Wissensstand geringere Mengen umwelt- und klimarelevante Gase als zwangsgelüftete Ställe. Neben der Futterzusammensetzung können umwelt- und klimarelevante gasförmige Emissionen in erster Linie durch die Reduktion emittierender Oberflächen im Stall (Buchten, Flüssigmistbereiche) sowie eine regelmäßige Entfernung der Exkrememente (Spül-/Vakuumsysteme und

Reinigungsmaßnahmen) in emissionsärmere Außenlager verringert werden. Darüber hinaus lassen sich durch Flüssigmistkühlung, pH-Wert senkende Maßnahmen, Ureaseinhibitoren und Abdeckschichten deutliche Emissionsminderungen erzielen. Der dadurch bedingte erhöhte Nährstoffanfall bzw. das dadurch erhöhte Emissionspotenzial im Außenlager muss ebenso berücksichtigt werden, wie die Auswirkung der Maßnahmen auf unterschiedliche Gase. Reduktionsmaßnahmen für  $\text{NH}_3$ -Emissionen dürfen hierbei nicht gleichzeitig erhöhte Emissionen an  $\text{N}_2\text{O}$  oder  $\text{CH}_4$  verursachen. Ein hoher technischer Aufwand zur Emissionsminderung ist zudem häufig mit hohen Investitions- und Wartungskosten verbunden. Vorteilhaft sind daher einfache Adaptionen, die zu einer Verringerung emittierender Oberflächen führen, sowie die indirekte oder direkte Beeinflussung des Freisetzungspotenzials für gasförmige Stoffe im Urin und in den Exkrementen.

Die Verringerung partikelförmiger Emissionen aus Mastschweineställen erfolgt bisher hauptsächlich über die Bindung der Partikel mittels Einsatz von Ölen, sei dies als Futterzusatz oder durch Versprühen von Ölaerosolen im Stallinnenraum. Verhindert wird möglichst die Freisetzung oder das Wiederaufwirbeln sedimentierter Partikel. Einen Einfluss auf die Emission von Partikeln übt weiterhin die Luftführung und Höhe des Abluftvolumenstromes aus. Ein deutlicher Forschungsbedarf besteht unter anderem noch bei der Frage inwieweit unterschiedliche Haltungs- und Lüftungssysteme die Partikel-größenverteilung und die Höhe der Partikelemissionen aus Mastschweineställen beeinflussen und welche Maßnahmen für eine deutliche Emissionsminderung geeignet sind.

## 5 Zusammenfassung

Trotz der verfahrenstechnischen Weiterentwicklungen gehören Abluftreinigungsanlagen nach wie vor nicht zum Stand der Technik der emissionsarmen Tierhaltung, wie er in der TA Luft und den BVT-Merkblättern der Europäischen Union für die Intensivtierhaltung definiert ist. Sie können als weitergehende Maßnahme zur Emissionsminderung im Einzelfall eingesetzt werden, wenn die An-

forderungen der §§ 5 und 22 Bundes-Immissionsschutzgesetz zum Schutz vor bzw. zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen, nicht auf andere Art und Weise erfüllt werden können.

Um die Qualität von Abluftreinigungsanlagen sicherzustellen, bietet die DLG e. V. eine bundesweit gültige Baumuster- und Gebrauchswertprüfung (DLG-SignumTest) an, die Mindestanforderungen für die Auslegung, die Wartung und den Betrieb der Anlagen sowie die einzuhaltenden Reinigungsleistungen und deren Überwachung stellt.

Die Mindestanforderungen an den Anlagenwirkungsgrad betragen jeweils 70 % für Gesamtstaub und Ammoniak. Die Geruchsstoffkonzentration im Reingas darf  $300 \text{ GE/m}^3$  nicht überschreiten und prozesstypische Gerüche (Stallgeruch) dürfen reinluftseitig nicht wahrnehmbar sein.

Für die Errichtung und den Betrieb derartig zertifizierter Abluftreinigungsanlagen im Zusammenhang mit dem Neubau eines Stalles kann nahezu unabhängig vom Verfahren und unter Berücksichtigung der Kostendegression bei größeren Anlagen in der Schweinemast von jährlichen Gesamtkosten in Höhe von  $13 \text{ €} \cdot \text{pro Tierplatz}$  bzw.  $5 \text{ bis } 6 \text{ €} \cdot \text{pro Tier}$  (ohne Mehrwertsteuer) als Planungswert ausgegangen werden. Dabei beträgt der Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten im Durchschnitt etwa 60 %.

