

Dr. Monika Krause, Michael Ihrig und Werner Geißler

## Gefahr durch H<sub>2</sub>S in Mastschweineeställen mit Slalomsystem während des Gülleaufrührens

Seit 1990 verzeichnete die Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft deutschlandweit 397 Unfälle mit Gülleschadgasen, infolge derer 27 Menschen ums Leben gekommen sind (SVLFG 2015). Nicht bekannt sind Beinahe-Unfälle sowie die Anzahl umgekommener Tiere. Ein großer Teil dieser Unfälle lässt sich auf Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) zurückführen, da dieser ab Konzentrationen von 500 bis 1.000 ppm innerhalb kürzester Zeit tödlich ist (UBA 2006). H<sub>2</sub>S wird u. a. beim Aufrühren von Gülle freigesetzt, z.B. bei Slalomsystemen. Unter einem Slalomsystem wird eine Güllelagerung unter dem Stall mit mehreren, verbundenen Kanälen verstanden. Zum Ausbringen oder Umpumpen der Gülle, spätestens wenn die Kanäle voll sind, muss mit einem Rührwerk die Gülle aufgerührt werden.

**Z**iel dieser Arbeit war es, unter Praxisbedingungen in Mastschweineeställen H<sub>2</sub>S-Konzentrationen zu messen. Dabei sollte die Gülle mit unterschiedlichen Drehzahlen aufgerührt werden. Es sollte geklärt werden, ob es einen jahreszeitlichen Einfluss (Winter, Sommer) gibt. Daneben wurde geprüft, ob Schwefelgehalte in Trinkwasser, Futter oder Stroh die H<sub>2</sub>S-Freisetzung beeinflussen.

### Literatur

H<sub>2</sub>S ist ein farbloses, giftiges Gas. Es ist schwerer als Luft, d.h. es sammelt sich am Boden oder in Gruben. Es riecht in geringen Konzentrationen nach faulen Eiern, lähmt aber ab 250 ppm den Geruchssinn. So kann fälschlicherweise der Eindruck entstehen, dass kein H<sub>2</sub>S mehr vorhanden ist. Ab 500 ppm H<sub>2</sub>S kommt es zu Schwindel, Krämpfen und plötzlicher Bewusstlosigkeit, diese Konzentration gilt innerhalb von 30 Minuten als lebensgefährlich. Ab 1.000 ppm ist H<sub>2</sub>S innerhalb weniger Minuten tödlich, es tritt der Atemstillstand ein (UBA 2006).

Um den Bildungsprozess von H<sub>2</sub>S näher zu beschreiben und vor allem das schnelle Auftreten von H<sub>2</sub>S zu erklären, wurde von (NI ET AL. 2010) ein „bubble release model“ aufgestellt. Unter anaeroben Bedingungen in der Gülle entsteht durch Abbau organischen Materials sowie durch SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Reduktion Schwefelwasserstoff. Dieser wird in Form von Blasen in der Gülle gespeichert. Die Blasen können auch noch andere Schadgase wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> enthalten. Durch Bewegen der Gülle werden die Blasen an die Oberfläche gebracht,

hier können sich die hohen Konzentrationen der Schadgase mit der Umgebungsluft vermischen (DAI 2014, Abb. 1). An schlecht belüfteten Stellen oder Mauerecken kann es zu Anreicherungen von H<sub>2</sub>S kommen, da sich das Gas schlecht mit der Umgebungsluft vermischen kann (STEINER UND BURKHALTER 2013). Durch das Ausgasen wird das chemische Gleichgewicht in der Gülle beeinträchtigt, so dass H<sub>2</sub>S nachgebildet wird (MÜLLER 2005). Mit zunehmenden Temperaturen (Sommer) und zunehmendem Nährstoffgehalt steigen die Umsetzungsprozesse und die Schadgasbildung (THIEX UND PRIESMANN 2009, STEINER UND BURKHALTER 2013).

### Material und Methode

Es standen acht Mastschweineeställe mit unterschiedlichsten Slalomsystemen zur Verfügung, ein Hügel-, zwei Warm- und fünf Pig-Port-Ställe, davon drei mit Auslauf. Nur in den Warmställen war die Fläche von Abteil und Slalomssystem identisch, so dass ein Rein-Raus-Verfahren betrieben werden konnte. Bei allen anderen Betrieben wurden die Güllekanäle unter der gesamten Stalllänge genutzt, bei manchen sogar über zwei Ställe. Hier befinden sich beim Aufrühren immer Schweine im Stall.

