

Untersuchung von drei Abluftreinigungsanlagen für die Schweinemast

Michael Kropsch¹, Christian Fritz¹ und Eduard Zentner¹



Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag fasst die Ergebnisse des Projekt PigAir „Pilotprojekt Versuchsstall Abluftwäscher für Mastschweinställe“ zusammen, das in den Jahren 2018 bis 2020 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt wurde. Finanziert wurde das Projekt vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung und vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Als eine mögliche Maßnahme zur Minderung von Ammoniak als Feinstaub-Vorläufer-substanz wurden drei verschiedene Abluftreinigungsanlagen für Mastschweinstallungen versuchstechnisch betrachtet. Gegenstand der Untersuchungen waren die technische Reinigungsleistung der Geräte, die Bedienerfreundlichkeit und der Wartungsbedarf sowie die Kosten der Anlagen inkl. des Betriebs.

Der Vergleich der drei Systeme (1) Chemowäscher plus Biostufe, (2) Rieselbettreaktor und (3) Biofilter, zeigte für alle Geräte eine sehr gute Ammoniak- und Geruchsabscheidung. Bedienung, Kontrolle und Wartung bedingen einen Arbeitsaufwand von je ca. 100 Stunden pro Jahr. Die betriebswirtschaftlichen Auswertungen resultieren in einem Anteil der Investitionskosten von rund 50 % an den Gesamtkosten des Anlagenbetriebs. Die laufenden Sachkosten belaufen sich auf ca. 30 % und die Arbeitskosten auf ca. 20 bis 25 %. Während bei Stallgrößen von ca. 500 Tierplätzen Gesamtkosten von € 20 bis € 40 pro Tierplatz und Jahr anzuführen sind, steigen die Kosten, speziell für kleinere Stallungen, auf bis zu € 80 pro Tierplatz und Jahr. Eine Ammoniakreduktion mit Hilfe von Abluftreinigungsanlagen für kleinere Stallungen kann damit nicht als kosteneffiziente Maßnahme gewertet werden.

Als Fazit ist festzuhalten, dass es nicht an technisch geeigneten Anlagen anlagen mit guter Abluftreinigungsleistung fehlt. Der Aufwand für Betreuung und Wartung der Anlagen ist jedoch relativ hoch und verbunden mit den Investitions- und Betriebskosten stellt die Abluftreinigung einen großen Kostenfaktor dar.

Schlagwörter: Mastschweinehaltung, Abluftreinigung, Ammoniak, Geruch, Arbeitsaufwand, Kosten

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

*Ansprechperson: Michael Kropsch

E-Mail: michael.kropsch@raumberg-gumpenstein.at

Einleitung

In umwelttechnischer Hinsicht ist die nutztierhaltende Landwirtschaft seit einiger Zeit mit im Fokus, wenn es um „die Verursacher“ und geforderte Reduktionen von luftgetragenen Emissionen geht. Bekanntermaßen wird Ammoniak fast ausschließlich (rund 95 %) aus landwirtschaftlichen Bereichen emittiert – eine Reduktion wie sie u. A. im Rahmen der EU NEC-Richtlinie gefordert ist, kann demnach nur hier ansetzen. Die Emissionen von Ammoniak tangieren jedoch nicht nur diesen Luftschadstoffbereich. Konsequenzen ergeben sich auch für die Bildung von Feinstaub. Sekundäre Feinstaubpartikel entstehen in der Atmosphäre aus gasförmigen Vorläufersubstanzen – Ammoniak stellt hier den limitierenden Faktor dar.

An unterschiedlichen „Schrauben lässt sich drehen“, wenn es um die Reduktion von Ammoniak in der Nutztierhaltung geht – gegenständlich wird der Fokus auf die Schweinehaltung gelegt. Zielführend sind beispielsweise eine eiweißangepasste Fütterung sowie die Verwendung von Futtermittelzusatzstoffen, die nachgewiesenermaßen zu einer geringeren Ammoniakfreisetzung führen. Eine weitere, bis dato in Österreich kaum in Verwendung stehende Möglichkeit Ammoniakemissionen zu reduzieren, ist die Verwendung von Abluftreinigungstechnologien. Bevor jedoch ein breiterer Einsatz derartiger Anlagen in der heimischen Landwirtschaft angedacht ist ist es zielführend, am Markt befindliche Technologien auf ihre Praxistauglichkeit für die österreichische Betriebsstruktur zu untersuchen.

Eignen sich die untersuchten Anlagen zur Nachrüstung an bestehenden Stallungen, mit welchem Abscheidegrad für Ammoniak und Geruch ist zu rechnen, ab welchen Bestandsgrößen ist ein Einsatz sinnvoll, wie hoch sind die Investitionskosten und die laufenden Kosten für Betrieb und Serviceaufwand der untersuchten Technologien? Der Klärung dieser und weiterer fachspezifischer Fragen widmete sich die HBLFA Raumberg-Gumpenstein im Rahmen des "Pilotprojektes Versuchsstall Abluftwäscher für Mastschweineställe" (Akronym PigAir), im Auftrag des Amtes der Stmk. Landesregierung. Für die diesbezüglichen Untersuchungen wurde, im Rahmen des Projektes, ein neuer Schweineforschungsstall an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein errichtet und mit Abluftreinigungsanlagen (ARA) ausgestattet.

Abbildung 1:
Abluftreinigungsanlagen am
Schweineforschungsstall der
HBLFA Raumberg-Gumpenstein;
von links: Fa. Reventa,
Fa. Schönhammer, Fa. Hagola



Drei Abluftreinigungsanlagen unterschiedlicher Technik, von verschiedenen Herstellern, wurden im Rahmen von PigAir untersucht:

- Lavamatic - kombinierter Chemowäscher plus Biofilter, Fa. Reventa
- Rieselbettfilter System RIMU – 1-stufiger biolog. Abluftwäscher, Fa. Schönhammer
- Biofilter NH₃60° - Biofilter mit NH₃-Abscheidung, Fa. Hagola

Hintergrund

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Feinstaubbelastung – in urbanen Gebieten – zu einem relativ hohen Anteil auf sekundär gebildete Partikel zurückzuführen ist. Es handelt sich hierbei um Partikel, die sich durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre aus den Vorläufersubstanzen Ammoniak (NH₃), Stickstoffdioxid (NO₂) und Schwefeldioxid (SO₂) bilden. Die Sektoren Industrie und Verkehr bilden dabei die Hauptemittenten für Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid, die Landwirtschaft ist hingegen der Hauptverursacher für Ammoniak-Emissionen. Im Rahmen der Sitzungen der Arbeitsgruppe Landwirtschaft des Luftreinhalteprogramms Steiermark, wurden unterschiedliche Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen, im Besonderen aus der Tierhaltung, diskutiert. Als potentielle Techniken, neben einer eiweißangepassten Fütterung und erprobten Futtermittelzusatzstoffen, haben sich hierbei Abluftreinigungstechnologien herauskristallisiert.

Bis dato liegen in der heimischen Landwirtschaft hinsichtlich des Einsatzes von Abluftreinigungsanlagen wenig bis keine Erfahrungen vor. Da aus zahlreichen Untersuchungen in Deutschland bekannt ist, dass der Einsatz und Betrieb einer derartigen Technologie mit erheblichen Kosten und technischem Aufwand verbunden ist, war es zwingend notwendig, in einem Pilotprojekt abzuklären, wie sich dies für „österreichische Verhältnisse“ (kleinere Abteile bzw. Betriebe, nachträglicher Einbau auf bestehenden Betrieben), darstellt; bevor die Abluftreinigung auch hierzulande mehr und mehr in der Praxis Fuß fasst. Die aus dem gegenständlichen, steirischen Pilotprojekt gewonnenen Daten dienen als Entscheidungsgrundlage der öffentlichen Hand, für eine potenzielle Förderung eines zukünftigen Einsatzes der Abluftreinigungstechnologie in der Praxis. Bei einer positiven Gesamtbewertung der überprüften Abluftreinigungsanlagen könnte die Umsetzung in die Praxis auf zwei Wegen erfolgen: Zum einen über ein durch Fördermittel gestütztes Nachrüstprogramm für bestehende Ställe und zum anderen über eine gesetzliche Vorschreibung von Abluftwäschern für neu zu errichtende Ställe, ab einer bestimmten Anzahl an Tierplätzen. Eine erste, grobe Abschätzungsrechnung zeigt, dass bei einer fiktiv angenommenen Nachrüstung von Mastschweinebetrieben ab einer Anzahl von 500 Tierplätzen im Feinstaub-Sanierungsgebiet Mittelsteiermark, eine Reduktion der Ammoniak-Emissionen (bezogen auf die Ammoniak-Gesamtemissionen in diesem Raum), um ca. 20 - 30 % erreicht werden können.

