

Der Wirkungsgrad biologischer Abluftwäscher wird in starkem Maße von bestimmten Abluftparametern bestimmt. Liegen diese in einem für den Biowäscher optimalen Bereich, so sind hohe Abluftreinigungsleistungen zu erwarten. In der folgenden Tabelle sind die Optimal-, sowie die tatsächlich vorhandenen Bedingungen für bestimmte Abluftparameter aus der Tierhaltung dargestellt (modifiziert nach [5] und [6]): **Tabelle 1** macht deutlich, daß der Einsatz von Biowäschern bzw. biologischen Abluftreinigungssystemen in der landwirtschaftlichen Praxis an Grenzen stoßen kann. Dennoch weist BRAUER [3] darauf hin, daß diese Art der Abluftreinigung, sofern sie gefordert wird, als einzig sinnvolle Alternative zu anderen Aufbereitungsverfahren erscheint, da die Reaktionen bei normaler Temperatur und bei normalem Druck stattfinden und somit das am wenigsten aufwendige Abluftreinigungsverfahren darstellt.

2 Problemstellung und Ziel der Untersuchung

Die Abscheideleistung von Ammoniak und Geruch der derzeit im praktischen Einsatz befindlichen verschiedenen Typen von biologischen Abluftwäschern in der Landwirtschaft ist nicht ausreichend untersucht. Insbesondere wurden keine Langzeitmessungen durchgeführt, was jedoch zur Charakterisierung biologischer Systeme unerlässlich ist.

Übergeordnetes Ziel der Untersuchungen ist daher eine ökologische und ökonomische Wertung der Abluftaufbereitung durch Biowäscher in der Landwirtschaft. Dieses Hauptziel soll durch die Erarbeitung folgender Teilziele realisiert werden:

- Bestimmung der Ammoniak- und Geruchsabscheideleistung je nach Wäschertyp;
- Quantitative Bestimmung der Haupteinflussfaktoren auf die Abscheideleistung;

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Optimal- und der tatsächlich in der Tierhaltung vorhandenen Bedingungen für den Einsatz biologischer Abluftreinigungssysteme

Table 1: Comparison of optimal and actual circumstances in animal husbandry for the use of biological air purification systems

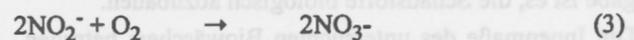
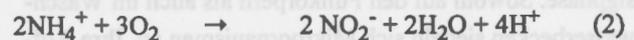
Abluftparameter	optimale Bedingungen	Abluft aus der Tierhaltung
Volumenstrom	konstant	variabel
Volumenstrom	< 50 000 m ³ /h	z.T. > 50 000 m ³ /h
Geruchsstoffkonzentration	> 10 000 GE/m ³	z.T. < 5 000 GE/m ³
Ablufttemperatur	< 50 - 70°C	< ~20°C; je nach Tierart
C/N-Verhältnis	20:1	< 5:1
Abluftinhaltsstoffe	nicht staubhaltig	stark staubhaltig

- Erfassung der Investitionskosten und des Betriebsmittelaufwands.

3 Grundlagen der Entstehung und des Abbaus von Geruch und Ammoniak

Bei *Gerüchen* handelt es sich um Vielstoffgemische [7]. Eine Großzahl der über 200 in der Stallluft vorhandenen Substanzen ist sehr geruchsintensiv [8]. Träger eines Großteils dieser Stoffe (u.a. Fettsäuren; phenol- und indolhaltige Verbindungen) ist der in Tierställen vorhandene Staub [9]. Dies bedeutet, daß alleine durch Herausfiltern des Staubes die Geruchsemissionen um bis zu 65% reduziert werden könnten. Weitere Möglichkeiten über die Staubminderung die Geruchsemissionen zu reduzieren, wären z.B. der Einsatz von Flüssigfütterungsanlagen und Sprüheinrichtungen in den Ställen [9].