Als Messgeräte kamen das „Biogasgerät GA 5000“ mit einem Messbereich von 0 bis 1.000 ppm H<sub>2</sub>S sowie zwei „Drägergeräten X-am 7000“ zum Einsatz, deren Messbereich von 0 bis 100 ppm bzw. nach den ersten fünf Sommermessungen bis 1.000 ppm betrug. Bei letzteren wurden auch hö-



Bild: Michael Ihrig

Rührwerk im Rührschacht eines Slalomsystems (IHRIG 2015).

Abbildung 1  
Beispiel: H<sub>2</sub>S-Konzentrationen in Betrieb 7, Sommer, 436 U/min.

here Werte aufgezeichnet, die jedoch nach Herstellerangaben nicht mehr verlässlich waren. Gemessen wurde jeweils direkt auf dem Spaltenboden neben dem Rührwerk (Biogasgerät) sowie an zwei weiteren Stellen im Stall (Drägergeräte). Ab dem Einschalten des Rührwerks wurde jeweils 30 Minuten lang ein H<sub>2</sub>S-Mittelwert je Minute aufgezeichnet. Danach wurde die Gülle entweder weiter homogenisiert oder abgelassen.

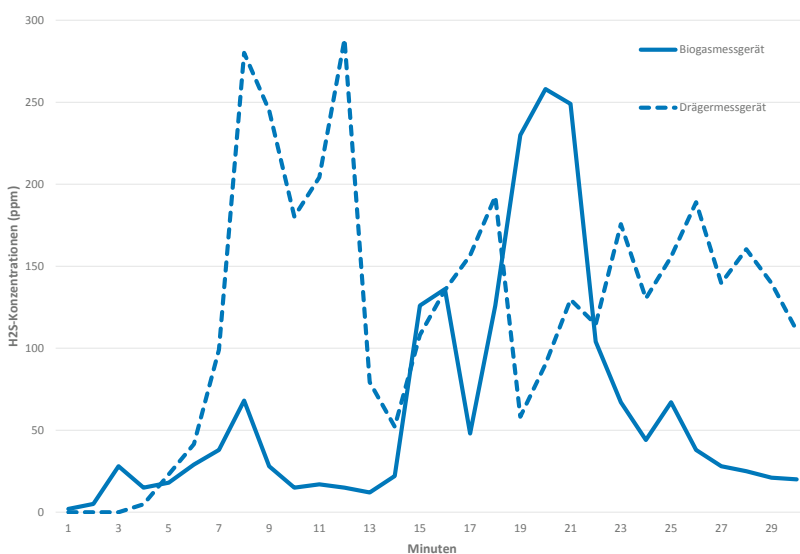
Angestrebt wurden pro Betrieb je drei Messungen im Winter und im Sommer mit drei unterschiedlichen Drehzahlen des Rührwerks. Insgesamt erfolgten 48 Messungen, d.h. durchschnittlich sechs pro Betrieb, jedoch mit 3 bis 8 Messungen auf den einzelnen Betrieben. Die angestrebten drei verschiedenen Drehzahlen der Rührwerke konnten nur auf drei der acht Betriebe verwirklicht werden. Die anderen Slalomsysteme konnten aufgrund baulicher Gegebenheiten oder technischer Möglichkeiten der Rührwerke nur jeweils mit einer Drehzahl aufgerührt werden. Die Bandbreite der Drehzahlen lag zwischen 350 und 1.426 U/min.

### Ergebnisse und Diskussion

Bei fast allen Versuchen ließ sich das „schwallartige“ Auftreten von H<sub>2</sub>S unabhängig vom Messstandort erkennen (Abb. 1). Bisher konnte keine Tendenz ausgemacht werden, wie schnell die Peaks auftreten und wie hoch die Konzentrationen dabei werden. Es kann demnach nicht vorhergesagt werden, wann es für Mensch und Tier gefährlich wird.

