

Müssen die Ammoniak-Emissionsraten aus zwangsgelüfteten Ställen in der Schweinemast und Ferkelaufzucht überprüft werden?

Jochen Hahne

Auswertungen von insgesamt 641 Vor-Ort-Messungen anerkannter Prüfstellen im Zeitraum von 2020 bis 2022 bei Schweinemastanlagen ergaben für Ammoniak – gemessen mit Prüfröhrchen – selbst unter Berücksichtigung verschiedener Messunsicherheiten eine Emissionsrate von mindestens $3,3 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei einem durchschnittlichen Tiergewicht von $77,6 \text{ kg}$ (SD = $22,1 \text{ kg}$) und ganzjähriger Belegung. Die jeweiligen Monatsmittelwerte für die Ammoniak-Konzentration in der Schweinemast schwankten zwischen $11,5 \text{ ppm}$ im August und $15,4 \text{ ppm}$ im Februar und für die Stalltemperatur zwischen $19,0 \text{ °C}$ im Februar und $24,9 \text{ °C}$ im Juli. Die spezifischen Luftraten im Monatsmittel variierten zwischen $36,5 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im Januar und $78,4 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im August. Eine alternative Bestimmung der NH_3 -Emissionsrate über die Abschlämmung ordnungsgemäß betriebener Abluftreinigungsanlagen ergab mit $3,5 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ einen vergleichbaren Wert.

Entsprechende Auswertungen von 179 Vor-Ort-Messungen bei Anlagen zur Ferkelaufzucht im Zeitraum von 2019 bis 2023 ergaben eine NH_3 -Emissionsrate von mindestens $1,1 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei einem durchschnittlichen Tiergewicht von $18,1 \text{ kg}$ (SD = $6,5 \text{ kg}$) und ganzjähriger Belegung. Die jeweiligen Monatsmittelwerte für die Ammoniak-Konzentration in der Ferkelaufzucht bewegten sich zwischen $6,6 \text{ ppm}$ im Januar und $13,3 \text{ ppm}$ im April und für die Stalltemperatur zwischen $20,7 \text{ °C}$ im Februar sowie $26,0 \text{ °C}$ im Juli. Die spezifischen Luftraten im Monatsmittel variierten zwischen $15,6 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im Januar und $29,9 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im August. Die alternative Bestimmung der NH_3 -Emissionsrate über die Abschlämmung ordnungsgemäß betriebener Abluftreinigungsanlagen ergab einen Wert von $0,7 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Schlüsselwörter

Ammoniak, Prüfröhrchen, Emissionsrate, Schweinemast, Ferkelaufzucht

Emissionsraten sind wichtig für die Genehmigung von Tierhaltungsanlagen und für die Bewertung möglicher Umweltauswirkungen. Die zukünftig gültigen Emissionsraten für Ammoniak sind in der aktuellen TA Luft festgelegt (TA LUFT 2021). Der bisherige Referenzwert für die Schweinemast (Zwangsbelüftung, Gülleverfahren) ist mit $3,64 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und für die Ferkelaufzucht mit $0,50 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angegeben. Diese Zahlen entsprechen den Angaben in der VDI 3894 aus dem Jahr 2011 (VDI 2011). Die Angaben entstammen wiederum aus einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2002 (UMWELTBUNDESAMT 2002a). Hinsichtlich der Emissionsrate für die Ferkelaufzucht gibt die VDI-Richtlinie unter Verweis auf die UBA-Texte 75 (2002) ergänzend den Hinweis, dass die Daten noch validiert werden müssten.

In den letzten 20 Jahren ist die Leistung in der Schweinemast deutlich gestiegen. So wurden die Tageszunahmen nach Angaben des RHEINISCHEN ERZEUGERRINGES FÜR MASTSCHWEINE E.V. (2020) von 722 g Lebendmasse (LM) Tier⁻¹ d⁻¹ im Erfassungsjahr 2004/2005 auf 860 g LM Tier⁻¹ d⁻¹ im Erfassungszeitraum 2019/2020 gesteigert. Gleichzeitig wurde die Futtermittelverwertung im selben Zeitraum verbessert. Der Futterverbrauch ist von 3 kg Futter je kg Lebendmassezuwachs auf 2,7 kg Futter je Lebendmassezuwachs gesunken. Für den Bilanzzeitraum 2020/2021 wurde eine tägliche Lebendmassezunahme von 868 g LM d⁻¹ und ein Futterverbrauch von 2,56 kg Futter kg⁻¹ LM⁻¹ angegeben (WALDEYER et al. 2021). Die Tierverluste beliefen sich auf 1,14 %. In den UBA-Texten 75 (UBA 2002a), die Grundlage für die Festlegung von Emissionsraten waren, wurde hingegen eine tägliche Zunahme von 700 g und eine Futtermittelverwertung von 3,0 kg kg⁻¹ LM⁻¹ zugrunde gelegt. Die Tierverluste wurden auf 3,4 % geschätzt.

Die Produktionskennzahlen und Leistungsdaten in der Ferkelaufzucht wurden für das Jahr 2020 vom BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (2023) angegeben. Die tägliche Lebendmassezunahme betrug 433 g LM d⁻¹, die Futtermittelverwertung 1,7 kg Futter kg⁻¹ LM⁻¹ bei einer Aufzuchtdauer von 54 Tagen und insgesamt 6,2 Durchgängen je Aufzuchtplatz. Bei einer Aufzuchtdauer von 54 Tagen wird ein Tiergewicht von 29,9 kg LM erreicht. Die aktuellen Werte unterscheiden sich somit nur geringfügig von den mittleren Angaben in den UBA-Texten (UBA 2002a) mit einer geschätzten Tageszunahme von 430 g LM d⁻¹, einer Futtermittelverwertung von 1,7 kg LM kg⁻¹ Futter⁻¹ und 6,5 Umtrieben je Aufzuchtplatz.

Angesichts der teilweise veränderten Produktionskennzahlen, Leistungsdaten und Haltungsvorfahren in der Schweinehaltung sowie veränderten klimatischen Rahmenbedingungen stellt sich die Frage, ob die genannten Ammoniak-Emissionsraten, die inzwischen älter als 20 Jahre sind, das tatsächliche Emissionsverhalten noch hinreichend genau abbilden können.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es daher, anhand der Daten von Vor-Ort-Prüfungen anerkannter Prüfstellen die Ammoniak-Emissionsraten aus zwangsbelüfteten Ställen für die Schweinemast und die Ferkelaufzucht abzuschätzen. Die Ergebnisse wurden dann mit einer alternativen Bestimmung der NH₃-Emissionsraten über die Abschlämmrate der angeschlossenen Abluftreinigungsanlagen auf Plausibilität geprüft.