Die zukünftige Entwicklung wird vor allem durch die technische Verbesserung der beschriebenen Grundsysteme, verbunden mit einer Kosteneinsparung, gekennzeichnet sein. Wachsende Stückzahlen, vereinheitlichte Bauteile und modulare Komponenten-Fertigung werden sich kostenmindernd auswirken. Weitere Einsparpotentiale ergeben sich durch wachsende Betriebsgrößen mit entsprechend dimensionierten Abluftreinigungsanlagen. Technische Verbesserungen sind im Bereich der Waschwasserregeneration, insbesondere bei biologisch arbeitenden Verfahren zu erwarten. Dezentrale, in Abluftkaminen installierte Techniken befinden sich ebenso in der Entwicklung wie eine neue Generation zweistufiger Anlagen mit schwefelsaurer Wäsche und nachgeschalteter Biofiltration. Verfahren, die von den beschriebenen Grundsystemen grundsätzlich abweichen, z. B. Oxi-

dationsverfahren mit Ozon und UV und katalytische Verfahren, haben sich in der Tierhaltung mit den vergleichsweise großen Abluftvolumenströmen und wechselnden Abluftzusammensetzungen technisch und/oder wirtschaftlich bislang nicht bewährt. Dies gilt auch für den Einsatz von Additiven zur verbesserten Geruchsminderung. Aus heutiger Sicht wird ihre Bedeutung für die Tierhaltung vernachlässigbar bleiben.

Auch die anhaltende Diskussion über die Freisetzung von Bioaerosolen aus Ställen und aus Abluftreinigungsanlagen wird keinen grundsätzlichen Wandel der bislang eingesetzten Systeme bewirken, zumal die überwiegende Zahl der vorliegenden Ergebnisse eine deutliche Minderung stalltypischer Bioaerosole durch die Abluftreinigung belegen. Die Bedeutung der schwefelsauren Abluftwäsche wird auch vor diesem Hintergrund an Bedeutung gewinnen.

Eine Vielzahl von weiteren Maßnahmen zur Minderung von Emissionen existiert, die Fütterung ist sicher die derzeit effizienteste Option. Die Verringerung partikelförmiger Emissionen erfolgt bisher hauptsächlich über die Bindung der Partikel mittels Einsatz von Ölen.

## 6 Literatur

- TA LUFT, 2002: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBl. 2002, Heft 25–29, S. 511–605)
- HAHNE, J., SCHIRZ, St., SCHUMACHER, W., 2002: Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung. Cloppenburg
- DLG, 2006: Prüffrahen: Abluftreinigungssysteme für Tierhaltungsanlagen. DLG Testzentrum, Technik & Betriebsmittel, Groß-Umstadt
- KTBL, 2006: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen – Verfahren, Leistungen, Kosten. KTBL-Schrift 451, Darmstadt
- ALB, 2005: Richtpreise für den Neu- und Umbau landwirtschaftlicher Wirtschaftsgebäude und ländlicher Wohnhäuser 2005/2006. Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung, Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft Hessen e. V. (ALB), Kassel
- BImSchG, 2005: Bundes-Immissionsschutzgesetz, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl.

- I 1974, 721, 1193, neu gefasst durch Bek. v. 26. 9.2002 I 3830; zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 25. 6.2005 I 1865)
- DIN 18910, 2004: Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Ausgabe November 2004, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 276, 2006: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau. Ausgabe November 2006, Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN ISO 17025, 2000: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Ausgabe April 2000, Beuth Verlag, Berlin
- DLG, 2006: Prüfrahmen: Abluftreinigungssysteme für Tierhaltungsanlagen. DLG Testzentrum, Technik & Betriebsmittel, Groß-Umstadt
- EU, 2003: Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. European Commission, July 2003
- [online: [http://ec.europa.eu/environment/ipcc/brefs/ilf\\_bref\\_0703.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ipcc/brefs/ilf_bref_0703.pdf)]
- GRIMM, E., SCHIER, F., BÜSCHER, W. und E. HARTUNG, 2005: Stand der Verfahrenstechnik und Kosten der Abluftreinigung in der Nutztierhaltung. In: KTBL (Hrsg.): 7. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005, FAL Braunschweig-Völkenrode. Darmstadt, S. 265-270
- HAHNE, J., SCHIRZ, St., und W. SCHUMACHER, 2002: Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung. Cloppenburg
- KTBL, 2006a: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen – Verfahren - Leistungen Kosten. KTBL-Schrift 451, Darmstadt
- KTBL, 2006b: Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. KTBL, 20. Auflage, Darmstadt, 672 S.
- SCHIRZ, S., 1989: Handhabung der VDI-Richtlinien 3471 Schweine und 3472 Hühner. KTBL-Arbeitspapier 126, Darmstadt
- TA Luft, 2002: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBI. 2002, Heft 25–29, S. 511–605) [online: [www.bmu.de/luftreinhaltung/ta\\_luft/doc/2594.php](http://www.bmu.de/luftreinhaltung/ta_luft/doc/2594.php)]
- VDI 3477, 2004: Biologische Abluftreinigung – Biofilter. Beuth-Verlag, Berlin
- VDI 3478, 1996: Biologische Abluftreinigung – Biowäscher und Rieselbettreaktoren. Beuth-Verlag, Berlin
- VDI 2264, 2001: Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von Abscheideanlagen zur Abtrennung gasförmiger und partikelförmiger Stoffe aus Gasströmen. Beuth-Verlag, Berlin
- VDI 2260, 2004: Technische Gewährleistung für Gasreinigungsanlagen - Partikel- und gasförmige Stoffe. Beuth-Verlag, Berlin