

# Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf



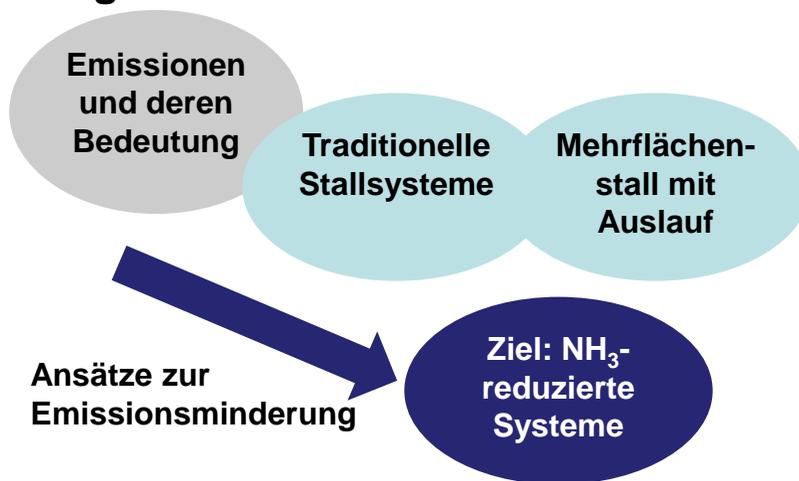
mit  
N.R. Berry, L. Koutny  
Erhebungen 2002-2005  
Unterstützung BAFU

**Margret Keck, Kerstin Zeyer**

25./26.1.2018 KTBL-Messworkshop, Tänikon

[www.agroscope.ch](http://www.agroscope.ch) | gutes Essen, gesunde Umwelt

## Schweinehaltung zukunftsgerichtet: tiergerecht und emissionsarm



## Inhalt

- Datenbasis in der Literatur
- Haltungssysteme in der Schweinehaltung
- Geruch: Konzentration und Immission
  - Systeme – Ergebnisse
- NH<sub>3</sub>- und (PM10-)Emission:
  - Systeme – Ergebnisse – Einflussgrößen
- Lösungsansätze zur Emissionsminderung
- Messkonzept, Analytik, Herausforderungen

Geruch

Nachbarschaft

PM10

Gesundheit

NH<sub>3</sub>

Versauerung, Eutrophierung  
Sekundärpartikel



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

3

## Datenbasis Literatur: Geruch

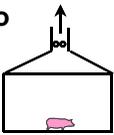
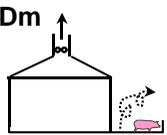
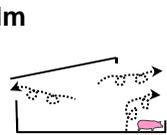
- D, GIRL (2008):  
«Daten für frei gelüftete Ställe fehlen weitgehend, Schwierigkeiten bei der Luftwechselbestimmung»
- D, VDI 3894 (2012):  
«Konventionswerte als Emissionsfaktoren»,  
«Untersuchungen zur Validierung erforderlich»,  
«Haltungsverfahren mit Auslauf» fehlen  
z.B. Rindvieh, Geflügel, Schweine,  
«keine Angaben» z.B. Ausläufe, Silage,  
Hofdüngerlager
- NL, Ogink (2010):  
Emissionsfaktoren auf Basis Tierkategorie,  
bei Geruch kaum Differenzierung nach  
Haltungssystem, Minderung bisher nur im  
Bereich Abluftreinigung



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

4

## Switzerland Schweinehaltung: Untersuchung

Stalltyp	Do 	Dm 	Nm 
Lüftung	Zwangs-, über <u>D</u> ach	Zwangs-, über <u>D</u> ach	Freie, <u>N</u> icht über Dach
Auslauf	<u>o</u> hne	<u>m</u> it	<u>m</u> it
Stallsystem	Vollspalten, Warmstall	Mehrflächen, Warmstall	Mehrflächen, Aussenklima, Offenfront
Anzahl Betriebe	10	10	13
Anzahl Tiere	48-132 GVE	7-104 GVE	24-83 GVE

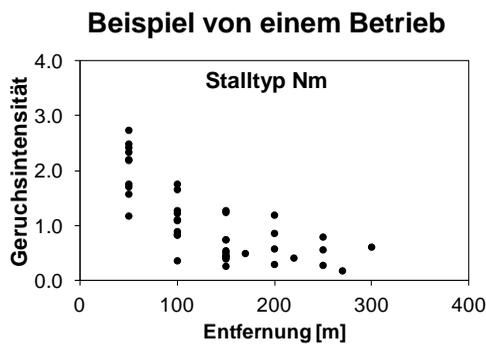
= Referenz

Beteiligung RAUS-Programm  
>60 % der GVE, BLW Agrarbericht

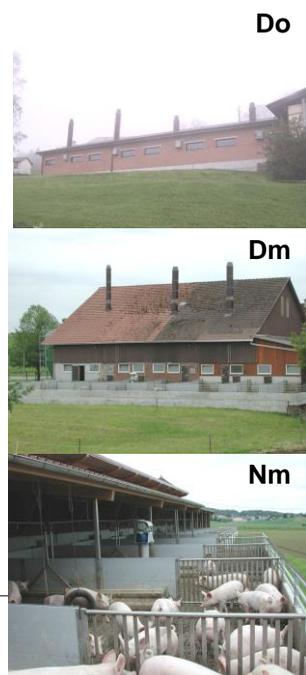
Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

