

**Abluftreinigungsverfahren zur Minderung von
Ammoniak- und Geruchsemissionen
aus Intensivtierställen – Erfahrungen in der Schweiz
und Perspektiven**



Konventioneller Biowäscher zur Abluftreinigung bei einem Schweinestall

Verfasser: Karl Brunner
KBO GmbH, Oekologie + Managementsysteme
Vorder-Espenstrasse 8, CH-9008 St.Gallen

Datum: 25. März 2008, aktualisiert 12. Juli 2010

IMPRESSUM

- Titel:** Abluftreinigungsverfahren zur Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Intensivtierställen – Erfahrungen in der Schweiz und Perspektiven
- Bericht:** Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, BAFU, Bern
- Verfasser:** Karl Brunner, KBO GmbH, Oekologie + Managementsysteme, CH-9008 St.Gallen; www.kbo.ch, Telefon 071 288 50 65
- Begleitung:** BAFU, Abt. LUNIS (Ueli Jansen, Simon Liechti), Cercl’Air Fachgruppe Ammoniak-Emissionen (Marlies Gloor und Fritz Zürcher)
- Datum:** März 2008, Aktualisierung 12. Juli 2010
- Copyright** Abdruck mit Quellenangabe gestattet
Der Bericht ist im Internet verfügbar unter:
<http://www.bafu.admin.ch/luft/00632/00640/index.html?lang=de>

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung	5
Résumé	10
1 Einleitung / Aufgabenstellung	16
2 Grundlagen	17
2.1 Reduktion der Ammoniakemissionen in der Schweiz	17
2.2 Rechtliche Aspekte.....	18
2.3 Reduktion der Ammoniakbelastung in Deutschland.....	19
2.4 Reduktion der Ammoniakbelastung in den Niederlanden	20
2.5 Emissionsbeschränkungen durch Massnahmen im Stall	21
3. Reduktion von NH₃- und Geruchsemissionen durch Abluftreinigungsanlagen.	22
3.1 Wirkungsprinzip von Anlagen zur Reinigung von Stallabluft	22
3.2 Umwandlung von Ammoniak in Stickstoff (N ₂)	23
3.3 Bildung und Auswirkung von Lachgas	25
3.4 Grenzen für den Abbau von Ammoniak in Biowäscher	26
3.5 Grenzen für den Abbau von Ammoniak in Biofilter.....	26
3.6 Grenzen für den Abbau von Ammoniak im Chemowäscher.....	27
3.7 Lagerung und Verwertung der Sicker- bzw. Wäscherwasser	28
4. Abluftreinigungsanlagen	29
4.1 Biowäscher	29
4.2 Einschichtige Biofilter	31
4.3 Mehrschichtige Biofilter	32
4.4 Chemischer Wäscher (Chemowäscher).....	33
4.5 Biowäscher mit Luftvorwäscher.....	35
4.6 Systeme mit Chemo- und biologischen Stufen.....	37
5. Leistungen von Abluftreinigungsanlagen	39
5.1 Abscheideraten von Biowäschern und von Biofiltern	39
5.2 Stickstoffbilanzen	40
5.2.1 Stickstoffbilanz eines zweistufigen Biowäschers.....	40
5.2.2 Stickstoffbilanz eines dreischichtigen Biofilters	41
5.3 Technischer Vergleich von Abluftreinigungsanlagen	43
5.4 Wirtschaftlicher Vergleich von Abluftreinigungsanlagen	44

6.	Erfahrungen in der Schweiz	46
6.1	Die häufigsten Fehler bei biologischen Abluftreinigungs-anlagen	46
6.2	Betriebsüberwachung und –dokumentation	47
6.2.1	Überwachung bei Biofilteranlagen	47
6.2.2	Elektronische Datenaufzeichnung	48
6.3	Technische Optimierungsmöglichkeiten	49
6.4	Kosten für Optimierungen	50
7.	Unabhängige Kontrollen von Abluftreinigungsanlagen	51
8.	Folgerungen	52
	Abkürzungen.....	54
	Begriffe	55

Anhang

- A** Literaturverzeichnis
- B** Herstellerverzeichnis für Anlagen zur Reinigung von Stallabluft
- C** Messprogramm für den DLG-Signum Test
- D** Holländische Emissionsfaktoren für Mastschweine- und für Legehennenställe
- E** Grundlagen Vollkostenberechnungen für Abluftreinigungsanlagen
- F** Grundlagen Kostenberechnungen für Biowäscheroptimierungen
- G** Messdaten Ammoniak und Geruch bei Schweine- und Hühnerställen

Zusammenfassung

Grundlagen

Ökosysteme wie Wälder und Moorlandschaften werden in der Schweiz in starkem Masse durch die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft belastet. Gemäss Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes vom September 2009 (BBI 2009-1221) müssten die Ammoniakemissionen der Schweiz um rund 40 % reduziert werden, bezogen auf den Stand von 2000, um die Grenzen des Eintrages von Stickstoff („critical loads“) in empfindliche Ökosysteme (Wälder, Moore) einzuhalten. In Regionen mit hohen Tierbeständen müssten dazu die Ammoniakemissionen gar um ca. 67 % reduziert werden (UWE Luzern, 2007).

Die Ammoniakemissionen bei der Tierhaltung entstehen hauptsächlich im Tierstall, bei der Güllelagerung und bei der Ausbringung von Gülle auf landwirtschaftliche Flächen. Die Emissionen von Ammoniak (NH_3) bei Tierställen bezogen auf das Gewicht der Tiere sind bei der Schweinehaltung um das 4fache und bei Hühnerhaltung um das 9fache höher als bei Rinderhaltung. In der Schweiz sind bereits über 100 Biowäscher und einige Biofilter zur Geruchsreduktion bei Schweine- und Hühnerställen im Einsatz. In diesen Abluftreinigungsanlagen werden neben den Gerüchen auch erhebliche Anteile an Ammoniak und Staub aus der Stallabluft ausgeschieden.

Untersuchungsziel

Die vorliegende Erhebung bezweckt, die in der Schweiz verwendeten technischen Systeme zur Minderung der Ammoniak-Emissionen aus Stallluft zu dokumentieren und bezüglich betrieblichen Aspekten zu beurteilen. Die Übersicht soll auch dazu dienen Anforderungen abzuleiten für eine dauerhaft wirksame Minderung der Ammoniak-Emissionen aus Stallabluft von Intensiv-Tierhaltungsbetrieben.

Durchführung der Untersuchung

Zur Ermittlung des Standes der Technik wurden in der Schweiz vorhandenen Anlagen hinsichtlich Wirksamkeit, Zuverlässigkeit, sowie der Investitions- und Betriebskosten überprüft und mit entsprechenden Veröffentlichungen aus Deutschland und aus den Niederlanden verglichen.

Im Laufe der Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Niederlande in der Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion von Ammoniakemissionen von Tierställen schon sehr weit fortgeschritten sind. Das zeigt sich besonders darin, dass es ihnen gelang, die Ammoniakemissionen aus Tierhaltungsbetrieben bereits von 1990 bis 2006 massiv von 237'000 t/Jahr auf 120'000 t/Jahr zu reduzieren. Obwohl Tierställe in den Niederlanden in der Regel viel grösser sind als in der Schweiz, erweisen sich die dort gemachten Erfahrungen als wertvoll. Deshalb wurden einige Erfahrungen aus den Niederlanden in diesen Bericht integriert. Der Bericht enthält zudem Angaben über vorgelagerte Massnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen in der Stallabluft, Angaben zu Stickstoffbilanzen und über die Umwandlung von Ammoniak in Biowäschern und Biofiltern zu Stickstoff (N₂) und zu Lachgas (N₂O), sowie Angaben zur Wirtschaftlichkeit und über Verbesserungsmöglichkeiten solcher Abluftreinigungsanlagen.

Das Resultat der Untersuchung wird in Folgerungen zusammengefasst, welche geeignet sein können, die Umsetzung von Ammoniakreduktionszielen bei Intensiv-Tierhaltungsbetrieben zu unterstützen.

Untersuchungsergebnisse

Reduktionsraten von Abluftreinigungsanlagen für Ammoniak und Geruch

Die Untersuchungen ergaben, dass in der Schweiz neuere Abluft-Reinigungs-anlagen bei Intensiv-Tierhaltungsbetrieben installiert sind, für welche die Anlagelieferanten in der Lage sind, eine Ammoniakreduktion von über 70 % zu garantieren. Bei einfachen Biowäschern mit geringen Abschlämmraten und bei mehrschichtigen Biofiltern beträgt die Ammoniakreduktion 50 %. Der typische Tiergeruch (Schweinegeruch) ist in der Abluft solcher Reinigungsanlagen nicht mehr wahrnehmbar. Die olfaktometrisch gemessene Geruchsreduktion beträgt bei modernen Biowäschern über 70 % und bei mehrschichtigen Biofiltern über 90 %. Die Abscheiderate für Staub und für Feinstaub beträgt für moderne Anlagen über 90 %.

Die Zuverlässigkeit solcher Abluftreinigungsanlagen für die andauernde Erfüllung der von den Anlagelieferanten zugesicherten Minderungsraten ist auf Grund unserer Erfahrungen mit in der Schweiz installierten Anlagen noch verbesserungsfähig. Dazu werden im Bericht verschiedene Punkte für eine verbesserte Eigenüberwachung, sowie für die Durchführung von unabhängigen Kontrollen vorgeschlagen.

Umwandlung von Ammoniak in Stickstoff (N₂) und Lachgas (N₂O)

Auswertungen von Daten aus Untersuchungen von Biowäschern und Biofiltern ergeben, dass im Einzelfall bis zu 60 % des in solche Anlagen eingetragene Ammoniak über biochemische Reaktionen in Stickstoff (N₂) umgewandelt werden kann, der aus lufthygienischer Sicht unproblematisch ist. Aus ökologischer und aus betriebswirtschaftlicher Sicht kommt es jedoch dadurch zu einem Verlust zu dem im Stall anfallenden Stickstoffdünger.

Bei der biologischen Abluftreinigung kann auch Lachgas (N₂O) gebildet werden, dessen Klimarelevanz ca. 300 mal grösser ist im Vergleich zu Kohlendioxid (CO₂). Bezogen auf die abgeschiedene Menge NH₃-N kann die Lachgasbildung bei Biowäschern unter 5 % minimiert bleiben, bei Biofiltern hingegen können höhere Anteile von über 10 % auftreten. Die Lachgasbildung kann durch systemspezifische betriebliche Massnahmen minimiert werden.

Abluftreinigungskosten

Die geschätzten Jahresgesamtkosten für biologische Abluftreinigungsanlagen betragen pro Schweinemastplatz CHF 14.10 – 54.20, und die geschätzten Jahresgesamtkosten pro kg NH₃-N-Reduktion CHF 6.70 – 38.30. Beim Neubau eines grösseren Stalles, kombiniert mit einem Hochleistungs-Biowäscher, sind die Kosten am tiefsten. Für Konsumenten von Schweinefleisch entsprechen die Zusatzkosten einer Teuerung des mittleren Konsumentenpreises von Schweinefleisch von 0.5 % – 1.8 %. Im Vergleich zu anderen Zusatzkosten, die den Konsumenten durch Umweltschutzaufgaben entstehen, erscheinen diese für Konsumenten als tragbar. Für Mastschweineproduzenten betragen die Zusatzkosten 1.2 % – 4.6 %, bezogen auf einen Erlös von CHF 1'146.- (300 kg/a und pro Tierplatz zu einem Schlachtpreis von CHF 3.82 /kg). Da in der Schweiz bereits über 120 Abluftreinigungsanlagen bei Intensiv-Tierhaltungsbetrieben installiert worden sind, erscheinen diese Zusatzkosten auch für Tierhaltungsbetriebe als tragbar.

Fortschritte bei Abluftreinigungsanlagen

Abklärungen bei schweizerischen Lieferanten von Abluftreinigungsanlagen und von Betreibern solcher Anlagen ergaben, dass das Wissen für eine optimale Abscheidung von Ammoniak noch lückenhaft ist. Seit der Erstverfassung dieses Berichts im Jahre 2007 konnten folgende Fortschritte festgestellt werden: In der Schweiz wurde erstmals ein Chemowäscher in Kombination mit einem Biowäscher vom Typ Uniqfill installiert. In Deutschland hat ein weiterer Biowäscher der Firma Devriecom b.v, Niederlande mit einer hohen Ammoniakabscheideleistung den DLG-Zulassungstest bestanden. Ein Biowäscherhersteller aus der Schweiz konnte die Ammoniakreduktion durch verschiedene Massnahmen bei einem Prototyp verbessern. Erste Erfahrungen dürften 2010 vorliegen.

Folgerungen

Aus der Erhebung geht hervor, dass es für die Reinigung von Abluft von Tierställen Anlagen mit guter Wirksamkeit gibt. Allerdings ist die dauerhafte Einhaltung der von Anlagelieferanten garantierten Minderungsraten für Gerüche und Ammoniak nur unter gewissen Voraussetzungen möglich. Nur wenn die Temperatur der Rohluft über 17 °C und die entsprechende Ammoniakkonzentration dauerhaft unter 10 ppm (Richtwert BVET 2002) liegt, kann eine befriedigende biologische Minderung von

Ammoniak und Gerüchen erwartet werden. Gleichzeitig sollte die Zuverlässigkeit solcher Anlagen durch regelmässige Wartung und eine jährliche Kontrolle von unabhängiger Seite sichergestellt werden.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse:

1. Für eine massive Minderung der Ammoniakemissionen von Intensivtierställen ist der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in Verbindung mit vorgelagerten Massnahmen erforderlich.
2. Als wirksame Abluftreinigungsanlagen sind solche einzustufen, bei denen die NH₃-Reduktion mindestens 70 % beträgt. Dies ist heute Stand der Technik.
3. Für eine massive Reduktion der Ammoniakemissionen ist der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen bei Schweine- und Hühnerställen ein praktikables und ökonomisch zumutbares Mittel.
4. Neue Abluftreinigungsanlagen können folgende Mindestanforderungen für die Reduktion von Geruchs- und Staubemissionen erfüllen:
 - Der Stallgeruch ist in der Abluft der Reinigungsanlage nicht mehr wahrnehmbar.
 - Die Geruchskonzentration in der gereinigten Abluft beträgt unter 300 GE/m³.
 - Die Geruchsreduktionsrate beträgt bei einer Geruchskonzentration von über 1000 GE/m³ mindestens 75 %, bei Biofiltern über 90 %.
 - Die Staubreduktionsrate beträgt bei Biowäschern ca. 90 % und bei Biofiltern über 95 %.
5. Die Bildung von Lachgas in Anlagen zur Reinigung der Abluft von Intensivtierställen kann durch betriebliche Massnahmen minimiert werden
6. Die Ausbildung von Anlagebetreibern inklusive Bedienungspersonal, sowie von Anlagelieferanten muss verbessert bzw. gefördert werden.
7. Für Behörden und Bauherrschaft sind Anforderungen an Reinigungssysteme für Stallabluft, sowie für deren Wartung und Kontrolle festzulegen.

Résumé

Epuration des effluents gazeux provenant des élevages intensifs d'animaux dans le but de réduire les émissions d'odeurs et d'ammoniac: expériences en Suisse et perspectives

Bases

En Suisse, certains écosystèmes, forêts et sites marécageux notamment, subissent une forte pollution par des émissions d'ammoniac d'origine agricole. Selon la Stratégie fédérale de protection de l'air de septembre 2009 (), la Suisse devrait réduire ses émissions d'ammoniac de 40 % par rapport à leur niveau de 2000 pour respecter les limites d'immission d'azote (*critical loads*) dans les écosystèmes sensibles que sont les forêts et les marais. Cette réduction devrait même être d'environ 67 % dans les régions à cheptel nombreux (UWE Lucerne, 2007).

Les émissions d'ammoniac issues de l'élevage d'animaux proviennent essentiellement des étables ainsi que du stockage et de l'épandage du lisier sur les surfaces agricoles. Rapportées au poids des animaux, les émissions d'ammoniac (NH₃) des étables sont plus élevées dans les élevages de porcs et de volaille que dans ceux de bovins, d'un facteur quatre pour les premiers et même de neuf pour les seconds. La Suisse compte déjà plus de 100 biolaveurs et quelques biofiltres en service dans les porcheries et les poulaillers afin de réduire les odeurs. Outre les émissions malodorantes, ces installations d'épuration de l'air retiennent d'assez grandes quantités d'ammoniac et de poussières en suspension dans l'effluent gazeux des étables.

But de l'étude

La présente enquête vise à documenter les systèmes techniques utilisés en Suisse pour réduire les émissions d'ammoniac dans l'air des étables et à évaluer leur caractéristiques opérationnelles. Le tableau ainsi brossé devra également permettre de définir les exigences permettant de réduire efficacement les émissions d'ammoniac dans l'effluent gazeux des exploitations de production animale intensive.

Réalisation de l'étude

Pour établir quel est l'état de la technique, les installations en service en Suisse ont été examinées sous l'angle de leur efficacité, de leur fiabilité ainsi que des coûts d'investissement et d'exploitation. Ensuite, les résultats obtenus ont été comparés avec les données correspondantes publiées en Allemagne et aux Pays-Bas.

Au fil des investigations, il est apparu que les Pays-Bas sont déjà très avancés dans la mise en œuvre de mesures de réduction des émissions d'ammoniac provenant des étables. En effet, ils ont déjà réussi, entre autres, à réduire massivement les émissions d'ammoniac des exploitations de production animale, passant de 237 000 t/a en 1990 à 120 000 t/a en 2006. Même si les étables y sont généralement plus grandes qu'en Suisse, les expériences réalisées dans ce pays peuvent se révéler précieuses, raison pour laquelle certaines d'entre elles ont été intégrées dans le présent rapport, lequel présente également des données sur les mesures engagées en amont pour réduire les émissions d'ammoniac dans l'effluent gazeux des étables, sur les bilans azotés et sur la transformation de l'ammoniac en azote (N_2) et en protoxyde d'azote (N_2O) dans les biolaveurs et les biofiltres, ainsi que sur la rentabilité de telles installations et leurs possibilités d'optimisation.

Les conclusions synthétisent ces résultats sous forme de recommandations visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de réduction des émissions d'ammoniac dans les exploitations de production animale intensive.

Résultats de l'étude

Rendement des installations d'épuration de l'air, en matière d'odeurs et d'ammoniac

L'enquête a montré qu'en Suisse, les exploitations de production animale intensive possèdent des installations d'épuration de l'air plutôt récentes et garantissant, aux dires de leurs fournisseurs, une réduction des émissions d'ammoniac supérieure à 70 %. Dans le cas des biolaveurs simples avec de faibles taux de débordage, et avec les biofiltres multicouches, la réduction de l'ammoniac s'élève à 50 %. Aucune odeur animale caractéristique (odeur de porc) n'est plus perceptible dans l'air rejeté par ces installations. La réduction olfactométrique est supérieure à 70 % avec les biolaveurs modernes et à 90 % avec les biofiltres multicouches. Le taux de rétention de la poussière et des poussières fines est supérieur à 90 % dans les installations modernes.

Au vu des expériences faites avec les systèmes en service en Suisse, la fiabilité de ces installations d'épuration de l'air doit encore être améliorée, pour qu'elles soient à même de satisfaire durablement les taux de réduction garantis par leurs fournisseurs. A cet effet, le rapport propose un certain nombre d'éléments susceptibles d'améliorer l'autosurveillance et des contrôles indépendants.

Transformation de l'ammoniac en azote gazeux et en protoxyde d'azote (N₂O)

L'analyse des données provenant de biolaveurs et de biofiltres a montré que dans certains cas jusqu'à 60 % de l'ammoniac entrant dans ces installations est transformé par des réactions biochimiques en azote gazeux (N₂), inoffensif sous l'angle de la qualité de l'air. Cependant, aux plans écologique et économique, il en résulte une perte des engrais azotés produits dans l'étable.