Ausgehend vom 30-Minuten-Messintervall zeigt Tabelle 1 die H<sub>2</sub>S-Maximalwerte. H<sub>2</sub>S-Konzentrationen von über 500 ppm, die – selbst kurzzeitig auftretend – lebensgefährlich für Mensch und Tier sein können (UBA 2006), traten am Rührwerk im Winter in 25 % und im Sommer sogar in 50 % der Messtage auf. Andere Stellen im Stall waren im Sommer zu 37,5 % gefährdet, im Winter konnte dort nur bis 100 ppm gemessen werden. Der höchste erfasste Wert über alle Versuche betrug 3.740 ppm (tödlich in Sekunden). Die These, dass im Sommer mehr H<sub>2</sub>S beim Aufrühren von Gülle entweicht (THIEX UND PRIEMANN 2009, STEINER UND BURGHALTER 2013), ließ sich mit den Maximalwerten veranschaulichen, aber nicht signifikant nachweisen.

Des Weiteren wurden die H<sub>2</sub>S-Messwerte in Abhängigkeit der Umdrehungszahlen ausgewertet, einmal die Maximalwerte und einmal die Summe in den 30-Minuten-Intervallen. Die Drehzahlen der Rührwerke variierten zwischen 350 und 1.426 Umdrehungen pro Minute. Beobachtet man auf einem der Betriebe (Betrieb 1, Pig-Port-Stall ohne Auslauf, Winter) die H<sub>2</sub>S-Konzentrationen im Verlauf von 30 Minuten (Abb. 2), so lässt sich deutlich zeigen, dass mit zunehmender Drehzahl des Rührwerks die Gülle schneller und mehr H<sub>2</sub>S freisetzt. Dies wird von NI ET AL. (2010) und DAI (2014) bestätigt bzw. erklärt.



	Winter		Sommer		
	Biogasgerät	Drägergerät	Biogasgerät	Drägergerät	Drägergerät auf 100 ppm begrenzt
Maximalwert	1.000*	100*	1.000*	3.740	100*
< 100	3	9	3	3	3
< 200	4	15	4	9	21
< 500	11	--- **	5	3	--- **
< 1.000	2	--- **	4	3	--- **
> 1.000*	4	--- **	8	6	--- **

\* Messgrenze  
\*\* nicht messbar

Tabelle 1  
H<sub>2</sub>S-Maximalwerte (n=24) im Winter und Sommer an zwei Messgeräten.

Des Weiteren wurde eine Varianzanalyse der aufsummierten Einzelwerte über den Rührzeitraum von 30 min erstellt. Dabei wurde in Winter- und Sommermessungen unterschieden (Einfachheit des Modells) und nur die Werte des Biogasmessgerätes verwendet, welches sich am Rührwerk auf Höhe des Spaltenbodens befand. Es konnten keine Einflüsse für die unterschiedliche Spaltenbodenfläche (Kanallänge, Umlenkungen), Füllstand des Kanals, Stall bzw. Abteil und Betrieb gefunden werden. Einzig die Drehzahl hat einen hochsignifikanten Einfluss auf die H<sub>2</sub>S-Kurven sowohl im Winter als auch im Sommer.

Bei den verschiedenen Drehzahlen der Rührwerke wurde zusätzlich noch der H<sub>2</sub>S-Maximalwert betrachtet. Im Winter konnten bei bis 550 U/min direkt am Rührwerk Maximalwerte von 50 bis 400 ppm festgestellt werden (ohne Bild). Ab 600 bis 950 Umdrehungen wurde der Schwellenwert von 500 ppm oft erreicht, alle Messungen bei 1.426 U/min sowie eine bei 750 U/min erreichten die Messgrenze von 1.000 ppm. Die Drägergeräte, die im Stall verteilt waren, erreichten ihre Messgrenze von 100 ppm sehr oft. Im Sommer wurde schon ab 600 U/min die Messgrenze des Biogasgerätes von 1.000 ppm am Rührwerk erreicht (Abb. 3). Die Drägergeräte zeigten insgesamt ein ähnliches Bild wie das Biogasmessgerät am Rührwerk. Mit zunehmender Rührintensität ab etwa 600 Umdrehungen pro Minute erhöhte sich die Unfallgefahr stark durch hohe H<sub>2</sub>S-Maximalwerte in den ersten 30 Rührminuten.