5

## Switzerland Abklingkurven von Fahnenbegehungen



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

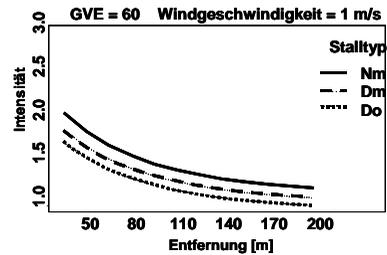


## Geruchsimmission: Modell

**Lineares  
Gemischte-Effekte-Modell**  
mit zufälligen Effekten:  
Betrieb – Datum – Begehung

**Sign. Einflussgrößen**  
auf die Geruchsintensität:

- Stalltyp
- Entfernung
- Grossvieheinheiten
- Windgeschwindigkeit
- Testperson



Nm > Dm > Do    Stalltyp: "mit Auslauf" > "ohne Auslauf"  
Abluftführung: "nicht über Dach" > "über Dach"

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

7

## Geruchsstoffkonzentration

### Flächenquelle Auslauf

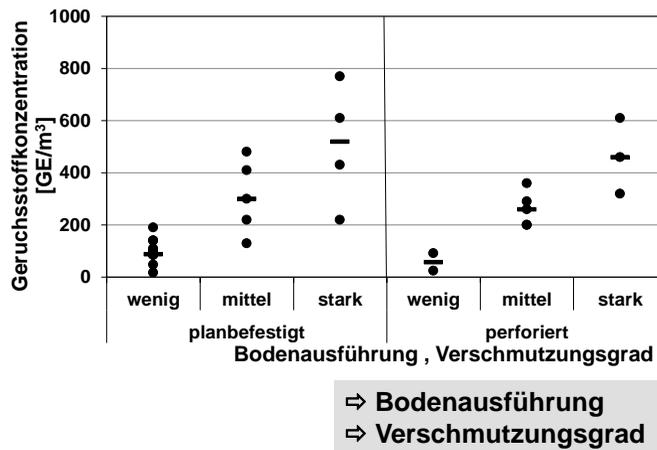
- Probenahme  
u. Olfaktometrie
- Bodenausführung:  
planbefestigt, perforiert
- Verschmutzungsgrad:  
schwach, mittel, stark



