

Partikelabscheidung aus der Abluft von Geflügelhaltungsanlagen

Jochen Hahne, Julian Rump

In umfangreichen Versuchen wurde die Partikelabscheidung verschiedener Abluftwäscher zur Reinigung von Abluft aus einer Hühnerhaltung mit Aerosolspektrometern untersucht. Die erreichbare Partikelabscheidung hing vom Verfahrensaufbau, der Art der Wasserverteilsysteme und der hierdurch bedingten Produktion von Aerosolen ab, die z. T. zu negativen Abscheidegraden bei Partikelgrößenklassen $< 2,5 \mu\text{m}$ führten. Bei der Partikelgrößenklasse von $2,5\text{--}3 \mu\text{m}$ variierten die mittleren Abscheidegrade zwischen den Versuchsanlagen zwischen 5,6 und 73,1%. Mit zunehmender Partikelgröße stiegen die Abscheidegrade bei allen Versuchsvarianten an und lagen bei der Partikelgrößenklasse von $6,5\text{--}7,5 \mu\text{m}$ zwischen 56,4 und 97,6%. Eine durchgehend positive Partikelabscheidung über alle Größenklassen wurde nur bei Einsatz von Wasserverteilsystemen mit geringem Betriebsdruck von 0,1–0,2 bar erzielt. Die höchsten Abscheidegrade bei den Verfahren mit Wäschern wurden in Kombination mit einer Trockenentstaubung erzielt. Der trocken arbeitende Elektroabscheider ergab im Vergleich zu den Versuchsanlagen mit Waschstufe auch bei kürzeren Verweilzeiten durchweg höhere Partikelabscheidegrade über alle Partikelgrößenklassen hinweg. Insbesondere bei Partikelgrößen unter $3 \mu\text{m}$ war der trocken arbeitende Elektroabscheider allen Waschsyste men deutlich überlegen.

Schlüsselwörter

Partikel, Aerosole, Abscheidung, Abluftreinigung, Geflügelhaltung

Die Tierhaltung in Deutschland gewährleistet die Produktion hochwertiger und preisgünstiger Lebensmittel, verursacht aber auch relevante Geruchs-, Ammoniak- und Partikelemissionen. Zur Reduzierung dieser Umweltwirkungen werden zunehmend Abluftreinigungsanlagen eingesetzt. In der Geflügelhaltung kommen vor allem ein- oder zweistufige Abluftwäscher zum Einsatz (DLG-PRÜFBERICHT 5952, 6254, 6260, 6271, 6344, 6212, 6397, 6406). Bei ordnungsgemäßem Einsatz dieser Anlagen wird auch eine weitgehende Partikelabscheidung gewährleistet. Beispielsweise wurden Abscheidegrade von 70,7–87,9% für Gesamtstaub, 82,2–91,7% für PM_{10} und mehr als 98% für $\text{PM}_{2,5}$ ermittelt (DLG-PRÜFBERICHT 6406). Allerdings werden beim Betrieb von Abluftwäschern auch Aerosole freigesetzt, die neben gelösten Stickstoffsalzen auch Bioaerosole enthalten können. Nach aktuellen Messungen in der Hähnchenmast liegt der relative Anteil von Bioaerosolen in der $\text{PM}_{2,5}$ -Fraktion bei 14% und in der PM_{10} -Fraktion bei 39% (GÄRTNER et al. 2017). Messungen von Clauß, Thünen-Institut (2018, persönliche Mitteilung), zeigen für Legehennen mit 15 bzw. 35% und Mastputen mit 10 bzw. 35% vergleichbare Ergebnisse. Der relative Anteil an Bioaerosolen in der Fraktion $> \text{PM}_{10}$ wird von Clauß, Thünen-Institut (2018, persönliche Mitteilung), für Geflügelhaltungen mit 60–65% angegeben. Diese Ergebnisse passen auch zu den Abscheidegraden für Gesamtbakterien in Höhe von 79–98%, die beispielsweise bei der Abluftreinigung in der Legehennenhaltung im Rahmen von DLG-

Tests ermittelt wurden (DLG-PRÜFBERICHT 6397 und 6406). Untersuchungen zur Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen ergaben für Bioaerosole bei Biofiltern und Rieselbettreaktoren Minderungsgrade um weit mehr als 90%. Bei höheren Volumenströmen und dementsprechend kürzeren Kontaktzeiten gingen die Abscheidegrade allerdings zurück (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT).

Ziel der Untersuchungen war es, die Partikelemissionen aus verschiedenen Versuchsanlagen mit Waschstufen größenfraktioniert zu erfassen, um künftig durch die Optimierung der Verfahrenstechnik die Partikelabscheidung und die Stickstoffrückhaltung zu verbessern und die Freisetzung von Aerosolen und darin enthaltenen Bioaerosolen weiter zu reduzieren. Ein weiteres Ziel der Arbeit war der Bau und Betrieb eines Elektroabscheiders zur Partikelabscheidung, um die Potenziale dieses Verfahrens für die Geflügelhaltung bewerten zu können.

Material und Methodik

Die Versuche zur Partikelabscheidung an den Versuchsanlagen 1, 2 und 3 wurden unter Praxisbedingungen mit Abluft aus einer Hühnerhaltung durchgeführt. Die Rohluftzusammensetzung unterlag tages- und jahreszeitlichen sowie haltungsbedingten Schwankungen, die sich auch auf die Partikelanzahlkonzentration auswirkten (Tabelle 1). Die Angaben zu den Partikelanzahlkonzentrationen wurden im Hinblick auf die Messgenauigkeit gerundet.

Tabelle 1: Zusammensetzung und Schwankungsbreite der Rohluft aus der Geflügelhaltung (n = 99)

Parameter	Mittelwert	Minimum	Maximum
Ammoniak in ppm	4,1	0,3	25,7
Kohlenstoffdioxid in ppm	1.737	512	2.519
Relative Feuchte in %	54,0	42,7	69,1
Temperatur in °C	20,0	18,5	23,9
Partikelanzahlkonzentration, gerundet > 0,25 µm in 1/L	173.000	18.000	532.000

Die für die Versuche eingesetzte Rohluft aus den Hühnerställen zeigte im Mittel mit Werten von 9.000–46.000 je Liter relativ hohe Partikelanzahlkonzentrationen bis etwa 0,45 µm. Bis zu einer Partikelgröße von 3,5 µm lagen die Partikelanzahlkonzentrationen zwischen 900 und 3.000 je Liter auf einem relativ konstanten Niveau. Oberhalb einer Partikelgröße von 5 µm fielen die Partikelanzahlkonzentrationen deutlich und rapide auf Werte < 300 Partikel je Liter ab (Abbildung 1).