Hauptquelle der NH₃-Bildung im Stall ist der Harnstoff, der durch das Enzym Urease hydrolytisch gespalten wird und somit zur Entstehung von Ammoniak führt [8]. Der Abbau des Ammoniaks im Biowäscher erfolgt als zweistufiger Prozeß in dessen Verlauf der Ammoniak bzw. das Ammonium durch mikrobielle Oxidation über Nitrit zu Nitrat abgebaut wird (Nitrifikation; s. Gl. 2 und 3). Gelegentlich kommt es zur Entkopplung dieser beiden Teilschritte, wobei größere Mengen Nitrit angehäuft werden [10].



Die durch die Nitrifikation im Waschwasser entstandenen stickstoffhaltigen Verbindungen können dem Flüssigmist zugeführt werden und finden somit als wirtschaftseigener Dünger eine sinnvolle Verwertung.

4 Material und Methode

4.1 Untersucher Biowäscher

Insgesamt sollen im Rahmen der Untersuchungen für das Umweltministerium Baden-Württemberg drei verschiedene Anlagentypen vergleichend untersucht werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die erste abgeschlossene Untersuchungsphase. Der untersuchte Biowäscher wurde auf Wunsch des Landwirts gebaut, da ihm die Geruchsbelästigung durch die Schweinehaltung zu hoch war. Die Stallabluft tritt in den Biowäscher ein und strömt, bedingt durch den Unterdruck des dem Biowäscher nachgeschalteten Ventilators, nach oben durch die Füllkörper. Von oben wird Washwasser auf die Füllkörper gesprüht, welches sich im Washwasserbecken sammelt und über eine Pumpe wieder auf die Füllkörper aufgebracht wird (Bild 1). Dabei handelt es sich jedoch nicht um einen völlig geschlossenen Kreislauf. Neben einem Schwimmer, der ständig Frischwasser zudosiert, ist auch ein Abfluß vorhanden. Dieser kann bei Bedarf geöffnet werden, um die Washwasserlösung ganz oder teilweise dem Flüssigmist zuzuführen. Ein Tropfenabscheider oberhalb der Sprüheinrichtung verhindert, daß hohe Anteile an Aerosolen den Biowäscher verlassen und damit wasergelöste Schadstoffe in die Umwelt emittieren. Durch den Kontakt von Stallabluft und Washwasserlösung auf den Füllkörpern erfolgt bei Partialdruckunterschieden die Diffusion wasserlöslicher Stoffe von der Gas- in die Flüssigphase. Sowohl auf den Füllkörpern als auch im Washwasserbecken siedeln sich Mikroorganismen an. Ihre Aufgabe ist es, die Schadstoffe biologisch abzubauen.

Die Innenmaße des untersuchten Biowäschers betragen 1,2 x 1,2 m. Ausgelegt wurde der Biowäscher für einen Luftdurchsatz von 15000 m³/h. Das Washwasserbecken hat ein Volumen von max. 430 l. Durch den Schwimmer wird das Washwasservolumen auf 250 l begrenzt. Berücksichtigt werden muß, daß sich etwa 60 l im Washwasserkreislauf befinden, so daß sich eine Gesamtwashwassermenge von 310 l ergibt. Die Umwälzpumpe fördert ein Volumen von 17 m³/h, das Washwasser wird somit etwa 55 mal pro Stunde umgewälzt. Der Biowäscher enthält insgesamt 2,2 m³ Füllkörper, welche eine innere Oberfläche von 430 m² haben. Die Füllkörper sind in fünf übereinanderliegenden Schichten gestapelt. Die innere Oberfläche der Füllkörperschichten variiert von 150 bis 225 m²/m³.

