

Kosten für die Abluftreinigung reduzieren

Die Abluftreinigung mit biologisch arbeitenden Rieselbettreaktoren ohne pH-Regelung verursacht hohe Kosten für Lagerung und Ausbringung von Abwasser. Denn diese Betriebsweise führt beispielsweise in der konventionellen Mast Schweinehaltung zu einem Abwasseranfall von mindestens 0,6 m³/Mastplatz und Jahr. Demgegenüber konnten in Rieselbettreaktoren mit pH-Regelung die Ammonium- und Nitratkonzentrationen im Waschwasser erheblich gesteigert und somit die Abwasservolumina um bis zu 77 % reduziert werden. Die Aufkonzentrierung des Waschwassers führt trotz zusätzlicher Aufwendungen für die pH-Regelung zu Einsparungen um mehr als 50 % bei Lager volumen, Abwasserwertung und Frischwasserverbrauch.

Dr. rer. nat. Jochen Hahne (e-mail: jochen.hahne@vti.bund.de) ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Bundesforschungsinstitutes für ländliche Räume, Wald und Fischerei (von Thünen-Institut), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

Schlüsselwörter

Abluftreinigung, Rieselbettreaktor, Ammoniak, Abwasser, Kosten

Keywords

Waste air treatment, trickle bed reactor, ammonia, wastewater, costs

Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08305 über Internet www.landtechnik-net.de/literatur.htm

Die Abluftreinigung ist nicht Stand der Technik in der Tierhaltung, wird aber zunehmend zur weitergehenden Emissionsminderung eingesetzt, wie Herstellerangaben belegen [1]. Der Einsatz dieser Technik ist mit zusätzlichen Kosten verbunden, über deren Umfang Kostenberechnungen aus dem Jahr 2006 vorliegen [2], deren Höhe jedoch von einigen Herstellern bestritten wird. Für Rieselbettreaktoren werden Gesamtkosten von 18 bis 21 € je Tierplatz (Anlagenkapazität: 50000 m³/h) angegeben, die bei Anlagen mit 150000 m³/h auf 13 bis 17 € sinken können. Die Betriebskosten setzen sich nach diesen Berechnungen folgendermaßen zusammen: 50 % Stromverbrauch, 12 % Wasserverbrauch, 16 % Abwasserwertung, 16 % Arbeitszeit und 6 % Reparaturkosten [2]. Die erheblichen Kosten für Frischwasser und Abwasserwertung resultieren letztendlich aus der Tatsache, dass Mikroorganismen oberhalb bestimmter Salzgehalte und Hemmstoffkonzentrationen absterben. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand muss für Rieselbettreaktoren ohne pH-Regelung, die eine dauerhafte Funktionssicherheit gewährleisten sollen, mit einem Abwasseranfall von 0,2 bis 0,3 m³ je Kilogramm Ammoniak-Stickstoff gerechnet werden. Für einen Mastschweinestall mit 1000 Tieren fallen unter Zugrundelegung des Emissionsfaktors der TA Luft von 3,64 kg/Mastplatz und Jahr [3] rund 600 bis 900 m³ Abwasser aus der Abluftreinigung mit Rieselbettreaktoren ohne pH-Regelung an. Für diesen Abwasseranfall muss Lagerkapazität geschaffen werden, deren Kosten etwa 35 €/m³ betragen [2]. Auch die Abwasserwertung muss mit mindestens 2,60 €/m³ einkalkuliert werden.

Ziel der Arbeiten ist es, die Kosten für die biologische Abluftwäsche zu reduzieren, ohne deren Wirksamkeit nachteilig zu beeinflussen. Eine Option zur Kostenreduzierung ist die Aufkonzentrierung des Abwassers, ohne dass es zu Hemmungen der Mikroorganismen kommt. Dies setzt voraus, dass die Konzentrationen von gelöstem Ammoniak (NH₃) und nicht dissoziierter salpetriger Säure (HNO₂) durch eine geeignete pH-Regelung unterhalb ihrer Hemmschwellen gehalten werden.

