DLG-Merkblatt 484

Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung

Teil 2: Betriebsdaten und Verbrauchswerte

Teil 2 von 2

www.DLG.org

Jetzt Mitglied werden!

Die DLG ist seit mehr als 130 Jahren offenes Netzwerk, Wissensquelle und Impulsgeber für den Fortschritt.

Mit dem Ziel, gemeinsam mit Ihnen die Zukunft der Land-, Agrar- und Lebensmittelwirtschaft zu gestalten.

www.DLG.org/Mitgliedschaft

DLG-Merkblatt 484

Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung

Teil 2: Betriebsdaten und Verbrauchswerte

Autoren

– Dr. Jochen Hahne, Thünen Institut, Braunschweig
– Friedrich Arends, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg
– Frank Geburek, Kreis Coesfeld, Coesfeld
– Tommy Pfeifer, DLG TestService GmbH, Groß-Umstadt
– Sven Häuser, DLG-Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt

sowie die Mitglieder des DLG-Ausschusses Schwein und
des DLG-Ausschusses Technik in der Tierhaltung

Titelbild: Big Dutchman

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

DLG e. V.
Fachzentrum Landwirtschaft
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

1. Auflage, Stand: 05/2023 (komplett überarbeitete Neuauflage des DLG-Merkblattes 403)

© 2023
Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder
(auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung) sowie Bereitstellung des Merkblattes im Ganzen
oder in Teilen zur Ansicht oder zum Download durch Dritte nur nach vorheriger Genehmigung
durch DLG e.V., Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main,
Tel. +49 69 24788-209, M.Biallowons@DLG.org

Inhalt

1. Einleitung **5**

2. Betriebsdaten und Verbrauchswerte zertifizierter Anlagen aus Schweinemastanlagen **5**
2.1 Biofilter ohne N-Abscheidung 5
2.2 Einstufige Rieselbettfilter 6
2.3 Zweistufige Anlage (biologische Wäsche und Biofilter) 7
2.4 Zweistufige Anlage (Chemowäscher und biologische Wäsche) 8

3. Optionen zur Reduzierung der Betriebskosten von Abluftreinigungsanlagen **8**
3.1 Vorbemerkungen 8
3.2 Stallinterne Maßnahmen 9
3.2.1 Optimierung der Fütterung 9
3.2.2 Optimierung des Stallmanagements 9
3.3 Maßnahmen zur Betriebskostenminderung bei Abluftreinigungsanlagen 9
3.3.1 Optimierung des Stromverbrauches 9
3.3.2 Optimierung des Druckverlustes 10
3.3.3 Optimierung des Frischwasserverbrauches 10
3.3.4 Optimierung der Abschlämmung 11

4. Eigenkontrolle und Anlagenwartung **12**

5. Unzureichende Reinigungsleistungen – was tun? **13**
5.1 Sicherstellung einer gleichmäßigen Anströmung 13
5.2 Sicherstellung einer gleichmäßigen Berieselung der Austauschflächen mit einer ausreichenden Berieselungsdichte 14
5.3 Sicherstellung des geforderten pH-Bereiches im Waschwasser 15
5.4 Sicherstellung der geforderten Ammoniakabscheidung und der Stickstoffentfrachtung 16
5.5 Sicherstellung der geforderten Staubabscheidung 16
5.6 Sicherstellung der geforderten Geruchsminderung 16

6. Literatur **17**

1. Einleitung

Die DLG hat bereits in den 1980er Jahren Abluftreinigungsanlagen geprüft und zertifiziert. Damals – wie auch heute – mit dem Ziel, die Belange der Genehmigungsbehörden, der Landwirtinnen und Landwirte sowie der Hersteller gleichermaßen zu berücksichtigen. Eine unabhängige Kommission prüft Anlagen nach deren Wirkungsgrad, Arbeitssicherheit, Handhabung und Funktion im praktischen Einsatz.

Die im Prüfrahmen enthaltenen Grenzwerte für die Reinigungsleistung wurden festgesetzt, um den Belangen der zu schützenden Umwelt gerecht zu werden. Funktionierende Filteranlagen ermöglichen in vielen Regionen erst die Erweiterung bestehender oder den Bau neuer Stallanlagen, wenn alle anderen Maßnahmen zur Emissionsminderung im Stall ausgereizt sind.

Das vorliegende Merkblatt ist der zweite Teil der Reihe „Hinweise um Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung“ und gibt wertvolle Hinweise zur Reduzierung der Betriebskosten. Die beispielhaften Betriebsdaten und Verbrauchswerte zertifizierter Anlagen aus der DLG-Prüfung ergänzen diese Hinweise.

Abluftreinigungsanlagen müssen zu dem jeweiligen Stall und den örtlichen Gegebenheiten passen. Die Hilfestellungen und Informationen der beiden Merkblätter 483 und 484 sollen Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter bei der Entscheidung für das richtige System unterstützen. Auch anderen Beteiligten eines Genehmigungsverfahrens sollen mit den beiden Merkblättern die Möglichkeiten und Grenzen von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung aufgezeigt werden.

2. Betriebsdaten und Verbrauchswerte zertifizierter Anlagen aus Schweinemastanlagen

Die Betriebsdaten und Verbrauchswerte von zertifizierten Anlagen sind für Tierhalter von erheblicher Bedeutung bei Investitionsentscheidungen und zur Beurteilung der laufenden Betriebskosten. Vor diesem Hintergrund wurden von vielen Praxisanlagen entsprechende Daten erhoben (Tabelle 1). Sie beruhen einerseits auf der Auswertung von Ergebnissen der Vorortprüfungen durch anerkannte Prüfstellen und andererseits auf einer vertieften Auswertung elektronischer Betriebstagebücher. Wie die Tabelle 1 zeigt, weisen die Ergebnisse erhebliche Streubreiten auf.

2.1 Biofilter ohne N-Abscheidung

Die Biofilter ohne N-Abscheidung werden nach den Vorortmessungen bei Filterflächenbelastungen von 42 – 486 $m^3/(m^2h)$ betrieben. Im Regelfall wird die maximale Filterflächenbelastung, die im DLG-Prüfbericht anerkannt wurde, eingehalten. Im Mittel betrug die Anlagenauslastung knapp 56 % bei den Vorortmessungen. Die Druckverluste waren im Mittel mit 25,3 Pascal (Pa) geringer als die, die bei den DLG-Prüfungen ermittelt wurden. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe. Zum einen ist der Tierbesatz in den Ställen und damit die Filterflächenbelastung zurückgegangen (StallhaltungPlus, https://www.haltungsform.de) und zum anderen werden die Biofilter im Praxisbetrieb nicht so intensiv befeuchtet wie bei einer DLG-Prüfung. Dies zeigen auch die Frischwasserverbräuche je Mastplatz und Jahr. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Feuchte (95 % Feuchte in der Reinluft) ist ein Frischwasserverbrauch von rund 0,77 $m^3/(TP*a)$ erforderlich. Die Daten zeigen, dass nach wie vor einige Biofilter

zu trocken betrieben werden. Es wird daher empfohlen, in Abstimmung mit dem Hersteller den Wasserverbrauch zu überprüfen und ggfs. anzupassen.