Für die Versuche mit dem Elektroabscheider (Versuchsanlage 4) wurde Umgebungsluft über eine Dosiereinrichtung mit Staub angereichert, der über einen längeren Zeitraum vom Vlies der Versuchsanlage 3 gewonnen wurde.

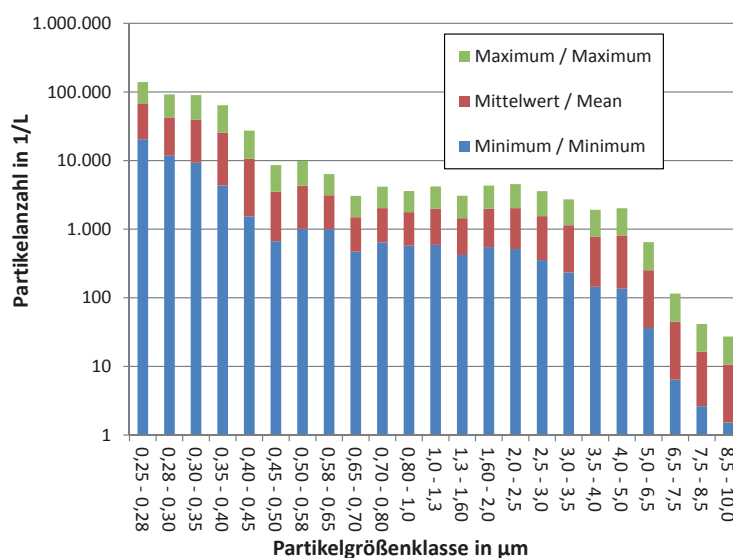


Abbildung 1: Mittlere Partikelgrößenverteilung in der Stallluft aus der Legehennenhaltung

Zur Partikelmessung in Roh- und Reingas wurden zwei baugleiche Aerosolspektrometer (Grimm, Portable Aerosol Spectrometer, Model 1.109, Ainring) eingesetzt. Die zeitgleichen Messungen wurden über mindestens 60 Minuten durchgeführt, wobei die Einzelmessungen über jeweils 1 min zu entsprechenden Mittelwerten zusammengefasst wurden. Die Vergleichbarkeit der beiden Aerosolspektrometer wurde nach jeder Messung durch Referenzmessung mit einer Spülluft überprüft und somit sichergestellt. Für die Auswertungen wurden die täglich erzeugten Ergebnisse erneut gemittelt. Die Messungen erfolgten von Dezember 2016 bis Januar 2017 an der Versuchsanlage 1 (n = 13), von Juli 2015 bis März 2016 an der Versuchsanlage 2 (n = 54) und von Oktober 2016 bis April 2017 an der Versuchsanlage 3 (n = 32). Die beiden Versuche zur Partikelabscheidung mit dem Elektroabscheider wurden an 2 Tagen jeweils über 45 bzw. 59 Minuten durchgeführt und in analoger Weise ausgewertet.

In den Versuchsanlagen 1 bis 3 wurde die Stallluft im Druckbetrieb geführt. Hierzu wurde ein druckstabiler Ventilator (400 m³/h bei 550 Pascal (Pa); Hürner Funken, Mücke) von einem Frequenzumrichter (Danfoss, Nordborg) angesteuert. Die Aufnahme der Strömungsgeschwindigkeit erfolgte mit einem Ultraschallgaszähler im Rohgas (Sick Maihak, Hamburg). Der Volumenstrom wurde dann aus dem Rohrdurchmesser (Innendurchmesser = 100 mm) und der Strömungsgeschwindigkeit errechnet. Gastemperaturen und Feuchten wurden mit Sensordaten (Vaisala, Vantaa) bestimmt. Zur Bestimmung der Druckverluste wurden pneumatisch-elektronische Druckdifferenzsensoren (halstrup-walcher, Kirchzarten) genutzt.

Versuchsanlagen und Versuchsbedingungen

Die Versuchsanlage 1 (Abbildung 2) bestand aus drei befeuchteten Reinigungsstufen (2, 3 und 4), die alle mit Kunststoff-Füllkörpern (25 mm Hiflow-Ringe) ausgestattet waren. Während die erste Reinigungsstufe permanent mit einer Berieselungsdichte von $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ über ein starres Beregnungssystem berieselt wurde, wurden die beiden folgenden Reinigungsstufen analog zur Versuchsanlage 2 intermittierend über mobile Beregnungseinrichtungen mit einer Berieselungsdichte von je $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ bei einer Einschaltdauer von jeweils 50% befeuchtet. Die Reinigungsstufen 1 und 2 wiesen eine Schichtdicke von 150 mm auf, die Reinigungsstufe 3 war 100 mm dick.