Material und Methoden

Im Zeitraum vom Oktober 2018 bis März 2023 wurden insgesamt 641 Prüfberichte anerkannter Prüfstellen zu zwangsbelüfteten Schweinemastanlagen und 179 Prüfberichte zu zwangsbelüfteten Ferkelaufzuchtanlagen in Hinblick auf die NH₃-Emissionen am Tag der Vor-Ort-Messung ausgewertet. Bei den Vor-Ort-Messungen wurden Temperatur, Volumenstrom und die NH₃-Konzentration im Rohgas zur Abluftreinigungsanlage gemessen. Die Ammoniak-Konzentration wurde vor Ort einmalig mit Prüfröhrchen gemessen. Als Referenzdruck wurden 1013 mbar zugrunde gelegt.

Die Umrechnung der NH₃-Konzentration von ppm auf mg m⁻³ erfolgte nach Gleichung 1.

$$\beta_i = (0,1 \cdot M \cdot p \cdot X_i) / (R \cdot T) \quad (\text{Gl. 1})$$

β_i = NH₃-Konzentration in mg m⁻³

M = Molmasse in g mol⁻¹

p = Referenzdruck in mbar

X_i = NH₃-Konzentration in ppm

R = Molare Gaskonstante in kJ kmol⁻¹K⁻¹

T = Temperatur in Kelvin

i = Laufindex

Der NH_3 -Massenstrom in Gramm je Tier und Stunde wurde anschließend nach Gleichung 2 berechnet. Für die Berechnung wurden grundsätzlich die Tierzahlen am Tag der Vor-Ort-Messung verwendet und nicht die genehmigten Tierplatzzahlen.

$$q_m = (Q \cdot \beta_i) / (1000 \cdot TZ) \quad (\text{Gl. 2})$$

q_m = NH_3 -Massenstrom in $\text{g TP}^{-1} \text{h}^{-1}$

Q = Volumenstrom in $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$

β_i = NH_3 -Konzentration in mg m^{-3}

TZ = Anzahl Tiere

i = Laufindex

Zur Umrechnung auf den Kalendermonat wurde der Wert nach Gleichung 2 mit den Stunden des jeweiligen Monats multipliziert. Für den Februar wurden immer 672 h zugrunde gelegt.

Bestimmung der NH_3 -Emissionsraten nach Volumenstromkorrektur

Da die Vor-Ort-Prüfungen tagsüber durchgeführt wurden und der Volumenstrom in der Nacht aufgrund geringerer Außentemperaturen niedriger ist, würde die NH_3 -Emissionsrate ohne Volumenstromkorrektur systematisch überschätzt werden. Daher wurde eine entsprechende Volumenstromkorrektur vorgenommen. In den elektronischen Betriebstagebüchern, die im Rahmen der Vor-Ort-Überprüfungen gesichert wurden, sind die Volumenströme im Halbstundentakt dokumentiert. Aus diesen kann der Verlauf des Volumenstroms für jeden Tag ermittelt werden. Da die Uhrzeiten der Vor-Ort-Beprobungen nicht bekannt sind, wurde der Mittelwert des Volumenstroms aus dem Zeitraum zwischen 08:00 und 16:00 Uhr als Tageswert und der Mittelwert aus dem Zeitraum zwischen 16:30 und 07:30 Uhr als Nachtwert angenommen. Die mittleren Volumenströme für die beiden Zeiträume wurden nun exemplarisch aus drei elektronischen Betriebstagebüchern für jeden Kalendertag einzeln berechnet und anschließend zu entsprechenden Monatsmitteln zusammengefasst. Aus den Monatsmitteln jeder einzelnen Anlage wurde dann eine erneute Mittelwertbildung vorgenommen. Mit dieser Vorgehensweise ergaben sich entsprechende Korrekturfaktoren für den tagsüber gemessenen Volumenstrom, die zwischen 0,83 im Mai und 0,98 im Dezember lagen. Mit diesen Korrekturfaktoren wurden die nach Gleichung 2 für jeden Kalendermonat ermittelten NH_3 -Emissionsraten multipliziert.

Abschätzung der Messunsicherheit

Die Genauigkeit der Ammoniakmessung mit Prüfröhrchen in der Stallluft wird mit einem Variationskoeffizienten von 15 % angegeben (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2014). Nach Angaben der Fa. Dräger beträgt die Standardabweichung bei der Ammoniakmessung mit Kurzzeit-Röhrchen 10–15 % (DRÄGER 2021). Die Messunsicherheiten bei der sachgerechten Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in Kanälen werden für thermische Strömungssonden mit ca. 5 % und für Flügelräder mit ca. 2 % angegeben (TESTO 2023). Aus den einzelnen Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten (15 % bei der NH_3 -Messung und 5 % bei der Messung der Strömungsgeschwindigkeit) ergibt sich rechnerisch eine Messunsicherheit bzw. Variationskoeffizient von zirka 16 %.

Bestimmung der mittleren Emissionsraten aus der Abschlämmung ordnungsgemäß betriebener, biologisch arbeitender Abluftreinigungsanlagen

Neben der in diesem Beitrag ausführlich beschriebenen Vorgehensweise zur Berechnung der mittleren NH_3 -Emissionsraten aus NH_3 -Konzentrationen und Volumenströmen können diese auch aus den Abschlämmraten ordnungsgemäß betriebener Abluftreinigungsanlagen unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Tierbesatzes bestimmt werden. Bei DLG-anerkannten Verfahren wird eine N-Abscheidung von 70 % gewährleistet. Der Stickstoff wird mit dem Waschwasser aus der Abluftreinigungsanlage ausgeschleust. Die N-Konzentration im Waschwasser biologisch betriebener Abluftreinigungsanlagen mit einer Leitfähigkeit von 20 mS cm^{-1} liegt bei ca. $3,34 \text{ kg m}^{-3}$. Da die Abschlämmung kontinuierlich über das Jahr erfolgt, sind diese Daten von hoher Aussagekraft.