Tabelle 1: Wichtige Betriebsdaten verschiedener Abluftreinigungsanlagen aus Praxisbetrieben mit Schweinemast (Hahne, Stand 2022)

Parameter		Einstufige Biofilter ohne N-Abscheidung	Einstufiger Rieselbettfilter	Zweistufige Anlage (biologische Wäsche und Biofilter)	Zweistufige Anlage (Chemowäscher und biologische Wäsche)
Filterflächenbelastung [$m^3/(m^2\ h)$]A	Anzahl	81	170	82	21
	Minimum	42	57	72	720
	Maximum	486	4.708	2.340	5.940
	Mittel	246	1.831	1.444	3.440
Druckverlust A [Pa]	Anzahl	82	168	81	18
	Minimum	2	0	2	11
	Maximum	112	170	60	158
	Mittel	25,3	29,3	13,4	49,6
Frischwasserverbrauch B [m^3/(TP*a)]	Anzahl	79	160	83	20
	Minimum	0,07	0,35	0,27	0,064
	Maximum	2,17	3,94	2,75	1,78
	Mittel	0,74	1,26	1,18	0,54
Abschlämmung [m^3/(TP*a)] B	Anzahl	k. A.	169	84	20
	Minimum		0,11	0,12	0,012
	Maximum		1,17	1,65	0,198
	Mittel		0,57	0,50	0,068
Stromverbrauch [kWh/(TP*a)] B	Anzahl	k. D. v.	167	73	16
	Minimum		7,6	9,7	9,9
	Maximum		55,0	37,2	64,2
	Mittel		20,7	18	31,7
Ammoniak-Abscheidung A [%]	Anzahl	k. A.	169	81	21
	Minimum		25	76	80
	Maximum		100	100	100
	Mittel		92,5	97,1	94,9

A: Ergebnisse aus Vorortüberprüfungen
B: Auswertungen der EBTB'es
k. A.: keine Anforderung
k. D. v.: keine Daten verfügbar

2.2 Einstufige Rieselbettfilter

Die einstufigen Rieselbettfilter werden nach den Vorortmessungen bei Filterflächenbelastungen von 57 – 4.708 $m^3/(m^2\ h)$ betrieben. Einige dieser und insbesondere älterer Filteranlagen weisen damit höhere Filterflächenbelastungen auf als in den neueren DLG-Prüfungen anerkannt worden sind. Filterflächenbelastungen von mehr als 3.500 $m^3/(m^2\ h)$ haben keine DLG-Anerkennung, weil die Reinigungs-

leistung bei höheren Filterflächenbelastungen insbesondere für Geruch nicht dauerhaft gewährleistet ist. Im Mittel liegen die Filterflächenbelastungen mit 1.831 $m^3/(m^2\ h)$ aber in einem günstigen Bereich. Die mittleren Druckverluste sind mit 29,3 Pa vergleichsweise gering. Dies liegt vermutlich an einer verbesserten Wartung der Anlagen und einer jährlichen Reinigung der Füllkörperpackung. Hohe Druckverluste von maximal 170 Pa, die auf partielle Verstopfungen der Filterpackung hinweisen, wurden nur in Einzelfällen festgestellt. Der Frischwasserverbrauch schwankt bei den Praxisanlagen erheblich. Im Mittel liegt er mit 1,26 m^3/(TP*a) aber auf einem realistischen Niveau. Angesichts einer Verdunstungsrate von rund 0,77 m^3/(TP*a) (s. Biofilter) und einer erforderlichen Mindestabschlämmung von 0,44 m^3/(TP*a) zur N-Abscheidung von mindestens 70 % müsste der Frischwasserverbrauch bei rund 1,21 m^3/(TP*a) liegen. Die festgestellten Abschlämmraten liegen zwischen 0,11 und 1,17 m^3/(TP*a). Im Mittel beträgt die Abschlämmrate 0,57 m^3/(TP*a) und liegt damit oberhalb der erforderlichen Mindestabschlämmung. Bei einigen Anlagen wird jedoch nach wie vor zu wenig abgeschlämmt und somit keine ausreichende N-Abscheidung gewährleistet. Der spezifische Stromverbrauch je Mastplatz und Jahr ist in erheblichem Maße von der Anlagengröße abhängig und fällt mit diesem (Quelle: Hahne, J.: Bewertung der Wirksamkeit von Biotrickling-Filtern zur Abluftreinigung in der Mastschweinehaltung, Gefahrstoffe 82 (2022) Nr. 05-06, S. 148 – 154). Bei Anlagen bis zu 500 TP liegt der mittlere Stromverbrauch bei rund 30,5 kWh/(TP*a). Bei Anlagen zwischen 500 – 1.000 TP fällt er auf rund 27 kWh/(TP*a) und beträgt bei 1.000 – 1.500 TP 19,1 kWh/(TP*a). Anlagen mit mehr als 1.500 TP haben einen Verbrauch von ca. 16,1 kWh/(TP*a). Die Ammoniakabscheidung der Rieselbettfilter ist im Regelfall mit mehr als 90 % sehr gut. Diese Praxisergebnisse bestätigen die Ergebnisse verschiedener DLG-Prüfungen von Rieselbettfiltern (DLG-Tests 5702, 5879, 6178, 6284). Bei einzelnen Anlagen ist die pH-Regelung jedoch mangelhaft und muss verbessert werden. Für die pH-Regelung sind Säuren und Laugen bzw. Nitrifikationshemmer immer in ausreichender Menge vorzuhalten. Die Funktion der Prozess-Steuerung mit pH-Messung und Dosierpumpen sollte über Wartungsverträge sichergestellt werden.

Die Ammoniakabscheidung ist jedoch nicht mit der N-Entfrachtung gleichzusetzen, da es bei Rieselbettfiltern in einem gewissen und unvermeidbaren Umfang zur Freisetzung sekundärer Spurengase (NO_x, N_2O) kommt. Die N-Entfrachtung dieser Anlagen liegt im Regelfall zwischen 70 und 80 %.

