



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme, Institut für Landtechnik

# **Einfluss von „Effektiven Mikro-Organismen (EM)“ auf Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen und auf das Geruchsemissionspotential aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine**

**Endbericht**

**Dezember 2004**

**Dr. Barbara Amon**

**Dipl.-Ing. Martina Fröhlich**

**Dipl.-Ing. Vitaliy Kryvoruchko**

**Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Amon**

Im Auftrag von Multikraft GmbH

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Der Schrägbodenstall für Mastschweine.....</b>	<b>4</b>
2.1	Entwicklung des Schrägbodenstalls .....	4
2.3	Tierschutz- und verfahrenstechnisch relevante Merkmale von Schrägbodenbuchten	6
2.3.1	Trennung von Liegefläche und Kotbereich.....	6
2.3.2	Geringe Besatzdichte.....	6
2.3.3	Einstreu .....	7
2.3.4	Planbefestigte Liegefläche .....	7
2.3.5	Fütterung und Mastleistung .....	8
2.3.6	Sprühkühlung.....	8
2.3.7	Wirtschaftliche Aspekte.....	8
<b>3</b>	<b>Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine.....</b>	<b>9</b>
3.1	Material und Methode.....	9
3.1.1	Der Schrägbodenstall für Mastschweine .....	9
3.1.2	Messen der Emissionen.....	10
3.1.3	Ablauf der Versuche .....	12
3.1.4	Einsatz des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ im Schrägbodenstall für Mastschweine .....	15
3.2	Ergebnisse .....	16
3.2.1	Stall- und Außentemperatur .....	16
3.2.2	Gewichtsentwicklung der Schweine .....	16
3.2.3	Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung).....	17
3.2.4	Emissionen aus Abteil 2 (Schrappertmistung) .....	19
3.2.5	Emissionen aus Abteil 3 (Schrappertmistung) .....	20
3.2.6	Vergleich der Emissionen aus den Abteilen 1, 2 und 3 und Wirkung des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ .....	22
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>26</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>26</b>

# 1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung muss tiergerecht und umweltgerecht sein. Besonders im Bereich der Schweinehaltung wird jedoch häufig ein Widerspruch zwischen Tierschutz und Umweltschutz gesehen. Oftmals wird die Meinung vertreten, ein Haltungssystem könne entweder tierfreundlich oder umweltfreundlich sein, nicht aber beides zugleich. Verbraucher fordern zunehmend Fleisch aus tiergerechter Haltung mit Stroheinstreu, Vertreter des Umweltschutzes hingegen befürworten Flüssigmistsysteme ohne Stroh, weil sie hier geringere Emissionen erwarten. Diesen Konflikt gilt es zu lösen. Es müssen tierfreundliche Haltungssysteme für Mastschweine entwickelt werden, die geringe Emissionen von Ammoniak, Methan und Lachgas freisetzen.

In internationalen Richtlinien finden sich Emissionsfaktoren für unterschiedliche Haltungssysteme. Ammoniakemissionen werden nach den CORINAIR-Richtlinien berechnet (EMEP/CORINAIR 2002). Lachgas- und Methanemissionen müssen gemäß der „Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC 1996) berichtet werden. Die UN/ECE „Expert Group on Ammonia Abatement“ des „Executive Body for the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution“ erarbeitet ein Dokument zu „Control Techniques for Preventing and Abating Emissions of Ammonia“. Hier werden Maßnahmen vorgestellt, mit denen Ammoniakemissionen vermindert werden können. Die letzte Fassung vom Juli 2002 unterscheidet 19 verschiedene Flüssigmistsysteme für Schweine, denen jeweils eigene Emissionsfaktoren zugeordnet sind. Haltungssysteme, die Stroh verwenden, werden lediglich in zwei Kategorien eingeteilt, da die mangelnde Datengrundlage keine weitere Differenzierung erlaubt. Hier bestehen große Wissenslücken. Wegen der unzureichenden Datengrundlage werden den eingestreuten Haltungssystemen hohe Ammoniakemissionen zugeschrieben. DÖHLER ET AL. (2002) bearbeiteten in Deutschland ein umfangreiches Projekt, welches die Emissionsinventur für Ammoniak verbessern sollte. Sie unterscheiden zwei eingestreute Haltungssysteme: den Tiefstreustall und die Dänische Aufstallung. Dem Tiefstreustall werden erhöhte  $\text{N}_2\text{O}$ - und  $\text{NH}_3$ -Emissionen zugeschrieben. Die Dänische Aufstallung wird mit höheren  $\text{NH}_3$ -Emissionen bewertet. DÖHLER ET AL. (2002) weisen aber ausdrücklich auf die große Unsicherheit hin, die mit diesen Emissionsfaktoren verbunden ist. Die Datenlage zu Emissionen aus eingestreuten Haltungssystemen ist sehr gering und muss dringend verbessert werden.

Folgende tierfreundliche Haltungssysteme sind am weitesten verbreitet:

- Tiefstreu- oder Kompoststall
- Kistenhaltung
- Kotgang- bzw. Fressgangbuchten

Tiefstreuställe, die häufig in der biologischen Landwirtschaft eingesetzt werden, kommen zwar den Ansprüchen der Schweine weitgehend entgegen, sind jedoch mit gravierenden Nachteilen behaftet (BARTUSSEK 1993b). Neben negativen Aspekten wie dem hohen Strohaufwand, Verschmutzung der Tiere, Geruchsbelästigungen in den Sommermonaten, etc. wird Tiefstreuställen auch ein höheres Potential umwelt- und klimarelevanter Emissionen zugesprochen.

Im Gegensatz zum Tiefstreustall unterteilt sich der Schrägbodenstall in einen Liegebereich und einen Kotbereich (siehe Abbildung 1). Wegen der Trennung von Kot- und Liegebereich wird nur ein kleiner Teil der Bucht mit Exkrementen verschmutzt. Das Stroh auf der Liegefläche bleibt sauber und trocken. In Tiefstreusystemen, in denen Kot- und Liegefläche nicht getrennt sind, entsteht ein Stroh-Kot-Urin-Gemisch, welches beträchtliche Mengen an gasförmigen Emissionen freisetzen kann. Dieses Problem tritt im Schrägbodenstall nicht auf. Die Oberfläche im Kotbereich ist klein. Der Kotbereich kann regelmäßig mechanisch entmistet werden. Beides trägt zur Verminderung der Emissionen bei.

Der Schrägbodenstall ist ein vielversprechendes besonders tierfreundliches und praktisches Haltungssystem (BARTUSSEK ET AL. 1995, ZALUDIK 1997). Jedoch ist derzeit auf Grund fehlender Messungen unbekannt, welche Mengen an gasförmigen Emissionen aus einem Schrägbodenstall freigesetzt werden und welche Einflüsse auf den Umfang der Emissionen wirken. Dieses tierfreundliche System kann sich nur dann in der landwirtschaftlichen Praxis verbreiten, wenn belastbare Daten zu Emissionsfaktoren vorliegen. Dies bedingt hochexakte, praxisnahe Messungen, die einer internationalen Evaluierung Stand halten.

Das Institut für Landtechnik im Department für Nachhaltige Agrarsysteme der Universität für Bodenkultur Wien bearbeitete im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft das Forschungsprojekt „Messen und Mindern von Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“. Dieses Projekt wurde in enger Kooperation mit dem Forschungsprojekt „Gasförmige Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ der BAL Gumpenstein durchgeführt.

Über den ursprünglich durch das BMLFUW beauftragten Umfang hinaus wurde auch der Einfluss des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ auf die Höhe der Emissionen und auf das Geruchsemissionspotential untersucht. Es sollte geklärt werden, ob das Versprühen von EM im Schweinestall zu einer Reduktion der gasförmigen Emissionen führt.

## **2 Der Schrägbodenstall für Mastschweine**

### **2.1 Entwicklung des Schrägbodenstalls**

Die ersten Vorbilder der Schrägbodenbuchten in der Schweinehaltung wurden ab 1987 in Schottland entwickelt (BARTUSSEK 1993b) und gelangten infolge auch in anderen europäischen Ländern zur Praxisreife. Man orientierte sich dabei am bereits bekannten Tretristsystem der Rinderhaltung: Gruppenbuchten mit eingestreuter und geneigter Liegefläche. Die Mechanismen des Mistflusses in der Rinderhaltung differieren allerdings von denen der Schweinehaltung. Bei Rindern wird der Mist durch das Gewicht und den Tritt der Tiere abwärts bewegt, bei Schweinen primär durch ihre Wühlaktivität. Zudem soll die Liegefläche möglichst frei von Exkrementen gehalten werden, so muss den Schweinen ermöglicht werden, in einem anderen Bereich Kot und Harn abzusetzen. Aus diesem Grund hat sich in Österreich die Bezeichnung „Schrägbodenbuchten“ für Buchten mit geneigter Liegefläche durchgesetzt (BARTUSSEK ET AL. 1995).

In Deutschland, wo man die Bezeichnung „Schrägmist“ benutzt, werden seit 1988 werden an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode Versuche zu diesem Haltungssystem durchgeführt. Im englischen Sprachraum wurde der Begriff „Straw-Flow-System“ eingeführt, der angibt, dass das Stroh vom höheren Teil der Liegefläche nach unten „fließt“. Die ersten Untersuchungen zum Einsatz des Schrägbodensystems wurden am Centre for Rural Buildings an der Scottish Farm Investigation Unit der Universität Aberdeen durchgeführt (BRUCE 1991). Heute gilt das System in Großbritannien als Stand der Technik und wird in der Mastschweine- und Sauenhaltung sowie in der Ferkelaufzucht eingesetzt.

In Österreich werden Schrägbodenbuchten für Mastschweine seit 1990 an der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (BAL Gumpenstein) weiterentwickelt und Untersuchungen unterzogen (BARTUSSEK 1993b, BARTUSSEK ET AL. 1995, 1999). Die ersten Buchten waren als Einflächenbuchten vorgesehen, was den Nachteil mit sich brachte, dass die Schweine im Sommer relativ verschmutzt waren. Eine bessere Lösung fand sich im „System Gumpenstein“, einer Zweiflächenbucht mit angehobenem Spaltenboden am Mistgang. Nachfolgende Beschreibungen beziehen sich auf dieses Verfahren.

## 2.2 Funktionsprinzip und Struktur der Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist die Bucht so dimensioniert, dass das Verhältnis Tiefe zu Breite 1,5:1 beträgt. Das Verhältnis der Liegefläche zum Mistplatz ist 2:1. Die Buchtenumwandlungen sind im Bereich der Liegefläche dicht und am Mistgang gitterförmig ausgeführt. Der planbefestigte und eingestreute Boden der Schrägbodenbucht ist mit einer Neigung von 6-10 % versehen. An der Talseite der eingestreuten schrägen Liegefläche befindet sich eine Stufe zu einem angehobenen Spaltenboden mit Misteintrittsschlitz an der Stufenkante. Der sich darunter befindende Mistkanal kann mit Schieber oder auch nach dem Prinzip der Schwemmentmistung gereinigt werden.

Am oberen Ende der geneigten Fläche wird täglich frisches Langstroh in einer Raufe angeboten. Durch die Aktivität der Tiere wird die Einstreu in Richtung des Gefälles abwärts bewegt und gelangt so in den Mistkanal unterhalb des Spaltenbodens. Die Schweine bearbeiten das Stroh stark und zerkleinern es dabei. Der Trocken- bzw. Breifutterautomat befindet sich am oberen Ende der geneigten Fläche. Die Trinkwasserversorgung erfolgt mittels Tränkenippel, die über dem Mistgang installiert sind. Ebenfalls im Kotbereich ist eine Sprüheinrichtung angebracht, die aus einem Rohr und zwei Kegeldüsen besteht. Die Sprühanlage kann durch ein elektrisches Magnetventil mit vorgeschalteter Schaltuhr gesteuert werden, wobei die Intervalle der Sprühkühlung der jeweiligen Witterung angepasst werden können.

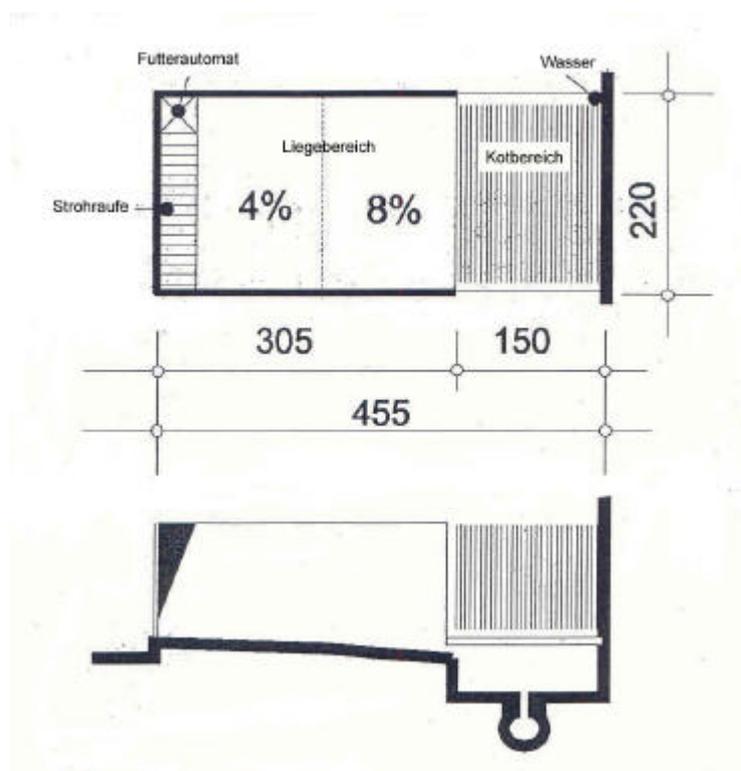


Abbildung 1. Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“ (nach Bartussek et al. 1995, 1999)

Die Besatzdichte wird so gewählt, dass pro Endmastschwein eine Buchtenfläche von 1-1,3 m<sup>2</sup> zur Verfügung steht. Abbildung 2 zeigt die Platzverteilung der Tiere in der Bucht „System Gumpenstein“ zur Anfangs- und Endmast.