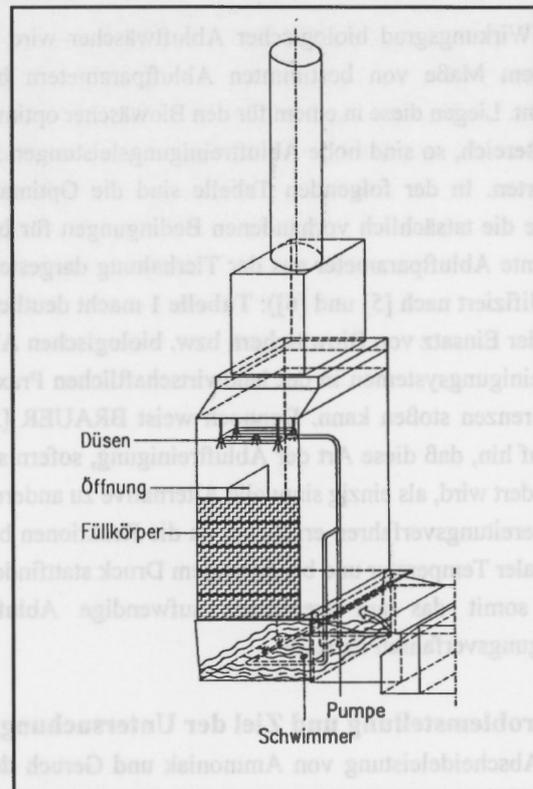


Bild 1: Aufbau des untersuchten Biowäschers
Fig. 1: Structure of the investigated bioscrubber

4.2 Methodische Vorgehensweise; Meßwerterfassung und Meßgrößen

Die Messung begann in der 33. und endete in der 46. Kalenderwoche 1994. Diese Meßperiode wurde bewußt gewählt, um die Sommer- wie auch die Wintersituation zu erfassen. Es wurden sowohl der Ist-Zustand der Anlage erfaßt (KW 33-40) als auch verschiedene Versuchsvarianten durchgeführt (KW 41-46).

Zur Sicherung der Meßdaten wurde ein Erfassungssystem benutzt, das sich in Praxisversuchen bewährt hat und durch eine große Betriebssicherheit auszeichnet. Es übernahm auch die Ansteuerung eines Meßstellenumschalters. Dieser wurde verwendet, um die einzelnen Meßpunkte nacheinander ansteuern zu können und damit die Ammoniakmessung quasi kontinuierlich zu gestalten. Die Meßsignale wurden in Echt- und Meßzeit erfaßt und "online" umgerechnet, um direkt auf Festplatte abgespeichert zu werden. Das Meßsystem legt die Daten sequentiell ab und verfügt über eine Autostartfunktion, so daß ein Datenverlust bei Stromausfall auszuschließen ist.

Wie aus Bild 2 ersichtlich, wurden die Ammoniakkonzentrationen am Biowäscherein- und austritt sowie in den dazugehörigen Stallabteilen und in der Zuluft (Hintergrundkonzentration) gemessen.

