

Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich Bauingenieurwesen,
Maschinenbau und Sicherheitstechnik

**Evaluation verschiedener
Produktions- und Haltungsbedingungen in
der Schweinemast aus Sicht des
Arbeitsschutzes**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Heiko Diefenbach

- 1. Gutachterin: Priv.-Doz. Dr. med. M. A. Rieger**
- 2. Gutacher: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Lehder**

Tag der mündlichen Prüfung: 26. April 2005

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20050159

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20050159>]

Danksagung

Mein erster und besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Frau PD Dr. med. M.A. Rieger für die wissenschaftliche Begleitung vor und während meiner Zeit als Doktorand. Der fachliche Austausch mit ihr war stets von Offenheit geprägt, ihre hilfreichen Anregungen waren mir Ansporn und Motivation.

Herrn Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. F. Hofmann danke ich für die Möglichkeit, das Thema an seinem Lehrstuhl zu bearbeiten.

Ich danke Herrn Dr. Michael Lohmeyer herzlich für die stetige Unterstützung und den regen fachlichen Austausch. Mit seiner nie versiegenden Hilfsbereitschaft hat er mich in Theorie und Praxis der Mess- und Analysetechnik eingeführt. Mein Dank gilt in gleicher Weise Herrn Dr. Matthias Nübling für seine konstruktive und beständige Hilfe im Bereich der statistischen Auswertung.

Eine wichtige Unterstützung während meiner Arbeit waren für mich die Mitarbeiter des Lehrstuhls Arbeitsphysiologie, Arbeitsmedizin und Infektionsschutz, Frau M. Lahr, Frau St. Lorenz und Herr R. van Bürck.

Den Diplomanden und Doktoranden des Lehrstuhls, Nicole Blomberg, Thomas Bosselmann, Simon Kaluza, André Klußmann und Andi Wittmann, danke ich für fruchtbare und kollegial offene Zusammenarbeit. Ein herzlicher Dank auch an Dirk Fritsche und Jan Klemme für die studentische Hilfe im Rahmen der Messungen.

Frau Claudia Rometsch vom Institut für Lebensmittelchemie danke ich für fachbereichsübergreifende und weit darüber hinausgehende Hilfe.

Natürlich danke ich auch allen beteiligten Landwirten, ohne deren Mitwirkung beim Ausfüllen der Fragebögen und freundliches Entgegenkommen bei den Messungen diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Ferner sage ich Dank an Frau Dr. R. Seibt, Dresden, für die Zurverfügungstellung des WAI-Fragebogens und Herrn Dr. W.E. Dieterle, Freiburg, für die Unterstützung bei der WAI-Auswertung.

Der Lieselotte und Dr. Karl Otto Winkler-Stiftung für Arbeitsmedizin, namentlich Herrn Dr. Karl Otto Winkler, möchte ich für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsvorhabens in Form meines Promotionsstipendiums danken.

Teile der vorliegenden Arbeit wurden als Untersuchung im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau, Forschungsprojekts 02OE615, in Kooperation mit Herrn PD Dr. E. Hartung, Universität Hohenheim, und Herrn Prof. Dr. A. Sundrum, Universität Kassel, durchgeführt.

Last, not least danke ich meiner Familie in ganz besonderer Weise.

Zusammenfassung	5
1 Einleitung.....	6
1.1 Ausgangssituation	6
1.1.1 Schweineproduktion in Deutschland	6
1.1.2 Zahl der Exponierten.....	9
1.2 Unfall- und Berufskrankheitengeschehen.....	10
1.3 Gesetzliche Grundlagen.....	14
1.3.1 Arbeitsschutz.....	14
1.3.1.1 Die Biostoffverordnung.....	15
1.3.1.2 Gefahrstoffrechtliche Regelungen.....	18
1.3.1.3 Berufsgenossenschaftliche Regelungen	18
1.3.2 Tierhaltungsvorschriften	19
1.4 Biologische Arbeitsstoffe	20
1.4.1 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe	21
1.4.1.1 Mikroorganismen	23
1.4.1.2 Endotoxine und Mykotoxine	25
1.4.1.3 Sonstige biologische Arbeitsstoffe	27
1.4.2 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe in der Tierhaltung	28
1.5 Biologische Belastungen und Beanspruchungen	30
1.5.1 Beanspruchungen durch Bioaerosole in der Tierhaltung	32
1.5.1.1 Atemwegserkrankungen	32
1.5.1.2 Epidemiologische Studien.....	33
1.6 Ziel der Arbeit.....	37
2 Material und Methoden.....	39
2.1 Stallluftmessungen	39
2.1.1 Erfassung luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe	39
2.1.1.1 PGP-System	41
2.1.1.2 Mikrobiologische Analysen.....	41
2.1.1.3 Impaktor.....	43
2.1.2 Staubmessungen	44
2.1.3 Messungen im Rahmen der Studie	46
2.2 Epidemiologischer Fragebogen.....	58
3 Ergebnisse	62
3.1 Ergebnisse der Stallmessungen.....	62
3.1.1 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – PGP-System.....	62
3.1.1.1 Vergleich der Stallsysteme – stationäre Messungen	63
3.1.1.2 Vergleich der Messwerte über die Mastdurchgänge	66
3.1.1.3 Analyse möglicher Einflussfaktoren	69