L'épuration biologique de l'effluent gazeux peut aussi générer du protoxyde d'azote (N₂O), dont l'impact sur le climat est environ 300 fois plus important que celui du dioxyde de carbone (CO₂). Avec les biolaveurs, la formation de protoxyde d'azote peut être maintenue en dessous de 5 % de la quantité d'azote ammoniacal (NH₃-N) épurée. Avec les biofiltres, en revanche, elle est plus élevée et peut même dépasser 10 %. Des mesures opérationnelles spécifiques permettent de minimiser la formation de protoxyde d'azote.

Coûts de l'épuration de l'air

Les coûts totaux annuels des installations biologiques d'épuration de l'air vont de 14 fr. 10 à 54 fr. 20 par place d'élevage de porc, soit de 6 fr. 70 à 38 fr. 30 par kg de NH₃-N épuré. Les coûts sont les plus bas dans le cas de la construction d'une étable de taille importante et équipée d'un biolaveur à haute puissance. Pour le consommateur de viande de porc, ces coûts supplémentaires induisent une augmentation de prix de l'ordre de 0,5 à 1,8 %. Celle-ci semble tout à fait supportable comparée à d'autres surcoûts répercutés sur les prix à la consommation au titre de la protection de l'environnement. Quant aux producteurs de porc, les surcoûts pour eux représentent entre 1,2 % et 4,6 %, rapportés à des recettes de 1146 francs (300 kg/a et par place d'animal à un prix d'abattage de 3,82 francs par kg). Au vu des plus de 120 installations d'épuration de l'air déjà en service en Suisse dans des exploitations de production animale intensive, ces surcoûts semblent également supportables pour leurs exploitants.

Progrès réalisés dans les installations d'épuration de l'air

Des enquêtes menées auprès de fournisseurs suisses d'installations d'épuration de l'air et d'exploitants de telles installations ont montré que leurs connaissances étaient encore très lacunaires quant aux conditions optimales de l'épuration de l'ammoniac. Depuis la première édition de ce rapport en 2007, on a pu constater quelques avancées. Ainsi, pour la première fois en Suisse, un laveur chimique a été installé en combinaison avec un biolaveur de type Uniqfill. En Allemagne, un autre biolaveur de la société Devriecom, au rendement de séparation de l'ammoniac élevé, a passé avec succès le test d'homologation DLG. Un fabricant suisse de biolaveurs a réussi à améliorer la réduction d'ammoniac sur un prototype grâce à différentes mesures.

Conclusions

L'étude montre qu'il existe des installations efficaces d'épuration des effluents gazeux des étables. Néanmoins, il n'est possible de respecter durablement les taux de réduction des odeurs et de l'ammoniac garantis par leurs fournisseurs que dans certaines conditions. Il faut une température de l'air non épuré supérieure à 17 °C et une concentration de l'ammoniac stable à moins de 10 ppm (valeur indicative OF-VET 2002) pour espérer un rendement de réduction biologique satisfaisant de l'ammoniac et des odeurs. Parallèlement, la fiabilité de telles installations devrait être garantie par une maintenance régulière et un contrôle annuel réalisé par un organe indépendant.

Synthèse des résultats de l'étude:

1. Pour réduire massivement les émissions d'ammoniac des étables d'élevage intensif, il est nécessaire de combiner installations d'épuration de l'air avec des mesures en amont.
2. Entrent dans la catégorie des installations d'épuration de l'air efficaces, celles où le taux d'épuration du NH₃ atteint 70 % au moins. Ce taux correspond à l'état actuel de la technique.
3. Pour réduire massivement les émissions d'ammoniac des porcheries et des poulaillers, l'emploi d'installations d'épuration de l'air est un moyen réaliste et économiquement acceptable.
4. Les installations d'épuration de l'air récentes peuvent satisfaire aux exigences minimales suivantes en matière de réduction des odeurs et des émissions de poussières:
 - l'odeur de l'étable n'est plus perceptible dans l'effluent gazeux de l'installation d'épuration;
 - la concentration d'odeurs dans l'air épuré est inférieure à 300 UO/m³;
 - le taux de réduction des odeurs est d'au moins 75 % pour une concentration supérieure à 1000 UO/m³ et de plus de 90 % avec les biofiltres;
 - le taux de réduction des poussières est d'environ 90 % pour les biolaveurs et supérieur à 95 % pour les biofiltres.

5. La formation de protoxyde d'azote dans les installations d'épuration de l'air d'étables de production intensive peut être minimisée par des mesures opérationnelles.
6. Il faut encourager et améliorer la formation des exploitants des installations d'épuration, de leur personnel et des fournisseurs.
7. Pour les autorités et maîtres d'œuvre il faut imposer des exigences concernant la performance, l'entretien et le contrôle des systèmes d'épuration de l'air des étables.

1. Einleitung / Aufgabenstellung

Die Ökosysteme der Schweiz werden in starkem Masse durch die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft belastet. Es besteht ein grosser Handlungsbedarf, diese Emissionen zu reduzieren. Gemäss dem Bericht des Bundesrates über lufthygienische Massnahmen (BBI 1999) ist zur Einhaltung ökologischer Schutzziele eine Reduktion der Ammoniakemissionen von 40 – 50 % gegenüber den Emissionen von 1995 notwendig. Der vorliegende Bericht befasst sich mit den technischen Möglichkeiten zur Minderung von Ammoniakemissionen bei Tierhaltungsbetrieben, bei denen die Abluft gefasst werden kann.

In Regionen mit hohen Nutztierbeständen müssen alle technischen und betrieblichen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, um die gesetzten Ziele zur Reduktion der Stickstoffeinträge für kritische Gebiete wie Wälder und Moore zu erreichen. Dazu sollen vorwiegend technische Möglichkeiten der Ammoniak- und Geruchsminderung in der Stallabluf von Tierställen mit Hilfe von Abluftreinigungsanlagen (= Sekundärmassnahmen) abgeklärt werden.

Auftrag und Leistungsbeschreibung

Gemäss dem Auftrag des BAFU vom April 2007 sind in Zusammenarbeit mit Stallbaufirmen und Experten folgende Grundlagen zu erarbeiten:

- Der aktuelle Stand der Abluftreinigungstechnik zur Reduktion von Ammoniakemissionen bei Tierställen;
- Die Grundlagen für eine lufthygienische Empfehlung zur Reduktion der Ammoniakemissionen mittels Abluftreinigungsanlagen.

2. Grundlagen

2.1 Reduktion der Ammoniakemissionen in der Schweiz

Die Grundlagen zur Reduktion der Ammoniakemissionen in der Schweiz sind schon mehrfach behandelt worden (BBI 1999; BUWAL SRU-273, 1996; BUWAL SRU-379, 2005; Cercl'Air, 2002). Gemäss dem Bericht des BUWAL „Weiterentwicklung des Luftreinhaltekonzepts“ (BUWAL SRU-379, 2005) sollten die Ammoniakemissionen der Schweiz von rund 56'000 Tonnen NH₃-N im Jahre 1990 auf rund 26'000 Tonnen reduziert werden, damit die Grenzen des Eintrags von Stickstoff in die Ökosysteme („critical loads“) eingehalten werden könnten.

Massnahmen zur Umsetzung von Erfordernissen zur Reduktion der Ammoniakemissionen werden unter anderem behandelt im „Massnahmeplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak“ des Kantons Luzern 2007 (UWE Luzern, 2007). Gemäss diesem Bericht müssten die Ammoniakemissionen in Regionen mit hohen Tierbeständen (Ämter Sursee und Hochdorf) gar um ca. 67 % reduziert werden, um den Eintrag von Stickstoff in Ökosysteme wie beispielsweise Wälder auf das Niveau der „critical loads“ zu reduzieren.

Tabelle 2: Ammoniakemissionen bei verschiedenen Tierställen

Tierart / Stalltyp	Emissionsfaktor pro Tierplatz (kg NH ₃ /a)	Mittleres Tiergewicht (kg)	Anzahl Tiere für 25'000 kg Gesamttiergewicht	Stallemission (kg NH ₃ /a)
Milchvieh, Laufstall mit Auslauf	14.57 1)	680	37	536
Mastschweine, „BTS“- und „Raus“-Stallsysteme	5.55 2)	60	417	2'312
Legehennen, Bodenhaltung mit Auslauf	0.3157 1)	1.6	15'625	4'933

- 1) Emissionsfaktor gemäss „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Anhang 1 (TA-Luft 2001)
- 2) Emissionsfaktor gemäss der Untersuchung „Emissionen von Staub und Ammoniak aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung (EMPA + Agroscope FAT Tänikon 2005)

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, sind die Emissionen von Ammoniak bei Tierställen bezogen auf das Gewicht der Tiere bei der Schweine- und Hühnerhaltung um ein Mehrfaches höher im Vergleich zur Rinderhaltung. Diese betragen beispielsweise bezogen für einen Stall mit einem Gesamtgewicht von 25'000 kg (50 GVE) für einen Milchvieh-Laufstall mit Auslauf 536 kg NH₃/a, für einen Mastschweineestall mit Auslauf 2'312 kg NH₃/a und für einen Legehennenstall mit Bodenhaltung und Auslauf 4'950 kg NH₃/a.

2.2 Rechtliche Aspekte

Gemäss der Luftreinhalte-Verordnung (LRV Anhang 1 Ziffer 6) dürfen Ammoniakemissionen bei einem Massenstrom von grösser 300 g/h einen Grenzwert von 30 mg/m³ nicht überschreiten. Da die Ammoniakkonzentrationen in der Stallabluft in der Regel deutlich unter 30 mg/m³ liegen, wird in der Regel auf Basis dieser Bestimmung der LRV keine vorsorgliche Minderung der Ammoniakemissionen aus der Stallabluft verlangt. Da die Immissionskonzentration von Ammoniak in Regionen mit hohen Tierbeständen im Sinne von Art. 2 Absätze 5a. und 5d LRV als übermässig zu bezeichnen sind, müssen in solchen Fällen verschärfte Emissionsbeschränkungen im Sinne von Art. 5 bzw. Art. 9 LRV. Generell können ergänzende Emissionsbeschränkungen auch nach Art. 31 – 34 LRV im Rahmen eines Massnahmenplanes festgelegt werden (UWE Luzern 2007, Kanton Appenzell Ausserrhoden 2008).

Das Luftreinhaltekonzept des Bundes vom September 2009 hält fest, dass bei den Ammoniakemissionen zur Einhaltung der Schutzziele eine Emissionsreduktion von rund 40 % erforderlich ist. Nach internationalen Übereinkommen (UNECE, 1999) ist die Schweiz verpflichtet, die Ammoniakemissionen bereits bis 2020 um 13% gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren. Um die ausländischen Erfahrungen zur Reduktion von Ammoniakemissionen aus Tierställen zu nutzen, war es deshalb naheliegend, diese soweit wie möglich in diesem Bericht einfließen zu lassen. Nachstehend werden insbesondere Erfahrungen aus Deutschland und aus den Niederlanden zusammengefasst.

2.3 Reduktion der Ammoniakbelastung in Deutschland

Gemäss dem am 27.10.2004 von Deutschland ratifizierten Göteborg-Protokoll (UNECE, 1999) hat sich Deutschland verpflichtet, die Ammoniakemissionen bis ins Jahr 2010 um 28 % zu mindern. Die Bemühungen der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG, 2007) zur Zertifizierung (Anforderungen DLG: Anhang C) von Abluftreinigungsanlagen lassen erkennen, dass sich für solche Anlagen in Deutschland ein Markt zu etablieren beginnt. Dies wird auch von Anlageherstellern bestätigt, nach deren Angaben sich die Nachfrage nach Abluftreinigungsanlagen in den letzten Jahren nicht nur für Deutschland, sondern in ganz Europa massiv erhöht hat.

In Deutschland sind UVP-pflichtige Tierhaltungsbetriebe beim Bau oder bei wesentlichen Änderungen verpflichtet, zu prüfen, ob es dadurch nicht zu einer wesentlichen Zusatzbelastung von Ammoniak in der bestehenden Umgebung mit empfindlichen Pflanzen oder Ökosystemen kommt. In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Anhang 1 (TA-Luft 2001) sind dazu Emissionsfaktoren in kg Ammoniak pro Tierplatz und pro Jahr aufgeführt. In Ergänzung dazu enthält dieser Anhang eine Abbildung mit einer Kurve und einer Rechenformel zur Ermittlung des Mindestabstandes eines Tierhaltungsbetriebes zu empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen.

In der im Juli 2001 eingeführten Änderung der Bemessungsgrenze nach Artikel 4 des deutschen Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG 2002) ist eine Regelung enthalten, nach der auch Anlagen grösser 50 GVE zu den nach dem BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen zählen können (Hartmann U. und Köllner B., 2001). Gemäss Hartmann und Köllner ist jedoch „bei Zulassungsverfahren von landwirtschaftlichen Anlagen die geforderte Beurteilung schädlicher Umweltauswirkungen hinsichtlich der Vegetation durch das geplante Vorhaben zur Zeit aufgrund fehlender national verbindlicher Regelungen und Beurteilungsmassstäben für Ammoniak erschwert.“

Die steigende Nachfrage nach Abluftreinigungsanlagen für Tierhaltungsbetriebe (Mitteilungen von Abluftreinigungsherstellern) in Deutschland ist jedoch ein Zeichen dafür, dass diese Regelung im Vollzug der Bundesländer immer mehr angewendet wird.

2.4 Reduktion der Ammoniakbelastung in den Niederlanden

Die Niederlande haben die Ammoniakemissionen aus Tierhaltungsbetrieben bereits von 1990 bis 2000 massiv von 237'000 t/Jahr auf 139'000 t/Jahr reduziert. Von 2000 bis 2006 erfolgte eine weitere Reduktion auf 120'000 t/Jahr (NL-Umweltbilanzbericht 2007). Damit kommen die Niederlande dem im Göteborg Protokoll von 1999 (UNECE, 1999) festgelegten Emissionsziel für Ammoniak für das Jahr 2010 (NEC_Planfond) von 128'000 t (inklusive nicht landwirtschaftliche Ammoniakemissionen) gemäss dem niederländischen Umweltbericht 2007 schon heute sehr nahe. Die starke Reduktion der Ammoniakemissionen zeigt sich auch an der Reduktion der Ammonium-Aerosol-Konzentration in Nordholland von 1.9 µg/m³ im Jahr 1994 auf 1.3 µg/m³ im Jahr 2002 (BAFU, 2007). In ökologisch empfindlichen Gebieten kommt es jedoch immer noch zu erheblichen Überschreitungen der „critical loads“ für den Stickstoffeintrag. Für solche Fälle möchte die zuständige Behörde die Ammoniakemissionen weiter begrenzen durch ergänzende Regelungen wie das Vorschreiben von Abluftreinigungen für grössere Schweine- und Hühnerhaltungsbetriebe sowie durch das vorschreiben von Massnahmen, die zur Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Ausbringung von Mist und Gülle führen (NL-Umweltbilanzbericht 2007).

Zur Erreichung der bisherigen beachtlichen Reduktion an Ammoniakemissionen wurden detaillierte Spezifikationen für Stalltypen, für Stalleinrichtungen und für Abluftreinigungsanlagen mit dazu geltenden Emissionsfaktoren (in kg NH₃ pro Tierplatz und Jahr) erstellt. In Ergänzung dazu wurde ein Zertifizierungssystem für eine eingehende Prüfung der entsprechenden Einrichtungen aufgebaut („Groen Label“ und „BWL“ (NL-Beschluss Ammoniakbegrenzung 2001)). Beispielsweise existieren alleine für Schweinehaltungen (Tierkategorie D) ca. 190 Spezifikationen; diese enthalten sowohl (primäre) stallbauliche Massnahmen, als auch Abluftreinigungen (sekundäre Massnahmen) zur Reduktion der Ammoniakemissionen. Beispiele von solchen Spezifikationen und der entsprechenden Emissionsfaktoren für Ammoniak und für Gerüche für Mastschweineeställe und für Legehennenställe sind in Anhang D aufgeführt.

2.5 Emissionsbeschränkungen durch Massnahmen im Stall

Emissionen von Ammoniak und Gerüchen können auch durch Massnahmen, die einer Abluftreinigungsanlage vorgelagert sind, reduziert werden. Die wirksamsten Massnahmen sind:

1. Verschmutzte Stallflächen möglichst klein halten
2. Stallboden und Einstreu möglichst trocken und sauber halten. Harn sollte möglichst schnell ablaufen.

Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, gibt es in der niederländischen Gesetzgebung zur Reduzierung von Ammoniakemissionen in der Tierhaltung eine grosse Anzahl von Spezifikationen für Ställe und für Stalleinrichtungen, durch welche sich die Ammoniakemissionen erheblich reduzieren lassen (Anhang D). Entsprechende Ammoniakminderungsfaktoren sind auch von der UNECE veröffentlicht worden (UNECE 2007). Solche sind auch im Programm für die Berechnung von Stickstoffbilanzen von landwirtschaftlichen Betrieben enthalten (SHL, Agrammon - Programm 2009).

Zwar werden in der Schweiz auch solche Massnahmen eingesetzt. Aber das Wissen um deren konkreten Ammoniakreduktionen ist in der Schweiz noch wenig verbreitet. Solche sind insbesondere dann in Betracht zu ziehen, wenn die Ammoniakkonzentration in der Stallluft während längerer Zeit über 10 ppm liegen kann, weil dann die Tiergesundheit nach Angaben des Bundesamtes für Veterinärwesen (BVET 2009) und die Mastleistung der Tiere nach Angaben eines Futterherstellers (UF AG) beeinträchtigt sein können.

3. Reduktion von NH₃- und Geruchsemissionen durch Abluftreinigungsanlagen

Abluftreinigungsanlagen kommen nur bei Ställen mit Zwangslüftung zum Einsatz. Bei Stallanlagen mit freier Lüftung kommt es vorwiegend zu grossflächigen diffusen Emissionen, da die Abluft nicht gefasst werden kann. Da der Trend beim Rinderstall vorwiegend in Richtung Offenfrontstall läuft und die Ammoniakemissionen bei Schweine- und Hühnerställen bezogen auf das Tiergewicht um ein Mehrfaches höher sind als bei Rinderställen, konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf die Abluftreinigung von Schweine- und Hühnerställen.

In der Schweiz sind nach Angaben von Herstellern bereits über 120 Abluftreinigungsanlagen im Einsatz. Dabei handelt es sich vorwiegend um einfache Biowäscher und um wenige zwei- und dreischichtige Biofilter wie auch um einen Biowäscher mit geregelter Abschlammung. Bis auf den Biowäscher mit geregelter Abschlammung werden die Abluftreinigungsanlagen vorwiegend zur Reduktion der Stallgerüche verwendet und liefern sehr befriedigende Resultate. Für die Reduktion von Ammoniakemissionen sind sie jedoch nicht optimal ausgerüstet

3.1 Wirkungsprinzip von Anlagen zur Reinigung von Stallabluft

Zur Abluftreinigung von Tierställen werden Biowäscher, Biofilter oder Chemowäscher eingesetzt und je nach Anforderungen auch zwei- und dreistufige Anlagen. Die häufigsten Kombinationen bei zweistufigen Anlagen sind: Wasserwäscher / Chemowäscher, Wasserwäscher/Biofilter, Chemowäscher/Biowäscher oder Chemowäscher /Biofilter. Bei den dreistufigen Anlagen handelt es sich vorwiegend um Wasserwäscher / Wasserwäscher / Biofilter oder Wasserwäscher / Chemowäscher / Biofilter. Diese haben folgende gemeinsamen Wirkprinzipien:

1. Zuführen der zu reinigenden Abluft nach einer gegebenenfalls erforderlichen Konditionierung zur Abluftreinigungsanlage,
2. Adsorption der abzuscheidenden Luftinhaltsstoffe auf einem wässrigen Film auf der inneren Oberfläche (den Füllkörpern) der Abluftreinigungsanlage,
3. Umwandlung der aus der Luft abgeschiedenen Stoffe: Bei biologischen Abluftreinigungsanlagen durch Redoxprozesse zu biologisch verträglichen Endpro

dukten und Biomasse (Bakterien, Pilze, Hefen), die sich bevorzugt an den Kontaktoberflächen ansiedeln,

4. Bei Chemowäschern erfolgt eine Umwandlung der Luftinhaltsstoffe durch eine chemische Reaktion. Beispielsweise reagiert gelöster Ammoniak (NH_4/NH_3) mit Schwefelsäure (H_2SO_4), zu Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

3.2 Umwandlung von Ammoniak in Stickstoff (N_2)

Bei biologischen Abluftreinigungssystemen die zur Minderung der Ammoniak-Emissionen aus Stallabluft eingesetzt werden, kann in Einzelfällen ein erheblicher Anteil des eingebrachten Stickstoffs in Verbindungen umgewandelt werden, die über herkömmliche Stickstoffbilanzen nicht erfasst werden. Die nicht direkt messbaren Stickstoffverluste erreichen bis zu 60 % (Malhautier 2002 und Zürcher 2002) der zugeführten Ammonium-Stickstoffanteile und können daher nicht mit Messfehlern bei den anderen stickstoffhaltigen Verbindungen erklärt werden. Solche „Verluste“ können jedoch durch Umwandlung zu gasförmigen Stickstoff (N_2) erklärt werden (Kuenen J. Gijs und Lesley A. Robertson 1994, Graaf et al. 1996 und Malhautier 2002).

