



Ministerium für Ländliche Entwicklung,  
Umwelt und Verbraucherschutz



## **Fachbeiträge des Landesumweltamtes Heft-Nr. 95**

### **Biologische Abluftreinigungsanlagen**

### **Erfahrungsbericht zu den Anwendungsmöglichkeiten im Land Brandenburg**



LANDESUMWELTAMT  
BRANDENBURG



# **Biologische Abluftreinigungsanlagen**

**Erfahrungsbericht zu den  
Anwendungsmöglichkeiten  
im Land Brandenburg**

**Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Titelreihe – Heft-Nr. 95**

**Biologische Abluftreinigungsanlagen –  
Erfahrungsbericht zu den Anwendungsmöglichkeiten im Land Brandenburg**

**Herausgeber und Copyright:**

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)  
Referat Umweltinformation /Öffentlichkeitsarbeit (S5)  
Berliner Straße 21-25  
14467 Potsdam  
Tel.: 0331 / 23 23 259  
Fax: 0331 / 29 21 08  
E-Mail: [info@lua.brandenburg.de](mailto:info@lua.brandenburg.de)  
[www.brandenburg.de/land](http://www.brandenburg.de/land)

**Bearbeiter:**

LUA, Abteilung Technischer Umweltschutz (TUS)  
Referat Technologie, Anlagensicherheit – T 1, Dipl.-Ing. Torsten Unverzagt  
Tel.: 0331 / 2776-416

Potsdam, im Juli 2005

Die Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Dritten zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Der Bericht ist urheberrechtlich geschützt.

# Inhalt

|          |                                                                                 |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Allgemeine Grundlagen der biologischen Abluftreinigung</b>                   | <b>4</b>  |
| 1.1      | Wirkungsweise Biofilter                                                         | 4         |
| 1.2      | Wirkungsweise Biowäscher                                                        | 5         |
| 1.3      | Anlagenkombinationen aus Biofilter und Biowäscher                               | 6         |
| 1.4      | Dimensionierung von Anlagen                                                     | 6         |
| 1.4.1    | Biofilter                                                                       | 6         |
| 1.4.2    | Biowäscher                                                                      | 6         |
| 1.5      | Gegenüberstellung von Biowäscher- u. Biofilteranlagen                           | 7         |
| <b>2</b> | <b>Anwendbarkeit und Grenzen der biologischen Abluftreinigung</b>               | <b>8</b>  |
| <b>3</b> | <b>Überwachung von Biofilteranlagen</b>                                         | <b>8</b>  |
| <b>4</b> | <b>Optimierungsmöglichkeiten bei bestehenden Biofilteranlagen</b>               | <b>9</b>  |
| <b>5</b> | <b>Praxisprobleme beim Betrieb von Biofilteranlagen</b>                         | <b>10</b> |
| 5.1      | Rohgasleitungen                                                                 | 10        |
| 5.2      | Ventilator / Gebläse                                                            | 11        |
| 5.3      | Konditionierungseinheit / Wäscher                                               | 11        |
| 5.4      | Druckkammer / Luftverteilungssystem                                             | 11        |
| 5.5      | Filterboden / Rostboden                                                         | 11        |
| 5.6      | Filtermaterial                                                                  | 12        |
| 5.7      | Reingasableitung (nur bei geschlossenen Biofiltern)                             | 12        |
| <b>6</b> | <b>Erfahrungen mit biologischen Abluftreinigungsanlagen im Land Brandenburg</b> | <b>13</b> |
| 6.1      | Bestand an biologischen Abluftreinigungsanlagen im Land Brandenburg             | 13        |
| 6.2      | Rohluftdaten, Abscheideleistung, Probleme beim Anlagenbetrieb                   | 13        |
| 6.3      | Anlagenüberwachung                                                              | 14        |
| <b>7</b> | <b>Abluftreinigung bei Tierhaltungsanlagen</b>                                  | <b>14</b> |
| 7.1      | Aufbau                                                                          | 14        |
| 7.2      | Abscheideleistungen                                                             | 15        |
| 7.3      | Überwachung                                                                     | 16        |
| <b>8</b> | <b>Fazit</b>                                                                    | <b>17</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                     | <b>18</b> |

# 1 Allgemeine Grundlagen der biologischen Abluftreinigung

Biologische Verfahren zur Abluftbehandlung wurden zunächst zur Behandlung leicht abbaubarer Abluftinhaltsstoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben, Müll-, Kompostier- und Kläranlagen sowie Anlagen zur Verarbeitung tierischer und pflanzlicher Reststoffe (z.B. Tierkörperbeseitigungsanstalten) erfolgreich eingesetzt. Inzwischen kommen diese Verfahren auch in anderen Bereichen zum Einsatz, beispielsweise in Gießereien oder bei der Lack- und Farbenproduktion zur Behandlung lösemittelhaltiger Abluft [8].

In Fachkreisen besteht Einigkeit darüber, dass die biologischen Verfahren zukünftig vorrangig zur Beseitigung geruchsintensiver und organischer Komponenten aus der Abluft technischer Prozesse eine weitere Verbreitung finden werden [9].

Die biologische Abluftreinigung kann durch verschiedene Verfahren erfolgen. Hierzu zählen:

- Biofilter,
- Biowäscher,
- Anlagenkombinationen aus Biofilter und Biowäscher.

Allen Verfahren gemeinsam sind folgende Wirkprinzipien [12]:

- Zuführung der belasteten Abluft nach einer gegebenenfalls erforderlichen Konditionierung zur biologischen Abluftreinigungsanlage,
- Absorption der Abluftinhaltsstoffe in wässriger Phase durch chemisch-physikalische Vorgänge oder Adsorption an Trägermaterialien,
- biologische Oxidation der Abluftinhaltsstoffe zu Wasser, Kohlendioxid und Biomasse durch Mikroorganismen (Pilze, Hefen, Bakterien).

## 1.1 Wirkungsweise Biofilter

Bei der Behandlung mittels Biofilter durchströmt die Abluft eine biologisch aktive Filterschicht. Die Reinigung der Abluft erfolgt über die Adsorption der Inhaltsstoffe am organischen Filtermaterial [12].

