

Ammoniak- und Treibhausgasemissionen der Nutztierhaltung und Minderung – Schweinehaltung

Frauke Hagenkamp-Korth et al., Uni Kiel



Emission:

- Ammoniak NH_3 + Methan CH_4
 - Zwangslüftung + freie Lüftung
 - Mastschwein, Sauen + Ferkel

EmiDaT:

- Ammoniak NH_3 + Methan CH_4
 - Stallsysteme mit Auslauf



EmiMin:

- Berechnung Minderungspotential
- Minderungsmaßnahmen (Mast)
 - NH_3 : Emission
 - NH_3 : Minderungspotential
 - CH_4 : Emission



Ausblick

Fazit

Emission Ammoniak (NH₃)



Mastschweine

Zwangslüftung

NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
3,64	Konvention	VDI VDI 3894/1 (2011)
2,91	Konvention (stark N red. Fütterung)	TA Luft (2021)
3,4	Messungen	EmiDaT _{Wolf et al. (2023)}
3,64	Konvention	Österreich Öttl et al. (2023)
2,6 (1,8-3,7)	Messungen (N red. Fütterung)	EmiMin

freie Lüftung

NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
2,43	Konvention (ohne Auslauf)	VDI VDI 3894/1 (2011)
1,3 - 10	Messungen (ohne / mit Auslauf)	Außenklimastall _{Broer + Becker (2019)}
1,95	Konvention (stark N red. Fütterung)	TA Luft (2021)
1,85	Konvention (red. Faktor Auslauf 0,7 bezogen auf 3,64 kg/(TP a))	Österreich Öttl et al. (2023)
2,4	Messungen (mit perf. Auslauf)	EmiDaT _{Wolf et al. (2023)}
3,9	Messungen (mit plan. Auslauf)	EmiDaT _{Wolf et al. (2023)}

Emission Ammoniak (NH₃)

Sauen		
<i>Zwangslüftung</i>		
NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
4,8-8,3	Konvention	VDI <small>VDI 3894/1 (2011)</small>
3,84-6,64	Konvention <small>(stark N red. Fütterung)</small>	TA Luft ₍₂₀₂₁₎
4,8-8,3	Konvention	Österreich <small>Öttl et al. (2023)</small>
<i>freie Lüftung</i>		
NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
3,4-5,8	Konvention <small>(red. Faktor Auslauf 0,7 bezogen auf 4,8 – 8,3 kg/(TP a))</small>	Österreich <small>Öttl et al. (2023)</small>

Sauen
aktuelle Messungen ???

Emission Ammoniak (NH₃)

Ferkel		
Zwangslüftung		
NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
0,5	Konvention	VDI 3894/1 (2011)
0,4	Konvention (stark N red. Fütterung)	TA Luft (2021)
0,6	Konvention	Österreich <i>Öttl et al. (2023)</i>
freie Lüftung		
NH₃-Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
0,4	Konvention (red. Faktor Auslauf 0,7 bezogen auf 0,6 kg/(TP a))	Österreich <i>Öttl et al. (2023)</i>

Ferkel
aktuelle Messungen ???

Emission Methan (CH₄)

Mastschweine

Zwangslüftung

CH ₄ -Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
0,7 - 14,2	Literaturübersicht (ohne /mit Lager)	KTBL-Tagung Jeppson (2011)
0,1-1,0	Messungen (berechnet für 365 Tage)	Dänemark Vechi, Jensen + Scheutz (2022)
1,3-20,1	Messungen	EmiMin

freie Lüftung

CH ₄ -Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
3,5 - 3,7	Messungen (ohne Lager)	Außenklimastall Niebaum (2001)
3,9 - 11,3	Messungen (ohne /mit Lager)	Außenklimastall Broer + Becker (2019)
0,2 - 28,2	Messungen (ohne /mit Lager)	EmiDaT

Sauen

Zwangslüftung

CH ₄ -Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
3,4 - 21,7	Literaturübersicht (ohne /mit Lager)	KTBL-Tagung Jeppson (2011)

Ferkel

Zwangslüftung

CH ₄ -Emission kg/(TP a)	Grundlagen	Literatur
0,2 - 0,5	Literaturübersicht (ohne /mit Lager)	KTBL-Tagung Jeppson (2011)

Sauen + Ferkel

Messungen freie Lüftung/Auslauf

???

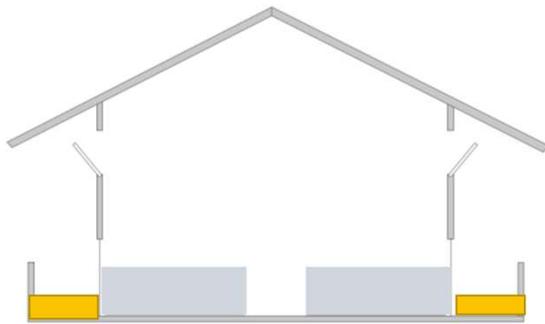


Ermittlung von Emissionsdaten für die
Beurteilung der Umweltwirkungen der
Nutztierhaltung

Mastschwein

Stallsysteme mit freier Lüftung + Auslauf:

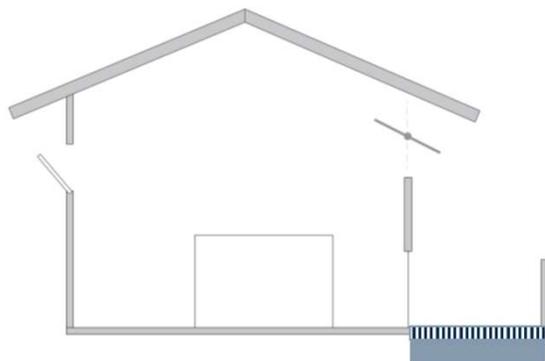
- Auslauf planbefestigt + eingestreut (**Plan 1-4, n= 4**)



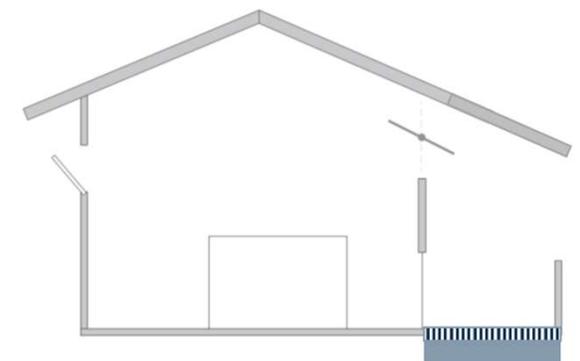
- geschlossener Stall
- Lüftung über Fenster + Türen
- planbefestigter und (teil)eingestreuter Auslauf



- Auslauf perforiert (**Spalte 1-4, n=4**)



- freigelüfteter Stall
- Innenlüftung über Curtains
- Liegekiste mit Deckel
- perforierter Auslauf