NEC-Richtlinie

Durch die Vorgaben der EU NEC-Richtlinie (2001/81/EG) zur Einhaltung nationaler Emissionshöchstmengen ergibt sich die Notwendigkeit, neben Aktivitäten zur erforderlichen Reduktion der Feinstaubemissionen, auch die Ammoniakemissionen, die zu rund 95 % aus der Landwirtschaft stammen, markant zu reduzieren. Für Österreich liegen hier die Vorgaben mittlerweile bei einer Reduktion von rund -19 % (gegenüber 2005) bis 2030. Die Messung von Ammoniak (vor und nach der Abluftreinigung) erfolgt durch einen Analyzer der Fa. LumaSense Technologies.

Geruchsemissionen

Nicht zuletzt durch die Novellierung des Steiermärkischen Baugesetzes im Jahr 2008 ergab sich eine Verschärfung für landwirtschaftliche Betriebe, in deren unmittelbarer Nachbarschaft potenziell Geruchsbelästigungen auftreten. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Ammoniak- und Geruchsemissionen könnten hier zukünftige Techniken, die primär auf die Reduktion der Ammoniak-Emissionen fokussieren, auch zur Lösung von „Geruchskonflikten“ im Rahmen landwirtschaftlicher Bau- oder Beschwerdeverfahren beitragen.

Zielsetzung

In Österreich sind derzeit nur einige wenige Stallungen mit Abluftreinigungsanlagen ausgerüstet – ein großer Erfahrungsschatz hinsichtlich der anfallenden Kosten, des Wartungsaufwandes sowie der Betriebs-Praktikabilität liegen aus diesem Grunde in der Praxis nicht vor. Im Vorfeld eines in Zukunft möglicherweise breiteren Einsatzes von Abluftreinigungstechnologien in der heimischen Landwirtschaft erscheint es unabdinglich, ein Pilotprojekt zur Klärung wesentlicher Fragen durchzuführen – gegenständlich sind im neuen Schweineforschungsstall an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, drei unterschiedliche Abluftreinigungsanlagen, auf nachfolgende Fragestellungen hin untersucht worden:

- Welcher Abscheidegrad für NH_3 und Geruch ergibt sich für typische steirische schweinehaltende Betriebe?
- Mit welchen Investitions- und Betriebskosten pro Tierplatz muss gerechnet werden?
- Welche Probleme und Zusatzkosten ergeben sich durch die Ausbringung oder Entsorgung des Waschwassers (Schlammrückstände) bzw. gibt es Einsparungspotential beim Kunstdünger?
- Bis zu welcher minimalen Stallgröße (bzw. Größe des Abteils) ist der Einbau eines Wäschers technisch machbar?
- Mit welchen technischen Herausforderungen ist im Langzeitbetrieb zu rechnen?
- Welche Begleitmaßnahmen müssten für die erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahme gesetzt werden?
- In welcher Relation liegen die laufenden Kosten für den Betrieb eines gegebenen Schweinestalls (Abteils) mit Abluftreinigungsanlage im Vergleich zu einem herkömmlichen, mit Zwangsentlüftung?

Auswahl der Abluftreinigungsanlagen (ARA)

Die für das Pilotprojekt auszuwählenden Abluftreinigungseinheiten sollten jedenfalls DLG-zertifizierte Anlagen sein bzw. ein Gutachten eines unabhängigen Sachverständigenbüros „aufweisen“, welches die Einhaltung der DLG-Prüfkriterien für die Abscheidegrade von Geruch und Ammoniak bestätigt. Des Weiteren müssen die ARAs nachträglich und mit geringem Aufwand in bereits bestehende Stallungen integriert werden können; bevorzugt werden Systeme, die seitlich an den Außenwänden anzubauen sind. Es ist auch zu gewährleisten, dass die zu testenden drei Abluftreinigungstechnologien betriebsindividuell in Größe (der Abteile) und Leistungsvermögen (Luftdurchsatz) adaptierbar sind.

Die Auswahl der in Frage kommenden Anlagen erfolgte durch Einholung entsprechender Firmenangebote bzw. Vor-Ort-Gespräche, wobei neben den potenziellen Kosten auch

weitere Bewertungskriterien (zeitliche Umsetzbarkeit, Betreuung und Servicierung durch Firmenmitarbeiter, Ressourcenbedarf etc.) Beachtung fanden.

Entsprechend den oben beschriebenen Kriterien fiel die finale Auswahl der zu testenden Abluftreinigungsanlagen auf Produkte der Fa. Reventa, der Fa. Schönhammer und der Fa. Hagola. Die herstellenden Firmen haben ihren Firmensitz allesamt in Deutschland (Fa. Schönhammer, Bayern; Fa. Reventa, Nordrhein-Westfalen; Fa. Hagola, Niedersachsen).

Material und Methoden

Versuchsstallung

Im Vorfeld der projektmäßigen Untersuchung der Abluftreinigungsanlagen wurde eigens dafür ein neuer Mastschweinestall an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein errichtet. In Kooperation mit der Bundesimmobiliengesellschaft BIG und unter Eigenleistung der Kollegenschaft am Forschungsstandort Gumpenstein entstand das neue Stallgebäude im Zeitraum von April 2017 bis Jänner 2018; mit der Einstellung von 414 Tieren wurde der Schweinestall am 24. Jänner 2018 in Betrieb genommen.

Das Stallgebäude besitzt drei separierte Abteile (je 6 Buchten, für je insgesamt 138 Tiere), die jeweils über eine angeschlossene Abluftreinigungsanlage entlüftet werden. Im Rahmen der ersten vier Mastdurchgänge wurde das Projekt PigAir durchgeführt. Für die Auswertung relevant sind die Durchgänge II bis IV, der 1. diente als Vorbereitungsdurchgang.



Abbildung 2: Schweineforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Ostansicht

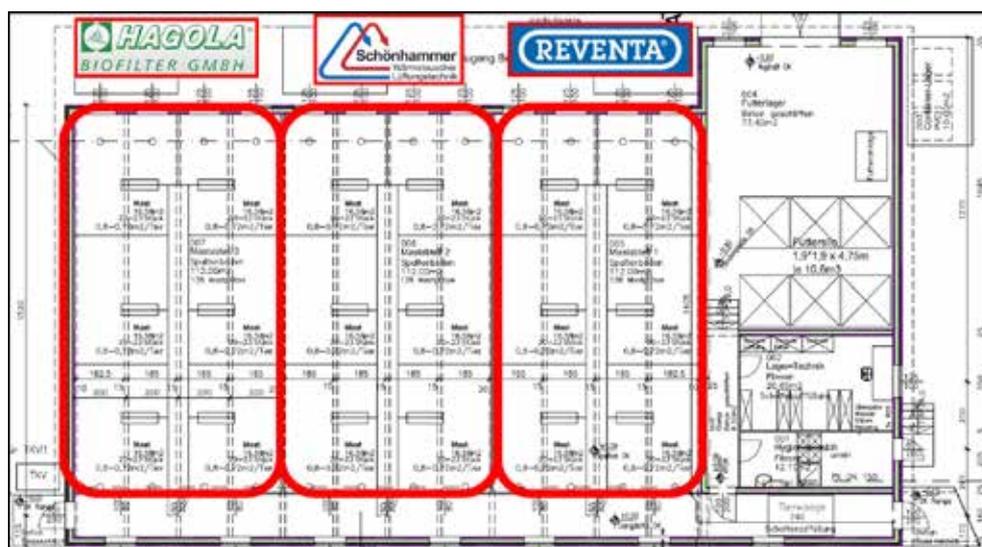


Abbildung 3: Grundriss des Schweineforschungsstalls der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit Positionierung der drei zu testenden Abluftreinigungsanlagen und Herstellerinformationen

Mastverlauf

Jedes Abteil wurde, zu Beginn des Mastdurchgangs, am selben Tag bestückt – die Tiere wurden konventionell, auf Vollspaltenböden mit darunterliegendem Güllekeller, gehalten. Pro Abteil stehen jeweils sechs Buchten, zu je 23 Tierplätzen, zur Verfügung.