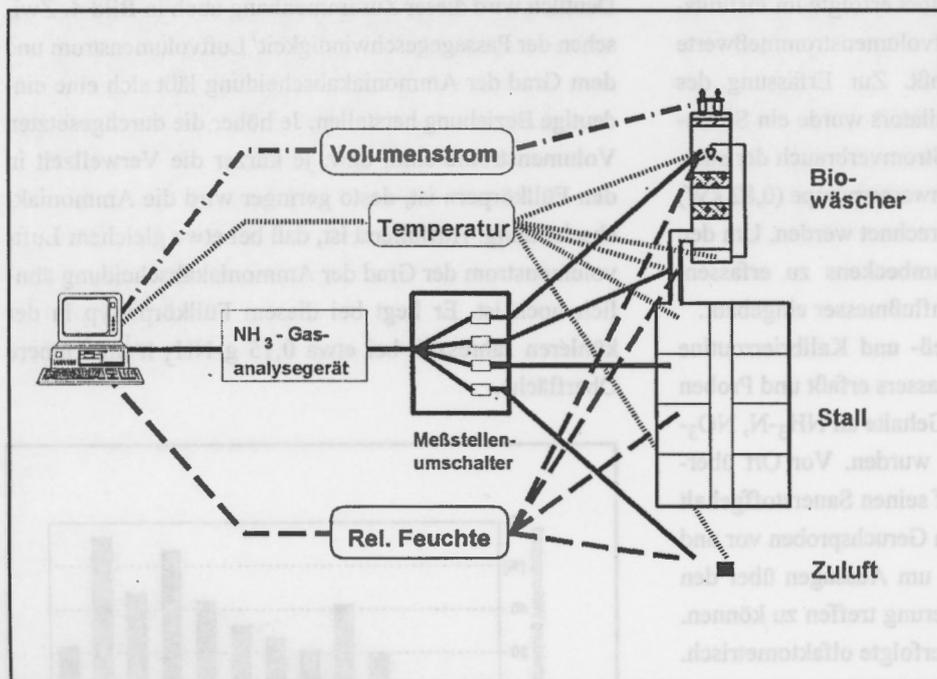


Bild 2: Übersicht der Meßpunkte und Meßgrößen
 Fig. 2: General view of measuring points and parameters

Das Gerät zur Messung der Ammoniakkonzentration basiert auf dem Prinzip der selektiven Strahlungsabsorption von Gaskomponenten und arbeitet im infraroten Spektralbereich. Es zeichnet sich durch seine gute Auflösung ($< 0,5$ ppm), durch die geringe Drift des Nullpunkts und seine Unempfindlichkeit gegenüber "Praxisbedingungen" aus (Tab. 2). In vorherigen Untersuchungen hatte sich das Ammoniak-Analysegerät hervorragend bewährt [11,12]. Feuchte- und Temperatursensoren wurden ebenfalls am

Biowäscherein- und austritt, in den drei Stallabteilen und in der Zuluft angebracht. Zusätzlich wurde noch ein Temperaturfühler im Waschwasserbecken eingesetzt. Die Erfassung der Temperatur- und Feuchtwerte erfolgte ebenfalls "online". Um Ammoniakemissionen zu berechnen, ist es nötig, neben der Ammoniakkonzentration den Volumenstrom zu bestimmen. Hierzu wurde ein Meßventilator eingesetzt, dessen Durchmesser dem des Abluftschachtes entsprach.

Tabelle 2: Meßgrößen und -prinzipien

Table 2: Measuring parameters and principles

Meßgröße	Ammoniak	Luftvolumenstrom	Temperatur	rel. Luftfeuchtigkeit
Meßgerät	BINOS Gasanaly-sator	Flügelrad-anemometer	Thermo-elemente	Feuchte-transmitter
Meßprinzip	Strahlungsabsorp-tion im IR/VIS u. UV- Bereich	Frequenz-messung	Nickel-Chrom/ Nickel Dielektrizität	kapazitiv
Einheit	ppm	m ³ /h	°C	%
Meßbereich	0-100	500-20000	-40..+105	0-100
Anzahl der Meßorte	6	1	7	6
Abtastrate [min]	15	2,5	2,5	2,5
Meßwert = Mittel von n Werten	6	10	10	10

Die Kalibrierung des Meßventilators erfolgte im instituts-eigenen Windkanal. Die Luftvolumenstrommeßwerte wurden ebenfalls "online" erfaßt. Zur Erfassung des Stromverbrauchs des Abluftventilators wurde ein Stromzähler zwischengeschaltet. Der Stromverbrauch der ständig bei Vollast betriebenen Waschwasserpumpe (0,82 kW) konnte anhand der Kenndaten berechnet werden. Um den Wasserzulauf des Belebtschlammbeckens zu erfassen, wurde in die Zuleitung ein Durchflußmesser eingebaut. Im Zuge der wöchentlichen Meß- und Kalibrierroutine konnte der pH-Wert des Waschwassers erfaßt und Proben genommen werden, die auf ihre Gehalte an $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und P_2O_5 analysiert wurden. Vor Ort überprüften wir das Waschwasser auf seinen Sauerstoffgehalt hin. Zweimal wöchentlich wurden Geruchsproben vor und nach dem Biowäscher gezogen, um Aussagen über den Wirkungsgrad der Geruchsminderung treffen zu können. Die Analyse der Geruchsproben erfolgte olfaktometrisch.