Der Schwefelgehalt, der über das Trinkwasser und Futter in die Güllekanäle gelangt, wurde überprüft. In allen Futterrationen betrug der Schwefelanteil 0,16-0,21 %, d.h. er befand sich im Normalbereich für die Rationen und dürfte deshalb keinen besonderen Einfluss auf die H<sub>2</sub>S-Bildung

haben. Nach der TRINKWASSERVERORDNUNG (2013) darf der Sulfatgehalt (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) maximal 250 mg/l betragen. Sieben von acht Betrieben wiesen SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>Werte unter 35 mg/l im Trinkwasser für die Mastschweine auf. Ein Betrieb nutzte seinen eigenen Brunnen, dessen Sulfatgehalt bei der Messung 1.150 mg/l betrug. Dies dürfte der Grund für die über 500 ppm hohen H<sub>2</sub>S-Messwerte am Rührwerk während der ersten Messung sein. Aufgrund dessen wurde die Messung abgebrochen. Schon vor Versuchsbeginn hatte der Landwirt Probleme mit zu hohen H<sub>2</sub>S-Konzentrationen während des Aufrührens, deshalb rührt er immer nur mit 450 U/min auf. Nach der ersten Messung wurde der Stall an das öffentliche Wassernetz angeschlossen, dessen Sulfatgehalt nur

Abbildung 2  
H<sub>2</sub>S-Konzentrationen bei unterschiedlichen Drehzahlen am Rührwerk, Betrieb 1, Pig-Port-Stall ohne Auslauf, Messstelle neben dem Rührwerk, Messgrenze 1.000 ppm.

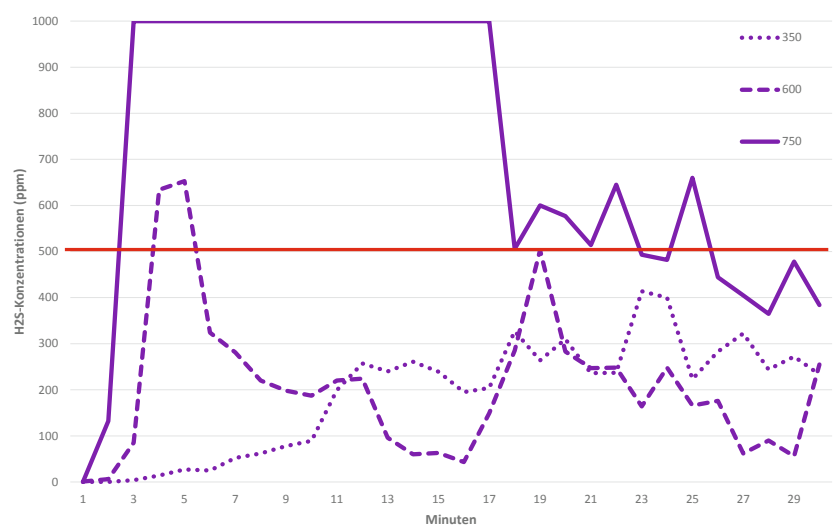
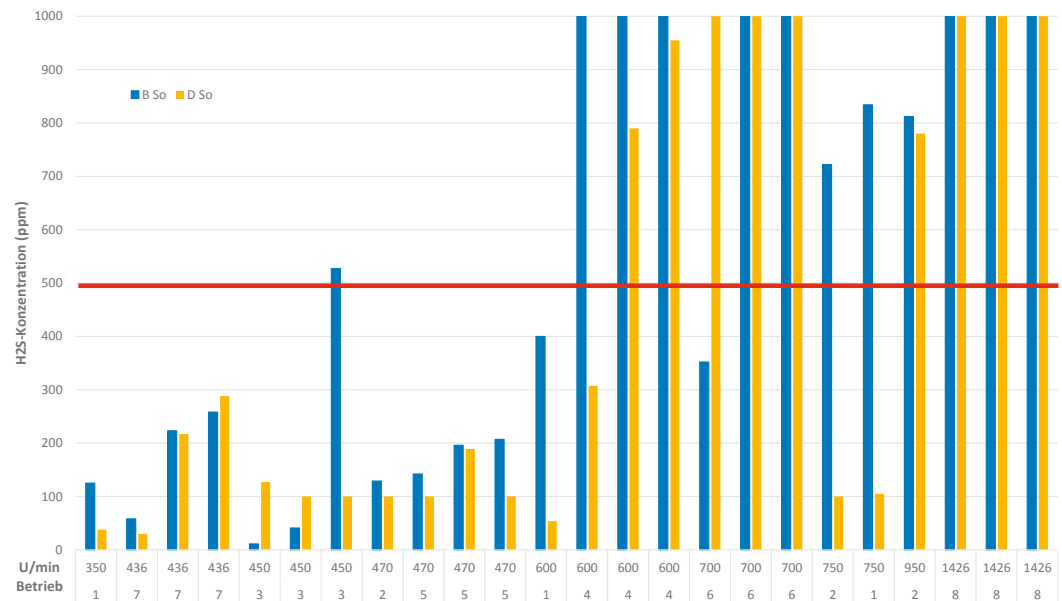