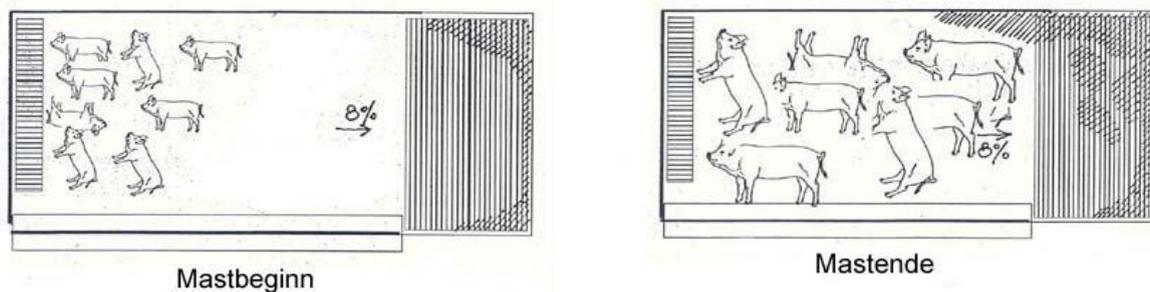


Abbildung 2. Mastschweine im „System Gumpenstein“ zu Mastbeginn und Mastende (nach Bartussek 1993b)

## 2.3 Tierschutz- und verfahrenstechnisch relevante Merkmale von Schrägbodenbuchten

Schrägbodenbuchten gelten als tierfreundliche und funktionstüchtige Alternative zu anderen gängigen Haltungssystemen für Mastschweine. Wie bereits erwähnt wurden an der BAL Gumpenstein seit 1990 zahlreiche Untersuchungen zur Schrägbodenbucht System Gumpenstein durchgeführt (BARTUSSEK 1993b, BARTUSSEK ET AL. 1995, 1999, ZALUDIK 1997). Nachfolgend werden die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen sowie die wesentlichsten tierschutz- und verfahrenstechnisch relevanten Merkmale von Schrägbodenbuchten erläutert und dargestellt.

### 2.3.1 Trennung von Liegefläche und Kotbereich

Schweinen ist eine starke Abneigung gegen die eigenen und arteigenen Exkremente angeboren. Sie nehmen bei der Kot- und Harnabgabe eine gekrümmte Haltung mit gespreizten Beinen ein, die eine Eigenverschmutzung verhindert (ZERBONI & GRAUVOGL 1984). Auch legen Schweine ihre Kotplätze naturgemäß möglichst weit entfernt von ihrem Liege- bzw. Aktivitätsbereich an (STOLBA 1983, WECHSLER 1997). Die Entfernung des Kotplatzes wird von den Tieren so gewählt, dass eine bestimmte Mindestdistanz eingehalten wird. Diesem arteigenen Bedürfnis gehen sie auch in Haltungssystemen nach. Dies können sie natürlich nur dann tun, wenn es die Gestaltung der Bucht zulässt, die verschiedenen Funktionsbereiche zu trennen. Durch die deutliche Trennung von Liegefläche und Kotbereich im System Gumpenstein können die Schweine ihrem artgemäßen Ausscheidungsverhalten nachgehen und dieses kann auch verfahrenstechnisch genutzt werden. In Untersuchungen von BARTUSSEK ET AL. (1995) und ZALUDIK (1997) konnte festgestellt werden, dass die Schweine von Beginn an den angehobenen Spaltenboden als Kotbereich annehmen. Daraus resultiert eine geringe Buchten- und Tierverschmutzung.

### 2.3.2 Geringe Besatzdichte

Die Ermöglichung der nötigen Individualdistanz (Platzangebot) wirkt sich auf alle Verhaltensbereiche der Schweine positiv aus. So können dadurch arttypische Verhaltensweisen aller Funktionskreise überhaupt erst ausgeführt werden. Beispielsweise können die Tiere bei zu dichtem Besatz keine Kotplätze anlegen, da die erforderliche Mindestdistanz zum Liegebereich unterschritten wird und so ein wichtiger Anlass zur Einhaltung des Kotplatzes entfällt (ZERBONI & GRAUVOGL 1984). Eine hohe Besatzdichte bedingt auch ein höheres Aggressi-

onsniveau, was vor allem auf die räumliche Enge zurückzuführen ist. In Schrägbodenbuchten ist eine Gesamtbuchtenfläche pro Endmastschwein von 1-1,3 m<sup>2</sup> vorgesehen. Den Tieren wird so ein ihren Ansprüchen nachkommendes Platzangebot eingeräumt.

### 2.3.3 Einstreu

Hausschweine sind insbesondere nach der Fütterung stark motiviert ihre Umwelt zu erkunden und zu bearbeiten. Um diesem Bedürfnis nachzukommen, müssen Schweine aller Altersklassen Zugang zu geeigneten Beschäftigungsmaterialien (Stroh und andere organische Materialien) haben (WECHSLER 1997). Es ist auch bekannt, dass die Verhaltensstörungen Schwanz- und Ohrenbeißen gehäuft in strohlosen Haltungssystemen auftreten. Der Grund hierfür liegt darin, dass Schweine aus Mangel an Beschäftigungsmöglichkeit ihr Erkundungsverhalten an den Körper ihrer Buchtgenossen umorientieren (FRASER ET AL. 1991 zitiert in BARTUSSEK 2001), was schwerwiegende Folgen und wirtschaftliche Einbußen für den Landwirt zur Folge haben kann.

Nach BARTUSSEK (1995) ergeben sich folgende Prioritäten für die Bereitstellung von Beschäftigungsmaterial:

- mittelgroß strukturiertes Material ist günstiger als fein oder sehr grob strukturiertes
- Material, das sich zerkleinern lässt ist günstiger als nicht oder kaum zerstörbares
- organisches Material ist günstiger als anorganisches (ausgenommen Erde)
- täglich frisch verabreichtes Material ist günstiger als solches, das länger in der Bucht vorhanden ist.

Diesen Anforderungen kommen Schrägbodenbuchten nach, da den Tieren am oberen Ende der Bucht Langstroh in einer Raufe angeboten wird. Das Stroh wird aus den Rauten intensiv herausgearbeitet, bearbeitet, zerbissen, verteilt sich am Boden und wird in Richtung des Gefälles verschoben. Im Laufe des Tages verschwindet das von den Tieren zerkleinerte Stroh durch den Mistschlitz in den Kanal unter dem Spaltenboden. Wichtig ist, dass die Materialien regelmäßig erneuert werden, da das Erkundungsverhalten durch Neureize besonders stark angeregt wird.

ZALUDIK (1997) untersuchte Zweiflächen-Schrägbodenbuchten nach dem System Gumpenstein jeweils ohne und mit Einstreu. Bei letzteren Verfahren wurde 50 bzw. 100 g Langstroh/ Tier und Tag täglich frisch angeboten. Die Autorin konnte keinen Unterschied zwischen 50 und 100 g Stroh in Bezug auf die Dauer des strohgerichteten Verhaltens finden. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine tägliche Strohgabe von wenigstens 50 g Langstroh je Tier und Tag ausreichend ist. Diese strohsparende Variante ermöglicht eine Flüssigentmischung und mindert die Pumpfähigkeit nicht.

Der Arbeitsaufwand der Stroheinbringung in die Rauten wurde von (BARTUSSEK & GEISBERGER 1998) untersucht. Es ergab sich ein Arbeitsaufwand pro erzeugtes Mastschwein von 7 min. Dieser Wert inkludiert auch Transport und Aufbereitung des Strohs. Es muss auch berücksichtigt werden, dass der Zeitpunkt der Strohgabe in die Rauten eine ideale Möglichkeit der Tierkontrolle in der Bucht darstellt.

### 2.3.4 Planbefestigte Liegefläche

Schweine bevorzugen eine weiche Liegefläche an einem ruhigen, nicht zu hellen, zugfreien Platz. Einstreu wird mehr geschätzt als unbedeckter Boden und ein geschlossener Boden wird bei Wahlmöglichkeit einem perforierten vorgezogen (SAMBRAUS 1991). Das Ruheverhalten bei Schweinen weist einen großen Anteil am Gesamtverhalten und spielt außerdem

eine zentrale Rolle für das physische und psychische Gleichgewicht eines Organismus. Können Schweine ihr artspezifisches Ruheverhalten in Haltungssystemen ausleben, äußert sich dies in der Einnahme spezifischer Ruhelagen. Bei ausreichendem Platzangebot und angenehmer Liegefläche nehmen Schweine die gestreckte Seitenlage ein, die als Zustand vollkommener Entspannung anzusehen ist. In intensiven Haltungssystemen trifft man häufig Schweine in Hundesitzigkeit an, eine Konflikthaltung, die die Tiere u. a. auf voll perforierten Böden einnehmen (HÖRNING 1999). Um den Schweinen ein artgemäßes Ruheverhalten zu ermöglichen, ist die gesamte Liegefläche im System Gumpenstein planbefestigt und weist dichte Buchtenumwandungen auf.

### 2.3.5 Fütterung und Mastleistung

Das Nahrungsaufnahmeverhalten bei Schweinen ist eng mit den Verhaltensweisen der Erkundung und Lokomotion verknüpft. Mithilfe ihrer tastempfindlichen Rüsselscheibe erschnuppern und ertasten sie ihre Umgebung, auf der Suche nach potentiell Futter, das sie durch Bearbeitung aufbereiten (HÖRNING 1999). In Schrägbodenbuchten wird den Tieren trockenes oder breiiges Futter ad libitum an einem Futterautomaten angeboten. Um dem ausgeprägten Nahrungsaufnahmeverhalten der Schweine gerecht zu werden, wird von restriktiver Fütterung weitgehend abgesehen.

BARTUSSEK ET AL. (1992) untersuchten die Mastleistung von Schweinen auf Vollspalten und Schweinen in dänischen Buchten mit Stroh. Die Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz von Einstreu die Mastleistung grundsätzlich gesteigert wird. Nach BARTUSSEK ET AL. (1999) zeichnete sich dies auch in Untersuchungen bei Schrägbodenbuchten ab. Jedoch erlaubt der geringe Versuchsumfang keine statistische Absicherung der Ergebnisse.

### 2.3.6 Sprühkühlung

Die Haut von Schweinen weist keine Schweißdrüsen auf, auch die Fettschicht unter der Haut vermindert die Wärmeabgabe, wodurch die Tiere unter der Hitzebelastung im Sommer sehr leiden (HÖRNING 1999). Für die Milderung der Hitzebelastung werden den Schweinen im System Gumpenstein „Schweineduschen“ angeboten. Diese befinden sich oberhalb des angehobenen Mistplatzes. Bei richtiger Auslegung und angepasstem Betrieb über die heißen Tagesstunden im Sommer stellt die Sprühkühlung ein gutes Instrument zum Abbau des thermischen Stresses der Tiere dar (BARTUSSEK ET AL. 1995). ZALUDIK (1997) berichtet, dass die Sprühkühlung eine eindeutige Wirkung erzielte. So war der „Vertreibungseffekt“ der auf dem Spaltenboden (Kotplatz) liegenden Tiere gegeben. Somit verringert eine einfache Sprühkühlung mit geringem Wasserverbrauch die Buchten- und Tierverschmutzung und dient dem Wohlbefinden der Tiere an heißen Tagen.

### 2.3.7 Wirtschaftliche Aspekte

Nach BARTUSSEK & GEISPERGER (1998) liegen die Baukosten für Schrägbodenbuchten trotz des um etwa 40 % größeren Flächenangebotes nicht höher als bei konventionellen Vollspaltenbuchten. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass Schrägbodenbuchten in Altställen errichtet werden können und somit kein Neubau erforderlich ist. In den Untersuchungen von BARTUSSEK (1993a) wurden folgende sehr guten Tierleistungen ermittelt: Die Mastdauer lag zwischen 79,5 und 87,5 Tagen, die täglichen Zunahmen zwischen 788 und 895 g und die Futtermittelverwertung zwischen 2,64 und 2,88 kg/kg.

### **3 Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mast-schweine**

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes wurden Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine gemessen. Der Einfluss des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ auf den Umfang der Emissionen wurde untersucht.

