

Jochen Hahne, Thomas Bernges und Klaus-Dieter Vorlop, Braunschweig

## Abluftbehandlung aus Schweinemastanlagen

**Ein zweistufiges Verfahren zur Behandlung von Abluft aus Schweinemastanlagen wird vorgestellt. Die Abluft wird in einem Schwefelsäurewäscher gewaschen und anschließend in einem Biofilter von Geruchsstoffen befreit. Zur Überprüfung der Verfahrenseffizienz werden alle relevanten Spurengase kontinuierlich gemessen. Erste Ergebnisse zeigen, dass Ammoniak zu 95 bis 99 % aus der Abluft entfernt und als Ammoniumsulfat zurückgewonnen wurde. Schwefelwasserstoff wurde um 93 % reduziert. Ein Abbau von Lachgas, Methan und Kohlenmonoxid konnte bislang nicht festgestellt werden. Die Konzentration an Stickoxiden stieg durch die Abluftbehandlung geringfügig an. Stalltypische Gerüche wurden im Reingas des Biofilters bei zahlreichen Begehungen nicht wahrgenommen.**

Bei der biologischen Behandlung von Abluft aus Schweineställen zur Beseitigung der Geruchsbelästigungen stellt der in der Abluft enthaltene Ammoniak ein erhebliches Problem dar. In ausreichend befeuchteten Biofiltern wird Ammoniak akkumuliert und teilweise zu Nitrit und Nitrat oxidiert. Die Akkumulation dieser Komponenten im Biofilter führt in relativ kurzer Zeit zur Verschlechterung des Geruchsminderungsgrades und zum Zusammenbruch einer intakten Nitrifikation, was wiederum zur Bildung von Lachgas führen kann. Ohne ständige Ausschleusung der genannten N-Komponenten aus der Behandlungsanlage, wodurch erheblich Abwasser anfällt, kann ein Biofilter nicht betriebsstabil betrieben werden. Bei Biowäschern gelten prinzipiell die gleichen Zusammenhänge.

### Ziele

Vor diesem Hintergrund wurde vom Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) ein sehr flexibles Abluftbehandlungskonzept (Bild 1) entwickelt und realisiert, bei

dem die Stallabluft in einem ersten Verfahrensschritt einer schwefelsauren Wäsche unterzogen und anschließend durch einen Biofilter von Geruchsstoffen befreit wird. Mit diesem Konzept folgende Ziele erreicht werden:

- Quantitative Abtrennung von Ammoniak und Rückgewinnung als konzentrierter Flüssigdünger
  - Weitgehende Entstaubung des Rohgases bei gleichzeitiger Anhebung des Wassergehaltes der Abluft
  - Quantitativer Abbau stalltypischer Gerüche,
  - Vermeidung jeglichen Abwasseranfalls.
- Die im halbtechnischen Maßstab gewonnenen Erkenntnisse dienen zur Festlegung von Mindestanforderungen, deren Einhaltung eine funktionssichere und betriebsstabile Abluftbehandlung gewährleistet.