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

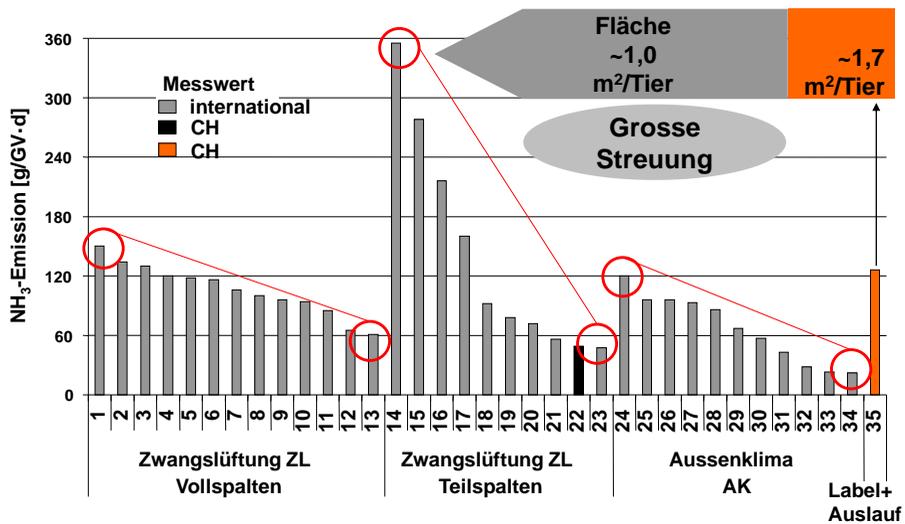
8

## Geruchsstoffkonzentration: Auslauf Relativer Vergleich



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

## Datenbasis Literatur: NH<sub>3</sub> Mast



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

## Haltungssysteme in der Schweinemast



**Zwangslüftung  
Voll- /Teilspalten  
0,7 bzw. 1 m<sup>2</sup>/Tier**

**Mehrflächensystem  
mit Auslauf  
1,7 m<sup>2</sup>/Tier**



Berry et al.  
2005

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

11

## Emissionsmessung Schweinemast: Systeme, Tiere, Temperatur

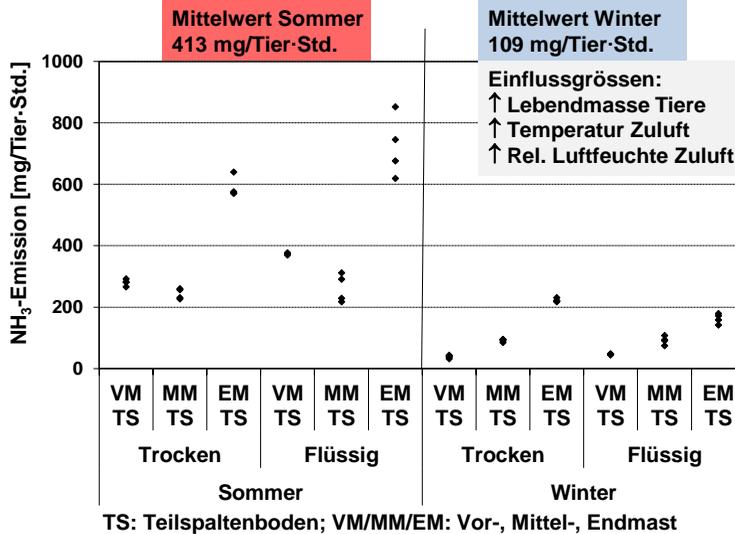
Stallsystem Fläche pro Tier [m <sup>2</sup> ]	Teilperforiert 1,0		Mehrflächensystem mit Auslauf 1,7-1,8	
Tiere Anzahl	14	18	80/74	
∅ Lebendmasse [kg]				
Sommer	35/61/98	34/59/92	78/84	
Winter	25/48/84	26/50/86	92/101	
Fütterung	Flüssig	Trocken	Flüssig	
Temperatur [°C]			Liegebereich	Auslauf
Sommer (min-max)	19,8–25,6 (16–30)	20,1–25,4 (15–31)	26,5 (22–31)	27,5 (19–40)
Winter (min-max)	14,5–18,5 (13–21)	16,8–19,9 (15–23)	14,4 (11–17)	-4,5 (-11–14)
Messumfang	Je 4 aufeinanderfolgende Tage		7/13 Tage Sommer/Winter	