#### **3.1 Material und Methode**

##### **3.1.1 Der Schrägbodenstall für Mastschweine**

Die Emissionsmessungen wurden auf dem Betrieb der Familie Kasinger in Weng im Innkreis durchgeführt. Der Betrieb hat drei baulich getrennte Stallabteile. Jedes Abteil beherbergt 16 Mastbuchten mit je 10 – 12 Tieren. Je acht Mastbuchten sind links und rechts von einem zentralen Futtergang angeordnet. Jede Zweiflächen-Schrägbodenbucht ist in drei Bereiche unterteilt. Der obere Teil der planbefestigten Liegefläche mit einer Länge von 1,60 m weist ein Gefälle von 3 % auf, der untere Teil, welcher ebenfalls 1,60 m lang ist, hat ein Gefälle von 8 %. Die Länge des angehobenen Spaltenbodens beträgt 1,50 m. Dies ergibt eine Gesamttiefe der Bucht von 4,70 m. Die Breite beträgt 2 m, so dass rund 1 m<sup>2</sup> Buchtenfläche pro Tier zur Verfügung steht. An der Längsseite ist über die gesamte planbefestigte Fläche ein Doppelquertrog mit 35 cm Länge pro Tier angebracht, in dem von jeweils 2 Buchten aus gefressen werden kann. Alle Tiere können gleichzeitig fressen, was eine wichtige Anforderung an ein tiergerechtes Haltungssystem ist. Damit auch kleinere Tiere in der unteren Hälfte der Bucht in den Trog reichen, ist unterhalb davon eine 10 cm breite Stufe eingebaut. Durch das Gefälle beträgt ihre Höhe am oberen Rand 0 cm und steigt bis zum unteren Ende auf 18 cm. Die Liegefläche ist von einer dichten Buchtenwand aus Holz umgeben. Im Kotbereich ist durch gitterförmige Abtrennungen ein freier Blick in die Nachbarbuchten gegeben. BARTUSSEK (1993a) gibt an, dass beim angehobenen Spaltenboden die Liegefläche bis 10 cm unter die Spaltenvorderkante gezogen werden kann, was eine Verletzungsgefahr weitgehend ausschließt. Der Misteintrittsschlitz muss über die ganze Buchtenbreite reichen und 10 -12 cm lichte Höhe aufweisen. An der hinteren Wand über dem Spaltenboden befindet sich eine Nippeltränke.

Über dem Kotbereich sind zwei Kegeldüsen angebracht, die nur den Spaltenboden mit fein zerstäubtem Wasser besprühen. Die Düsen weisen einen Durchfluss von 0,8 l/min bei 3 bar Leitungsdruck auf. Bei entsprechend hoher Temperatur schalten sich die Duschen in einem Intervall von 2 Stunden ein und zwar beginnend um 9 Uhr bis um 21 Uhr. Die Einschaltdauer beträgt dabei 3 Minuten und es werden etwa 5 l Wasser versprüht. Der positive Effekt macht sich auch in der guten Staubbinding und der höheren Luftfeuchtigkeit bemerkbar.

An der bergseitigen Buchtenwand ist die Strohraufe befestigt. Hier werden täglich 50 g Langstroh pro Tier zur Verfügung gestellt. Die Tiere nehmen dieses Stroh aus den Raufen und bearbeiten es intensiv. Dabei wird das Stroh stark zerkleinert und zum Güllekanal transportiert, der sich am unteren Ende der Bucht befindet. Durch die relativ geringe Strohmenge und die starke Zerkleinerung kann in diesem Schrägbodenstall trotz Verwendung von Einstreu Flüssigmist erzeugt werden.

Die Abteile sind über einen zentralen Abluftkamin zwangsentlüftet. Die Lüftung wird automatisch gesteuert und ist so eingestellt, dass eine möglichst konstante Innentemperatur gehalten wird. Die Zuluft gelangt über eine Porendecke in den Stall. Zwei Stallabteile werden zweimal täglich mechanisch mittels Schrapper unterflur entmistet. Das dritte Abteil hat ein Schwemmentmistungssystem. Die Schweine in einem Abteil sind jeweils etwa gleich alt.

Zwischen den Stallabteilen variieren Alter und Gewicht der Schweine. Dadurch können die Emissionen von unterschiedlich schweren Mastschweinen bei gleicher Witterung und sonst gleichen Bedingungen gemessen werden. Der Einfluss des Gewichtes auf den Umfang der Emissionen kann ermittelt werden.

Die Schweine werden flüssig gefüttert. Das Futter besteht zu 54 % aus Mais, 21,7 % aus Getreide, 21,5 % aus Soja und 2,8 % aus einer Mineralstoffmischung. Die Futterzusammensetzung bleibt während der gesamten Mastdauer konstant.

### 3.1.2 Messen der Emissionen

Die Emissionsmessungen wurden mit der Messtechnik des Institutes für Landtechnik (ILT) durchgeführt. Die Messeinrichtung wurde am ILT entwickelt, ist international evaluiert und hat sich bereits in mehreren Forschungsprojekten bewährt.

Im zentralen Abluftschacht des jeweiligen Stallabteils wurde die Gasprobe entnommen und von einer Pumpe durch einen beheizten Schlauch den Gasanalysatoren (FTIR und TOC-Analysator) zugeführt. Der Schlauch muss beheizt sein, um ein Auskondensieren des Ammoniaks während des Transportes der Probe zum FTIR zu vermeiden. Würde Ammoniak im Abluftschlauch auskondensieren, so ergäbe sich eine erhebliche Verfälschung der Messwerte. Im Abluftschacht wurde ebenfalls kontinuierlich der Luftvolumenstrom gemessen. Aus dem Produkt von Gaskonzentration und Luftvolumenstrom errechnet sich die emittierte Menge an Gasen. Die Messungen wurden über ein Computer-Makro gesteuert und liefen kontinuierlich, Tag und Nacht.

Zusätzlich zu den gasförmigen Emissionen wurden innerhalb und außerhalb des Stalles Klimadaten gemessen.

**FTIR Spektrometer.** Die Umweltwirkung von Tierhaltungssystemen kann nur dann umfassend beurteilt werden, wenn ein ganzheitlicher Bewertungsansatz verfolgt wird. Das bedeutet, alle Gaskomponenten, die eine negative Umweltwirkung haben, müssen gleichzeitig betrachtet werden. Mit der FTIR Spektroskopie ist es möglich, die Konzentrationen von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  hoch exakt online unter Praxisbedingungen zu messen.

Die FTIR Spektroskopie beruht auf dem Prinzip, dass Gase infrarotes Licht in für sie charakteristischen Wellenlängenbereichen absorbieren. Dadurch kann die Konzentration mehrerer Gase mit nur einem Messgerät erfasst werden. Jedes IR Spektrum enthält die Information aller Gase, die Licht zwischen einer IR Quelle und einem Detektor absorbiert haben.

Abluft aus Stallungen und von Lagerstätten für Wirtschaftsdünger ist eine Mischung aus bis zu 200 verschiedenen Gaskomponenten. Um Querempfindlichkeiten zwischen diesen Gasen zu vermeiden, die zu falschen Konzentrationswerten führen würden, muss das verwendete FTIR Spektrometer ein hohes Auflösungsvermögen haben. Das in den Messungen verwendete Spektrometer hat ein Auflösungsvermögen von  $0,25 \text{ cm}^{-1}$ . Es wird mit einer Gaszelle betrieben, in der die Spiegel nach White angeordnet sind. Die optische Pfadlänge beträgt 8 m. Die Nachweisgrenze für  $\text{NH}_3$  beträgt 0,5 ppm. Für  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  liegt sie im Bereich der atmosphärischen Hintergrundkonzentration dieser Gase oder darunter. Die mit dem FTIR Spektrometer aufgenommenen Absorptionsspektren werden mit multivariaten Kalibriermethoden ausgewertet.

**Gesamtkohlenwasserstoffanalysator.** Die organischen Spurengasemissionen (TOC = total organic carbons) wurden als Summenparameter mit einem Gesamtkohlenwasserstoffanalysator (J.U.M Engineering®, Gesamtkohlenwasserstoff Analysator Model VE 7) gemessen. Der Analysator hat einen Flammenionisationsdetektor, der flüchtige organische Substan-

zen im Messgas misst. Mittels einer Gaspumpe wird ständig Messgas in eine Brennkammer geführt, die eine sehr kleine Wasserstoffflamme beinhaltet. Die Brennkammer ist auf 190°C geheizt. Die Kohlenwasserstoffe werden aufgespalten und erzeugen elektrisch aktive Kohlenstoffionen, die in einem elektrischen Feld einen geringen Ionenstrom bewirken. Die Stärke des Ionenstroms ist abhängig von der Menge an oxidierten Kohlenwasserstoffen. Der im Detektor erzeugte Ionenstrom wird dem Elektrometerverstärker zugeführt und als Analogsignal in Form einer Gleichspannung am Gerätedisplay angezeigt sowie in einem Datalogger (Keithley ®Integra Hochleistungs – DMM – Datenerfassungssystem Modell 2700 mit 20 Kanal Multiplexer Modell 7700) alle 5 Minuten abgespeichert. Der TOC-Analysator wird jeden zweiten Tag mit einem Nullgas (N<sub>2</sub>) und einem Prüfgas (CH<sub>4</sub>) kalibriert. Mit der Kalibrierung kann die ausgegebene Gleichspannung direkt in eine Konzentrationsangabe in ppm umgerechnet werden.

Der TOC-Gehalt in der Abluft kann als Indikator für das Potential für Geruchsemissionen herangezogen werden. Je höher der TOC-Gehalt, desto höher ist das Potential für Geruchsemissionen.

**Computerprogramm für die Datenaufnahme.** Ein Computerprogramm ermöglicht die kontinuierliche Messung der Gaskonzentrationen. Das Programm kontrolliert einen Messstellenumschalter und das FTIR Spektrometer. Es startet mit der Analyse der Gaskonzentrationen in der Zuluft. Zuluft wird mit einem Durchsatz von rund 1 l/min durch die Gaszelle des FTIR Spektrometers und des TOC-Analysators gesaugt. Für die Gaskonzentrationsanalyse wird drei Mal die Zuluft gemessen. Anschließend öffnet das Computerprogramm das Abluftventil. Die Gaszelle des FTIR und der TOC-Analysator werden 10 Minuten lang mit Abluft gespült, dann wird wieder dreimal die Gaskonzentration bestimmt. Nun startet das Programm wieder die Zufuhr von Zuluft. Dieser Zyklus wird kontinuierlich wiederholt, so lange, bis das Programm von Hand gestoppt wird.

**Berechnung der Emissionsrate.** Die Emissionsrate (g/h) wird berechnet durch Multiplikation von Gaskonzentration (g/m<sup>3</sup>) und Luftwechselrate im zentralen Abluftkamin (g/m<sup>3</sup>). Das FTIR Spektrometer gibt die Gaskonzentrationen in ppm an. Diese Einheit muss in g/m<sup>3</sup> umgerechnet werden. Dazu muss das molare Volumen der Gase bekannt sein, das u.a. vom Luftdruck und von der Temperatur abhängig ist. Die Temperatur in den Gasleitungen und in der Gaszelle wurde konstant auf 45 °C gehalten. Der Luftdruck wurde stündlich gemessen und zur Berechnung der Gaskonzentrationen herangezogen.

Gaskonzentrationen wurden abwechselnd in der Zuluft und in der Abluft gemessen. Die Emissionsrate ergibt sich aus der Differenz zwischen Zuluft- und Abluftkonzentration multipliziert mit der Luftwechselrate.

**Mobiles Büro.** Online Messungen in der Praxis sind nur dann möglich, wenn die Messgeräte und der Computer vor Ort installiert werden. Das ILT richtete deshalb ein „mobiles Büro“ ein, das in einem Anhänger untergebracht ist. Es kann am jeweiligen Ort der Emissionsmessungen aufgebaut werden. Der Anhänger beherbergt einen Schreibtisch, den Computer, das FTIR Spektrometer, den TOC-Analysator, den Messstellenumschalter und die Datalogger zur Aufzeichnung der Flüssigmisttemperatur und der Luftwechselrate (Abb. 3).

Das FTIR Spektrometer ist geschützt in der hinteren Ecke des Anhängers untergebracht und durch eine Holzkiste vor Staub und Schmutz geschützt. Die Gaszelle und die Probenahmeleitungen werden mit einer Heizung auf 45 °C temperiert. Der Messstellenumschalter steht in der Nähe des FTIR Spektrometers. Das Innere des Spektrometers muss kontinuierlich mit trockener und CO<sub>2</sub>-freier Luft gespült werden. Hierfür ist der Adsorptionstrockner zuständig, der neben der Eingangstüre steht. Der erforderliche Luftdruck im Trockner wird

durch einen Kompressor erzeugt, der außerhalb des Anhängers steht. Der TOC Analysator steht auf einem Tisch im hinteren Bereich des Anhängers. Hier befinden sich Kalibriergase und reiner Stickstoff, der für die regelmäßige Spülung der Gaszelle benötigt wird.