2.3 Zweistufige Anlage (biologische Wäsche und Biofilter)

Die zweistufigen Anlagen mit biologischer Wäsche und Biofiltration werden in der Praxis bei Filterflächenbelastungen von 72 – 2.340 $m^3/(m^2\ h)$ betrieben. Im Mittel liegt die Filterflächenbelastung bei rund 1.444 $m^3/(m^2\ h)$ und damit innerhalb der Richtwerte der entsprechenden DLG-Anerkennung (DLG-Test 6220). Die Druckverluste sind im Mittel mit 13,4 Pa sehr gering und liegen somit deutlich unterhalb der maximalen Werte von 65 Pa, wie sie in der DLG-Prüfung ermittelt wurden. Auch in diesem Fall ist von einer verbesserten Wartung der Anlagen auszugehen (regelmäßige Reinigung der Füllkörperwände), die zu einer Reduzierung der Druckverluste führt. Der mittlere Frischwasserverbrauch von 1,18 m^3/(TP*a) entspricht in etwa dem Verbrauch der Rieselbettfilter. Hinsichtlich der Abschlämmung ist festzustellen, dass diese im Mittel mit 0,50 m^3/(TP*a) zwar ausreichend ist, es aber eine Reihe von Anlagen mit zu geringer Abschlämmung gibt. Eine Abschlämmung von weniger als 0,44 m^3/(TP*a) ist ein sicheres Indiz für eine zu geringe N-Entfrachtung. Die bei diesen Anlagen zu geringe Abschlämmung reduziert auch den Frischwasserverbrauch. Der spezifische Stromverbrauch sinkt mit der Anlagengröße,

vergleichbar mit den Daten für einstufige Rieselbettfilter. Die in der Praxis ermittelte mittlere Ammoniakabscheidung von 97,1 % ist sehr gut und z. T. auf die höhere Betriebssicherheit zweistufiger Anlagen zurückzuführen. Die N-Entfrachtung dieser Anlagen ist wie bei den Rieselbettfiltern mit 70 – 80 % anzusetzen.

2.4 Zweistufige Anlage (Chemowäscher und biologische Wäsche)

Die zweistufigen Anlagen mit Chemowäscher und biologischer Wäsche werden in der Praxis bei Filterflächenbelastungen von 720 – 5.940 $m^3/(m^2\ h)$ betrieben. Im Mittel liegt die Filterflächenbelastung bei rund 3.440 $m^3/(m^2\ h)$ und damit innerhalb der Richtwerte der entsprechenden DLG-Anerkennung (DLG-Test 5880). Dieser Verfahrenstyp hat also im Mittel eine um den Faktor 1,9 – 2,4 höhere Filterflächenbelastung als die anderen Abluftreinigungsverfahren. Dies erklärt auch die im Mittel mit 49,6 Pa höheren Druckverluste. Der Frischwasserverbrauch ist mit durchschnittlich 0,54 $m^3/(TP^*a)$ deutlich geringer als bei den anderen Verfahren mit Abluftwäsche. Dies liegt an der Chemowäsche, die eine deutliche Aufkonzentrierung des Stickstoffs im Waschwasser erlaubt und damit auch den Frischwasserverbrauch reduziert. Dementsprechend geringer ist auch die mittlere Abschlämmung mit nur 0,068 $m^3/(TP^*a)$. Sie liegt damit um den Faktor 7,4 – 8,4 unter den Werten der biologischen Abluftwäsche. Die mittlere Ammoniakabscheidung dieses Verfahrenstyps ist mit 94,9 % sehr gut, vor allem auch vor dem Hintergrund der deutlich höheren Filterflächenbelastung.

3. Optionen zur Reduzierung der Betriebskosten von Abluftreinigungsanlagen

3.1 Vorbemerkungen

Nachfolgend werden Hinweise zur Reduzierung der Betriebskosten an bestehenden und eignungsgeprüften Anlagen zur Reinigung von Abluft aus Schweinemastanlagen gegeben. Bei der Planung von Neuanlagen hingegen können die zukünftigen Betriebskosten bereits durch eine Vielzahl von baulichen Maßnahmen in der Planungsphase reduziert werden. Zu diesen Maßnahmen gehören u. a. die Zuluftkonditionierung über Unterflurzuluftsysteme, die sich aber in vielen Fällen nicht nachträglich integrieren lässt oder auch Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft.

Die Betriebskosten von Abluftreinigungsanlagen (Abluftwäscher, mehrstufige Anlagen mit Waschstufen) werden maßgeblich vom Stromverbrauch, den Additiven zur pH-Regelung (Säure, Lauge, Nitrifikationshemmer), dem Frischwasserbrauch sowie von der Lagerung und Verwertung des Waschwassers bestimmt (KTBL (2023): Abluftreinigung für Schweinehaltungsverfahren. Verfahren – Leistungen – Kosten). Besonders kostenrelevant ist der Stromverbrauch für die Umwälzung des Waschwassers aufgrund des weitgehend durchgehenden Dauerbetriebes. Da bei Biofiltern nur eine intermittierende Berieselung des Biofiltermaterials erfolgt, fallen bei Biofiltern deutlich geringere Stromverbräuche an.

Der Verbrauch an Additiven hängt im Wesentlichen von der Ammoniakfracht aus dem Stall und dem Management der Abluftreinigungsanlage selbst ab. Alle Maßnahmen, die zur Reduzierung der Ammoniakfracht aus dem Stall beitragen, führen zu einer Minderung des Verbrauches an Additiven und zur Verringerung des Waschwasseranfalls.

3.2 Stallinterne Maßnahmen

3.2.1 Optimierung der Fütterung

Die bedarfsgerechte und möglichst stark N-reduzierte Fütterung stellt eine wichtige Maßnahme zur Verminderung von Ammoniakemissionen aus dem Stall und damit zur Minderung der Betriebskosten von Abluftreinigungsanlagen dar. Je geringer der Ammoniakeintrag in die Abluftreinigungsanlage ist, desto geringer ist der Verbrauch an Additiven zur pH-Stabilisierung und desto weniger Waschwasser fällt an, das gelagert und verwertet werden muss. Beispielsweise kann die N-Ausscheidung in der Schweinemast (28 – 118 kg Lebendmasse) bei einer Tageszunahme von 850 g von 12,2 kg N/(TP*a) bei Standardfutter auf 11,7 kg/(TP*a) bei N-reduziertem bis auf 10,6 kg/(TP*a) bei stark N-reduziertem Futter verringert werden (Quelle: UBA und KTBL (Hrsg.): Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern, September 2021: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ammoniakemissionen-in-der-landwirtschaft-mindern, Zugriff am 20. 7. 2022). Die Absenkung des Rohproteingehaltes um 1 % führt nach Experteneinschätzung zu einer Minderung der Ammoniakemissionen aus dem Stall um ca. 10 %.

3.2.2 Optimierung des Stallmanagements

Es gibt eine Fülle von Möglichkeiten, die Emissionen aus dem Stall zu reduzieren. Neben Maßnahmen zur Wärmedämmung können Kühlungsmaßnahmen bei hohen Temperaturen im Sommer emissionsmindernd wirken. Generell sollen emittierende Flächen klein gehalten werden und nur mit geringer Geschwindigkeit überströmt werden. Maßnahmen, die zur Verbesserung der Sauberkeit im Stall beitragen, wirken generell auch emissionsmindernd. Gleiches gilt auch für eine schnelle und regelmäßige Entmistung und Gülleabfuhr in ein abgedecktes Außenlager. Eine wichtige Bedeutung für das Emissionsverhalten hat die Be- und Entlüftung des Stalls. Erfahrungen haben gezeigt, dass bei falsch dimensionierter und betriebener Unterflurentlüftung die Emissionen um ein Mehrfaches ansteigen können. Wichtige Hinweise zur Optimierung des Stallklimas liefert ein Leitfaden der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Quelle: https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/24179_Optimierung_des_Stallklimas_in_der_Mastschweinehaltung, Zugriff am 20. 07. 2022).