3.1.1.3.1	Bivariate Modelle	70
3.1.1.3.2	Multivariate Modelle	72
3.1.1.3.3	Einflussfaktoren in einzelnen Mastdurchgängen.....	73
3.1.1.4	Vergleich der Stallsysteme – personengetragene Messungen	74
3.1.1.5	Referenzmessungen	80
3.1.2	Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – Impaktor	81
3.1.3	Staubmessungen	85
3.1.4	Materialproben	90
3.1.4.1	Stroh	90
3.1.4.2	Futtermittel	93
3.2	Ergebnisse der Fragebogenerhebung.....	95
3.2.1	Stichprobe	95
3.2.2	Tätigkeiten.....	96
3.2.3	Belastungsfaktoren	96
3.2.4	Beanspruchungen	99
4	Diskussion	105
4.1	Diskussion von Material und Methoden.....	105
4.1.1	Stallmessungen.....	105
4.1.2	Fragebogen.....	109
4.2	Diskussion der Ergebnisse der Stallmessungen	110
4.2.1	Grenzwertdiskussion	122
4.2.2	Technischer Kontrollwert.....	126
4.3	Diskussion des Fragebogens	126
5	Schlussfolgerung	132
5.1	Arbeitsschutz.....	134
5.1.1	Rangfolge von Schutzmaßnahmen	135
5.1.2	Persönliche Schutzausrüstung – Atemschutz	140
5.1.3	Sicherheitstechnische und Arbeitsmedizinische Betreuung	142
5.2	Ausblick.....	144
	Literaturverzeichnis	147
	Anhang	160
	Abkürzungsverzeichnis	161
	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	162
	Tabellen und Abbildungen zu den Stallmessungen	166
	Fragebogen.....	196

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund einer hohen Prävalenz an Atemwegserkrankungen bei Beschäftigten in der Schweinehaltung erfolgte in der vorliegenden Arbeit eine Erfassung typischer Belastungsfaktoren und Beanspruchungsreaktionen bei Beschäftigten in der Schweinemast vor dem Hintergrund der Biostoffverordnung (BioStoffV). Hierzu wurden repräsentative Haltungssysteme zur Schweinemast hinsichtlich ihrer Konzentrationen luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe verglichen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf dem Vergleich von eingestreuten zu nicht eingestreuten Ställen. Untersucht wurden zwei konventionelle und zwei ökologisch betriebene Schweineställe auf ihre Freisetzung von Endotoxinen, Schimmelpilzen, Bakterien und Staub. Neben stationären Basismessungen wurden Belastungen bei typischen Tätigkeiten durch personengetragene Messungen abgebildet. Die Probenahmen und -analysen erfolgten entsprechend den in Deutschland geltenden Vorschriften für den Arbeitsschutz. Ergänzt wurde die Untersuchung durch eine Fragebogenerhebung bei ökologisch und konventionell wirtschaftenden Schweinemästern. Erfasst wurden neben den allgemeinen Daten die Produktions- und Arbeitsbedingungen, der Work-Ability-Index (standardisiertes Instrument zur Erhebung der Arbeitsfähigkeit) und Beanspruchungsreaktionen im Bereich der Atemwege der Landwirte.

Die Fragebogenerhebung ergab trotz einer hohen Prävalenz an Atemwegserkrankungen eine allgemein gute Arbeitsfähigkeit der Schweinehalter. Im Vergleich verschiedener Produktionsverfahren wurden die erwarteten Unterschiede hinsichtlich der Belastungsfaktoren (z.B. Tierzahl, Verwendung von Einstreu, Grad der Automatisierung, Arbeitszeit im Stall) deutlich, dies galt jedoch nicht für die Angaben zu den Atemwegserkrankungen.