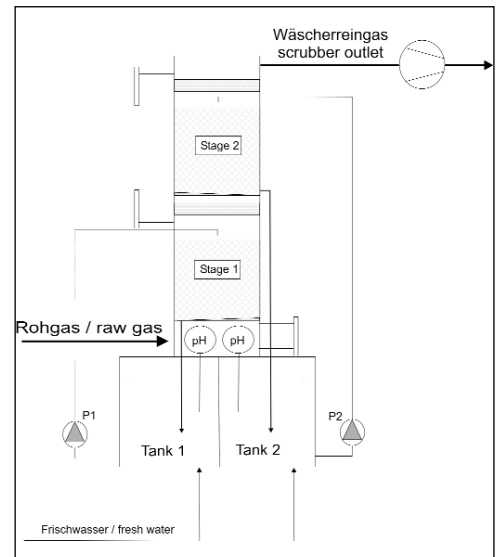


Bild 1: Schema des biologisch betriebenen Rieselbettreaktors

Fig. 1: Sketch of the biologically operated trickle bed reactor

Material und Methoden

Ein zweistufiger, biologisch betriebener Rieselbettreaktor (Bild 1) wurde in sieben Versuchen mit Abluft einer Schweinemastanlage beaufschlagt, wobei die Versuchsdauer zwischen 72 und 155 Tagen variierte. Bei sechs Versuchen wurde der pH-Wert in jeweils einer Waschstufe mit konzentrierter Schwefelsäure auf pH = 6,5 geregelt, in fünf Fällen erfolgte die Regelung in Waschstufe 1 (S1), einmal in Waschstufe 2 (S2). In der jeweils anderen Waschstufe erfolgte keine pH-Regelung. Ein weiterer Versuch wurde komplett ohne pH-Regelung durchgeführt. Verdunstungsverluste wurden über eine automatisch arbeitende Füllstandsregelung mit Frischwasser ausgeglichen. Eine Abschläm-mung belasteten Abwassers erfolgte nicht. Die Probenahme erfolgte mindestens dreimal in der Woche aus den Umlaufleitungen bei konstantem Füllstand. Ammonium-Stickstoff wurde aus der Mischprobe destillativ (DIN 38406 – E5-2), Nitrit- und Nitrat-Stickstoff nach Membranfiltration ionenchromatographisch (EN ISO 10304 –2) analysiert [4]. Zur Bestimmung des organisch gebundenen Stickstoffs wurde ein Teil der Probe zentrifugiert und der Überstand verworfen. Das Pellet wurde in deionisier-

tem Wasser resuspendiert, gewaschen und erneut zentrifugiert. Aus dem zweimal gewaschenen Pellet erfolgte dann die Bestimmung des gebundenen Stickstoffs nach EN 25663.

Ergebnisse

Die Ammoniakabscheidung von Rieselbettreaktoren ist bekanntermaßen stark abhängig vom pH-Wert des Waschwassers. Versuche mit einem pH-Wert von 6,5 in Waschstufe 1 ergaben durchschnittliche $\text{NH}_3\text{-N}$ -Einträge in Waschwasser von $261 \text{ g/m}^3 \text{ d}$, während es bei den unregelmäßigen Versuchen lediglich $122 \text{ g/m}^3 \text{ d}$ waren. Trotz der pH-Regelung wurde Ammoniak auch in die zweite Waschstufe eingetragen und dort mikrobiell oxidiert. Im Durchschnitt lagen die maximalen mineralischen Konzentrationen an Stickstoff (N_{min} = Summe aus $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) in der pH-geregelten Waschstufe 1 (S1) um den Faktor 5 über den Werten der unregelmäßigen Waschstufe 2 (S2) (Tab. 1).

Die Ammoniakabscheidung war ohne pH-Regelung in S1 völlig unzureichend. Die erzielbaren N_{min} -Konzentrationen lagen lediglich bei 28 % der Werte, die mit pH-Regelung in S1 erzielt wurden. Erfolgte die pH-Regelung auf pH 6,5 nur in S2, wurde in dieser Stufe eine um den Faktor 3,5 höhere N_{min} -Konzentration erzielt als in S1.