3.3 Maßnahmen zur Betriebskostenminderung bei Abluftreinigungsanlagen

3.3.1 Optimierung des Stromverbrauches

Umfangreiche Auswertungen von Prüfberichten von Abluftreinigungsanlagen in der Praxis zeigen folgende wesentliche Ergebnisse:

- Der spezifische Stromverbrauch je Tierplatz (TP) sinkt bei steigender Anlagengröße. Der mittlere Stromverbrauch (Richtwerte) liegt beispielsweise bei einstufigen Rieselbettfiltern bei bis zu 1.000 Tieren bei rund 27,2 kWh/(TP*a) und sinkt bei bis zu 1.499 Tieren auf 19,2 und bei Anlagen > 1.500 Tieren auf 16,9 kWh/(TP*a). Bei 2-stufigen Anlagen (biologische Waschwand plus Biofilter) wurden entsprechende Werte von 19,5, 18,3 bzw. 15,1 kWh/(TP*a) gemessen.
- Es gibt eine erhebliche Schwankungsbreite bei den Stromverbräuchen, wenn man Anlagen gleicher Größe vergleicht. So wurden bei einstufigen Rieselbettfiltern bei 1.000 Tieren Stromverbräuche zwischen 10 und 40 kWh/(TP*a) gemessen.
- Zum Stromverbrauch zweistufiger Anlagen mit einer chemischen Waschstufe als zentraler Funktionseinheit (Chemowäscher plus biologische Waschstufe) liegen bislang nur wenige Ergebnisse von

Praxisanlagen vor. Während bei Anlagen bis zu 1.000 Tieren mit rund 44 kWh/(TP*a) sehr hohe Verbräuche gefunden wurden, sanken diese unter 27 kWh bei Beständen zwischen 1.000 und 1.500 TP, auf rund 19 kWh/(TP*a) bei Beständen > 1.500 TP.

Vor diesem Hintergrund ist es für den Betreiber zunächst wichtig, in Rücksprache mit dem Hersteller den zu erwartenden Stromverbrauch seiner Anlage zu klären. Liegt der Stromverbrauch deutlich über den zu erwartenden Richtwerten, bieten sich folgende Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauches an:

- Prüfung des elektronischen Betriebstagesbuches (EBTB) hinsichtlich des Stromverbrauches (zeitlicher Verlauf, Auffälligkeiten etc.).
- Austausch der Umwälzpumpe gegen eine sachgerecht ausgelegte energieeffiziente Pumpe sowie
- eine hydraulische Optimierung des Wasserverteilsystems inklusive der verwendeten Düsen mit möglichst geringem Betriebsdruck. Der Düsendruck sollte im Regelfall nicht höher als 0,5 bar sein.
- Zur Vermeidung von Ablagerungen im Wasserverteilsystem ist die Installation und regelmäßige Reinigung eines ausreichenden Wasserfilters im Ansaugbereich der Umwälzpumpe empfehlenswert.

3.3.2 Optimierung des Druckverlustes

Der Stromverbrauch für die Lüftungsanlage steigt erheblich an, wenn die freie Austauschfläche (die freie Durchtrittsfläche der Füllkörper) aufgrund des Staubeintrages und des Wachstums von Biomasse abnimmt. Der mittlere Druckverlust bei einstufigen Rieselbettfiltern liegt bei Filterflächenbelastungen bis zu 1.000 $m^3/(m^2\ h)$ bei ca. 15 Pa, bei 1.000 – 2.000 $m^3/(m^2\ h)$ bei rund 27 und bei Filterflächenbelastungen von mehr als 2.000 $m^3/(m^2\ h)$ bei rund 41 Pa. Bei zweistufigen Anlagen (biologische Waschwand plus Biofilter) liegen die mittleren Druckverluste bei entsprechenden Filterflächenbelastungen bei 7,14 bzw. 23 Pa. Bei einstufigen Rieselbettfiltern wurden in der Praxis Druckverluste von bis zu 170 Pa gemessen, die auf eine partielle oder gar weitgehende Verstopfung der Filterpackung hindeuten. Die mittleren Druckverluste bei zweistufigen Anlagen (Chemowäscher plus biologische Waschstufe) lagen bei Filterflächenbelastungen zwischen 1.000 und 2.000 $m^3/(m^2\ h)$ bei rund 33 Pa und bei Filterflächenbelastungen > 2.000 $m^3/(m^2\ h)$ bei rund 54 Pa.

Zur Vorbeugung gegen zu hohe Druckverluste bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Rücksprache mit dem Hersteller in Hinblick auf die zu erwartenden Druckverluste im Regelbetrieb.
- Vermeidung hoher Staubeinträge in die Abluftreinigungsanlage. Insbesondere bei der Reinigung von Sammel- und Zentralkanälen darf die Luft nicht in die Abluftreinigungsanlage gelangen. Alle möglichen Maßnahmen zur Minderung der Staubbildung im Stall reduzieren das Zuwachsen der Füllkörperpackungen.
- Kontrolle des EBTB'es auf möglichen Anstieg des Druckverlustes bei gegebenem Volumenstrom. Bei stark steigendem Volumenstrom Reinigung der Füllkörperpackung.
- Regelmäßige, mindestens jährliche Reinigung der Füllkörperpackung und des Tropfenabscheiders.
- Installation und regelmäßige Reinigung des Wasserfilters im Ansaugbereich der Umwälzpumpen.

3.3.3 Optimierung des Frischwasserverbrauches

Der mittlere Frischwasserverbrauch für einstufige Rieselbettfilter und zweistufige Anlagen (biologische Abluftwäsche plus Biofilter) beträgt über alle Anlagengrößen rund 1,2 m^3/(TP*a). Dieser setzt sich

im Wesentlichen aus der Verdunstung von Wasser bei der Abluftreinigung sowie der erforderlichen Abschlämmung zusammen. Die Abschlämmung beträgt im Mittel bei der Schweinemast aktuell 0,57 m^3/(TP*a) (Stand: 2022), sodass auf die Verdunstung im Mittel ca. 0,68 m^3/(TP*a) entfallen. Wenn man davon ausgeht, dass je TP im Jahresmittel 40 m^3/h Luft gefördert werden, die rund 2 g Wasser je m^3 bei der Abluftreinigung aufnehmen, würde sich ein Wasserverbrauch von rund 0,70 m^3/(TP*a) über die Verdunstung ergeben, was die Daten sehr plausibel macht. Der Frischwasserverbrauch der Chemostufe lag bei zweistufigen Anlagen mit Chemowäsche und nachgeschalteter biologischer Wäsche bei durchschnittlich 0,54 m^3/(TP*a). Über den Frischwasserverbrauch der Biostufe liegen noch keine belastbaren Ergebnisse vor.