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass bei der weitergehenden Abwasserreinigung von stark mit Ammoniak belasteten Wässern durch Kombination von Denitrifikation / Nitrifikation ein Teil der gelösten Stickstoffverbindungen in gasförmigen Stickstoff (N_2) umgewandelt werden kann. Die anaerobe Ammonium-Oxidation in Gegenwart von Nitrit ist in der einschlägigen Fachliteratur unter dem Namen Anammox-Prozess beschrieben (Siegrist, H., et.al. (1998)).

Bei Abluftwäschern, die zur Reinigung von Stallabluft genutzt werden, entsteht ein mit Ammonium, Nitrit und Nitrat angereichertes Kreislaufwasser. Damit sind wichtige Voraussetzungen für den Anammox-Prozess gegeben. Durch biologische Oxidation von Ammonium mit Nitrit (Nitrifikation/Denitrifikation) wird bei Sauerstoff-Limitierung im Sumpfwasser des Biowäschers oder im Biofilm gasförmiger Stickstoff (N_2) gebildet. Unter vergleichbaren Bedingungen wie im Sumpf eines Biowäschers wird in ammoniumreichem Abwasser bis zu 90 % des Ammoniumstickstoffs zu gasförmigen Stickstoff umgesetzt (Fux Christian, et.al. 2002). Solche Bedingungen können auch im Sumpf von Biofiltern (am Boden der Druckkammer) auftreten. Es entsteht unter solchen Bedingungen unter Umständen auch Lachgas (N_2O , siehe Kapitel 4.3). Da es erfahrungsgemäss bei biologischen Abluftreinigungsanlagen einige Monate dauern

kann, bis sich die Mikroorganismen an die spezifischen Bedingungen der jeweiligen Bedingungen einer spezifischen Anlage adaptiert haben, können die Ammonox-Umwandlungsreaktionen bei relativ frisch in Betrieb genommenen Anlagen noch wenig ausgeprägt sein. Entsprechend kann es dann zu geringeren Umwandlungsraten, respektive zu höheren Wiederfindungsraten einer Stickstoffbilanz kommen.

Wie in Kapitel 4.4 erwähnt, können die N-Verluste über die Bildung von gasförmigem Stickstoff (N_2) nach dem Anammox-Prozess mit einem Chemowäscher weitgehend vermieden werden. Zur besseren Geruchsreduktion werden solchen jedoch meistens Biofilter- oder Biowäscherstufe nachgeschaltet (Kapitel 4.6). Solche mehrstufigen Abluftreinigungssysteme sind jedoch aufwendiger im Vergleich zu heutigen hocheffizienten Biowäschern. Bei steigenden Preisen für Stickstoffdünger oder bei landwirtschaftlichen Betrieben, bei denen der genügende Anfall von Stickstoffdünger aus dem eigenen Betrieb wichtig ist, könnte sich der Einsatz einer sauren Wäscherstufe als vorteilhaft erweisen.

3.3 Bildung und Auswirkung von Lachgas

In Anbetracht der enormen Anstrengungen der Schweiz die Treibhausgase bis 2020 um 20 % zu reduzieren, besteht ein grosses Interesse Abluftreinigungsanlagen so zu betreiben, dass sie möglichst wenig Lachgas bilden. Diese Anforderung wird erfüllt von Chemowäschern und Biowäschern, bei denen der pH des Umlaufwassers zwischen 6.5 bis 7.5 stabilisiert und die Abschlammung kontrolliert wird. Bei mehrschichtigen Biofiltern bestehen diesbezüglich noch Zweifel, obwohl bei den erwähnten neueren Messungen die Bildung von Lachgas nicht höher lag, als üblicherweise bei Biowäschern zu erwarten ist. Insbesondere bei fortgeschrittener Verrottung der Holzschnittschicht des Biofilters kann die Bildung von Lachgas deutlich erhöht sein.

Bei einem dreischichtigen Biofilter betrug die Bildung von Lachgas bezogen auf die zugeführte Ammoniakfracht 4.6 % im Winter und 6.9 % im Sommer (Messungen EMPA 2009). Bewertet nach der Methode der ökologischen Knappheit zeigt das Biofilter trotz der Lachgasbildung auch im Winterbetrieb mit einer verminderten Ammoniakabscheidung von deutlich unter 50 % immer noch einen ökologischen Vorteil (Bösch, R. 2009).

Inzwischen werden mehrstufige Biowäscher angeboten, die Ammoniakreduktionsraten über 85 % erreichen (Zulassung NL: infomil, Zulassungs-Nr. BWL 2008.02 Dorset; DLG-Prüfbericht 5879 (Devriecom) und DLG-Prüfbericht 5702, (Dorset)). Bei diesen Biowäschern ist unter anderem die Einhaltung einer bestimmten Betriebstemperatur, eines bestimmten pH-Bereichs und der regelmässig abzuschlammenden Menge explizit festgelegt.

3.4 Grenzen für den Abbau von Ammoniak in Biowäscher

Für eine sichere Ammoniakabscheidung in biologischen Abluftwäschern sollten gewisse betriebliche Voraussetzung erfüllt sein. Die biologisch aktive Zone muss ausreichend befeuchtet werden (Kreislaufbetrieb bzw. vorgelagerte Befeuchtungsstufe). Die Temperatur muss über 15°C gehalten werden. Im Kreislaufwasser ist zudem ein pH Wert zwischen 6.5 und 7.5 anzustreben. Sofern dieser Wert nicht durch biologische Ansäuerung (Nitrifikation) erreicht wird, ist er durch Säurezugabe sicherzustellen. Zur Vermeidung einer unerwünschten Aufsalzung (Leitfähigkeit > 40 mS/cm) sollte das Waschwasser regelmässig erneuert werden. Um diese Anforderungen dauernd einzuhalten ist eine sorgfältige Wartung mit geeigneter Überwachung erforderlich.

Inzwischen werden mehrstufige Biowäscher angeboten, die Ammoniakreduktionsraten über 85 % erreichen (Zulassung NL: infomil, Zulassungs-Nr. BWL 2008.02 Dorset; DLG-Prüfberichte 5879, Devriecom und 5702, Dorset). Bei diesen Biowäschern ist unter anderem die Einhaltung einer bestimmten Betriebstemperatur, eines bestimmten pH-Bereichs und der regelmässig abzuschlammenden Menge explizit festgelegt.

3.5 Grenzen für den Abbau von Ammoniak in Biofilter

Die chemisch-biologischen Abbauvorgänge für Ammoniak entsprechen den Vorgängen im Biowäscher, wodurch auch im Biofilter aufgrund von zu hohen Ammoniakfrachten eine Selbsthemmung der Abbauleistung statt findet (Villaverde et al. 2000, HWANG et al. 2000). Die Überlastung des regelmässig benetzten Biofilters durch Ammoniak wurde in den Untersuchungen von Hahne und Brandes (2002) sehr deutlich gezeigt. Weitere Untersuchungen zeigen bei einem ordnungsgemässen Betrieb und relativ frischem Filtermaterial einen Abscheidegrad an Ammoniak von 26 bis 52 % und eine Wiederfindungsrate von 60 bis 80 %.

Bei Untersuchungen von Hahne & Vorlop (2001) wurde festgestellt, dass bis zu 6 % des NH₃ zu NO und bis 20 % zu N₂O abgebaut werden. Altes Filtermaterial hingegen zeigt nur noch Abbau-Werte von 15 bis 36%. Bei altem Filtermaterial nimmt aufgrund der fortgeschrittenen Verrottung auch der Druckwiderstand der Anlage zu und es kommt vermehrt zu Filterdurchbrüchen (aufgrund mangelnder Befeuchtung kommt es zu Materialrissen im Filter, durch die Stallluft nahezu ungefiltert hindurchströmt). Aus

diesem Grunde bewerten Fachleute den Einsatz eines Biofilters für die Ammoniakabscheidung zum jetzigen Zeitpunkt als nicht geeignet.

Bei gut durchlüfteten Filtern, mit pH-Werten von über 6.8 im Biofilter und frischem Filter-Material, ist die Lachgasbildung relativ gering. Bei einem dreischichtigen Biofilter (Hagola) betrug die Lachgasbildung nur 1.1 % bezogen auf den gesamten Eintrag von $\text{NH}_3\text{-N}$ (Zechelius (2005)). Der Filter zeigt eine Ammoniak-Abscheidung von 50 – 85 %. Ein Halbstundenmittelwert von 70 %, wie nach DLG-Test verlangt, wurde nicht erfüllt.

3.6 Grenzen für den Abbau von Ammoniak im Chemowäscher

Im Chemowäscher wird das Ammoniak zwischen 75 und 95% eliminiert. Das Ammoniak reagiert dabei mit der Schwefelsäure (H_2SO_4), das dem Wasser zugesetzt wurde, zu Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Der pH liegt dabei zwischen 1.5 und 5. Sobald der pH über 4 steigt, wird dem Waschwasser wiederum automatisch Säure zugegeben. Der begrenzende Faktor bei einem Chemowäscher ist nicht die Ammoniakabscheidung selber, sondern die Staubfrachten, da diese zu Verstopfungen der Füllkörper führen. Da bei einem pH von < 4 kein biologischer Abbau stattfindet, kommt es beim Chemowäscher auch zu keiner Lachgas- und Stickoxid-Bildung. Allerdings weisen solche Anlagen im Vergleich zu biologischen Abluftreinigungsanlagen Nachteile in Bezug auf die sichere Handhabung auf, wodurch deren Einsatz für mittlere und kleinere Ställe als weniger geeignet erscheint. Weiter kommt dazu, dass Chemowäscher für die Reduktion von Gerüchen nicht geeignet sind.

Abluftreinigungsanlagen, bei denen Chemowäscher mit Biowäschern oder Biofiltern kombiniert sind, sind aufwendiger im Vergleich zu heutigen hocheffizienten Biowäschern und Biofiltern. Bei weiter steigenden Preisen für Stickstoffdünger oder bei landwirtschaftlichen Betrieben, bei denen der hofeigene Dünger als besonders wertvoll gilt, könnte sich jedoch eine Ammoniakvorabscheidung mit saurem Wäscher für grössere Abluftreinigungsanlagen als vorteilhaft erweisen.

3.7 Lagerung und Verwertung der Sicker- bzw. Wäscherwasser

In biologischen Abluftreinigungssystemen fällt eine mehr oder weniger grosse Menge an Sicker- bzw. Wäscherwasser an. Diese wird oft zusammen mit der Gülle des Betriebs gelagert und dann als Dünger verwertet.

Das Waschwasser eines Chemowäschers enthält viel Sulfat. Dieses ist separat zu lagern in Behältnissen mit säure- und sulfatbeständiger Auskleidung. Es darf nicht zusammen mit Gülle gelagert werden, weil dann Sulfat in das giftige Schwefelwasserstoffgas (H_2S) umgewandelt werden kann. Zur Verwertung als Dünger sollte das Waschwasser des Chemowäschers kurz vor der Ausbringung auf die Felder mit Gülle gemischt werden (Empfehlung eines holländischen Anlageherstellers). Die im Waschwasser gegenüber Gülle erhöhten Düngewerte für Stickstoff (N) und für Schwefel (S) sind beim Ausbringen auf die Felder zu berücksichtigen.

4. Abluftreinigungsanlagen

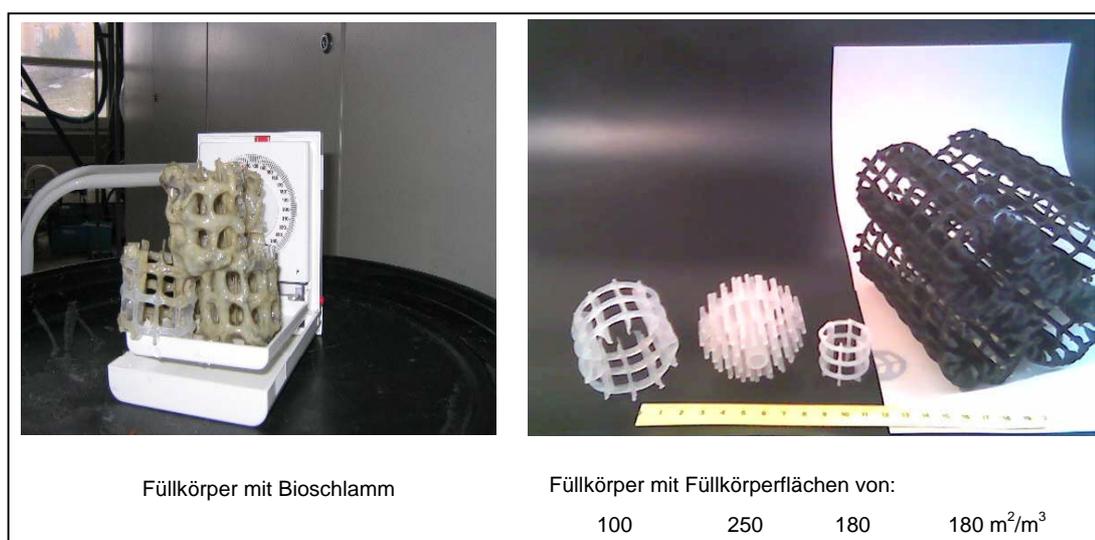
Nachfolgend werden die verschiedenen Abluftreinigungstypen zur Reinigung von Stallabluft näher beschrieben.

4.1 Biowäscher

Bei Biowäschern strömt die zu reinigende Abluft von unten nach oben durch eine Füllkörperschicht. Diese wird von oben mit Wasser berieselt. Auf den Oberflächen der Füllkörper bildet sich ein Wasserfilm und eine schleimige Schicht von Mikroorganismen („Biofilm“ Abbildung 2). Geruchsstoffe und Ammoniak werden beim Durchströmen durch diese Füllkörper von der Luft auf den Wasserfilm übertragen und danach biologisch abgebaut.

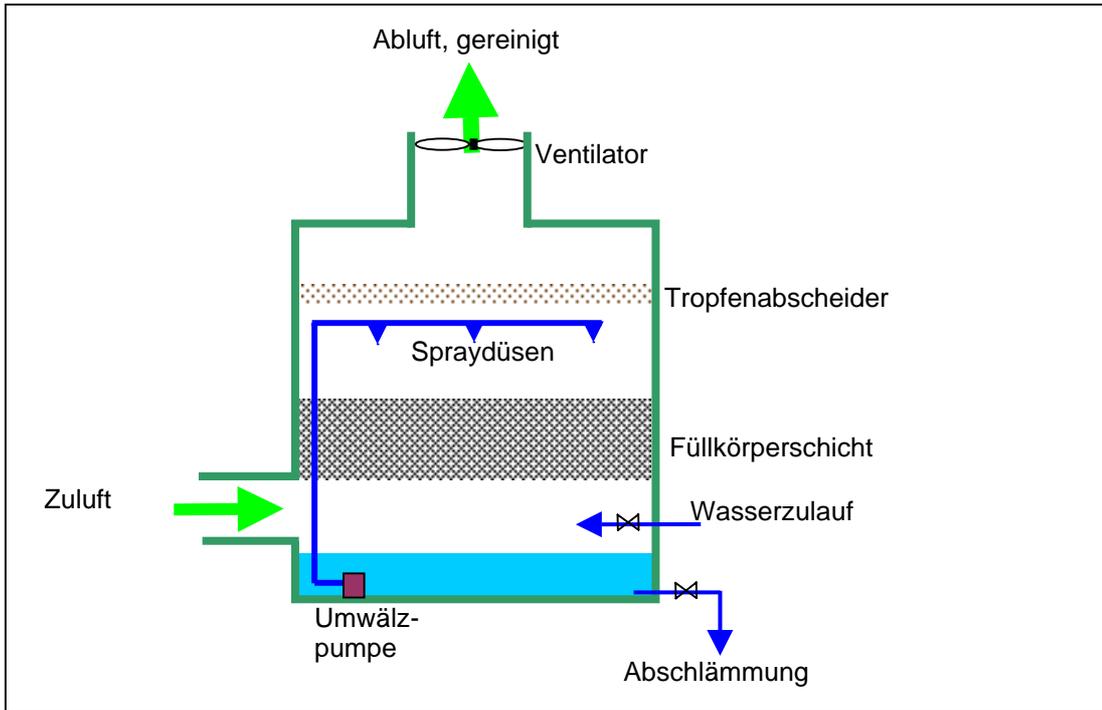
Die Abbauleistung für Gerüche und Ammoniak lässt sich durch die Verwendung von Füllkörpern mit einer höheren spezifischen Oberfläche verbessern. Dadurch ergeben sich jedoch engere Zwischenräume für den Luftdurchgang. Dies führt zu einer Erhöhung der Druckdifferenz und es steigt die Gefahr dafür, dass die Zwischenräume verstopfen. In der nachfolgenden Abbildung sind verschiedene Füllkörper dargestellt.

Abbildung 1: Füllkörper



In der nachfolgenden Abbildung 2 ist ein Schema für einen einfachen Biowäscher abgebildet der üblicherweise zum Abbau von Gerüchen aus dem Stall verwendet wird.

Abbildung 2: einfache Biowäscher

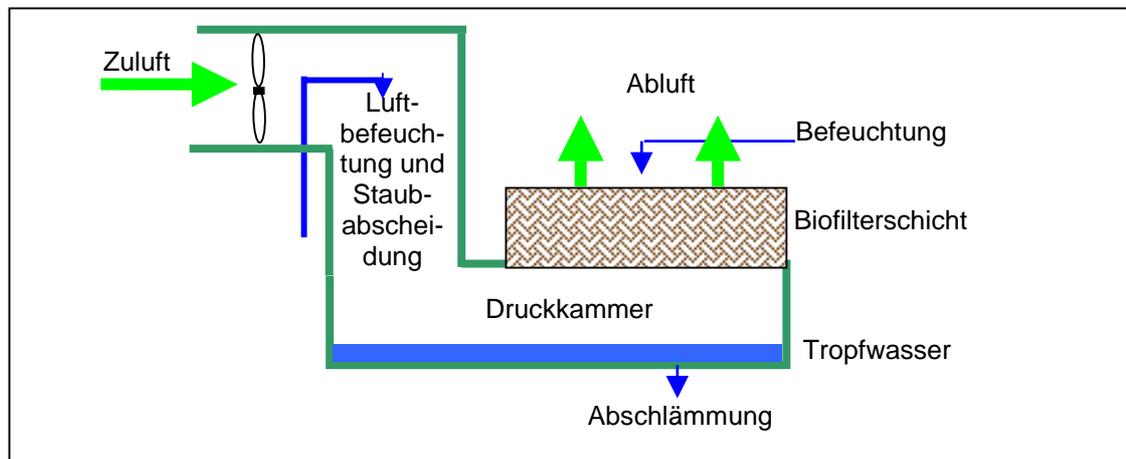


Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Platzbedarf • Geringe Druckdifferenz • Guter Abbau von Gerüchen • Hohe Luftdurchsatzrate pro m² Filterfläche • Störungen lassen sich in der Regel rasch beheben. <p>Mit einer geregelten Abschleimrate und geregelterm pH Bereich im Umlaufwasser ergeben sich weitere Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langzeitstabilität • Auch für höhere Stoffkonzentrationen geeignet • Sehr guter Abbau von Ammoniak • Geringe Lachgasbildung 	<ul style="list-style-type: none"> • Lachgasbildung bei ungenügender Abschleimrate • Abbauminderung durch schwankenden pH im Umlaufwasser • Verstopfungsgefahr • Beschränkter Abbau von Geruch bei tiefen Geruchskonzentrationen • Für hohe Ammoniakminderungsraten von deutlich über 50 % sind hohe Abschleimraten erforderlich, was zu Engpässen bei der Güllelagerkapazität führen kann.