Voraussetzung für eine gute Reinigungsleistung ist die Wahl des geeigneten Trägermaterials für die Mikroorganismen. Dabei handelt es sich in der Regel um Materialien wie Rindenumus, Grünkomposte, Wurzelholz und Torf-Heidekraut-Gemische, aber auch Materialien mit inerten Beimengungen. Im Filtermaterial wird gleichzeitig das spezielle Milieu für die Ansiedlung der erforderlichen Mikroorganismen geschaffen und deren Nährstoffversorgung gesichert. Um die notwendigen Verweilzeiten für die Entfernung der Schadstoffe aus der Abluft zu gewährleisten, wird mit materialabhängigen Schütthöhen ab etwa 1 m Stärke (im Einzelfall auch niedriger) und entsprechend angepassten Filterflächenbelastungen gearbeitet [12].

Die Zusammensetzung der Organismenpopulation hängt stark von den jeweiligen Abluftkomponenten ab. Deutliche Leistungssteigerungen sind durch biologische Optimierung und Adaption der Mikroorganismen an die Abluftinhaltsstoffe möglich [8].

Nach einer Konditionierung (Entstaubung, Befeuchtung etc.) tritt die Abluft in das Filtergehäuse ein und wird in einer entsprechenden Kammer gleichmäßig über das Filter verteilt und durch das Filtermaterial geleitet. Die von Schad- und Geruchsstoffen befreite Abluft strömt über die Filteroberfläche ab. Biofilter können in offener oder geschlossener Bauweise (Container) ausgelegt werden. Abbildung 1 zeigt Beispiele für offene Biofilter. In Abbildung 2 ist ein Biofilter in geschlossener Bauweise dargestellt.



**Abb. 1: Beispiele für offene Biofilter (Quelle: Tholander Ablufttechnik GmbH)**



**Abb. 2: Geschlossener Biofilter (Quelle: Tholander Ablufttechnik GmbH)**

Biofilter finden vorrangig bei der Elimination von geruchsbehafteten Abluftströmen aus Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen, Tierhaltungsbetrieben und lebensmittelverarbeitendem Gewerbe Anwendung [11], [13].

## **1.2 Wirkungsweise Biowäscher**

Biowäscher stellen prinzipiell Absorber dar, in denen das Absorbens mit dem zu reinigenden Gasmisch in Verbindung gebracht und die Waschflüssigkeit mit den zu entfernenden Gaskomponenten beladen wird. Die Absorbensregeneration erfolgt durch Mikroorganismen, welche die ausgewaschenen Gaskomponenten als Substrat verwenden. Die Organismen sind entweder im Waschwasser fein verteilt (Belebtschlammanlagen) oder als biologischer Rasen auf den Wäschereinbauten angesiedelt (Tropfkörperanlagen) [8], [9].

Über die Regelung der Parameter Nährsalzkonzentration, pH-Wert und Sauerstoffgehalt im Waschwasser können optimale Milieubedingungen für die Biologie eingestellt werden. Die im Zuge des Abbaus der Abluftinhaltsstoffe neugebildete Biomasse ist, falls erforderlich, als Überschussbiomasse (Überschussschlamm) über Abscheideeinrichtungen aus dem System abzuführen.

Biowäscher werden vornehmlich für gut wasserlösliche Abluftinhaltsstoffe höherer Konzentrationen eingesetzt. Die Abluftinhaltsstoffe werden im Waschwasser absorbiert und biologisch durch Mikroorganismen oxidiert.

### 1.3 Anlagenkombinationen aus Biofilter und Biowäscher

Mitunter ist die Abluftzusammensetzung so komplex, dass ein Verfahren allein nicht zu einem optimalen Ergebnis führt. Beispielsweise werden für besonders hoch konzentrierte geruchsintensive Abluft aus der Kompostierung große Biofilterflächen benötigt. Durch das Vorschalten eines Biowäschers sind erhebliche Platzeinsparungen möglich. Hier wird mit Hilfe einer zweistufigen biologischen Abluftreinigungsanlage eine besonders effektive Geruchsreduzierung bei optimiertem Flächenbedarf erreicht.

Die Kombination der jeweiligen Vorteile beider Apparate wird in den Fällen zielführend sein, wo verschiedenartige Abluftkomponenten vorliegen oder eine Abreinigung über einen großen Konzentrationsbereich erfolgen muss [13].

### 1.4 Dimensionierung von Anlagen

#### 1.4.1 Biofilter

Die Dimensionierung von Biofilteranlagen erfolgt anhand folgender Parameter [5]:

- Flächenbelastung - Abgasvolumenstrom, bezogen auf die Filterfläche, in  $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ ,
- Volumenbelastung - Abgasvolumenstrom, bezogen auf das Filtervolumen, in  $\text{m}^3/(\text{m}^3\text{h})$
- Raumbelastung - Masse der Abgasinhaltsstoffe, die je Filtervolumen- und Zeiteinheit in das Filter einströmen in  $\text{g}/(\text{m}^3\text{h})$  oder Geruchseinheiten (GE)/( $\text{m}^3\text{h}$ ).

Neben der zu behandelnden Abluftmenge sind in jedem Fall die Art und Zusammensetzung der Abluftkomponenten sowie ihre Konzentration und die daraus erforderliche Verweilzeit in der Abluftreinigungsanlage zu berücksichtigen. Bei einer überschlägigen Anlagendimensionierung können Erfahrungswerte aus ähnlichen Betrieben zugrundegelegt werden. In der Regel sind jedoch zur Optimierung der Anlagengröße und der Kosten einzelfallbezogene Vorversuche im halbertechnischen Maßstab erforderlich, bei denen möglichst anwendungsnahe Betriebsbedingungen vorliegen [9].

Für offene Ausführungen sollte eine Filterflächenbelastung von  $100 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  bis maximal  $150 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  nicht überschritten werden. Die zugehörige Filtervolumenbelastung beträgt dann ca.  $40 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{h})$  bis ca.  $100 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{h})$  bei einer Schütthöhe von ca. 1,5 m bis 2,5 m [5].

Bei geschlossenen Biofiltern, die auch eine platzsparende Anordnung mehrerer Filterschichten übereinander aufweisen können, liegt die Schütthöhe der einzelnen Filterschichten je nach Filtermaterial im Bereich von 1,2 m bis 1,75 m. Die Flächenbelastung bewegt sich zwischen  $150 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  und  $500 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ . Ausführungen zur Dimensionierung von Biofiltern sind in der VDI-Richtlinie VDI 3477 enthalten [5].

#### 1.4.2 Biowäscher

Für die Bemessung von Biowäschern sind die Größen Raumbelastung  $B_R$  in  $\text{kg}/(\text{m}^3\text{h})$ , Schlamm Trockensubstanz TS in  $\text{kg}/\text{m}^3$  und Schlammbelastung  $B_{TS}$  in  $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$  maßgeblich.