Berry et al. 2005

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

12

## Traditionelles Stallsystem NH<sub>3</sub>

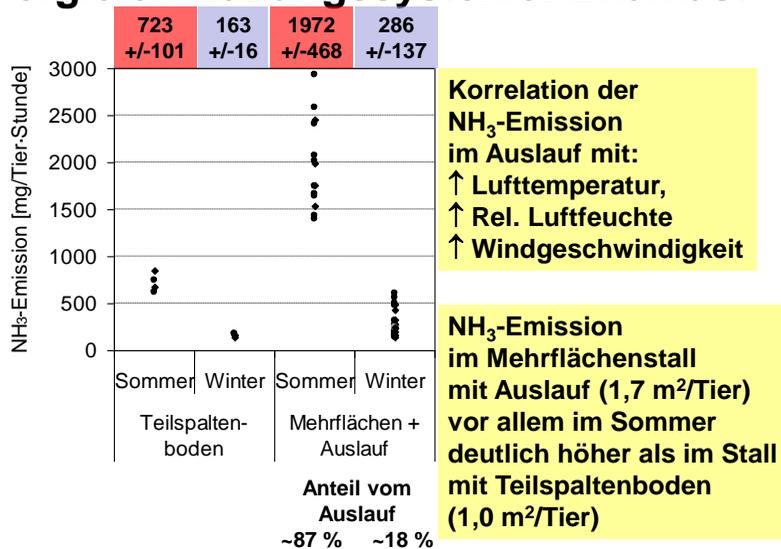


Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

13

Agroscope

## Vergleich Haltungssysteme: Endmast

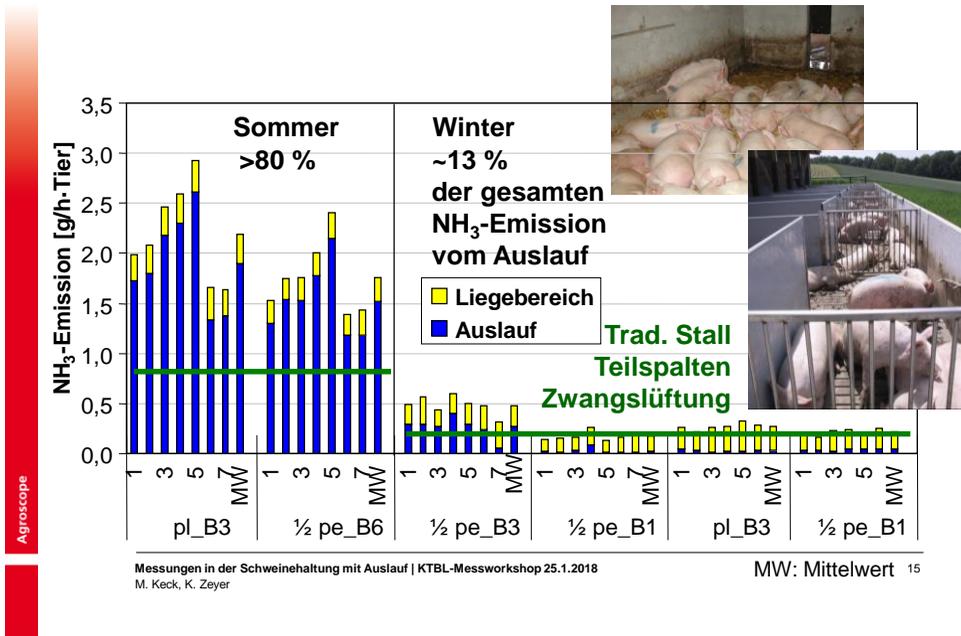


Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

14

Agroscope

## Schweinemast: Label + Auslauf



## Schweinemast: Label + Auslauf

### NH<sub>3</sub>-Emission

Winter ~13 % vom Auslauf

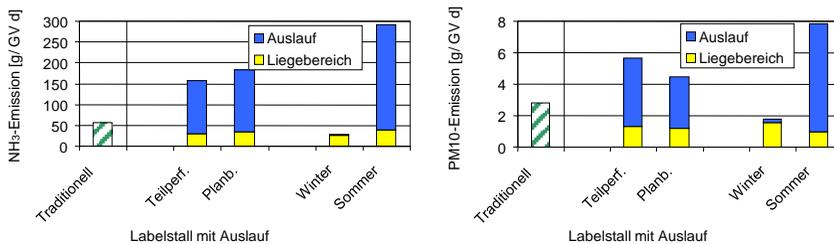
Berry et al. 2005

Sommer ~87 % vom Auslauf

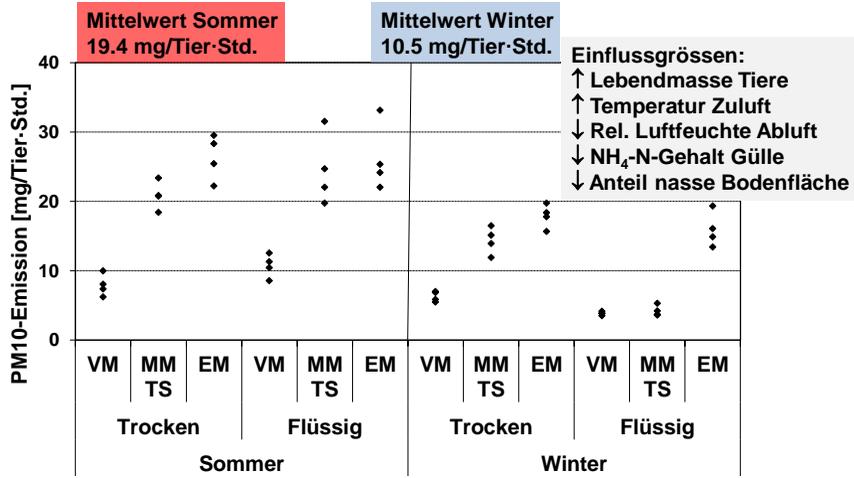
Sommer > Winter

Winter: Labelstall + Auslauf = traditioneller Stall

Sommer: Labelstall + Auslauf > traditioneller Stall



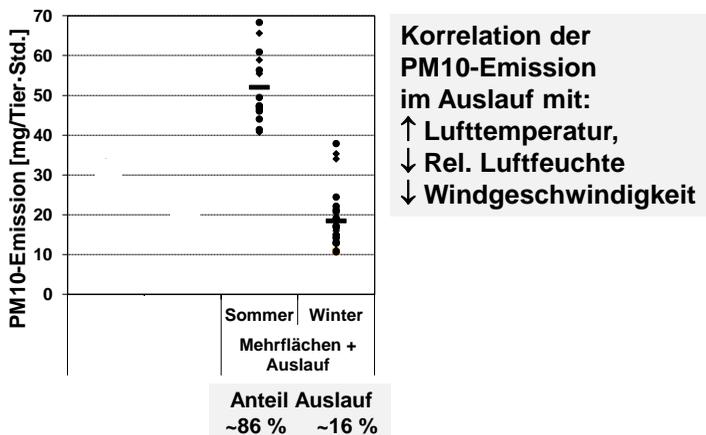
## Traditionelles Stallsystem PM10



TS: Teilspaltenboden; VM/MM/EM: Vor-, Mittel-, Endmast

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

## Mehrflächenstall mit Auslauf: Endmast



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

## Zusammenfassung

Parameter	NH <sub>3</sub> -Emission	PM10-Emission	Geruch
<b>Teilspaltenboden Zwangslüftung Einflussgrössen:</b>			<b>Geruchsstoffkonzentration im Auslauf</b> <b>Einflussgrössen:</b> Bodenausführung, Verschmutzungsgrad
Lebendmasse	↑	↑	
Zulufttemperatur	↑	↑	
rel. Luftfeuchte	↑	↓	
NH <sub>4</sub> -N Gülle		↓	
Anteil nasse Fläche		↓	
<b>Mehrflächenstall u. Auslauf</b>	So > Wi dominiert	So > Wi dominiert	<b>Geruchsimmission</b> Abluft nicht über Dach mit Auslauf Abluft > über Dach mit Auslauf Abluft > über Dach ohne Auslauf
<b>Korrelation zur Emission vom Auslauf:</b>			