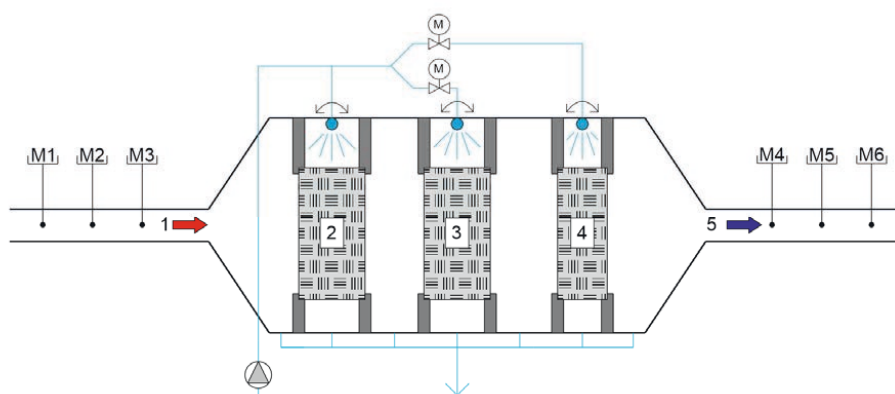


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Versuchsanlage 1 (1: Rohgas; 2: Erste Reinigungsstufe; 3: Zweite Reinigungsstufe; 4: Dritte Reinigungsstufe; 5: Reingas; M1: Partikel Rohgas; M2: Feuchte Rohgas; M3: Temperatur Rohgas; M4: Temperatur Reingas; M5: Partikel Reingas; M6: Feuchte Reingas)

Die Versuchsanlage 2 (Abbildung 3) bestand aus drei hintereinander geschalteten Reinigungsstufen. Die erste, trocken betriebene Reinigungsstufe bestand aus einer Hackschnitzelschicht (2) mit einer Schichtdicke von 150 mm, gefolgt von einer zweiten Stufe mit Hackschnitzeln gleicher Schichtdicke (3), die intermittierend im Kreuzstrom mit einer Berieselungsdichte von insgesamt $0,016 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ befeuchtet wurde. Die letzte Reinigungsstufe bildete eine permanent mit saurer Waschflüssigkeit betriebene Reinigungsstufe mit Kunststoff-Füllkörpern (4) (25 mm Hiflow-Ringe). Die Beregnung erfolgte über einen starren Beregnungsstrang mit einer Berieselungsdichte von $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

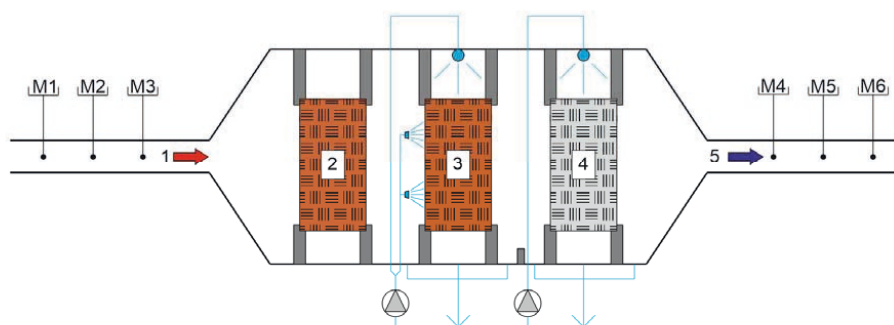


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Versuchsanlage 2 (1: Rohgas; 2: Erste Reinigungsstufe; 3: Zweite Reinigungsstufe; 4: Dritte Reinigungsstufe; 5: Reingas; M1: Partikel Rohgas; M2: Feuchte Rohgas; M3: Temperatur Rohgas; M4: Temperatur Reingas; M5: Partikel Reingas; M6: Feuchte Reingas)

Die Versuchsanlage 3 (Abbildung 4) bestand aus einer trocken betriebenen Entstaubungseinrichtung (2) und zwei nachgeschalteten intermittierend betriebenen Reinigungsstufen (3 und 4). Zur Trockenentstaubung wurde ein handelsübliches Filtervlies für Grobstaub (Typ HS-15/150, Luftfilterbau GmbH, Kiel) eingesetzt. Die automatische Vliesreinigung erfolgte bei einem Druckverlust von 80 Pascal (Pa). Im nicht beladenen Zustand lag der Druckverlust bei 40–50 Pa. Die beiden nachfolgenden baugleichen Reinigungsstufen, ausgestattet mit 25 mm Hiflow-Ringen, wurden intermittierend im Wechsel – jeweils im 5-Minuten-Takt – über bewegliche Beregnungssysteme (Typ ZoomMax, Gardena GmbH, Ulm) berieselt. Die Berieselungsdichte je Reinigungsstufe lag bei $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Allerdings lief jede Stufe nur 30 Minuten in der Stunde.

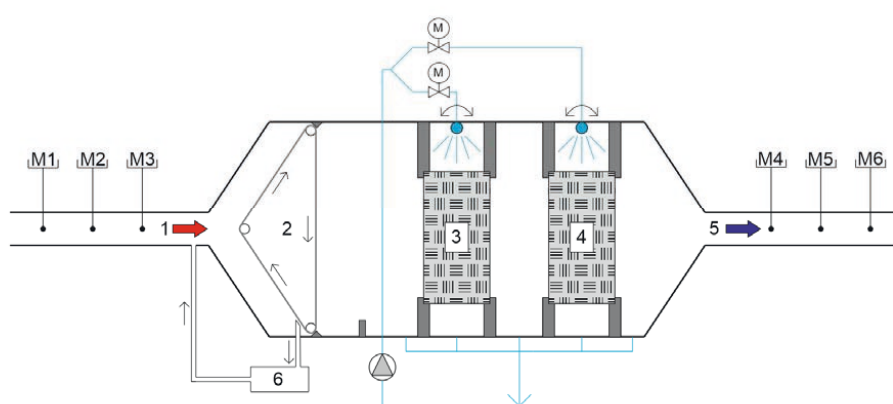


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Versuchsanlage 3 (1: Rohgas; 2: Entstauber-Einheit; 3: Zweite Reinigungsstufe; 4: Dritte Reinigungsstufe; 5: Reingas; 6: Vliesreinigung; M1: Partikel Rohgas; M2: Feuchte Rohgas; M3: Temperatur Rohgas; M4: Temperatur Reingas; M5: Partikel Reingas; M6: Feuchte Reingas)