Die Stallmessungen zeigten grundsätzlich sehr hohe Luftkonzentrationen, die sich dennoch wesentlich zwischen den Stallsystemen unterschieden. Dabei war der Gebrauch von Einstreu nicht der entscheidende Faktor, vielmehr scheint die Emission an biologischen Arbeitsstoffen von der Ausgestaltung des Stalles und der Betriebsführung abzuhängen. Hierbei kommt den im Stall ausgeführten Tätigkeiten, der Trennung von Funktions- und Klimabereichen und der Ausführung und Regelung des Lüftungssystems eine entscheidende Rolle zu.

Mit den vorliegenden Ergebnissen besteht für den Arbeitsschutz die Möglichkeit, sowohl in der Praxis als auch für die Politik beratend tätig zu sein. Zudem wurde weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der genaueren Beschreibung der Faktoren zur Minimierung der belasteten Konzentration luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe abgeleitet.

1 Einleitung

Die Erzeugung von Schweinefleisch ist in vielen Ländern der Welt ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in der landwirtschaftlichen Produktion. Diese hat sich besonders in den letzten 50 Jahren zu intensiveren Haltungsformen gewandelt. Dabei sind die Änderungen nicht nur für die Lebensbedingungen der Tiere, sondern auch für die Arbeitsbedingungen der in der Schweinehaltung tätigen Landwirte gravierend. Ein besonders wichtiger Bereich ist dabei die Luftqualität in den Stallsystemen; die schädigende Wirkung von Stallluft auf das Atemsystem ist seit langem bekannt. In diesem Zusammenhang sind sowohl die Inhaltsstoffe der Stallluft, ihre Auswirkungen auf Mensch (und Tier), als auch die Möglichkeiten, diese zu beeinflussen, von wissenschaftlichem Interesse für die Sicherheitstechnik.

1.1 Ausgangssituation

In Deutschland lag im Jahr 2002 der Pro-Kopf-Schweinefleischverzehr bei 38,7 kg. Der gesamte Schweinefleischverbrauch, inklusive der industriellen Verwertung, Futtermittelherstellung und Verluste, lag im gleichen Jahr bei 53,7 kg. Der Schweinefleischverbrauch machte somit einen Anteil von 60% am Gesamtfleischverbrauch aus. Fleischverzehr wie auch Fleischverbrauch sind beim Schweinefleisch seit 1999 leicht rückläufig, der prozentuale Anteil am Gesamtfleischverbrauch ist aber konstant (GATZKA ET AL., 2003).

Deutschland ist in der Europäischen Union größter Schweineproduzent und hat mit gut 26 Millionen Tieren auch den höchsten **Schweinebestand**. Eine Erhebung von April bis Juni 2003 ergab einen Gesamtbestand von 121 Millionen Schweinen in EU-15 (HARLEY, 2004). Das sind 13% des weltweiten Schweinebestandes von 953 Millionen Tieren (FAOSTAT, 2004).

1.1.1 Schweineproduktion in Deutschland

Die Zahlen zur Schweineproduktion in Deutschland basieren, so nicht anders angegeben, auf der Agrarstrukturerhebung von Mai 2003 des Statistischen Bundesamtes (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004). Für die Agrarstrukturerhebung werden seit 1999 im zweijährigen Rhythmus ausgewählte landwirtschaftliche Betriebe (Stichprobenbetriebe) befragt. In jedem vierten Jahr ab 1999 werden alle landwirtschaftlichen Be-

triebe in die Erhebung einbezogen. Befragt werden im Mai eines jeden Erhebungsjahres Betriebe, die definierten Mindestgrößen entsprechen: Bezogen auf Ackerbaubetriebe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von mindestens zwei Hektar, bezogen auf Schweineproduktionsbetriebe mit mindestens acht Schweinen.

Für das Jahr 2001 erfasste das Statistische Bundesamt 448.936 **landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland**. Eine Erhebung von Mai 2003 ergab eine Anzahl von 107.700 Betrieben mit Schweinehaltung, davon 41.600 Betriebe mit Zuchtschweinen. Aus der gleichen Erhebung resultieren die Daten zu Tierzahlen. Danach gab es in Deutschland insgesamt 26.103.000 Schweine, darunter 6.918.700 Ferkel, 6.573.800 Jungschweine unter 50 kg Lebendgewicht (LG), 9.968.400 Mastschweine und 2.642.100 Zuchtschweine. Vorläufige Daten zur Erhebung im Mai 2003 ergaben einen leichten Anstieg sowohl bei der Anzahl der Betriebe als auch bei der Anzahl der Tiere in den einzelnen Schweinekategorien mit Ausnahme der Jungschweine (Tabelle 1-1; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Anzahl von 242 Schweinen pro Betrieb für das Jahr 2002 und als vorläufiges Ergebnis für 2003 eine gemittelte Zahl von 243 Schweinen pro Betrieb.