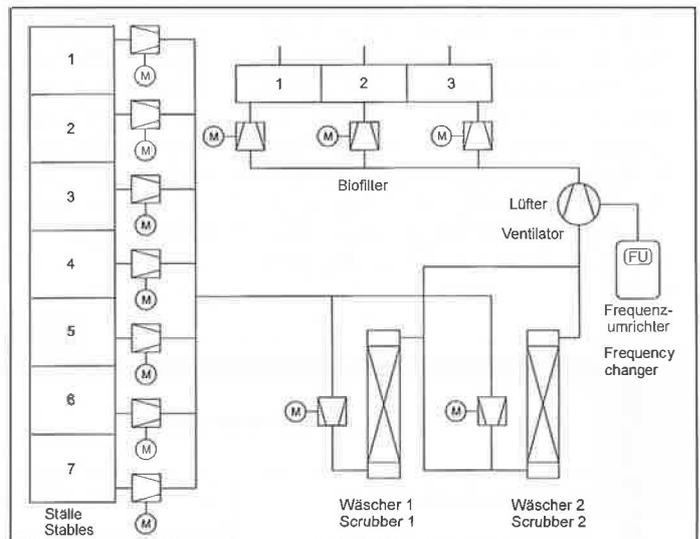
### Verfahrensbeschreibung

Aus sieben Stallteilen werden einstellbare Teilvolumenströme abgesaugt und zu einem Rohluftstrom vereinigt, der wahlweise einem oder zwei Füllkörperwäschern zugeführt wird (Bild 1). Beide Gegenstromwäscher sind zweistufig ausgelegt, wobei die Rohgasseite unterstöchiometrisch und die Reinluftseite mit einem Überschuss an Schwefelsäure

betrieben wird. Durch diese Auslegung und Betriebsweise ist zum einen eine quantitative Ammoniakabtrennung möglich und zum anderen eine Aufkonzentrierung des Ammoniumsulfates im kontinuierlichen Betrieb. Die Schwefelsäureeinspeisung in die jeweils zweite Stufe der Wäscher erfolgt über eine frei einstellbare pH-Wert-Regelung. Aus den jeweils zweiten Stufen wird die Waschlösung ebenfalls über eine frei einstellbare pH-Wert-Regelung in die ersten Waschstufen gepumpt. Die Ausschleusung des flüssigen, konzentrierten Ammoniumsulfates erfolgt bei Erreichen einer definierten Dichte und eines definierten pH-Wertes aus der jeweils ersten Waschstufe in einen Produkttank. Die Frischwassereinspeisung in beide Wäscherstufen wird bei Unterschreiten eines definierten Füllstandes automatisch aktiviert. Schwefelsäure wird aus einem Vorlagetank in die zweiten Wäscherstufen eingespeist, wenn der pH-Wert dieser Stufen einen festgelegten Sollwert überschreitet. Die staub- und ammoniakentfrachtete und befeuchtete Luft wird in einem – für Versuchszwecke in drei Segmente geteilten – Biofilter von stalltypischen Gerüchen befreit. Der geschlossene Biofilter wird im Aufstrom betrieben. Die Filterschütthöhe beträgt 1 m und ist aus zwei je 50 cm starken Schichten aufgebaut. Die dem Rohgas zugewandte, untere Schicht besteht aus groben, geshreddertem Wurzelholz, die obere

Bild 1: Grundfließbild der Abluftbehandlungsanlage

Fig. 1: Ground flow sheet of the waste air treatment unit



Tab. 1: Abluftparameter, Messprinzipien und Messbereiche

Table 1: Waste air parameters, measuring systems, measuring ranges

Parameter	Gerät/Messprinzip	Messbereich
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	Optas/UV-Absorption	0 bis 30 ppm
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	FTIR 9100/IR-Absorption	0 bis 20 ppm
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	Optas/UV-Absorption	0 bis 10 ppm
Methan (CH <sub>4</sub> )	FTIR 9100/IR-Absorption	0 bis 500 ppm
	CnHm-Analysator Modell 3002	
Gesamtkohlenstoff (Ges-C)	Flammenionisation	0 bis 100 ppm
Kohlenmonoxid (CO)	FTIR 9100/IR-Absorption	0 bis 10 ppm
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Multor 610/IR-Absorption	0 bis 1 Vol-%
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	Multor 610/Magnetomechanisch	18 bis 22 Vol-%
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	Optas/UV-Absorption	0 bis 10 ppm

Dipl. Biol. Jochen Hahne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, e-mail: Hahne@tec.fal.de  
 Thomas Bernges war während der Datenerhebung als Diplomand am Institut beschäftigt. Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop ist Leiter des Institutes.