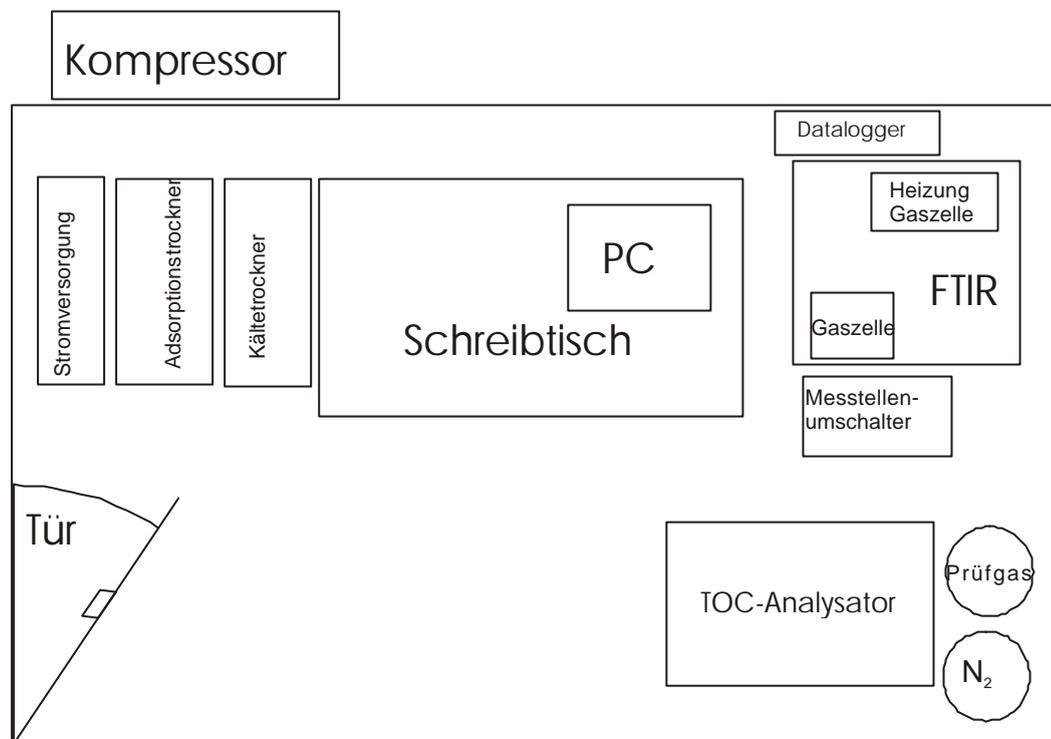


Abbildung 3. Mobiles Büro für die Bestimmung von NH<sub>3</sub>-, N<sub>2</sub>O-, CH<sub>4</sub>- und TOC-Emissionen unter Feldbedingungen.

### 3.1.3 Ablauf der Versuche

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Ablauf der Versuche am Schrägbodenstall für Mast Schweine. Vor dem Beginn der Versuche war die Messeinrichtung des ILT an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf im Einsatz. Hier wurde sie am 07.07.2003 abgebaut und transportsicher verpackt. Mitarbeiter der BAL Gumpenstein unterstützten das ILT beim Transport der Messeinrichtung zum Schrägbodenstall für Mast Schweine. Dort wurde die Messeinrichtung noch am gleichen Tag wieder aufgebaut. Dies war erforderlich, da das FTIR Spektrometer ein sensibles Messinstrument ist, welches nur eine kurzzeitige Außer-Betriebnahme verkraftet. Es muss stets mit trockener und CO<sub>2</sub>-freier Luft gespült werden, um Kondensationen am Strahlteiler zu vermeiden. Der Laser des FTIR Spektrometers muss kontinuierlich eingeschaltet sein, um eine gleichbleibende Strahlungsintensität zu gewährleisten.

Der Aufbau der Messeinrichtung wurde gemeinsam von Mitarbeitern des ILT und der BAL Gumpenstein durchgeführt. Auch Familie Kasinger stand helfend zur Seite. Zunächst musste das mobile Büro des ILT wieder eingeräumt werden. Kompressor und Adsorptionstrockner wurden installiert. Anschließend wurden die Probenahmeschläuche für Zuluft und Abluft verlegt. Hierzu musste an den Abluftkaminen der drei Stallabteile eine Vorrichtung für die Probenahme der Abluft geschaffen werden. Die BAL Gumpenstein installierte die Volumenstrommessung in den Abluftkaminen und die Klimaaufzeichnung in den drei Stallabteilen und außerhalb des Stalles.

Tabelle 1. Zeitplan der Emissionsmessungen an einem Schrägbodenstall für Mastschweine

<i>Datum</i>	<i>Tätigkeit</i>
07.07.2003	Transport der Messeinrichtung des ILT von der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf zum Schrägbodenstall für Mastschweine in Wenig / Innkreis Aufbau der Messeinrichtung in Wenig / Innkreis
08.07.2003 bis 13.07.2003	Probemessungen am Schrägbodenstall für Mastschweine
14.07.2003 bis 20.04.2004	Kontinuierliche Emissionsmessungen am Schrägbodenstall für Mastschweine; 24 Stunden Messung pro Tag Messrhythmus: 2 Tage Abteil 1 – 2 Tage Abteil 2 – 2 Tage Abteil 3
21.04.2004	Abbau der Messeinrichtung am Schrägbodenstall für Mastschweine in Wenig / Innkreis und Rücktransport nach Groß-Enzersdorf

Am 08.07.2003 begannen die Probemessungen am Schrägbodenstall für Mastschweine. Es wurde ein Überblick über die Höhe der Emissionen und deren Variabilität im Tagesverlauf gewonnen. Die Daten wurden sofort ausgewertet und auf ihre Plausibilität geprüft.

Ab dem 14.07.2003 konnte mit den eigentlichen Emissionsmessungen begonnen werden. Die Emissionen wurden ohne Pause, 24 Stunden am Tag, bis zum 20.04.2004 gemessen. Die Datenauswertung erfolgte laufend, um stets einen Überblick über das Emissionsgeschehen zu haben und im Falle von Störungen sofort eingreifen zu können. Neben den Emissionen wurden Luftdurchsatz und Klimawerte kontinuierlich aufgezeichnet. Das Gewicht der Schweine wurde wöchentlich notiert. Hierzu stellte Herr Kasinger seine Computer-Aufzeichnungen zur Verfügung.

Der Abluftschlauch wurde alle zwei Tage zwischen den drei Abteilen gewechselt, so dass jedes Abteil mindestens einmal pro Woche für 48 Stunden beprobt wurde. Mit dem gewählten Design konnten zu jeder Jahreszeit (kalte, gemäßigte, warme Temperaturen) und bei jedem Gewichtsabschnitt (geringes, mittleres, hohes Gewicht) Emissionen gemessen werden. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Höhe der Emissionen konnten so erfasst werden. Im Anhang ist der Versuchsplan im Detail angeführt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt Emissionen an den drei Abteilen gemessen wurden, wie lange die jeweiligen Messperioden gedauert haben und welcher Zeitraum zwischen zwei Messperioden am gleichen Abteil lag.

Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, wurde beim FTIR Spektrometer dreimal wöchentlich ein Backgroundspektrum aufgenommen. Es ist die Grundlage für die Gaskonzentrationsanalysen und muss regelmäßig aktualisiert werden. Auch der FID wurde dreimal wöchentlich kalibriert. Diese Routinearbeiten wurden zweimal pro Woche von Herrn Kasinger durchgeführt, der für diese Arbeiten vom ILT eingeschult worden war. Einmal wöchentlich fuhr eine Mitarbeiterin der BAL Gumpenstein nach Wenig / Innkreis, um Background und Kalibration vorzunehmen. Mitarbeiter des ILT waren ebenfalls regelmäßig in Wenig / Innkreis, um die Messungen zu betreuen. Zusätzlich wurden die gewonnenen Daten mehrmals wöchentlich per E-Mail an das ILT übermittelt und dort sofort auf Plausibilität geprüft. Diese intensive Betreuung stellte sicher, dass es nur zu sehr kurzen Messausfällen kam und fast alle gewonnenen Daten auch für die endgültige Auswertung heran gezogen werden konnten. Dies ist in anderen Arbeiten häufig nicht der Fall. Bei Emissionsmessungen in der Praxis muss

man üblicherweise mit einem Datenverlust von 40 – 70 % rechnen (GALLMANN 2003, BROSE 2000, RATHMER 2002, NIEBAUM 2001).

Am 21.04.2004 wurde die Messeinrichtung des ILT wieder abgebaut und zurück an die Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf gebracht. Auch hier wurde das ILT von Mitarbeitern der BAL Gumpenstein intensiv unterstützt.

Tabelle 2 zeigt die Eckdaten der Versuchsbedingungen während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall. Zwei unterschiedliche Entmistungssysteme wurden untersucht: Schwemmentmistung (Abteil 1) und Schrappentmistung (Abteile 2 und 3). Zusätzlich wurde über das ursprünglich geplante Versuchsprogramm hinaus die Wirkung des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ auf den Umfang der Emissionen untersucht. Details hierzu finden sich in Kapitel 3.1.4. Für die Auswertung wurde die gesamte Messzeit in drei Perioden eingeteilt, deren Ergebnisse miteinander verglichen werden können.

Tabelle 2. Eckdaten der Versuchsbedingungen während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall

	<i>Schwemmentmistung</i> Abteil 1	<i>Schrappentmistung</i> Abteile 2 und 3
<i>Periode_1</i>		
Datum	Juli bis Okt. 2003	Juli bis Nov. 2003
Gewicht [kg/Schwein]	47,5 – 110,0	31,0 – 110,0
Mittlere Stalltemperatur [°C]	23,5	22,6
Mittlere Außentemperatur [°C]	16,8	13,7
<i>Periode_2</i>		
Datum	Okt. 2003 bis Feb. 2004	Nov. 2003 bis März 2004
Gewicht [kg/Schwein]	30,0 – 110,0	31,0 – 110,0
Mittlere Stalltemperatur [°C]	20,9	20,4
Mittlere Außentemperatur [°C]	1,6	0,5
EM Zusatz	Jan. bis Feb. 2004	Kein Zusatz
<i>Periode_3</i>		
Datum	März bis April 2004	April 2004
Gewicht [kg/Schwein]	31,0 - 65,0	31,0 – 40,0
Mittlere Stalltemperatur [°C]	20,8	21,7
Mittlere Außentemperatur [°C]	6,4	9,3
EM Zusatz	März bis April 2004	Kein Zusatz

Die erste Messperiode fand unter warmen bis mäßig warmen Bedingungen von Juli bis November 2003 statt. Sie umfasst eine gesamte Mastperiode. Die Stallinnentemperatur war in den Abteilen mit Schwemmentmistung und Schrappentmistung ähnlich hoch und betrug im Mittel rund 23 °C. Die mittlere Außentemperatur betrug in diesem Zeitraum rund 15 °C.

Die zweite Periode erstreckte sich über die Winterperiode von Oktober 2003 bis März 2004. Trotz deutlich niedrigerer Außentemperatur lag die Stallinnentemperatur nur um rund 3

°C unter der in Periode\_1 gemessenen. Im Abteil mit Schwemmentmistung (Abteil 1) wurde von Januar bis Februar 2004 der Flüssigmistzusatz EM eingesetzt (siehe Kap. 3.1.4).

In der dritten Periode von März bis April 2004 wurden Emissionen von jungen Mastschweinen gemessen. Die mittlere Stalltemperatur betrug rund 21 °C, die mittlere Außentemperatur lag zwischen 6 und 9 °C. Während der gesamten Periode\_3 wurde im Abteil mit Schwemmentmistung der Zusatz „EM“ eingesetzt.

### 3.1.4 Einsatz des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ im Schrägbodenstall für Mastschweine

Das Zusatzmittel „Effektive Mikroorganismen (EM)“ wird im Bereich der Tierhaltung zur Reduzierung von Geruch, Ammoniak und klimarelevanten Gasen im Stall und/oder bei der Wirtschaftsdüngerlagerung eingesetzt. EM enthält die in Tabelle 3 angeführten Mikroorganismen verschiedener Typen und Spezies (nach YAGI EM Research Organisation, Inc., KNEIFEL 2003).

Tabelle 3. Identifizierte Mikroorganismen in EM

<i>Mikroorganismen</i>	<i>Spezies / Stoffwechsel</i>
Milchsäure Bakterien (Lactic Acid Bacteria)	Lactobacillus plantarum Lactobacillus casei → homofermentativ; hauptsächlich Milchsäure aus Zucker
Schwefel; Nicht-Schwefel-Purpurbakterien	Rhodopseudomonas palustris → photohetero-, photoautotroph; oxidieren Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel
Obergärige Hefe	Saccharomyces cerevisiae → Ethanol aus Zucker; aerob-anaerob-Wechsel
Schimmelpilze	Zellulose-Lignin-Abbau
Andere MO	Ubiquitäre MO, die in natürlicher Umgebung unter pH 3,5 vorkommen

Die Firma Multikraft Gesellschaft mbH finanzierte Versuche, welche die Wirkung von EM auf Emissionen aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine klären sollten. So konnte eine weitere hoch aktuelle Versuchsfrage im laufenden Forschungsprojekt bearbeitet werden.

