Ökonomische Bewertung von Biofiltern

Milos Martinec und **Eberhard Hartung**
Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim

Bei Untersuchungen zur Optimierung von Biofiltern für den Einsatz bei der Geruchsreduktion aus Schweineställen wurden an einem Mastschweinestall zwei Filtermaterialien und verschiedene Bauweisen parallel getestet. Es wurde eine mittlere Geruchsreduktion von 70 bis 80 % festgestellt. Die Geruchskonzentration in der Rohluft stellt den Haupteinflußfaktor auf die Geruchsreduktion dar. Eine ausreichende Materialfeuchte in dem gesamten Volumen des Filtermaterials stellt eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe und möglichst kontinuierliche Geruchsreduktion dar. Durch Anwendung grob strukturierter Materialien wie Biochips können höhere Schütthöhen und Filtervolumenbelastungen erreicht werden, welche die Investitionskosten deutlich reduzieren. Dabei steigen jedoch der Strömungswiderstand und somit die Betriebskosten für Strom überproportional an. Deshalb sind diese Auswirkungen bei der Auslegung eines Biofilters und der sich daraus ergebenen Gesamtkosten besonders zu beachten.

Schlüsselwörter
Biofilter, Filtermaterial, Strömungswiderstand, Kosten, Geruchsreduktion

Einleitung

Wie bereits in vorangegangenen Langzeituntersuchungen bei einer Schütthöhe von 0,5 m festgestellt werden konnte, kann beim Einsatz eines neuen Filtermaterials (Biochips – grob gehackte Kokosnussschalen) die gleiche Geruchsreduktion (ca. 81 %) erzielt werden, wie bei der häufig in der Praxis eingesetzten Mischung von Kokosfaser-Fasertorf. Die Biochips zeichneten sich im Gegensatz zum Kokosfaser-Fasertorf allerdings durch einen deutlich geringeren Strömungswiderstand aus, was zu einer Senkung der Betriebskosten (Stromkosten) führt [1].
Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Geruchsreduktion sowie den Strömungswiderstand ausgewählter Filtermaterialien und unterschiedlicher Bauweisen zu ermitteln. Anhand der erhobenen Ergebnisse sollte eine Empfehlung für die Konstruktion und die Auslegung von Biofiltern (anhand von Planungsbeispielen für sogenannte „Musterbiofilter“) für die Minderung der Geruchsemissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen vorgenommen werden. Des weiteren sollte eine ökonomische Bewertung der untersuchten Varianten durchgeführt werden.

Material und Methode

Fünf Biofilter in geschlossener Bauweise (halbtechnischer Maßstab) wurden von 08.07.1999 bis 07.02.2000 an einen Versuchsstall für Mastschweine [2] angeschlossen (**Bild 1**). Die bei den einzelnen Biofiltern (2,19 m² Grundfläche) verwendeten Bauweisen, Schütthöhen und Filtermaterialien sind in **Tabelle 1** aufgeführt. Die Biofilter Nr. 1 und 2 wurden wie in den vorangegangenen Untersuchungen, die zwischen 19.02. bis 04.06.1999 durchgeführt wurden [1] ohne jegliche Veränderung mit den Filtermaterialien Biochips (gehackte Kokosnußschalen; Testmaterial von der Fa. Roth GmbH, Oberteuringen) und Kokosfaser-Fasertorf (Mischungsverhältnis 1 : 1) weiter betrieben. Wegen dem sehr geringeren Strömungswiderstand der Biochips wurden die Biofilter Nr. 3, 4 und 5 so umgebaut, daß eine Schütthöhe von 1 m bei der „down-stream“ und „up-stream“ Bauweise getestet werden konnte.
Die Anordnung der einzelnen Meßpunkte bei der „down-stream“ und „up-stream“ Bauweise ist in dem **Bild 2** dargestellt. Die Geruchsproben, welche vor und nach jedem einzelnen Biofilter genommen wurden, sind entsprechend dem Entwurf der europäischen Norm „Air quality– Determination of odour concentration by dynamic olfactometry“ [3] mit einem Olfaktometer TO7 analysiert worden. Die Steuerung der Anlage und die zusammenfassende Übersicht der eingesetzten Meßgeräte sind einem vorangegangenen Landtechnikartikel zu entnehmen [1].



Bild 1: Versuchsanlage während der Untersuchung

Tabelle 1: Versuchseinstellung

Biofilter	Filtermaterial	Schütthöhe	Bauart
Nr. 1	Biochips *	0,5 m	up-stream
Nr. 2	Kokos-Torf *	0,5 m	up-stream
Nr. 3	Biochips	1,0 m	down-stream
Nr. 4	Biochips	1,0 m	down-stream
Nr. 5	Biochips	1,0 m	up-stream