EmiDaT - Ammoniak NH₃



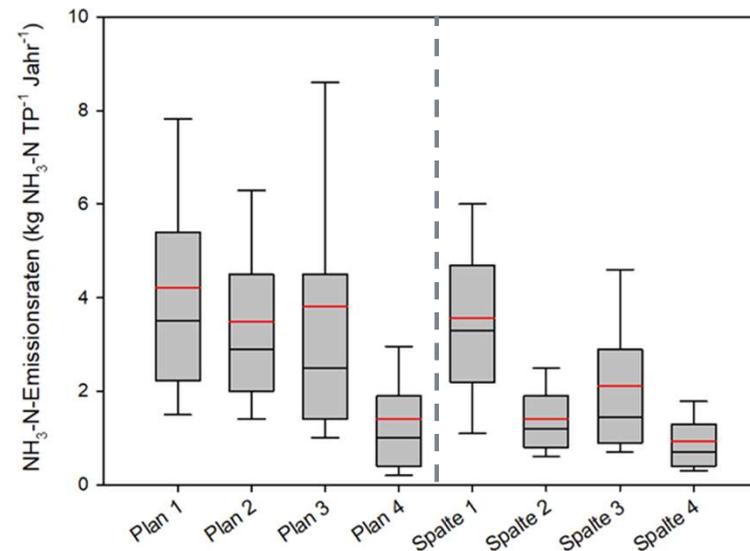
	NH ₃ -Emission kg/(TP a)
perforierter Auslauf „Spalte“	2,4 ^a
planbefestigter Auslauf „Plan“	3,9 ^a

Wolf et al. (2023)

→ NH₃-Emission *Außenklimastall mit Auslauf* **3,1** kg/(TP a)



B. Eurich-Menden



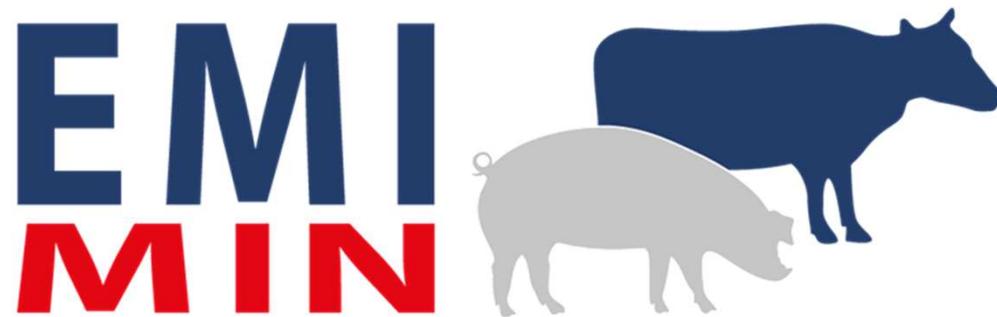
B. Eurich-Menden

Wolf et al. (2023)



Stallsystem	Stall	CH ₄ -Emission kg/(TP a)
planbefestigter Auslauf „Plan“	Plan 1	10,9
	Plan 2	28,2
	Plan 3	3,6
	Plan 4	0,2
perforierter Auslauf „Spalte“	Spalte 1	6,4
	Spalte 2	1,3
	Spalte 3	1,1
	Spalte 4	1,7

CH₄-Emission mit und ohne Lagerung **0,2 – 28,2** kg/(TP a)



Verbundvorhaben
Emissionsminderung
Nutztierhaltung



Zwangslüftung:

Mastschwein

- Ureaseinhibitor
- Güllekanalverkleinerung
- Güllekühlung Kühlrippen



freie Lüftung + Auslauf:

Mastschwein

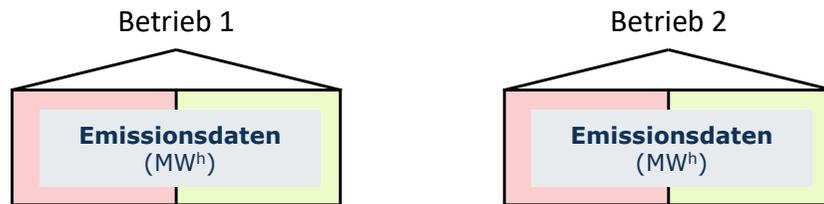
- Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung
- Ureaseinhibitor
- Kombination von:
Ureaseinhibitor + Unterflurschieber



Berechnung Minderungspotential (MP):

2-3 Standorte

Case-Control-Ansatz



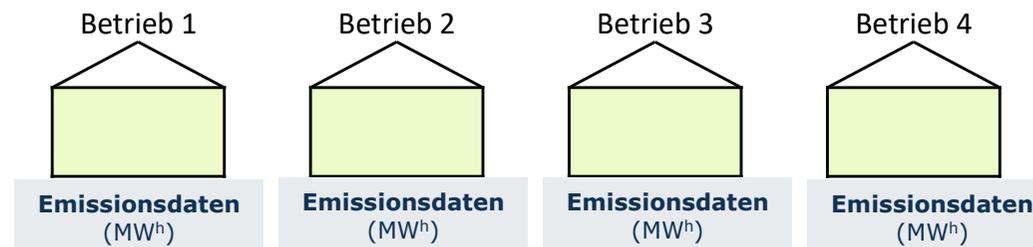
Case-Control_{in time}-Ansatz



Minderungspotential?

4 Standorte

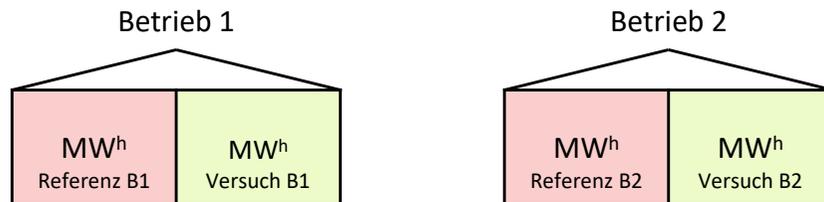
Ansatz mit mehreren Betrieben



Berechnung Minderungspotential (MP):

2-3 Standorte

Case-Control-Ansatz



$$MP_{gesamt} (\%) = \sum MP_{je\ Betrieb} / n$$

$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (MW^h_{Versuch\ Bx} / MW^h_{Referenz\ Bx} \times 100)$$



$$MP_{gesamt} (\%) = (50\% + 33\%) / 2 = 42\%$$

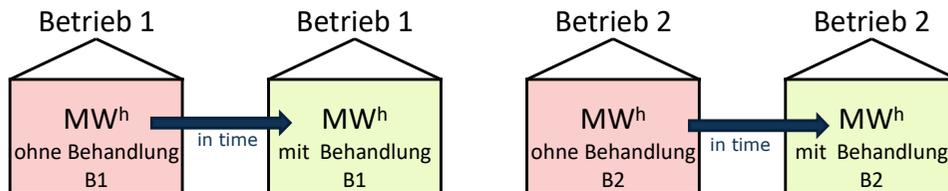
$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (1_{Versuch\ B1} / 2_{Referenz\ B1} \times 100) = 50\%$$

$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (2_{Versuch\ B2} / 3_{Referenz\ B2} \times 100) = 33\%$$

Berechnung Minderungspotential (MP):