Bei Versuchsanlage 4 handelt es sich um einen Elektroabscheider (Abbildung 5). Die Abscheidestrecke bestand aus einem vertikal aufgestelltem Aluminiumrohr ($d = 200 \text{ mm}$, $l = 1.704 \text{ mm}$). Die Luft wurde im Saugbetrieb mit einem druckstabilen Ventilator ($790 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 240 Pa ; Funken Kunststoffanlagen, Hennef Sieg), welcher über einen Frequenzumrichter (Hitachi, Chiyoda) gesteuert wurde, durch den Versuchsaufbau gesogen. Nach Einsaugen der Umgebungsluft wurde der Luftstrom durch ein im Rohr befestigtes Wabengitter zur Erzeugung einer laminaren Strömung geleitet, um so die korrekte Aufnahme der Strömungsgeschwindigkeit mit einem Flügelradanemometer (Ahlborn Mess- und Regelungstechnik, Holzkirchen) zu gewährleisten. Nach dieser Messstelle erfolgte die Dosierung der Partikel in den Gasstrom. Hierfür wurde ein vorschubgesteuerter Partikeldosierer (Palas, Karlsruhe) verwendet. Nach Passage der Rohgasmessstelle wurde der Gasstrom von unten in einem 90° -Winkel in die eigentliche Abscheidestrecke eingeleitet. Nach 1.704 mm entwich das Reingas aus dem Abscheider ebenfalls in einem 90° -Winkel in die Messstrecke, wo die Partikelanzahlkonzentration bestimmt wurde. Zusätzlich wurden im Roh- und Reingasrohr Messstellen zur Überprüfung des Druckverlustes eingebaut (halstrup-walcher, Kirchzarten). Die notwendige Hochspannung (DC) wurde mit einem Hochspannungserzeuger (iseg Spezialelektronik, Radeberg) erstellt und mit einem Multimeter (Votcraft, Wollerau) erfasst.

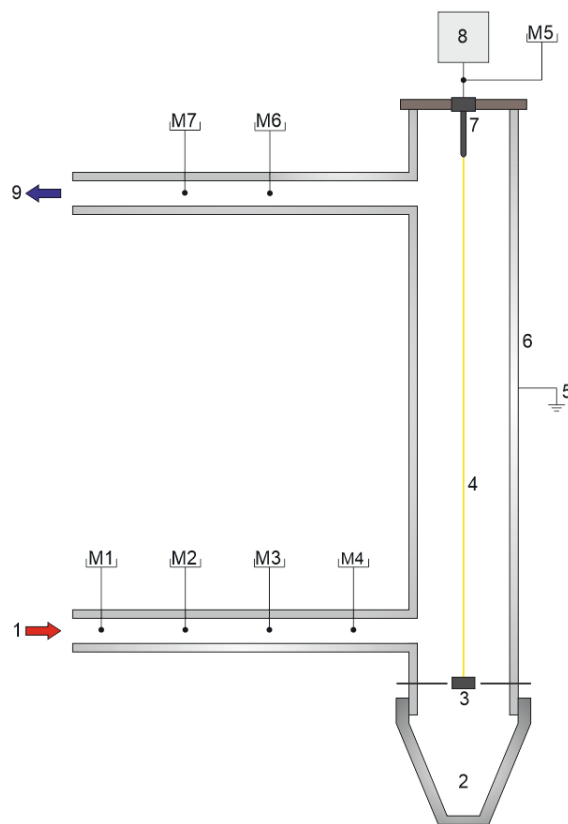


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Versuchsanlage 4 (1: Rohgas; 2: Staubbunker; 3: Spanngewicht; 4: Sprühelektrode; 5: Erdung; 6: Niederschlagslektrode; 7: Isolator; 8: Hochspannungstransformator; 9: Reingas; M1: Strömungsgeschwindigkeit; M2: Partikeldosierer; M3: Partikel Rohgas; M4: Druckdifferenz Rohgas; M5: Multimeter; M6: Druckdifferenz Reingas; M7 Partikel Reingas)

Die relevanten Versuchsbedingungen sind in den Tabellen 2 bis 5 aufgeführt. Zu beachten ist, dass die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Elektroabscheider mit 2,7 m/s erheblich über denen der Versuchsanlagen 1 bis 3 mit 0,7–0,74 m/s lag. Trotzdem war der mittlere Druckverlust des Elektroabscheiders mit 37,5 Pa vergleichsweise gering. Die mittleren Partikelanzahlkonzentrationen waren bei den Versuchen mit dem Elektroabscheider geringer, aber die Partikelgrößenverteilung blieb auch qualitativ im gesammelten Staub mit der in der Rohluft durchaus vergleichbar. Knapp 72 % des Staubes lag in der Partikelfraktion zwischen 0,25 μm und 0,45 μm vor, während es im Rohluftstaub aus der Hühnerhaltung 87 % waren.

Tabelle 2: Versuchsbedingungen bei der Versuchsanlage 1 (n = 13)

Parameter	Mittelwert	Minimum	Maximum
Strömungsgeschwindigkeit in m/s	0,70	0,69	0,71
Druckverlust in Pa	29	24	38
Relative Feuchte, Rohgas in %	50,7	43,0	60,7
Temperatur, Rohgas in °C	19,2	18,7	20,2
Partikelanzahlkonzentration, gerundet > 0,25 µm in 1/L	149.000	33.000	227.000

Tabelle 3: Versuchsbedingungen bei der Versuchsanlage 2 (n = 54)

Parameter	Mittelwert	Minimum	Maximum
Strömungsgeschwindigkeit in m/s	0,72	0,61	0,83
Druckverlust in Pa	99	60	175
Relative Feuchte, Rohgas in %	55,4	45,0	69,1
Temperatur, Rohgas in °C	20,4	19,3	23,9
Partikelanzahlkonzentration, gerundet > 0,25 µm in 1/L	159.000	18.000	337.000

Tabelle 4: Versuchsbedingungen bei der Versuchsanlage 3 (n = 32)

Parameter	Mittelwert	Minimum	Maximum
Strömungsgeschwindigkeit in m/s	0,74	0,69	0,80
Druckverlust in Pa	96	69	119
Relative Feuchte, Rohgas in %	53,0	42,7	63,1
Temperatur, Rohgas in °C	19,6	18,5	20,9
Partikelanzahlkonzentration, gerundet > 0,25 µm in 1/L	208.000	67.000	532.000

Tabelle 5: Versuchsbedingungen bei der Versuchsanlage 4 (n = 2)

Parameter	Mittelwert	Minimum	Maximum
Strömungsgeschwindigkeit in m/s	2,67	2,63	2,70
Druckverlust in Pa	37,5	35,0	40,0
Anliegende Spannung in kV	26,69	26,69	26,69
Partikelanzahlkonzentration, gerundet > 0,25 µm in 1/L	117.000	40.000	193.000