Die Berechnung der Emissionsrate E erfolgt nach Gleichung 3:

$$E = (V_{\text{WW}} \cdot c_{\text{WW}}) / \text{TZ}_m \quad (\text{Gl. 3})$$

E = Emissionsrate in $\text{kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$

V_{WW} = Waschwasservolumen in $\text{m}^3 \text{ a}^{-1}$

c_{WW} = N-Konzentration im Waschwasser ($3,34 \text{ kg m}^{-3}$)

TZ_m = mittlere Tierzahl im Jahr

Für die Umrechnung von Stickstoff (N) auf Ammoniak (NH_3) wird das Ergebnis aus Gleichung 3 mit dem Faktor 1,216 multipliziert.

Die Bestimmung der Emissionsraten über die Abschlämmung wird zur Plausibilitätsprüfung der Emissionsraten herangezogen, die über die Ammoniakkonzentrationen in der Stallabluft und die Luftvolumenströme errechnet wurden.

Ergebnisse zu NH_3 -Emissionen aus zwangsgelüfteten Schweinemastställen

Die Vor-Ort-Messungen wurden von verschiedenen Prüfstellen tagsüber und über das Jahr verteilt an unterschiedlich großen Schweinemastanlagen durchgeführt (Tabelle 1). Die mittlere NH_3 -Konzentration lag bei 12,8 ppm. In 15 Fällen (2,3 %) wurde ein Wert von mehr als 20 ppm im Rohgas gemessen. Die gemessenen Volumenströme je Tierplatz und Stunde ergaben mit Werten von 2–147,8 $\text{m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ eine große Schwankungsbreite. Im Mittel betrug der Volumenstrom $61,3 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Werte von mehr als $150 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ wurden aus dem Datensatz eliminiert, weil diese unrealistisch sind und auf einen manuellen Eingriff in die Lüftung hindeuten. Das mittlere Tiergewicht lag bei 77,6 kg.

Tabelle 1: Ergebnisse der einzelnen Vor-Ort-Messungen zur Stallabluftzusammensetzung zwangsgelüfteter Ställe in der Schweinemast (n = 641)

Deskriptive statistische Kennwerte	Temperatur Stallabluft °C	Anzahl belegter Mastplätze n	Tiergewicht kg	Volumenstrom $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	NH_3 -Konzentration Stallabluft ppm
Minimum	10,6	53	23	2.160	4
Maximum	32,9	4.350	130	279.936	30
Mittelwert	22,7	1.043	77,6	62.993	12,8
Standardabweichung	3,0	651	22,1	46.241	3,9
Median	22,8	921	75,0	51.840	13,0

Die NH_3 -Massenströme, die aus den verwertbaren Vor-Ort-Messdaten berechnet wurden, zeigten eine erhebliche Schwankungsbreite mit Werten von $0,01 - 1,47 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Im Mittel aller verwertbaren Messungen ($n = 617$) lag der Emissionsmassenstrom für Ammoniak bei $0,53 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($\text{SD} = 0,27 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Diese erhebliche Schwankungsbreite beruht auf der Tatsache, dass die Messungen über das Jahr verteilt, zu verschiedenen Tageszeiten und auch in unterschiedlichen Mastphasen erfolgten.

Für die weitere Auswertung wurden die verwertbaren Einzelmessungen ($n = 617$) nach Kalendermonaten sortiert und zu Monatsmittelwerten zusammengefasst (Abbildung 1). Die Berechnung von Monatsmittelwerten für die weitere Auswertung war erforderlich, weil nicht für alle Monate im Jahr eine vergleichbare Anzahl von Einzelmessungen vorlag.

Die in der Abbildung 1 dargestellten Zahlenangaben unterhalb der Säulen geben die Anzahl der vorliegenden und verwertbaren Einzelmessungen für den jeweiligen Monat an. Die Sortierung der Messungen nach Kalendermonaten ergab, dass die höchste Monatsmitteltemperatur mit $24,9 \text{ °C}$ im Juli auftrat, während der höchste mittlere Volumenstrom je Tierplatz und Stunde mit $78,4 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im August gemessen wurde. Die höchste mittlere NH_3 -Konzentration trat mit $15,4 \text{ ppm}$ im Februar auf.

Aus den jeweiligen Monatsmittelwerten wurden dann Jahresmittelwerte bestimmt. Die Jahresmittelwerte betragen für die Stalltemperatur $21,7 \text{ °C}$, für die NH_3 -Konzentration in der Abluft $13,4 \text{ ppm}$ sowie für den Volumenstrom $55,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

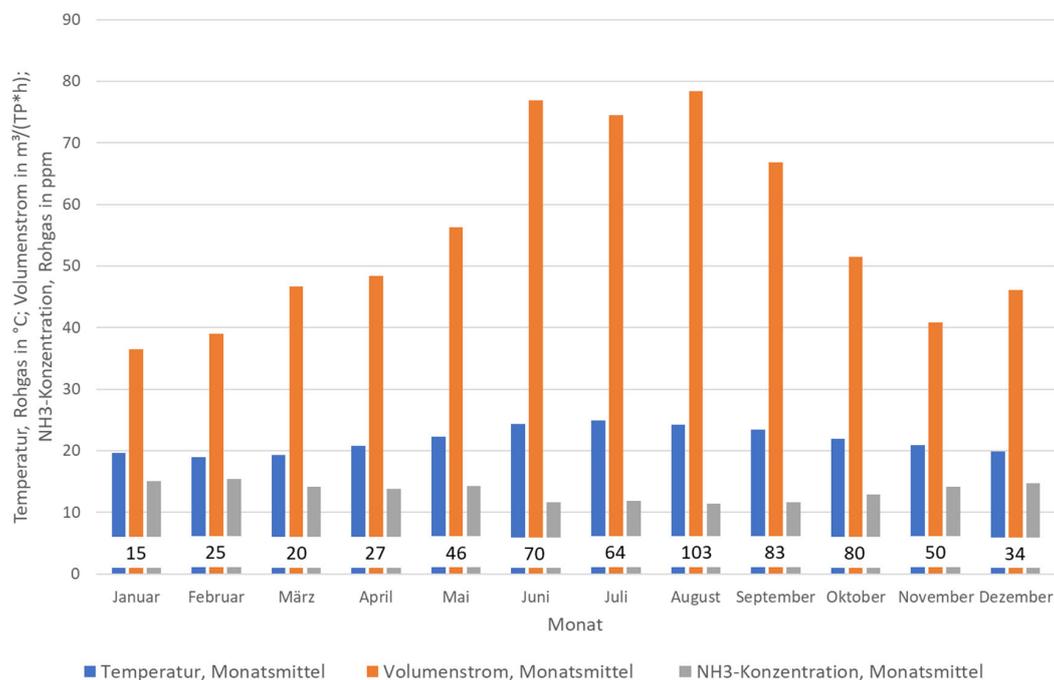


Abbildung 1: Jahreszeitlicher Verlauf der Monatsmittelwerte für Rohgastemperatur, Volumenstrom und Ammoniakkonzentration bei zwangsgelüfteten Schweinemastställen (Zahlenangaben unterhalb der Säulen: Anzahl der Einzelmessungen)