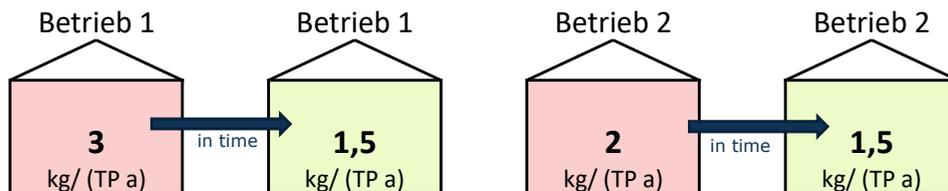
2 Standorte

Case-Control_{in time}-Ansatz



$$MP_{gesamt} (\%) = \sum MP_{je\ Betrieb} / n$$

$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (MW^h_{m. Behandlung\ Bx} / MW^h_{o. Behandlung\ Bx} \times 100)$$



$$MP_{gesamt} (\%) = (50\% + 25\%) / 2 = 38\%$$

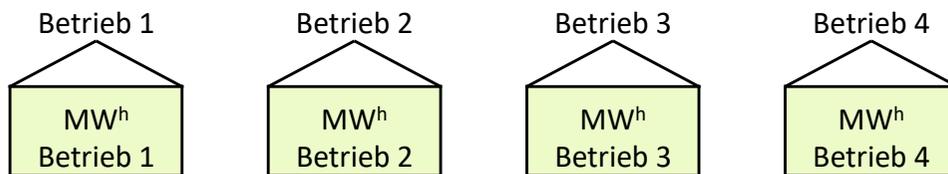
$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (1,5_{m. Behandlung\ B1} / 3_{o. Behandlung\ B1} \times 100) = 50\%$$

$$MP_{je\ Betrieb} (\%) = 100 - (1,5_{m. Behandlung\ B2} / 2_{o. Behandlung\ B2} \times 100) = 25\%$$

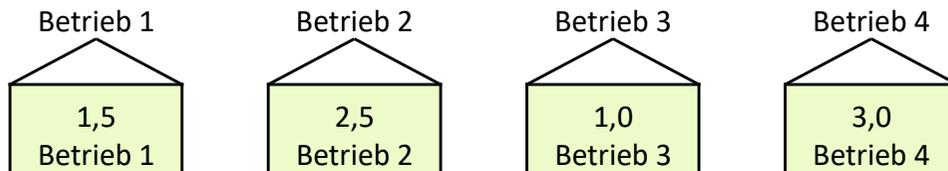
Berechnung Minderungspotential (MP):

4 Standorte

Ansatz mit mehreren Betrieben



$$MP_{je\ Betrieb} = 100 - (MW^{h}_{Betrieb\ x} / EW_{Literatur} \times 100)$$



$$MP_{je\ Betrieb} = 100 - (1,5_{Betrieb\ 1} / 3,6_{Literatur} \times 100) = 58\ %$$

$$MP_{je\ Betrieb} = 100 - (2,5_{Betrieb\ 2} / 3,6_{Literatur} \times 100) = 31\ %$$

$$MP_{je\ Betrieb} = 100 - (1,0_{Betrieb\ 3} / 3,6_{Literatur} \times 100) = 72\ %$$

$$MP_{je\ Betrieb} = 100 - (3,0_{Betrieb\ 4} / 3,6_{Literatur} \times 100) = 17\ %$$

$$MP_{gesamt} (\%) = \sum MP_{je\ Betrieb} / n$$

$$EW_{gesamt} (kg/(TP\ a)) = \sum MW^{h}_{je\ Betrieb} / n$$

→ **Emissionsfaktor**

$$MP_{gesamt} (\%) = (58 + 31 + 72 + 17) / 4 = 45\ %$$

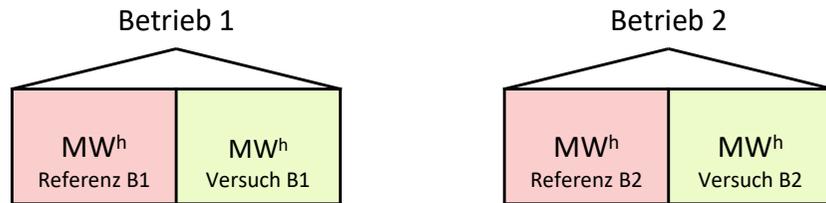
$$EW_{gesamt} = (1,5 + 2,5 + 1,0 + 3,0) / 4 = 2\ kg/(TP\ a)$$

→ **Emissionsfaktor: 2 kg/(TP a)**

Berechnung Minderungspotential (MP):

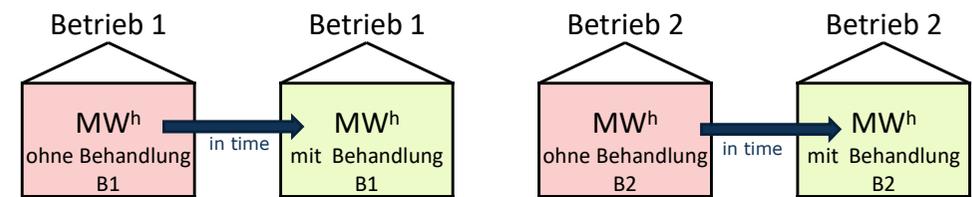
2-3 Standorte

Case-Control-Ansatz



$$MP_{\text{je Betrieb}} (\%) = 100 - \left(\frac{MW^h_{\text{Versuch Bx}}}{MW^h_{\text{Referenz Bx}}} \times 100 \right)$$

Case-Control_{in time}-Ansatz

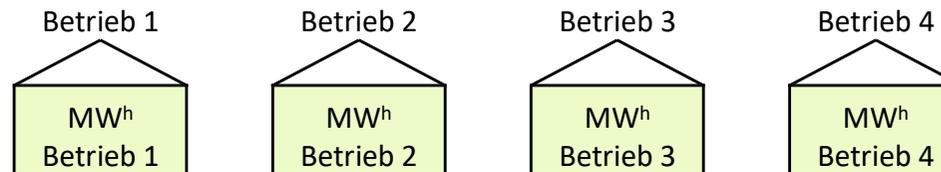


$$MP_{\text{je Betrieb}} (\%) = 100 - \left(\frac{MW^h_{\text{m. Behandlung Bx}}}{MW^h_{\text{o. Behandlung Bx}}} \times 100 \right)$$

$$MP_{\text{gesamt}} (\%) = \frac{\sum MP_{\text{je Betrieb}}}{n}$$

4 Standorte

Ansatz mit mehreren Betrieben

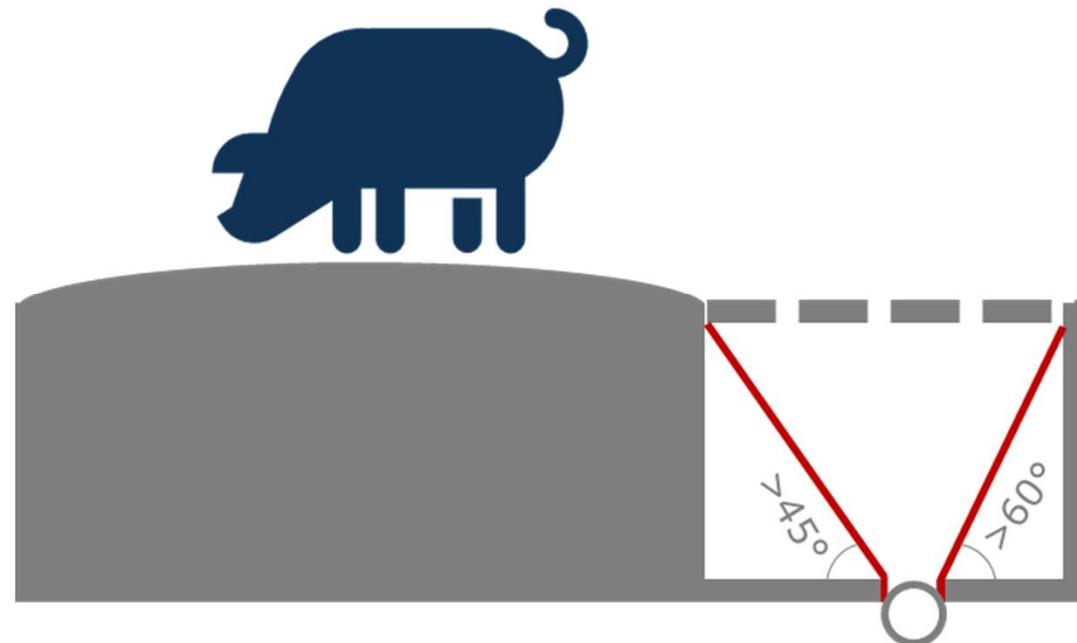
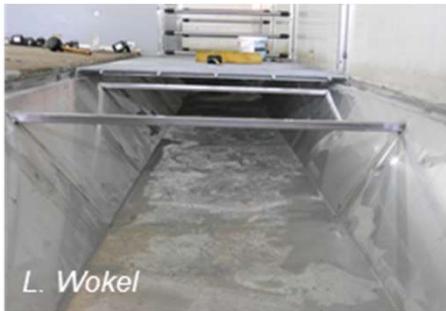