Mit einer pH-Regelung auf pH 6,5 in S1 wurden $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen von 8230 bis 15720 mg/kg (12434 mg/kg im Mittel) und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen von 182 bis 5972 mg/kg (2332 mg/kg im Mittel) erzielt (Tab. 1). Wichtig in diesem Zusammenhang waren die vergleichsweise geringen $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen von nur 6,4 bis 581 mg/kg (167 mg/kg im Mittel). Mit der pH-Regelung wurde so eine starke Anreicherung von Nitrit im Waschwasser vermieden. In der nicht geregelten Waschstufe S2 kam es zur Anreicherung von durchschnittlich 1903

Tab. 2: Mögliche Einsparpotenziale durch pH-Regelung bei Rieselbettreaktoren für einen Betrieb mit 1000 Mast-schweinen

Tab. 2: Possible cost savings by a pH control in trickle bed reactors for a unit with 1000 fatteners

	Kosten ohne pH-Regelung		Kosten mit pH-Regelung	
	Investition [€]	Betrieb [€/a]	Investition [€]	Betrieb [€/a]
pH-Regelung	-	-	1970	100
Säureverbrauch	-	-	-	263
Frischwasser ¹	-	298	-	69
Abwasser	-	1547	-	360
Zusätzl. Lagervolumen	10413	-	2415	-
Summe	10413	1845	4385	792

¹: ohne Verdunstung

$\text{mg/kg NH}_4\text{-N}$, $397 \text{ mg/kg NO}_3\text{-N}$ und $1182 \text{ mg/kg NO}_2\text{-N}$. Diese Ergebnisse zeigen einerseits eine geringfügige Überlastung der Waschstufe S1, andererseits aber wiederum eine starke Anreicherung von Nitrit, wenn keine pH-Regelung erfolgt.

Ohne pH-Regelung in beiden Stufen lagen die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen mit maximal 2370 bis 2840 mg/kg lediglich bei 19 bis 23 % des mittleren Wertes mit pH-Regelung. Demgegenüber wurden mit 1840 bis $1931 \text{ mg/kg NO}_2\text{-N}$ sehr hohe Werte gemessen, die um den Faktor 11 bis 18 über dem mittleren Wert mit pH-Regelung lagen. Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte lagen demgegenüber nur bei 8 bis 12 % der mittleren Nitrat-N-Konzentration, die mit pH-Regelung erzielt wurde.

Die Nitrit-Bildung stieg bei nicht geregeltem pH-Wert tendenziell mit dem Ammoniak eintrag in das Waschwasser an, während die Nitrat-Bildung bei steigenden Einträgen fiel. Einträge in das Waschwasser von bis zu $173 \text{ g NH}_3\text{-N/m}^3 \text{ d}$ ergaben im Regelbetrieb keine Hemmungen der Nitritbildung, Limitierungen können jedoch durch Mangel an gelöstem Sauerstoff (zu geringe Berieselungsdichte) und / oder durch Anreicherung von Salzen verursacht werden. Die Nitrit-Produktionsraten stiegen an bis zu N -Konzentrationen um 3000 mg/kg (= 100 %), wobei das $N_{\text{oxidiert}}/N_{\text{reduziert}}$ -Verhältnis bei durchschnittlich 0,9 lag. Bei 4000 mg/kg sank die Produktionsrate auf 79 %, bei 5000 mg/kg auf nur noch 21 %.

Einsparpotenziale

Wie die Ergebnisse zeigen, konnten mit einer pH-Regelung auf 6,5 maximale N -Konzentrationen von $21,72 \text{ g/kg}$ ohne nachhaltige Hemmung der Nitrifikation erzielt werden. Ohne pH-Regelung waren es maximal $5,04 \text{ g/kg}$. Wenn die N_{min} -Konzentration maximal um das 4,3-fache gesteigert werden kann, würde der Abwasseranfall entsprechend sinken, wie das nachfolgende Beispiel zeigt.