Nach einer Mastperiode von 14 – 16 Wochen erfolgt, nach Erreichen des Mastendgewichts von 110 kg, die Abholung zur Schlachtung; den An- und Abtransport der Tiere sowie die Kosten für die Mastferkel wurden von der Fa. Styriabrid, dem steirischen Projektpartner der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, übernommen.

Abbildung 4: Blick in ein Mastabteil; rot gekennzeichnet ist die Schadgas-Messstelle im Rohgas



Lüftung

Über eine – in jedem Abteil – verbaute Porendecke gelangt Frischluft über den Dachraum in den Tierbereich. Die Fortluft wird über je einen Abluftkamin aus den Abteilen abgesaugt, und den nachgelagerten Abluftreinigungsanlagen, im nördlichen Stallaußenbereich, zugeführt. Auffallend ist der lange, waagrechte Kamin im Abteilinneren; dieser ist, für eine laminare Abluftführung am Punkt der Probennahme, für die gastechnischen und olfaktometrischen Untersuchungen (Abbildung 4, roter Kreis), erforderlich.

Fütterungsmanagement

Die Auswahl und Organisation der Futtermittel für den Abluftreinigungsanlagen-Versuch oblag der Fa. Styriabrid; Ziel war es eine Mischung einzusetzen, die die Praxis in Österreich widerspiegelt. Die Kosten für die Herstellung und Anlieferung des dreiphasigen Futtermittels trug ebenfalls die Fa. Styriabrid.

Zum Einsatz kam, während der relevanten Untersuchungsperiode über drei Mastdurchgänge, ein dreiphasiges Fütterungsregime. Rezept 1 (Mast I) wurde ab dem Tag der Einstallung bis zu einem Lebendgewicht von 70 kg gefüttert, Rezept 2 (Mast II) ab Erreichen eines Gewichts von 70 kg bis 100 kg und Rezept 3 (MAST III) ab 100 kg Lebendgewicht.

Messtechnik

Während der Versuchsdurchgänge erfolgte in den Schweinemastabteilen (Rohgas) und im Nachgang an die untersuchten Abluftreinigungsanlagen (Reingas) die permanente Messung von Temperatur und rel. Luftfeuchte sowie die Erfassung der Ammoniak-, Kohlendioxid- und Lachgaskonzentrationen (Gasmessung mittels photoakustischer Messtechnik). Zusätzlich wurde der Abluftvolumenstrom, mittels Messventilator an der Kamineinmündung, erfasst.

Die Wiegung der Tiere zur Erfassung der Mastleistung, erfolgte zu Beginn jedes Mastdurchgangs im Zuge der Einstallung und in der Folge durch vier- bis fünfmaliges Wiegen im Verlauf der Mast, sowie abschließend bei der Ausstallung der Tiere.

Equipment

Ergänzend zu den Aufzeichnungen hinsichtlich Schad- und klimarelevanten Gasen, Temperatur und rel. Luftfeuchte erfolgte die Mitprotokollierung des Stromverbrauchs (Abluftreinigungsanlage, Ventilator) und des Wasserverbrauchs mittels elektronischer Zähleinrichtungen.

Olfaktometrie

Die olfaktometrischen Untersuchungen zur Beurteilung der Abreinigung von „schweine-typischen“ Gerüchen durch die getesteten Abluftreinigungsanlagen erfolgte, gemäß VERA Test Protocol for Air Cleaning Technologies, acht Mal im Verlauf eines Mastdurchgangs. Die diesbezüglichen Untersuchungen wurden in etwa in der Mitte einer Mastperiode, nach einer „Einlaufzeit“, zur Betriebssicherung der biologischen Abluftreinigungseinheit. An den acht Probenahmeterminen wurden jeweils drei Geruchsprobensäcke aus dem Rohgas (Abluftkamin im Stallabteil) und je drei aus dem Reingas (nach erfolgter biologischer Abluftreinigung) gezogen und am dienststellen-eigenen Olfaktometer durch ein vierköpfiges Probandenteam ausgewertet.

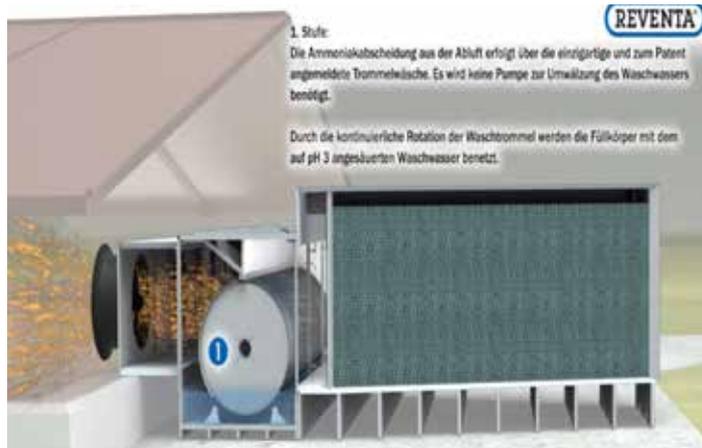
Abluftreinigungsanlagen

Reventa Lavamatic – Chemowäscher plus Biostufe

Von Reventa wurde ein zweistufiges System zur Abreinigung von Ammoniak und Geruch, am neuen Schweineforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein untersucht; prinzipiell eignet sich die untersuchte Technik auch zum nachträglichen Anbau an bestehende Stallungen/Abteile. Die Stallabluft wird durch den in der Stallwand „sitzenden“ Ventilator in die Druckkammer der Reinigungsanlage geleitet und von dort weiter, durch eine „Waschtrommel“. Im Inneren der Trommel befinden sich zahlreiche Füllkörper aus Kunststoff, die durch die langsame Drehbewegung fortwährend im Pumpensumpf mit Prozesswasser (pH 3) benetzt werden. Beim Luftdurchtritt durch die Trommel findet an den benetzten Füllkörpern die Abscheidung von Staub und Ammoniak statt; übersteigt das Prozesswasser einen gewissen, voreingestellten Leitwert, wird die Flüssigkeit abgeschlämmt und durch „frisches“ Prozesswasser ersetzt. Sollte die Einleitung des abzuführenden, gesättigten Prozesswassers in eine Beton-Güllegrube erfolgen, muss diese, auf Grund des niedrigen pH-Wertes, mit einer säurebeständigen Beschichtung versehen sein. Alternativ ist die Sammlung in einem speziellen IBC-Container möglich; unmittelbar vor Ausbringung der Gülle kann das Abschlämmwasser anteilmäßig dem Fass beigemischt werden.