$$MP_{\text{je Betrieb}} = 100 - \left(\frac{MW^h_{\text{Betrieb x}}}{EW_{\text{Literatur}}} \times 100 \right)$$



Güllekanalverkleinerung mit getrenntem Gülle- und Wasserkanal

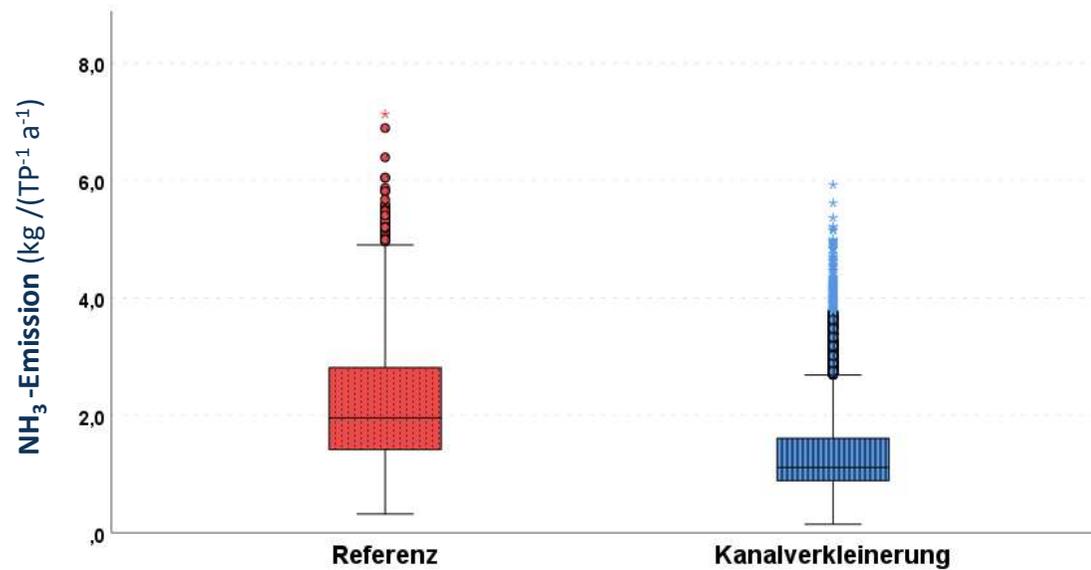
Mast
Zwangslüftung
2 Ställe



Güllekanalverkleinerung



	Referenz mit getrenntem Gülle- + Wasserkanal MW^h (MW ^h je Betrieb)	Güllekanalverkleinerung mit getrenntem Gülle- + Wasserkanal MW^h (MW ^h je Betrieb)
NH₃-Emission kg/(TP a)	2,2 (1,8-3,4)	1,5 (1,1-2,5)



	Güllekanalverkleinerung
NH₃-Minderung (%)	32 (26-38)

Güllekanalverkleinerung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



	Referenz mit getrenntem Gülle- + Wasserkanal MW^h (MW ^h je Betrieb)	Güllekanalverkleinerung mit getrenntem Gülle- + Wasserkanal MW^h (MW ^h je Betrieb)
NH₃-Emission kg/(TP a)	2,2 (1,8-3,4)	1,5 (1,1-2,5)

NH₃-Minderung: 32%
Güllekanalverkleinerung

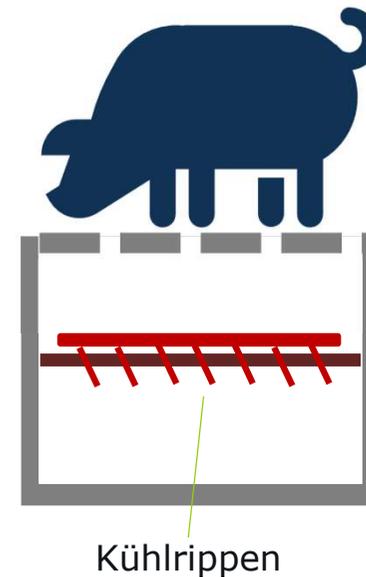




Gülleklärung

mit Zieltemperatur der Gülle $< 15^{\circ}\text{C}$

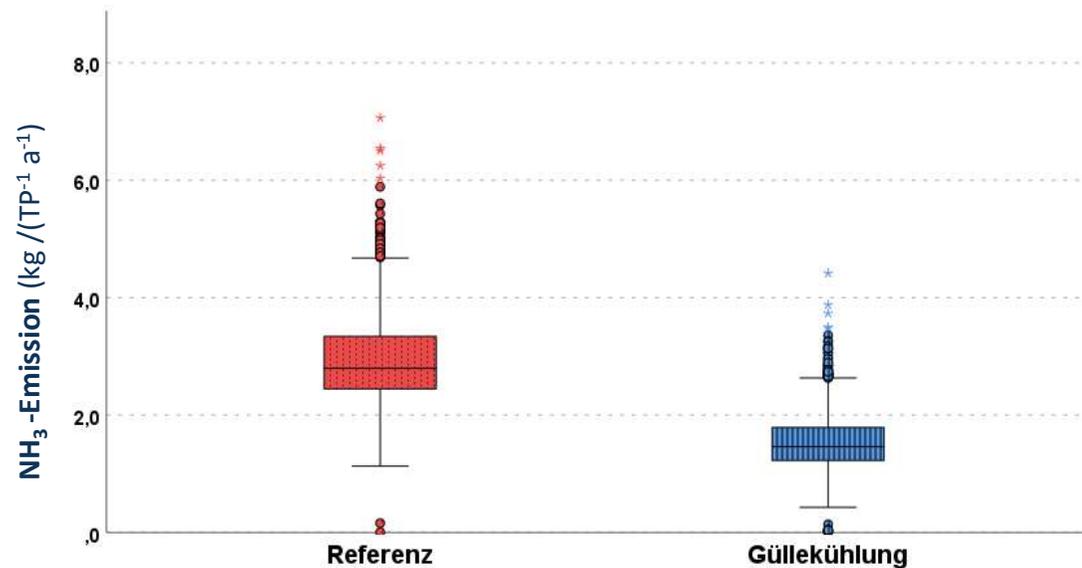
Mast
Zwangslüftung
2 Ställe



Gülleklärung



	Referenz <i>MWh</i> (<i>MWh je Betrieb</i>)	Kühlrippen <i>MWh</i> (<i>MWh je Betrieb</i>)
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	3,0 (2,7-3,4)	1,6 (1,5-1,7)