Die Schlammbelastung sollte je nach Art der abzubauenden Stoffe bei TS-Gehalten von weniger als  $5 \text{ kg}/\text{m}^3$  im Allgemeinen in der Größenordnung von 0,005 bis 0,06  $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$  liegen.



Bei stark schwankender Art und Konzentration der Abluftinhaltsstoffe ist es angeraten, halbtechnische Voruntersuchungen unter repräsentativen Praxisbedingungen mit ausreichender Adaptionszeit durchzuführen. Nähere Ausführungen zur Dimensionierung von Biowäschern finden sich in der VDI-Richtlinie VDI 3478 [4].

### 1.5 Gegenüberstellung von Biowäscher- und Biofilteranlagen

Die nachfolgende Übersicht enthält die wesentlichen Vor- und Nachteile von Biowäscher- und Biofilteranlagen [8].

|                  | Biofilter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Biowäscher                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VORTEILE</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- einfache Bauweise</li> <li>- niedrige Investitionen und Betriebskosten (z.B. geringer Energiebedarf)</li> <li>- besserer Stoffübergang für schlecht wasserlösliche Substanzen</li> <li>- einfache Verfahrenstechnik mit geringem Überwachungsaufwand</li> <li>- gute Eignung bei geruchsintensiven Abluftinhaltsstoffen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- geringer Platzbedarf</li> <li>- auf biologische Stoffwechselschritte kann Einfluss genommen werden (Nährsalzzugabe, pH-Wert - Regulierung)</li> <li>- Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten relativ einfach möglich</li> </ul>                                                                       |
| <b>NACHTEILE</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- großer Flächenbedarf</li> <li>- schlechte Möglichkeit, toxische Reaktionsprodukte auszuschleusen, die die Wirksamkeit der Mikroorganismen beeinflussen könnten</li> <li>- wenig Möglichkeiten, steuernde Maßnahmen während des Betriebes vorzunehmen</li> <li>- hoher Wartungsaufwand</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- nicht oder nur bedingt für schlecht wasserlösliche Abluftinhaltsstoffe geeignet (z.B. Xylol, Toluol)</li> <li>- Überschussschlamm- bzw. -entsorgung können problematisch werden</li> <li>- Auftreten von Werkstoffproblemen (Korrosion)</li> <li>- hoher Wartungs- und Überwachungsaufwand</li> </ul> |

## 2 Anwendbarkeit und Grenzen der biologischen Abluftreinigung

Die Anwendung biologischer Abluftreinigungsverfahren ist an das Vorliegen bestimmter Voraussetzungen im Hinblick auf die zu behandelnde Abluft selbst, als auch hinsichtlich des Abluftanfalls gebunden. Optimale Bedingungen für eine biologische Abluftbehandlung sind [7], [8]:

- Geruchsintensive Abluftvolumenströme,
- staub- und aerosolarme Abluft,
- kleine bis mittlere Abluftvolumenströme (bis etwa 50.000 m<sup>3</sup>/h),
- mittlere Gesamt-Kohlenstoffkonzentration (bis etwa 1.000 mg/m<sup>3</sup>),
- Ablufttemperaturen unter 40°C,
- Abluftfeuchte > 95%,
- organische, gut wasserlösliche und gut biologisch abbaubare Abluftinhaltsstoffe (Geruchstoffe),
- relativ kontinuierlicher Abluftanfall.

Biologische Verfahren stoßen beim Vorliegen folgender Abluftcharakteristika an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit [7], [8]:

- Stark schwankende Abluftinhaltsstoffe hinsichtlich der Art und Konzentration,
- diskontinuierlicher Abluftanfall,
- thermische und chemische Instabilitäten bedingt durch Lastspitzen von Temperatur, Staub, Desinfektionsmittel, Dampf o. Ä.,
- mittlere Gesamt-Kohlenstoffkonzentration > 2.000 mg/m<sup>3</sup>, bei gleichzeitig großen Volumenströmen,
- schlecht wasserlösliche Abluftinhaltsstoffe (z.B. Toluol), die gleichzeitig in hohen Konzentrationen vorliegen.

## 3 Überwachung von Biofilteranlagen

Die steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung von biologischen Abluftreinigungsanlagen erfordern Verfahrensabläufe mit hoher Betriebssicherheit und Prozessstabilität. Vor diesem Hintergrund ist zur Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der Anlage eine regelmäßige Überwachung unumgänglich. Somit werden Störungen vermieden oder können zumindest schnell eingegrenzt und behoben werden.

Obwohl der Aufbau von Biofilteranlagen von der verfahrenstechnischen Seite her relativ einfach realisiert werden kann, bedarf es zur Regelung von biologischen Systemen zum Teil anderer Strategien, als es bei rein technischen Anlagen der Fall ist. Häufig überwachte Parameter sind in der folgenden Übersicht dargestellt [6].

| Gasanalyse im Roh- und Reingas                                                                                                                                                                                   | Waschwasseranalyse                                                                                                                                                                                                                   | Filtermaterialanalyse                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Geruch</li><li>- Gesamt-Kohlenstoffgehalt</li><li>- Volumenstrom</li><li>- Einzelstoffanalyse</li><li>- Druckverlust</li><li>- Temperatur</li><li>- Gasfeuchte</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- pH-Wert (6,5 – 8,0)</li><li>- Nährstoffe (N + P)</li><li>- Leitfähigkeit</li><li>- CSB, BSB</li><li>- TOC</li><li>- Sauerstoffgehalt (&gt; 1mg/l)</li><li>- Temperatur (20 – 40°C)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Nährstoffe (N + P)</li><li>- Leitfähigkeit</li><li>- Temperatur (20 – 40°C)</li><li>- Wassergehalt (50 – 60 Masse-%)</li><li>- pH-Wert (neutral)</li><li>- optische Kontrolle</li></ul> |

Der Umfang der Überwachung ist abhängig von der Art und der Größe der Reinigungsanlage. Kleine und einfache Anlagen erfordern weniger Überwachungsaufwand als große Aggregate für hohe Volumenströme. Als Mindestmaß sollten jedoch bei jeder biologischen Abluftreinigungsanlage die Temperatur und der Feuchtegehalt der dem Filtermaterial zugeführten Rohluft sowie der pH-Wert überwacht werden [6].