In der zweiten Stufe passiert die bereits von Staub und Ammoniak gereinigte Stallabluft, einen Biofilter zur Abscheidung der Geruchsstoffe. In Folge des Durchtritts der Stallluft durch die Zellulosemembran der biologischen Abluftreinigungseinheit der Lavamatic, siedelt sich auf den Zellulosepads eine Mikrobengemeinschaft an, die in Folge ihres Stoffwechsels - Geruchsmoleküle aufspaltet und Geruchsimmissionen auf ein Minimum reduziert. Wenn möglich, sollte die Biostufe kontinuierlich betrieben werden, um die Vitalität der Bakterien nicht zu gefährden und eine unterbrechungsfreie Funktion sicherzustellen. Bei Wiederinbetriebnahme nach längerem Stillstand ist ein gewisser Zeitraum zur Regeneration des Biofilms erforderlich. Stillstandzeiten von wenigen Tagen sind unkritisch, wenn die Berieselung mit Frischwasser weiterhin erfolgt. Die nachstehenden Abbildung skizziert überblicksmäßig den Reinigungsvorgang durch Lavamatic:

Abbildung 5: Lavamatic, schematische Darstellung der Abreinigung von Ammoniak und Staub



Schönhammer Rieselbettfilter – Einstufige biologische ARA

Bei der Abluftreinigungsanlage der Firma Schönhammer, die am neuen Schweineforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein untersucht wurde, handelt es sich um einen einstufigen, biologisch arbeitenden Abluftwäscher zur Abscheidung von Staub, Ammoniak und Geruch. Der Rohgasabluftvolumenstrom aus dem Versuchsabteil gelangt dabei über den Abluftkamin in die Druckkammer des Wäschergehäuses und wird von dort (im Überdruckverfahren) in das Füllkörperpaket eingeleitet. Die Füllkörper werden im Gegenstromverfahren, mit Prozesswasser über den darüberliegenden Düsenstock, kontinuierlich berieselt; der nachgeschaltete Tropfenabscheider verhindert den Austrag N-haltiger Aerosole und begrenzt die Wasserverluste innerhalb des Wäschers. Die Funktionsweise des Rieselbettfilters beruht auf dem Prinzip der biologischen Oxidation der Abluftinhaltsstoffe. Innerhalb des Filterpaketes gelangt das durchströmende Rohgas in Kontakt mit der großen spezifischen Oberfläche der Kunststoffelemente und mit dem im Kreislauf geführten Prozesswasser. In Folge des Durchtritts der Stallabluft siedeln sich spezifische Mikroorganismen, unter Ausbildung eines Biofilms, im Filterpaket an; im Prozesswasser gelöste Abluftinhaltsstoffe werden in der Folge durch die Mikroorganismen verstoffwechselt und zum Aufbau neuer Biomasse verwendet. Die Ammoniakabscheidung erfolgt durch Nitrifikanten, die das gelöste Ammoniak zu Nitrit und Nitrat oxidieren. Die dadurch entstehende Aufsalzung des Waschwassers wird kontinuierlich überwacht – für eine sichere Stickstoffausscheidung ist der diesbezügliche Leitfähigkeitswert mit 20 mS/cm begrenzt. Ist dieser Wert erreicht, erfolgt die automatische Abschlämmung eines Teils des gesättigten Prozesswassers in die Güllegrube und nachfolgend die Zufuhr von Frischwasser zur Verdünnung des Waschwassers und Herabsetzung des Leitwerts. Der pH-Wert im Prozesswasser muss stets zwischen $\text{pH} > 6,5$ und $\text{pH} < 7,2$ geregelt sein.

Die nachstehende Abbildung (Abbildung 6) legt den Vorgang der Abluftreinigung durch den Rieselbettfilter System RIMU dar:

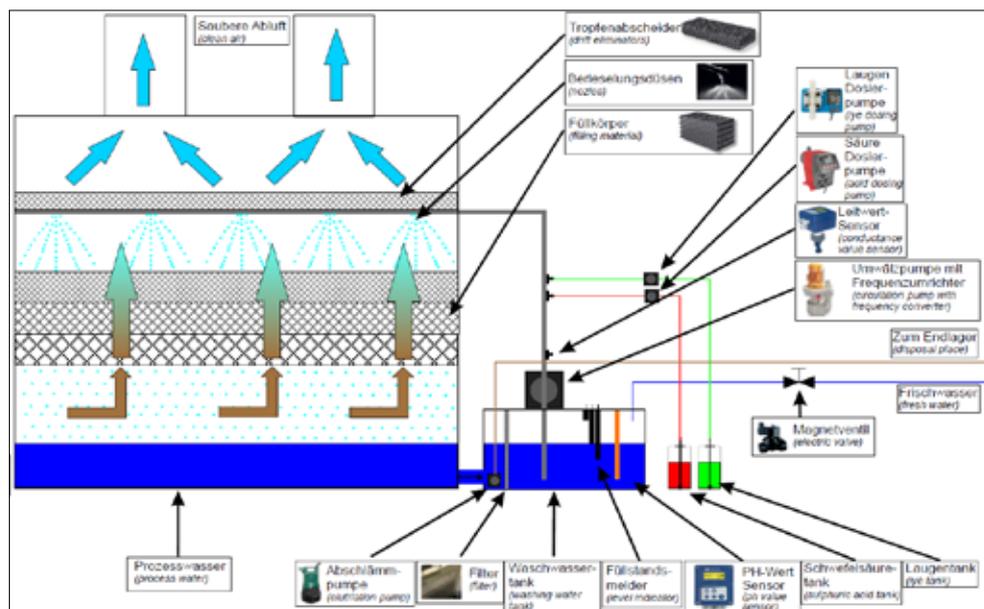


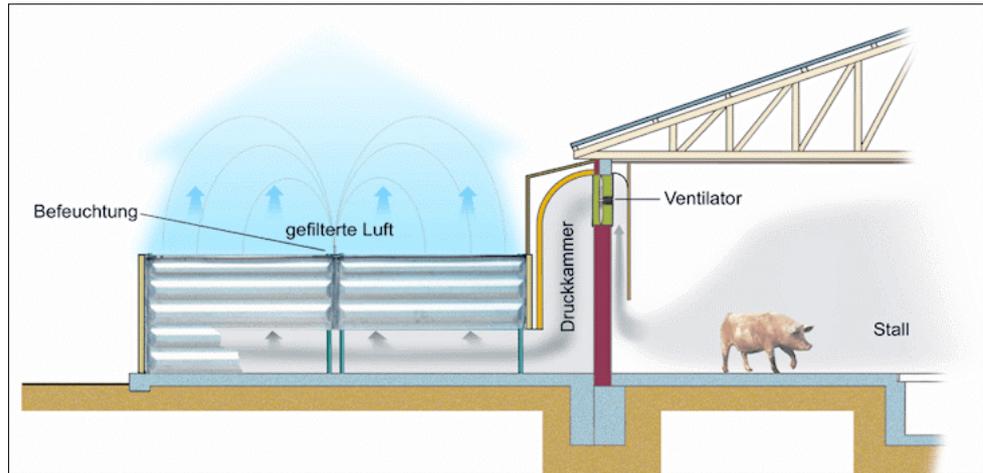
Abbildung 6: Rieselbettfilter, schematische Darstellung des Systems und der Komponenten

Hagola NH360° – Biofilter mit NH₃-Abscheidung

Von Hagola wurde ein einstufiges, biologisches Abluftreinigungssystem zur Reduktion von Geruch, Ammoniak und Staub am neuen Schweineforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein untersucht – im versuchstechnischen Fokus stand die Abscheidung von Ammoniak und Geruch. Die Stallabluft gelangt durch den in der Stallwand „sitzenden“ Ventilator in die Druckkammer des Biofilters und wird von dort durch das horizontal liegende, ständig feucht gehaltene Filtermaterial gedrückt. Es handelt sich dabei um ein modular aufgebautes Filtersystem aus identischen Filtermodulen mit einer Abmessung von je 2,25 x 2,25 m; das Filtermaterial besteht aus Weichholzhackschnitzeln. Unterhalb der Hackschnitzelschicht schließt eine Lage aus recyceltem Kunststoff (auf einem Kunststoffgitter aufliegend) an, die als ständige Besiedelungsfläche für die abscheiderrelevanten Mikroorganismen dient. Zuunterst der Filterschicht befindet sich ein Holzrost, liegend auf einem nach unten geöffneten C-Profil. Die C-Profile sorgen durch die Umkehrwirkung für eine gleichmäßige Verteilung der Staubblastung auf die gesamte Filterfläche und durch die abbremsende Wirkung für eine längere Verweildauer der Abluft in der Filterschicht. Die Anzahl der erforderlichen Module richtet sich nach dem Tierbesatz des betreffenden Schweineabteils/Schweinestalls und dem daraus resultierenden Abluftvolumenstrom. Je Quadratmeter Filterfläche und Stunde ist die Behandlung (Reinigung) von bis zu 440 m³ Abluft möglich.