Ergebnisse

Die Versuchsanlagen 1 bis 3 arbeiteten mit berieselten Waschstufen, die verfahrensbedingt auch zur Bildung feiner Wassertropfen führten, die von den Aerosolspektrometern als Partikel detektiert wurden. Im Mittel (n = 2) zeigten die Messungen an der Versuchsanlage 3 mit vorfiltrierter Umgebungsluft die Bildung von Partikeln in den Größenklassen von 0,5 bis 5 µm. Deutliche Erhöhungen der Partikelanzahlkonzentration um das 18- bis 50-Fache wurden bei Größenklassen < 2 µm festgestellt (Abbildung 6). Bei Partikelgrößen von 2,0 bis 4,0 µm lagen die Partikelanzahlkonzentrationen im Reingas noch um den Faktor 2 bis 6 über denen der vorfiltrierten Rohluft. Oberhalb einer Partikelgröße von 5 µm wurde keine Produktion von Partikeln festgestellt.

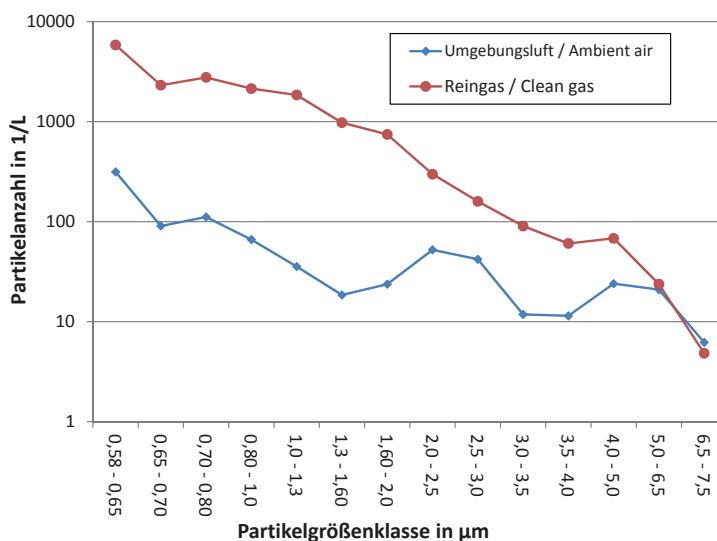


Abbildung 6: Partikelproduktion durch die Berieselung der Versuchsanlage 3 bei Betrieb mit gefilterter Umgebungs-
luft als Rohgas

Versuchsanlage 1

Beim Betrieb der Abluftreinigungsanlage 1 wurde im Mittel (n = 13) eine Abkühlung der Rohluft um 2 °C und eine Anhebung der relativen Feuchte um 48,8% gemessen. Die Reinglufttemperatur lag im Mittel bei 17,6 °C und die Reingluftfeuchte bei 99,5%. Die mittlere Partikelabscheidung (n = 13) der Versuchsanlage 1 mit drei Waschstufen führte erst oberhalb einer Partikelgröße von mehr als 2,5 µm zu einer positiven Abscheidung bei Partikelanzahlkonzentrationen von 149.000 ± 63.000 je Liter im Rohgas. Die erzielten Abscheidegrade bewegten sich zwischen 5,6% (Partikelgrößenklasse 2,5–3 µm) und maximal 56,4% bei der Partikelgrößenklasse von 6,5–7,5 µm (Abbildung 7).

Die unbefriedigende Partikelrückhaltung dürfte vor allem auf die Bildung von Wasseraerosolen durch die Wasserverteilsysteme zurückzuführen sein, deren Betriebsdruck zwischen 0,5 und 0,7 bar lag. Bei den Auswertungen wurde vorausgesetzt, dass die Signalstärke für die Zählung fester Partikel aus dem Stall und den Aerosolpartikeln, die bei der Abluftreinigung gebildet werden, äquivalent ist.

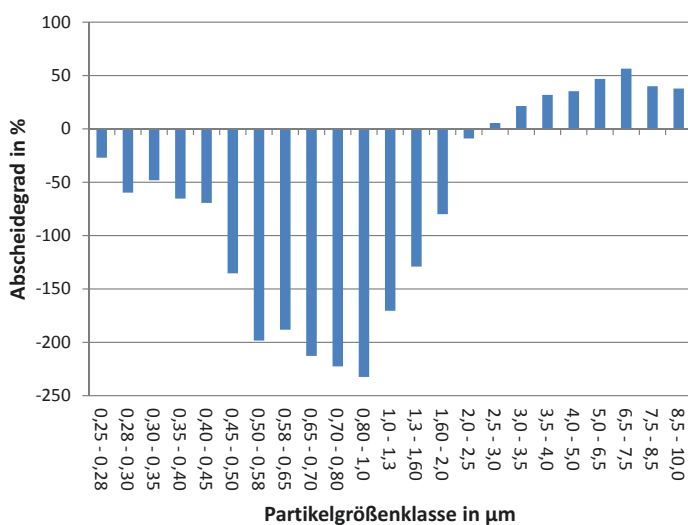


Abbildung 7: Mittlere Partikelabscheidung an Versuchsanlage 1

Versuchsanlage 2

Beim Betrieb der Abluftreinigungsanlage 2 wurde im Mittel ($n = 54$) eine Abkühlung der Rohluft um $2,5\text{ °C}$ und eine Anhebung der relativen Feuchte um $35,5\%$ gemessen. Die Reinlufttemperatur lag im Mittel bei $17,9\text{ °C}$ und die Reinluftfeuchte bei $90,9\%$.