	Gülleklärung (Kühlrippen)
NH₃-Minderung (%)	47 (44-50)

	Referenz <i>MWh</i> (<i>MWh je Betrieb</i>)	Kühlrippen <i>MWh</i> (<i>MWh je Betrieb</i>)
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	3,0 (2,7-3,4)	1,6 (1,5-1,7)

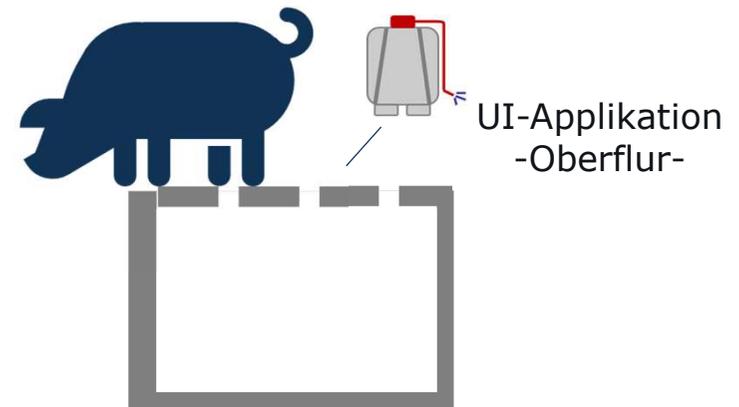
NH₃-Minderung: 47%
Kühlrippen



Ureaseinhibitor (UI)

Oberflur, Zwangslüftung, perforierter Boden

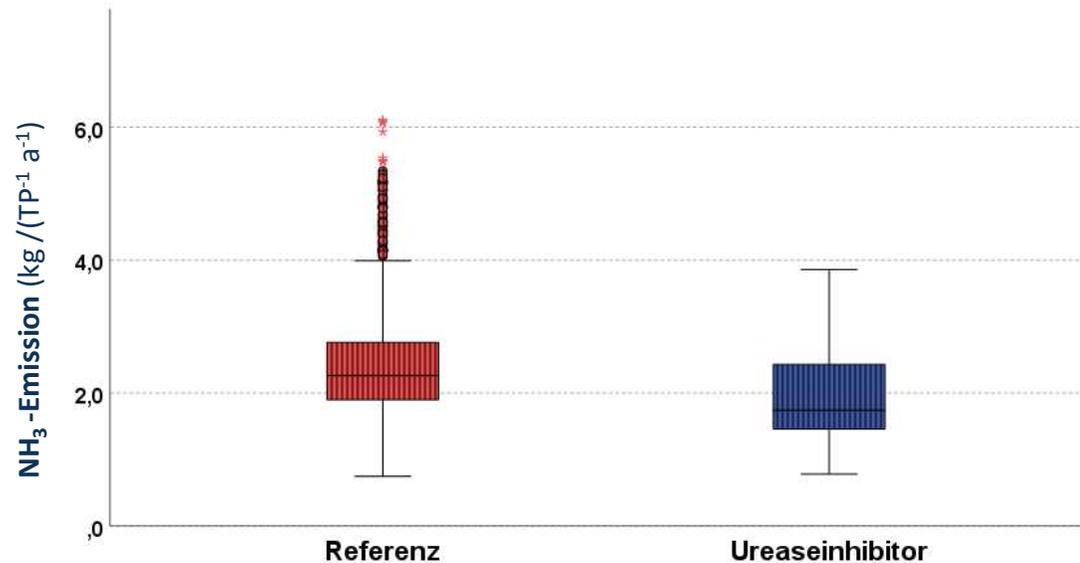
Mast
Zwangslüftung
3 Ställe



- Applikation 1x tgl.
- 50 mg/m² UI
- 150 ml/m² Aufwandmenge

Oberflächenbehandlung (UI)

	Referenz <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, Zwangslüftung, perforierter Boden</i> <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)
NH₃-Emission kg/(TP a)	2,5 (1,8-3,7)	2,0 (1,6-2,3)



	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, Zwangslüftung, perforierter Boden</i>
NH₃-Minderung (%)	20 (11-36)

	Referenz MW^h <i>(MW^h je Betrieb)</i>	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, Zwangslüftung, perforierter Boden</i> MW^h <i>(MW^h je Betrieb)</i>
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	2,5 <i>(1,8-3,7)</i>	2,0 <i>(1,6-2,3)</i>

NH₃-Minderung: 20%

Ureaseinhibitor

Oberflur, Zwangslüftung, perforierter Boden



Ureaseinhibitor (UI) Oberflur, planbefestigter Auslauf

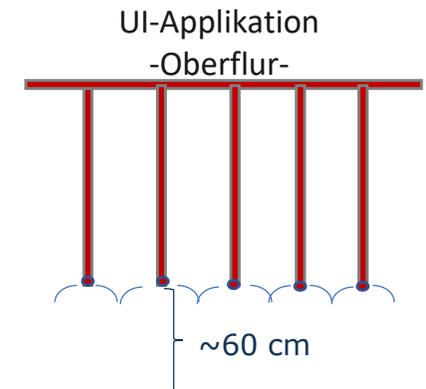


M. Felixberger

Mast
freie Lüftung mit Auslauf
2 Ställe



Planbefestigter
Innenbereich

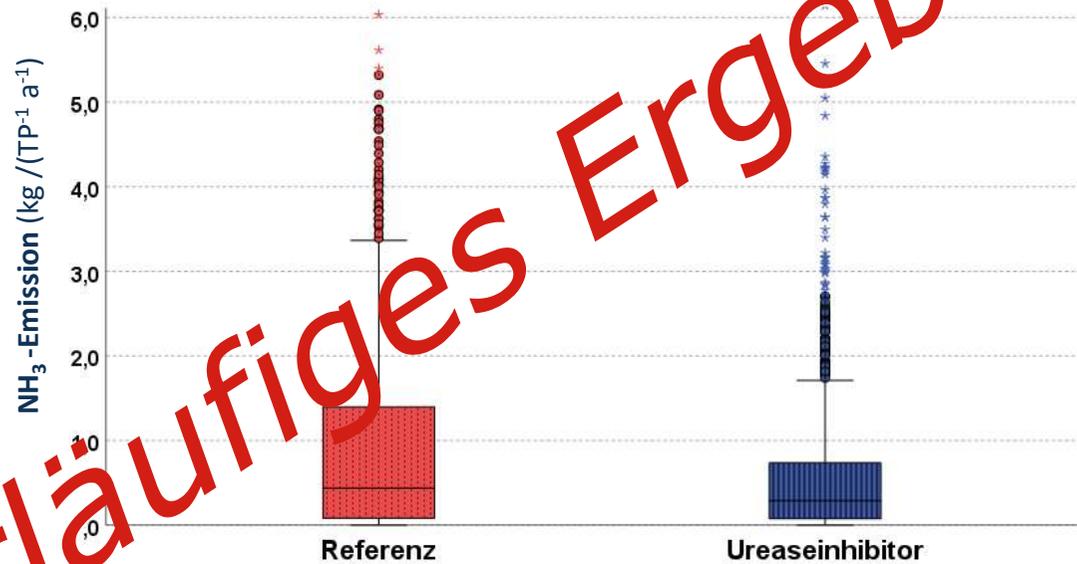


Planbefestigter
Kotbereich im
Auslauf

- Applikation 1x tgl.
- 50 mg/m² UI
- 100 ml/m² Aufwandmenge

Oberflächenbehandlung (UI)

	Referenz <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, planbefestigter Auslauf</i> <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)
NH ₃ -Emission kg/(TP a)	1,0 (0,9-1,0)	0,7 (0,6-0,7)



	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, planbefestigter Auslauf</i>
NH ₃ -Minderung (%)	32 (30-33)

	Referenz MW^h <i>(MW^h je Betrieb)</i>	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, planbefestigter Auslauf</i> MW^h <i>(MW^h je Betrieb)</i>
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	1,0 <i>(0,9-1,0)</i>	0,7 <i>(0,6-0,7)</i>

vorläufiges Ergebnis!!!