5 Erste Ergebnisse

5.1 Ammoniakminderung - Wirkungsgrad

Die Ammoniakabscheidung (Bild 3) schwankt über die Versuchsperiode stark. In den Kalenderwochen 33 bis 35 (Monat August) lag die Ammoniakabscheidung mit 3,9 bis 23 % relativ niedrig. Dies ist ursächlich auf die hohen Luftvolumenströme zurückzuführen, die eine hohe Passagegeschwindigkeit bedingen. Aufgrund der kurzen Verweilzeiten in den Füllkörpern wird die mikrobielle Abbautätigkeit im Biowäscher stark eingeschränkt. In den Kalenderwochen 36 bis 40 lag der Wirkungsgrad der Ammoniakabscheidung, bedingt durch die geringeren Volumenströme, zwischen 30 und etwa 42 %.

Deutlich wird dieser Zusammenhang auch in Bild 4. Zwischen der Passagegeschwindigkeit/ Luftvolumenstrom und dem Grad der Ammoniakabscheidung läßt sich eine eindeutige Beziehung herstellen. Je höher die durchgesetzten Volumenströme sind, bzw. je kürzer die Verweilzeit in den Füllkörpern ist, desto geringer wird die Ammoniakabscheidung. Auffallend ist, daß bei etwa gleichem Luftvolumenstrom der Grad der Ammoniakabscheidung ähnlich hoch ist. Er liegt bei diesem Füllkörpertyp in der kühleren Jahreszeit bei etwa $0,15 \text{ g NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ innere Oberfläche.

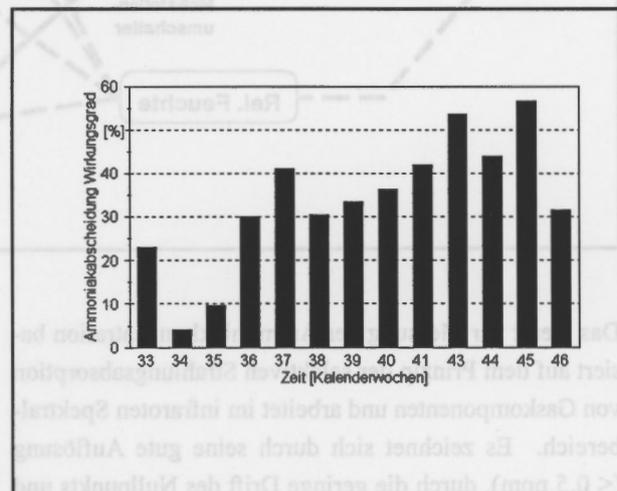


Bild 3: Ammoniakabscheidung des Biowäschers über die Versuchsperiode (Wochenmittelwerte)

Fig. 3: Ammonia reduction of the bioscrubber (weekly average)