* Fortsetzung der Versuchseinstellung der ersten Hauptversuchsphase

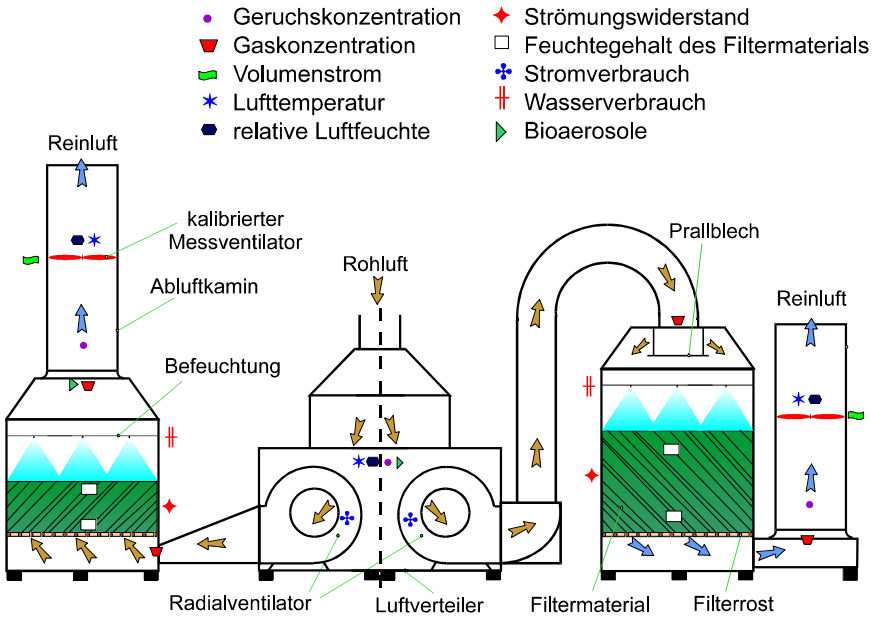


Bild 2: Anordnung der Messpunkte

Ergebnisse

Bezüglich der Geruchsreduktion wurden teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Biofiltern festgestellt. Insbesondere in den ersten 8 Versuchswochen konnte eine geringere Geruchsreduktion durch die Biofilter Nr. 3, 4 und 5 beobachtet werden (**Bild 3**). Diese wurde wahrscheinlich durch die sich noch nicht im Filtermaterial dieser Biofilter ausreichend entwickelten Population von Mikroorganismen während der Anlaufzeit der Biofilter verursacht, da im weiterem Verlauf des Versuches die Unterschiede zwischen den einzelnen Biofiltern deutlich geringer ausfielen. Dahingegen wiesen die aus der ersten Hauptversuchsphase übernommenen Biofilter Nr. 1 und 2 eine höhere und weniger schwankende Geruchsreduktion während der gesamten Untersuchungen auf. (Bild 3). Die berechnete mittlere Geruchsreduktion bei den Varianten mit 0,5 m Schütthöhe wies bei Biochips (69,6 %) und Kokos-Torf (70,1 %) kaum Unterschiede auf (**Tabelle 2**). Bei den „down-stream“ Varianten konnte der höchste mittlere Abscheidegrad von 73,3 bzw. 75,5 % erreicht werden (Tabelle 2). Bei dem Filter Nr. 5 wurde der niedrigste mittlere Geruchsabscheidegrad von 57,1 % festgestellt. Wenn die negative Reduktion von -42,6 %, die vermutlich durch einen Auswertungsfehler entstand, herausgenommen wird, beträgt der mittlere Geruchsabscheidegrad von Filter Nr. 5 61,5 % (Tabelle 2). Im Mittelwert lag die Geruchsreduktion des Filters Nr. 5 im Vergleich zu den anderen Varianten (Nr. 1, 3 und 4) um etwa 15 bis 20 % niedriger, was im Vergleich zu den anderen Biofiltern durch einen geringeren Wasserverbrauch und einen höheren Anteil von trockenen Stellen im Filtermaterial erklärt werden kann.

Bei der Betrachtung der Geruchsreduktion in Abhängigkeit von der Filtervolumenbelastung konnte bei allen untersuchten Varianten kein eindeutiger Zusammenhang zwischen diesen zwei Parametern festgestellt werden. Die Streuung der Geruchsreduktion nahm jedoch mit steigender Filtervolumenbelastung zu.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass eine steigende Geruchskonzentration in der Rohluft eine Verbesserung der Geruchsreduktion bei allen Varianten verursachte (**Bild 4**). Bei einer Geruchskonzentration der Rohluft, die größer als etwa 1.000 GE/m³ war, betrug die Geruchsreduktion bei allen Varianten jeweils mehr als 50 %. Bei den Biofiltern Nr. 1 und 2 streuten die einzelnen Werte im ähnlichen Bereich wie in den vorangegangenen Untersuchungen [1]. Diese Ergebnisse sprechen gegen einen möglichen Einfluss der Betriebszeit der Filtermaterialien auf die Höhe der Geruchsreduktion (Bild 4).

Bei allen Varianten stieg die spezifische Reinigungsleistung an Geruch [GE·m^{-3}·s^{-1}] mit einer höheren spezifischen Filterbelastung an Geruch

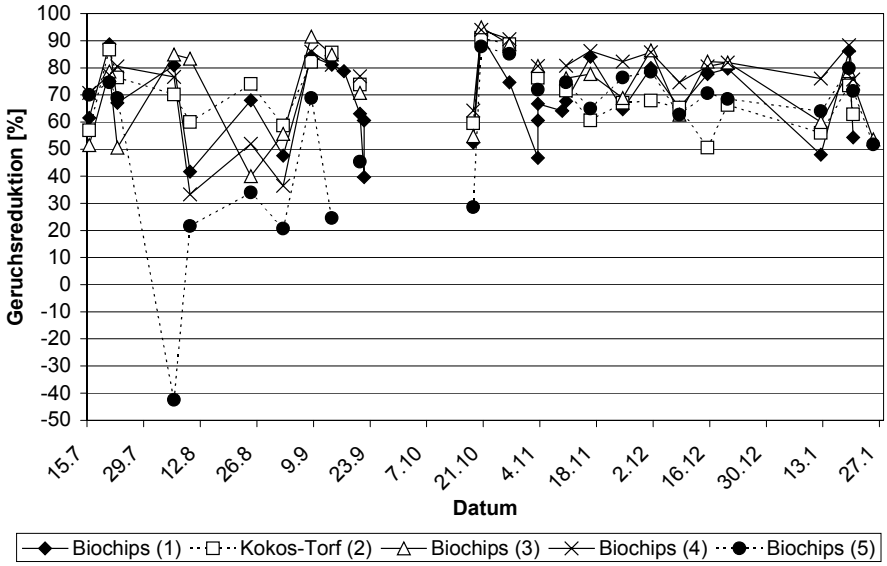


Bild 3: Verlauf der relativen Geruchsreduktion durch die untersuchten Filtermaterialien bzw. Bauweisen (Juli 1999 bis Januar 2000)