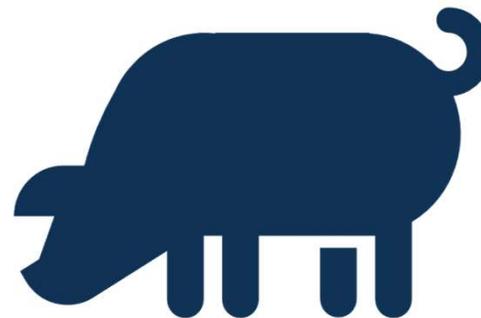
NH₃-Minderung: 32%

Ureaseinhibitor
Oberflur, planbefestigter Auslauf



Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung

Mast
freie Lüftung mit Auslauf
4 Ställe



Perforierter
Kotbereich



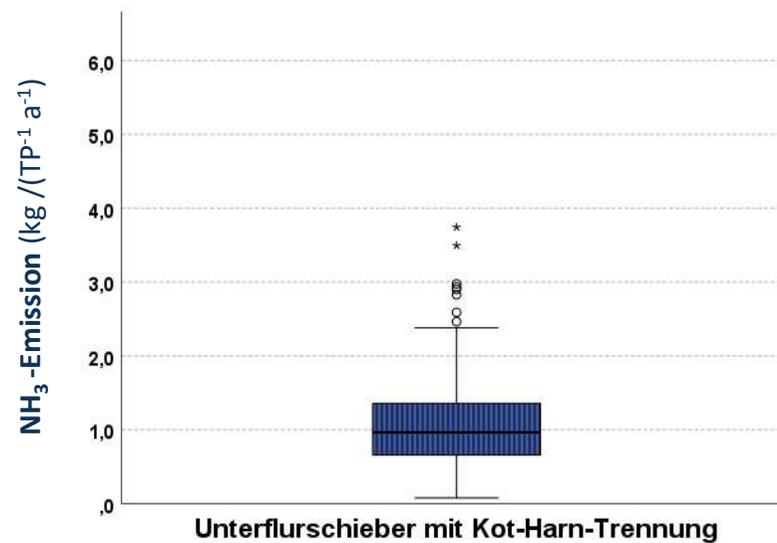
©KTBL

Güllekanalsole mit
~ 3%-10% Gefälle

V-förmiger
Schieber

abgedeckte Harnrinne

	Referenz	Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung <i>MWh</i> (<i>MWh_{je Betrieb}</i>)
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	2,4 (EmiDaT; Wolf et al. 2023)	1,2 (1,0-1,5)



1,2 kg/(TP a)

	Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung
NH₃-Minderung (%)	49 (38 - 58)

	Referenz	Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung <i>MWh</i> (<i>MWh_{je Betrieb}</i>)
NH₃-Emission <i>kg/(TP a)</i>	2,4 (EmiDaT; Wolf et al. 2023)	1,2 (1,0-1,5)

NH₃-Minderung: 49%
Unterflurschieber
mit Kot-Harn-Trennung



Ureaseinhibitor (UI)

Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung

Mast

freie Lüftung mit Auslauf

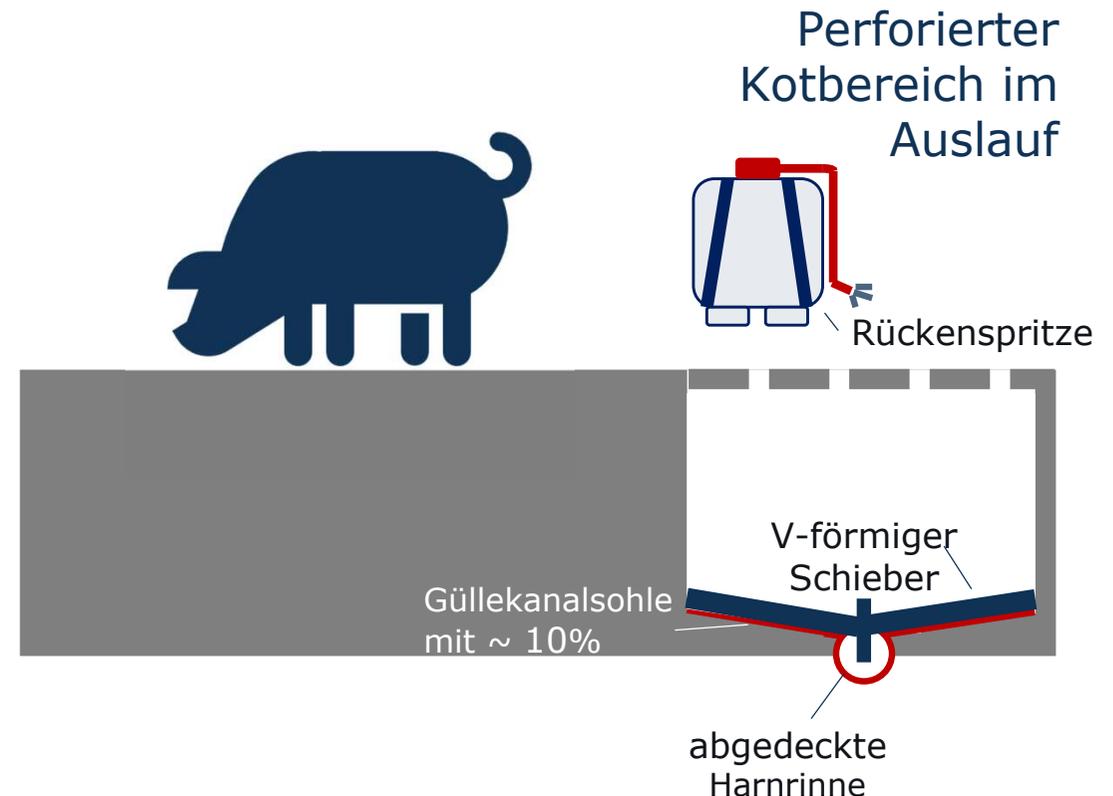
2 Ställe

Unterflurschieber:

- Kot - Harn -Trennung
- Harnrinne
- 10% Gefälle

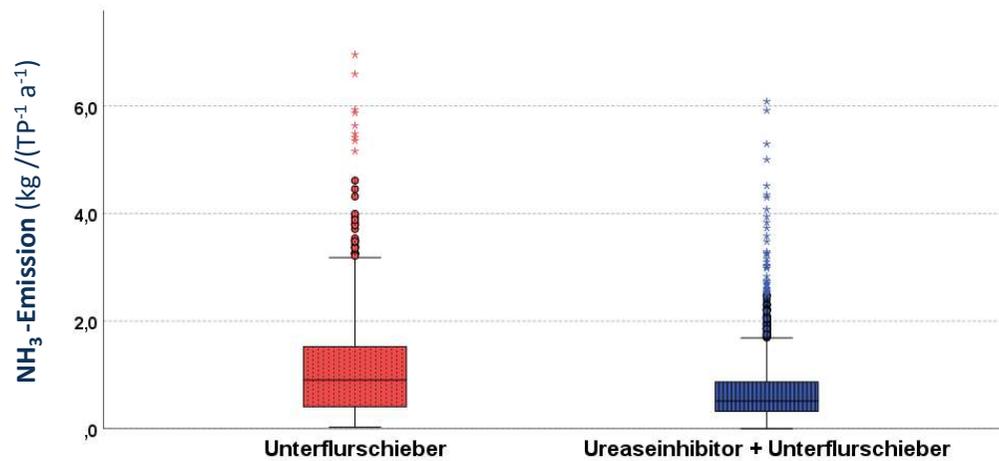
Ureaseinhibitor:

- Applikation 1x tgl.
- 50 mg/m² UI
- 50 ml/m² Aufwandmenge



UI (+ Unterflurschieber)

	Referenz <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)	UI + Unterflurschieber <i>MW^h</i> (<i>MW^h</i> je Betrieb)
NH₃-Emission kg/(TP a)	1,3 (1,0-1,5)	0,9 (0,8-0,9)



	Ureaseinhibitor <i>Oberflur, perforierter Auslauf, Unterflurschieber</i>	UI + Unterflurschieber
Referenz kg/(TP a)	1,3	2,4 (EmiDaT; Wolf et al. 2023)
NH₃-Minderung (%)	28 (10-46)	64 (62-66)

UI (+ Unterflurschieber)

	Referenz MW^h (MW^h je Betrieb)	UI + Unterflurschieber MW^h (MW^h je Betrieb)
NH₃-Emission kg/(TP a)	1,3 (1,0-1,5)	0,9 (0,8-0,9)

NH₃-Minderung: 64%
Ureaseinhibitor + Unterflurschieber

NH₃-Minderung: 28%
Ureaseinhibitor
Unterflurschieber mit Kot-Harn-Trennung

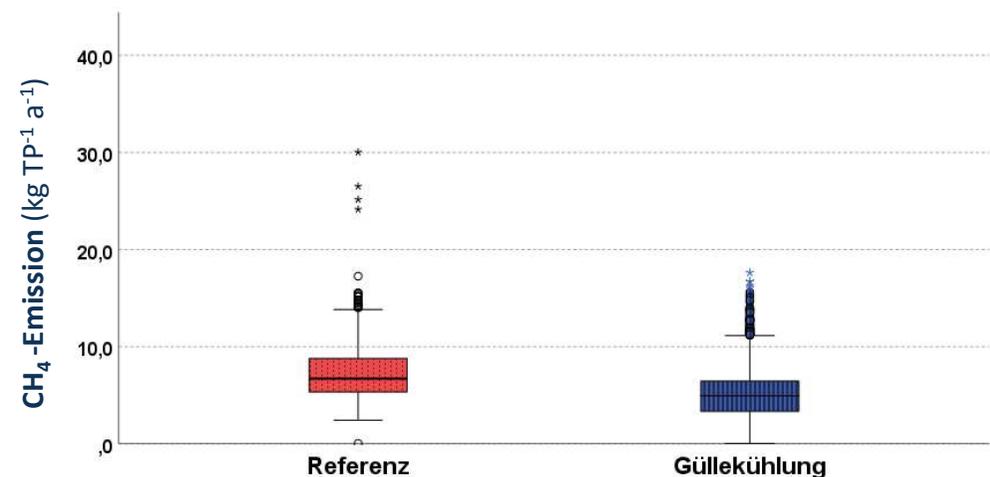
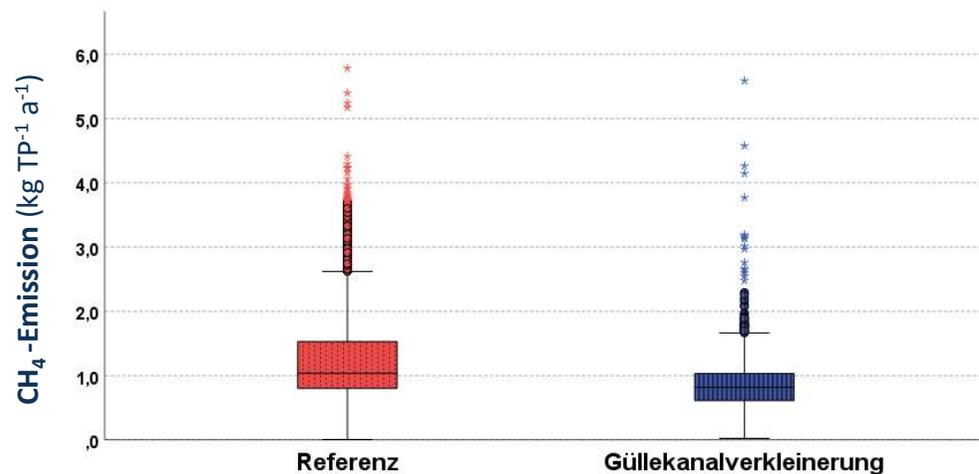
Übersicht Minderungsmaßnahmen



Minderungsmaßnahme NH ₃	EmiMin Minderungspotential	Literatur Minderungspotential	Quelle
Güllekanalverkleinerung	32%	50%^a <i>Geneigte Seitenwände</i>	^a TA Luft (2021)
Gülle Kühlung <i>Kühlrippen (<15°C)</i>	47%	40%^a 50%^b <10°C 56%^c <15°C	^a Öttl et al. (2023) ^b TA Luft (2021) ^c Aarnink et al. (2019)
Ureaseinhibitor <i>Oberflur, Zwangsgelüftet, perforierter Boden</i>	20%	21%^a <i>Oberflur, Spalten, Zwangslüftung</i>	^a Schulte et al. (2022) ^b Calvet et al. (2022)
Ureaseinhibitor <i>Oberflur, planbefestigter Auslauf</i>	32% _{vorläufig}		
Ureaseinhibitor <i>Oberflur, perforierter Auslauf, Unterflurschieber</i>	28%		
Unterflurschieber <i>mit Kot-Harn-Trennung, perforierter Auslauf</i>	49%	40%^{b,c} 54%^a <i>Zwangslüftung</i> 75%^d <i>freie Lüftung, Auslauf</i>	^a Landrain et al. (2009) ^b Loussouarn et al. (2014) ^c Lagadec et al. (2019) ^d Öttl et al. (2023)
Ureaseinhibitor + Unterflurschieber <i>Kombination</i>	64%	--	

CH₄-Emission kg/(TP a)

	Referenz <i>MWh</i> (<i>MWh</i> _{je Betrieb})	Versuch <i>MWh</i> (<i>MWh</i> _{je Betrieb})	Minderungspotential (CH ₄)
Güllekanalverkleinerung <i>mit getrenntem Gülle- + Wasserkanal</i>	1,2 (1,2-1,5)	0,9 (0,9-0,9)	33% (27%-40%)
Gülle Kühlung <i>Kühlrippen (<15°C)</i>	7,3 (6,8-7,6)	5,2 (4,6-6,2)	23% (8%-39%)