Übersteigt der durchschnittliche Frischwasserverbrauch den angegebenen Richtwert von rund 1,2 m^3/(TP*a) bei einstufigen Rieselbettfiltern und zweistufigen Anlagen mit biologischer Wäsche und Biofiltration (0,54 m^3/(TP*a) bei Chemowäschern) deutlich, sind folgende Maßnahmen empfehlenswert:

- Rücksprache mit dem Hersteller und Klärung des zu erwartenden Frischwasserverbrauches.
- Prüfung des EBTB'es hinsichtlich des Frischwasserverbrauches (Verlauf, Auffälligkeiten).
- Prüfung des Wasserdrucks an den Düsen sowie des Abstandes des Wasserverteilsystems vom Tropfenabscheider. Bei Wasserdrücken von mehr als 0,5 bar sollte dieser in Absprache mit dem Hersteller reduziert werden. Ist der Abstand des Wasserverteilsystems vom Tropfenabscheider < als 1,0 m, sollte dieser entsprechend erhöht werden. Ferner sollte der Tropfenabscheider auf sachgerechte Dimensionierung und insbesondere in Hinblick auf die erforderliche Anströmgeschwindigkeit geprüft werden.
- Prüfung der Abschlämmrate. Liegt diese deutlich über den Richtwerten, kann dies mit erhöhten Ammoniakfrachten aus dem Stall (z. B. bei Unterflurentlüftung) oder einer fehlerhaften pH-Regelung zusammenhängen.
- Prüfung auf Undichtigkeiten, Leckagen und Wasserverluste. Bei zweistufigen Anlagen mit Biofilterstufe können relevante Wasserverluste bei der intermittierenden Befeuchtung des Biofilters auftreten.

3.3.4 Optimierung der Abschlämmung

Die Abschlämmung bei einstufigen Rieselbettfiltern und zweistufigen Anlagen (biologische Wäsche plus Biofilter) beträgt aktuell (Stand: 2022) durchschnittlich 0,57 m^3/(TP*a). Rein rechnerisch müsste die (theoretische) Abschlämmung bei einem Emissionsfaktor von 3,64 kg NH_3/(TP*a) und einem Abscheidegrad von mindestens 70 % bei rund 0,63 m^3/(TP*a) liegen, wenn man als Abschlämmkriterium eine maximale Leitfähigkeit von 20 mS/cm bei einer N-Konzentration von 3,34 kg/m^3 Waschwasser zugrunde legt.

Liegen die Abschlämmraten deutlich über dem durchschnittlichen Abschlämmwert für einstufige Rieselbettfilter und zweistufige Anlagen mit biologischer Wäsche und Biofiltration, sind folgende Maßnahmen empfehlenswert:

- Rücksprache mit dem Hersteller in Hinblick auf die zu erwartende Abschlämmung.
- Prüfung des EBTB'es hinsichtlich der Abschlämmung (Verlauf, Auffälligkeiten).
- Prüfung der Fütterung und Stallentlüftung in Hinblick auf erhöhte NH_3-Freisetzung (keine N-reduzierte Fütterung, Unterflurentlüftung, Fütterung von Lebensmittelresten, mangelnde Sauberkeit im Stall etc.).

- Prüfung der pH-Regelung auf ordnungsgemäßen Betrieb. Säuren und Laugen erhöhen wie Stickstoffverbindungen die Leitfähigkeit des Waschwassers. Der pH-Wert im Waschwasser biologischer Abluftwäscher muss im gesamten Waschkreislauf zwischen pH 6,0 (Minimum) und 7,5 (Maximum) liegen.

Die Abschlämmung bei Anlagen mit chemischer Waschstufe als zentraler Reinigungseinheit liegt deutlich unter den Abschlämmraten, die für biologisch arbeitende Anlagen erforderlich sind. Während biologisch arbeitende Rieselbettfilter und Waschstufen bei einer Leitfähigkeit von 20 mS/cm abgeschlämmt werden, werden bei chemischen Waschstufen Leitfähigkeiten von aktuell (Stand: 2022) maximal 250 mS/cm erreicht. Nach den bisherigen Ergebnissen von Praxisanlagen liegt die Abschlämmung bei durchschnittlich 0,07 m^3(TP*a) und damit um den Faktor 8,1 niedriger als bei den biologischen Verfahren.

4. Eigenkontrolle und Anlagenwartung

Zur Aufrechterhaltung des ordnungsgemäßen Betriebes einer Abluftreinigungsanlage (ARA) sollte der Betreiber eine regelmäßige Eigenkontrolle durchführen und neben den Wartungs- und Reinigungsarbeiten, die im Zuge von Wartungsverträgen von den Anlagenherstellern durchgeführt werden, einfache Wartungs- und Reinigungsarbeiten selbst durchführen. Hierzu ist die Anlage durch tägliche Inaugenscheinnahme der wichtigsten Funktionsbereiche zu kontrollieren. Das EBTB (siehe Kapitel 7) kann über die von ihm erfassten Parameter einen ergänzenden Eindruck über den Zustand der ARA geben. Die Eigenkontrolle umfasst dabei sowohl die Funktionen der ARA als auch die maßgeblichen Parameter des Stallklimas, welches sich z. B. durch einen Leistungseinbruch beim Abluftdurchsatz unmittelbar nachteilig bis existenziell bedrohlich auf den vorgelagerten Tierbestand auswirken kann. Um das i. d. R. in der Genehmigung festgelegte Niveau der Reinigungsleistung zu gewährleisten, sind die Prozessbedingungen in dem anlagenspezifisch dafür vorgesehenen Spielraum einzuregeln. Bei den reinigungsaktiven Flächen (z. B. Filterwände, Füllkörperpackungen, Biofilterschüttungen) ist in diesem Zusammenhang auf eine ausreichende, homogene und flächendeckende Befeuchtung zu achten. Dies setzt voraus, dass alle im Verfahren eingesetzten Wasser bzw. Waschwasser führenden Leitungen und Kanäle, Düsen und Bohrungen verstopfungsfrei funktionieren. Den erforderlichen Druck für die Benetzung der reinigungsaktiven Flächen bzw. zur Aufrechterhaltung einer systemspezifischen Berieselungsdichte liefern Pumpen, deren Funktion permanent zu überwachen und deren Leistung zu kontrollieren ist. Da Prozesswasser bei den Waschprozessen verdunstet, ist ein ausreichender Füllstand in der Waschwasservorlage durch eine intakte niveaugesteuerte Frischwassereinspeisung zu gewährleisten. Das Waschwasser in rein biologisch betriebenen Wäschern reichert sich mit Staub und vergleichsweise schnell mit Stickstoffverbindungen (Ammonium, Nitrit, Nitrat) an und muss daher zur Aufrechterhaltung der mikrobiologischen Aktivität in entsprechenden Zyklen abgeschlämmt werden. Ein pH-Wert-Anstieg in biologischen Wäschersystemen aufgrund unzureichender Abschlämmung oder bei Chemowäschern aufgrund unzureichender Säurezugabe sowie trockene Füllkörperwände infolge mangelhafter Berieselung bewirken eine verminderte Ammoniak-Abscheidung. Bei mehrstufigen Systemen ist dies beispielsweise daran zu erkennen, dass die Biofilterschüttung auf der Lichtseite grüne Algen bildet und insgesamt schneller kompostiert. Die in Rieselbettfiltern und mehrstufigen Verfahren zur Unterstützung der