4.2 Einschichtige Biofilter

Analog wie beim Biowäscher durchströmt die zu reinigende Abluft einen Füllkörper in der Regel von unten nach oben. Beim einfachen Biofilter besteht der Füllkörper meistens aus Holzschnitzeln. Wie beim Biowäscher bildet sich an den Oberflächen der Füllkörper ein Wasser- und Biofilm, an dem der biologische Abbau von Geruchstoffen und Ammoniak erfolgt. Gleichzeitig dienen die Holzschnitzel als Nährstoffe für die Mikroorganismen. Das hat zur Folge, dass die Struktur der Holzschnitzel mit der Zeit zerstört wird und die Holzschnitzel selber abgebaut werden. Ab einem gewissen Abbau müssen diese deshalb erneuert werden. Im Biofiltermaterial laufen ähnliche Reaktionen ab wie beim Biowäscher. Die innere Oberfläche pro m³ Füllmaterial ist beim Biofilter im Vergleich zu einem einfachen Biowäscher um einen Faktor von 4-8 grösser. Entsprechend ist die Effizienz für den Abbau von Stoffen vor allem Geruch in einem Biofilter im Vergleich zu einem Biowäscher besser. Für die Reinigung von Stallabluft haben sich die einschichtige Biofilter jedoch infolge erheblicher Nachteile nicht durchgesetzt.

Abbildung 3: Konventioneller Biofilter



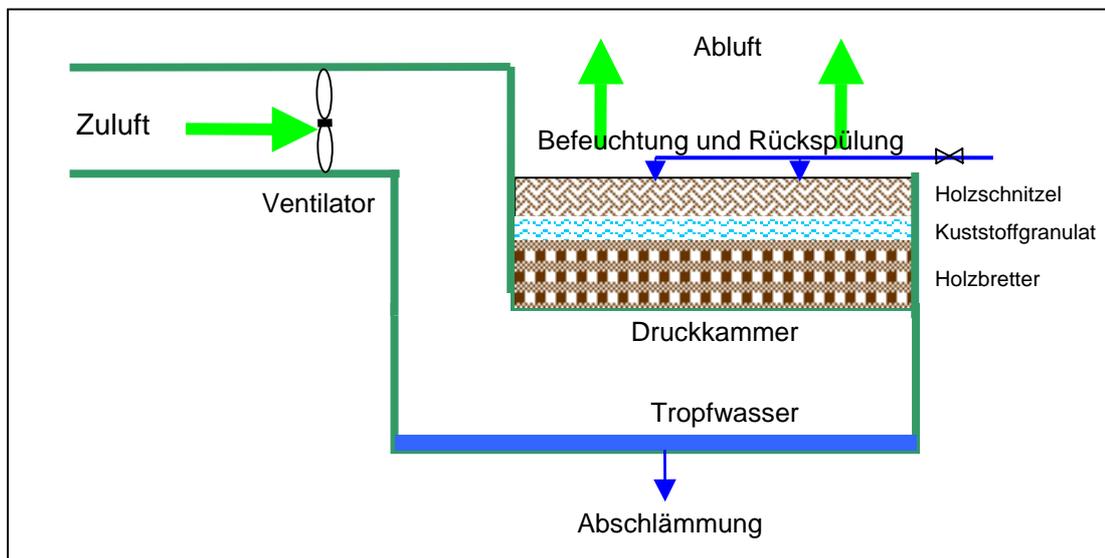
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Bauweise • Einfache Verfahrenstechnik • Sehr guter Abbau von Gerüchen 	<ul style="list-style-type: none"> • Grosser Flächenbedarf • Hohe Druckdifferenz • Beschränkte Luftdurchsatzrate • Wenig Regelungsmöglichkeiten • Filtermaterial ist regelmässig zu ersetzen. • Störanfällig / Lachgasbildung

4.3 Mehrschichtige Biofilter

Seit einigen Jahren werden von der Firma Hartmann Filter GmbH zweischichtige und von der Firma Hagola GmbH dreischichtige Biofilter angeboten. Die unterste Lage besteht aus kreuzweise mit offenen Zwischenräumen aufgeschichteten Holzbrettern und die oberste Schicht aus Holzschnitzeln. Bei den Hagola-Biofiltern besteht die mittlere Lage aus Kunststoffgranulat. Eine Staubabscheidung erfolgt in diesem System hauptsächlich in der untersten Schicht des Biofilters. Ein Befeuchten der Stallabluft erfolgt über das Tropfwasser in der Druckkammer und über die feuchten Bretter der untersten Lage. Mit Düsen wird periodisch Wasser auf die oberste Lage gespritzt. Dadurch wird das Filtermaterial befeuchtet und gleichzeitig soll ein geregeltes Auswaschen von Abbauprodukten aus dem Filter sichergestellt werden.

Der dreischichtige Biofilter von der Firma Hagola wurde im Jahre 2007 nach dem DLG-Prüfrahmen für Staub und Geruch zertifiziert (DLG-Prüfbericht 5699). Langzeitnachweise für eine Ammoniak-Reduktion von mindestens 70 % wurden bisher noch nicht erbracht.

Abbildung 4: Dreischichtiger Biofilter



Dreischichtiger Biofilter, Vorteile / Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Einfache Bauweise• Gegenüber einschichtigen Biofiltern erhöhte Luftdurchsatzraten und geringere Störanfälligkeit• Im Vergleich zu Biowäschern bessere Abscheideleistung für Gerüche, Staub, Mikroorganismen und Endotoxine• Im Vergleich zu Biowäschern geringes Abschlämmvolumen	<ul style="list-style-type: none">• Grosser Flächenbedarf• Hohe Druckdifferenz• Filtermaterialmuss regelmässig nachgefüllt / ersetzt werden• Wenig Möglichkeiten den Abbauprozess zu steuern• Tendenz zur erhöhten Lachgasbildung bei verrottetem Filtermaterial

4.4 Chemischer Wäscher (Chemowäscher)

Beim Chemowäscher, auch Ammoniakwäscher genannt, strömt die zu reinigende Abluft von unten nach oben durch eine Füllkörperschicht. Von oben rieselt säurehaltiges Wasser durch diese Schicht. Als Säure wird üblicherweise Schwefelsäure verwendet, diese wird automatisch über eine pH-Regelung zum Waschwasser zudosiert. Dabei wird Ammoniak aus der Luft durch das Waschwasser aufgenommen. Steigt die Ammoniakkonzentration in der Stallabluft im Laufe des Tages an, wird automatisch mehr Säure zudosiert, um die Mehrmenge von Ammoniak im Waschwasser chemisch zu binden.

In der Schweiz werden Chemowäscher zur Zeit vorwiegend für die Abscheidung von Ammoniak aus industriellen Prozessen eingesetzt.

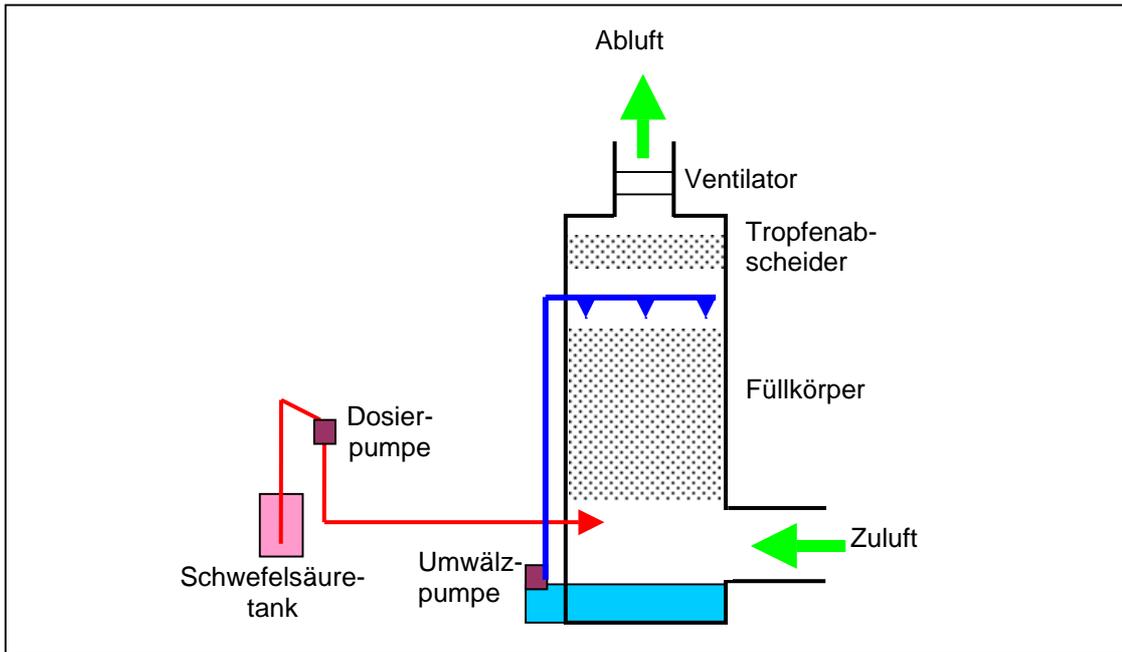
Der Einsatz eines Chemowäschers ist sinnvoll:

1. Wenn die NH_3 -Konzentration der Stallabluft über längere Zeit deutlich über 10 ppm liegt;
2. Bei grossen Ställen ab 100'000 m^3/h ;
3. Unter der Voraussetzung, dass der Umgang mit Schwefelsäure und mit Ammoniumsulfatlösung vom Betriebspersonal des Stalles beherrscht wird;
4. Unter der Voraussetzung, dass eine umweltkonforme Verwertung von Ammoniumsulfatlösung sichergestellt wird.

Andererseits wäre es wertvoll, wenn chemisch gebundener Ammoniak als Stickstoffdünger verwertet werden könnte. Zudem bilden sich bei Chemowäschern im Gegen

satz zu Bioreinigungsanlagen kein Lachgas und auch kein Stickstoff (N₂) (Trimborn, M. 2006). Abbildung 5 zeigt ein Schema für einen Chemowäscher. Infolge der geringen Geruchsreduktion, werden sie oft in Kombination mit Biowäschern oder Biofiltern als mehrstufige Abluftreinigungsanlagen eingesetzt.

Abbildung 5: Chemowäscher



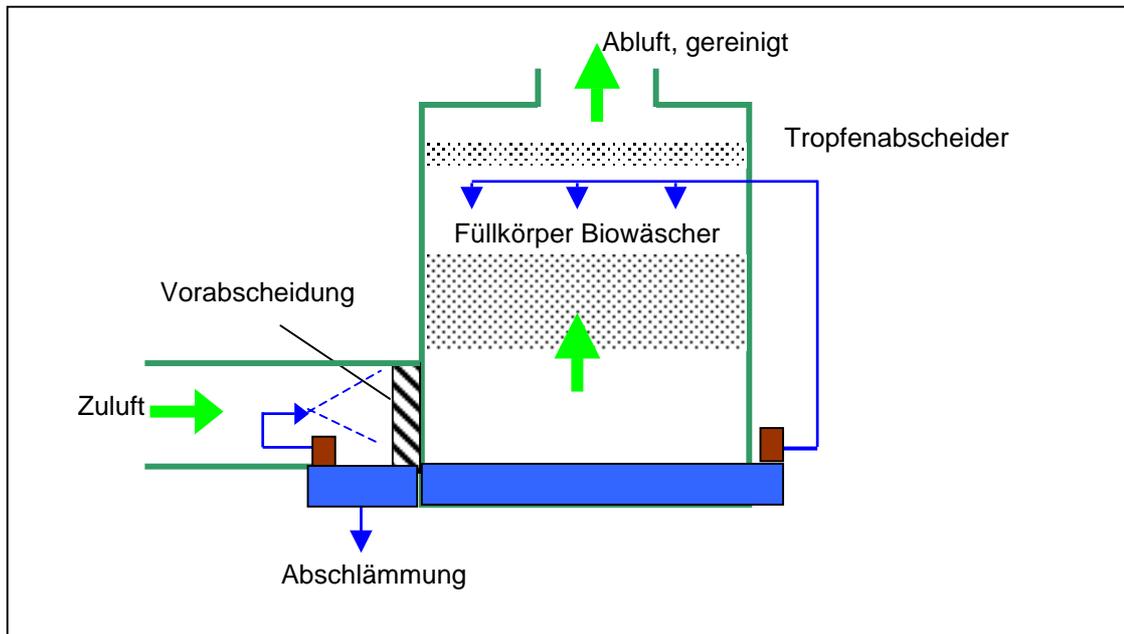
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Abscheidung von Ammoniak • Kompakte Bauweise • Hoher Luftdurchsatz • Waschlösung (Ammoniumsulfat) gibt Stickstoffdünger • Keine Emissionen bei der Ausbringung • Keine Lachgsbildung 	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Abbau von Gerüchen • Kosten für Schwefelsäure • Separate Lagerung des Waschwassers erforderlich. (Beim Mischen mit Gülle kann es zum Ausgasen von Schwefelwasserstoff (H₂S) kommen.) • Lagerung von Schwefelsäure und von Ammoniumsulfatlösung erfordert spezielle Kenntnisse. • Ammoniumsulfatlösung wirkt korrodierend auf Aluminium, Messing, Eisen und Beton.

4.5 Biowäscher mit Luftvorwäscher

Ein Biowäscher mit Luftvorwäscher für die Abscheidung von Staub der Firma Dorset wurde im Jahre 2007 in Deutschland nach dem DLG-Prüfrahmen (DLG-Prüfbericht 5702) für Ammoniak, Geruch und Staub, sowie auch in den Niederlanden (Zulassungs-Nr. BWL 2007.02), zertifiziert. Bei diesem Biowäscher besteht die erste Stufe aus einer Spritzlamellenwand mit separater Wasserumwälzung. Die zweite Stufe besteht aus einem Biowäscher mit einem Füllkörper mit sehr hoher spezifischer Oberfläche von ca. $240 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Dadurch werden die Abscheideraten für Ammoniak und für Gerüche gegenüber einfachen Biowäschern bedeutend erhöht. In der Schweiz wurde im Jahr 2007 eine solche Anlage zur Reinigung der Abluft aus einem Legehennenstall und im Jahre 2010 eine solche für die Abluft eines Junghennenstalls in Betrieb genommen. Wiederholt durchgeführte Emissionsmessungen bestätigten die auch im DLG-Prüfbericht aufgeführte hohe Ammoniakreduktion von 90 % und mehr (Messungen Nr. 11 und Nr. 12, Anhang G). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass in den betreffenden Ställen alle Minderungsmaßnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen aus dem Stall durchgeführt wurden, die heute Stand der Technik sind. Dies führt zu relativ geringen Ammoniakkonzentrationen im Rohgas. Aufgrund der DLG-zertifizierten Abscheideleistung sind jedoch auch höhere Ammoniakkonzentrationen in der Abluft kein Problem. Dies wird auch durch die niederländische Zulassung (BWL 207.02, 85 % Ammoniakreduktion, siehe Anhang D) bestätigt. Die Firma Devriecom bietet ebenfalls Biowäscher mit Vorwäscher an. In den Niederlanden sind diese für eine Ammoniakreduktion von 70 % zugelassen (BWL 2006.01.V1, BWL 2006.02.V1 und BWL 2006.03.V1).

Im Jahre 2009 hat die Firma Devriecom einen Biowäscher durch die DLG zertifizieren lassen, bei dem der pH des Umlaufwassers geregelt wird und der eine leitfähigkeitsgeregelte Abschlammung besitzt. Die Ammoniakabscheidung liegt bei über 90 %. (DLG-Prüfbericht 5879).

Abbildung 6: Zweistufiger Biowäscher (Dorset)

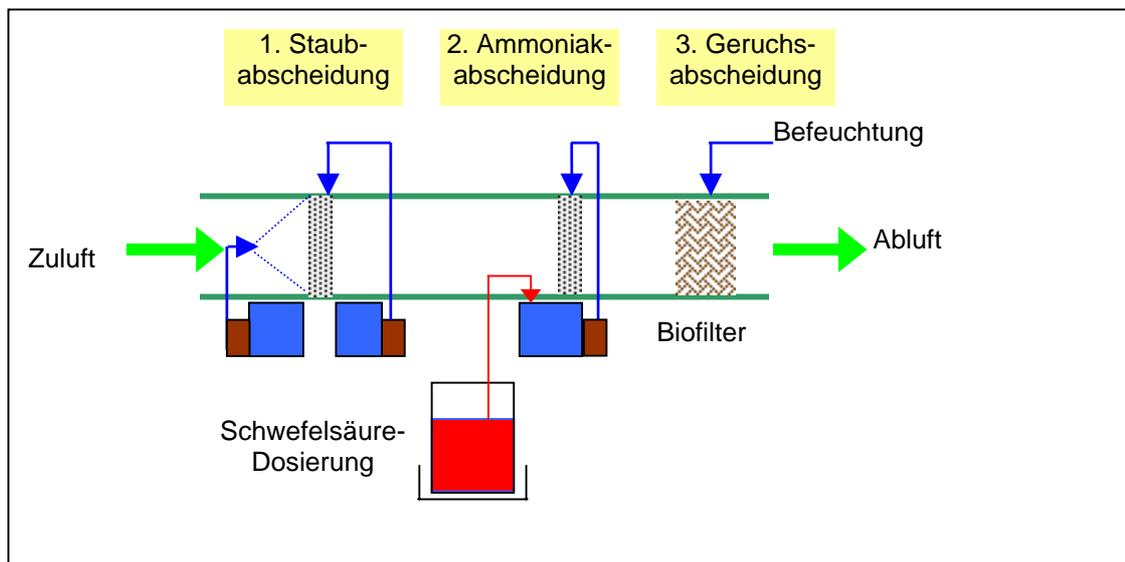


Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Platzbedarf • Geringe Druckdifferenz • Hohe Luftdurchsatzrate pro m2 Filterfläche • Hohe spezifische Oberfläche • Für hohe Staubfrachten geeignet • Zeitgesteuerte Abschlemmung • • Auf Abbauprozess kann Einfluss genommen werden durch Zudosierung von Säure oder Melasse (siehe Kapitel 3.2) <p>Bei richtiger Konditionierung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langzeitstabilität • Auch für höhere Stoffkonzentrationen geeignet • Guter Abbau von Ammoniak und Geruch • Geringe Lachgasbildung 	<ul style="list-style-type: none"> • Es muss täglich eine gewisse Menge Flüssigkeit aus den Wäschern abgepumpt werden. Dadurch steigt der Lagerbedarf für Gülle, was zu Engpässen bei der Güllelagerkapazität führen kann. • Die Füllkörper müssen jährlich mehrmals gereinigt werden, um ein Verstopfen und ein zu hoher Druckanstieg im Biowäscher zu vermeiden.

4.6 Systeme mit Chemo- und biologischen Stufen

Bei der dreistufigen Anlage der Firma Big Dutchman wird in der ersten Stufe vorwiegend Staub abgeschieden. Die zweite Stufe, ein Chemowäscher, scheidet Ammoniak mittels Zudosierung von Schwefelsäure ab. In der dritten Stufe, einem Biofilter, werden Tröpfchen und Aerosole abgeschieden und Gerüche abgebaut. In der Schweiz gibt es zur Zeit keine solchen Anlagen.