Lufttemperatur	↑	↑	
Rel. Luftfeuchte	↑	↓	
Windgeschwindigkeit	↑	↓	
<b>Vergleich Endmast</b>			<b>Einflussgrössen:</b> GVE, Fläche, bodenah/Austrittshöhe, Fütterung
Mehrflächen u. Auslauf	>	>	
Teilspalten Zwangslüft.			

Agroscope

## Emissionsminderung

- Trend zu grösseren verschmutzten Flächen hinterfragen
- Entmistung in Labelställen meist Handarbeit bzw. mobil
- Daher: raschen Harnabfluss und tiefe Temperaturen als Chance nutzen

→ Tier- und umweltgerechte Haltungssysteme gezielt entwickeln



Agroscope

## Ansätze zur NH<sub>3</sub>-Minderung

### Quantifizierung?

<b>Stallkonzept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grösse der Flächen dem Bedarf je nach Altersabschnitt anpassen</li> <li>Getrennte Klima- und Funktionsbereiche: Aussenklima kombiniert mit Mikroklimabereich</li> </ul>
<b>Rascher Harnabfluss (planbefestigt)</b>	Harn (Gefälle ~rund 3 %) auf möglichst kurzem Weg von der Oberfläche abführen und sammeln
<b>Saubere, trockene Aktivitätsflächen</b>	Entmistung häufig und mit hoher Reinigungsqualität
<b>Umgang mit Gülle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gülle aus Kanälen häufig ins gedeckte Lager ablassen,</li> <li>Lagerung vor allem im kühlen Bereich, anstatt im Warmstall</li> <li>Vermeiden intensiver Güllebewegung</li> <li>Aufrühren nur gezielt zum Ausbringen</li> </ul>

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

21

## Ziele

Massnahmen zur Minderung von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) sind

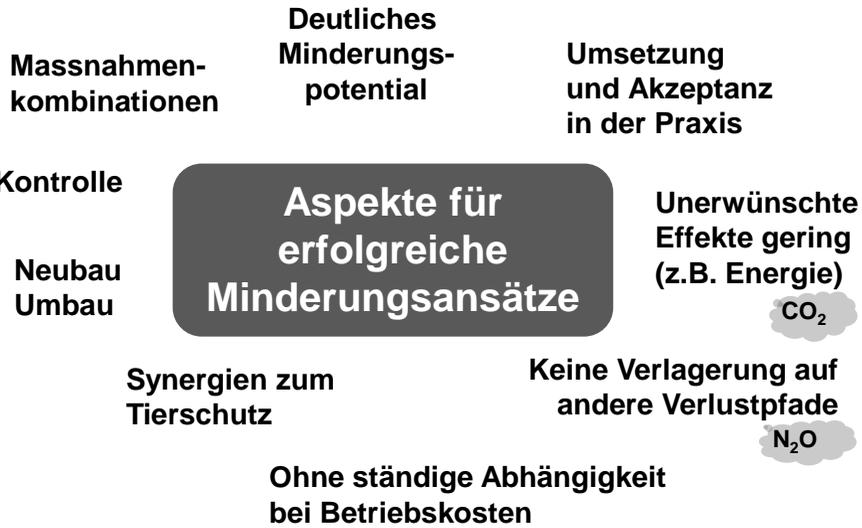
- bis zur Praxisreife (weiter-)entwickelt ,
- bewertet und
- das Minderungspotenzial quantifiziert.