Unterhalb der Filterschüttung wird das Umlaufwasser – zur Berieselung der Weichholzhackschnitzeln – in einer korrosionsbeständigen Wanne aufgefangen und im Filtersystem im Kreislauf geführt. Regeltechnisch wird der pH-Wert des Umlaufwassers, durch Zudosierung von 96 %iger Schwefelsäure, zwischen 6 – 6,5 justiert; dieser gewährleistet ein geeignetes Milieu für die Mikroorganismen und ist die Voraussetzung für eine dauerhafte Abscheideleistung. Bei Überschreitung eines maximalen Leitfähigkeitswerts von 25 mS/cm wird das gebrauchte Umlaufwasser abgeschlämmt und durch frisches Prozesswasser ersetzt. Auf Grund des annähernd neutralen pH-Wertes und der unkritischen Inhaltsstoffe kann die Abschlämmung direkt in die Güllegrube erfolgen.

Abbildung 7: Hagola NH360°, schematische Darstellung des Reinigungsvorgangs



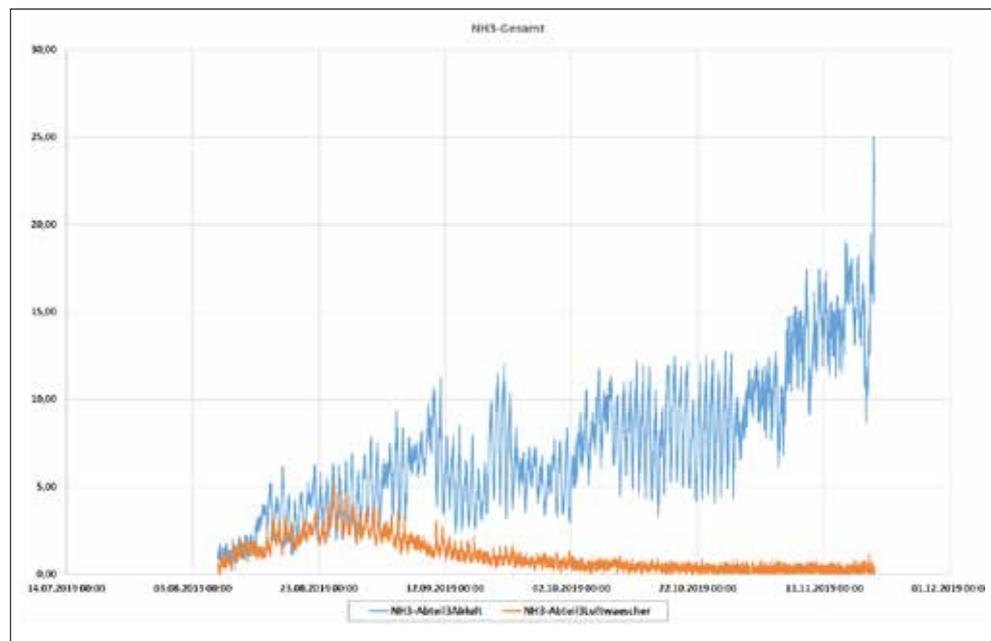
Zentrale Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes galt es mehrere zentrale Fragen zu behandeln; die Ausführungen zu deren Beantwortung werden nachfolgend dargelegt.

Mit welchem Abscheidegrad für Ammoniak und Geruch kann für typische steirische Produktionsbetriebe gerechnet werden?

Die Untersuchung der drei Abluftreinigungsanlagen der Fa. Reventa (kombinierter Chemowäscher plus Biostufe), der Fa. Schönhammer (Rieselbettfilter) und der Fa. Hagola (Biofilter) fanden jeweils an Abteilen für 138 Mastschweine statt; diese Stallgröße dürfte die Stalleinheiten in der Praxis gut widerspiegeln. Gemäß der vorliegenden Studie liegt der Abscheidegrad hinsichtlich Ammoniak zwischen 81 – 93 % und jener für Geruch zwischen 80 – 89 %, im Mittel über die drei untersuchten Mastdurchgänge.

Abbildung 8: Beispiel der Ammoniakabscheidung von einer der untersuchten Abluftreinigungsanlagen; NH_3 -Konzentration im Rohgas (blau, MW = 7,2 ppm) und im Reingas (orange, MW = 1,1 ppm),



Mit welchen Investitions- und Betriebskosten pro Tierplatz muss gerechnet werden?

Die Kostenauswertung umfasst die zentralen Kostenpositionen für Investitionen, Betriebsmittel und laufende Arbeiten. Es wurden Anlagenkonfigurationen für unterschiedliche Tierplatzzahlen, entsprechend eines Nennvolumenstroms von 19.000 (V19), 25.000 (V25) und 50.000 m³/h (V50) unterschieden. Die Verbrauchs- und Einsatzmengen an Betriebsmitteln entstammen den PigAir-Erhebungen über drei Mastdurchgänge, an jeweils einer V19-Anlage; basierend darauf wurden die Daten für V25 und V50 abgeschätzt.

Eine Interpretation der Kostengrößen hat darauf Bezug zu nehmen, dass es sich bei den betrachteten Anlagen um eher kleine Anlagengrößen handelt; die Kosten von Abluftreinigungsanlagen weisen eine deutliche Größendegression auf. Die folgende Abbildung zeigt, dass sich die Kostenanalyse zur Versuchsanlage im Projekt PigAir hinsichtlich der Größendegression erwartungsgemäß in bestehende Studien einfügt.