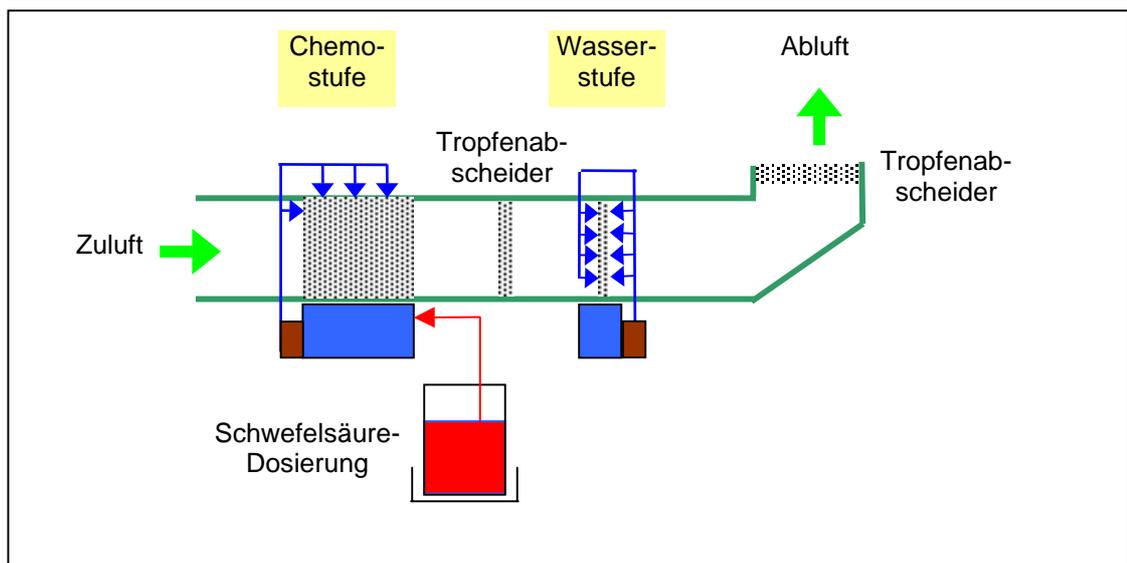
Abbildung 7: Dreistufige Anlage (Big Dutchman)



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Druckdifferenz • Für grössere Ställe relativ kostengünstig für Neubauten 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ komplexe Anlage • Schwefelsäure ist teuer und muss regelmässig beschafft werden. • Handhabung und Lagerung von Schwefelsäure und von Ammoniumsulfatlösung erfordert spezielle Kenntnisse. • Ammoniumsulfat wirkt korrodierend auf Aluminium, Messing und Eisen und Beton. • Beim Mischen der Ammoniumsulfatlösung mit Gülle in einer Güllengrube kann es zum Ausgasen von Schwefelwasserstoff (H₂S) kommen.

Die niederländische Firma Uniqfill Air b.v. (www.uniqfill.nl) bietet eine zweistufige Abluftreinigungsanlage an, in welcher die erste Stufe als Säurewäscher ausgebildet ist. Danach durchströmt die Luft einen Tropfenabscheider und wird dann in die zweite Stufe, einen Biowäscher geleitet. Der Kombiwäscher ist sowohl in den Niederlanden (BWL 2006.14) als auch in Deutschland (DLG-Prüfbericht 5629) zertifiziert. Gemäss dem DLG-Prüfbericht betrug die Ammoniakminderungsrate über 80 % und der Geruch wurde „anforderungsgerecht eliminiert“. Das bedeutet, dass der typische Stallgeruch im Reingas nicht mehr wahrgenommen werden konnte und dass die olfaktometrische Geruchskonzentration unter 300 GE/m^3 beträgt. Eine solche Abluftreinigungsanlage wurde in der Schweiz erstmals im Herbst 2009 im Kanton Luzern bei einem neuen Mastschweinestall in Betrieb genommen. Sie weisen dieselben Vor- und Nachteile auf wie die zuvor erwähnten dreistufigen Anlagen.

Abbildung 8: Chemo- und Biowäscher (Uniqfill)



5. Leistungen von Abluftreinigungsanlagen

5.1 Abscheideraten von Biowäschern und von Biofiltern

Erzielbare Abscheideraten für Ammoniak, Geruch und Staub von Biofiltern und von Biowäschern sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die angegebenen Werte gelten nur bei korrekter Dimensionierung der Anlage und bei Einhaltung der für die Anlagen erforderlichen Betriebsbedingungen.

Tabelle 3: Zusammenstellung von Abscheideraten biologischer Abluftreinigungsanlagen

	Biowäscher		Biofilter	
	Biowäscher (ohne geregelte Abschlammung)	Biowäscher (mit geregelter Abschlammung)	Einfache Biofilter	Mehrschichtige Biofilter
Ammoniakreduktion	< 50 % 1)	> 70 % 2) > 90 % 5)	nicht geeignet	50 % 3) 4)
Abbau typischer Stallgerüche	gut	gut	gut	gut
Geruchsreduktion 6)	40 %- 60 %	ca. 75 %	ca. 90 %	ca. 80 %
Staubabscheidung	ca. 90 %	ca. 90 %	>95 %	>95 %

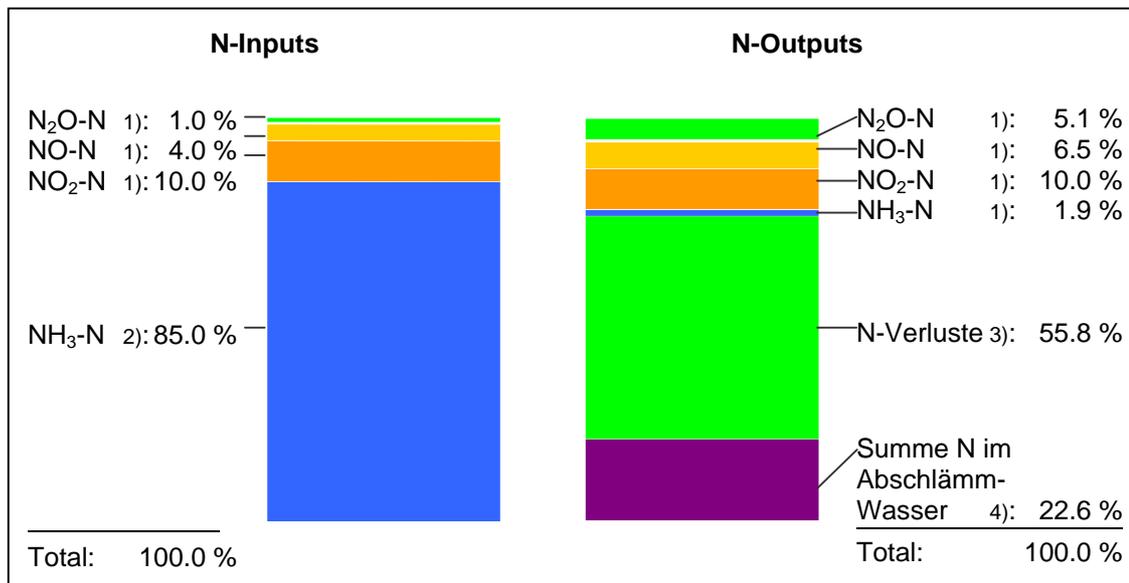
- 1) Nach M. Trimborn, J. Clemes, KTBL-Schrift 449, Emissionen der Tierhaltung, S. 294 und gemäss Messresultate Anhang G, Nr. 1-5
- 2) Diverse gemäss niederländischen Zulassungen (Anhang D, Kategorie-Nr. D.3.2.8), sowie Spezialbiowäscher Hungerbühler Klima AG, Anhang E, Messungen Nr. 12 + 13
- 3) Zur Zeit fehlen Langzeitmessungen.
- 4) NH₃-Minderung von 50 % wird nur erreicht bei guter Wartung, guter Betriebsweise, geregelter Bedüsung mit Wasser, so dass Nitrit, Nitrat und Ammonium mit dem Tropfwasser aus dem Biofilter regelmässig ausgetragen wird und bei einer NH₃-Belastung < 8 ppm.
- 5) Es gibt zwei Biowäscher, die eine Reduktion von 90 % erreichen (DLG-Prüfberichte 5702 und 5879, sowie Anhang G Messungen Nr. 11 und Nr. 12.
- 6) Gemäss olfaktometrischen Messungen bei einer Geruchskonzentration im Rohgas von < ca. 1800 GE/m³. Bei geringeren Geruchskonzentrationen ist die Geruchsreduktion oft geringer. Nach der Beurteilung durch die DLG (DLG, 2007) ist massgebend, dass die Geruchskonzentration der Abluft solcher Reinigungsanlagen unter 300 GE/m³ beträgt.

5.2 Stickstoffbilanzen

5.2.1 Stickstoffbilanz eines zweistufigen Biowäschers

Wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich, wurde bei einem in der Schweiz installierten Biowäscher der Firma Dorset sehr hohe N-Verluste von 57.6 %, respektive von 68 %, bezogen auf das eingetragene $\text{NH}_3\text{-N}$, ermittelt. Die Abschätzung erfolgte durch mehrfach wiederholte Ammoniakmessungen in der Rohluft und in der Reingluft und durch wiederholte Bestimmungen der Konzentrationen von Ammonium, Nitrit und Nitrat im Waschwasser.

Abbildung 9: Stickstoffbilanz (Dorset-Biowäschers)



- 1) Die Einträge und Austräge für N_2O , NO und für NO_2 entsprechen mittleren Werten für Biowäscher nach Trimborn (Trimborn, M. 2006). Bei Lachgasmessungen im Sommer 2008 beim erwähnten Biowäscher betrug die Bildung von $\text{N}_2\text{O-N}$ 8.9 % bezogen auf das eingetragene $\text{NH}_3\text{-N}$, respektive 7.3 % bezogen auf die N-Gesamt-Inputs/-Outputs (UCW Dr. Kurt Wälti und EMPA Emissionsmessungen 28./29.08.2008).
- 2) Die Einträge und Austräge für Ammoniak wurden berechnet als Mittelwerte von 12 Einzelmessungen mit Dräger-Röhrchen in der Zeit vom 28.06.07 – 04.12.07 und aus den 24-Stunden-Emissionsmessungen vom 27./28.03.2008 und vom 28./29.08.2008 durch das Messinstitut UCW Dr. Wälti. Mittlere Ein- und Austräge für $\text{NH}_3\text{-N}$: 501 g/h resp. 11 g/h.
- 3) N-Verluste wurden berechnet als Differenz der ermittelten N-Einträge und N-Austräge. Wie in Kapitel 3.2 erläutert, sind die N-Verluste dadurch erklärbar, dass Ammoniak (NH_3) zusammen mit Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) durch biochemische Reaktionen zu unschädlichem Stickstoffgas (N_2) umgewandelt wird.
- 4) Abschlammung 1'000 Liter/Tag, Konzentrationen: Ammonium: 1410 mg/l, Nitrat: 4220 mg/l Nitrit: 3'900 mg/l, (Analyse UFAG-Laboratorien, Prüfbericht vom 13.08.2007, Probe 07-13070-002, Summe N = 3'240 mg/l. Abschlammung: $360 \text{ m}^3/\text{a} \times 3,24 \text{ g N/l} = 1166 \text{ kg N/a}$, bezogen auf N-Eintrag gesamt von 4'812 kg/a: = 28,5 %

Eine exaktere Durchführung von Emissionsmessungen von NH_3 , N_2O , NO und NO_2 bei geringen Konzentrationen im Bereich von 0.01 – 1 ppm ist jedoch schwierig und aufwendig, weshalb solche Messungen bisher nicht durchgeführt werden konnten. Für die Bildung von Lachgas im Biowäscher wurde für die Bilanz ein Wert von 6.0 % als $\text{N}_2\text{O-N}$ bezogen auf das abgeschiedene $\text{NH}_3\text{-N}$ zugrunde gelegt. Trimborn (Trimborn, M. 2006) gibt für Biowäscher für die Bildung von $\text{N}_2\text{O-N}$ einen Wert von 4 – 8 % und für die Bildung von NO-N 1 – 4 % an.

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, sind die N-Verluste dadurch erklärbar, dass Ammoniak (NH_3) zusammen mit Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) durch biochemische Reaktionen zu Stickstoffgas (N_2) umgewandelt wird. Gemäss dem DLG-Prüfbericht 5702 lag die Wiederfindungsrate für den abgeschiedenen Stickstoff bei einem solchen Wäscher der Firma Dorset über 70 %, respektive die N-Verluste bei unter 30 % bei einemebenfalls sehr hohen Wirkungsgrad für die Abscheidung von Ammoniak von über 98 %.

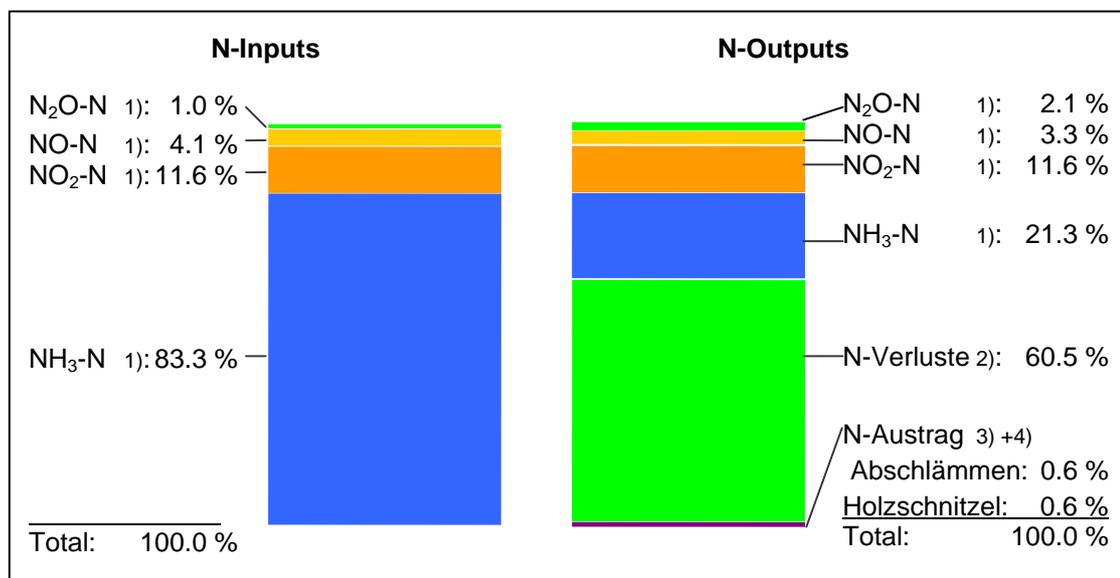
5.2.2 Stickstoffbilanz eines dreischichtigen Biofilters

In der nachfolgenden Abbildung ist eine Stickstoffbilanz eines dreischichtigen Hagola-Biofilters aufgeführt. Die Bilanz wurde ermittelt aus Daten der „Untersuchung und Optimierung eines Biofilters unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffbilanz“ von M. Zechelius vom Oktober 2005 (Zechelius, M., 2005).

Die relativ geringe Bildung von Lachgas von scheint plausibel zu sein, unter den Gesichtspunkten, dass die Holzschnitzel im Biofilter noch relativ frisch waren und gut durchlüftet wurden und dass der Biofilter regelmässig mit Wasser bedüst wurde, so dass Nitrit, Nitrat, Ammonium und Zersetzungsprodukte aus den Holzschnitzeln mit dem Tropfwasser aus dem Biofiltermaterial ausgetragen wurden. Die Messgenauigkeit der durchgeführten Messungen der N_2O -Konzentrationen in der Zuluft und in der Abluft des Biofilters kann auf Grund der im Untersuchungsbericht von Zechelius enthaltenden Daten nur geschätzt werden. Bei den geringen Konzentrationen von Lachgas (Mittelwerte Eintritt / Austritt: 0.45 ppm / 0.9 ppm) und dem eingesetzten Messgerät (FT-IR Gas Analysator SN 03492, Temet Instrument Oy, Helsinki) ist die Messgenauigkeit nicht sehr gross. Für die Differenz Eintritt – Austritt dürfte die ermittelte Bildung von $\text{N}_2\text{O-N}$ im Biofilter in einem Fehlerbereich von ± 75 % liegen. Im Jahre 2009 wurde durch die EMPA bei einem entsprechenden Biofilter in der Schweiz Lachgasmessungen durchgeführt. Dabei betrug die Lachgaserhöhung als $\text{N}_2\text{O-N}$ im Winter

4.6 % und im Sommer 6.9 %, bezogen auf den eingetragenen Ammonium-Stickstoff (R. Bösch 2009).

Abbildung 10: Stickstoffbilanz (Hagola-Biofilter)



- 1) Die Stickstoffeinträge und -austräge für NH₃, N₂O, NO und für NO₂ wurden aus den 26-tägigen kontinuierlichen Emissionsmessaufzeichnungen (Seiten 63-66 des Untersuchungsberichtes Zechelius) berechnet.
- 2) N-Verluste wurden berechnet als Differenz der ermittelten N-Einträge und N-Austräge. Siehe dazu Kapitel 3.2.
- 3) Entleerung des Tropfwasserbeckens ein Mal pro Jahr gemäss üblicher Praxis, Tropfwasserhöhe 0,07 m, N-Gehalt als Summe von NH₄⁺-N, NO₂-N und NO₃-N 2,8 g/l, gemäss Analysen Untersuchungsbericht S. 74 (NH₄⁺: 1'800 mg/l, NO₃⁻: 5'690 mg/l und NO₂⁻: 265 mg/l) Abschlämmung 10 m² x 0,07 m = 0.7 m³ = 700 l/a, 2,8 g N/l x 700 l = 2'000 g N/a, bezogen auf N-Eintrag gesamt von 36,59 g/h, resp. 320 kg/a: 2,0 kg = 0.62 %
- 4) Ersatz der Holzchnitzel durch Nachfüllen auf das Filterbeet oder durch Austausch. N-Austrag berechnet als Summe von NH₄⁺-N, NO₂-N und NO₃-N gemäss Analysenangaben des Filtermaterials Untersuchungsbericht Seite 74 + Seite 117 (NH₄⁺: 370 mg, NO₃⁻: 1'560 mg und NO₂⁻: 0 mg, Angaben in mg pro 100 g Filtermaterial mit 26% Trockenmasse, entspricht 0,64 g N/0,1 kg; respektive von 2,0 kg N für gesamte Holzchnitzelmenge des Filters von 2000 Litern x 0,16 kg/l = 320 kg. 2,0 kg N = 0,61 % bezogen auf NH₃-N-Eintrag von 320 kg/a). Die Holzchnitzel werden jedoch bei den Hagolafiltern oft nur nachgefüllt.

5.3 Technischer Vergleich von Abluftreinigungsanlagen

In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Reinigung von Stallabluft im Einsatz stehenden Anlagen für eine einfache technische Bewertung zusammengestellt.