**Erreichen der Umweltziele Landwirtschaft** [BLW u. BAFU 2008]  
zur Einhaltung der Critical Loads für NH<sub>3</sub>-N  
Reduktion auf ~25'000 t Stickstoff pro Jahr

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

22



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

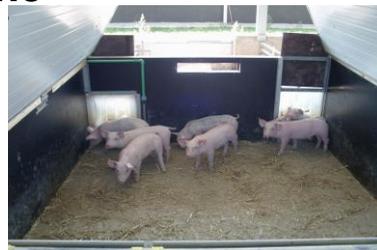
23



## Minimierung der verschmutzten Fläche

- Getrennte Klima- & Funktionsbereiche
- Weniger emittierende Oberflächen, Boden- & Tier-Verschmutzung

- ⇒ Geschickte Anordnung
- ⇒ Struktur
- ⇒ Kombination
- ⇒ Wahl Stallsystem



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

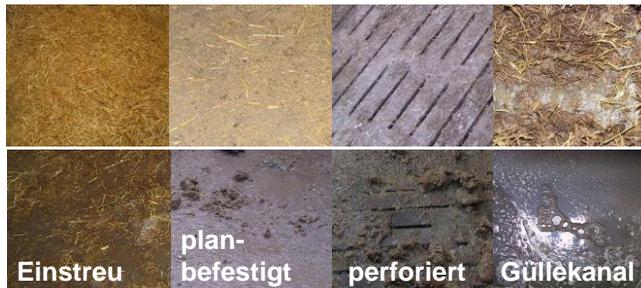
24

## Welche Flächen emittieren?

**Planbefestigt: Oberfläche**  
**Perforiert:**

- Spaltenelemente oben, seitlich, unten
- Gülleoberfläche in darunter liegenden Kanälen oder Grube

**mit Verschmutzung vor allem Harn, Kot**



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

25

## Verschmutzte Flächen

### *Verschmutzung*

**Grösse der Fläche**  
**Masse pro Fläche**  
**Art (vor allem Harn, feucht...)**  
**Stickstoff-Gehalt**  
**pH-Wert**

### *Freisetzungsbedingungen*

**Temperatur**  
**Sonneneinstrahlung**  
**Luftgeschwindigkeit**



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

26

## **Rasches Abführen von Harn und saubere, trockene Aktivitätsfläche**



## **Methoden - Messkonzept**



## ☝ Mehrflächensystem mit Auslauf



**Liegebereich**  
**Weizenstroh**  
 (74 g/Tier-d im Sommer,  
 200 g/Tier-d im Winter)  
**Zwangslüftung**

**Auslauf  
 überdacht**



**nicht  
 überdacht**



**Flüssig-  
 fütterung**  
**3 x täglich**

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
 M. Keck, K. Zeyer

29

## ☝ 2 Auslaufvarianten – innerhalb Betrieb

100 % planbefestigt > pl



50 % perforiert > 1/2 pe

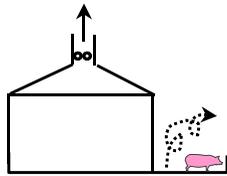


Messumfang	Temperatur [°C]	
	Liegebereich	Auslauf
• 1 Woche Sommer – sehr heiss	21.8-31.4	19.4-40.1
• 2 Wochen Winter – sehr kalt	10.6-17.0	-10.9-13.7
in Endmast (78-103 kg/Tier)		

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
 M. Keck, K. Zeyer

30

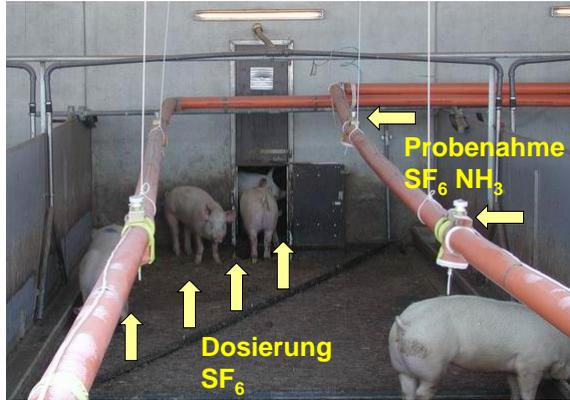
## Swiss Flag Zwangslüftung und Freie Lüftung