## **4 Optimierungsmöglichkeiten bei bestehenden Biofilteranlagen**

Mikroorganismen stellen die „Triebkraft“ einer jeden biologischen Abluftreinigungsanlage dar. Die biologische Abluftreinigung basiert auf der Tätigkeit dieser Organismen, die in der Lage sind, organische und auch einige anorganische gasförmige Verbindungen biochemisch zu oxidieren und in nicht schädliche bzw. nahezu geruchlose Substanzen zu überführen.

Bei der biologischen Abluftreinigung ist es Aufgabe der Verfahrenstechnik, für die beteiligten Mikroorganismen optimale Lebensbedingungen zu schaffen, um eine hohe Reinigungsleistung zu erzielen und den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage zu gewährleisten.

Grundlage für die zuverlässige Funktion der biologischen Abluftreinigung ist zum einen der Transport der Abluftinhaltsstoffe aus der Gasphase in die unmittelbare Umgebung der Mikroorganismen und zum anderen die eigentliche biochemische Umsetzung. Dementsprechend ist an diesen beiden Stellen anzusetzen, um eine bestehende Reinigungsanlage zu optimieren [6].

Für ihre Existenz benötigen die Mikroorganismen Siedlungsfläche, die ihnen die Trägermaterialien im Biofilter oder -wäscher bieten. Das Oberflächen/Volumen-Verhältnis des Trägermaterials bestimmt die vorhandene Phasengrenzfläche und somit die im Reaktor zur Verfügung stehende Biomasse. Größere Biomassen liegen in Komposten und Rindenumus vor, kleinere in sperrigen Materialien wie gerissenem Wurzelholz und Fasertorf. Hieraus wird bereits ersichtlich, dass durch die Wahl des Filtermaterials die vorhandene Phasengrenzfläche und somit der Stofftransport entscheidend beeinflusst und optimiert werden kann. In Einzelfällen kann durch den Austausch des Filtermaterials gegen ein Material mit einer größeren spezifischen Oberfläche eine Leistungssteigerung des Reinigungssystems erreicht werden. Im Zuge eines Filtermaterialwechsels ist zu beachten, dass sich die bei der Inbetriebnahme der Anlage im Filtermaterial vorhandene Mischpopulation an Mikroorganismen im Laufe der Betriebszeit selektiert und an das bestehenden Abluftmilieu adaptiert hat. Beim Wechsel des Materials sollte daher immer ein Teil des ausgetauschten, bereits adaptierten Materials wieder in den Filter rückgeführt werden [6], [8], [12].

Neben der Siedlungsfläche benötigen die Organismen in den überwiegend zum Einsatz kommenden Biofiltern Wasser und für die meisten Stoffumsetzungen Luftsauerstoff. Beide Komponenten beanspruchen den Porenraum des Trägermaterials. Das normale Hohlraumvolumen (Komposte: 80 – 87%, Fasertorf/Reisig-Gemisch: 75 – 92%) kann jedoch je nach Zustand und Zersetzungsgrad bis auf 20% absinken, so dass es bei zu hohem Wassergehalt zu Sauerstoffmangel und damit zur Geruchsentstehung kommen kann. Die Einstellung eines Wassergehalts von 50 – 60% im Filtermaterial gewährleistet in diesem Zusammenhang optimale Bedingungen [8].

Eine weitere Bedingung für eine optimale biologische Abluftreinigung sind möglichst geringe Temperaturschwankungen. Die biochemische Aktivität der Mikroorganismen verändert sich bei jedem Temperaturintervall von 10°C um etwa das zwei- bis dreifache. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Löslichkeit vieler Abluftinhaltsstoffe mit steigender Temperatur abnimmt und somit die Effizienz der Abluftreinigung beeinträchtigt wird. Der optimale

Temperaturbereich für eine biologische Abluftreinigung liegt im mesophilen Bereich von 20 – 40°C [8].

Ein entscheidender Einfluss auf den biochemischen Stoffumsatz geht weiterhin vom pH-Wert aus. Wachstum und Stoffwechselaktivität der meisten Mikroorganismen sind im neutralen pH-Bereich optimal. Laboruntersuchungen ergaben, dass Absenkungen auf pH-Werte um 4 keinen Einfluss auf die Organismen haben. Erst Versäuerungen auf pH-Werte unter 2 führten zur Absenkung der Mikroorganismenanzahl [8].

Unverzichtbar ist die Nährstoffversorgung der Mikroorganismen. Dieser Aspekt ist vor allem beim Biowäscher relevant, da dem System die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor zusammen mit dem Bioschlamm regelmäßig entzogen werden. Beim Biofilter hingegen geht man meist davon aus, dass das Filtermaterial ein unerschöpfliches Reservoir an Nährstoffen darstellt. Zu beachten ist jedoch, dass es durch Sickerwasserausträge, Ausgasungen und Humifizierungsprozesse auch beim Biofilter zu Nährstoffverlusten, insbesondere von Stickstoff kommen kann [8].

## **5 Praxisprobleme beim Betrieb von Biofilteranlagen**

Die relativ einfache Technik von Biofilteranlagen führt bei den Betreibern häufig zu der Verfahrensweise, die Anlage nach der Inbetriebnahme sich selbst zu überlassen und die Wartung und Pflege auf ein Minimum zu beschränken bzw. gänzlich zu vernachlässigen. Erst durch Nachbarschaftsbeschwerden oder festgestellte Grenzwertüberschreitungen im Rahmen von Kontrollmessungen wird die Aufmerksamkeit wieder auf die Biofilteranlage gelenkt.

Aber auch bei der Bemessung, der Planung und dem Bau können bereits Fehler auftreten, die mitunter im Nachhinein schwer zu beheben sind und die Funktionsfähigkeit der Anlage entscheidend mindern können [6].

Nachfolgend werden die Probleme, mit denen im praktischen Betrieb von biologischen Abluftreinigungsanlagen zu rechnen ist, aufgelistet und Hinweise zu deren Behebung gegeben. Die Ausführungen beschränken sich dabei auf Biofilter, da 90 % der eingesetzten biologischen Systeme durch diese Reinigungstechnik abgedeckt werden [6].

Eine Biofilteranlage ist immer als Gesamtsystem aus Rohgasleitungen, Ventilator, Konditionierungseinheit, Druckkammer, Filterboden, Filtermaterial, Befeuchtungseinrichtungen für das Filtermaterial und Reingasableitung zu betrachten. Der stabile Betrieb der Anlage hängt maßgeblich von der Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander und deren jeweiliger ordnungsgemäßer Funktion ab.