Tabelle 4: Bewertung von Anlagen für die Reinigung von Stallabluft

Abluftreinigung:	Mehr-schichtige Biofilter	Einfacher Biowäscher ohne geregeltes Abschlämmen	Biowäscher mit Staubvorabscheidung und geregeltem Abschlämmen	Biowäscher mit pH-Regelung und geregeltem Abschlämmen	Chemo-wäscher + Biofilter	Chemo-+ Bio-wäscher
Hersteller (Verzeichnis Anhang B)	Hagola GmbH Hartmann-Filter	Hungerbühler Klima AG	Dorset	Devriecom	Big Dutchman Inauen AG	Uniqfill / Globogal AG
Anzahl Anlagen in der Schweiz	8	ca. 120	2	0	0	1
Wirksamkeit der NH₃-Reduktion	50 % 1), 2)	< 50 %	> 70 % > 85 % 3)	> 70 % > 90 % 8)	> 70 %	> 80 %
DLG- oder Groen Label-Zulassung	+ (DLG ohne NH ₃ -Prüfung)	-	+	+	+ NL	+
Betriebs- und Wartungsanleitung 4)	unvollständig	unvollständig	gut	gut	gut	gut
Beurteilung der Störanfälligkeit 5)	gering7)	gering 7)	gering	-	-	-
Verbesserungsmöglichkeiten	Studien vorhanden 6)	Studien vorhanden 6)	Techniken sind erprobt	-	-	-

- 1) NH₃-Minderung von >50 % wird nur erreicht bei guter Wartung, guter Betriebsweise, geregelter Bedüsung mit Wasser, so dass Nitrit, Nitrat und Ammonium mit dem Tropfwasser aus dem Biofilter regelmässig ausgetragen wird und bei einer NH₃-Belastung < 8 ppm.
- 2) Langzeitmessungen fehlen
- 3) Anhang D, „Niederländische Emissionsfaktoren“: Stallkategorie D 3.2.8: 70 %, Stallkategorie D 3.2.15.1: 85 % und DLG-Prüfbericht Nr. 5702, „Dorset-Rieselbettfilter“: > 90 %)
- 4) Beurteilung nach den Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Kapitel 1.7.4.
- 5) Einschätzung der Störanfälligkeit gemäss diverser Erfahrungen und auf Grund der Betriebsanleitungen bei einer Betriebsweise gemäss Vorschriften der Betriebsanleitung
- 6) Weitere Angaben siehe Kapitel 6.3 „Technische Optimierungsmöglichkeiten“
- 7) Geringe Störanfälligkeit nur bei guten Konzepten, regelmässigen Kontrollen und bei Ställen, bei denen die Emissionen durch Primärmassnahmen reduziert sind.
- 8) >90 % Reduktion nur bei geregeltem pH (6.5 – 6.8) und geregelter Abschlämmung über Leitfähigkeitsmessung gemäss DLG-Prüfbericht 5879

5.4 Wirtschaftlicher Vergleich von Abluftreinigungsanlagen

In der nachfolgenden Tabelle sind Investitions-, Betriebs- und Gesamtkosten pro kg NH₃-Reduktion für einen Schweinemaststall mit 400 Plätzen und zusätzlich für einen grossen Stall mit 1'200 Plätzen zusammengestellt.

Tabelle 5: Abluftreinigungskosten für Schweinemastställe

Abluftreinigungstyp:	Mehrschichtige Biofilter	Einfacher Biowäscher	Hochleistungs-Biowäscher	
	40'000 m ³ /h	40'000 m ³ /h	40'000 m ³ /h	120'000 m ³ /h
Abluftmenge max.:				
Hersteller:	Hagola Biofilter Hartmann Filter	Hungerbühler Klima AG	Dorset	Dorset
Investitionskosten pro Tierplatz (CHF) ¹⁾	148 – 203	123 – 210	163 – 250	108 – 171
Jahresbetriebskosten pro Tierplatz (CHF) ²⁾	11.00	9.80	14.10	7.10
Jahresgesamtkosten pro Tierplatz (CHF) ³⁾	25.20 – 46.00	22.80 – 47.30	26.70 – 54.20	14.10 – 33.20
NH₃-Reduktion ⁴⁾	75 %	50 %	85 %	85 %
Gesamtkosten pro kg NH₃-N-Reduktion (CHF) ⁵⁾	13.60 – 24.80	18.50 – 38.30	12.70 – 25.80	6.70 – 15.80

- 1) Gemäss Angaben von Herstellern von Reinigungsanlagen und von Tierhaltungsbetrieben aus der Schweiz
- 2) Ohne übliche Stromkosten für Ventilatoren
- 3) Amortisation der Investitionen: 5 % Zins, Abschreibung in 15 Jahren bei Minimalkosten. Bei Maximalkosten Abschreibung in 7 Jahren und zusätzlich hohe Baunebenkosten für Luftkanäle, Bodenplatte etc. In Anhang E sind weitere Angaben für die Kostenberechnungen enthalten.
- 4) Angenommene mittlere Reduktionsrate
- 5) Berechnungsannahmen: Emissionsfaktor 3,0 kg NH₃ pro Jahr und pro Schweinemastplatz. Bei höheren Emissionsfaktoren ergeben sich entsprechend geringere Kosten pro kg NH₃-N-Reduktion.

Für die Minimalkostenberechnungen wurde eine Amortisationsfrist von 15 Jahren zugrunde gelegt, weil die Gebrauchsdauer von modernen Abluftreinigungsanlagen durch den Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien mehr als 20 Jahre betragen kann. Die Maximalkostenberechnungen basieren auf eine für betriebliche Anlagen übliche Amortisationsfrist von sieben Jahren, sowie auf bedeutend höhere bauliche Nebenkosten.

Nachfolgend wird erörtert, ob die Zusatzkosten für Konsumenten und für Produzenten als tragbar bezeichnet werden können. Gemäss einem Vortrag von W. Gehringer (Gehringer 2007) betrug der Schlachtpreis für Schweine im November 2006 CHF 3.82 pro kg. Dieser entspricht 37 % des Konsumentenpreises (BLW Februar 2007: Marktbericht Fleisch). Werden pro Mastschweineplatz drei Schweine zu 100 kg produziert, beträgt der Wert des verkaufsfertigen Fleisches (Konsumentenpreis) CHF 3'097. Die für eine Abluftreinigungsanlage berechneten Zusatzkosten pro Mastplatz von CHF 14.10 bis CHF 54.20 entsprechen somit 0.5 – 1.8 %. Im Vergleich zu anderen Umweltschutzkosten, für welche die Konsumenten aufzukommen haben, wie beispielsweise die Mehrkosten für Abgaskatalysatoren für Fahrzeuge, können die Zusatzkosten für Abgasreinigung bei Tierställen für Konsumenten als tragbar bezeichnet werden.

Für Mastschweineproduzenten betragen die Zusatzkosten 1.2 – 4.6 %, bezogen auf einen Erlös von CHF 1'146 (300 kg/a und pro Tierplatz zu CHF 3.82 /kg). Nach Angaben von Anlagelieferanten sind in der Schweiz bereits über 120 Anlagen für die Reinigung von Stallabluft installiert. Für Produzenten, die sich entschlossen haben, solche Abluftreinigungsanlagen zu installieren, war dies offensichtlich vorteilhafter, als einen bestehenden Stall nicht weiter bewirtschaften oder einen neuen Stall nicht bauen zu können. Das Einrichten solcher Abluftreinigungsanlagen erscheint somit auch für Produzenten als wirtschaftlich tragbar.

In KTBL 2006 werden für Biowäscher oder für Rieselbettreaktoren für den Leistungsbereich 39'000-60'000 m³/h mit Euro 19.- (ca. CHF 31.-) pro Tierplatz und pro Jahr in etwa mit biologischen Abluftreinigungsanlagen vergleichbare Kosten (Tabelle 6) aufgeführt. Gemäss Kostenangaben von holländischen (NL-Beschluss 2001) und deutschen Quellen (KTBL 2006) sind bei solchen Systemen mit ähnlichen oder leicht erhöhten Kosten zu rechnen. Gemäss den Angaben des DLG-Prüfberichts 5629 für den Kombiwäscher der Firma Uniqfill ist eine Mindestabschlämmrate der Chemostufe von rund 0.15 m³ pro Tag für einen Schweinestall mit einer erforderlichen Maximalluftfrate von 30'000 m³/h erforderlich. Dieses Abschlämmwasser muss in einem säurefesten Tank separat aufgefangen werden. Die Notwendigkeit für einen solchen Tank führt deshalb dazu, dass die Investitionskosten für Abreinigungssysteme mit einer Chemostufe bedeutend höher zu liegen kommen im Vergleich zu rein biologischen Abluftreinigungssystemen.

6. Erfahrungen in der Schweiz

6.1 Die häufigsten Fehler bei biologischen Abluftreinigungsanlagen

Die Gründe für die nachfolgenden Fehler bei biologischen Abluftreinigungsanlagen in der Landwirtschaft liegen oft an mangelnden Kenntnissen der Betreiber und Anlagelieferanten.

Häufigste Fehler:

Allgemein

- Aus Kostengründen werden Anlagen zu knapp dimensioniert.
- Die Ventilatorenleistung ist zu klein zur Überwindung des Strömungswiderstands der Abluftreinigungsanlage bei der für den Stall erforderlichen Sommerlüftungsrate.

Biofilter

- Aus Spargründen (Wasserverbrauch / Energie) wird eine Befeuchtungsanlage einfach abgestellt Oder gar nicht installiert.
- Aufgrund falsch dimensionierter Lüftung oder ungeeigneter Luftführung kommt es zu einer ungleichmässigen Anströmung des Filters und somit zu Filterdurchbrüchen.
- Filtermaterial ist sehr alt oder bereits verrottet.
- Dem pH im Filtermaterial, im Sumpf eines Biofilters oder im Waschwasser eines Biowäschers wird keine Beachtung geschenkt. Eine entsprechende Störung wird oft nicht bemerkt.

Biowäscher

- Biowäscher werden mit zu geringen Abschlämmraten betrieben.

6.2 Betriebsüberwachung und –dokumentation

Aufgrund der für eine zuverlässige Abscheideleistung für Ammoniak gestiegenen Anforderungen an biologische Abluftreinigungsanlagen werden Verfahrensabläufe gefordert, die eine grosse Betriebsicherheit und Prozessstabilität gewährleisten. Dies bedingt jedoch eine regelmässige Überwachung der Anlage. Zwar handelt es sich bei Biofilter- wie auch bei Biowäscheranlagen um relativ einfache technische Verfahren. Für die Einhaltung optimaler Bedingungen für die in solchen Anlagen ablaufenden komplexen biochemischen Reaktionen ist jedoch eine verstärkte Überwachung erforderlich, denn nur so können Funktionsstörungen verhindert werden. Durchgeführte Kontrollen und Wartungen oder besondere Vorkommnisse sind in einem Betriebstagebuch einzutragen.

6.2.1 Überwachung bei Biofilteranlagen

Bei Biofilteranlagen ist eine regelmässige visuelle Kontrolle unerlässlich, denn nur so können Funktionsstörungen wie Durchbrüche, Setzung und Verdichtung im Filtermaterial rechtzeitig erkannt und behoben werden. Nachfolgend sind dazu einige wichtige Punkte aufgeführt.

- Regelmässige Messung der Zulufttemperaturen, da eine optimale Filterfunktion zwischen 15 und 25 °C liegt.
- Regelmässige Messung des Filterdrucks (Druck in der Luftzufuhr zum Filter) damit man bei einer allfälligen Verdichtung im Filtermaterial sofort reagieren kann.
- Regelmässige Geruchskontrolle (Sind Stallgerüche im Reingas feststellbar?)
- Während Trockenperioden den Wassergehalt im Filtermaterial visuell prüfen.
- Auflockerung der Filteroberfläche bei ungleichmässigem Abströmverhalten.
- Setzungen des Filtermaterials während der Betriebszeit mit geeignetem Material ausgleichen.
- Regelmässige Probenahme aus dem Filtermaterial und aus dem Filtersumpf und Bestimmung des pH-Wertes.
- Regelmässige Funktionskontrolle der Beregnungseinrichtung (Düsen und Beregnungsintervalle) zur Materialbefeuchtung.
- Regelmässige Reinigung der Gebläse, der Zuluftkanäle und der Luftverteilung unter dem Filter.

6.2.2 Elektronische Datenaufzeichnung

Durch eine elektronische Datenaufzeichnung kann der Erfassungsaufwand reduziert werden. In nachfolgender Tabelle sind entsprechende Möglichkeiten aufgeführt.

Tabelle 7: Zu erfassende Betriebsdaten bei Biofiltern und Wäschern ¹⁾

Parameter	Biofilter	Biowäscher	Chemo-wäscher
Druckverlust über der Abluftreinigungsanlage	m	X/m	X
Luftdurchsatz (Ventilatorleistung)	X	X	X
Pumpenlaufzeit Umwälzpumpe		X	X
Berieselungsintervall / -laufzeit	X	X	X
Frischwasserverbrauch (Messuhr)	X	X	X
Bei Säureeinsatz: Säureverbrauch (mit Einkaufsbeleg)		m	m
Abgeschlammte Wassermenge		X	m
Einhaltung des pH-Wertes		X/m	X
Einhaltung des Leitfähigkeits-Wertes		m	
Wasserdruck (bei Hauswasserversorgung)	X	X	X
Rohgastemperatur (Stalltemperatur)	X	X	X
Reingastemperatur		X	X
Kalibrierung des pH-Sensors		m	m
Anlagenkontrolle- Sprühbild	m	m	m
Wartungs- und Reparaturzeiten	m	m	m

1) x = elektronische Erfassung, m = manuelle Erfassung (Computer oder Liste). Im Vergleich zur entsprechenden Liste aus KTBL-Schrift 451 leicht abgeändert.

6.3 Technische Optimierungsmöglichkeiten

Tabelle 8: Optimierungsmöglichkeiten für Abluftreinigungsanlagen

Abluftreinigung und Anbieter	Mögliche Verbesserung der Ammoniakabscheidung und der Betriebssicherheit	Wirksamkeit ¹⁾
Allgemein, alle Abluftreinigungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmässige Kontrolle gemäss Vorgaben des Anlagelieferanten durch den Betreiber • Unverzögliche Behebung von Mängel bei Abweichung von Sollvorgaben gemäss der Betriebsanleitung des Anlagelieferanten • Jährliche Kontrollen durch eine unabhängige Fachperson • Integrieren von Störungen wie Ausfall von Ventilatoren und von Umwälzpumpen in ein automatisiertes Alarmsystem • Automatisiertes aufzeichnen von Betriebsdaten für den Stall und für die Abluftreinigungsanlage 	<p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">+</p>
Mehrschichtige Biofilter Hagola / Globogal AG Hartmann Filter	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichmässigung des Lufteintritts in die Druckkammer unter dem Biofilter • Optimierung der Randabdichtung zur Vermeidung der Bildung von Luftdurchbrüchen im Randbereich • Optimierung der Feuchteregelung im Biofilter • Begrenzung der Ammoniakbelastung auf unter 10 ppm 	<p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">++</p>
Einfache Biowäscher Hungerbühler Klima AG	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Füllkörper mit erhöhter spezifischer Oberfläche und Erhöhung der Schütthöhe¹⁾ • Vergrösserung des Biowäschergrundfläche (Reduktion der Filterflächenbelastung). • Vergrösserung des Beckens für das Waschwasser¹⁾ • Abschlämmrate aufgrund von Leitfähigkeits- oder von Konzentrationsmessung festlegen¹⁾ • Einrichten eines Vorwäschers¹⁾ • pH-Regelung 	<p style="text-align: center;">++</p>

1) +: wirksam; ++: sehr wirksam

2) Die entsprechenden Verbesserungen wurden bei einem Biowäscherprototyp im Jahr 2009 realisiert. (Anhang G, Messungen Nr. 13 + Nr. 14)

In Ergänzung zu den aufgeführten Optimierungsmöglichkeiten kann erwartet werden, dass die Konstanz für eine befriedigende Minderungsleistung für Ammoniak und für Gerüche auch durch eine angemessene Weiterbildung von Betriebs- und Wartungspersonal verbessert werden kann. Dazu sollte auch eine Betriebsanleitung für die Abluftreinigungsanlagen zur Verfügung stehen mit Anforderungen, wie sie bei deutschen und holländischen Zertifizierungsstellen üblich sind.

6.4 Kosten für Optimierungen

Tabelle 9: Zusätzliche Kosten für Optimierungen bestehender Biowäscher

Massnahme zur Verbesserung der NH₃-Abscheidung: 1)	Verdoppelung der Füllkörperoberfläche	Einbau eines Vorwäschers	Einbau eines Vorwäschers mit Säurezudosierung
Zusätzliche Investitionskosten pro Tierplatz (CHF)	38 – 45	113 – 183	133 – 215
Zusätzliche Jahresbetriebskosten pro Tierplatz (CHF)	2.00	11.70	16.30
Jahresgesamtkosten zusätzlich pro Tierplatz (CHF)	5.60 – 9.75	22.60 – 43.30	29.10 – 53.50
NH₃-Reduktion zusätzlich pro Tierplatz (kg/a)	1.7	1.7	2.0
Gesamtkosten pro kg NH₃-N-Reduktion zusätzlich (CHF)	4.00 – 7.00	16.10 – 30.90	17.70 – 32.50

1) Details Anhang F

Eine Verdoppelung der Füllkörperoberflächen in Kombination mit einer Erhöhung der Wasserumwälzraten und der Abschlämtrate in bestehenden Biowäschern ist mit CHF 4.00 - 7.00 pro kg NH₃-Reduktion für einen Mastschweinestall mit einer Ammoniakemissionsrate von 4.0 kg NH₃/a und pro Tierplatz relativ kostengünstig.

7. Unabhängige Kontrollen von Abluftreinigungsanlagen

Die festgestellten Mängel lassen erkennen, dass das Wissen der Lieferanten wie auch der Betreiber von biologischen Abluftreinigungsanlagen für eine optimale Betriebsweise oft mangelhaft ist. Um die geforderte Reduktion zu erreichen sind zuverlässig funktionierende Abluftreinigungsanlagen notwendig. Wie erwähnt, sollte dazu bei jeder Anlage ein Betriebstagebuch geführt werden. Lieferanten von Abluftreinigungsanlagen und deren Montagepersonal sollten gut ausgebildet und in der Lage sein, die Anlage sachgemäss zu warten.

Abluftreinigungsanlagen sollten jährlich von unabhängiger Seite überprüft werden. Dabei könnten auch relativ kostengünstige Tests wie Ammoniakmessungen mit Drägerröhrchen durchgeführt werden. Dazu wären auch alle Punkte zu überprüfen, die von den Anlagelieferanten vorgeschrieben werden. In nachstehender Tabelle sind Vorschläge für anlagetypische Kontrollen aufgeführt.

Tabelle 10: Mögliche Kontrollen jährlich durch unabhängige Stelle

Anlagentyp	Kontrollelemente
Alle Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle des Betriebshandbuchs (mit allen relevanten Parameter) • Visuelle Kontrolle der Anlage • Kontrolle des Wartungsprotokolls • Kontrolle Wasserverbrauch • Messung von Ammonium, Nitrat, Nitrit und pH im Waschwasser (Schnell-Test) • Messung von Ammoniak im Roh- und Reingas (Dräger-Röhrchen)
Biowäscher (zusätzlich)	<ul style="list-style-type: none"> • Messung der Leitfähigkeit im Sumpf
Chemowäscher (zusätzlich)	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle Säureverbrauch • pH-Bestimmung im Sumpf

8. Folgerungen

Die Untersuchungen ergaben, dass es Anlagen für die Reinigung von Abluft von Tierställen mit guter Wirksamkeit gibt. Für eine dauerhaft befriedigende Minderung von Ammoniak und Gerüchen sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Luft aus dem Stall sollte auch im Winter während der Tageszeit eine Temperatur von mindestens etwa 17 °C erreichen, weil der biologische Abbau von Gerüchen und von Ammoniak in Biowäschern und in Biofiltern bei tieferen Temperaturen verschlechtert werden kann.
- Die Ammoniakkonzentration in der zu reinigenden Stallabluft sollte den aus Tierchutzgründen festgelegten Richtwert von 10 ppm (BVET 2009) möglichst nicht überschreiten, um die Reinigungsleistung nicht einzuschränken.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

1. Für eine massive Reduktion der Ammoniakemissionen von Intensivtierställen ist der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen bei Schweine- und Hühnerställen ein praktikables und ökonomisch zumutbares Mittel.
2. Als wirksame Abluftreinigungsanlagen sind solche einzustufen, bei denen die Ammoniakreduktion mindestens 70 % beträgt. Dies entspricht dem heutigen Stand der Technik.
3. Neue biologische Abluftreinigungsanlagen können folgende Reduktionen von Geruchs- und Ammoniak- wie auch Staubemissionen erfüllen:
 - Die Reduktion der Ammoniakemissionen liegen bei Biowäschern mit geregelter Abschlemmrate bei > 70 %. bzw. >90% und erreichen bei einfachen Biowäschern bzw. richtig konzipierten mehrschichtigen Biofiltern noch ca. 50 %

- Der Restgeruch in der gereinigten Abluft liegt unter 300 GE/m³, der typische Stallgeruch ist nicht mehr wahrnehmbar. Die Geruchsreduktionsrate beträgt bei einer Geruchskonzentration von über 1000 GE/m³ mindestens 75 %, bei gewissen Biofiltern über 90 %. Die Staubreduktionsrate bei Biowäschern liegt bei ca. 90 % und bei Biofiltern über 95 %.
4. Die Bildung von Lachgas in biologischen Anlagen zur Reinigung der Abluft von Intensivtierställen kann durch geeignete Massnahmen minimiert werden.