Tabelle 2: Geruchsreduktion der untersuchten Filtermaterialien bzw. Bauweisen

Biofilter (Nr.)	Biochips (1)	Kokos-Torf (2)	Biochips (3)	Biochips (4)	Biochips (5)
Mittelwert [%]	69,6	70,1	73,3	75,5	(57,1) 61,5*
Median [%]	67,8	69,0	78,2	80,6	(68,9) 68,9*
Min [%]	41,7	50,6	40,0	33,3	(-42,6) 20,6*
Max [%]	91,9	91,1	94,9	94,0	(87,9) 87,9*
Standardabweichung [%]	13,9	10,9	14,4	14,9	(28,9) 20,5*
Standardfehler des Mittelwertes [%]	2,8	2,2	2,9	3,0	(5,9) 4,3*
Probenanzahl [n]	24	24	24	24	(24) 23*

* Werte wurden berechnet ohne den einmalig aufgetretenen Wert (Messfehler) von - 42,6 %

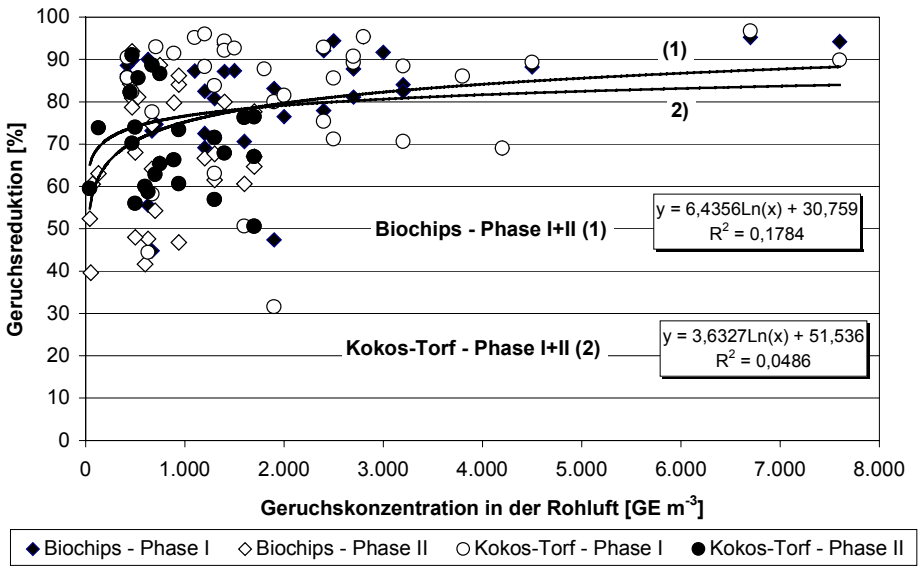


Bild 4: Zusammenhang der Geruchsreduktion und der Geruchskonzentration in der Rohluft bei den Filtermaterialien Biochips und Kokosfaser-Fasertorf während den gesamten Untersuchungsphasen

[GE·m^{-3}·s^{-1}] an. Dieser Zusammenhang konnte jeweils durch eine positive lineare Regressionsgerade (R^2 = 0,75 bis 0,96) beschrieben werden. Es wurden jedoch keine eindeutigen Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten festgestellt. Die Geruchskonzentration in der Rohluft stellte somit den Haupteinflussfaktor auf die spezifische Reinigungsleistung an Geruch dar [4, 5].

Zwischen den einzelnen Filtermaterialien bzw. Bauweisen konnten deutliche Unterschiede hinsichtlich des resultierenden Strömungswiderstandes festgestellt werden. Im **Bild 5** ist die Höhe des Strömungswiderstandes in Abhängigkeit von der Filtervolumenbelastung am Ende des Versuchszeitraums, d.h. nach einer Betriebszeit von einem Jahr bei Biofilter Nr. 1 und 2 bzw. von 32 Wochen bei Biofiltern Nr. 3 und 5 dargestellt. Der Strömungswiderstand des Biofilters Nr. 4 konnte wegen eines, zu diesem Zeitpunkt fehlerhaften Messsignals nicht dargestellt werden. Bei Kokosfaser-Fasertorf wurde eine ausgeprägte Streuung des Strömungswiderstandes festgestellt. Die Ursache dafür war der unterschiedlich hohe Feuchtegehalt des Filtermaterials, der im Gegensatz dazu bei den grob strukturierten Biochips keinen Einfluss zeigte. Somit wurde z.B. der gleiche Strömungswiderstand von ca. 430 Pa bei einer Filtervolumenbelastung von ca. 500 m^3·m^{-3}·h^{-1} bei hohem Feuchtegehalt des Filtermaterials als auch bei einer Filtervolumenbelastung von ca. 900 m^3·m^{-3}·h^{-1} bei geringem Feuchtegehalt des Filtermaterials durch Kokosfaser-Fasertorf verursacht (Bild 5).

Mit zunehmender Betriebszeit stieg der Strömungswiderstand der Biofilter Nr. 1 und 2 an. Bei einer Filtervolumenbelastung von 600 m^3·m^{-3}·h^{-1} konnte bei Biochips eine Erhöhung des Strömungswiderstandes von ca. 20 auf ca. 45 Pa, bei Kokosfaser-Fasertorf dagegen von ca. 50 auf ca. 250 bis 450 Pa beobachtet werden. Der Anstieg der Strömungswiderstände kann sowohl auf die sich mit der Versuchszeit einhergehende verstärkende Verdichtung der Filtermaterialien durch das Eigengewicht des Filtermaterials als auch auf die Ablagerung von Staub im Filtermaterial zurückgeführt werden. Wie anhand der Absenkung der Schütthöhe des Filtermaterials beobachtet werden konnte, zeichneten sich die Biochips durch eine bessere Strukturstabilität als die Mischung von Kokosfaser-Fasertorf aus. Am Ende der Untersuchung betrug die Absenkung ca. 10 % bei allen Varianten mit Biochips und ca. 20 % bei der Kokosfaser-Fasertorfvariante.