### **5.1 Rohgasleitungen**

Die Rohrleitungen können nach einigen Betriebsmonaten selbst zu intensiven Geruchsquellen werden. Im ungünstigsten Fall „wachsen“ Rohrleitungen durch mitgerissene Staubpartikel langsam zu. Handelt es sich dabei um feuchte Beläge und Krusten, finden darin intensive mikrobielle Vorgänge statt, die häufig mit einer Geruchsentstehung verbunden sind.

Abhilfe schafft hier regelmäßiges Spülen der Leitungen. Verschmutztes Spülwasser ist aus dem System abzuführen [6].

## **5.2 Ventilator / Gebläse**

Durch die Funktion des Ventilators kann es zu einer geringfügigen Erwärmung des Rohgasvolumenstroms von etwa 2 – 4°C kommen. Dadurch verringert sich die relative Feuchte des Rohgases und Feuchtigkeit aus dem Biofiltermaterial geht in den Rohgasstrom über. Als Folge trocknet das Filtermaterial aus und der Biofilter verliert seine Leistungsfähigkeit. Aus diesem Grund ist die Anordnung des Ventilators stets vor der Konditionierungseinheit (Befeuchtung) vorzunehmen. Bei geschlossenen Biofiltern ist auch eine Anordnung des Gebläses hinter dem Biofilter möglich [6].

## **5.3 Konditionierungseinheit / Wäscher**

In der Konditionierungseinheit wird die zu behandelnde Abluft den Bedürfnissen der Mikroorganismen angepasst. Hierzu erfolgt eine Staubabscheidung aus dem Rohgasstrom sowie die Einstellung von Temperatur und pH-Wert. Darüber hinaus wird das Rohgas, meist unter Verwendung von Sprühwäschern, auf eine relative Feuchte von mindestens 95 % eingestellt. Dazu ist üblicherweise eine Verweilzeit von wenigstens 1 s und eine Strömungsgeschwindigkeit von < 3 m/s im Aggregat zu gewährleisten [5], [6], [7].

Zur Aufrechterhaltung der Funktion der Konditionierungseinheit ist eine regelmäßige, möglichst wöchentliche, Ergänzung und Abschlammung des Wäscherwassers erforderlich. Ein Einfrieren des Wäschers im Winter ist durch geeignete Maßnahmen, z.B. Beheizung, sicher zu vermeiden [6].

## **5.4 Druckkammer / Luftverteilungssystem**

Bei der standardmäßigen Filterdurchströmung von unten nach oben ist unter dem Filterboden das Luftverteilungssystem bzw. die Druckkammer angeordnet. Sie dient zur gleichmäßigen Zufuhr der Rohluft über die gesamte Filterfläche und zur Ableitung des Drainagewassers. Übliche Druckkammerhöhen unterhalb von Flächenfiltern bewegen sich im Bereich von 0,5 m bis 1,2 m. Bei schlecht gewarteten Biofiltern kann es durch in die Druckkammer eingetragene Filtermaterialpartikel und dadurch entstehenden Schlamm zu einer signifikanten Verringerung der ursprünglichen Kammerhöhe kommen. Folge davon sind Beeinträchtigungen in der homogenen Luftverteilung sowie zusätzliche Geruchsemissionen aufgrund anaerober Stoffumsetzungen in den Schlammschichten.

Abhilfe schafft hier eine regelmäßige Inspektion und Reinigung des Luftverteilungssystems [6].

## **5.5 Filterboden / Rostboden**

Durch den Filterboden soll die Rohluft gleichmäßig in die Filterschicht einströmen. Zur Minimierung des Druckverlustes sollten enge Spalten oder zu kleine Öffnungen vermieden werden.

Der Filterboden sollte eine freie Einstromfläche von mindestens 5 % aufweisen. Hiermit wird auch eine gute Drainage von möglicherweise vorhandenem Überschusswasser erreicht. Darüber hinaus ist der Randbereich des Filterbodens abzudecken, um die vorrangig in diesem Bereich häufig auftretenden Rohgasdurchbrüche zu vermeiden. Die erforderliche Breite der Abdeckung ist dabei vom verwendeten Filtermaterial abhängig und kann bei grobem Material bis zu 1 m betragen [6].

## 5.6 Filtermaterial

Die Wahl des Filtermaterials erfolgt unter Beachtung der Rohluftzusammensetzung und Biofilterkonstruktion. Trotz richtiger Materialauswahl und Filterkonstruktion kann das Filtermaterial Ursache für Störungen sein, die jedoch mitunter Folge unsachgemäßer Betriebsweise in vorgeschalteten Aggregaten sind. Ursachen für eine unzureichende Funktion des Biofiltermaterials können sein [6], [14]:

### Rissbildungen bzw. Rohgasdurchbrüche im Randbereich bedingt durch:

- ungünstiges Filtermaterial,
- unsachgemäßen Einbau des Filtermaterials, dadurch Schichtenbildung und partielle Verdichtung,
- Austrocknung aufgrund ungenügender Vorbefeuchtung oder Beregnung,
- inhomogene Rohgasverteilung im Filterboden,
- starke Sonneneinstrahlung, dadurch oberflächliche Austrocknung,
- schlecht isolierte Containerfilter, dadurch Austrocknung im Wandbereich durch Sonneneinstrahlung,
- starken Pflanzenbewuchs mit tiefwurzelnden Pflanzen.

### Inhomogene Durchströmung bedingt durch:

- gleiche Ursachen wie bei Rissbildung,
- Vererdung des Filtermaterials nach längerer Betriebszeit,
- überfeuchtetes Filtermaterial durch Wasserdampfkondensation bei hohen Rohlufteintrittstemperaturen (Filtermaterialverschlämmung),
- starke Niederschläge und unzureichende Drainage.

### Geringe Mikroorganismenaktivität bedingt durch:

- noch nicht ausreichende Adaption der Organismen an die Rohluft,
- schwankende Rohluftzusammensetzung und/oder -temperatur,
- toxische Bestandteile in der Rohluft,
- schlechte Besiedlung des Filtermaterials bzw. zu trockenes Material,
- Nährstoffarmut,
- niedrige pH-Werte durch Ammoniakbestandteile in der Rohluft.

### Unerwünschte (atypische) Geruchsentwicklung des Biofilters bedingt durch:

- anaerobe Bereiche im Filtermaterial,
- unzureichende Nährstoffversorgung der Mikroorganismen.