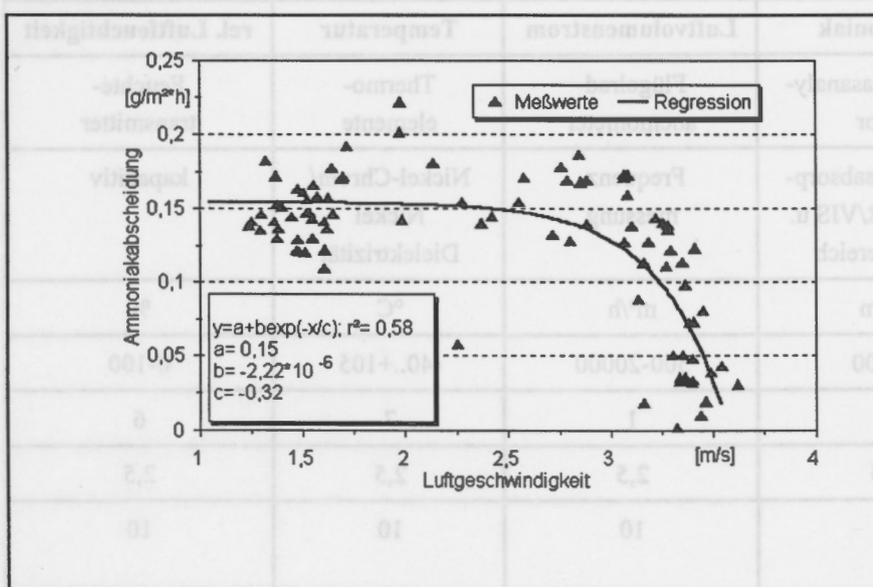


Bild 4: Abhängigkeit der Ammoniakabscheidung des Biowäschers von der Passagegeschwindigkeit (Tagesmittelwerte)

Page 4: Dependence of the ammonia reduction on the air velocity (daily average)

Um die Ammoniakabscheidung des Biowäschers durch Absenken des pH-Wertes auf pH 7 versuchsweise zu steigern, wurde dem Washwasser ein gewisser Anteil Säure zugegeben (KW 45). Die jeweils benötigte Säuremenge (abhängig vom pH-Wert) wurde im Vorversuch durch Titration ermittelt. Über die Säurezugabe wurde die höchste Ammoniakabscheidung während der Versuchsperiode erreicht. Sie lag um 18% über dem zu erwartenden Wirkungsgrad ohne Säurezusatz.

5.2 Abscheidung von Gerüchen

Wie aus Bild 5 deutlich wird, lag der Wirkungsgrad der Geruchsabscheidung zwischen 40 und 90 %; im Durchschnitt aller Proben betrug er 66 %. Es ist kein Zusammenhang zwischen dem Luftvolumenstrom bzw. den Luftgeschwindigkeiten im Biowäscher und dem Wirkungsgrad der Geruchsabscheidung zu erkennen. Bei hohem Luftdurchsatz behält der Wirkungsgrad der Geruchsabscheidung sein Niveau bei. Er liegt in fast allen Fällen über der Ammoniakabscheidung.

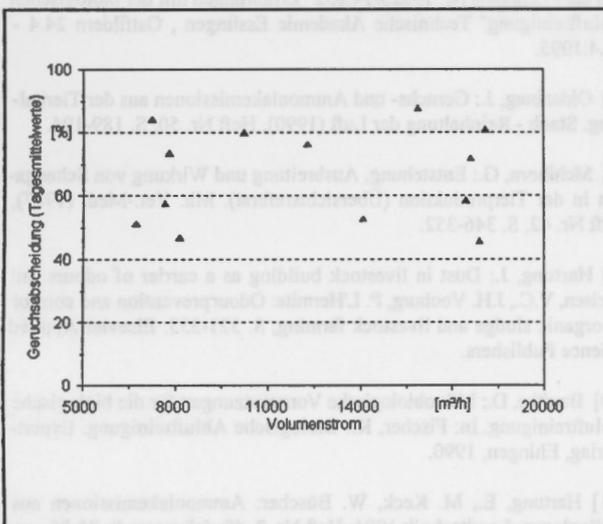


Bild 5: Geruchsabscheidung des Biowäschers
Fig. 5: Odour reduction of the bioscrubber

5.3 Belebtschlamm

Um die Funktionsfähigkeit des Biowäschers aufrecht zu erhalten, ist ein kontinuierlicher Abbau des Ammoniaks durch die Mikroorganismen über Nitrit zu Nitrat Voraussetzung. Eine für die Messung typische Belebtschlamm-analyse vom 5.10.1994 macht deutlich, daß der Nitritgehalt im Belebtschlamm übermäßig erhöht, und somit ein vollständiger Abbau des Ammoniaks zu Nitrat blockiert ist (Tab. 3). Auch der Phosphorgehalt des Belebtschlammes ist relativ hoch, was wahrscheinlich auf die Trockenfütte-

rung und damit verbunden auf die hohen Phosphorfrachten durch Stäube zurückzuführen ist.