Die Leistungsaufnahme des eingesetzten Radialventilators bei der Variante mit Biochips in Biofilter Nr. 1 (0,5 m) war nach der Betriebszeit von einem Jahr bei einer Filtervolumenbelastung von 600 m^3·m^{-3}·h^{-1} um ca. 40 bis 55 % geringer als die des bei der Referenzvariante mit Kokosfaser-Fasertorf (Nr. 2) eingesetzten Ventilators. Im Vergleich zu dem relativen Unterschied der elektrischen Leistungsaufnahmen der beiden Filtermaterialien nach einer Betriebszeit von 15 Wochen vergrößerte sich somit die Differenz zwischen den zwei Filtermaterialien um ca. 10 bis 25 %. Das bedeutet, daß mit längerer Betriebszeit der Strömungswiderstand bei der Mischung von Kokosfaser-Fasertorf wesentlich schneller anstieg als der bei Biochips und somit bei der Verwendung von Biochips in Relation zu Kokosfaser-Fasertorf immer geringere Stromkosten zu erwarten sind.

Musterplanung und Kostenabschätzung einer Anlage im technischen Maßstab

Anhand der an der Versuchsbiofilteranlage erhobenen Ergebnisse und mit Hilfe von Literaturangaben bzw. Informationen und Erfahrungswerten von Firmen, die in dem Bereich der biologischen Abluftreinigung tätig sind, wurde die Musterplanung einer technischen Anlage mit einer Abschätzung der Verfahrenskosten vorgenommen.

Dimensionierung

Die an der Versuchsanlage durchgeführten eigenen Untersuchungen zeigten, daß ein Biofilter auf eine Filtervolumenbelas-

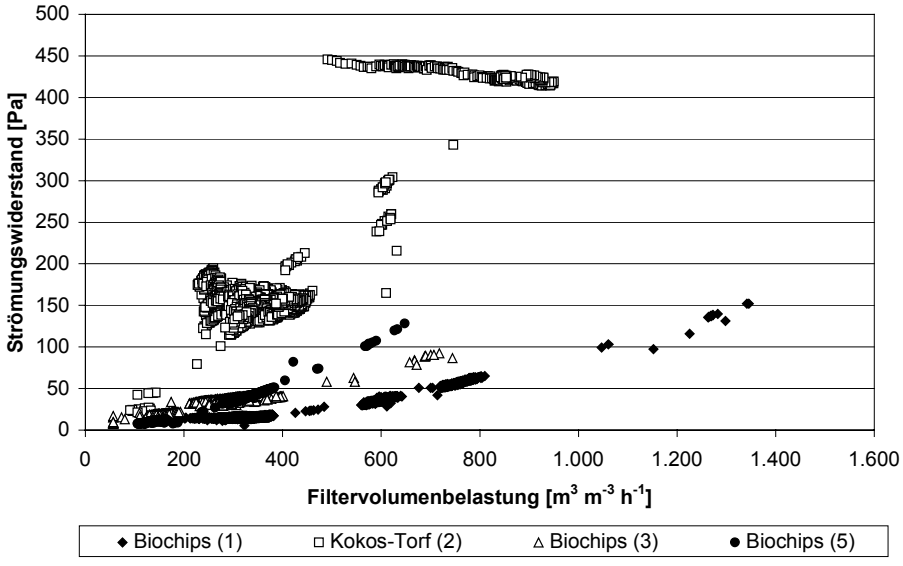


Bild 5: Beispielhafter Verlauf der Strömungswiderstände der untersuchten Filtermaterialien bzw. Bauweisen in der 32 Versuchswoche (02.02. bis 07.02.00) in Abhängigkeit von der Filtervolumenbelastung

tung von 1.200 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ dimensioniert werden kann, ohne daß dadurch eine negative Veränderung der Geruchsreduktion verursacht wird. HOPP [6] konnte sogar bei einer Filterbelastung zwischen 1.400 und 1.950 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ eine Geruchsreduktion von über 80 % feststellen. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass die mikrobielle Abbaukapazität noch nicht erreicht wurde und die Höhe der Geruchsreduktion daher von der Absorption zwischen der Gas- und Flüssigphase abhängt. Es muss daher eine ausreichende Materialfeuchte in dem gesamten Volumen des Filtermaterials eingehalten werden. Mit höherer Filtervolumenbelastung steigen die Ansprüche an die Befeuchtung des Filtermaterials, da bei deutlich größeren Luftmengen mehr Feuchtigkeit je Zeitabschnitt aus dem Filtermaterial verdunstet.

Aufbau des Biofilters

Für die Minderung der Geruchsemissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen wurde ein Musterbiofilter entworfen, der sehr einfach aufgebaut ist damit sein Betrieb mit minimalem finanziellem wie auch personellem Aufwand verbunden ist. Er kann an die zentrale wie auch dezentrale Absaugung der Stallabluft angeschlossen werden und besteht aus den in **Bild 6** dargestellt Komponenten.

Eine wichtige Voraussetzung für den Betrieb eines Biofilters ist die Verwendung eines geeigneten Gebläses (i.d.R. Radialventilator), um die Versorgung der Tiere mit der Frischluft sowie die Abführung der Abluft bei gleichzeitigem Einsatz eines Biofilters sicherstellen zu können (DIN 18910). Bei landwirtschaftlichen Tierställen werden im Allgemeinen Axialventilatoren eingesetzt, die meist nur eine Druckstabilität bis etwa 120 Pa aufweisen. Wie aber die eigenen Ergebnisse zeigten, ist schon bei einem Biofilter mit einer 0,5 m Schüttung von Biochips oder einem ähnlich grob strukturierten Filtermaterial und einer maximalen Filtervolumenbelastung von 600 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ mit einem Strömungswiderstand der gesamten Anlage von etwa 110 Pa zu rechnen (ca. 40 Pa Filtermaterial; ca. 70 Pa Zentralabsaugung). Durch eine Erhöhung des Strömungswiderstandes des Filtermaterials z. B. durch Staubablagerungen oder durch die Verwendung fein strukturierter Filtermaterialien sowie einer höheren Filtervolumenbelastung könnte daher die Druckstabilität eines Axialventilators leicht überschritten werden.