Abbildung 2 zeigt die für jeden Kalendermonat korrigierten NH_3 -Massenströme. Der höchste mittlere NH_3 -Massenstrom wurde mit rund $401 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ Monat}^{-1}$ im Juli ermittelt, während der geringste Wert mit rund $260 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ Monat}^{-1}$ im Januar auftrat.

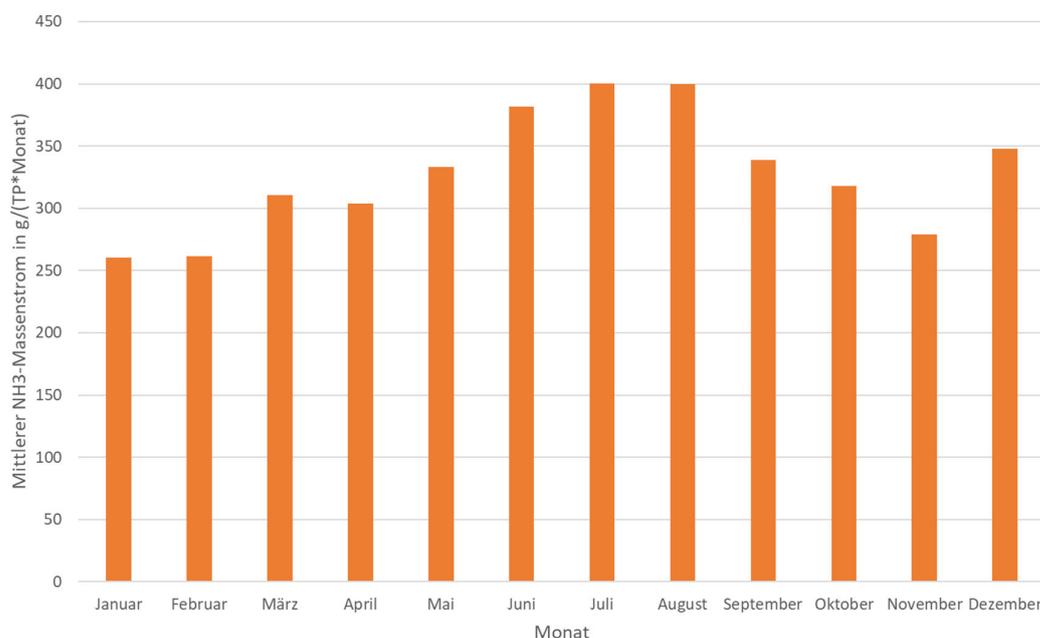


Abbildung 2: Mittlere monatliche NH₃-Massenströme bei zwangsgelüfteten Schweinemastställen

Als Jahressumme auf Basis der korrigierten mittleren Monatsdaten ergibt sich eine NH₃-Emissionsrate von ca. 3,9 kg NH₃ TP⁻¹ a⁻¹, bezogen auf 365 Haltungstage (ohne Berücksichtigung von Servicezeiten). Dieser Wert liegt 8 % oberhalb der NH₃-Emissionsrate, der mit 3,64 kg TP⁻¹ a⁻¹ in der VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011) für die Schweinemast in zwangsgelüfteten Ställen angegeben wird.

Ergebnisse zu NH₃-Emissionsraten aus zwangsgelüfteten Ställen zur Ferkelaufzucht

Die Vor-Ort-Messungen wurden von verschiedenen Prüfstellen tagsüber und über das Jahr verteilt an unterschiedlich großen Ferkelaufzuchtanlagen durchgeführt (Tabelle 2). Die mittlere NH₃-Konzentration lag bei 8,4 ppm (SD = 3,4 ppm) und damit deutlich niedriger als bei den zwangsgelüfteten Schweinemastanlagen (Tabelle 1). Die gemessenen Volumenströme je Tierplatz und Stunde ergaben eine große Schwankungsbreite mit Werten von 2,0 bis 84,7 m³ TP⁻¹ h⁻¹. Im Mittel betrug der Volumenstrom 25,8 m³ TP⁻¹ h⁻¹ (SD = 12,4 m³ TP⁻¹ h⁻¹). Der mittlere Volumenstrom zwangsgelüfteter Ställe in der Ferkelaufzucht je Tierplatz und Stunde betrug somit ca. 42 % des Mittelwertes der zwangsgelüfteten Schweinemastställe.

Tabelle 2: Ergebnisse der einzelnen Vorortmessungen zur Stallabluftzusammensetzung zwangsgelüfteter Ställe in der Ferkelaufzucht (n = 179)

Deskriptive statistische Kennwerte	Temperatur Stallabluft °C	Anzahl belegter Ferkelplätze n	Volumenstrom m ³ h ⁻¹	Tiergewicht kg	NH ₃ -Konzentration Stallabluft ppm
Minimum	16,0	444	3.133	5,0	3,0
Maximum	32,0	6.300	174.960	45,0	19,0
Mittelwert	24,1	1.466	35.926	18,1	8,4
Standardabweichung	2,6	997,4	26.108	6,5	3,4
Median	24,2	1134,5	32.400	18,0	8,0

Die NH_3 -Emissionsmassenströme, die aus den verwertbaren Vorortmessdaten berechnet wurden, zeigten eine erhebliche Schwankungsbreite mit Werten von $0,016$ bis $0,74 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Im Mittel aller verwertbaren Messungen ($n = 174$) lag der Emissionsmassenstrom für NH_3 bei $0,16 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($\text{SD} = 0,09 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Diese erhebliche Schwankungsbreite beruht auf der Tatsache, dass die Messungen über das Jahr und den Tag verteilt sowie bei unterschiedlichen Tiergewichten erfolgten.