Bei einer abzuschlammenden N -Menge von $3000 \text{ g/Tierplatz und Jahr}$ (Mast-schweinehaltung, Emissionsfaktor: $3,64 \text{ kg NH}_3$) wären hierfür mit pH-Regelung im günstigsten Fall nur etwa $138 \text{ Liter Waschwasser notwendig}$ ($138 \text{ l} \cdot 21,72 \text{ g/l} = 2997 \text{ g}$). Ohne pH-Regelung wären es hingegen mindestens 595 l ($595 \text{ l} \cdot 5,04 \text{ g/l} = 2999 \text{ g}$). Der Waschwasseranfall könnte somit unter optimalen Bedingungen um den Faktor 4,3 reduziert werden. Angesichts der Ausbringungskosten ($2,60 \text{ €/m}^3$), der Investitionskosten für Lagerraum (35 €/m^3) und der Kosten für Frischwasser ($0,5 \text{ €/m}^3$) [2] kann sich ein erhebliches Einsparpotenzial trotz geringen Mehrverbrauchs an Säure ergeben (Tab. 2). Für die Kostenberechnungen wurden Angaben der Fa. RIMU Lüftungstechnik (pH-Regelung) sowie Daten der KTBL-Schrift 451 zugrundegelegt (Stand: 2006). Der Säureverbrauch wurde auf der Grundlage von Versuchen mit 10 % der Menge eines reinen Chemowäschers geschätzt. Für die Berechnung zusätzlichen Lagerraumes wurde eine Lagerzeit von mindestens sechs Monaten unterstellt.

Fazit

Mit einer pH-Regelung konnten die N_{min} -Konzentrationen im Waschwasser eines Rieselbettreaktors ohne nachhaltige Hemmung der Nitrifikation auf bis zu $21,7 \text{ g/kg}$ gesteigert werden. Ohne pH-Regelung waren es maximal $5,0 \text{ g/kg}$. Die Aufkonzentrierung des Waschwassers führt zu erheblichen Einsparungen bei dem erforderlichen Lagervolumen, der Abwasserverwertung und des Frischwasserverbrauches. Die Kosten für diese Positionen können somit um mehr als 50 % reduziert werden.

Tab. 1: Maximal erreichte N -Konzentrationen im Waschwasser eines biologisch betriebenen Rieselbettreaktors bei unterschiedlichen N -Einträgen mit und ohne pH-Regelung

Nr No	Stufe unit	N-Input [g/m ³ d]	pH-Regelung pH control	NH ₄ -N [mg/kg]	NO ₂ -N [mg/kg]	NO ₃ -N [mg/kg]	N _{min} [mg/kg]
1	S1	97	-	2840	1931	269	5040
	S2	76	-	2370	1840	181	4391
2	S1	146	-	1910	1312	47	3269
	S2	287	+	10570	778	113	11461
3	S1	199	+	9930	581	182	10693
	S2	103	-	2570	1572	458	4600
4	S1	213	+	8230	185	4643	13058
	S2	43	-	618	373	419	1410
5	S1	353	+	15720	29	5972	21721
	S2	173	-	1820	1106	359	3285
6	S1	289	+	14570	32	322	14924
	S2	58	-	2550	1684	114	4348
7	S1	250	+	13720	6	540	14266
	S2	70	-	1960	1176	637	3773

Table 1: Maximum achieved nitrogen concentrations in the washing liquid of a biologically operated trickle bed reactor at different nitrogen inputs with and without pH control

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] *Hahne, J.*: Aktuelle Entwicklung der Abluftreinigung in der Tierhaltung. Landtechnik 62 (2007), H. 3, S. 178 - 179
- [2] • *KTBL (Hrsg.)*: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen, KTBL-Schrift 451, Darmstadt, 2006
- [3] *TA Luft 2002*: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBL 2002, Heft 25 – 29, S. 511 - 605
- [4] *Fachgruppe Wasserchemie (Hrsg.)*: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, in der jeweils gültigen Fassung