Bei Biofiltern mit größerer Filterfläche und einer Zentralabsaugung der Abluft aus dem jeweiligen Stall erscheint es sinnvoll, einen Luftverteilungskanal einzuplanen, um dadurch eine bessere Luftverteilung über die gesamte Filterfläche erzielen zu können. Wird der Biofilter an einen Stall mit dezentraler Absaugung angeschlossen, sollte die Filterwanne so unterteilt werden, dass keine gegenseitige Beeinflussung der Entlüftung der einzelnen Stallabteile auftritt. In diesem Falle kann auf den Luftverteilungskanal verzichtet werden und die Luft direkt unter den Rost des Biofilters zugeführt werden. Da mit einer unterschiedlichen Belastung der einzelnen Filtersegmente zu rechnen ist, muss die Befeuchtung der jeweiligen Filtersegmente getrennt erfolgen.

Die eigenen Ergebnisse zeigten ebenso, dass auf die Entstaubung der Rohluft bei Verwendung von sehr grob strukturierten Filtermaterialien, die eine ähnliche oder eine größere Korngröße wie Biochips besitzen (94 % der Partikel mit der Korngröße zwischen 8 und 20 mm) verzichtet werden kann. Damit können Investitionskosten und ein Teil der variablen Kosten eingespart werden. Es wäre jedoch in einer Langzeitstudie zu überprüfen, ob bei einem mehrjährigen Betrieb eventuelle Veränderungen der Geruchsreduktion und des Strömungswiderstands (Anstieg um ca. 10 bis 15 Pa in einem Jahr) auftreten würden.

Für einen in der Landwirtschaft eingesetzten Biofilter scheint die klassische offene „up-stream“ Bauweise mit einer oberflächigen Befeuchtung des Filtermaterials als am besten geeignet zu sein. Die „down-stream“ Bauweise und damit die Ausführung als Containerfilter (häufig bei den industriellen Anlagen) ist wegen dem relativ hohen Preis des Containers eher ungeeignet. Die klassische Ausführung des Biofilters als Betonbecken ist etwa um 25 % (20 cm Boden- und Wandstärke; Beton B25wu; ca. 700 DM/m³) kostengünstiger als ein Containerfilter. Bei Filterflächen von mehr als 100 m² kann die alternative Ausführung des Behälters als Folienbecken um etwa 10 bis 50 % (Fa. Fritz Paulmichel GmbH, Leutkirch) günstiger als ein vergleichbarer Container ausfallen.

Der Filterrost kann aus verschiedenen Materialien oder ihrer Kombination hergestellt werden, die sich in Investitionskosten und Lebensdauer unterscheiden. Ein aus Glasfaserkunststoff (GFK) hergestellter Filterrost zeichnet sich durch eine sehr hohe Lebensdauer aus, ist jedoch mit hohen Investitionskosten (ca. 420 DM/m²) verbunden. Daher wird für die Unterkonstruktion üblicherweise Bongossiholz verwendet und dieses mit einem Lattenrost (Lärchenholz) und/oder einem verzinkten Drahtgitter kombiniert (ca. 165 DM/m²). Wie die eigenen Untersuchungen gezeigt haben, kann auch Fichtenholz (Unterkonstruktion und Lattenrost) in Kombination mit einem verzinkten Drahtgitter verwendet werden, was eine weitere Senkung der Investitionskosten (ca. 80 DM/m²) mit sich bringt.

Die Befeuchtung des Filtermaterials sollte durch einen Befeuchtungsautomaten in Kombination mit einem für das Filtermaterial speziell kalibrierten Feuchtesensor durchgeführt werden. Eine manuelle Befeuchtungseinrichtung [7], [4] kann bei der sehr hohen Filtervolumenbelastung eine durchgehend bedarfsgerechte Befeuchtung des Filtermaterials nicht gewährleisten und wäre mit einem sehr hohen personellen Aufwand verbunden. Ein Befeuchtungsautomat z.B. MULTIRAIN UniWA (Fa. Staudinger GmbH; Loiching-Kronwieden) kann hingegen die Filtermaterialfeuchte in bis zu zehn Biofiltersegmenten bei einer entsprechenden Anzahl an Feuchtefühlern parallel regeln.

Durch Verwendung eines leichten, über dem Biofilter angebrachten Daches z.B. aus Trapezblech kann die Austrocknung

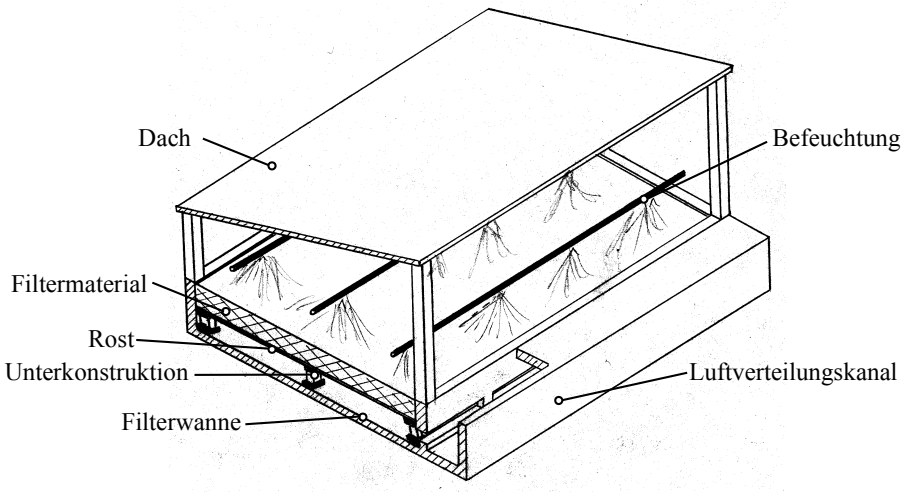


Bild 6: Schematische Darstellung eines Musterbiofilters zur Geruchsreduktion aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen

des Filtersubstrats durch Sonneneinstrahlung verringert werden. Desweiteren kann eine Übernässung des Filtersubstrats und das Ansammeln von Überschusswasser im Unterbau des Filters bei starken Regenfällen sowie eine eventuelle Versiegelung des Biofilters bei starken Schneefällen verhindert werden. Die Verwendung eines Daches führt jedoch zu einer Erhöhung der Investitionskosten um etwa 60 DM pro m² Dachfläche.