Bei Partikelanzahlkonzentrationen von 159.000 ± 89.000 je Liter Luft war die mittlere Abscheidung von Partikeln ($n = 54$) bei vergleichbarer Filterflächenbelastung von $2.576\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ in der Versuchsanlage 2 (Abbildung 8) über alle Partikelgrößenklassen deutlich besser als bei der Versuchsanlage 1. Während der mittlere Abscheidegrad für die Partikelgrößenklasse $2,5\text{--}3\text{ }\mu\text{m}$ bei der Versuchsanlage 1 nur bei $5,6\%$ lag, betrug er bei der Versuchsanlage 2 im Mittel $43,3\%$. Auch bei der Partikelgrößenklasse von $6,5\text{--}7,5\text{ }\mu\text{m}$ war der mittlere Abscheidegrad mit $83,2\%$ deutlich besser als bei der Versuchsanlage 1 mit $56,4\%$. Der Betriebsdruck der starren Wasserverteilsysteme lag zwischen $0,1$ und $0,2\text{ bar}$ und dürfte zu einer geringeren Aerosolbildung und somit auch zu einer vergleichsweise besseren Partikelabscheidung beigetragen haben. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die mit der Versuchsanlage 2 erzielte Reinluftfeuchte, die mit nur $90,9\%$ im Mittel deutlich unterhalb derjenigen lag, die mit den Versuchsanlagen 1 und 3 erzielt wurde. Kondensationen von Wasserdampf zu Aerosolpartikeln dürften hier nicht aufgetreten sein. Dafür sprechen auch die überwiegend positiven Abscheidegrade bei Partikelgrößen $< 1,3\text{ }\mu\text{m}$.

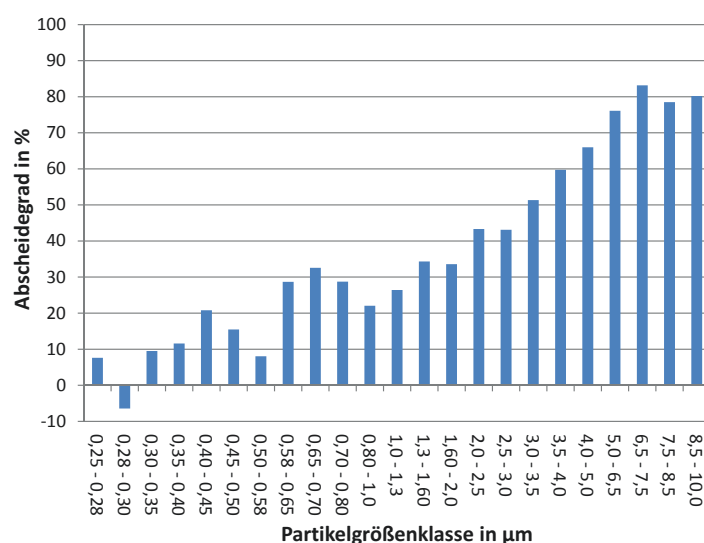


Abbildung 8: Mittlere Partikelabscheidung an Versuchsanlage 2

Versuchsanlage 3

Beim Betrieb der Abluftreinigungsanlage 3 wurde im Mittel ($n = 32$) eine Abkühlung der Rohluft um $2,8\text{ °C}$ und eine Anhebung der relativen Feuchte um $46,8\%$ gemessen. Die Reinlufttemperatur lag im Mittel bei $16,9\text{ °C}$ und die Reinluftfeuchte bei $99,8\%$.

Bei der Versuchsanlage 3 wurde analog zu den Ergebnissen der Versuchsanlage 1 auch eine erhebliche Produktion von Partikeln $< 2\text{ }\mu\text{m}$ festgestellt. Sie fiel jedoch mit Werten von maximal -79% (Partikelfraktion $0,5\text{--}0,58\text{ }\mu\text{m}$) deutlich geringer aus als bei Versuchsanlage 1 mit Werten von bis zu -243% (Partikelgrößenfraktion $0,8\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$). Auch hier dürfte das Wasserverteilsystem mit einem Betriebsdruck von $0,5\text{--}0,7\text{ bar}$ trotz der intermittierenden Betriebsweise eine wesentliche Ursache für die Bildung

feiner Aerosole gewesen sein. Eine positive Partikelabscheidung wurde ab einer Partikelgröße > 2 µm mit 54,1% gemessen (Abbildung 9). Der mittlere Abscheidegrad (n = 32) bei der Partikelgrößenklasse von 2,5–3 µm betrug 73,1% und stieg bei der Partikelgrößenklasse von 6,5–7,5 µm auf 97,6%.

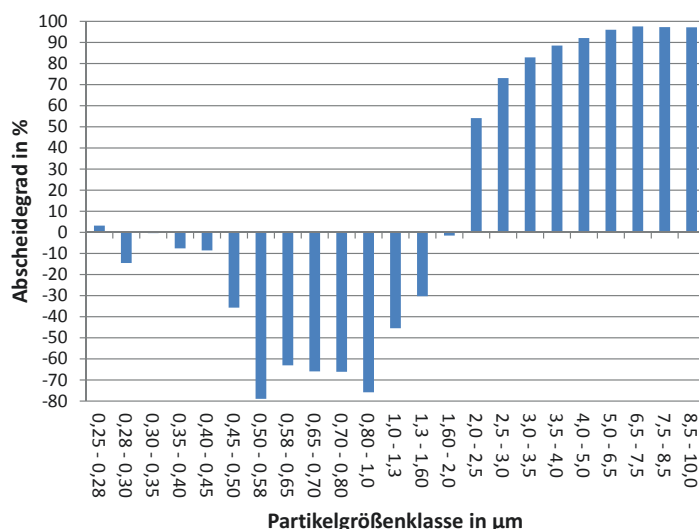


Abbildung 9: Mittlere Partikelabscheidung an Versuchsanlage 3

Versuchsanlage 4

Die ersten Versuche zur Partikelabscheidung mit einem in Eigenbau errichteten Elektroabscheider ergaben im Vergleich zu den Wäschersystemen erheblich bessere Partikelabscheidungen (Abbildung 10). Verfahrensbedingt wurden durch die trockene Betriebsweise keine Wasseraerosole gebildet und die Partikelabscheidung erreichte bereits bei der kleinsten Partikelfraktion von 0,25–0,28 µm einen mittleren Abscheidegrad von 68,1%. Bei der Partikelgrößenklasse von 2,5–3 µm betrug der Abscheidegrad 90,6% und bei der Partikelgrößenklasse von 6,5–7 µm 98,8%.