## 5.7 Reingasableitung (nur bei geschlossenen Biofiltern)

Ähnlich wie die Rohgasleitungen können auch die Reingasleitungen während der Betriebszeit Staub und Kondenswasser ansammeln und dadurch zu Geruchsquellen werden. Ausreichende Leitungsquerschnitte und regelmäßige Spülungen schaffen Abhilfe [6].

Die dargestellten Probleme beim Betrieb von Biofilteranlagen lassen sich durch eine regelmäßige und sorgfältige Betriebsüberwachung größtenteils vermeiden bzw. eingrenzen. Zur Überwachung von Biofilteranlagen wird auf Punkt 3 dieses Papiers verwiesen.

## **6 Erfahrungen mit biologischen Abluftreinigungsanlagen im Land Brandenburg**

### **6.1 Bestand an biologischen Abluftreinigungsanlagen im Land Brandenburg**

Basierend auf eine Abfrage im September 2004 bei den zuständigen Überwachungsbehörden wurden zu diesem Zeitpunkt an 12 genehmigungsbedürftigen Anlagen insgesamt 18 biologische Abluftreinigungseinrichtungen betrieben, die fast ausnahmslos zur Minderung von Geruchsemissionen eingesetzt sind. Diese 18 Reinigungsanlagen teilen sich in 15 überwiegend geschlossen ausgeführte Biofilter und drei Biowäscher auf.

Offene wie auch geschlossene Biofilteranlagen werden in der Regel mit einer vorgeschalteten Luftbefeuchtung bzw. -konditionierung betrieben. Eine solche Konditionierung erübrigt sich in den Fällen, in denen die zu reinigende Abluft bereits einen hohen Feuchtegehalt aufweist. Dies ist bei zwei geschlossenen Biofiltern der Fall, die als Bestandteil einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage betrieben werden. Ein weiterer Containerfilter, der im Zusammenhang mit einer mechanischen Restmüllbehandlungsanlage installiert ist, arbeitet nach dem eher selten angewendeten Down-Flow-Prinzip. Hierbei durchströmt die Rohluft das Filtermaterial, entgegen dem üblichen Standard, von oben nach unten [7]. Die im Containerdeckel untergebrachte Befeuchtungseinrichtung für das Filtermaterial übernimmt gleichzeitig die Rohluftbefeuchtung. Eine separate Luftbefeuchtung erübrigt sich somit auch in diesem Fall.

Die überwiegende Anzahl von biologischen Abluftreinigungsanlagen ist in Anlagen der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie (hier insbesondere Schlachthanlagen, Tierkörperbeseitigungsanlagen sowie Anlagen zur Herstellung von Hefe oder Stärkemehlen) und im Bereich der Abfallverwertung und -beseitigung (Komposterzeugung, mechanische, physikalisch-chemische und biologische Abfallbehandlung) installiert. Lediglich die drei Biowäscheranlagen kommen in einer Anlage zur Herstellung von Faserplatten zum Einsatz. Ein Biofilter befindet sich in einer Anlage zur Herstellung von Formteilen unter Verwendung von Polyesterharzen mit Styrolzusatz.

### **6.2 Rohluftdaten, Abscheideleistung, Probleme beim Anlagenbetrieb**

Die Auswertung der Rohluftdaten lässt erkennen, dass sich die Rohluft, die den biologischen Reinigungsanlagen zugeführt wird, hinsichtlich der Volumenströme, Temperaturen und Gesamtkohlenstoffbelastungen in einem für die biologische Behandlung optimalen Bereich befindet. Lediglich bei den Parametern Luftfeuchte und Filtermaterialfeuchte sind Defizite zum Optimum auszumachen. Hier erscheinen die genannten Feuchtigkeitsgrade im Hinblick auf eine zuverlässige Betriebsweise der Reinigungsanlage mitunter als zu gering.

Die Abscheideleistung der biologischen Abluftreinigungsanlagen ist in der Regel als gut bis ausreichend zu bezeichnen. Der Anlagenbetrieb verläuft größtenteils problemlos. Mitunter ergeben sich in Einzelfällen Schwierigkeiten folgender Art:

- zeitweise unzureichende Befeuchtung des Filtermaterials (insbesondere im Winterbetrieb, dann auch in Verbindung mit Temperaturhaltung),
- Leistungsschwankungen aufgrund ungleichmäßiger Filterbelastung (diskontinuierlicher Rohgasanfall, Veränderungen in der Rohgaskonzentration),
- Kontrolle der mikrobiellen Aktivität,
- Probleme mit den Auftragnehmern in Bezug auf die Bereitschaft zur fachliche Betreuung während des Anlagenbetriebs.

Im Fall einer Anlagenkombination aus Biofilter und vorgeschaltetem Wäscher, die zur Abluftreinigung einer Biogasanlage dient, weist das Reingas hohe Geruchsstoffkonzentrationen auf. Als Grund für die unzureichende Funktion der Reinigungsanlage werden Schwefelverbindungen vermutet, die mit dem Rohgas in das Biofiltermaterial gelangen. Die Schwefelverbindungen sind durch den vorgeschalteten Wäscher aus dem Rohgas abzuscheiden, werden aber offensichtlich nur unzureichend herausgelöst. Das Durchschlagen der Schwefelverbindungen in das Filtermaterial führt womöglich zur Hemmung der Organismenaktivität und folglich zu den genannten Geruchsemissionen. Der Anlagenbetreiber plant einen Austausch der Abluftreinigungsanlage.

### **6.3 Anlagenüberwachung**

Die Überwachung der einzelnen biologischen Abluftreinigungsanlagen ist unterschiedlich ausgeprägt. Überwiegend werden folgende Daten erfasst:

- Rohgasfeuchte,
- Rohgastemperatur,
- pH-Wert.

Seltener werden nachstehende Parameter überwacht:

- Feuchtegehalt im Filtermaterial,
- Druckverlust im Filtermaterial,
- Volumenstrom,
- Gesamt-Kohlenstoffkonzentration.

Einige Betreiber führen an ihren Anlagen mitunter tägliche Sicht- und Geruchskontrollen sowie wöchentliche Umgebungsbegehungen durch. Vereinzelt liegen zur Überwachung der Funktionsfähigkeit und Wartung der Reinigungsanlage Betriebsanweisungen vor. In einigen Fällen sind durch die Vollzugsbehörden Emissionsmessungen angeordnet worden.