Kostenabschätzung von Anlagen mit unterschiedlicher Auslegung

Für die Kostenabschätzung von Biofiltern mit unterschiedlicher Auslegung wurde in Excel ein spezielles Datenblatt erstellt, in das Tierzahl, Temperaturzone (DIN 18910), maximale Filtervolumenbelastung, Schütthöhe, die Preise der einzelnen Bauvorgänge und Baukomponenten, sowie Strom und Wasser eingegeben werden können. Auf Basis dieser Daten erfolgt die Berechnung der notwendigen Filterfläche und des Filtervolumens sowie die daraus resultierenden Fixkosten [4, 8]. Bei der mit dem Betrieb des jeweiligen Musterbiofilters verbundenen Berechnung der Stromkosten wurde anhand der in den eigenen Untersuchungen gewonnenen Datenbasis jeweils einem Abluftvolumenstrom bzw. einer Filtervolumenbelastung der entsprechende mittlere Strömungswiderstand des Filtermaterials zugeordnet und dazu der nach Erwartungswerten geschätzte Strömungswiderstand einer Zentralabsaugung addiert. Die für die Förderung des Abluftvolumenstroms bei entsprechendem Strömungswiderstand der Gesamtanlage benötigte elektrische Leistung eines Gebläses, wurde mit der Software eines Herstellers von Kunststoff-Gebläsen (Fa. Colasit AG; Spiez, Schweiz) ermittelt. Für die Berechnung der Wasserkosten wurde ein Wasserbedarf von 2,3 g $\cdot m^{-3}$ Abluft angenommen. Aus der Berechnung der Investitionskosten können die einzelnen Baukomponenten nach Bedarf herausgenommen bzw. die Kosten für eine Konditionierung der Rohluft (Wäscher, Staubfilter, etc.) einbezogen werden.

Tabelle 3: Einfluss des Filtermaterials und der Ausstattung eines Musterbiofilters auf die Kostenzusammensetzung (Stall mit 400 Mastsplätzen, max. Filtervolumenbelastung: 600 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$; Schütthöhe: 0,5 m, Filterfläche: 112 m² / 6 x 18,7 m)

	Kokosfaser-Fasertorf		Biochips	
	Empfohlene Ausstattung	Minimale Ausstattung*	Empfohlene Ausstattung	Minimale Ausstattung*
Investitionskosten				
Erdaushub [DM]	3.544	3.544	3.544	3.544
Unterboden [DM]	2.360	2.360	2.360	2.360
Filterwanne [DM]	21.433	21.433	21.433	21.433
Luftverteilung [DM]	13.093	0	13.093	0
Filterrost [DM]	18.144	8.982	18.144	8.982
Befeuchtung [DM]	3.640	3.640	3.640	3.640
Dach [DM]	7.670	0	7.670	0
Ventilatoren [DM]	5.000	5.000	5.000	5.000
Filtermaterial [DM]	4.480	4.480	11.200	11.200
Summe [DM]	77.004	47.079	83.724	53.799
Summe [DM/m³ Luftleistung]	2,29	1,40	2,49	1,60
Summe [DM/Mastplatz]	192,51	117,70	209,31	134,50
Fixkosten				
Summe [DM/Jahr]	11.999	7.510	13.679	9.190
Summe [DM/m³ Luftleistung]	0,36	0,22	0,41	0,27
Summe [DM/Mastschwein]	11,11	6,95	12,67	8,51
Variable Kosten				
Strom [DM]	3.933	3.933	2.218	2.218
Wasser [DM]	1.362	1.362	1.362	1.362
Wartung [DM]	360	360	360	360
Summe [DM/Jahr]	5.655	5.655	3.940	3.940
Summe [DM/m³ Luftleistung]	0,17	0,17	0,12	0,12
Summe [DM/Mastschwein]	5,24	5,24	3,65	3,65
Gesamtkosten				
[DM/Jahr]	17.654	13.165	17.619	13.130
[DM/m³ Luftleistung]	0,53	0,39	0,52	0,39
[DM/Mastschwein]	16,35	12,19	16,31	12,16

* ohne Luftverteilung, Unterkonstruktion und Lattenrost aus Fichtenholz, ohne Dach

Der Einfluss des Filtermaterials sowie der Ausstattung des jeweiligen Musterbiofilters auf die zu erwartenden Kosten ist in **Tabelle 3** dargestellt. Für beide Filtermaterialien (Kokosfaser-Fasertorf und Biochips) wurde eine Auflistung der Investitionskosten für zwei unterschiedliche Ausstattungsvarianten (Standard und Minimal) vorgenommen. Bei der minimalen Ausstattung wurde auf den Luftverteilungskanal sowie eine Überdachung des Biofilters verzichtet und der Filterrost aus Fichtenholz gefertigt. Hierdurch können im Vergleich zur Standardausstattung etwa 39 bzw. 35 % der Investitionskosten eingespart werden. Mit dem Einsatz von Biochips ist im Vergleich mit Kokosfaser-Fasertorf ein Anstieg der Investitionskosten um etwa 9 % verbunden, was bei den Fixkosten einen Mehrbetrag von 1,56 DM pro produziertem Mastschwein ergibt. Dagegen kann bei den variablen Kosten durch die Verwendung von Biochips, die einen deutlich geringeren Strömungswiderstand verursachen, eine Ersparnis von 1,59 DM pro produziertem Mastschwein erzielt werden. Dadurch werden die Gesamtkosten des Musterbiofilters mit Biochips um etwa 4 bzw. 3 Pfennig pro produziertem Mastschwein niedriger ausfallen. Im Vergleich zu Literaturangaben liegen die geschätzten Gesamtkosten des Musterbiofilters (12,16 und 16,35 DM pro produziertem Mastschwein) im Bereich der Angaben von HARTUNG et al. (1997), der einen auf die Filtervolumenbelastung von 600 ausgelegten Biofilter untersuchte.