mikrobiologischen Aktivität oder in Chemowäschern zur Säurewäsche eingesetzten pH-Wert-Steuerungen als auch die damit in Verbindung stehenden Säure- und Laugendosiereinrichtungen sind regelmäßig auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Das Gleiche gilt, wenn in Rieselbettfiltern oder biologischen Waschstufen von mehrstufigen Filtern Nitrifikationshemmer eingesetzt werden. Auch in diesem Fall ist permanent auf die Funktionstüchtigkeit der pH-Wert-Messeinrichtung und der Dosieranlage des Nitrifikationshemmers zu achten. Mindestens ebenso wichtig ist es, ständig eine ausreichende Menge an Schwefelsäure, Lauge oder Nitrifikationshemmer vorzuhalten. Während die pH-Wert-Regelung vom Betreiber regelmäßig selbst kalibriert werden kann, sollten die eingesetzten Dosieranlagen nur von geschultem Fachpersonal gewartet werden.

Steigt in einer ARA der Differenzdruck, ist dies i. d. R. ein Indiz für den Beginn von Verstopfungen. Die Ursache kann bei Rieselbettfiltern, Chemowäschern und mehrstufigen Verfahren eine Verstopfung der reinigungsaktiven Flächen (Filterwände) bzw. Einbauten (Füllkörperpackungen) sein. Bei Biofiltern bewirkt die (gewünschte) mikrobielle Aktivität eine Kompostierung des organischen Materials, wodurch es zwangsläufig zu Materialsetzungen kommt, die höhere Gegendrücke hervorrufen. Steigt der Differenzdruck über den anlagenspezifischen Sollwert einer ARA, sind Filterwände, Füllkörperpackungen und ggf. installierte Tropfenabscheider zu reinigen. Bei einstufigen Biofiltern ist keine Reinigung des Filtermaterials möglich und daher ein entsprechender Wechsel der Holzhackschnitzel-Schicht nach einem Jahr bzw. bei mehrstufigen Anlagen ein Austausch des gerissenen Wurzelholzes nach fünf Jahren notwendig, um den Folgen der Kompostierung, der Anreicherung von Salzen und der Tendenz der Bildung von unerwünschten Sekundärgasen zu begegnen. Tritt die Kompostierung schneller ein, ist das Schüttmaterial bereits entsprechend früher zu tauschen. Bei der Reinigung der reinigungsaktiven Flächen müssen die wasserführenden Pumpen der ARA i. d. R. abgeschaltet werden, um die entsprechenden Arbeiten durchführen zu können. Bei Haltungsverfahren im stallweisen Rein-Raus-Verfahren können diese Tätigkeiten mit der Serviceperiode des Stalles kombiniert werden und dann bei ausgeschalteter Lüftung erfolgen. Bei kontinuierlichen Haltungsverfahren oder beim abteilweisen Rein-Raus-Verfahren müssen die Pumpen der ARA ebenfalls abgeschaltet werden, die Stalllüftung ist hingegen aufgrund der teilweisen Belegung des Stalles weiterhin zu betreiben. In jedem Fall ist es ratsam im Hinblick auf Wartungs- und Reinigungsarbeiten bei der Wahl und dem sachgerechten Einsatz von Reinigungsmitteln und -geräten auf Informationen des Anlagenherstellers zurückzugreifen oder sich von diesem schulen zu lassen. Die Einhaltung der von den Anlagenherstellern angegebenen und in der Regel im Genehmigungsverfahren festgelegten Abscheideleistungen ist indes ein wichtiger Gesichtspunkt, denn es ist festzustellen, dass die Genehmigung keinen Bestand hat, wenn Abscheideleistungen von der ARA nicht eingehalten werden.

5. Unzureichende Reinigungsleistungen – was tun?

5.1 Sicherstellung einer gleichmäßigen Anströmung

Für eine optimale Reinigung der Abluft ist die gleichmäßige Anströmung der Austauschflächen bei allen Betriebszuständen von entscheidender Bedeutung. Problematisch sind die Verhältnisse oft bei großen Anlagen mit großen Austauschflächen, bei denen die Ventilatoren mittig vor und in geringem Abstand zur Waschwand angeordnet sind (Fall A in Abbildung 1). Eine nicht synchrone Ansteuerung der Ventilatoren verschärft die schwierige Anströmung noch, da es in den Bereichen, die weit von den

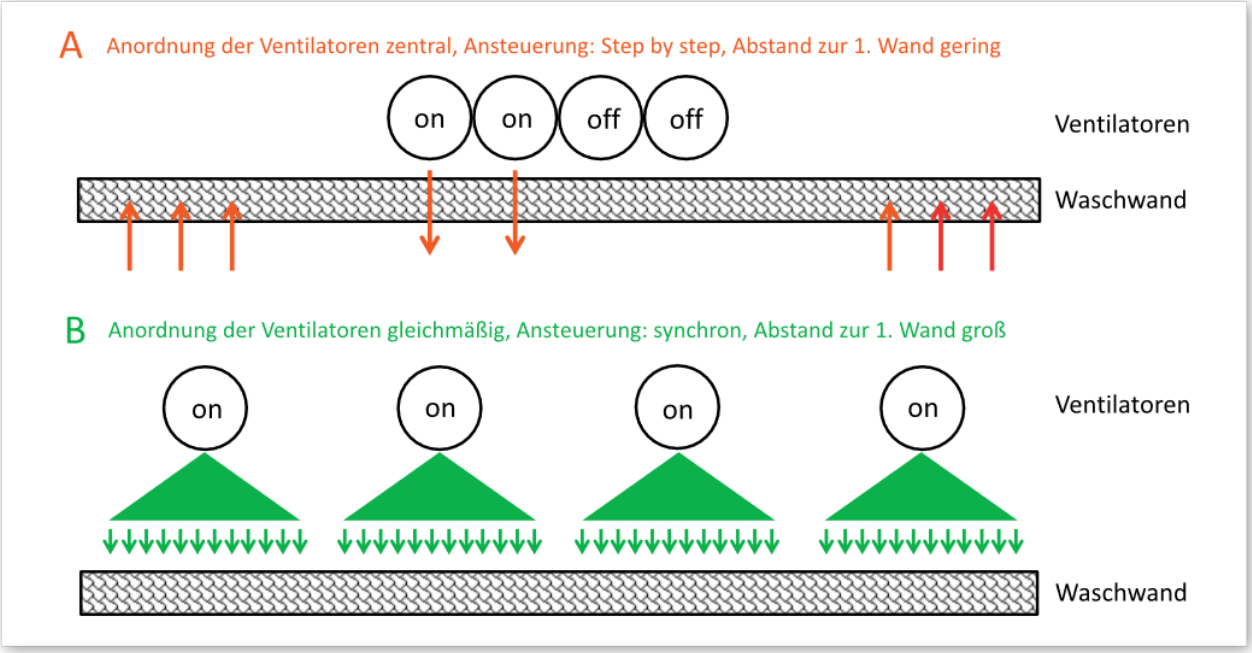

Abbildung 1: Verbesserung der Anströmung bei großen Waschwänden (Quelle: Hahne 2022)

Ventilatoren entfernt sind, zur Umkehr der Strömungsrichtung kommen kann. Der Fall B in Abbildung 1 zeigt, wie durch eine synchrone Ansteuerung der Ventilatoren, eine gleichmäßige Verteilung vor der Austauschfläche und durch ausreichenden Abstand zur ersten Waschwand die Anströmung deutlich verbessert werden kann. Unter Umständen kann auch eine Gleichrichterfolie helfen, die zwischen den Ventilatoren und der ersten Austauschfläche eingezogen wird.