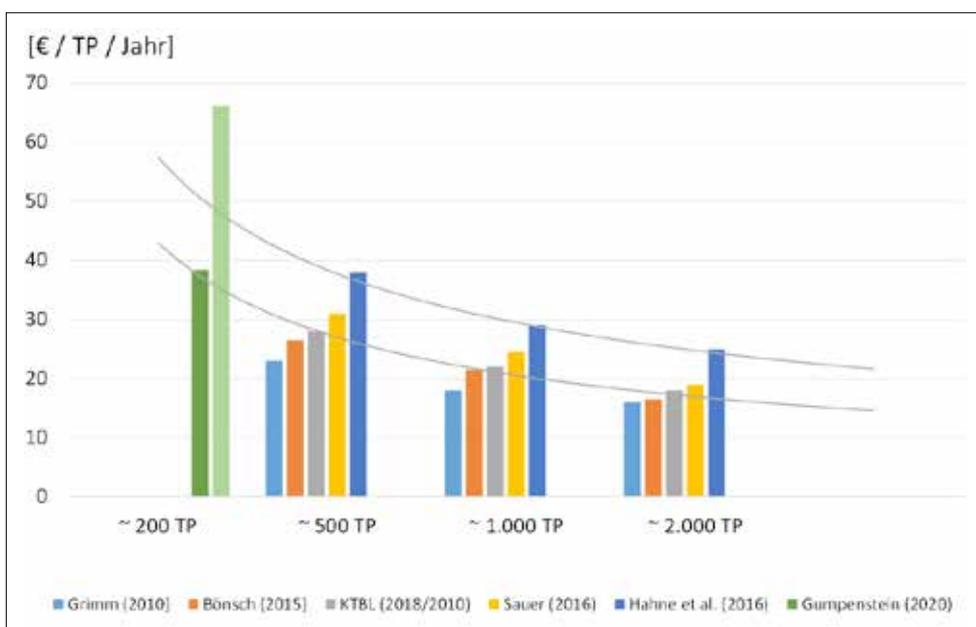
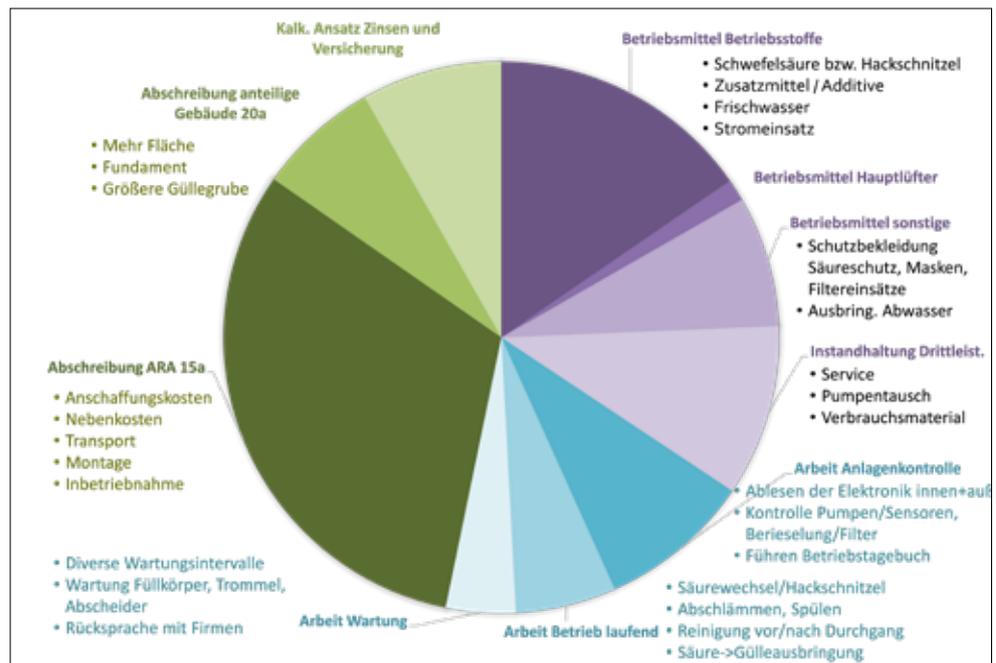


Abbildung 9: Jährliche Gesamtkosten des durchschnittlichen Anlagenbetriebs auf Basis der Kalkulation im Projekt PigAir; Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich der Größendegression, in Abhängigkeit von der Anzahl an Tierplätzen, mit unterschiedlichen Studien in Deutschland (vgl. Fritz 2019).

Die Kosten für die Installation und den laufenden Praxisbetrieb der betrachteten Anlagen betragen bei 138 Tierplätzen zwischen € 61 und € 75 pro Tierplatz und Jahr. Bei der Kalkulation auf Basis der Versuchsdaten wurden ein praxisorientierter Betrieb und eine fachgerechte Wartung der Anlagen sowie eine 15jährige Nutzungsdauer angesetzt. Von den Gesamtkosten für den Anlagenbetrieb entfallen etwa 50 % auf fixe Kosten aus der Investition in die Anlage und auf bauliche Adaptionen (nicht miteingerechnet sind hier zusätzlich anfallende Kosten für die etwaige Errichtung einer zentralen Abluftanlage). Etwa 30 % entfallen auf variable Sachkosten für Betriebsmittel und ca. 20 % auf Arbeitskosten für Anlagenbetrieb, Anlagenkontrolle und Wartung. In Abhängigkeit vom Anlagentyp sowie der konkreten Situation und Ausstattung eines landwirtschaftlichen Betriebs, können sich Höhe und Relation der Kosten abweichend gestalten. Bei größeren Anlagen für Stallungen ab 550 Tierplätze sinken die Kosten auf € 24 bis € 29 pro Tierplatz und Jahr.

Abbildung 10: Schematische Aufteilung der Kosten in laufende Kosten, Arbeitskosten, Investitionskosten, kalkulatorische Kosten und Aufteilung auf einzelne Kostenpositionen. Je nach Art der Anlage und Tierplatzzahl bzw. Größe der betriebenen ARA bestehen z.T. erhebliche Abweichungen vom dargestellten Schema



Welche Herausforderungen und Zusatzkosten ergeben sich durch die Ausbringung oder Entsorgung des Waschwassers (Schlammrückstände) bzw. gibt es Einsparungspotential beim Kunstdünger?

Je nach Anlagentyp gibt es unterschiedliche Arten an „Waschwasser“, die einen unterschiedlichen Umgang bedingen. Beim Betrieb der Lavamatic der Fa. Reventa fällt von Seiten des Chemowäschers Abschlammwasser mit einem pH-Wert im Bereich von 3 an. Dieses Abschlammwasser muss in einem separaten Behälter (IBC-Container) gelagert werden bzw. kann nur dann direkt in eine Güllegrube eingeleitet werden, wenn diese eine säurefeste Beschichtung aufweist. Dieses Abschlammwasser der Chemostufe ist stark angereichert mit Stickstoff aus dem Abbau des Ammoniaks aus der Stallabluft; es kann durch Zugabe zu „normaler“ Gülle ausgebracht werden. Dies kann jedoch nur unmittelbar vor der Ausbringung stattfinden – am Versuchsstandort wurde dazu das Güllefass zu zwei Drittel mit Gülle aus der Grube, plus zu einem Drittel mit Abschlammwasser aus der Chemostufe gefüllt. Monetär und technisch ist hier die erforderliche säurefeste Pumpe zur Befüllung des Güllefasses zu berücksichtigen sowie der Umstand, dass dieses Abschlammwasser einen großen Gehalt an Stickstoff beinhaltet. Nachdem nicht eindeutig ist, wo die zusätzlichen Stickstoffmengen benötigt werden, wurde bei keiner der Abluftreinigungsanlagen ein Potenzial für eine mögliche Einsparung an mineralischen Düngemitteln ausgewiesen.

Waschwasser aus der Biostufe der Lavamatic sowie Abschlammwasser aus dem Rieseltbettfilter der Fa. Schönhammer und dem Biofilter der Fa. Hagola kann direkt in die Güllegrube eingeleitet werden. Monetär und technisch ist hier das erforderliche, größere Fassungsvermögen der Grube für die Lagerung zu berücksichtigen. Bei Systemen mit Biofiltersubstrat (Abluftreinigungsanlage der Fa. Hagola) fallen zudem Arbeiten und Kosten für Austausch, Entsorgung bzw. Kompostierung und Ausbringung der gesättigten Hackschnitzel an. Erfolgen die Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten gemäß den Angaben der Hersteller, so ist mit keinen Problemen hinsichtlich Schlammrückständen in den Anlagen zu rechnen. Die vorgeschriebene regelmäßige Wartung der Abluft-

reinigungsanlagen ist zudem insgesamt zur Aufrechterhaltung der ordnungsgemäßen Funktion unabdingbar. Eine mangelnde Instandhaltung eines Rieselbettfilters kann bspw. zu einem Verkleben und Verwachsen der Füllkörper mit Staub und Stoffen aus der Stallabluft führen; mit der Folge eines steigenden Druckwiderstandes der Lüftungsanlage und verminderter Luftwechselraten, die den Tierbestand gefährden.

Bis zu welcher minimalen Stallgröße (bzw. Größe des Abteils) ist der Einbau eines Wäschers technisch machbar?