Biofilter in der landwirtschaftlichen Tierhaltung können jedoch auf eine zwei- bis dreifache Filterbelastung d.h. 1200 bis 1800 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ ausgelegt werden. Desweiteren kann bei groben Filtermaterialien mit stabiler Struktur wie z.B. Biochips eine Schütthöhe von 1 m verwendet werden.

Für einen beispielhaften Stall mit 400 Mastschweinen wurden daher unterschiedlich ausgelegte und mit Biochips befüllte Musterbiofilter (in der Standardausstattung) hinsichtlich ihrer Investitionskosten verglichen (**Bild 7**). Durch die Erhöhung der Filtervolumenbelastung von 600 auf 1.600 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ sowie der Schütthöhe von 0,5 auf 1 m, konnte die Fläche des Biofilters von 112 auf 21 m² verkleinert werden und dadurch auch die Investitionskosten für einen Biofilter um mehr als das dreifache (von 2,49 auf 0,80 DM$\cdot m^{-3}$ installierter Luftleistung) gesenkt werden. Die geschätzten Investitionskos-

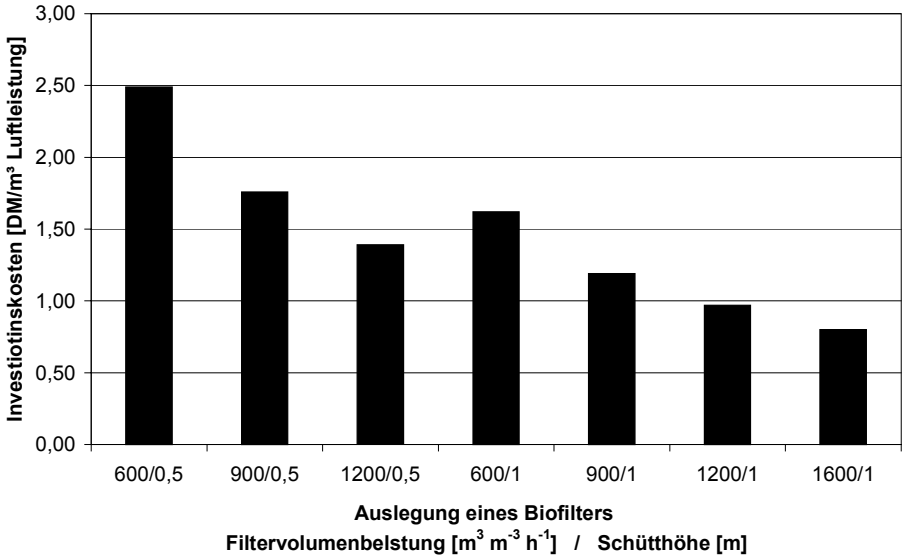


Bild 7: Investitionskosten von unterschiedlich ausgelegten Musterbiofiltern (Standardausstattung), befüllt mit Biochips, für 400 Mastplätze

ten bei den zwei höchsten Belastungsvarianten liegen unter denen, die HARTUNG et al. [4] und HOPP [6] ermittelt haben. Bei der Auslegung mit der Filtervolumenbelastung von 600 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ und der Schütthöhe von 1 m stiegen die Investitionskosten im Vergleich zur vorgehenden Variante mit 1200 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ bei 0,5 m an, da bei gleicher Filterfläche (56 m²) ein tieferer Erdaushub, höhere Wände der Filterwanne sowie die doppelte Menge an Filtermaterial erforderlich wären.

Neben den Investitionskosten bzw. Fixkosten sind auch die variablen Kosten, insbesondere die Stromkosten von Interesse (**Bild 8**). Die Fixkosten können durch eine etwa 2,7-fache Steigerung der Filtervolumenbelastung von etwa 8,00 auf 4 DM gesenkt werden. Dementsprechend steigen der Strömungswiderstand des Filtermaterials und damit auch die Stromkosten an, die für den Anstieg der variablen Kosten von ca. 4 auf 7 DM verantwortlich sind. Die Gesamtkosten sinken mit steigender Filtervolumen-belastung, erreichen jedoch bei etwa 1.100 bis 1.200 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ ihr Minimum (ca. 10,60 DM). Dabei kann das durch die hohe Absorption und die mikrobielle Abbaurate gegebene Potential des Filtermaterials, das auch eine höhere Filtervolumenbelastung zulassen würde, nicht voll ausgeschöpft werden [4, 6].

Für die Abluft aus einem Stall mit 400 Mastsplätzen wird bei der optimalen Auslegung (Filtervolumenbelastung von 1.200 $m^3 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ bei 1 m Schütthöhe) nur eine kleine Filterfläche von 28 m² (3 x 9,4 m) benötigt. Es besteht daher die Möglichkeit die zu reinigende Abluft an der kleineren Seite des Filters direkt unterhalb des Filterrost zuzuführen und auf den Luftverteilungskanal zu verzichten. Dadurch können die Gesamtkosten auf 10,07 DM pro produziertem Mastschwein reduziert werden. Wenn der Musterbiofilter in der minimalen Ausführung betrieben wäre, könnten an den Gesamtkosten weitere 0,32 bzw. 0,30 DM pro produziertem Mastschwein am Filterrost bzw. Dach eingespart werden, so daß die Gesamtkosten 9,45 DM pro produziertem Mastschwein betragen würden. Das entspricht Investitionskosten von 24.353 DM bzw. 0,72 DM/m³ installierter Luftleistung. Durch die einfache Ausführung des Musterbiofilters besteht die Möglichkeit einige Arbeiten in Eigenleistung durchzuführen, womit die Investitionskosten nach überschlägigen Berechnungen von HARTUNG et al. [4] etwa um weitere 20 % reduziert werden könnten.

Wie zu erwarten war, sinken die Investitionskosten mit steigender Stallgröße bzw. Anzahl der Mastplätze von ca. 1,30 DM/m³ Luftleistung (200 Mastplätze) auf etwa 0,75 DM/m³ Luftleistung (2.000 Mastplätze). Der Verlauf der Funktion wird jedoch immer flacher und ist vergleichbar mit Modellberechnungen von SCOTFORD et al. [9].