Tab. 2: Veränderung der Schadgaszusammensetzung bei der Abluftbehandlung

Table 2: Change of waste air composition during waste air treatment

Messstelle		NH <sub>3</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	N <sub>2</sub> O [ppm]	Ges-C [ppm]	CH <sub>4</sub> [ppm]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	H <sub>2</sub> S [ppm]
Rohgas (n = 462)	min	5,8	0	0	1,4	0,3	0	0,08	20,6	0
	max	8,9	1,7	1,3	23,4	12,7	2,4	0,13	21,5	1,9
	mittel	7,4	0	0,5	3,5	8,8	0,4	0,10	21,1	0,3
Reingas W1 (n = 232)	min	0	0	0	1,5	0,3	0,01	0,08	20,6	0
	max	0,96	0,38	1,22	6,0	17,8	2,6	0,13	21,5	0,92
	mittel	0,4	0,09	0,47	3,4	9,0	0,4	0,1	21,1	0,27
Reingas W2 (n = 232)	min	0	0	0	1,4	0,6	0,02	0,08	20,6	0
	max	0,73	0,36	1,24	9,9	12,4	2,32	0,13	21,5	0,54
	mittel	0,08	0,12	0,46	3,3	8,4	0,37	0,1	21,1	0,24
Reingas BF (n = 686)	min	0	0	0	0	0,3	0,01	0,08	20,4	0
	max	0,83	0,4	1,33	12,4	12,7	2,3	0,13	21,5	0,87
	mittel	0,1	0,13	0,49	3,1	8,6	0,38	0,11	21,1	0,02

W1: Wäscher 1, W2: Wäscher 2, BF: Biofilter

re aus Rindenmulch. Zur Vermeidung von Trockenzonen wird der Biofilter automatisch alle 24 h beregnet. Die Gesamtanlage ist auf einen maximalen Betriebsvolumenstrom von 2000 m<sup>3</sup>/h ausgelegt, die Biofilterflächenbelastung ist zwischen 100 und 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h zu variieren.

### Analytik

Die Abluftaufbereitungsanlage verfügt über 16 Messstellen (sieben Ställe, zwei Wäscher Eingänge, zwei Wäscher Ausgänge, drei Biofilterausgänge, zwei Außenluftmessstellen), an denen die Abluftzusammensetzung quasikontinuierlich gemessen wird. Die Messstellen werden über eine automatisch arbeitende Probenumschaltung angefahren, wobei die der aktivierten Messstelle folgende mit Druckluft ausgeblasen wird. Ein Messzyklus dauert 3 h. Sämtliche Messgasleitungen sind aus Edelstahl gefertigt, mit einer Rohrbegleitheizung versehen und auf 40 °C thermostabil eingestellt. *Tabelle 1* gibt einen Überblick über die analysierten Abluftinhaltsstoffe, verwendete Messprinzipien und Messbereiche. Die Messgenauigkeit beträgt 1 % vom Messbereichsendwert. Während der Flammenionisationsdetektor und der Multor wöchentlich kalibriert werden, erfolgt beim UV-Spektrometer und beim FTIR ein automatischer Nullspektrenabgleich alle 12 h. Sämtliche Messdaten werden in einem Prozessrechner unter Einbeziehung der auch gemessenen Volumenströme zu Massenströmen umgerechnet.

Die Zusammensetzung des Waschwassers der Wäscher wird dreimal in der Woche auf alle N-Komponenten untersucht. Einmal in der Woche wird der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) als Maß für den Eintrag von Staub und organischen Kohlenstoff in die Wäscher gemessen. Das Beregnungswasser für die Biofiltersegmente wird einmal in der Woche auf alle

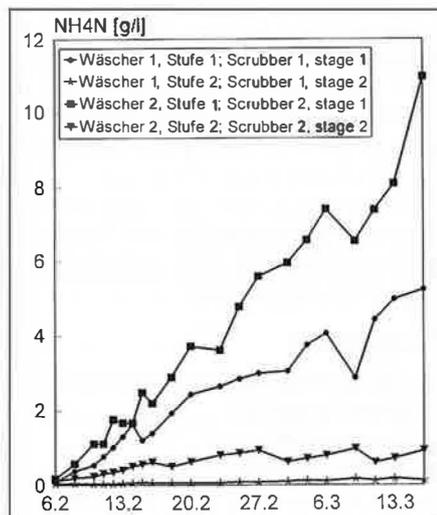


Bild 2: Anstieg der Ammonium-Stickstoffkonzentration in den Waschkolonnen

Fig. 2: Increase of ammonia nitrogen concentration in the washing columns

relevanten N-Komponenten hin analysiert, um mögliche Akkumulationerscheinungen nachweisen zu können.