Für die Frage der technischen Machbarkeit auf einem landwirtschaftlichen Betrieb ist relevant, inwiefern eine für die Installation geeignete Anlage am Markt verfügbar ist. Eine der betrachteten Anlagen ist in der kleinsten, kommerziell erhältlichen Variante für einen Tierbesatz von 275 Schweinen konfiguriert. Bei Anlagen, die für Versuchszwecke oder als Prototypen für spezielle Gegebenheiten konfiguriert werden, ist technisch gesehen vieles machbar. Im Sinne der tatsächlichen technischen Machbarkeit auf einem Wirtschaftsbetrieb, ist allerdings auch auf die ökonomische Eignung einer Technologie abzustellen. Der Begriff „Stand der Technik“ subsummiert nicht nur die rein technisch-prinzipielle Machbarkeit der Abreinigung von Luftschadstoffen, vielmehr sind auch die Kosten derartiger Anlagen, bezogen auf die Betriebsgröße (Anzahl an gehaltenen Schweinen), mit zu betrachten. Semantisch bzw. rechtlich besitzt der Begriff „Stand der Technik“ in seinem vollen Umfang nur bei jenen Betrieben Gültigkeit, die der RL 2070/75/EU („Industrieemissionsrichtlinie“) unterliegen; darunter fallen landwirtschaftliche Anlagen mit mehr als 2000 Plätze für Mastschweine. Hier ist die Ausstattung der Stallungen mit Abluftreinigungsanlagen zwingend erforderlich.

Mit welchen technischen Herausforderungen ist im Langzeitbetrieb zu rechnen?

Ein wichtiges Problemfeld schaffen etwaige Störungen und Fehlfunktionen, deren Dringlichkeit und Ursache für den Benutzer nicht unmittelbar erkennbar sind. Insbesondere wenn es keine einfache oder zwingende Erforderlichkeit zur sofortigen Problembehebung gibt, können Anlagen mitunter über einen langen Zeitraum außerhalb des Normbereichs funktionieren – darunter leidet jedoch die Abscheideleistung von Ammoniak und Geruch.

Aus diesem Grunde ist es eine zentrale Anforderung, dass den Herstellerangaben hinsichtlich Kontrolle und Wartung der Geräte fortlaufend und in vollem Umfang nachgekommen wird. Bevor eine Abluftreinigungsanlage angeschafft wird, muss sich der künftige Betreiber im Klaren sein, dass eine derartige Investition nicht nur kostenintensiv ist, sondern sich auch im Mehraufwand an Arbeit niederschlägt. Es fallen relativ hohe Arbeitszeiten für tägliche, wöchentliche und monatliche Kontroll- und Wartungstätigkeiten an. Erfahrungen aus Deutschland weisen darauf hin, dass Landwirte diesem Aspekt zum Teil wenig Relevanz beimessen. Dies führt dazu, dass auch bei technisch ausgereiften Anlagen, die bei Inbetriebnahme noch einwandfrei arbeiten, nach einigen Jahren im Praxiseinsatz ein großer Prozentsatz nur mehr bescheidene Abscheideleistungen aufweist. Einer Entwicklung in diese Richtung ist jedenfalls vorzubeugen.

In welcher Relation liegen die laufenden Kosten für den Betrieb eines gegebenen Schweinestalls (Abteils) mit Abluftreinigungsanlage im Vergleich zu einem herkömmlichen, mit Zwangsentlüftung?

Mehrere kostenrelevante Parameter würden sich deutlich erhöhen. So beträgt der Mehrstromeinsatz aufgrund der Abluftreinigung im gegenständlichem Versuchsbetrieb mehr als 100 % des Stromeinsatzes für die Stallentlüftung. Insgesamt würden bei dem Betrieb einer Abluftreinigungsanlage – bei kleineren Betrieben mit 138 Tierplätzen, wie im Versuch getestet – variable Sachkosten in der Höhe von ca. € 20 pro Tierplatz und Jahr zusätzlich anfallen. Im Mittel, über betriebswirtschaftlich schwächere und stärkere Betriebe hinweg, liegen die Direktkosten im Betriebszweig Schweinemast in einer Größenordnung von mehr als € 400 pro Tierplatz und Jahr, wovon mehr als 90 % für Ferkelzukauf und Futter veranschlagt werden. Die Direktkosten würden demnach mit der Abluftreinigung um ca. 5 %, die Direktkosten ohne Ferkel und Futter jedoch um ca. 50 % steigen. Eine deutliche Erhöhung würde sich auch bei den baulichen Kosten ergeben. Die Stallplatzkosten würden von einer Größenordnung von € 70 pro Tierplatz und Jahr um rund € 30 auf € 100 pro Tierplatz und Jahr ansteigen. Nicht mitgerechnet sind hier etwaige Kosten eines Umbaus für die Installation einer zentralen Abluftanlage; diese ist unabdingbare Voraussetzung für die Führung der Stallabluft über eine nachgeschaltete Abluftreinigungsanlage.

Hinweise für die Praxis

Ergänzend zu den dargelegten technischen und wirtschaftlichen Fakten sind wichtige Faktoren anzuführen, die hinsichtlich einer Nutzung von Abluftreinigungsanlagen - unabhängig von der jeweiligen Technologie - jedenfalls Beachtung finden müssen. Das Augenmerk richtet sich auf die Eigenverantwortung des Anwenders und auf das Service der Herstellerfirmen bzw. den Support durch ein österreichisches Vertriebsnetz.

Betreiber von Abluftreinigungsanlagen

Wesentlich bei der beabsichtigten Nutzung einer ARA-Technik ist es, sich im Vorfeld, neben den technischen und monetären Aspekten, damit auseinanderzusetzen, dass derartige Geräte ein Mindestmaß an Betreuungs- und Wartungsaufwand erfordern. Es handelt sich um technisch aufwendige Geräte, die zur Aufrechterhaltung ihrer Funktionalität routinemäßiger Instandhaltungsarbeiten (tägliche/wöchentliche/monatliche Kontrollen und Reinigungsarbeiten etc.) bedürfen. Untersuchungen aus Deutschland zeigen, dass ein beträchtlicher Anteil von - bei Inbetriebnahme einwandfrei arbeitender Abluftreinigungsanlagen - nach einigen Jahren im Praxiseinsatz nicht oder nur noch marginal, die ursprüngliche Funktionstüchtigkeit aufweisen. Dies kann im Allgemeinen nicht den eingesetzten Technologien oder den Herstellerfirmen angelastet werden, vielmehr liegt hier die Verantwortung beim betreibenden Landwirt. Werden bspw. Reinigungsarbeiten von Ventilen und Düsen etc. nicht vorgenommen oder Filtermaterial zur biologischen Abluftreinigung nicht entsprechend den Herstellerangaben gewechselt, liegt es auf der Hand, dass über kurz oder lang die Effektivität der eingesetzten Anlagen schwindet. Dies gilt es jedenfalls zu vermeiden und ist im Vorfeld eines etwaigen breitflächigeren Einsatzes von Abluftreinigungsanlagen in Österreich allen Beteiligten (Landwirte, Behörden, Sachverständige) bewusst zu machen.