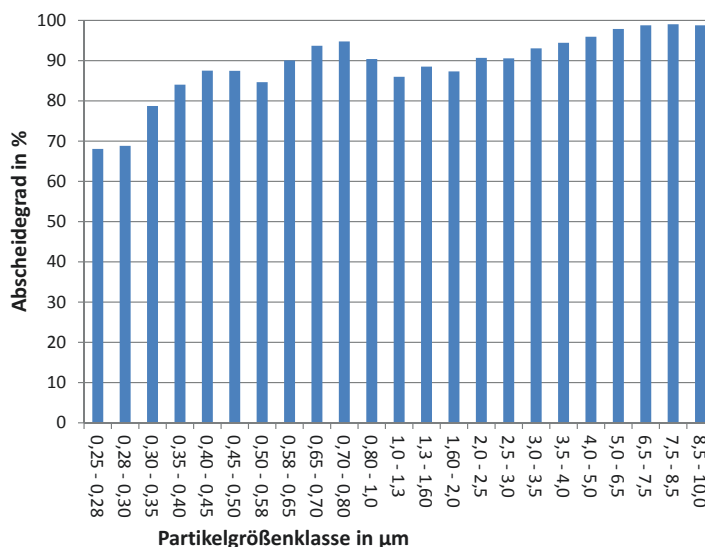


Abbildung 10: Mittlere Partikelabscheidung an der Versuchsanlage 4

Die vergleichende Betrachtung der erzielten Abscheidegrade für ausgewählte Partikelgrößenklassen verdeutlicht die wesentlich bessere Partikelabscheidung des Elektrofilters gegenüber den Wäschersystemen (Abbildung 11). Die beiden Versuche mit dem Elektroabscheider lassen jedoch keine Aussage über das langfristige Abscheideverhalten zu. Ohne regelmäßige Reinigung des Abscheiders könnte eine wachsende Belegung der Niederschlagselektrode zur Verringerung der Abscheideleistung führen.

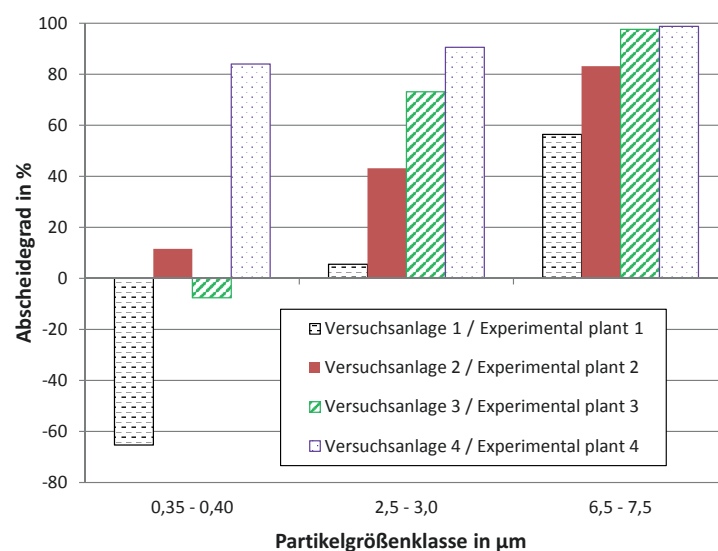


Abbildung 11: Vergleich der Partikelabscheidung an den verschiedenen Anlagen

Die Versuchsanlage 1 mit drei hintereinander geschalteten Waschstufen ohne Tropfenabscheider ergab nur für größere Partikel (6,5–7,5 µm) eine nennenswerte Abscheidung. Bei der Versuchsanlage 2 mit zwei Hackschnitzelstufen und einer Waschwand wurde eine nahezu durchgehend positive und insgesamt bessere Partikelabscheidung erzielt. Die Versuchsanlage 3 mit dem Filtervlies und zwei Waschstufen erreichte bei größeren Partikelgrößenklassen fast das Niveau des Elektroabscheiders, nicht jedoch bei den kleineren Partikelgrößenklassen < 3 µm.

Diskussion

Die Ergebnisse zur Partikelabscheidung mit Abluftwäschern zeigen, dass diese Systeme zur Bildung und Freisetzung von feinen Wasseraerosolen bis zu einer Partikelgröße von 5 µm beitrugen, insbesondere dann, wenn sie mit Bedüsungssystemen bei Betriebsdrücken von > 0,5 bar arbeiteten. Bei Sprühwäschern und Füllkörperkolonnen wurden Trenngrenzen von 0,7 bis 14 µm ermittelt. Die Trenngrenze beschreibt die Partikelgröße, bei der 50% der Partikel durch das eingesetzte Verfahren zurückgehalten werden können (VDI-RL 3679 BLATT 1). Bei der Versuchsanlage 1 lag die Trenngrenze im günstigsten Fall zwischen 6,5 und 7,5 µm, bei der Anlage 2 zwischen 3,0 und 3,5 µm und bei der Versuchsanlage 3 bei 2 bis 2,5 µm. Bei dem Elektroabscheider lag die Trenngrenze hingegen unterhalb von 0,25 µm.

Aber auch bei Partikelgrößen bis 10 µm wurde keine quantitative Abscheidung erreicht. Die Abscheidung für die Partikelgrößenklasse von 8,5–10 µm bewegte sich zwischen 37,8% (Versuchsanlage 1), 80,2% (Versuchsanlage 2) und 97,2% (Versuchsanlage 3) und lag beim Elektroabscheider bei 98,8%. Für die Bewertung dieser Befunde ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Partikelanzahl

in dieser Größenklasse mit Werten von weniger als 20 Partikeln je Liter Luft ohnehin sehr gering war (Abbildung 1). Da bei der untersuchten Berieselung nur Partikel bis zu einer Größe von 5 µm entstanden sind, ist anzunehmen, dass die Partikel aus der Rohluft nicht vollständig abgeschieden werden konnten und nicht durch die Berieselung entstanden sind.