Die Wirkung von EM wurde in Abteil 1, dem Abteil mit Schwemmentmistung geprüft. Damit die in EM enthaltenen Mikroorganismen eine optimale Wirkung im Stall entfalten können, muss EM als wässrige Lösung im gesamten Stall versprüht werden. In dem untersuchten Schrägbodenstall war EM zuvor noch nie zum Einsatz gekommen. Deshalb wurde zu Beginn der Versuche, am 03.01.2004, eine Lösung mit erhöhter EM-Konzentration versprüht. 7 Liter EM wurden mit 7 Liter Wasser vermischt und täglich im Stall versprüht. Ab dem 21.01.2004 wurde die täglich versprühte Menge auf 4 Liter EM in 4 Litern Wasser reduziert.

Ab dem 08.03.2004 wurde zusätzlich zum versprühten EM noch EM-FKE dem Flüssigfutter der Schweine zugesetzt. 3 Liter EM wurden in 1000 Liter Futtersuppe gemischt und

über 3 Mahlzeiten am Tag verteilt gefüttert.

## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Stall- und Außentemperatur

In allen drei Stallabteilen wurde an jeweils zwei Messstellen und außerhalb des Stalles an einer Messstelle stündlich Temperatur und relative Luftfeuchte gemessen. Die aufgezeichneten Daten wurden zu Tagesmittelwerten zusammengefasst. Die mittleren Tagestemperaturen sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Außentemperatur variierte im Jahresverlauf stark. Im Sommer wurden an einigen Tagen Werte von über 25 °C erreicht. Im Winter sank die Außentemperatur auf –10 °C ab. Aufgrund der temperaturgesteuerten Stallentlüftung spiegelten sich die Schwankungen der Außentemperatur kaum in der Stalltemperatur wider. Die Stalltemperaturen zeigten nur geringe Schwankungen. In den heißen Sommermonaten waren sie um rund 5 °C höher als in den kalten Wintermonaten.

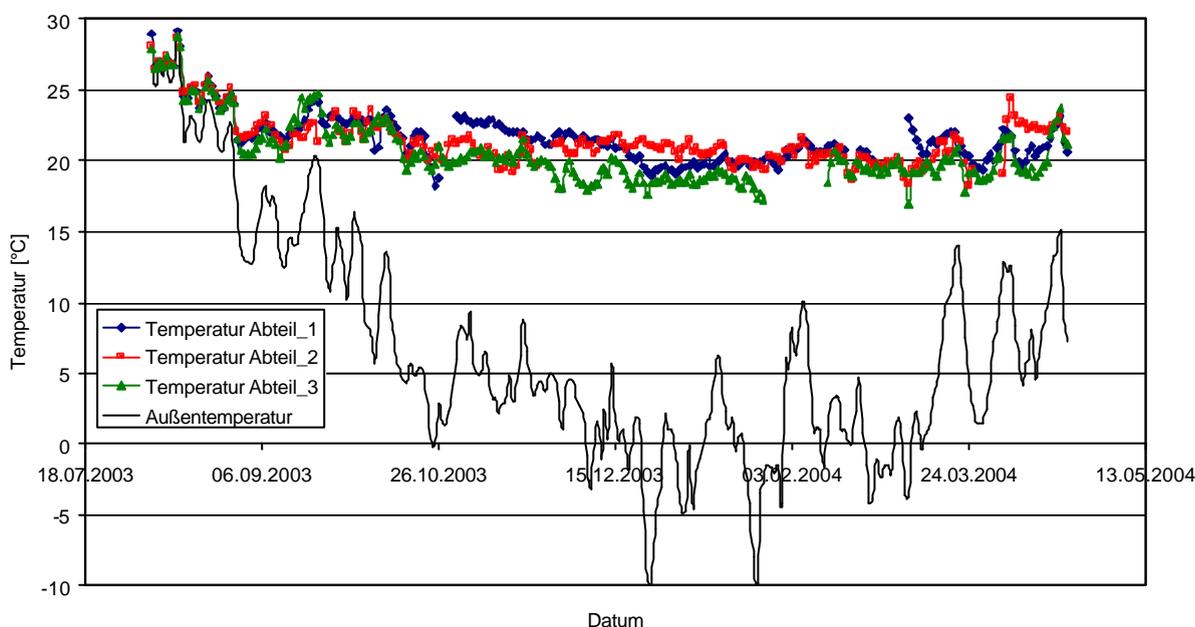


Abbildung 4. Mittlere tägliche Temperaturen im Stall und in der Außenluft während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall

### 3.2.2 Gewichtsentwicklung der Schweine

Während der Emissionsmessungen wurde die Gesamtemission im zentralen Abluftkamin der drei Stallabteile gemessen. Um aus den Messungen Emissionsfaktoren für den Schrägbodenstall ableiten zu können und um die Daten mit Werten aus der Literatur vergleichen zu können, müssen die in Summe gemessenen Emissionen auf das Gewicht der Schweine zu jedem Messzeitpunkt bezogen werden. Der Landwirt, Herr Kasinger, führt sehr genaue Aufzeichnungen über die Gewichtsentwicklung seiner Schweine. Wöchentlich wurde das durchschnittliche Gewicht der Schweine mit der Anzahl an Schweinen in jedem Abteil multipliziert. So errechnete sich das Gesamtgewicht an Schweinen, das in den drei Abteilen vorhanden war. Dieses ist in Abbildung 5 dargestellt.

Aus Abbildung 5 ist eine regelmäßige Aufwärtstendenz im Schweinegewicht zu erkennen. Gegen Ende jeder Mastperiode fällt das Gesamtgewicht im Stall in Stufen ab. Auf dem Betrieb Kasinger werden nicht alle zu Beginn eingestellten Schweine gleichzeitig ausgestallt. Gegen Ende jeder Mastperiode werden über einen Zeitraum von einigen Wochen immer wieder Tiere aus den Abteilen entfernt. Dies führt zu einer sprunghaften Abnahme des Gesamtgewichtes im Stall, die in Abbildung 5 ersichtlich ist. Nach dem Ende eines Mastdurchganges stehen die Abteile kurzzeitig leer, bevor wieder neue Schweine mit einem Gewicht von etwa 30 kg eingestallt werden.

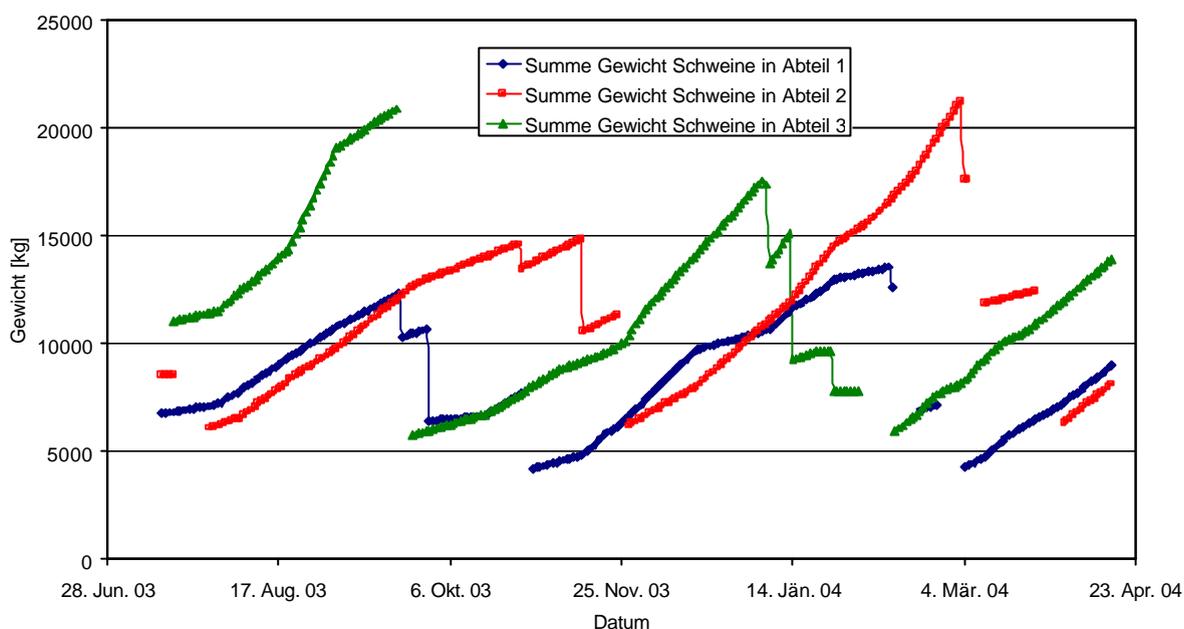


Abbildung 5. Gesamtsumme an Schweinegewicht während der Emissionsmessungen in den drei Stallabteilen

### 3.2.3 Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung)

Während der Messperiode wurde pro Stunde zweimal die Gaskonzentration in der Zuluft und viermal die Gaskonzentration in der Stallabluft gemessen. Aus der Differenz beider Werte ergibt sich die aus dem Stall emittierte Menge an Gasen. Dieser Wert muss mit der jeweiligen Luftwechselrate multipliziert werden, um zur quantitativen Emission zu kommen. Die Emissionsrate von jedem Abteil wurde rund 48 Stunden lang kontinuierlich gemessen, dann wechselte die Messung zum nächsten Abteil. Aus der ermittelten Emissionsrate pro Stunde wurde eine mittlere Emission pro Tag errechnet. Die Gesamtemission wurde durch das aktuelle Schweinegewicht im Stall dividiert. Daraus ergibt sich die mittlere Emission pro kg Schwein und Stunde. Dieser Werte multipliziert mit 24 ergibt die tägliche Emission je kg Schwein. Diese ist für Abteil 1 in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

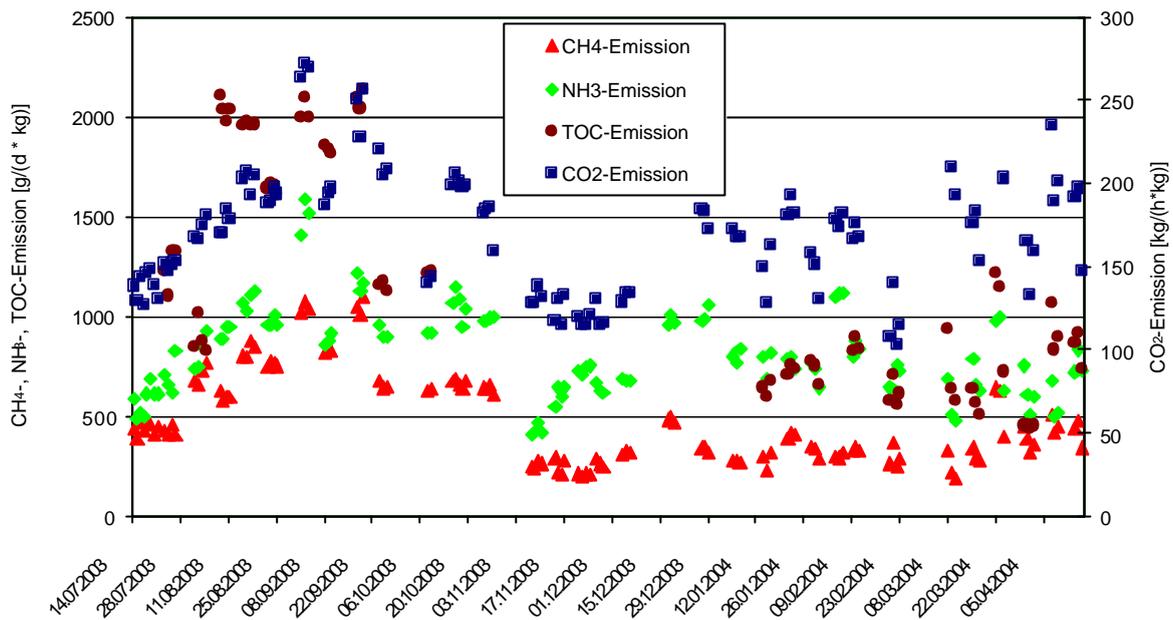


Abbildung 6.  $\text{CH}_4$ -,  $\text{NH}_3$ -, TOC- und  $\text{CO}_2$ -Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung).