Weitere Minderungsmaßnahmen in EmiMin:

Zwangslüftung:

Mastschwein

- Güllekanalverkleinerung +
 - Molke ca. 10% der tgl. Gülleanfalls
 - Benzoesäure 1% im Futter
 - Benzoesäure + sehr stark N/P red. Fütterung mit 4 Phasen

Sauen + Ferkel + Mast

- Güllekühlung Kühlleitung

freie Lüftung + Auslauf:

Mastschwein

- Kotförderband mit Harnabsonderung



Weitere Minderungsmaßnahmen in EmiMin:

Zwangslüftung:

Mastschwein

- Güllekanalverkleinerung
- Molke...

freie Lüftung

Lebendkälber + Ferkel + Mast

- Güllekühlung Kühlleitung

**EmiMin:
weitere Auswertungen +
Veröffentlichungen!**



Datenhaltung + -berechnung: -KTBL-Datenbank

Datenveröffentlichung in: -Fachrepositorium Lebenswissenschaften (*FRL*)



Emission

- aktuelle Messungen für Mastschweine in beiden Lüftungssystemen vorhanden
- aktuelle Messungen für Sauen und Ferkel fehlen
(Zwangslüftung + freie Lüftung/Auslauf)

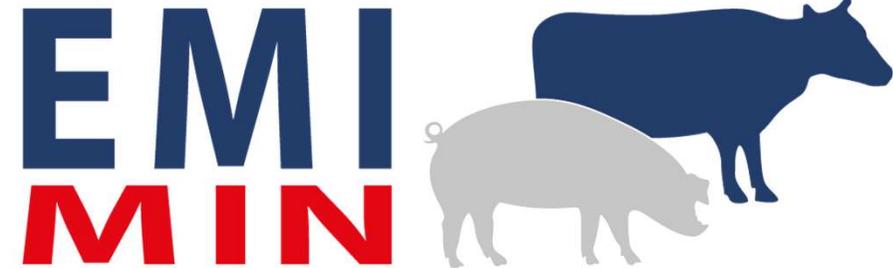
NH₃-Minderungspotential

- Berechnung in der Literatur von Minderungspotentialen erfolgt meist mit unterschiedlichen Referenzwerten
(Ergebnis → verschiedene Potentiale für 1 Maßnahme)
- Wahl des Referenzwertes
(Berücksichtigung von vergleichbaren Haltungs-+ Fütterungsverfahren,...)
- Beurteilung der Emissionen + Minderungspotentiale in EmiMin + EmiDaT:
Vorgehen vereinheitlicht in Anlehnung an VERA

Emissionsminderungsmaßnahmen

- Minderungsmaßnahmen aus EmiMin haben die Ammoniakemission und teilweise die Methanemission gemindert
(20 - 49% NH₃ + 23 - 33% CH₄)
- NH₃-Minderungspotentiale aus der Literatur überwiegend bestätigt

VIELEN DANK



Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main. Die Durchführung wird vom Projektträger der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung betreut und begleitet.

Gefördert durch



Projektträger



Autoren

Frauke **Hagenkamp-Korth**^a

Gianna **Dehler**^c

Brigitte **Eurich-Menden**^c

Eva **Gallmann**^b

Ewald **Grimm**^c

Eberhard **Hartung**^a

Dieter **Horlacher**^c

Andreas **Rößner**^c

Henning **Schulte**^a

Alexej **Smirnov**^c

Katrin **Wagner**^c

Ulrike **Wolf**^c

Lilly **Wokel**^b

^a **Christian-Albrechts-Universität**, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel, Germany

^b **Universität Hohenheim**, Zentrum für Tierhaltungstechnik (308), Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, Germany

^c **Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.**, Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, Germany

- Aarnink, A., de Groot, J., Ogink, N. (2019).** Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1205). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/502631>
- Broer, L.; Becker, T. (2019):** Abschlussbericht – Emissionsmessungen an Außenklimaställen in der Schweinehaltung. LUFA NORD - WEST: Institut der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. https://tierschutz.hessen.de/sites/tierschutz.hessen.de/files/2022-11/endberidchtaussenklimastallhessen23.01.2020_0.pdf (04.10.2023)
- Calvet, S., Arrufat, B., Saleat, I., Atares, S., Sobreviela, Herrero, C. Romero, J.; Estellés, F. (2022):** A urease inhibitor reduces ammonia emission in fattening pigs reared on slatted floor in summer conditions. *Biosystems Engineering*. Volume 221, September 2022, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.009>
- Lagadec, S., Toudic, A., Decoopman, B., Espagnol, S., Richard, R., Genermont, S., Trochard, R., Voylokov, P., Haaouna, M. (2019):** Évaluation des pertes d'azote et de carbone de filières de gestion de déjections porcines associées au raclage en V. *Journées Recherche Porcine*, 51, 175-180.
- Landrain, B., Ramonet Y., Quillien J.P., Robin P. (2009):** Incidence de la mise en place d'un système de raclage en « V »® en préfosse dans une porcherie d'engraissement sur caillebotis intégral sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote. *Journées Rech. Porcine*, 41, 259-264.
- Loussouran, A.; Lagadec, S.; Robin, P.; Hassouna, M. (2014):** Raclage en « V » : bilan environnemental et zootechnique lors de sept années de fonctionnement à Guernévez. Article présenté aux 46e Journées de la Recherche Porcine.
- Niebaum, A. (2001):** Quantifizierung gasförmiger Emissionen aus quer gelüfteten Außenklimaställen für Mastschweine mit Hilfe der Tracergas-Technik. Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 370, Dissertation Georg-August Universität Göttingen, ISSN 0931-6264
- Öttl, D.; Kropsch, M.; Zentner, E.; Bachler, G.; Schlacher, R.; Pongratz, T.; Prietl, C.(2023):** Emissionen aus der Tierhaltung. Bericht Nr. ABT15-Lu-04-2023. ABT15 – Luftreinhaltung. Das Land Steiermark- Energie, Wohnbau, Technik, Österreich. https://app.luis.steiermark.at/berichte/Download/Fachberichte/ABT15_Lu-04-2023_Emissionsfaktoren.pdf (04.10.2023)
- Schulte, H., Ammon, C., Hagenkamp-Korth, F., Hartung, E. (2022):** Investigating the time-dependent dose–response relationship of ammonia emissions reduction through the application of a urease inhibitor in pig fattening houses. *Biosystems Engineering*, Volume 222, October 2022, 45-61 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.07.008>
- TA-Luft (2021):** Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes Immissionschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft).18.08.2021
- VDI (2011):** Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. VDI Richtlinie 3894, Blatt 1
- Vechi, N.T.; Jensen, N.S.; Scheutz, C. (2022):** Methane emissions from five Danish pig farms: Mitigation strategies and inventory estimated emissions. *Journal of Environmental Management* 317 (2022) 115319.
- VERA (2018):** VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, Version 3:2018-09. https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf, Zugriff 05.10.2023
- Wolf, U., Eurich-Menden, B., Dehler, G., Horlacher, D. Smirnov, (2023):** Wie beeinflusst Auslaufhaltung die Ammoniakemissionen aus Mastschweine­ställen?. *LANDTECHNIK*, 78(3). <https://doi.org/10.15150/lt.2023.3292>