Neben der Verdunstung führt auch die Bildung und Freisetzung von Aerosolen bei Abluftwäschern zu einem vermehrten Wasserverlust, der über die Frischwassereinspeisung ausgeglichen werden muss. Dieser allein durch die Verdunstung und die Freisetzung von Aerosolen bedingte Wasserverlust beträgt in der Legehennenhaltung etwa 0,05 m³ je Tierplatz und Jahr und in der Masthähnchenhaltung ca. 0,02 m³ je Tierplatz und Jahr. Wie die Versuche gezeigt haben, kann der Wasserverlust bereits erheblich durch ein verbessertes Anlagendesign und die Wahl eines Wasserverteilsystems mit geringem Betriebsdruck reduziert werden.

Mit den Aerosolen können neben Wasser auch gelöste Stickstoffverbindungen wie Ammonium (bei Chemowäschern) bzw. Ammonium, Nitrit und Nitrat (bei biologisch arbeitenden Wäschern) in die Umwelt gelangen. Nach den vorliegenden Ergebnissen im Rahmen von DLG-Prüfungen ist der Stickstoffverlust über die Aerosolfreisetzung jedoch vergleichsweise gering und liegt bei Werten von 0,05–0,08 mg N/m³ Reingas (DLG-PRÜFBERICHT 6406). Der Aerosolanteil an den Stickstoffemissionen kann jedoch bei sinkenden NH₃-Rohgaskonzentrationen und höher konzentrierten Waschlösungen an Bedeutung gewinnen.

DLG-geprüfte Abluftwäscher führen nachweislich zu einer Minderung der Freisetzung von Bioaerosolen in einer Größenordnung von ca. 90 % (DLG-PRÜFBERICHT 6397 UND 6406). Da sich die Bioaerosole nach GÄRTNER et al. (2017) und Clauß, Thünen-Institut (2018, persönliche Mitteilung), überwiegend in den größeren Partikelgrößenklassen nachweisen lassen, ist durch Abluftreinigungsanlagen, die eine möglichst weitgehende Partikelabscheidung ab 2,5 µm gewährleisten, auch eine entsprechende Minderung von Bioaerosolen zu erwarten.

Der vergleichsweise große Lückengrad der eingesetzten Füllkörperschüttung bei der Versuchsanlage 1 dürfte eine Ursache für die geringe Partikelabscheidung gewesen sein. Dies zeigt sich auch anhand der geringen Druckverluste dieses Systems im Vergleich zu den Versuchsanlagen 2 und 3 (Tabelle 2–4). Bei mit Versuchsanlage 1 vergleichbaren Anlagen wäre somit auch die ausreichende Abscheidung von Bioaerosolen kritisch zu hinterfragen.

Die vergleichsweise sehr guten Partikelabscheidegrade des Elektroabscheiders sind im Hinblick auf die mit der Abluftreinigung insgesamt angestrebten Ziele (Partikel-, Ammoniak- und Geruchsabscheidung) zu bewerten. Da mit einem trocken betriebenen Elektroabscheider beispielsweise keine relevante Ammoniak- und Geruchsabscheidung erreicht werden kann, könnte sein Einsatz nur eine Verfahrensstufe bilden, die mit einer weiteren Verfahrensstufe zur N- und Geruchsabscheidung kombiniert werden müsste. Bei diesen Verfahrensstufen könnten dann wieder Aerosole produziert werden, sofern zur weitergehenden Abluftreinigung Waschstufen eingesetzt werden. Für eine reine Partikelabscheidung, z. B. zur Verringerung der Staubbelastung in Ställen mit einem Umluftverfahren, könnte der Elektroabscheider in Verbindung mit einem Aktivkohlefilter zur Bindung von Ozon allerdings eine interessante Verfahrensoption darstellen.

Schlussfolgerungen

Ordnungsgemäß betriebene Abluftwäscher erlauben eine wirksame Partikelabscheidung ab einer Partikelgröße von ca. 5 µm, führen aber verfahrensbedingt auch zur Freisetzung von Wasser-Aerosolen mit geringerer Partikelgröße. In diesen Aerosolen können Mikroorganismen und auch gelöste Stickstoffverbindungen enthalten sein. Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Minderung der Aerosolfreisetzung ist ein Wasserverteilsystem mit möglichst geringem Betriebsdruck.

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen, [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000005?SID=1284686647&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNODENR:1326,AARTxNODENR:346045,USERxARTIKEL:artlist1.htm\)=Z](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000005?SID=1284686647&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:1326,AARTxNODENR:346045,USERxARTIKEL:artlist1.htm)=Z), Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 5952: Abluftreinigungssystem MagixX-B, <http://www.dlg-test.de/tests/5952.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6254: 1-stufiger Chemowäscher mit Tropfenabscheider ASA 1, <http://www.dlg-test.de/tests/6254.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6260: 1-stufiger Chemowäscher mit Tropfenabscheider Inno+ Pollo-M, <http://www.dlg-test.de/tests/6260.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6271: 1-stufige Abluftreinigungsanlage mit Tropfenabscheider, <http://www.dlg-test.de/tests/6271.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6344: 1-stufiger Chemowäscher mit Tropfenabscheider Inno+ Pollo-L, <http://www.dlg-test.de/tests/6344.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6212: 2-stufige Abluftreinigungsanlage EMMI für die Hähnchenschwermast, <http://www.dlg-test.de/tests/6212.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6397: Biologischer Abluftwäscher „Pura aer I“, <http://www.dlg-test.de/tests/6397.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- DLG-Prüfbericht 6406: Chemischer Abluftwäscher „Pura aer II“, <http://www.dlg-test.de/tests/6406.pdf>, Zugriff am 23.04.2018
- Gärtner, A.; Gessner, A.; Geueke, K.-J.; Knust, S. (2017): Emissionen aus Hähnchenmastanlagen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 77(6), S. 249–256
- VDI 3679 Blatt 1: 2014-07 Nassabscheider, Grundlagen, Abgasreinigung von Partikelförmigen Stoffen, Berlin Beuth Verlag

Autoren

Dr. Jochen Hahne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Julian Rump** ist Umweltschutztechniker und ehemaliger Mitarbeiter des Thünen-Institutes für Agrartechnologie, Bundesallee 47, 38116 Braunschweig, E-Mail: jochen.hahne@thuenen.de.