### Ergebnisse

In dem ersten Versuchsabschnitt wurden durchschnittlich 2073 m<sup>3</sup>/h Abluft in der Abluftbehandlungsanlage behandelt, wobei 663 m<sup>3</sup>/h über den Wäscher 1 und 1410 m<sup>3</sup>/h über den Wäscher 2 im Parallelbetrieb gereinigt wurden. Die jeweils ersten Wäscherstufen wurden auf einen pH-Wert von 5, die zweiten Wäscherstufen auf einen pH-Wert von 3 bei einer konstanten Kreislaufwaschwassermenge von 4000 l/h eingestellt. Die drei Biofiltersegmente wurden mit je 691 m<sup>3</sup>/h parallel betrieben, was einer Filterflächenbelastung von 106 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h entsprach. Da die Reingasanalysenergebnisse an den drei Biofilterausgängen im Gegensatz zu den Wäscher Ausgängen keine auffälligen Unterschiede aufwiesen, wurden sie gemittelt.

Während sich die Konzentrationen an Lachgas, Methan, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Sauerstoff im Zuge der Abluftbehandlung nicht veränderten und die Gesamt-Kohlenstoffkonzentration nur geringfügig (-11 %) zurückging, ergaben sich für die Parameter Ammoniak und Schwefelwasserstoff deutliche Änderungen (Tab. 2). Ammoniak wurde in den Wäschern zu 95 bis 99 % abgetrennt und in den Biofiltern nochmals um 47 % reduziert. Die Reingaskonzentration betrug im Mittel 0,1 ppm. Schwefelwasserstoff wurde im Wesentlichen in den Biofiltern zurückgehalten. Durch die Abluftbehandlung sank die Schwefelwasserstoffkonzentration von 0,3 ppm auf 0,02 ppm (-93 %). Bei den Stickoxiden hingegen wurde eine Konzentrationszunahme beobachtet. Während im Rohgas praktisch kein NO<sub>x</sub> nachweisbar war, betrug die NO<sub>x</sub>-Konzentration im Wäscherreingas 0,09 bis 0,12 ppm und im Biofilterausgang 0,13 ppm. Stalltypische Geruchsemissionen auf der Biofilterreingasseite wurden bei mehrfachen Begehungen nicht wahrgenommen.

Die Untersuchungen der Waschwasserzusammensetzung beider Wäscher ergab den erwarteten Anstieg der Ammoniumkonzentration in der jeweils ersten Wäscherstufe (Bild 2). Dieser betrug für den Wäscher 1, Stufe 1 durchschnittlich 0,13 g/l · d (r<sup>2</sup> = 0,94), für den Wäscher 2, Stufe 1 durchschnittlich 0,25 g/l · d (r<sup>2</sup> = 0,97). Die Ammoniumkonzentration in den jeweils zweiten Waschstufen stieg außerordentlich langsam an, was im Wesentlichen auf einen geringen Tröpfchenübertrag aus den ersten Waschstufen zu erklären ist. Für eine quantitative Ammoniakabtrennung wäre demnach eine einstufige Wäsche ausreichend. Bedingt durch den Eintrag von Staub und flüchtigen organischen Verbindungen stiegen die CSB-Konzentrationen in jeweils ersten Wäscherstufen auf Werte bis zu 1,5 g/l an, die jedoch bislang zu keinen Betriebsstörungen führten.

Die Untersuchungen des sich im Kreislauf befindlichen Biofilterberegnungswassers zeigten keinerlei Anreicherungen von Stickstoffverbindungen.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98507 erhältlich.

### Schlüsselwörter

Abluft, Spurengase, Behandlung, Biofilter, Schweinemast

### Keywords

Waste air, trace gases, treatment, biofilter, pig fattening