Für die weitere Auswertung wurden die verwertbaren Einzelmessungen ($n = 174$) analog zu den Auswertungen bei den zwangsgelüfteten Schweinemastställen nach Kalendermonaten sortiert und zu Monatsmittelwerten zusammengefasst. Die Sortierung der Messungen nach Kalendermonaten ergab, dass die höchste Monatsmittel-Temperatur mit $26,0 \text{ }^\circ\text{C}$ im Juli auftrat, während der höchste mittlere Volumenstrom je Tierplatz und Stunde mit $29,9 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im August gemessen wurde (Abbildung 3). Die höchste mittlere NH_3 -Konzentration trat mit $13,3 \text{ ppm}$ im April auf. Die niedrigste Rohgastemperatur im Monatsmittel wurde mit $21,1 \text{ }^\circ\text{C}$ im Dezember gemessen, während der geringste mittlere Volumenstrom mit $15,6 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im Januar auftrat. Auch die mittlere Ammoniakkonzentration in der Stallabluft war im Januar mit $6,6 \text{ ppm}$ am niedrigsten. Auf Basis der jeweiligen Monatsmitteln wurden Jahresmittelwerte berechnet. Die mittlere Jahreswerte betragen für die Stalltemperatur $23,7 \text{ }^\circ\text{C}$, für die NH_3 -Konzentration in der Abluft $9,1 \text{ ppm}$ sowie für den Volumenstrom $22,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ bei einem mittleren Tiergewicht von $18,1 \text{ kg}$.

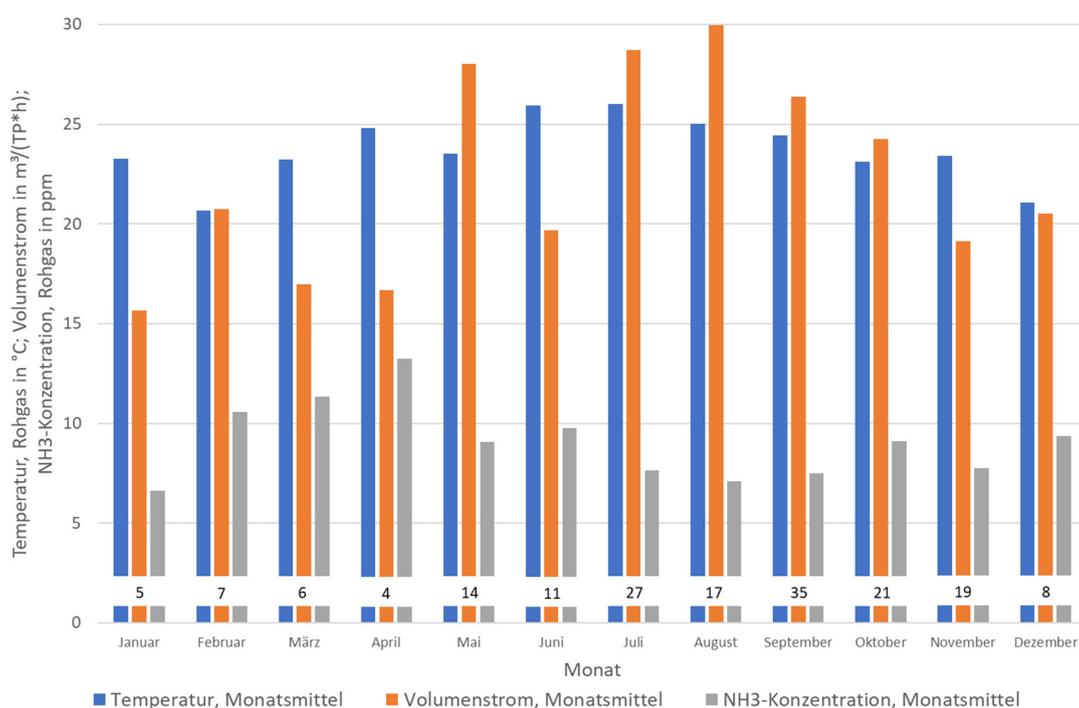


Abbildung 3: Jahreszeitlicher Verlauf der Monatsmittelwerte für Rohgastemperatur, Volumenstrom und Ammoniakkonzentration bei zwangsgelüfteten Ferkelaufzuchtställen (Zahlenangaben unterhalb der Säulen: Anzahl der Einzelmessungen)

Die Abbildung 4 zeigt die für jeden Kalendermonat korrigierten NH_3 -Emissionsmassenströme für zwangsgelüftete Ferkelaufzuchtställe. Im Trend ergaben die korrigierten Ergebnisse die höchste mittlere NH_3 -Emissionsrate mit rund $142,3 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ Monat}^{-1}$ im Oktober, während die geringste NH_3 -Emissionsrate mit rund $57,3 \text{ g NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ Monat}^{-1}$ im Januar auftrat. Für die Jahressumme ergibt sich eine NH_3 -Emissionsrate von ca. $1,3 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für zwangsgelüftete Ferkelaufzuchtställe bei ganzjähriger Belegung. Der berechnete Wert übertrifft die NH_3 -Emissionsrate für zwangsgelüftete Ferkelaufzuchtställe, die in der VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011) mit $0,50 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ festgelegt ist, um mehr als das Doppelte.