5.2 Sicherstellung einer gleichmäßigen Berieselung der Austauschflächen mit einer ausreichenden Berieselungsdichte

Eine ausreichende und gleichmäßig flächige Berieselung der Austauschflächen ist bei senkrechten Waschwänden (Abbildung 2, B) immer schwieriger als bei liegenden Austauschflächen (Abbildung 2, A), die von oben berieselt oder bedüst werden. In vielen Fällen kann eine Vorbedüsung (Abbildung 2, C) die gleichmäßige Befeuchtung der Austauschflächen deutlich verbessern.

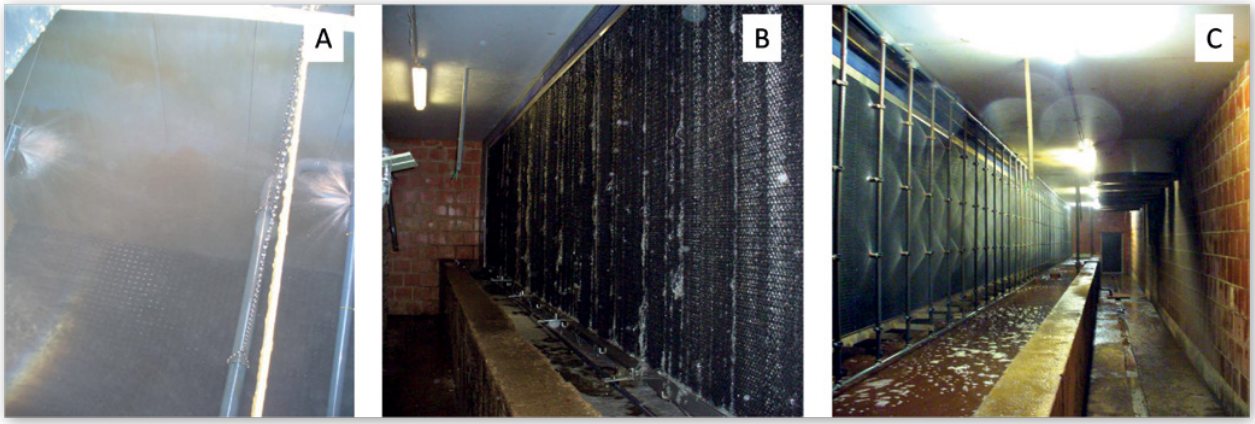

Abbildung 2: Bedüsung liegender Packungen (A), Berieselung senkrechter Austauschflächen sowie die Vorbedüsung (C) für eine bessere Befeuchtung von Austauschflächen (Quelle: Hahne 2022)

Generell ist es erforderlich, dass die in den DLG-Prüfberichten genannten Berieslungsdichten, die in Abhängigkeit des Verfahrens unterschiedlich sein können, eingehalten werden, um eine gleichmäßige und ausreichende Befeuchtung der Austauschflächen zu gewährleisten. Zum Schutz vor Ablagerungen und Verstopfungen im Wasserverteilsystem ist ein Wasserfilter im Ansaugbereich der Umwälzpumpe dringend zu empfehlen. Das Wasserverteilsystem sollte darüber hinaus einmal im Jahr gespült und auf ordnungsgemäße Funktion in Hinblick auf den Durchfluss in m^3/h geprüft werden.

5.3 Sicherstellung des geforderten pH-Bereiches im Waschwasser

Während bei chemisch betriebenen Waschstufen oder Wäschern die Einstellung des pH-Wertes auf Werte zwischen 3 und 4 mit Schwefelsäure vergleichsweise einfach ist, ist die pH-Regelung bei biologisch betriebenen Waschstufen oder Rieselbettfiltern aufwendiger. Bei sauer betriebenen Waschstufen oder Wäschern werden biologische Prozesse wie die mikrobiologische Oxidation von Ammoniak zu Nitrit und Nitrat praktisch ausgeschlossen. Das Ammoniak aus der Abluft des Stalles wird als Ammoniumsulfat chemisch gebunden.

Bei biologisch arbeitenden Waschstufen oder einstufigen Rieselbettfiltern soll der pH-Wert zwischen pH 6 (Minimum) und 7,5 (Maximum) geregelt werden. Hierzu werden im Regelfall geringe Mengen an Säure, Lauge bzw. Nitrifikationshemmer eingesetzt. Wenn jedoch die Biomasse in der Füllkörperpackung erheblich angewachsen ist, kann es zu einer erheblichen, biologisch bedingten pH-Absenkung infolge der Oxidation von Ammoniak zu salpetriger Säure kommen. Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass der pH-Wert im Waschwasser auf Werte um pH 3 fallen kann. Unter diesen Bedingungen kommt es dann zur Freisetzung nitroser Gase, die im Reingas einen typischen Schwimmbadgeruch erzeugen. Wenn dieser Prozess erheblichen Umfang annimmt, wird keine ausreichende N-Abscheidung mehr erreicht, da Ammoniak zwar abgeschieden, aber dann als nitroses Gas wiederum mit dem Reingas freigesetzt wird.

Um dies zu verhindern, werden bei einstufigen Rieselbettfiltern seit einigen Jahren z. T. Nitrifikationshemmer dosiert, die nach der Düngemittelverordnung (Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Düngemittelverordnung – DüMV, https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/D%C3%BCMV.pdf, Zugriff am 21. 7. 2022) zugelassen sind. Diese Stoffe wirken hemmend auf die biologische Ammoniakoxidation und damit einer starken Säurebildung entgegen. Hierdurch wird dann ein vermehrter Verbrauch an vergleichsweise teurer Natronlauge zur pH-Stabilisierung vermieden.

Für den Einsatz dieser wassergefährdenden Stoffe müssen neben der Düngemittelverordnung, insbesondere die Anforderungen der AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, https://www.gesetze-im-internet.de/awsv/, Zugriff am 21. 7. 2022) beachtet werden. Aktuelle Erfahrungen zeigen, dass die Wirksamkeit dieser Stoffe infolge der mikrobiologischen Anpassung allmählich abnimmt. Es wird daher empfohlen, den Einsatzstoff mindestens jährlich zu wechseln und beim Wechsel die Füllkörperpackung gründlich zu reinigen.