Betrieb / Viehart	Betriebe / Viehbestand	
	Mai 2002 endgültig	Mai 2003 vorläufig
	in 1 000 Stück	
Betriebe mit Schweinen insgesamt	107,7	109,1
darunter: Betriebe mit Zuchtschweinen	41,6	40,2
Schweine insgesamt	26.103,0	26.556,9
Ferkel	6.918,7	6.963,3
Jungschweine bis unter 50 kg LG	6.573,8	6.437,2
Mastschweine (einschl. ausgemerzter Zuchttiere)	9.968,4	10.477,7
50 bis unter 80 kg LG	5.210,1	5.373,2
80 bis unter 110 kg LG	4.229,8	4.508,2
110 kg und mehr LG	528,5	596,2
Zuchtschweine* (50 kg und mehr Lebendgewicht)	2.642,1	2.678,8
Zuchtsauen zusammen	2.589,1	2.619,4
trächtige Jungsaunen	329,3	328,4
trächtige andere Sauen	1.479,7	1.499,6
nicht trächtige Jungsaunen	282,8	281,1
nicht trächtige andere Sauen	497,3	510,3
Eber zur Zucht	53,0	59,3
gemittelte Anzahl Schweine pro Betrieb	0,242	0,243

Tabelle 1-1: Betriebe mit Schweinehaltung und Schweinebestand in Deutschland im Jahr 2002 / 2003 (Statistisches Bundesamt Deutschland, 2004)

* Zuchtsauen zusammen einschließlich Eber zur Zucht

Laut Eurostat lag die Anzahl der Tiere pro Betrieb in Deutschland bei 185 (Erhebung 1999/2000; EUROSTAT, 2003). Die durchschnittliche Bestandsgröße der Mastbetriebe stieg bundesweit recht deutlich von 98 Tieren im Jahr 1999 auf 135 im Jahr 2003 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004).

Sowohl hinsichtlich der Tier- als auch der Betriebszahlen unterliegt die Nutztier- und vor allem die Schweinehaltung einem stärkeren negativen Trend als die gesamte deutsche Landwirtschaft. So ging die Zahl der viehhaltenden Betriebe in Deutschland im Jahr 2003 in Bezug auf 1999 um 15% zurück, eine höhere Quote als bei den landwirtschaftlichen Betrieben insgesamt (- 11%). Vor allem Betriebe mit kleineren Milchvieh-, Schweine- und Geflügelbeständen gaben die Produktion auf. Gleichzeitig setzt sich der Konzentrationsprozess bei allen genannten Tierbeständen weiter fort, da mit dem Rückgang der Betriebe nicht im gleichen Maße die Viehbestände sinken (HAHLEN, 2004).

Bei der Schweinehaltung vollzog sich 2003 der Konzentrationsprozess der **Tierbestände** am stärksten. Hatten im Jahr 1999 noch 70,2% der Landwirte, die Mastschweine hielten, Bestände mit bis zu 49 Tieren, lag dieser Anteil 2003 bei 64%. Schweinebestände dieser Größe entsprachen aber nur einem Anteil von 7,4% (1999) bzw. 5,1% (2003) der Mastschweinebestände insgesamt. Die Zahl der Betriebe mit 50 und mehr Mastschweinen nahm zwar auch ab, ihr Anteil an den Mastschweinen steigt jedoch seit Jahren und hat von 1999 (29,8%) bis 2003 auf 36,0% zugenommen. Diese Betriebe hielten 2003 94,9% der Mastschweine, wobei alleine 24,2% der Tiere in Beständen mit 1.000 und mehr Mastschweinen standen. Der Anteil der Betriebe mit 1.000 und mehr Mastschweinen betrug im Jahr 2003 jedoch nur knapp 2% (Tabelle 1-2).

Bestandsgröße Mastschweine	1995	1999	2003*
Betriebe insgesamt	200.200	103.700	78.000
mit 1 bis 49 Tieren	154.200	72.800	49.900
mit 50 bis 999 Tieren	44.400	29.900	26.600
mit mehr als 1.000 Tieren	1.500	1.000	1.500

Tabelle 1-2: Bestandsgrößen der Mastschweinehaltung 1995 bis 2003
*vorläufige Angaben

Regional liegt der Schwerpunkt der Schweinefleischproduktion in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, wo 60,7% aller Schweine gemästet werden. In diesen beiden Bundesländern befinden sich 64% der Betriebe mit 1.000 und mehr Tieren (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004).