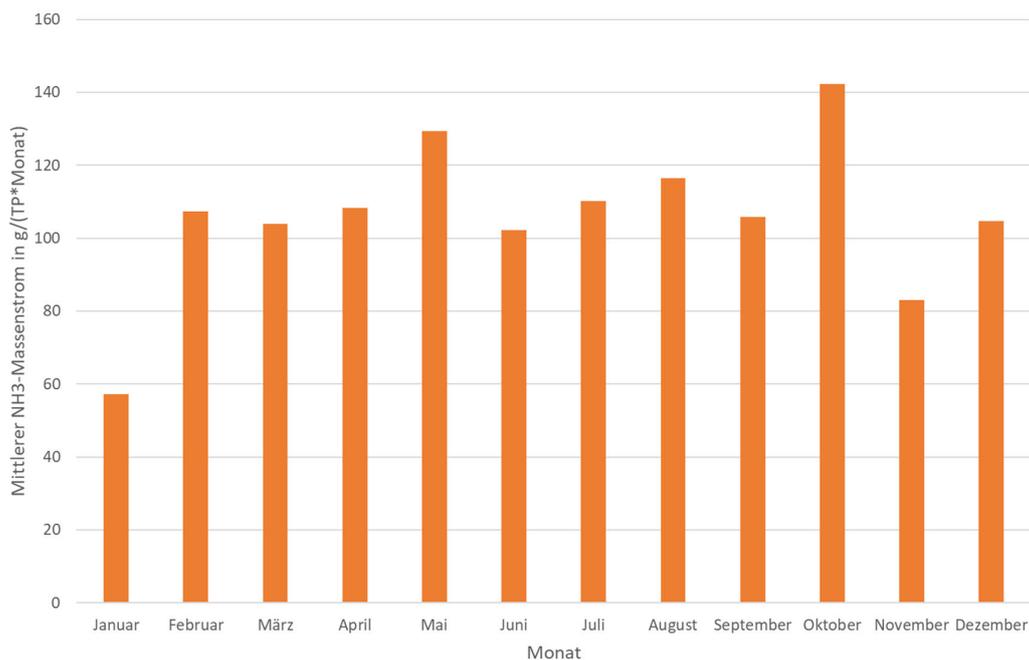


Abbildung 4: Mittlere monatliche NH_3 -Massenströme bei zwangsgelüfteten Ferkelaufzuchtställen

Berechnung der NH_3 -Massenströme über die Abschlämmrate ordnungsgemäß betriebener Abluftreinigungsanlagen

Die Abschlämmraten biologisch arbeitender und ordnungsgemäß betriebener Abluftreinigungsanlagen liegen aktuell bei $0,61 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der Schweinemast bzw. $0,12 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei Anlagen zur Ferkelaufzucht. Dementsprechend werden in der Schweinemast $2,04 \text{ kg N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $2,48 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ausgeschleust und in der Ferkelaufzucht $0,40 \text{ kg N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $0,49 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Bei Zugrundelegung einer N-Abscheidung von 70 % ergeben sich gerundet potenzielle Emissionsraten von $3,5 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Schweinemast) und $0,7 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der Ferkelaufzucht (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich der NH_3 -Emissionsmassenströme aus zwangsgelüfteten Anlagen zur Schweinemast und Ferkelaufzucht bei ganzjähriger Belegung mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden

Berechnungsmethode	Schweinemast NH_3 -Emissionsrate $\text{kg TP}^{-1} \text{a}^{-1}$	Ferkelaufzucht NH_3 -Emissionsrate $\text{kg TP}^{-1} \text{a}^{-1}$
Berechnung über NH_3 -Konzentration und korrigiertem Volumenstrom	3,9	1,3
Berechnung über die Abschlämmrate mit N-Abscheidung von 70 %	3,5	0,7

Diskussion

Auf Basis der beschriebenen Auswertung ergab sich für die Mastschweinehaltung in zwangsgelüfteten Ställen eine NH_3 -Emissionsrate von $3,9 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Auswertung stützt sich auf eine umfangreiche Sammlung punktueller NH_3 -Messungen im Abluftstrom sowie Volumenstrombestimmungen, die von renommierten Prüfstellen durchgeführt wurden. Aus diesen Messungen wurde eine mittlere NH_3 -Konzentration von 12,8 ppm (mit einer Standardabweichung von 3,9 ppm) im Rohgas ermittelt, basierend auf 641 Einzelmessungen. Dieser ermittelte Wert steht im Einklang mit anderen Ergebnissen aus der Praxis. Studien der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2013a, 2013b), die sich mit den Auswirkungen einer N-reduzierten Fütterung befassten, ergaben in der Stallluft durchschnittliche NH_3 -Konzentrationen von 14,8 ppm im Sommer. Im Winter wurden Werte zwischen 17,7 und 24,5 ppm festgestellt. Im Rahmen von Eignungsprüfungen von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung wurden die NH_3 -Konzentrationen im Rohgas kontinuierlich gemessen. Die NH_3 -Konzentrationen lagen zwischen 8 und 20 ppm (Sommermessungen) sowie 10 und 40 ppm bei Wintermessungen (DLG 2014), zwischen 6 und 27 ppm (Sommermessungen, DLG 2015; Referenzbetrieb 1) und 13 und 35 ppm (Wintermessungen, DLG-2015; Referenzbetrieb 1). Bei weiteren DLG-Prüfungen wurden im Rohgas NH_3 -Konzentrationen von ca. 4–20 ppm (DLG 2016, 2022) festgestellt.

Bei den Messungen wurden im jeweiligen Monatsmittel Volumenströme von 36,5 (Januar) bis $78,4 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (August) ermittelt. Auf Basis der Monatsmittel ergab sich ein Volumenstrom von $55,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ im Jahresmittel. Die DIN 18910 (DIN 2017) sieht bei einer kontinuierlichen Mast bei einer mittleren Tiermasse von 70 kg Volumenströme von 14,9 bis $90,8 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ vor. Der berechnete mittlere Volumenstrom von $55,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ liegt nur geringfügig über dem Mittelwert der genannten Spanne aus der DIN 18910 (DIN 2017). Dies kann daran liegen, dass das mittlere Tiergewicht bei den Messungen mit 77,8 kg höher war als die 70 kg, die für eine kontinuierliche Mast zugrunde gelegt werden.

Beim Vergleich dieser Daten fällt insbesondere die erhöhte mittlere Winterlufrate auf. Hierfür sind mehrere Erklärungen denkbar. Zum einen wurde die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung dahingehend verschärft, dass die NH_3 -Konzentration im Stall 20 ppm im Aufenthaltsbereich der Tiere nicht mehr überschreiten darf. Bei geringen Winterlufraten war dies früher aber durchaus der Fall. Durch die Anhebung der Mindestlufrate kann die Überschreitung einer NH_3 -Konzentration von 20 ppm insbesondere im Winter vermieden werden. Andererseits hat die Steigerung der tierischen Leistung auch zu einer vermehrten Wärmeproduktion geführt, die mit dem Luftstrom abgeführt werden muss. Generell ist auch zu beachten, dass der Klimawandel statistisch gesehen zu höheren Umgebungstemperaturen führt (Umweltbundesamt 2022). So ist die jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland im Zeitraum von 2002 bis 2022 um $0,94 \text{ }^\circ\text{C}$ angestiegen. Da die Ställe im Wesentlichen durch den Luftaustausch gekühlt werden, sinkt bei steigenden Umgebungstemperaturen

die Kühlleistung mit der Folge, dass die Luftwechselrate steigen muss. Eine steigende Luftwechselrate kann daher eine Ursache für zunehmende NH_3 -Emissionen sein.