Abbildung 3  
H<sub>2</sub>S-Maximalwerte nach  
Umdrehungen pro Minute  
sortiert, Sommer,  
B = Biogasgerät,  
D = Drägergerät



24 mg/l beträgt. Die beiden weiteren Messungen hatten unauffällige H<sub>2</sub>S-Konzentrationen.

Auf dem Betrieb 6 konnte ein Vergleich der Kanäle mit und ohne Stroeintrag gemacht werden. Es zeigte sich, dass Stroh zu vermehrter H<sub>2</sub>S-Freisetzung führte. Teilweise kam es außerdem am Ende des Stalls zu deutlich höheren H<sub>2</sub>S-Konzentrationen, die sich möglicherweise über die mechanische Zerstörung der Schwimmdecke durch den Richtungswechsel des Kanals erklären lassen.

**Fazit**

- Die Praxisversuche in Mastschweinställen ergaben, dass beim Aufrühren der Gülle im Slalomsystem innerhalb der ersten 30 Minuten in 25 % (Winter) bis 50 % (Sommer) der Messtage H<sub>2</sub>S-Konzentrationen von kurzzeitig über 500 ppm erreicht wurden. Diese können lebensgefährlich für Mensch und Tier sein. Der höchste erfasste Wert betrug über 3.700 ppm.
- Eine niedrige Drehzahl des Rührwerks zum Aufrühren führt zu signifikant weniger H<sub>2</sub>S-Freisetzungen. Je höher die Rührwerksdrehzahl, desto schneller steigt die H<sub>2</sub>S-Konzentration an. Weitere Einflussfaktoren konnten bei den Versuchen nicht nachgewiesen werden. Der kritische Wert, Lebensgefahr für Mensch und Tier, lag in dieser Arbeit bei etwa 550 Umdrehungen pro Minute.

- In der Regel konnte im Sommer mehr H<sub>2</sub>S beim Aufrühren festgestellt werden als im Winter. Eine Signifikanz konnte nicht berechnet werden.
- In einem Betrieb führte ein sehr hoher Sulfatgehalt im Trinkwasser (Brunnen) der Mastschweine zu deutlich höheren H<sub>2</sub>S-Freisetzungen. Diese reduzierten sich nach Anbindung an das öffentliche Wassernetz auf eine unauffällige Konzentration.
- In einem Betrieb führte Stroeintrag in den Güllekanal ebenfalls zu erhöhten bzw. sehr hohen H<sub>2</sub>S-Konzentrationen beim Aufrühren. Diese dürften sich u. a. über die mechanische Zerstörung der Schwimmdecke erklären lassen.

Grundsätzlich sollten sich beim Aufrühren von Gülle sowohl keine Schweine als auch keine Menschen im Stallgebäude befinden, um Unfällen oder Todesfällen vorzubeugen. D.h. es sollte über die Anordnung des Slalomsystems unter den Ställen nachgedacht werden oder andere Güllelagersysteme genutzt werden. Gleichzeitig sollten die Ställe beim Aufrühren immer gut gelüftet sein.

**Literaturangaben**

Das Literaturverzeichnis und die Anschriften der Co-Autoren sind bei der Autorin erhältlich. ■



**Dr. Monika Krause**  
Universität Hohenheim  
Tel. 0711/ 459-23231  
Monika.Krause@uni-hohenheim.de