Fazit

Hinsichtlich der Reduktion von Geruch konnten teilweise Unterschiede zwischen den verschiedenen Filtermaterialien bzw. Bauweisen festgestellt werden, die jedoch im wesentlichen auf die ungleichmäßige Befeuchtung des Filtermaterials zurückzuführen sind. Beim Einsatz von einem neuen Filtermaterial (Biochips) kann die gleiche Geruchsreduktion erzielt werden, wie bei der häufig in der Praxis eingesetzten Mischung von Kokosfaser-Fasertorf. Das Filtermaterial beeinflußt jedoch im hohe Maße den Strömungswiderstand des Biofilters und dadurch die variablen Kosten (Stromkosten). Bei der Planung eines Biofilters muß auf ein optimales Verhältnis der Dimensionierung zu den Gesamtkosten des Biofilters geachtet werden. In weiterführenden Untersuchungen sollte überprüft werden, welche Betriebszeiten bei Biofiltern mit grob strukturiertem Filtermaterial wie z. B. Biochips ohne eine bedeutende Verschlechterung der Geruchsreduktion und/oder Erhöhung des Strömungswiderstandes erreicht werden können.

Literatur

Bücher sind mit • gekennzeichnet

[1] *Martinec, M., E. Hartung und T. Jungbluth:* Einfluss unterschiedlicher Filtermaterialien auf die Effektivität von Biofiltern. Agrartechnische Forschung 6 (2000) Heft 2, S. 40-45

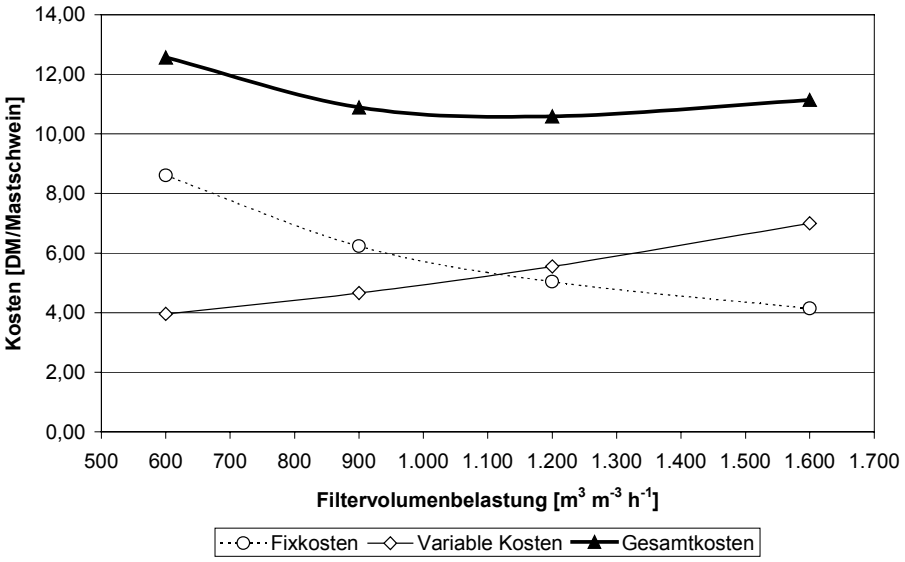


Bild 8: Kostenentwicklung in Abhängigkeit von der Filtervolumenbelastung eines Musterbiofilters mit Standardausstattung für 400 Mastsplätze, befüllt mit 1 m Biochips

[2] *Hartung, E.; A. Hauser; E. Gallmann und A. Stube:* Die tier- und umweltgerechte Mastschweinehaltung ist das Ziel. 54. Jahrgang Landtechnik (1999), Heft 4, S. 236-237

[3] *CEN* (1999): Draft prEN 13725 „Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry“. European Committee for standardisation, Brüssel (1999)

[4] • *Hartung, E.; M. Martinec und T. Jungbluth*: Reduzierung der Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Tierhaltungsanlagen der Landwirtschaft durch biologische Abluftfilter. VDI-MEG-Schrift 320, Hohenheim (1997)

[5] • *Mannebeck, D.:* Biofilter an Schweineställen – Analyse der Wirkungsweise und Konsequenzen. Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG) 260, Dissertation, Kiel (1995)

[6] • *Hopp, J.:* Entwicklung und Bau von Biofilteranlagen im Baukastensystem und verfahrenstechnische Bewertung. VDI-MEG-Schrift 327, Dissertation, Kiel (1998)

[7] *Zeisig, H.D., G. Langenegger und J. Kreitmeier:* Biofilter für Tierhaltungen. Dimensionierung–Bau–Betrieb. Landtechnik-Bericht, Heft 4 (1993)

[8] • *Reisch, E. und A. Bechteler*: Betriebslehre. Landwirtschaftliches Lehrbuch 3, Verlag Eugen Ulmer (1995)

[9] *Scotford, M.; C. H. Burten und V. R. Phillips:* Minimum-Cost Biofilters for Reducing Odours and Other Aerial Emissions from Livestock Buildings: Part 2, A Model to Analyse the Influence of Design Parameters on Annual Costs. I. agric. Engng. Res. (1996), Heft 64, S. 155-164

Die Arbeit wurde im Rahmen des Graduiertenkollegs „Vermeidungsstrategien klimarelevanter Gase“ der DFG durchgeführt.

Autoren

Dipl.-Ing. Milos Martinec
ENERSYS®
Gesellschaft für Energiesysteme mbH
Josefstr. 10
78166 Donaueschingen
Tel.: 0771 / 837 90 - 80
Fax: 0771 / 837 90 – 99
E-mail: m.martinec@enersys.de

Dr. Eberhard Hartung
Institut für Agrartechnik
Universitaet Hohenheim
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel: +49/(0)711/459-2507
Fax: +49/(0)711/459-4307
E-mail: vtp440ha@uni-hohenheim.de