5.4 Sicherstellung der geforderten Ammoniakabscheidung und der Stickstoffentfrachtung

Die Ammoniakabscheidung DLG-anerkannter Abluftreinigungsverfahren muss dauerhaft mindestens 70 % betragen. Nach den bisherigen Praxiserfahrungen mit einstufigen Rieselbettfiltern wird dieser Abscheidegrad im Mittel der geprüften Anlagen deutlich überschritten (Hahne, Jochen: Überwachung von biologisch arbeitenden Rieselbettfiltern in der Mastschweinehaltung, https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/view/3216, Zugriff am 21. 7. 2022 und Hahne, Jochen: Bewertung der Wirksamkeit von Biotrickling-Filtern zur Abluftreinigung in der Mastschweinehaltung, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 82 (2022) Nr. 05-06, S. 148 – 154). Die Stickstoffentfrachtung wird als Prozentwert aus dem Verhältnis der N-Masse, die mit dem Waschwasser abgeschlämmt wird, und dem N-Eintrag über das Rohgas ermittelt. Die N-Entfrachtung ist bei Einhaltung der geforderten Abschlämmraten im Regelfall gesichert. Aufgrund einer in gewissem Umfang unvermeidbaren Sekundärgasbildung bei biologischen Prozessen ist die N-Entfrachtung geringer als die Ammoniakabscheidung. Bei Chemowäschern ist die Ammoniakabscheidung im Regelfall mit hohen Abscheidegraden gewährleistet und aufgrund fehlender Sekundärreaktionen ist die N-Entfrachtung mit der Ammoniakabscheidung vergleichbar.

Bei nicht ausreichender Ammoniakabscheidung sind folgende Maßnahmen empfehlenswert:

- Überprüfung der pH-Messung und der pH-Elektrode auf korrekte Funktion (Kalibrierung der Messkette)
- Überprüfung des Durchflusses der Umwälzpumpe (Sicherstellung der erforderlichen Durchflussrate)
- Überprüfung der gleichmäßigen Befeuchtung der Austauschflächen
- Überprüfung der ordnungsgemäßen Abschlämmung (Leitfähigkeit und Abschlämmvolumen).

5.5 Sicherstellung der geforderten Staubabscheidung

Bei ordnungsgemäß betriebenen DLG-anerkannten Abluftreinigungsverfahren in der Schweinehaltung ist eine Gesamtstaubabscheidung von mindestens 70 % im Regelfall immer und dauerhaft gewährleistet. Gleiches gilt für die Abscheidung von Feinstaub (PM_{10}). Für die Staubabscheidung ist die gleichmäßige Anströmung der Austauschflächen und die dauerhafte und gleichmäßige Befeuchtung maßgeblich, die im Bedarfsfall zu überprüfen wären.

5.6 Sicherstellung der geforderten Geruchsminderung

DLG-anerkannte Verfahren zur Reinigung von Abluft aus Schweinhaltungen müssen eine maximale Geruchsstoffkonzentration von 300 GE/m³ im Reingas ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit sicherstellen. Ferner dürfen im Reingas keine prozesstypischen Gerüche mehr wahrnehmbar sein. Bei Schweinehaltungen mit Oberflurentlüftung, Standardfutter-Einsatz, ordnungsgemäßem Management und Lüftung nach DIN 18910 werden diese Anforderungen im Regelfall sicher eingehalten. Unter diesen Bedingungen liegen die Geruchsstoffkonzentrationen im Rohgas bei maximal 1.000 – 1.500 GE/m³, die durch die Abluftreinigungsverfahren entsprechend reduziert werden. Werden jedoch Lebensmittelreste verfüttert oder erfolgt eine Unterflurabsaugung, können die Geruchstoffkonzentrationen im Rohgas teilweise erheblich ansteigen. Und dann kann trotz ordnungsgemäßer Anlagenfunktion die Geruchsstoffkonzentration im Reingas höher sein als 300 GE/m³, obwohl keine prozesstypischen Gerüche mehr wahrnehmbar sind.

Werden die Anforderungen an die Geruchsminderung nicht eingehalten, sind folgende Maßnahmen empfehlenswert:

- Prüfung der Stallanlage in Hinblick auf Art und Umfang der Entlüftung, Einhaltung der DIN 18910 und Prüfung der Fütterung sowie der Sauberkeit im Stall.
- Prüfung der Geruchsstoffkonzentration im Rohgas.
- Austausch des Waschwassers und Reinigung der Füllkörper – insbesondere bei erhöhten Druckverlusten – und Reinigung der Wasservorlage.

6. Literatur

DIN 18910 (2017): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe; DIN-Normausschuss Bauwesen (NA-Bau), August 2017

Hahne, J.: Überwachung von biologisch arbeitenden Rieselbettfiltern in der Mastschweinehaltung, https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/view/3216

Hahne, J.: Bewertung der Wirksamkeit von Biotrickling-Filtern zur Abluftreinigung in der Mastschweinehaltung, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 82 (2022) Nr. 05-06, S. 148–154

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2021): AVwV v 18. 8. 21; Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. GMBl. Nr. 48–54, S. 1050

Hahne, J., Arends, F., Beverborg, R., Niehoff, A.-L., Bönsch, S. Hortmann-Scholten, A. 2016; Aktuelle Entwicklung Kosten-Nutzenanalyse und Vollzugsempfehlungen für den Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung, UBA-Texte 61/2016

https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/24179_Optimierung_des_Stallklimas_in_der_Mastschweinehaltung, Zugriff am 20. 7. 2022

KTBL (2023): Abluftreinigung für Schweinehaltungsverfahren. Verfahren – Leistungen – Kosten. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Düngemittelverordnung – DüMV, https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/D%C3%BCMV.pdf

Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, https://www.gesetze-im-internet.de/awsv/

Vierte Verordnung zur Durchführung des BundesImmissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) zuletzt geändert am 12.10.2022

Erst informieren, dann investieren!

4.000 Prüfberichte online unter **www.DLG-Test.de**

www.DLG.org

DLG-Merkblätter.
Wissen für die Praxis.

- DLG-Merkblatt 484
  Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung – Teil 1
- DLG-Merkblatt 465
  Datennetzwerke im landwirtschaftlichen Betrieb
- DLG-Merkblatt 464
  Fütterung und Tierwohl beim Schwein – Teil B
- DLG-Merkblatt 463
  Fütterung und Tierwohl beim Schwein – Teil A
- DLG-Merkblatt 458
  Strukturierung von Buchten in Ferkelaufzucht und Schweinemast
- DLG-Merkblatt 454
  Ferkelkastration unter Inhalationsnarkose
- DLG-Merkblatt 453
  Ferkelkastration unter Injektionsnarkose
- DLG-Merkblatt 418
  Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen

Download unter www.DLG.org/Merkblaetter

DLG e.V.
Mitgliederservice
Eschborner Landstraße 122 • 60489 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel. +49 69 24788-205 • Fax +49 69 24788-124
Info@DLG.org • www.DLG.org