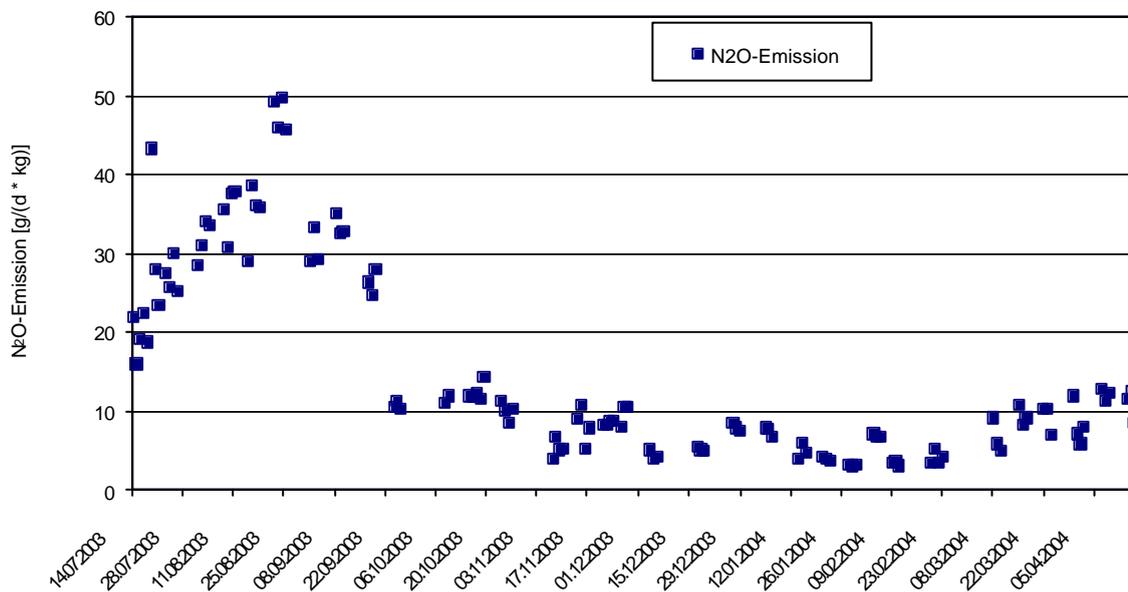


Abbildung 7.  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung)

In der hier vorliegenden Auswertung wurde aus allen Emissionswerten die mittlere Emission pro kg Schwein und Tag errechnet (Tab. 4). Legt man durchschnittlich 2,5 Mastdurchgänge pro Jahr zu Grunde (DÖHLER ET AL. 2002, UBA 2001), so ergeben sich die in der rechten Spalte dargestellten Emissionen je Tierplatz und Jahr.

Tabelle 4. Mittlere Emission und Emission pro Tierplatz und Jahr aus Abteil 1 (Schwemmentmistung)

<i>Emission von ...</i>	<i>Mittlere Emission</i> [g/(kg Schwein * Tag)]	<i>Emission pro Tierplatz</i> [kg/Tierplatz * Jahr]
CO <sub>2</sub>	168,22 * 10 <sup>3</sup>	426,39
CH <sub>4</sub>	469,32	1,19
NH <sub>3</sub>	791,02	2,01
N <sub>2</sub> O	14,72	37,32 * 10 <sup>-3</sup>
TOC	1163,65	2,95

### 3.2.4 Emissionen aus Abteil 2 (Schrappermistung)

Die Emissionsraten aus Abteil 2 wurden nach der gleichen Methode ermittelt und wie bei Abteil 1 dargestellt (siehe Kapitel 3.2.3). Die tägliche Emission je kg Schwein aus Abteil 2 ist in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt.

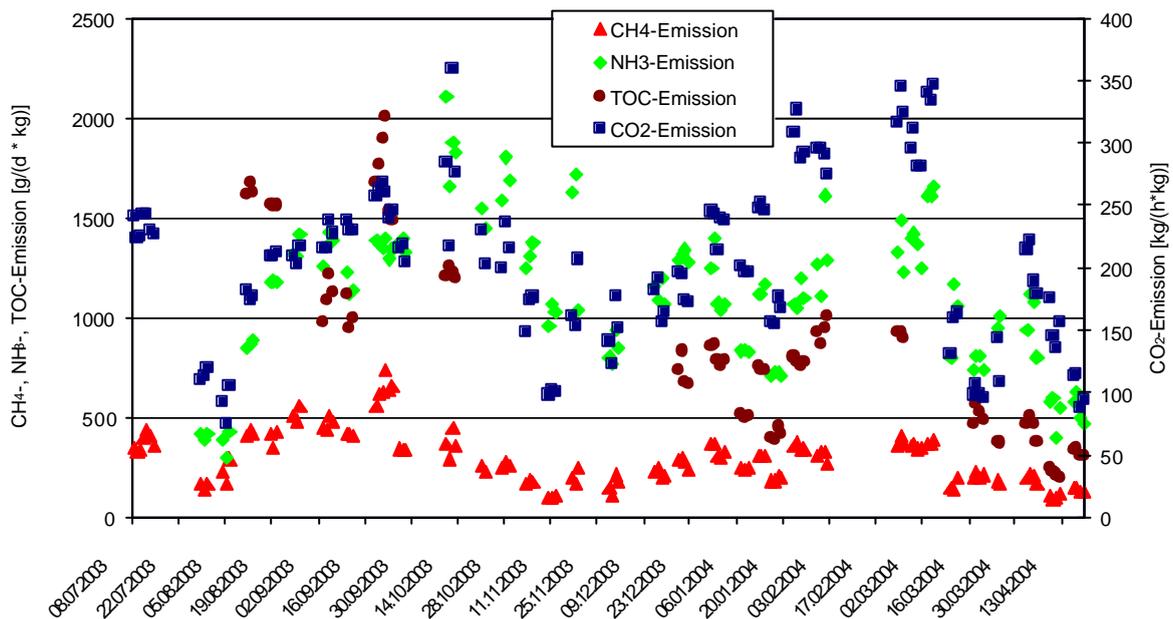


Abbildung 8. CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, TOC- und CO<sub>2</sub>-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappermistung)

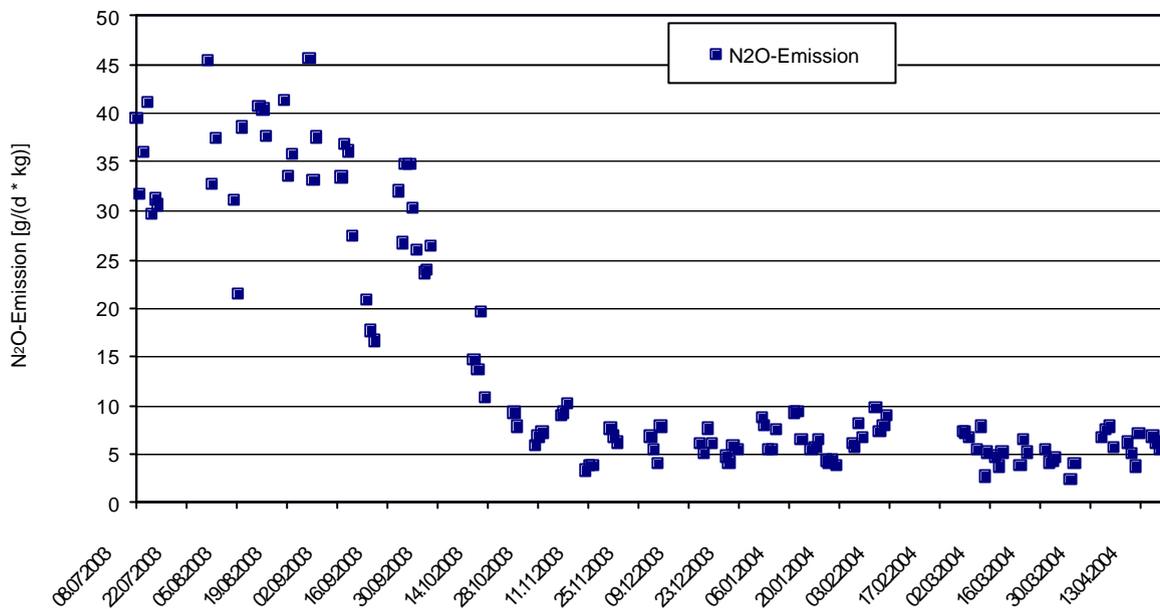


Abbildung 9. N<sub>2</sub>O-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmischung)

In der hier vorliegenden Auswertung wurde aus allen Emissionswerten die mittlere Emission pro kg Schwein und Tag errechnet (Tab. 5). Daraus wurde die Emission pro Tierplatz und Jahr berechnet (siehe Kapitel 3.2.3).

Tabelle 5. Mittlere Emission und Emission pro Tierplatz und Jahr aus Abteil 2 (Schrappentmischung)

<i>Emission von ...</i>	<i>Mittlere Emission</i> [g/(kg Schwein * Tag)]	<i>Emission pro Tierplatz</i> [kg/Tierplatz * Jahr]
CO <sub>2</sub>	205,12 * 10 <sup>3</sup>	519,92
CH <sub>4</sub>	298,96	0,76
NH <sub>3</sub>	1.150,80	2,92
N <sub>2</sub> O	15,04	38,11 * 10 <sup>-3</sup>
TOC	915,04	2,32

### 3.2.5 Emissionen aus Abteil 3 (Schrappentmischung)

Die Emissionsraten aus Abteil 3 wurden nach der gleichen Methode ermittelt wie bei Abteil 1 dargestellt (siehe Kapitel 3.2.3). Die tägliche Emission je kg Schwein aus Abteil 3 ist in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt.

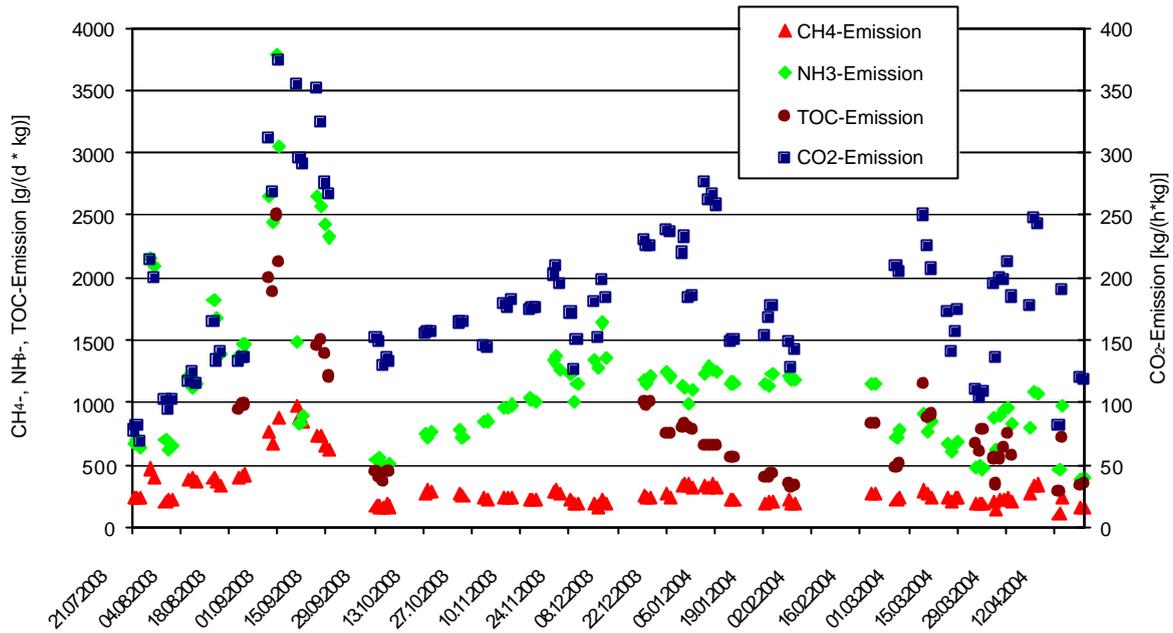


Abbildung 10. CH<sub>4</sub>-, NH<sub>3</sub>-, TOC- und CO<sub>2</sub>-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappertmistung)

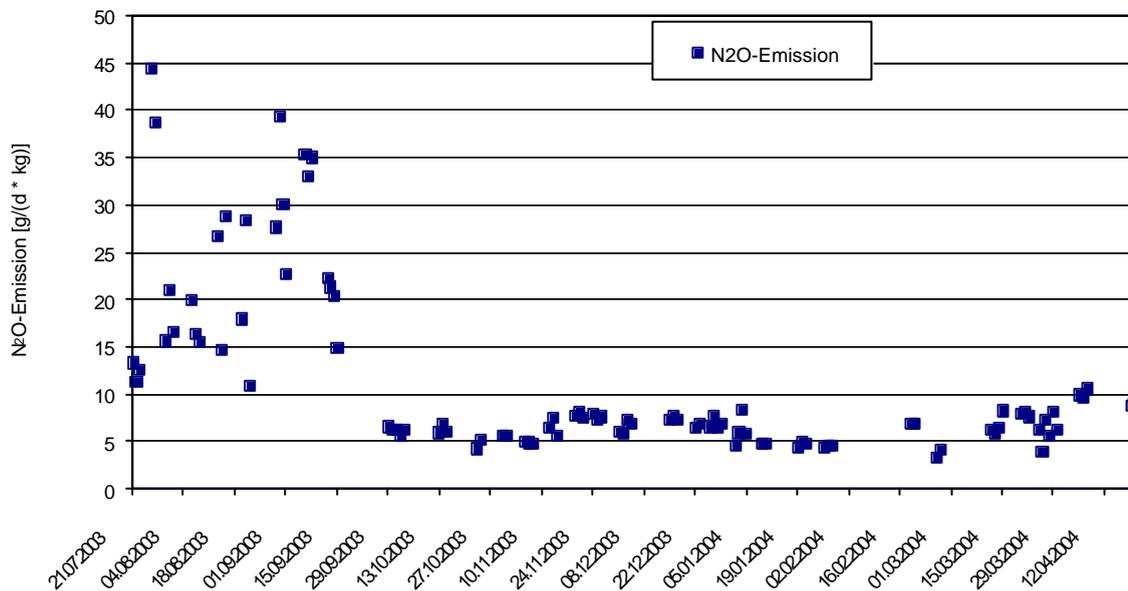


Abbildung 11. N<sub>2</sub>O-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappertmistung).