Für die Ferkelaufzucht in zwangsgelüfteten Ställen ergab sich nach der gleichen Vorgehensweise bei der Auswertung eine NH_3 -Emissionsrate von $1,3 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Der Wert liegt um den Faktor 2,6 höher als der Wert, der in der TA Luft (TA Luft 2021) für die Ferkelaufzucht ohne stark N-reduzierte Fütterung angegeben wird. Grundlage der Auswertung sind eine große Zahl von punktuellen NH_3 -Messungen im Abluftstrom und Volumenstrombestimmungen. Auf der Grundlage dieser Messungen wurde eine mittlere NH_3 -Konzentration von 8,4 ppm (SD = 3,4 ppm) im Rohgas bei 179 Einzelbestimmungen ermittelt.

Bei den Messungen wurden im jeweiligen Monatsmittel Volumenströme von 15,6 (Januar) bis $29,9 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (August) ermittelt. Auf Grundlage der monatlichen Durchschnittswerte wurde ein jahresdurchschnittlicher Volumenstrom von $22,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ermittelt. Die DIN 18910 (DIN 2017) sieht bei der Ferkelaufzucht und einem Gewicht von 20 kg Volumenströme von 6,4 bis $39,4 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ vor. Der berechnete mittlere Volumenstrom von $22,2 \text{ m}^3 \text{ TP}^{-1} \text{ h}^{-1}$ liegt nahezu in der Mitte der genannten Spanne aus der DIN 18910 (DIN 2017).

Die Messunsicherheit der Daten aus den Vor-Ort-Messungen lässt sich lediglich abschätzen. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass weder die Art der verwendeten Messgeräte noch die Anzahl der durchgeführten Einzelmessungen zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit bekannt sind. Ebenso fehlen Informationen zu den Randbedingungen, unter denen die Messungen stattfanden. Eine Volumenstromkorrektur der Tagesdaten im Verhältnis zu den Nachtdaten wurde anhand der halbstündig im elektronischen Betriebstagebuch aufgezeichneten Daten vorgenommen. Es gibt jedoch keine entsprechend aufgezeichneten Daten zur Ammoniakkonzentration in den elektronischen Betriebstagebüchern. Um dennoch eine Abschätzung über die Aussagekraft der NH_3 -Vor-Ort-Bestimmung in Bezug auf das 24-Stunden-Mittel zu erhalten, wurden Datensätze mit halbstündigen NH_3 -Konzentrationswerten genutzt, die im Rahmen von DLG-Prüfungen bei Abluftreinigungsanlagen (DLG 2015, 2016) in der Schweinemast erhoben wurden.

Aus diesen Daten wurden die Mittelwerte der NH_3 -Konzentrationen in der Zeit von 8:00 bis 16:00 Uhr (Tageswert) und in der Zeit von 16:30 bis 07:30 Uhr (Nachtwert) für Sommerbedingungen ($n = 35$ Tage) berechnet. Nach diesen Berechnungen lag der Tageswert bei 9,2 ppm (SD = 2,0 ppm) und der Nachtwert bei 10,2 ppm (SD = 2,0 ppm). Für Winterbedingungen ($n = 48$ Tage) wurde ein Tageswert von 12,1 ppm (SD = 2,2 ppm) und ein Nachtwert von 12,0 ppm (SD = 2,3 ppm) ermittelt. Daraus folgt, dass die tagsüber bei den Vor-Ort-Prüfungen gemessenen Ammoniakkonzentrationen im Vergleich zum 24-Stunden-Durchschnitt im Sommer wahrscheinlich unterschätzt werden. Im Gegensatz dazu scheinen die im Winter erhobenen Daten eine vergleichbare Größenordnung zum 24-Stunden-Mittel aufzuweisen.

Bei Berücksichtigung der Messunsicherheit (Variationskoeffizient) in Höhe von insgesamt 15,8 % ergeben sich NH_3 -Emissionsraten von 3,3 bis $4,5 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Schweinemast und 1,1 bis $1,5 \text{ kg TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Ferkelaufzucht.

Wenn die bereits um den Fehler des Volumenstroms korrigierten NH_3 -Emissionsraten – 3,9 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ für die Schweinemast und 1,3 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ für die Ferkelaufzucht – zusätzlich um 15,8 % nach unten angepasst werden, um potenzielle Messfehler nicht den Betreibern anzulasten, resultiert dies für die Schweinemast in einer NH_3 -Emissionsrate von mindestens 3,3 kg $\text{NH}_3 \text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$. Für die Ferkelaufzucht ergibt sich eine angepasste Rate von 1,1 kg $\text{NH}_3 \text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Untersuchungen von Markus et al. (2023) zu den NH_3 -Emissionsraten von Mastschweinen haben in vier vollständigen Mastdurchgängen gezeigt, dass über eine N-reduzierte Fütterung eine deutliche Minderung der NH_3 -Emissionen erreicht werden kann. Gegenüber dem Emissionsfaktor für die güllegebundene Schweinemast aus der VDI 3894 (VDI 2011) mit 3,64 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ sank der Emissionswert über 3,31 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ bei N-reduzierter Fütterung auf 2,56 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ bei sehr stark reduzierter N-Fütterung nach DLG-Merkblatt 418 (DLG 2019). Die durch die eigene Auswertung ermittelte NH_3 -Emissionsrate für die güllegebundene Mastschweinehaltung entspricht somit den Ergebnissen einer N-reduzierten Fütterung in der betrieblichen Praxis.

Bei der Beurteilung der Emissionsraten von Ammoniak spielt die Besatzdichte eine wesentliche Rolle. Sollte diese aus Gründen des Tierwohls, wie etwa bei der Haltungsform „Stall + Platz“, reduziert werden, während die emittierende Fläche des Stalles gleichbleibt, führt dies zu einem Anstieg der auf den Tierplatz bezogenen NH_3 -Emissionsraten. Angesichts der Vielzahl neuer Haltungsverfahren mit unterschiedlichen Nutzflächen für die Tiere sollte daher zukünftig die emittierende Fläche in die Festlegung der Emissionsrate einfließen. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass die emittierende Fläche aufgrund der Bildung von Funktionsbereichen nicht notwendigerweise mit der den Tieren zur Verfügung gestellten Grundfläche übereinstimmen muss.