## **7 Abluftreinigung bei Tierhaltungsanlagen**

Die Reinigung der Abluft aus Tierhaltungsanlagen wird derzeit im Land Brandenburg grundsätzlich nicht zum Stand der Technik erklärt. Dennoch gibt es Situationen, wo eine Abluftbehandlung erforderlich wird, z.B. bei einer geplanten Kapazitätserweiterung einer bestehenden Anlage an einem bezüglich der Geruchs- und/oder Ammoniakimmissionen kritischen Standort.

### **7.1 Aufbau**

Bei der Behandlung der Abluft aus zwangsbelüfteten Tierhaltungsanlagen haben sich nachfolgend beschriebene kombinierte Systeme [15] besonders bewährt, wenn sowohl Ammoniak als auch Geruch bzw. nur Geruch gemindert werden soll.

Wegen des ungünstigen C/N-Verhältnisses und der relativ hohen Ammoniakfrachten ist eine alleinige Reinigung in einem Biofilter ungeeignet.

Ammoniak kann wegen des mangelnden Kohlenstoffdargebotes (Nahrungsquelle) von den Mikroorganismen nicht vollständig abgebaut werden, es bildet sich Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ), die wiederum die Aktivität der Bakterien erheblich einschränkt.



## **2-stufige Kombinationen**

- **Wäscher/Wäscher:**  
Die Abluft wird mittels Ventilator durch zwei baugleiche, senkrecht stehende, mit Kreislaufwasser von oben berieselte Filterwände (Zellulose oder Kunststoff) gedrückt oder gesaugt. Innerhalb der Filterwände bildet sich eine Bakterienkultur heraus. Der pH-Wert wird kontinuierlich erfasst und sollte je nach geforderter Reinigungsleistung in einem Bereich von 5 bis 6,5 liegen. Ein regelmäßiger Wasserwechsel ist erforderlich. Ammoniakhaltiges Wasser ist separat von der Gülle zu lagern, um Stickstoffverluste zu vermindern.  
(Geringe Wirkungsgrade bei Ammoniak und Geruch, gute Staubabscheidung, hoher Wasserverbrauch – Abwasseraufbereitung geboten.)
- **Wäscher/chemischer Wäscher:**  
Der Aufbau ist identisch mit dem Wäscher/Wäscher-System, beim zweiten Wäscher wird in Abhängigkeit vom pH-Wert des Wassers Schwefelsäure zugesetzt. Das entstehende Ammoniumsulfat wird abgeschlämmt.  
(Guter Wirkungsgrad bezüglich Ammoniakminderung, gute Staubabscheidung, geringerer Wasserverbrauch.)
- **Chemischer Wäscher/Biofilter:**  
Ammoniakabscheidung und Befeuchtung erfolgen im chemischen Wäscher (z.B. zweistufiger Gegenstrom-Füllkörperwäscher), Geruchsminderung im Biofilter.  
(Gute Wirkungsgrade bei Geruch und Ammoniak.)

## **3-stufige Kombination**

- **Wäscher, chemischer Wäscher, Biofilter:**  
Die Abluftreinigung erfolgt beispielsweise in drei senkrechten, parallel zueinander stehenden Wänden, die horizontal durchströmt werden. Die ersten beiden Stufen sind analog zur zweiten beschriebenen Kombination angeordnet, der Biofilter mit einer Dicke von ca. 0,6 m wird von oben mit Wasser besprüht. Die Abscheidung von Stäuben wird durch Wäscher, von Ammoniak durch chemischen Wäscher und von Geruch durch Biofilter realisiert.  
(Gute Abscheideleistungen bezüglich Staub, Ammoniak und Geruch.)

Zur Ammoniakabtrennung und Wiedergewinnung sind Chemowäscher allen anderen oben beschriebenen Verfahren deutlich überlegen. Biofilter und biologische Abluftwäscher sind für diesen Zweck nicht oder nur sehr eingeschränkt nutzbar. Zur Geruchstoffbeseitigung haben sich Biofilter als die bevorzugte Einrichtung erwiesen. Deshalb sind Verfahrenskombinationen mit einer biologisch arbeitenden Stufe am ehesten als geeignete und wirtschaftlich vertretbare Option zur Behandlung von Stallabluft einzustufen [3].

## **7.2 Abscheideleistungen**

Die folgende Tabelle [2] gibt einen Überblick über die zu erzielenden Abscheideleistungen der verschiedenen Abluftreinigungssysteme, wobei die Zahlenwerte Mess- oder Schätzwerte darstellen.

Der Abscheidegrad hängt von vielen Randbedingungen ab wie Waschwassermenge, pH-Wert, Filtermaterial, Schütthöhe bzw. -dicke usw. Deshalb handelt es sich um orientierende Angaben.

| Anlagenart                               | Nutzung                              | Staub<br>[%] | Abscheidung<br>von<br>Ammoniak<br>[%] | Geruch<br>[GE/m <sup>3</sup> ] |
|------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Biofilter                                | Schweine, Rinder                     | 70           | n. g.                                 | k.R.w.<br>300                  |
| Wäscher/Wäscher                          | Geflügel                             | 80           | bis 70                                | 300                            |
| Wäscher/<br>chemischer Wäscher           | Geflügel                             | 80           | bis 90                                | 300                            |
| Chemischer Wäscher/<br>Biofilter         | Schweine, Rinder,<br>Trockenkotlager | > 70         | 90                                    | k.R.w.<br>300                  |
| Wäscher/chemischer<br>Wäscher/ Biofilter | Schweine, Rinder, Geflügel           | 90           | 90                                    | k.R.w.<br>300                  |

n. g. nicht geeignet

k. R. w. kein Rohgasgeruch im Reingas wahrnehmbar

Beim Einsatz von Wäschern zur Ammoniakabscheidung besteht die Möglichkeit und der Vorteil darin, die Betriebszeiten zu reduzieren und damit die Kosten zu senken. Die Wäscher brauchen nur betrieben zu werden, wenn die Windrichtung einen Eintrag von Ammoniak in das zu schützende Ökosystem verursacht. Allerdings ist eine entsprechende meteorologische Messeinrichtung mit dem Wäscher zu verknüpfen.

Bei der Geruchsminderung durch einen Biofilter kommt es in erster Linie nicht auf den Wirkungsgrad an. Entscheidend ist die Aussage, dass im Reingas kein anlagentypischer Geruch (Rohgasgeruch) wahrnehmbar sein darf. Das Problem liegt darin, dass in der Stallabluft Konzentrationen von 30 bis 1.800 GE/m<sup>3</sup> gemessen wurden und damit die Konzentrationen im Rohgas mitunter die Eigengeruchskonzentration eines Biofilters, die bei ca. 300 GE/m<sup>3</sup> liegt, unterschreiten.