Messventilator



### Tracer-Ratio-Methode

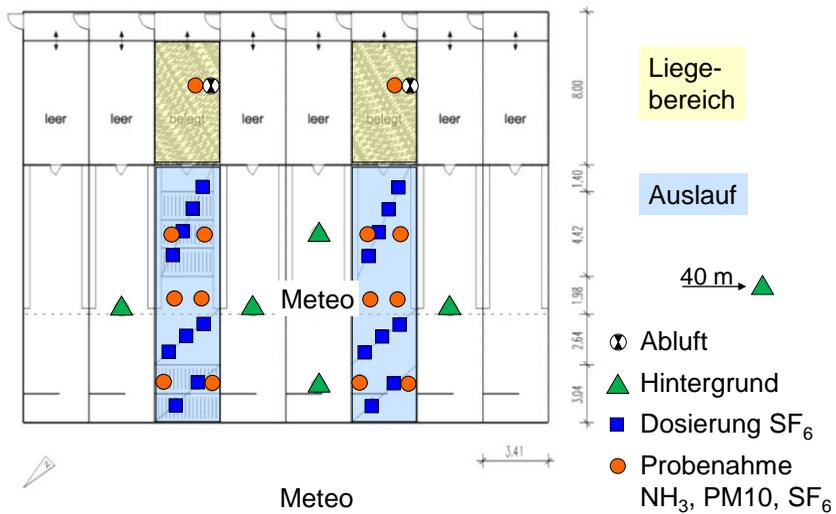


Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

31

Agroscope

## Swiss Flag Zudosierung - Probenahme



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

32

Agroscope



Agroscope



Methoden

33

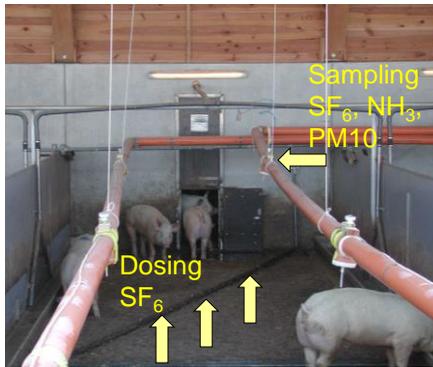


Agroscope



Methoden

## Tracer ratio method



Dosing of SF<sub>6</sub>  
at evenly distributed  
points at floor level

Sampling  
1.3 m above floor level  
Collecting SF<sub>6</sub> in Tedlar bags  
Analysing 24 h samples  
for SF<sub>6</sub> by GC-ECD



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

35

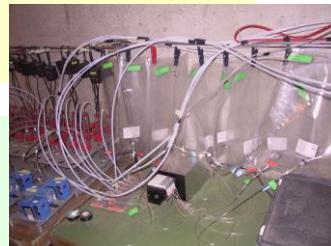
## Luftwechsel - Methoden

**Bisher (2002-2005):**

- Zwangslüftung mit Abluftventilator, Messventilator über gesamten Abluftquerschnitt
- Freie Lüftung  
Tracerratiomethode mit SF<sub>6</sub>  
Zudosierung konstant über Massenflussregler, Schläuche u. kritische Düsen mit Überdruck  
Probenahme in Tedlarbags  
Analytik im Labor mit GC-ECD

**Später (2007-2008):**

- Tracerratiomethode mit SF<sub>6</sub> und SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>
- Zudosierung mit Stahlrohren, Swagelok-T-Stücken, kritische Düsen
- Analytik online mit GC-ECD



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

36

## Messkonzept

### Messtellenumschalter + Online-Analytik:

Zeitfenster bei Beprobung mit  
Messtellenumschalter zu klein,  
(bei 6 Messpunkten nur 5 % Probenahmedauer der  
Gesamtzeit je Probenahmeort)

⇒ Optimierung: Test von Luftsammelproben:  
Kritische Glaskapillaren, Teflonschläuche,  
Unterdruck, damit keine Kondensation entsteht,  
gasdichte, beheizte Pumpen,  
Sammelbehälter aus dem Analyseproben gezogen  
werden

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

37

Agroscope

## NH<sub>3</sub>- Methoden

Anreichernd:

- Impinger, nasschemisch  
mit Schwefelsäure,  
Ionenchromatographie im ESAS
- Passivsammler für Hintergrund

Online:

- FTIR punktuell
- Photoakustische Spektroskopie,  
TGA-PAS (TGA 310),  
Firma Omnisens SA



Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

Agroscope

## PM10 - Methoden

Probenahme direkt vor Ort, kein Lufttransport

- Impaktoren
  - anreichernd auf Filter
  - 4 l/min mit regelten GilAir-Pumpen
  - Konditionierung 24 h, 22 °C, 50 % RH
  - Waage 0.01 mg
  - + grössere Anzahl Probenahmeorte
- TEOM (Tapered-Element Oscillating Microbalance)
  - schwingende Mikrowaage
  - kontinuierlich
  - nur 1 Probenahmeort
- Weitere?
- Qualitativ Partikelherkunft mit Blick auf wichtigste Quellen, Minderungsansätze



## Herausforderungen und Ansätze (1)

- Strahlung – Wärme – Thermik tagsüber
- Meteodaten
- Windanströmung
  - schwach/stark: Reichweite Verfrachtung u. Beeinflussung quer zum Stall
  - längs des Stalles variabel

Meteodaten,  
Rauchproben,  
Abstand,  
Korrektur?