Schlussfolgerungen

Die Auswertung von 641 Prüfberichten zu zwangsbelüfteten Schweinemastanlagen hat gezeigt, dass die mittlere Ammoniakemissionsrate aktuell mindestens bei 3,3 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ liegt. Bei diesem Wert ist bereits eine Korrektur des Volumenstromes (Tag-Nacht-Unterschiede) und eine Messunsicherheit (Variationskoeffizient) von insgesamt 15,8 % berücksichtigt worden. Eine alternative Berechnung der Ammoniakemissionsrate über die Abschlämmung – allerdings ohne Bewertung der Messunsicherheit – ergibt mit 3,5 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ einen vergleichbaren Emissionswert.

Die Auswertung von 179 Prüfberichten zu zwangsbelüfteten Anlagen mit Ferkelaufzucht ergab, dass die NH_3 -Emissionsrate bei mindestens 1,1 kg $\text{NH}_3 \text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ liegt. Auch bei diesem Wert ist bereits eine Korrektur des Volumenstromes (Tag-Nacht-Unterschiede) und eine Messunsicherheit (Variationskoeffizient) von insgesamt 15,8 % berücksichtigt worden. Eine alternative Berechnung der Ammoniakemissionsrate über die Abschlämmung ergibt mit 0,70 kg $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ einen geringeren Wert, der jedoch immer noch deutlich oberhalb des Wertes der TA Luft (TA Luft 2021) liegt.

Angesichts dieser Ergebnisse und der Vielzahl neuer Haltungsverfahren ist eine Überprüfung der NH_3 -Emissionsraten in der Schweinehaltung mit zwangsgelüfteten Ställen geboten.

Literatur

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung (2014): Stallklima in der Schweinehaltung. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/stallklima_eurotier14_ilt2b.pdf, Zugriff am 25.04.2023
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2023): Ferkelerzeugung und Ferkelaufzucht – Ein Überblick. <https://nutztierhaltung.de/schwein/sau-ferkel/>, Zugriff am 24.02.2023
- DIN (2017): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. DIN 18910, Beuth Verlag Berlin
- DLG (2014): Biologischer Rieselbettreaktor Biocombie. DLG-Prüfbericht 6178, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6178.pdf>, Zugriff am 23.03.2023
- DLG (2015): 1-stufiger biologischer Abluftwäscher System RIMU für die einstreulose Schweinehaltung. DLG-Prüfbericht 6284, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6284.pdf>, Zugriff am 23.03.2023
- DLG (2016): Abluftreinigungssystem Hagola NH360° für die Schweinehaltung. DLG-Prüfbericht 6380, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6380.pdf>, Zugriff am 23.03.2023
- DLG (2019): Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen. DLG-Merkblatt 418, <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/futter-und-fuetterung/dlg-merkblatt-418/>, Zugriff am 28.11.2023
- DLG (2022a): Cleaning cubes für die einstreulose Schweinehaltung. DLG-Prüfbericht 7263, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7263.pdf>, Zugriff am 23.03.2023
- DLG (2022b): Überblick über den DLG-Prüfrahmen „Abluftreinigung in der Tierhaltung“. <https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/tests/flyer/DLG-Pruefrahmen-Abluftreinigung.pdf>, Zugriff am 06.04.2023
- Dräger (2021): Handbuch für Dräger Röhrchen® und Micro Tubes. <https://kleinschmidtgmbh.com/media/pdf/20/55/ab/Draeger-Safety-Roehrchenhandbuch-20Auflage-de.pdf>, Zugriff am 25.04.2023
- Landesamt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (2013 a): Versuchsbericht VPS 25 Schweinemast- Auswirkung einer N-reduzierten Fütterung auf die Mast- und Schlachtleistungen sowie die Stallluftemissionen und den Gülleanfall – Winterdurchgang/Winterluftrate. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/31611_bericht_winter.pdf, Zugriff am 20.03.2023
- Landesamt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (2013 b): Versuchsbericht VPS 29 Schweinemast- Auswirkung einer N-reduzierten Fütterung auf die Mast- und Schlachtleistungen sowie die Stallluftemissionen und den Gülleanfall – Sommerdurchgang/Sommerluftrate. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/31611_bericht_sommer.pdf, Zugriff am 20.03.2023
- Markus, J.; Broer, L.; Kosch, R.; Meyer, A.; Vogt, W.; Sagkob, S. (2023): Bestimmung von Emissionsraten bei praxisüblicher Proteinversorgung von Mastschweinen. In: KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 64–66, https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2023/Emissionen_Nutztierhaltung/12642_Emissionen_der_Tierhaltung_2023_Buch_06102023.pdf, Zugriff am 28.11.2023
- Rheinischer Erzeugerring für Mastschweine e.V. (2020): Mit hoher Leistung und gesunden Schweinen punkten. <https://viehvermarktung-online.de/mit-hoher-leistung-und-gesunden-schweinen-punkten/>, Zugriff am 20.03.2023
- TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvvbund_18082021_IGI25025005.htm, Zugriff am 23.03.2023
- Testo SE & Co KGaA (2023): Tipps und Tricks für Luftstrom-Messungen im Kanal. <https://media.testo.com/media/37/3c/a4e85420207a/tipps-tricks-testo-440.pdf>, Zugriff am 09.08.2023
- Umweltbundesamt (2022a): Beste verfügbare Technik in der Intensivtierhaltung. UBA-Texte 75, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2213.pdf>, Zugriff am 20.03.2023
- Umweltbundesamt (2022b): Trends der Lufttemperatur. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#heisse-tage-in-deutschland>, Zugriff am 23.03.2023

VDI (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen; Haltungsverfahren und Emissionen; Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. VDI 3894 Blatt 1, Beuth Verlag

Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutzTV) (2021), <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutztv/BJNR275800001.html>, Zugriff am 20.03.2023

Waldeyer, H.-G.; Greshake, F.; Müller, R. (2021): Schweinemast: Bilanz 2020/21. <https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/tier/schweinemast-bilanz-2020-21-12788887.html>, Zugriff am 20.03.2023

Autor

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