### 7.3 Überwachung

Zur Überwachung ist ein Betriebstagebuch erforderlich. Ein elektronisches Auswertesystem ist insbesondere wegen der Nachvollziehbarkeit des Anlagenbetriebes und der ohnehin erforderlichen messtechnischen Erfassung bei der pH-Wert - Regelung zu bevorzugen. Eine tägliche visuelle Kontrolle des Biofilters ist notwendig, um Funktionsstörungen rechtzeitig zu erkennen und zu beheben. Des Weiteren sollten bei Biofiltern in Tierhaltungsanlagen folgende Werte erfasst werden [1]:

Abluft (Rohgas): Temperatur, Feuchte, pH-Wert.

Abluft (Reingas): Geruchscharakter (Hedonik – Frage nach anlagentypischen Rohgaskomponenten im Reingas).

Filterbett: Feuchte, Druckverlust.

## 8 Fazit

Biologische Verfahren eignen sich sehr gut zur Beseitigung geruchsintensiver und organischer Komponenten aus der Abluft technischer Prozesse. Einrichtungen, mit denen die Abluft auf biologischem Wege behandelt werden kann, sind Biofilter, Biowäscher und Kombinationen aus beiden Aggregaten, wobei etwa 90 % der Anwendungsfälle durch Biofilter abgedeckt werden [6].

Im Land Brandenburg werden gegenwärtig 18 biologische Abluftreinigungsanlagen betrieben. Die Anlagen kommen fast ausnahmslos zur Geruchsminderung zum Einsatz. Hauptsächlich werden die Aggregate innerhalb von Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen eingesetzt.

Die Auswertung der vorliegenden Daten lässt erkennen, dass die Abscheideleistung der in Brandenburg betriebenen biologischen Abluftreinigungsanlagen als gut bis ausreichend angesehen wird. Der Betrieb der Reinigungsanlagen verläuft größtenteils problemlos. Kapazitäten zur Verbesserung der Betriebsweise bestehen hinsichtlich der Rohluft- und Filtermaterialbefeuchtung. Die genannten Feuchtigkeitsgrade erscheinen im Hinblick auf einen zuverlässigen Betrieb der Abluftreinigungsanlage mitunter als zu gering.

Bei den betriebenen Anlagen werden vorwiegend die Parameter Rohgasfeuchte, Rohgastemperatur und pH-Wert erfasst. Die Überwachung dieser Daten hat sich im Hinblick auf eine stabile Betriebsweise der Abluftreinigungsanlage als hinreichend erwiesen. Eine tägliche visuelle Kontrolle der Einrichtung sollte als Primärmaßnahme in das Überwachungsregime integriert werden. So lassen sich eventuelle Funktionsstörungen schnell erkennen und entsprechende Maßnahmen zur Behebung unverzüglich einleiten.

*Eine Kurzfassung des vorstehenden Ausführungen ist im aktuellen Jahresbericht des Landesumweltamtes „Umweltdaten aus Brandenburg Bericht 2005“, Seite 187 – 190 enthalten ([www.mluv.brandenburg.de](http://www.mluv.brandenburg.de)).*

## Literaturverzeichnis

- [1] Both, R.; Schilling, B.: Biofiltergerüche und ihre Reichweite – Eine „Abstandsregelung“ für die Genehmigungspraxis. Landesumweltamt NRW 1997
- [2] Hahne, J.; Schirz, S.; Schuhmacher, W.: Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung (2002)
- [3] Hahne, J.; Asendorf, W.; Vorlop, K.-D.: Abluftreinigung – Möglichkeiten und Grenzen. KTBL – Schrift 406, S.106 ff. (2001)
- [4] VDI 3478: 1996-07 Biologische Abgasreinigung – Biowäscher und Rieselbettreaktoren. Berlin: Beuth Verlag
- [5] VDI 3477: 2002-08 (Entwurf) Biologische Abgasreinigung – Biofilter. Berlin: Beuth Verlag
- [6] VDI Wissensforum: Seminar „Optimieren der biologischen Abluftreinigung“. Mannheim 2003
- [7] BioRegion Biotechnologie Niedersachsen, Fachgruppe Umwelt: „Biologische Abluftbehandlung“. Veranstaltung im Rahmen der Vortragsreihe „Angewandte Umweltbiotechnologie aus Niedersachsen“. Braunschweig 2002
- [8] Braunschweiger Umwelt-Biotechnologie GmbH: Seminar „Biologische Abluftbehandlung“. Braunschweig 2000
- [9] Hübner, R.: Biologische Abluftbehandlung in Industrie und Gewerbe. In: WLB Wasser, Luft und Boden 5/1997, S. 50 – 53
- [10] Geruch Messung und Beseitigung. Teil 1: Gerüche messen und bewerten. In: Kommunaldirekt 3/96, S.8 – 9
- [11] Geruch Messung und Beseitigung. Teil 2: Maßnahmen und Verfahren zur Geruchsbeseitigung. In: Kommunaldirekt 4/96, S.56 – 57
- [12] Hübner, R.: Funktionsprinzip von Biowäscher und Biofilter. In: Entsorgungspraxis 5/2000, S. 35 – 38
- [13] Dammann, B.; Stegmann, R.: Grundlagen zur Planung und Auslegung von Biowäschern und Biofiltern. In: Entsorgungspraxis 7 – 8/98, S. 41 – 46
- [14] Berkmen, M. I.; Breeger, A.: Abluftreinigung bei der Behandlung biogener Abfälle. In: WLB Wasser, Luft und Boden 11 – 12/1999, S. 54 – 55
- [15] Siemers, V.: Informationsunterlagen zu zwei- und dreistufigen Abluftreinigungsanlagen. Eydelstedt 2002

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
des Landes Brandenburg**

**Landesumweltamt Brandenburg**  
Referat Umweltinformation/Öffentlichkeitsarbeit

Berliner Straße 21-25  
14467 Potsdam  
Tel: (03 31) 23 23 259  
Fax: (03 31) 29 21 08  
E-Mail: [info@lua.brandenburg.de](mailto:info@lua.brandenburg.de)  
[www.brandenburg.de/lua](http://www.brandenburg.de/lua)