Für den wertvollen Informationsaustausch mit Betreibern von Intensivtierställen, mit Lieferanten von Abluftreinigungsanlagen, sowie mit Behörden und Instituten danke ich bestens.

St.Gallen, 12. Juli 2010

KBO GmbH
Ökologie + Managementsysteme



K. Brunner, Chemie-Ing. HTL

Abkürzungen

AGRIDEA	Nationales Dienstleistungsunternehmen für die Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raums
ART	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon
BAFU	Bundesamt für Umwelt, Bern (früher BUWAL)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BTS	BTS-Verordnung 1998, SR 910.132.4
BVET	Bundesamtes für Veterinärwesen
BISchG	Deutsches Bundes-Immisionsschutzgesetz
CO ₂	Kohlendioxid
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., (Anhang C), DLG-Prüfberichte für Anlagen zur Reinigung von Stallabluft: www.dlg.org
GE/m ³	Geruchseinheiten pro m ³ Luft (= Luftverdünnungsfaktor, bei dem 50% von Testpersonen den Geruch gerade noch wahrnehmen können)
GVE	Grossvieheinheiten (1 GVE = 500 kg Lebetiermasse)
h	Stunde
LRV	Luftreinhalte - Verordnung des Bundes (SR 814.318.142.1)
mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter (0.001 g/m ³)
mS/cm	Millisiemens pro Centimeter (Mass für Salzkonzentration in Wasser)
N	Stickstoff; N ₂ für Stickstoffgas
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium (-ion)
N ₂ O	Lachgas
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂ ⁻	Nitrit (-ion)
NO ₃ ⁻	Nitrat (-ion)
NO _x	Summenbezeichnung für NO, NO ₂ und von N ₂ O
ppm	Parts per Million, Millionstel (Gasvolumen-) Teile, Umrechnung: 1 ppm NH ₃ = 0.70 mg/bm ³ (mg NH ₃ pro Betriebskubikmeter Luft bei 10°C und bei 965 mbar)
pH	pH-Wert: Mass für Säure- und Laugenstärke
RAUS	RAUS-Verordnung 1998, SR 910.132.5
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Deutschland
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
USG	Umweltschutzgesetz, Bundesgesetz (SR 814.01)
UVP/UVPV	Umweltverträglichkeitsprüfung / Verordnung (SR 814.41)

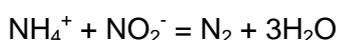
Begriffe

Anaerobe Bedingungen

Bedingungen ohne Sauerstoffzufuhr

Anammox

Anaerobe Ammoniumoxidation durch Anammox-Bakterien. Ammonium wird unter anaeroben Bedingungen mit Nitrit zu Stickstoff (N₂) oxidiert nach der Formel:



Denitrifikation

Nitrat wird in Anwesenheit von organischen Verbindungen bei anaeroben Bedingungen zu Stickstoff (N₂) reduziert.

Critical Loads

Kritische Belastungswerte für Schadstoffeinträge (zum Beispiel Säureäquivalente und eutrophierender Stickstoff) aus der Atmosphäre, bei deren Überschreitung nach dem derzeitigen Kenntnisstand langfristige negative Effekte an verschiedenen Ökosystemgruppen (zum Beispiel bei Wäldern) auftreten können.

Emissionen

Alle in die Atmosphäre abgegebene Schadstoffe oder physikalische Belastungsfaktoren (Erschütterungen, Geräusch, Lärm, Luftschadstoffe, Strahlungen) von der Belastungsquelle (Strasse, Maschine, Kamin, etc.).

Endotoxine

Abbauprodukte von Bakterien, Bestandteile der äusseren Zellmembran. Sie können bei Kontakt mit Schleimhäuten und bei Übertritt ins Blut bei Menschen und manchen Tierarten Fieber erzeugen. Endotoxine können insbesondere in der Abluft von Biowäschern enthalten sein.

Filterflächenbelastung

Abgasvolumenstrom je m³ Filtervolumen [m³/(m³xh)]

Filtervolumenbelastung

Abgasvolumenstrom je m² Filterfläche [m³/(m²xh)]

Immissionen

Einwirkung von Emissionen in der Umgebung der Emissionsquellen.

Kohlendioxid (CO₂)

Emissionsstoff von Feuerungen und Fahrzeugen beim Betrieb mit fossilen Brennstoffen (Heizöl, Erdgas, Benzin, Dieselöl, Kohle). CO₂ ist ein natürlicher Bestandteil der Luft, trägt jedoch durch Anreicherung in der Luft zu einer weltweiten Klimaveränderung (Erwärmung) bei.

Klimarelevante Emissionen

Gasförmige Emissionen, die zu einer globalen Klimaerwärmung beitragen. Dazu gehören CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Heizöl, Kohle und Erdgas, aber auch Methan und Lachgas. Letztere entstehen bei Tierhaltungsbetrieben, sowie unter anderem auch in Böden und Gewässern.

Nitrifikation

Ammonium wird durch Sauerstoff zu Nitrat oxidiert.

Olfaktometrische Geruchsbestimmung

Eine Luftprobe wird so lange verdünnt, bis die Hälfte von ausgewählten Testpersonen den Geruch nicht mehr wahrnehmen. Der ermittelte mittlere Verdünnungsgrad entspricht der Geruchskonzentration, ausgedrückt in Geruchseinheiten (GE) /m³ Luft.

Primäre Massnahmen:

Massnahmen zur Reduktion von Emissionen am Ort des Entstehens. Solche werden auch als vorgelagerte Massnahmen zu einer Abluftreinigungsanlage bezeichnet.

Sekundäre Massnahme:

Massnahme zur Reduktion von Emissionen durch Einrichtungen, wie zum Beispiel eine Abluftreinigungsanlage, die einer Emissionsquelle, wie zum Beispiel einem Stall, nachgeschaltet ist.

A N H A N G

- A Literaturverzeichnis**
- B Verzeichnis von Herstellern von Anlagen für die Reinigung von Stallabluft**
- C Messprogramm für den DLG-Signum Test**
- D Holländische Emissionsfaktoren für Schweinemastställe und für Legehennenställe**
- E Grundlagen Vollkostenberechnungen für Abluftreinigungsanlagen**
- F Grundlagen Kostenberechnungen für Biowäscheroptimierungen**
- G Messdaten Ammoniak und Geruch bei Schweine- und Hühnerställen**

A Literaturverzeichnis

- BAFU, 2007: Analyse der zeitlichen Entwicklung von Emissionen und Immissionen sowie der Beziehung zwischen Emissionen und Immissionen bei reduzierten N-Verbindungen (NH_3 , NH_4^+), BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Juli 2007
- BImSchG, 2002: Bundes-Immissionsschutzgesetz der Bundesrepublik Deutschland, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, 2002
- BUWAL SRU-273, 1996: Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. BUWAL-Schriftenreihe Umwelt SRU-Nr. 273, 1996
- BUWAL SRU-379, 2005: Weiterentwicklung des Luftreinhaltkonzepts. Stand, Handlungsbedarf, mögliche Massnahmen. BUWAL Schriftenreihe Umwelt, SRU-Nr. 379, 2005
- BUWAL 2005, Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Stickstoffhaltige Luftschadstoffe der Schweiz
- BLW Februar 2007: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Marktbericht Fleisch
- BVET 2009: Bundesamt für Veterinärwesen (BVET), Fachinformation Tierschutz Nr. 8.6_(1)_d, 19. März 2009, Stallklimawerte und ihre Messung in Schweinehaltungen
- BBI, 1991: Bericht des Bundesrates über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone zuhanden des Parlaments vom 23. Juni 1999, BBI 1999, 7735, www.admin.ch/ch/d/ff/1999/7735.pdf
- BBI 2009-1221: Bericht Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes vom 11. September 2009, www.admin.ch/ch/d/ff/2009/6585.pdf
- Cercl'Air, 2002: Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, Grundlagen zur Luftreinhaltung, Positionspapier des Cercl'Air, Januar 2002
- DEMMERS, T., 1989: Adsorption und Nitrifikation von Ammoniak im Biowäscher In: Tagungsbericht der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft – Biologische Abgasreinigung – Praktische Erfahrungen und neue Entwicklungen, Köln 5, S. 147-160
- DLG, 2007: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., DLG-Prüfberichte für Anlagen zur Reinigung von Stallabluft, www.dlg.org
- EAWAG 2003: Fux, Christian ed al, Das Ammonox-Verfahren zur Stickstoffentfernung in Kläranlagen, EAWAG news 56, November 2003
- EMPA und Agroscope FAT Tänikon 2005: Emissionen von Staub und Ammoniak aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mast Schweinehaltung
- Fux Christian, et.al. (2002) Biological treatment of ammonium-rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant". Journal of Biotechnology 99, pp. 295-306

- Gehring, W. 2007: Überlegungen zum Freihandelsabkommen CH-EU aus der Sicht der Fenaco-Landi-Gruppe, 10.Mai 2005, www.fenaco.com/files/vortrag_wg_10-05-07_d.pdf
- Graaf, van de Astrid A. et al. (1996): Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor, *Microbiology* (1996), 142, 2187-2196
- HAHNE, J.; BRANDES, J. (2002): Einsatz von Biofiltern zur Stallabluftbehandlung – Ergebnisse einer Stickstoffbilanzierung In: *Landtechnik*, 6, S. 336-337
- Hahne, J. & K.-D. Vorlop (2001): Treatment of waste gas from piggeries with nitrogen recovery. *Landbauforschung Völkenrode* 3 (51): 121-130.
- Hwang, B.H., K.Y. Hwang, E.S. Choi, D.K. Choi & J.Y. Jung (2000): Enhanced nitrite buildup in proportion to increasing alkalinity/NH₄⁺ ratio of influent in biofilm reactor. *Biotechnol. Letters* 22: 1287-1290.
- Hartmann U. und Köllner B., 2001, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Ammoniak und Intensiv-Tierhaltung, www.lanuv.nrw.de/landwirtschaft/pdf/KurzB-NH3-JB2001.pdf
- Hölscher, R., 2006, Dissertation Uni Bonn, Institut für Landtechnik: Nachrüstlösungen zur Emissionsminderung dezentral entlüfteter Stallungen der Schweinemast, http://hss.ulb-uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2006/hoelscher_richard/0797.pdf
- LAIS, S.; BÜSCHER, W.; JUNGBLUTH, T., 1996: Biologische Abluftwäscher – Stand der Technik? In: *Landtechnik*, 3/1996, S. 156-157
- KOLAS 2006: Konferenz der Landwirtschaftsämter der Schweiz, Empfehlungen zur Reduktion der Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft www.landwirtschaftsamt.tg.ch/documents/Schlussbericht_KOLAS-AG_Ammoniak_20_definitiv_pdf.pdf
- KTBL-Schrift 451, 2006, Abluftreinigung von Tierhaltungsanlagen – Verfahren – Leistungen – Kosten. (Informationen aus dieser Veröffentlichung sind auch enthalten in: KTBL-Schrift 449, Emissionen der Tierhaltung, KTBL-Tagung 5.-7.12.2006, Seiten 252-263, Prüfung, Überwachung und Kosten von Abluftreinigungsanlagen)
- Kuenen J.Gijs und Lesley A. Robertson 1994: Combined nitrification-denitrification processes, *FEMS Microbiology Reviews*, Volume 15, Issues 2-3, Pages 109-117, Oct. 1994
- LUA Brandenburg, 2005: Biologische Abluftreinigungsanlagen – Erfahrungsbericht zu den Anwendungsmöglichkeiten im Land Brandenburg, Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Heft-Nr. 95, Juli 2005
- Malhautier, L., et al., 2003: Biological treatment process of air loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture. *Chemosphere* 50 (1): 145-153.
- Mosier, A. et al., 1998: Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 52 (2-3): 225-248
- NL-Beschluss 2001: Niederländischer Beschluss zur Reduktion der Ammoniakemission bei Tierhaltungsbetrieben, Ontwerp-Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij, 2001, www.vrom.nl/docs/milieu/ontwerpbesluit_ammoniakemissie_huisvesting_veehouderij-2001.pdf
- NL-Weisung Ammoniakbegrenzung 2007: Niederländische Weisung zur Begrenzung der Ammoniakemission bei Tierhaltungsbetrieben vom 24. April 2007 (Wijsing Regeling ammoniak en veehouderij), www.infomil.nl/contents/pages/23155/wijzigingravmey2007.pdf

- NL-Umweltbilanzbericht 2007: Umweltbilanzbericht 2007, Umwelt und Naturplanbüro der Niederlande, www.mnp.nl/nl/publicaties/2007/Milieubalans2007.html
- NL-Emissionsfaktoren D 3, 2007; Emissionsfaktoren für Mastschweinebetriebe, inklusive den Emissionen für den Mist, der bei den betreffenden Betrieben umgeschlagen wird, <http://infomil.nl/asp/get.aspx?hdl=/views/infomil/xdl/page&Itmldt=30137&Sitldt=111&Varldt=82>
- Ostluft Dez. 2006: Ammoniakbelastung OSTLUFT 2000 – 2005
- SHL 2009: Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Technische Parameter Modell Agrammon, Entwurf vom 27.04.2009, <http://agrammon.ch>
- Siegrist, H., et.al. (1998). Nitrogen loss in a nitrifying rotating contractor treating ammonium rich leachate without organic carbon. *Wat. Sci. Tech.* 37(4–5), 589–591
- TA-Luft 2001, Bundesrepublik Deutschland: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Anhang 1: Ermittlung des Mindestabstandes zu empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen
- Trimborn, M. 2006, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Biofilter/Biowäscher an Tierhaltungsanlagen als relevante Quelle von Lachgas durch Ammoniakabscheidung
- UCW Dr. Kurt Wälti, Berichte Emissionsmessungen 27./28.03.2008 und 28./29.08.2008
- UFA AG, Futtermittelhersteller, Prospekt aus: www.ufa.ch
- UNECE, 1999: The Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone, (Übereinkommen der Schweiz zur Reduktion der Ammoniakemissionen) http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.htm
- UNECE, 2007: Guidance Document on Control Techniques for Preventing and Abating Emission of Ammonia, UN Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Executive Body for the convention on long-range transboundary air pollution, Geneva, September 2007
(<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/G07/237/85/PDF/G0723785.pdf?OpenElement>)
- UWE Luzern, 2007: Massnahmeplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak des Kantons Luzern, Amt für Umwelt und Energie, (UWE), 2007, www.umwelt-luzern.ch/teilplan_ammoniak.pdf
- Villaverde, S., F. Fdz-Polanco & P.A. Garcia (2000): Nitrifying biofilm acclimation to free ammonia in submerged biofilters. Start-up influence. *Water Research* 34 (2): 602-610.
- Zechelius, M., 2005: Untersuchung und Optimierung eines Biofilters unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffbilanz, Diplomarbeit vom Oktober 2005 an der Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven
- Zürcher, F., 2002: Untersuchung Biowäscher, Abluft Schweinestall, unveröffentlichte Zusammenfassung AfU AR, Herisau

B Verzeichnis von Herstellern von Anlagen für die Reinigung von Stallabluf¹⁾

Anlagehersteller	Vertretung in der Schweiz	Abluftreinigungsanlagen
Big Dutchman Pig Equipment GmbH Auf der Lage 2 D-49377 Vechta Deutschland www.bigdutchman.de	R. Inauen AG, Rütlistrasse 12 CH-9050 Appenzell, www.inauen.ch	Mehrstufige Anlagen: Vorwäscher, Chemo- wäscher und Biofilter
Dorset Milieutechniek B.V. Guldenweg 21, NL-7051 HT Varsseveld Niederlande www.dorset.nu	Keine Vertretung Direktimport durch einen Legehennenstallbetreiber in Dagmersellen, LU	1- und 2-stufige Biowäscher mit hoher Effizienz für die Ammoniakabscheidung
Hagola Biofilter GmbH Barnstorferstr. 29 D-49424 Goldenstedt Deutschland www.hagola-biofilter.de	Globogal AG Tannlihag 5 CH-5600 Lenzburg www.globogal.ch	3-schichtige Biofilter mit geregelter Bedüsung und Rückspülung
Hartmann Filter GmbH & Co. KG Glasebachstr. 30 D-33165 Lichtenau Deutschland www.hartmann-biofilter.de	Pro Schwein GmbH Postfach 48 6018 Buttisholz	2-schichtige Biofilter mit geregelter Bedüsung und Rückspülung
Hungerbühler Klima AG Hefenhofenstr. 6 CH-8580 Sommeri www.lueftungsbau.ch		Biowäscher (Biofilter und mehrstufige Biowäscher für Spezial- anwendungen)
Uniqfill Air Nederweerdijk 4 5768 PH Meijel Niederlande	Globogal AG Tannlihag 5 CH-5600 Lenzburg www.globogal.ch	Kombiwäscher Chemostufe und Biowäscher

1) Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

C Messprogramm für den DLG-Signum Test

Nachfolgend sind die wesentlichen Anforderungen zur Prüfung von Anlagen für die Reinigung von Abluft aus Tierhaltungsbetrieben aufgeführt (Quelle: www.dlg.org):

- Abgabe von prüffähigen Unterlagen mit Funktionsbeschreibung, technischen Unterlagen und Dimensionierung für die beantragte Tierart und das Halteverfahren. Hierbei ist grundsätzlich eine elektronische Datenerfassung vorzusehen, die den Nachweis eines ordnungsgemässen Betriebes gewährleistet.
- Durchführung eines Messprogramms unter typischen Sommer- und Winterbedingungen, im Regelfall jeweils kontinuierlich über 2 Monate. Typische Sommerbedingung heisst: mindestens 80 % der maximalen Luftrate nach DIN 18910, typische Winterbedingung heisst: maximal 20 % Luftrate nach DIN 18910. Die Messpunkte und die einzusetzenden Messverfahren werden im Rahmen einer gemeinsamen Besichtigung mit einem nach ISO 17025 akkreditierten Messlabor festgelegt, das die Messungen im vorgegebenen Umfang durchführt. Während des Messprogramms werden auch Kriterien wie Gebrauchswert, Arbeits- und Umweltsicherheit und auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit im Rahmen eines DLG-Signum Tests überprüft.
- Die Mindestanforderungen an den Anlagenwirkungsgrad betragen jeweils 70 % für Gesamtstaub und Ammoniak. Die Ammoniakabscheidung ist über eine Stickstoff-Bilanzierung nachzuweisen. Die Geruchsstoffkonzentration im Reingas darf 300 GE/m³ (Geruchseinheiten pro Kubikmeter) nicht überschreiten. Prozesstypische Gerüche (Stallgeruch) dürfen reinluftseitig nicht wahrnehmbar sein.

Die Prüfergebnisse werden nach Ablauf der Messungen in einem Prüfbericht zusammengestellt. Nach Kenntnisnahme durch den Anmelder und erfolgreicher Eignungsprüfung kann das DLG-Signum-Zeichen vergeben und der Prüfbericht im Internet veröffentlicht werden (unter www.dlg.de).