Folgende Gründe für nicht bestandene Überprüfungen in Deutschland wurden festgestellt:

- keine Säure vorhanden
- Steuerung arbeitet mit falschem pH-Wert – Sonde nicht kalibriert
- Wände von Biowäschern verdeckt bzw. Spülleitungen/Düsen verstopft
- abgesackte Wurzelholzschüttungen
- Bioschüttungen nicht ausreichend befeuchtet
- Standzeiten der Bioschüttungen überschritten

Die Hauptursachen für diese häufig vorgefundenen Fehlfunktionen waren:

- mangelnde Wartung und Kontrolle durch den Betreiber
- mangelnde Unterweisung durch den Anlagenhersteller
- Anlage ist wartungsunfreundlich installiert

In diesem Zusammenhang sei ein Aspekt der Abluftreinigungstechnologie hervorgehoben, der die Abscheidung von Geruch betrifft. Eine Reduktion des schweine-typischen Geruchs ist nur mittels biologischer Reinigung möglich. Je nach Gerätetyp kommen dafür unterschiedliche Trägermaterialien (Zellulosepads, Kunststoff, Hack-schnitzel) zum Einsatz auf denen sich - in Folge des Durchtritts von Stallabluft - Mikro-organismen ansiedeln, die im Rahmen ihrer Stoffwechselaktivitäten Geruchsmoleküle aufspalten. Die Folge des zu Nutzemachens der Mikrobenaktivität bedingt, dass sich - bevor ein gewisses Maß an Geruchsabscheidung möglich ist - eine „kritische Masse“ der Bakteriengemeinschaft auf dem Trägermaterial bilden muss. Und dieser Aufbau der geruchsmindernden Mikroben nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch; mit einem Zeitraum zw. 4 und 8 Wochen ist hier bei Erstinbetriebnahme, jedenfalls zu rechnen. Dieser Um-stand muss den Betroffenen (Landwirte, Nachbarn, Behörden, Sachverständigen) bekannt sein, um unrealistische Erwartungen zur anfänglichen Geruchsabscheidung und ev. darauf beruhende Beschwerden hintanzuhalten.

Herstellerfirmen und Support vor Ort

Im Rahmen der Durchführung des gegenständlichen Projektes wurde evident, wie zentral der Support durch die Herstellerfirmen bzw. durch ein österreichisches Ver-triebsnetz ist. Um eine optimale Versorgung heimischer Landwirte zu gewährleisten sind jedenfalls lokale Strukturen zu etablieren, die eine einwandfreie Inbetriebnahme von Abluftreinigungstechnologien und die Einschulung der Landwirte, sowie eine rasche Unterstützung im Problemfall, sicherstellen.

Neu-, Zu- und Umbauten von Stallgebäuden bedürfen in der Regel einer baurechtlichen Genehmigung – das geplante Gebäude, plus erforderlicher technischer Anlagen zum Be-trieb desselben (Ventilatoren, Abluftreinigungsanlagen etc.) sind dabei Gegenstand des Ermittlungsverfahrens. Insbesondere gilt es seitens der Behörden zu prüfen, ob – durch den zukünftigen Betrieb des Bauvorhabens – Nachbarrechte tangiert werden; zentrale Frage ist, inwieweit umliegende Grundstücke durch Immissionen (Lärm, Geruch etc.) beaufschlagt werden. Die bescheidmäßig erlassene Baubewilligung kann in der Folge Auflagen enthalten, deren Einhaltung eine negative Beeinflussung der Nachbarschaft ausschließt. Bezogen auf Stallungen/Abteile mit nachgeschalteter Abluftreinigungsanlage bedeutet dies, dass ein rechtmäßiger Betrieb nur dann vorherrscht, wenn die eingesetzte

Technik aktiv und funktionstüchtig ist. Ist die Anlage auf Grund eines technischen Gebrechens nicht in Betrieb, wird der Stall/das Abteil rechtswidrig betrieben. Zudem kann dies, bei bestehenden Nachbarschaftskonflikten hinsichtlich Geruchsbelästigung, zu einer Verschärfung der Situation führen.

Aus diesem Grunde ist rasche Hilfestellung und Unterstützung durch den Anbieter/die Vertriebsfirma zwingend erforderlich. Neben der Voraussetzung eines fernwartungs-technischen Zugriffs auf die Steuerungseinrichtung von Abluftreinigungsanlagen ist – im Falle größerer Gebrechen – zu gewährleisten, dass Servicetechniker binnen kurzer Zeit (optimal wäre innerhalb von 24 Stunden), vor Ort sind, um die Geräte wieder in Betrieb zu setzen.

Bei beabsichtigter Anschaffung einer Abluftreinigungstechnik erscheint es demnach zielführend, bereits im Vorfeld mit dem Anbieter/der Vertriebsfirma über einen Wartungsvertrag und dessen genauem Umfang zu sprechen.

Literatur

BANZHAF, S., SCHAAP, M., WICHNIK KRUIT, R.J., DENIER VAN DER GON, H.A.C., STERN, R., AND BUILTJES, P.J.H. (2013): Impact of emission changes on secondary inorganic aerosol episodes across Germany. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, pp 11675-11693.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015): Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayrischen Tierhaltungsanlagen – Endbericht Teil 2 zum Forschungsvorhaben P2110, Augsburg.

BMLFUW (HG) (2017): Pauschalkostensätze. Baukosten im landwirtschaftlichen Bauwesen. 01.08.2017. Beilage zur Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft zur Umsetzung von Projektmaßnahmen im Rahmen des Österreichischen Programms für ländliche Entwicklung 2014 – 2020, Wien.

BMNT (2019): Grüner Bericht 2019, Tabellenteil. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.

BROER, L. (2015): Erfahrungen bei Bau und Überwachung von Abluftreinigungsanlagen in Niedersachsen, 12. KTBL-Vortragsveranstaltung - Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft, 02. Juni 2015, Ulm.

DLG-PRÜFBERICHT 5699 (2007): Hagola Biofilter GmbH – Abluftreinigungssystem für die Schweinehaltung, DLG e. V. – Testzentrum Technik & Betriebsmittel, Groß-Umstadt.

DLG-PRÜFBERICHT 6380 (2016): Hagola Biofilter GmbH – Abluftreinigungssystem HAGOLA NH360° für die Schweinehaltung, DLG e. V. – Testzentrum Technik & Betriebsmittel, Groß-Umstadt.

ERISMAN, J.W. AND SCHAAP, M. (2004): The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe. *Environmental Pollution* 129, 159-163.

FRITZ, C. (2019): Abluftreinigung in der Mastschweinehaltung - eine betriebswirtschaftliche Betrachtung für Österreich. *Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2019*, 59 – 70.

KTBL (HG.) (2018): Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19 – KTBL-Datensammlung. 26. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV (KTBL), Darmstadt.

LAMPING, H. (2011): Problematik der behördlichen Überwachung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung, Workshop Emissionsminderung Tierhaltung – Abluftreinigung, 20. und 21. Juli 2011, Bonn.

ÖTTL, D. (2013): Fact Sheet – Ammoniakminderungsmaßnahmen im Sanierungsgebiet-Mittelsteiermark. Amt d. Stmk. Landesregierung, A15 – Referat für Luftreinhaltung, Graz.

ÖNORM EN 13725, Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Ausgabe: 2006-04-01, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖKL (2019): ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2019. Unverbindliche Berechnungsgrundlage für den land- und forstwirtschaftlichen Einsatz in der Nachbarschaftshilfe. Preisbasis 3. und 4. Quartal 2018. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung – ÖKL, Wien.

TRIMBORN, M. (2006): Biofilter/Biowäscher an Tierhaltungsanlagen als relevante Quelle von Lachgas durch Ammoniakabscheidung? Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 138, 59 Seiten.

UBA (2016): Maßnahmen zur Minderung sekundärer Partikelbildung durch Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft. Umweltbundesamt, Wien, 79 Seite

VDI-RICHTLINIE NR. 3477: Biologische Abgasreinigung – Biofilter, Verein Deutscher Ausgaben März (2016) Verein Deutschr Ingenieure e. V., Düsseldorf

VDI-RICHTLINIE NR. 3880, Olfaktometrie – Statische Probenahme, Ausgabe Oktober 2011, Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf.

VDI-RICHTLINIE NR. 3884 – Blatt 1, Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725, Ausgabe

VERA (2018): Test Protocol for Air Cleaning Technologies, Version 2:2018-09, International VERA Sekretariat, www.vera-verification.eu, abgerufen am 26.09.2018

Gendererklärung: Generell wurde in diesem Tagungsband die in der deutschen Sprache übliche, männliche Anrede gewählt. Diese Anrede für personenbezogene Bezeichnungen bezieht sich jeweils auf alle Geschlechter gleich. Keinesfalls soll dies eine Ablehnung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.