Tabelle 3: Ergebnis der Belebtschlamm-analyse
Table 3: Analysis of the water remaining in the bioscrubber

	% i. TS	g/kg
Trockensubstanz TS	100	11
Asche	64	7
Org. Substanz	36	4
NH ₃ -N	21,7	2,47
NO ₂ -N	26,3	2,89
NO ₃ -N	2,5	0,27
P ₂ O ₅	1,6	0,18

5.4 Kosten des Biowäschers

Die durch den Biowäscher verursachten Gesamtkosten setzen sich aus den Investitions- und den Betriebsmittelkosten zusammen. Die Investitionskosten (Investitionsjahr 1993) belaufen sich insgesamt auf 20.588 DM und teilen sich wie folgt auf:

Materialkosten (einschl. MwSt.)	17.000 DM
Montage	2.348 DM
Eigenleistung (20 DM/h)	1.240 DM
Gesamtsumme	20.588 DM

Neben den Investitionskosten sind für den laufenden Einsatz die Betriebsmittelkosten von besonderer Bedeutung:

- Energiebedarf für die Wasserumwälzung und den zu überwindenden zusätzlichen Strömungswiderstand des Abluftwäschers,
- Wasser (Verdunstungswasser und Ersatz von Abwasser),
- zusätzlicher Arbeitszeitaufwand für Wartung und Pflege der Technik.

Die drei Aufwandsgrößen wurden im Untersuchungszeitraum berücksichtigt und quantifiziert. Es ergaben sich Unterschiede zwischen der Winter- und der Sommersituation. Lediglich im Sommer bei hohen Verdunstungsraten spielt der Wasseraufwand eine nennenswerte ökonomische Rolle. Die Energiekosten machen etwa 90 % der anfallenden Betriebskosten aus, im Winter steigt der Anteil der Energiekosten sogar auf 95 %.

Im Bereich der industriellen Abluftreinigung ist es üblich, die entstehenden Kosten auf den Luftdurchsatz zu beziehen, um allgemeingültige Planungsgrundlagen ableiten zu können. Neben den regulären Kosten für die Be- und Entlüftung entstanden pro 1 000 m³ Fortluft im Sommer Betriebskosten von 0,029 DM, im Winter stiegen diese auf 0,035 DM an. Der Wasserverbrauch pro 1 000 m³ Fortluft betrug im Sommer 0,81 l im Winter 0,29 l. Unterstellt man einen Bestand von 150 Mastschweinen à 70 kg (Sommerluftfrate von ca. 15000m³/h), mit 2,7 Durchgängen/Jahr, so betragen die jährlichen Gesamtkosten des Biowäschers bei zehnjähriger Abschreibung, unter aktuellen ökonomischen Rahmenbedingungen, etwa 6231,- DM. Pro Mastschwein entstünden Gesamtkosten von ca. 15,50 DM. Diese Kosten entsprechen den Aufwendungen bei vergleichbaren Abluftreinigungsverfahren [5].

6 Konsequenzen für den praktischen Einsatz

Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, ist eine Minderung der Ammoniak- wie auch der Geruchsemissionen durch biologische Abluftwäscher möglich, allerdings mit erheblichem technischen und ökonomischem Aufwand.

Der untersuchte Biowäscher wies einen durchschnittlichen Wirkungsgrad der Geruchsminderung von 66% auf. Wie oben bereits erwähnt, war sowohl der Betreiber, als auch die betroffene Nachbarschaft mit der Funktion des Biowäschers zufrieden. Ähnliche Erfahrungen liegen auch aus anderen Wäscheruntersuchungen vor.