## Herausforderungen und Ansätze (2)

- Weitere Quellen
- Hintergrund

- Montage im Tierbereich

Focus auf Gesamtsystem, statt Teilbereiche



Praxisbetriebe – Vielfalt:

- Futtermittel, -gehalte definiert u. kontrolliert
- wachsende Tiere
- heterogene Buchtenbelegung
- Entmistungshäufigkeit
- Pegel in Güllekanälen

Ermittlung von

Emissionsfaktoren kombinieren mit Emissionsminderung innerhalb des Betriebes zugunsten von Aufwand und Aussagekraft

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

41



## Weiterführende Literatur Ammoniak

Literatur

- Berry N.R. et al., 2005. Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus traditionellen und neuen Stallssystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Agroscope FAT Tänikon u. Empa, Dübendorf, Schlussbericht, 108 S.
- Keck M. et al., 2010. Emissionen von Ammoniak und PM10 aus der Schweinemast im Vergleich zwischen Haltungssystemen. In: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, 24. IGN-Tagung 2010, Nachhaltigkeit in der Wiederkäuer- und Schweinehaltung, 3.-5. Juni 2010, Tänikon, 23-27.
- Bundesamt für Umwelt & Bundesamt für Landwirtschaft, 2011. Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft - Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, Bern.  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01581/index.html?lang=de>
- Keck M. u. Schrade S., 2011. Lösungsansätze zu weniger Ammoniak-Emissionen. *Suisseporcs Information* 11, 9-11.
- Keck M. u. Schrade S., 2011. Anforderungen an Massnahmen zur Minderung von Ammoniak-emissionen in der Rindviehhaltung. In: KTBL: Emissionen der Tierhaltung - Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik, 6.-8.12.2011, KTBL-Schrift 491, 360-364.
- Schrade S. et al., 2011. Haltungssysteme und Messkonzept für Ammoniakemissionen bei freier Lüftung. *Agrarforschung Schweiz*, 2, 170-175.
- Schrade S. et al., 2011. Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Laufhof: Im Winter weniger Verluste. ART-Bericht 745.  
[http://www.agroscope.admin.ch/data/publikationen/1314009541\\_Schrade\\_S\\_ART\\_Bericht\\_745\\_D.pdf](http://www.agroscope.admin.ch/data/publikationen/1314009541_Schrade_S_ART_Bericht_745_D.pdf)
- Schrade S. et al., 2012. Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment* 47, 183-194.
- Schrade S. et al., 2013. Ammoniakemissionen aus Milchviehställen und Massnahmen zur Minderung. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2013, 33-40.
- Poteko J. et al., 2014. Development and validation of a measuring method for quantifying the residual soiling mass after the removal of dung from solid floor surfaces, and results of comparative measurements at pilot-plant scale. Intern. Conf. of Agricultural Engineering, AgEng2014, C0489, Zurich, 8p.
- Schrade S. et al., 2014. PM-10 emission measurements in six Swiss dairy cubicle-housing systems with natural ventilation and an outdoor exercise area. Intern. Conf. of Agricultural Engineering, AgEng2014, C0315, Zurich, 8p.

Messungen in der Schweinehaltung mit Auslauf | KTBL-Messworkshop 25.1.2018  
M. Keck, K. Zeyer

42



## Weiterführende Literatur Geruch

- Keck M. et al., 1999. Mehr Geruch von Milchviehställen mit Laufhöfen? *Agrarforschung* 6 (1), 5-7.
- Keck M. u. Schmidlin A., 2000. Ansätze zur Minderung der Geruchsbelastung bei einem Offenstall für Mastschweine. In: KTBL. Bewertung von Geruchsbelastungen aus der Landwirtschaft nach einem einheitlichen Massstab - aber wie? Braunschweig, Sonderveröffentlichung 031, 7-13.
- Koutny L., 2002: Geruchsausbreitung aus der Tierhaltung: Standorteinfluss. *Agrarforschung* 9 (8), 346-351.
- Keck M. et al., 2004: Minimum distances in Switzerland for pig housing systems with exercise yards and natural ventilation. VDI-Berichte Nr. 1850, 229-238.
- Keck M. et al., 2005. Geruch von Schweineställen mit Auslauf und freier Lüftung. *Agrarforschung* 12 (2), 84–89.
- Keck M. et al., 2010. Odour Concentration and Emission from Naturally Ventilated Dairy Loose Housings with an Outdoor Exercise Area. *Chemical Engineering Transactions* 23, 195-200.
- Keck M. et al., 2011. Geruchskonzentration und -emission von Milchviehställen mit Laufhof. *Agrarforschung Schweiz*, 2 (3), 114–119.
- Keck M. et al., 2014. Odour Concentration of Agricultural Biogas Facilities: Substrates and Biogas. Intern. Conf. of Agricultural Engineering, AgEng2014, C0519, Zurich, 6p.
- Keck M. et al., 2014. Odour Impact by Field Inspections: Method and Results from an Agricultural Biogas Facility. *Chemical Engineering Transactions* 40, 61-66.