Weitere Angaben zur Prüfung gemäss Mitteilung DLG vom 4. September 2007:

„Die Prüfung läuft gemäss dem DLG-Prüfrahmen mindestens über ein Jahr, die Messperioden finden jeweils 2 Monate im Sommer und 2 Monate im Winter bei vollem Besatz und im Endmastabschnitt statt. Emissionsmessungen werden durch ein akkreditiertes Messinstitut gemäss Vorgaben durchgeführt, Verbrauchswerte, Arbeitssicherheit, Handhabung und Bedienung der Anlage werden durch die DLG ermittelt. Die komplette Prüfung wird durch eine neutrale Prüfungskommission begleitet, die auch den Bewertungsmassstab festlegt. Die Prüfgebühr für einen Hersteller beträgt bei uns ca. 25'000 EUR, darin ist ein Zuschuss des Bundesministeriums enthalten. Die Emissionsmessungen des Messinstituts werden mit diesem separat abgerechnet und betragen je nach Umfang zwischen 30'000-50'000 EUR.

Während der Messperioden wird Ammoniak im Roh- und Reingas kontinuierlich gemessen und Halbstundenmittelwerte gebildet. Die daraus gebildeten Wirkungsgrade müssen über 70 % liegen. Gesamtstaub und Geruch werden in dieser Zeit wöchentlich gemessen. Eine Anforderung an Abluftreinigungsanlagen ist das elektronische Betriebstagebuch, welches auch nach dem DLG-Test alle relevanten Messgrössen über mindestens 5 Jahre aufzeichnet. Die dauerhafte Funktionssicherheit ist somit gewährleistet, Abweichungen werden entsprechend erfasst und ggf. über Alarmmeldungen dem Betreiber mitgeteilt. Auch eine regelmässige Überwachung durch Genehmigungsbehörden kann hierdurch sichergestellt werden.“

D Niederländische Emissionsfaktoren

Emissionsfaktoren für Mastschweine, ausgewählte Beispiele ¹⁾

Kategorie-Nr.	Kategorie	Zulassungs-Nr. für Anlagehersteller	Emissionsfaktor pro Tierplatz	
			NH ₃ (kg /a)	Geruch (GE/s)
D 3	Tierkategorie Mastschweine			
D 3.2	Teilspaltenboden			
D 3.2.1	unterkellert ohne Geruchsverschluss			
D 3.2.1.1	Tierfläche maximal 0.8 m ²	BWL 2001.22	3.0	23
D 3.2.1.2	Tierfläche grösser 0.8 m ²	BWL 2001.23	4.0	23
D 3.2.2	Mistauffangeinrichtung spülen mit NH ₃ -armer Flüssigkeit (inkl. Ansäuren)			
D 3.2.2.1	Tierfläche maximal 0.8 m ²	Groen Label BB 93.06.010V1; BB 93.11.011 /A	1.4	23
D 3.2.2.2	Tierfläche grösser 0.8 m ²	BWL 2001.24	2.0	23
D 3.2.3	Kühldeckensysteme und Dreikant-Spaltenböden, (170% Kühloberfläche)			
D 3.2.3.1	Tierfläche maximal 0.8 m ²	Groen Label BB 95.04.023	1.4	17.9
D 3.2.3.2	Tierfläche grösser 0.8 m ²	BB 00.06.093	2.0	23
D 3.2.8	Biologischer Luftwäscher mit 70% Emissionsreduktion ²⁾			
D 3.2.8.1	Tierfläche maximal 0.8 m ²	Groen Label: BB 96.10.042V1 BB 96.10.042/A BB 96.10.044V1 BB 96.10.042/B BB 96.10.045V1 BB 96.10.042/C BB 96.10.046V1 BB 96.10.042V1/D BWL 2004.01 BWL 2006.02 BWL 2007.03	0.8	12.7
D 3.2.8.1	Tierfläche grösser 0.8 m ²		1.1	12.7
D 3.2.15.4	Kombinierte Anlage Biowäscher mit Wasservorhang beim Lufteintritt mit 85 % Emissionsreduktion ²⁾			
D 3.2.15.4.1	Tierfläche maximal 0.8 m ²	BWL 2007.02 (Firma Dorset)	0.38	5.8
D 3.2.15.4.2	Tierfläche grösser 0.8 m ²		0.53	5.8

1) Emissionsfaktoren inklusive den Emissionen für Mist /Gülle, die bei den betreffenden Betrieben umgeschlagen werden.<http://infomil.nl/asp/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page&ItmIdt=30137&SitIdt=111&VarIdt=82>

2) Die Ammoniakreduktion bezieht sich auf Normalställe (D 3.2.1). Es gibt jedoch auch Spezifikationen für Biowäscher und für Chemowäscher in Kombination mit „Groen-Label“-Stallsystemen, bei denen die Emissionen sowohl durch primäre Massnahmen (ähnlich wie Kategorien D 3.2.2 und D 3.2.3), als auch zusätzlich durch sekundäre Massnahmen (Abluftreinigungsanlagen) reduziert werden.

Niederländischen Stallkategorien für Legehennen, ausgewählte Beispiele 1)

Nr.	Kategorie	Emission pro Tierplatz	
		NH ₃ (kg/a)	Geruch (GE/s)
E 2	Tierkategorie Legehühner und Muttertiere der Legerassen		
E 2.1	Offene Kottlagerung unterhalb der Batterie mit oder ohne Kotschieber (Flat-Deck-Käfige, Treppenkäfige oder Kompaktkäfige für nassen Kot)	0.100	0.69
E 2.2	Kotbandbatterie für nassen Kot der abgeführt wird zu einem geschlossenen Lagerplatz (mindestens 2 mal pro Woche entmisten) (vorher grünes Label BB 93.06.007)	0.042	0.35
E 2.3	Kompaktbatterie von dem der nasse Kot 2 mal täglich mittels Kotschieber und einem zentralen Kotband in ein geschlossenes Lager abgeführt wird (vorher grünes Label BB 95.06.026)	0.024	0.35
E 2.4	Batterie mit forcierter Kottrocknung (Deeppitstall oder Highrisestall, Kanalstall)	0.463	0.69
E 2.5	Kotbandbatterie mit forcierter Kottrocknung (siehe Endbewertung 6) (für nachträglich aufgeschaltete Techniken.- siehe E6)		
E 2.5.1	Kotbandbatterie für trockene Kot mit forcierter Kot-Trocknung (vorher grünes Label BB 93.06.008, siehe Endbewertung 4)	0.042	0.35
E 2.5.2	Kotbandbatterie mit forcierter Kottrocknung, belüftet mit 0.7 m ³ Luft pro Tier und Stunde. Alle fünf Tage Kotabdringung, der Kot hat dann einen Trockenstoffgehalt von min. 55%. (Grünes Label BB 97.07.058)	0.012	0.35
E 2.5.3	Batteriehaltung nach Kategorie E 2.5.1 mit chemischem Luftreinigungs (wasch-) System mit 90% Emissionsreduktion; (siehe auch: Beilagen)	0.004	0.25
E 2.5.4	Batteriehaltung nach Kategorie E 2.5.2. mit chemischem Luftreinigungssystem mit 90% Emissionsreduktion	0.001	0.25
E 2.6	Batteriesystem mit Kotbandbelüftung und obenliegenden Trockentunnel (Grünes Label BB 9,9.06.071)	0.018	0.35
E 2.7	Bodenhaltung mit Legerassen (ca. 1/3 Einstreuboden und ca. 2/3 Rostboden)	0.315	0.34
E 2.8	Bodenhaltung mit Belüftung unter teilweise erhöhtem Rostboden (Löchersystem) (Grünes Label BB 00.06.088)	0.110	0.34
E 2.9	Bodenhaltung mit Kotbelüftung mittels Röhren unten den Sitzstangen (BWL 201.10)	0.125	0.34
E 2.10	Chemisches Luftreinigungssystem mit 90% Emissionsreduktion, Voliären- und Bodenhaltung (Grünes Label BB 00.06.089)	0.032	0.23
E 2.11	Voliärenhaltung		
E 2.11.1	Mind. 50% vom Lebensraum ist Rost mit unterliegendem Kothand. Diese müssen mindestens einmal wöchentlich abgedreht werden. Roste in minimal zwei Etagen.	0.090	0.34
E 2.11.2	50% vom Lebensraum ist Rost mit unterliegendem Kotband mit Belüftung. Kotbänder mindestens zwei mal pro Woche entleeren. Roste in minimal zwei Etagen.	0.055	0.34
E 2.11.3	30-35% vom Lebensraum ist Rost mit unterliegendem Kotband. Mistband mit 0.7 m ³ Kotbelüftung pro Tierplatz und Stunde. Kotbänder mindestens zwei mal pro Woche entleeren. Roste in minimal zwei Etagen.	0.025	0.34
E 2.11.4	55-60% vom Lebensraum ist Rost mit unterliegendem Kotband Mistband mit 0.7 m ³ Kotbelüftung pro Tierplatz und Stunde. Kotbänder mindestens zwei mal pro Woche entleeren. Roste in minimal zwei Etagen.	0.037	0.34
E 2.12	Labelhaltung mit nachträglich eingerichtete Techniken		
E 2.12.1	Labelstall mit zwei Stockwerken mit Kotbänder unterhalb der Roste. (zwei mal pro Woche abdrehen), Besetzung 9 Tier pro m ²	0.068	0.34
E 2.12.2	Labelhaltung mit häufiger Kot- und Einstreuentfernung	0.106	0.34
E 2.13	Übrige Haltungssysteme Batteriehaltung	0.100	0.34
E 2.14	Übrige (allgemeine) Haltungssysteme, Nicht-Batteriehaltung	0.315	0.35

1) aus Internet: www.infomil.nl/asp/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page<mldt=30139&Sittldt=111&Varldt=82

Grundlagen Vollkostenberechnungen für Abluftreinigungsanlagen								
Abluftreinigungstyp:	Biofilter, mehrschichtig		Biowäscher, konventionell		Biowäscher Dorset		Biowäscher Dorset	
Maximale Abluftmenge:	40'000 m3/h		40'000 m3/h		40'000 m3/h		120'000 m3/h	
Kosten	minimal/maximal		minimal/maximal		minimal/maximal		minimal/maximal	
1)	CHF		CHF		CHF		CHF	
Investitionskosten								
Abluftreinigungsanlage 2)	36'000	36'000	32'000	32'000	40'000	40'000	90'000	90'000
Baunebenkosten	13'000	20'000	10'000	30'000	15'000	45'000	30'000	90'000
Anschlüsse elektr. + Luftleitungen	5'000	20'000	5'000	20'000	5'000	20'000	5'000	20'000
Montage + Inbetriebnahme	5'000	5'000	2'000	2'000	5'000	5'000	5'000	5'000
Total	59'000	81'000	49'000	84'000	65'000	100'000	130'000	205'000
Investitionskosten pro Tierplatz	148	203	123	210	163	250	108	171
Amortisationskostenrechnungen								
Zinssatz in %	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Anzahl Amortisationsjahre	15	7	15	7	15	7	15	7
Amortisationskosten / Jahr	5'684	13'998	4'721	14'517	6'262	17'282	12'525	35'428
Betriebskosten pro Jahr								
Elektr. Strom Umwälzpumpen 3)	0	0	1'935	1'935	2'840	2'840	3'870	3'870
El. Strom Ventilator-Zusatzleistung 4)	900	900			300	300	600	600
Unterhalt (Ersatzmaterialien und Serviceaufwand)	2'000	2'000	1'000	1'000	1'000	1'000	2'000	2'000
Unterhalt (Eigenleistung zu 50.-/h)	1'500	1'500	1'000	1'000	1'500	1'500	2'000	2'000
Total Betriebskosten	4'400	4'400	3'935	3'935	5'640	5'640	8'470	8'470
Jahresbetriebskosten pro Tierplatz	11.00	11.00	9.84	9.84	14.10	14.10	7.06	7.06
Betriebs- und Amortisationkosten	10'084	18'398	9'121	18'917	10'662	21'682	16'925	39'828
Jahresgesamtkosten pro Tierplatz	25.21	46.00	22.80	47.29	26.66	54.21	14.10	33.19
NH ₃ -Reduktion in %	75%	75%	50%	50%	85%	85%	85%	85%
E-Faktor in kg NH ₃ /a pro Tierplatz	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
NH ₃ -Reduktion in kg/a pro Tierplatz	2.25	2.25	1.50	1.50	2.55	2.55	2.55	2.55
NH ₃ -N-Reduktion in kg/a pro Tierplatz	1.85	1.85	1.24	1.24	2.10	2.10	2.10	2.10
Kosten pro kg NH₃-N-Reduktion 5)	13.61	24.82	18.46	38.28	12.69	25.81	6.72	15.80

- 1) Minimalkosten berechnet unter folgenden Bedingungen: Amortisationsfrist 15 Jahre, geringe Baunebenkosten
Maximalkosten berechnet unter folgenden Bedingungen: Amortisationsfrist 7 Jahre, erhöhte Baunebenkosten für Bodenplatte, für längere Luftkanäle und für Diverses
- 2) Kosten für Ventilatoren und für die Steuerung sind in diesen Berechnungen nicht enthalten, da davon ausgegangen wird, dass die entsprechenden Kosten beim Neubau von Ställen unabhängig von einer Abluftreinigungsanlage anfallen.
- 3) Pro Anlagentyp 0, 1.5, 2.2, resp. 3.0 kW x 8600 h/a x CHF 0.15/kWh
- 4) Pro Anlagentyp 0.75, 0, 0.25, resp. 0.5 kW x 8600 h/a x CHF 0.15/kWh
- 5) Die Kosten pro kg NH₃-N-Reduktion verkleinern sich bei Emissionsfaktoren grösser als 3.0 kg /a und pro Tierplatz.

Grundlagen Kostenberechnungen für Biowäscheroptimierungen ^{1), 2)}						
Optimierung des Biowäschers:	Verdoppelung der Füllkörperfläche		Einbau eines Vorwäschers ohne Säuredosierung		Einbau eines Vorwäschers mit Säuredosierung	
	Kosten minimal/maximal CHF		Kosten minimal/maximal CHF		Kosten minimal/maximal CHF	
Aus- und Einbau von Filterkörper	10'000	10'000				
Einbau eines Luftvorwäschers			30'000	40'000	30'000	40'000
Einrichtungen für Schwefelsäuredosierung					8'000	8'000
Einbau stärkerer Ventilatoren	5'000	8'000	5'000	8'000	5'000	8'000
Baunebenkosten (Bodenplatte etc.)			5'000	15'000	5'000	20'000
Anschlüsse el + Luft			5'000	10'000	5'000	10'000
Total	15'000	18'000	45'000	73'000	53'000	86'000
Investition pro Tierplatz	38	45	113	183	133	215
Amortisationsrechnungen						
Zinssatz in %	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Anzahl Amortisationsjahre	15	7	15	7	15	7
Annuität (Ammortisation / Jahr)	1'445	3'111	4'335	12'616	5'106	14'863
Betriebskosten pro Jahr						
Elektr. Strom für Umwälzpumpe (1.5 kWh x 8600 h/a x CHF 0.15/kWh)			1'900	1'900	1'900	1'900
Elektr. Strom für Ventilator-Zusatzleistung (0.3 kWh x 8600 h x CHF 0.15/kWh)	390	390	390	390	390	390
Abschlammung (CHF 5.-/m ³ inkl. Aufwand für Verwertung)	400	400	400	400	400	400
Schwefelsäure (4.8 kg 60% pro kg NH ₃ -Reduktion, CHF 0.25/kg)					845	845
Unterhalt (Ersatzmaterialien und Serviceaufwand)			1'000	1'000	1'000	1'000
Unterhalt, Mehraufwand Eigenleistung (CHF 50.-/h, 0/20/40 h/a)			1'000	1'000	2'000	2'000
Total Betriebskosten	790	790	4'690	4'690	6'535	6'535
Jahresbetriebskosten pro Tierplatz	1.98	1.98	11.73	11.73	16.34	16.34
Betriebs- und Amortisationkosten	2'235	3'901	9'025	17'306	11'641	21'397
Jahresgesamtkosten pro Tierplatz	5.59	9.75	22.56	43.26	29.10	53.49
Zusätzliche NH ₃ -Reduktion (kg/a pro Platz)	1.70	1.70	1.70	1.70	2.00	2.00
Kosten pro kg zusätzliche NH₃-Reduktion	3.29	5.74	13.27	25.45	14.55	26.75
NH₃-Reduktion gesamt in %	83%	83%	83%	83%	90%	90%

1) Berechnungsbasis Stallabluft ungereinigt: Emissionsfaktor 4.0 kg NH₃/a und pro Tierplatz

2) Mastschweinegestall mit 400 Tierplätzen, bestehender Biowäscher mit 40 % NH₃-Reduktion

KBO GmbH St.Gallen			Ammoniak- und Geruchsmessdaten bei Schweine- und Hühnerställen										
Nr.	Messinstitut 1)	Messdatum	Stalltyp / für	Anzahl Tiere	Abluftreinigungs- anlage	Abluftdaten						Reduktion	
						Abluft ungereinigt				Abluft gereinigt		NH ₃ (%)	Geruch (%)
						Menge (bm ³ /h)	Temp. (°C)	NH ₃ (mg/m ³)	Geruch (GE/m ³)	NH ₃ (mg/m ³)	Geruch (GE/m ³)		
1	KBO 2)	18.06.07	BioMasts. 60 kg	220	Biowäscher Hu	35'000	23	0.6		0.3		38	
2	KBO 2)	31.10.07	BioMasts. 60 kg	320	Biowäscher Hu	6'000		2.1		1.4		38	
3a	AFU AR	29.06.01	Mastschweine	240	Biowäscher Hu	17'000	19	5.9		3.6		38	
3b	AFU AR	26.04.02	Mastschweine	240	Biowäscher Hu	8'600	17	13.5	115	4.6	47	53	57
4	AFU TG	17.10.94	Masts. 47 kg	300	Biowäscher Hu	18'400	16	5.4	107	2.5	48	54	55
5	AFU TG	25.04.05	Masts. 66 kg	445	Biowäscher Hu	17'900		39.0	2'500	42.0	2'300	-	8
6a	KBO + ART	26.04.07	Masts. 60 kg	200	Biofilter Hagola	18'000	29	8.9	3'866	2.6	216	71	94
6b	KBO + ART	11.09.07	Masts. 65 kg	195	Biofilter Hagola	20'000	22	1.4	1'810	<0.2	148	90	92
6c	UCW Dr. Wälti	23-24.11.07	Masts. 80 kg	200	Biofilter Hagola	16'200	15	3.6		<0.2		93	
7a	KBO 2)	16.10.07	Zuchts. 9'600 kg	48	Biofilter Hagola	14'000	20	8.5		<0.2		98	
7b	UCW Dr. Wälti	23-24.11.07	Zuchts. 12'000 kg	60	Biofilter Hagola	15'000	15	5.9		<0.2		97	
8	KBO 2)	16.10.07	Bio-Legehennen	2'000	Biofilter Hagola	6'520	21	5.3		<0.2		97	
9	Zechelius 3)	16.6.-11.7.05	Zuchts. 7'690 kg	39	Biofilter Hagola	3'520	24	8.7		2.1		73	
10a	KBO 2)	28.06.07	Legehennen	4'600	Biofilter Hagola	41'000	24	14.2		6.0		50-65	
10b	KBO 2)	16.10.07	Legehennen	4'600	Biofilter Hagola	30'000	18	8.5		<0.2		98	
11	UCW Dr. Wälti	28./29.08.10	Legehennen	18'000	Biowä. Dorset	53'000	25	6.1		0.05		99	
12	Kost+Partner	19.04.10	Junghennen	18'000	Biowä. Dorset	63'000	21	5.8		0.8		90	
13	KBO *)	27.10.09	Masts. 40 kg	450	Spezialwäscher Hu4)	10'400	25	3.7		0.7		82	
14	KBO *)	18.05.10	Masts. 42 kg	430	Spezialwäscher Hu4)	4'000	23	4.3		0.7		84	

1) Emissionsmessberichte sind vertraulich 2) Orientierende NH₃-Messungen mit Drägerröhrchen 3) Anhang A: Zechelius, M., 2005 4) Prototyp, hohe Abschlämmrate, siehe Kapitel 6.3