Aus den Untersuchungen wird deutlich, daß nicht unbedingt der Wirkungsgrad der Geruchsminderung der entscheidende Punkt für eine Verfahrensbewertung ist, sondern daß vielmehr die reingasseitigen Geruchskonzentrationen (GE/m³) in den Mittelpunkt des Interesses rücken sollten. Wenn z.B. reingasseitig 5000 GE/m³ austreten, kann bei 90% Geruchsminderung trotzdem ein erheblicher Belästigungsgrad auftreten. Dagegen können 500 GE/m³ reingasseitig, auch bei nur 70% Geruchsminderung akzeptiert werden.

Nach neueren Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, daß etwa 20% der Ammoniakemissionen eines landwirtschaftlichen Betriebes aus den Ställen freigesetzt werden [2]. Unterstellt man, wie in unseren Untersuchungen ermittelt, eine durchschnittliche Ammoniakabscheidung des Biowäschers von 25%, so können die von einem landwirtschaftlichen Betrieb ausgehenden Ammoniak-

emissionen durch den Einsatz eines Biowäschers lediglich um 5% vermindert werden. Eine Minderung der Ammoniakemissionen in dieser Größenordnung kann aber bereits durch wesentlich preiswertere Maßnahmen wie impulsarme Zuluftsysteme oder proteinreduzierte Fütterung realisiert werden [13]. Es muß daher im Einzelfall geprüft werden, ob die Verhältnismäßigkeit beim Einsatz eines Biowäschers gewährleistet ist.

Literatur

- [1] Mohr, H.: Stickstoffeintrag als Ursache neuartiger Waldschäden. Spektrum der Wissenschaft 1, 1994, S. 48-53.
- [2] Keck, M.; W. Büscher: Tierschutz und Umweltentlastung: Wie harmonisieren die Interessen? DGS 1994, Heft 40, S.20-22.
- [3] Brauer, H.: Biologische Abluftreinigung. Chem.-Ing.-Tech. 56 (1984), Heft Nr.4, S. 279-286.
- [4] Fischer, K. et al.: Biologische Abluftreinigung. Entsorgungspraxis Spezial, Band 3 (1990), Heft 6, S. 9-13.
- [5] Mannebeck, D.: Biofilter an Schweineställen. In "KTBL Arbeitspapier 207; Selbstverlag; Darmstadt 1994.
- [6] Kunz, P.: Grundlagen der biologischen Abluftreinigung. In: Unterlagen zum Lehrgang Nr. 19523/14.052 "Erfahrungen mit der biologischen Abluftreinigung" Technische Akademie Esslingen, Ostfildern 24.4 - 25.4.1995.
- [7] Oldenburg, J.: Geruchs- und Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung. Staub - Reinhaltung der Luft (1990), Heft Nr. 50; S. 189-194.
- [8] Mehlhorn, G.: Entstehung, Ausbreitung und Wirkung von Schadgasen in der Tierproduktion (Übersichtsreferat). Mh. Vet.-Med. (1987), Heft Nr. 42, S. 346-352.
- [9] Hartung, J.: Dust in livestock building as a carrier of odours. In: Nielsen, V.C., J.H. Vooburg, P. L'Hermite: Odour prevention and control of organic sludge and livestock farming, S. 321-333. Elsevier Applied Science Publishers.
- [10] Bardtke, D.: Mikrobiologische Voraussetzungen für die biologische Abluftreinigung. In: Fischer, K.: Biologische Abluftreinigung. Expert-Verlag, Ehingen, 1990.
- [11] Hartung, E., M. Keck, W. Büscher: Ammoniakemissionen aus Stallanlagen. Landtechnik 1994, Heft Nr. 2, 49. Jahrgang, S. 74-75.
- [12] Hartung, E., W. Büscher, T. Jungbluth: Basic Research on the Ammonia Release in Livestock Production using liquid Manure. XII. CIGR Welt-Kongreß und AgEng '94-Konferenz, Mailand 29.08.-01.09.1994.
- [13] Büscher W.: Maßnahmen zur Minderung der Ammoniak-Freisetzung in einstreulosen Haltungssystemen für Schweine. Tagung des Förderkreises Stallklima, Tagung 12.-14. Oktober 1994 inSchmallenberg (Sauerland).