In der hier vorliegenden Auswertung wurde aus allen Emissionswerten die mittlere Emission pro kg Schwein und Tag errechnet (Tab. 6). Daraus wurde die Emission pro Tierplatz und Jahr berechnet (siehe Kapitel 3.2.3).

Tabelle 6. Mittlere Emission und Emission pro Tierplatz und Jahr aus Abteil 3 (Schrappermistung)

<i>Emission von ...</i>	<i>Mittlere Emission</i> [g/(kg Schwein * Tag)]	<i>Emission pro Tierplatz</i> [kg/Tierplatz * Jahr]
CO <sub>2</sub>	190,35 * 10 <sup>3</sup>	482,50
CH <sub>4</sub>	312,86	0,79
NH <sub>3</sub>	1138,81	2,89
N <sub>2</sub> O	11,13	28,22 * 10 <sup>-3</sup>
TOC	796,91	2,02

### 3.2.6 Vergleich der Emissionen aus den Abteilen 1, 2 und 3 und Wirkung des Zusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“

Abbildungen 12 bis 15 zeigen die Emissionen je Tier und Jahr aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine. In den Kapiteln 3.2.3 bis 3.2.5 sind die gemessenen Emissionen pro Tag und kg Schwein dargestellt. Aus den gemessenen Daten wurde eine mittlere Emission pro Tag und kg Schwein ermittelt. Diese mittlere Emission wurde auf eine Großvieheinheit (= 500 kg Lebendgewicht) umgerechnet. Ein Schwein entspricht durchschnittlich 0,12 GV. Im Mittel werden 2,5 Mastdurchgänge oder 330 Stalltage angesetzt (DÖHLER ET AL. 2002, UBA 2001). Mit diesen Angaben wurde die Emission pro Schwein und Jahr berechnet, die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt ist. Die Emissionen wurden differenziert nach dem Entmischungssystem ermittelt. Die Abbildungen zeigen Emissionen für Schrappermistung und Schwemmmistung. Die Wirkung des EM-Einsatzes am Beginn und am Ende der Mast ist ebenfalls dargestellt. Um die Einordnung der Ergebnisse zu erleichtern, zeigt jede Abbildung auch den derzeitigen Richtwert für Emissionen aus einem zwangsbelüfteten Mastschweine-stall mit Flüssigmistung.

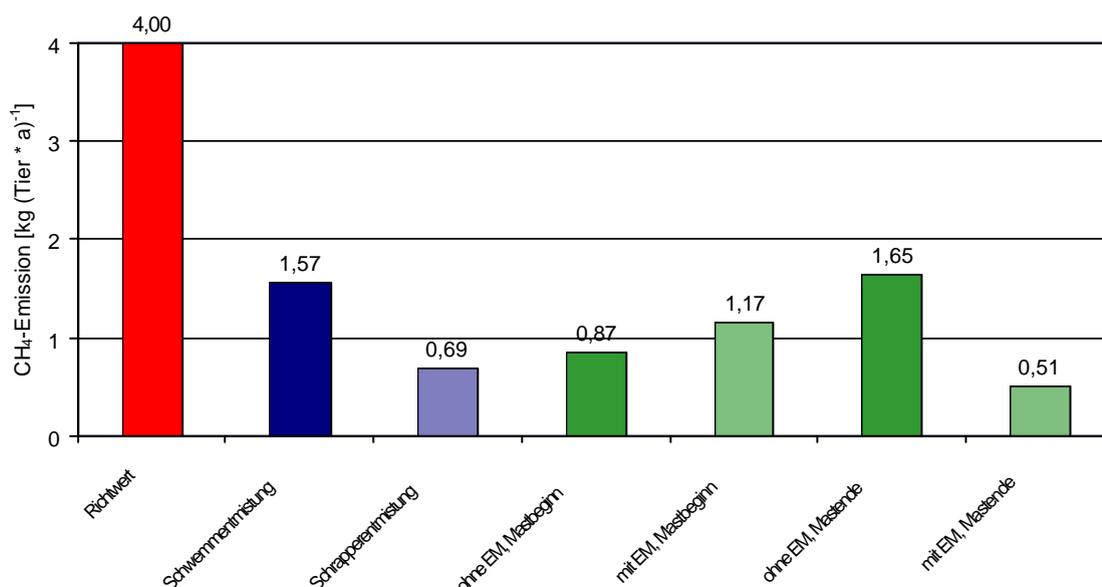


Abbildung 12. CH<sub>4</sub>-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine mit und ohne Einsatz von EM und Emissionsrichtwert für zwangsbelüftete Mastschweine-ställe mit Flüssigmistung

Aus Abbildung 12 sind die gemessenen CH<sub>4</sub>-Emissionen je Tier und Jahr ersichtlich. Zwangsbelüftete Ställe mit Flüssigmistung werden derzeit mit einer Emission von 4 kg CH<sub>4</sub> je

Tier und Jahr bewertet (UBA 2001). Die Emissionen aus dem Schrägbodenstall liegen bei allen Varianten deutlich unter diesem Wert. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass innerhalb des Stalles deutlich weniger Flüssigmist gelagert wird als bei konventionellen Vollspaltenbodenställen. Zwangsbelüftete Ställe weisen Stalltemperaturen von rund 20 °C und mehr auf, was die Methanbildung im Flüssigmist fördert.

Im Abteil mit Schwemmentmischung wird eine größere Flüssigmistmenge gelagert als im Abteil mit Schrappertmischung, wo eine tägliche mechanische Entmischung erfolgt. Aus diesem Grund sind die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmischung) höher als aus den Abteilen mit Schrappertmischung.

Die Wirkung von EM wurde im Abteil mit Schwemmentmischung untersucht. Bei Einsatz von EM zu Beginn der Mastperiode zeigte sich eine leichte Erhöhung der CH<sub>4</sub>-Emissionen. Am Ende der Mast bewirkte EM eine deutliche Reduktion der CH<sub>4</sub>-Emissionen. Im Mittel über die gesamte Mastperiode betragen die CH<sub>4</sub>-Emissionen 1,26 kg je Tier und Jahr. Bei Einsatz von EM reduzierten sich die CH<sub>4</sub>-Emissionen um rund 33 % auf 0,84 kg je Tier und Jahr.

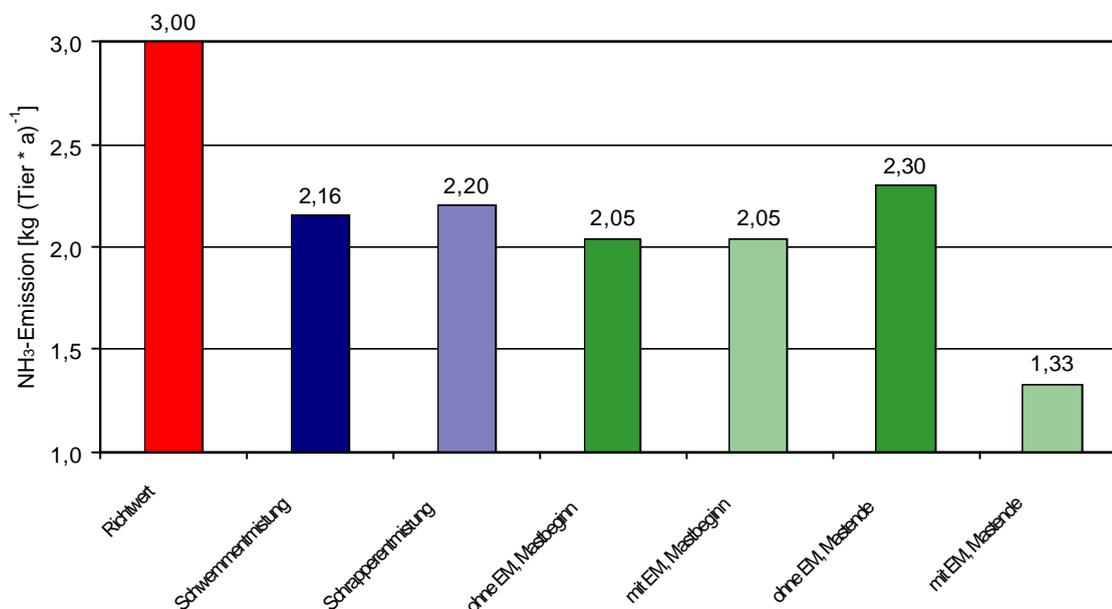


Abbildung 13. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine mit und ohne Einsatz von EM und Emissionsrichtwert für zwangsbelüftete Mastschweineeställe mit Flüssigentmischung

Ergebnisse zu NH<sub>3</sub>-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine sind in Abbildung 13 dargestellt. DÖHLER ET AL. (2002) und (UBA 2001) geben einen Emissionsrichtwert von 3 kg NH<sub>3</sub> je Tier und Jahr für zwangsbelüftete Vollspaltenställe an. Ammoniakemissionen aus dem Schrägbodenstall liegen deutlich unter diesem Wert. Dies liegt vermutlich in der geringeren emissionsaktiven Oberfläche begründet. Die Liegefläche des Schrägbodenstalles wird von den Schweinen sauber und trocken gehalten. Exkrememente fallen nur im hinteren Teil des Stalles, auf dem angehobenen Spaltenboden an.

Zwischen Schwemm- und Schrappertmischung wurden nur geringe Unterschiede in den NH<sub>3</sub>-Emissionen gemessen. EM-Einsatz zu Beginn der Mast hatte keinen Einfluss auf den Umfang der NH<sub>3</sub>-Emissionen. Am Ende der Mast wurde eine deutliche Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emissionen bei Einsatz von EM beobachtet. Im Mittel einer gesamten Mastperiode wurden ohne EM-Einsatz 2,17 kg NH<sub>3</sub> je Tier und Jahr emittiert. EM konnte diese Emission auf 1,69 kg NH<sub>3</sub> je Tier und Jahr senken. Dies entspricht einer Reduktion von 22%.

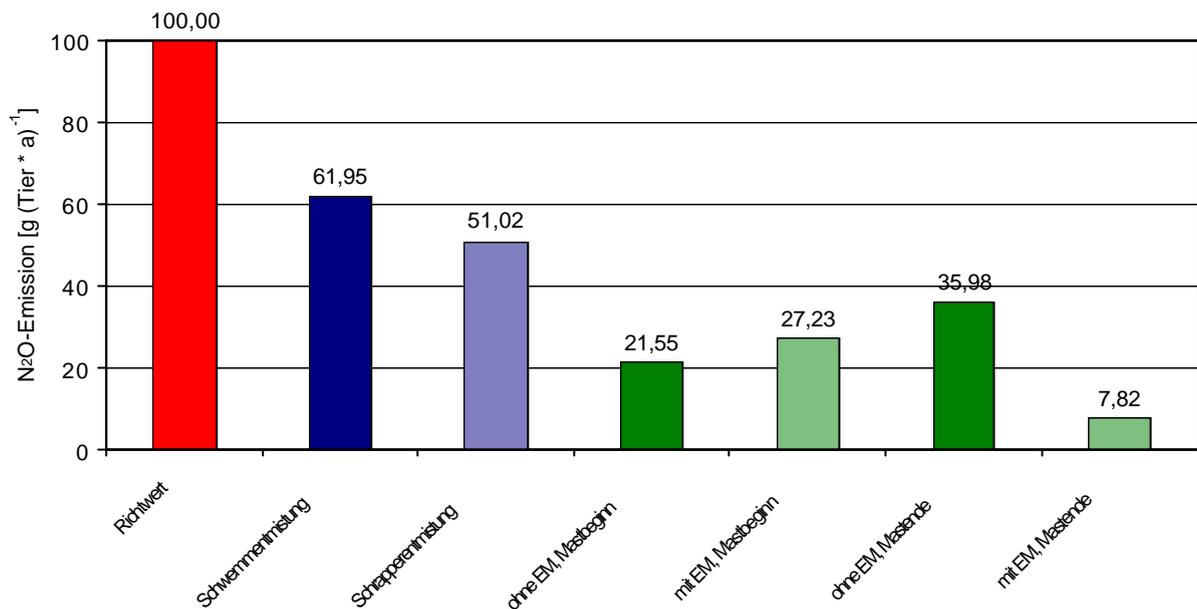


Abbildung 14. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine mit und ohne Einsatz von EM und Emissionsrichtwert für zwangsbelüftete Mastschweine mit Flüssigmistung

Für N<sub>2</sub>O-Emissionen aus zwangsbelüfteten Flüssigmistställen für Mastschweine wird ein Richtwert von 100 g je Tier und Jahr angegeben. Auf Grund der außerordentlich geringen Datenlage ist dieser Wert jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Die mögliche Spannweite von N<sub>2</sub>O-Emissionen wird mit 20 – 310 g je Tier und Jahr angegeben (UBA 2001).

Aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine wurden N<sub>2</sub>O-Emissionen zwischen 7,82 und 61,95 g je Tier und Jahr gemessen (Abb. 14). Im System Schwemmenmistung waren die N<sub>2</sub>O-Emissionen etwas höher als im System Schrappermistung. Dies kann – wie bei den CH<sub>4</sub>-Emissionen – mit der größeren Menge an Flüssigmist im Stall zusammenhängen.

Am Beginn der Mast wurden bei EM-Einsatz etwas erhöhte Emissionen gemessen. Am Ende der Mast führte das Versprühen von EM zu einer deutlichen Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen. Im Mittel waren die N<sub>2</sub>O-Emissionen bei Einsatz von EM um rund 40 % geringer als ohne den Einsatz von EM. Sie beliefen sich auf 17,52 g N<sub>2</sub>O je Tier und Jahr im Vergleich zu 28,77 g N<sub>2</sub>O je Tier und Jahr, die ohne EM-Einsatz gemessen wurden.

Die Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurden zur Summe an klimarelevanten Emissionen zusammengefasst. Diese wird in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückt. CH<sub>4</sub> hat eine 21fach höhere und N<sub>2</sub>O eine 310fach höhere Klimawirksamkeit als CO<sub>2</sub> (IPCC 1996). Es ergeben sich die in Abbildung 15 dargestellten Werte. Der Richtwert für klimarelevante Gase aus zwangsbelüfteten Flüssigmistställen für Mastschweine liegt deutlich über den im Schrägbodenstall gemessenen Werten. Die Schrappermistung führte verglichen mit der Schwemmenmistung zu einer Reduktion klimarelevanter Emissionen. Bei Einsatz zu Mastende reduzierte das Versprühen klimarelevante Emissionen deutlich. Gemittelt über eine gesamte Mastperiode wurden bei EM-Einsatz um rund 35 % geringere klimarelevante Emissionen gemessen als ohne EM-Einsatz.

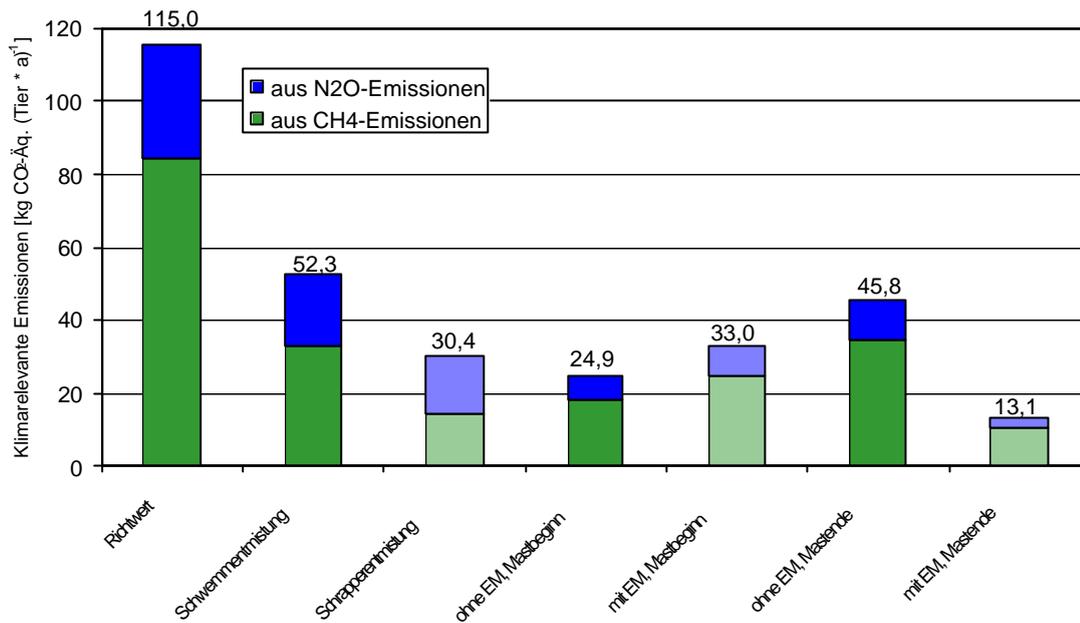


Abbildung 15. Klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine mit und ohne Einsatz von EM und Emissionsrichtwert für zwangsbelüftete Mastschweineeställe mit Flüssigmistung

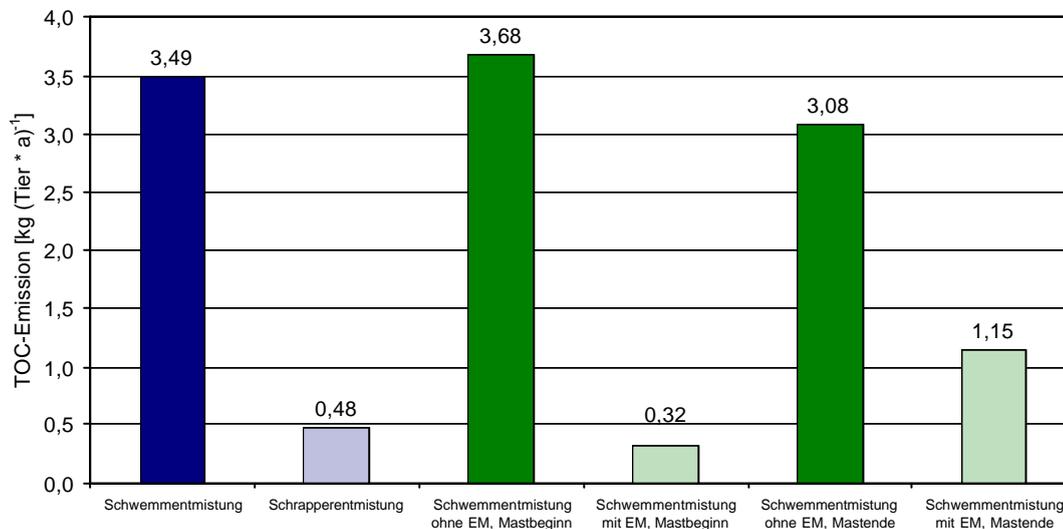


Abbildung 16. TOC Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine mit und ohne Einsatz von EM

In Abbildung 16 sind die TOC-Emissionen dargestellt, wie sie aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine gemessen wurden. TOC-Emissionen können als Indikatorparameter für Geruchsemissionen dienen. Je höher die TOC-Emissionen, desto wahrscheinlicher ist eine hohe Geruchsemission.

Im Abteil mit Schwemmenmistung wurden deutlich höhere TOC-Emissionen gemessen als im Abteil mit Schrappermistung. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der größeren Flüssigmistmenge, die bei diesem Entmistungssystem innerhalb des Stalles gelagert wird.

Die Wirkung von EM wurde im Abteil mit Schwemmentmistung untersucht. Es zeigte sich sowohl zu Beginn als auch am Ende der Mast eine deutliche Reduktion der TOC-Emissionen, wenn EM im Stall versprüht wurde. Im Mittel über eine Mastperiode betragen die TOC-Emissionen ohne EM-Einsatz 3,38 kg je Tier und Jahr. EM reduzierte diesen Wert um rund 78 % auf 0,73 kg je Tier und Jahr.

## 4 Schlussfolgerungen

- Der Schrägbodenstall für Mastschweine ist ein sehr tiergerechtes System, das in der landwirtschaftlichen Praxis wirtschaftlich betrieben werden kann.
- Bei den beiden untersuchten Entmistungsverfahren Schwemmentmistung und Schrappentmistung wurden CH<sub>4</sub>-, NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen gemessen, die deutlich unter den Richtwerten für zwangsentlüftete Vollspaltenställen für Mastschweine liegen.
- Die Schrappentmistung konnte CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen im Vergleich zur Schwemmentmistung nochmals senken.
- Die Wirkung von EM im Mittel über eine Mastperiode CH<sub>4</sub>-, NH<sub>3</sub>-, N<sub>2</sub>O- und klimarelevante Emissionen. CH<sub>4</sub>-Emissionen wurden durch den EM-Einsatz um 33 % gesenkt. Bei den NH<sub>3</sub>-Emissionen wurde eine Reduktion von 22 % gemessen. EM-Einsatz verminderte N<sub>2</sub>O-Emissionen um rund 40 %. Das Versprühen von EM im Stall hatte eine 35%ige Reduktion der Emission von klimarelevanten Gasen zur Folge.
- Als Hinweis auf das Geruchsemissionspotential des Schrägbodenstalles wurden TOC-Emissionen quantifiziert. Auch hier wurden aus dem Abteil mit Schrappentmistung geringere Werte gemessen als aus dem Abteil mit Schwemmentmistung. EM-Einsatz im Abteil mit Schwemmentmistung führte zu einer Reduktion der TOC-Emissionen um 78 %.

## Literatur

AMON, B., PÖLLINGER, A., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A., AMON, T. (2004a). Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs. In: AgEng2004 Leuven 2004, Engineering the Future, 12 – 16 September, Leuven, Belgium (in press).

AMON, B., PÖLLINGER, A., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A., AMON, T. (2004b). Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs. In: RAMIRAN 2004, 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 6 – 9 October, Murcia, Spain (in press).

BARTUSSEK, H. (1993a). In der Schweinemast: Verdrängen Schrägböden die Vollspaltenbucht? Traktor Aktuell, 2, 22-25.

BARTUSSEK, H. (1993b). Vollspaltenböden oder Tieflaufstall bei Mastschweinen? – Weder – noch! Der fortschrittliche Landwirt, 1993, 8, S. 18-19 und 1993, 9, S. 18-19.

BARTUSSEK, H. (2001). Möglichkeiten der geeigneten Beschäftigung von Schweinen. Gumpensteiner Bautagung 2001. BAL Gumpenstein, Irdring. S. 49-57.

BARTUSSEK, H., GEISBERGER, W. (1998). Schweine auf der schiefen Bahn: Schrägbodenbuchten für Mastschweine bewähren sich. DLZ-Agrobonus, 1998, 3, S. 16-21.

BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A., SCHAUER, A., STEINWENDER, R., SÖLKNER, H. (1992). Die

Leistung von Mastschweinen in Gruppen auf Vollspalten und in dänischen Buchten mit Stroh –im Warm- und Kaltstall. Veröffentlichungen der BAL Gumpenstein, Heft 17, Irdning, 1992.

BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A., SCHAUER, A., STEINWENDER, R., UBLOHDE J. (1995). Schrägbodenbuchten für Mastschweine. Veröffentlichungen der BAL Gumpenstein, Heft 23, Irdning, 1995.

BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A., ZALUDIK, K. (1999). Schrägbodenbuchten in der Schweinemast: Die funktionssichere und kostengünstige tierschutzalternative zum Vollspaltenboden, In: Bericht zur Tagung Bau-Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, München-Freising, 1999.

BROSE, G. (2000). Emissionen von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Schrift 362, Dissertation Universität Hohenheim, ISSN 0931-6264.

BRUCE, J.M. (1991). Characteristics of waste from Straw-Flow. Farm Building Progress, 106, 15-20.

DÖHLER, H., DÄMMGEN, U., BERG, W., BERGSCHMIDT, A., BRUNSCH, R., EURICH-MENDEN, B., LÜTTICH, M., OSTERBURG, B. (2002). Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. Final Report for Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft and Umweltbundesamt.

EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (Third edition 2002). [http://reports.eea.eu.int/EMEP\\_CORINAIR/en](http://reports.eea.eu.int/EMEP_CORINAIR/en)

FRASER, D., PHILLIPS P.A., TENNENSEN, T. (1991): Effect of straw on the behaviour of growing pigs. Applied Animal Behaviour Science, 17, 61-68

HÖRNING, B. (1999). Artgemäße Schweinehaltung. Beratung Artgerechte Tierhaltung. Stiftung Ökologie und Landbau. Schweisfurth-Stiftung, München. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Revised 1996), <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>.

IPCC (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. In: Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

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.

RATHMER, B. (2002). Vergleich klima- und umweltrelevanter Emissionen aus Haltungssystemen für Mastschweine. Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Schrift 386, Dissertation Technische Universität München, ISSN 0931-6264.

SAMBRAUS, H.H. (1991): Nutztierkunde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

STOLBA A. (1983). Verhaltensmuster von Hausschweinen in einem Freigehege. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1983. KTBL-Schrift 299, Landwirtschaftsverlag GmbH., Münster-Hiltrup.

UMWELTBUNDESAMT DER BRD (2001). Entwurf: Erstellung eines Gutachtens für einen deutschen Beitrag zur Vollzugsvorbereitung zum Umsetzung der IVU-Richtlinie für den Bereich Intensivtierhaltung, UBA Vorhaben FKZ 360 08 001, Stand November 2001, KTBL Darmstadt, Umweltbundesamt Berlin; In: UBA-Text 75/02 „Beste verfügbare Techniken in der Intensivtierhaltung“.

WECHSLER, B. (1997). Schwein. In: Sambras, H.H., Steiger, A. (Hrsg.): Das Buch vom Tier-

schutz. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, S. 173-185.

ZALUDIK, K. (1997). Untersuchungen zum Schrägbodensystem für Mastschweine. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

ZERBONI, H.N., GRAUVOGL, A. (1984). Schwein. In Bogner. H., Grauvogl, A. (Hrsg): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Ulmer, Stuttgart.