Die Zahl der **ökologisch wirtschaftenden Betriebe** in Deutschland stieg von 1999 bis 2003 von 9.572 auf über 13.700 Betriebe (+ 43%), das sind 3,3% der landwirtschaftlichen Betriebe insgesamt. Davon hielten im Jahr 2003 mehr als 11.000 ökologische Betriebe landwirtschaftliche Nutztiere. Die Zahl der viehhaltenden Ökobetriebe ist somit von 1999 zu 2003 um knapp 50% gestiegen.

Dies gilt jedoch nicht für die Anzahl der ökologisch wirtschaftenden Betriebe der Schweinehaltung; ihre Anzahl ist seit 1999 mit etwa 2.400 konstant (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004). Trotzdem gab es in der genannten Zeitspanne eine Zunahme der Tierzahlen um 28% bei den ökologisch produzierten Schweinen. Die Rinderhaltung bleibt der bedeutendste Produktionszweig der ökologischen Tierhaltung, der Mastschweine- und Zuchtsauenbestand weist auf die vergleichsweise geringe Rolle hin, die die ökologische Schweinehaltung in Deutschland spielt (HAHLEN, 2004).

Auch in der ökologischen Tierproduktion ist ein Trend zur wachsenden einzelbetrieblichen Produktionskapazität zu sehen: Die durchschnittliche Zahl der Tiere pro Betrieb stieg von 49 im Jahr 2003 auf 62 im Jahr 2004, bezüglich der ökologisch produzierten Mastschweine gab es einen Anstieg von 28 auf 36 Tiere pro Betrieb (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004).

Genauere Zahlen über die ökologische Schweineproduktion gibt es vom Statistischen Bundesamt aus dem Jahr 2001. Hierin wird ausgesagt, dass von den 115.540 Schweine haltenden Betrieben 2.380 ökologischen Landbau betreiben. Diese 2,1% der Betriebe halten mit 16.250 GV¹ aber nur 0,6% der insgesamt in Deutschland gehaltenen GV an Schweinen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004).

1.1.2 Zahl der Exponierten

In Hinblick auf die Zahl der in der Schweinemast beschäftigten Personen ist keine exakte Aussage möglich, da bei der Agrarstrukturerhebung des Statistischen Bundesamtes zwar die in der Landwirtschaft tätigen Menschen erfasst werden, ihre schwerpunktmäßigen Arbeitsbereiche jedoch nicht.

Nach den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes arbeiteten in Deutschland im Jahr 2003² insgesamt 1.304.900 **Arbeitskräfte in der Landwirtschaft**, davon 340.400 in Vollbeschäftigung. Die Umrechnung aller Arbeitskräfte auf beschäftigte Personen in Vollarbeitszeit ergibt 589.600 Arbeitskräfte-Einheiten. Im Vergleich zu

¹ Großvieheinheiten: Umrechnungsschlüssel zum Vergleich verschiedener Nutztiere aufgrund ihres Lebendgewichts; 1 GV entspricht etwa 500 kg

² Vorläufige Angaben

den Erhebungen im Jahr 2001 zeigten sich rückläufige Zahlen hinsichtlich der gesamten Arbeitskräfte (2001: 1.322.800) und der Vollbeschäftigung (2001: 349.800), die Arbeitskraft-Einheiten stiegen jedoch an (2001: 561.400). Im Durchschnitt verlängerte sich also die Arbeitszeit der in der Landwirtschaft teilzeitbeschäftigten Personen.

In den Betrieben mit ökologischem Landbau waren im Jahr 2003 41.500 Arbeitskräfte beschäftigt, rund 6.000 Arbeitskräfte mehr als 1999 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004).

1.2 Unfall- und Berufskrankheitengeschehen

Die Statistiken der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft (LBG) differenzieren nicht nach schwerpunktmäßigen Arbeitsbereichen in der Tierhaltung. Somit kann hier nur auf das allgemein bei der LBG erfasste Unfall- und Berufskrankheitengeschehen eingegangen werden.

Die aktuellen Statistiken des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (BLB, 2004) für das Jahr 2002 beschreiben in den 1.643.409 Mitgliedsunternehmen 122.485 meldepflichtige Unfälle und 65.869 nicht meldepflichtige Unfälle. Die meldepflichtigen Unfälle teilen sich in 119.078 Arbeitsunfälle und 3.407 Wegeunfälle. Davon waren 214 Arbeitsunfälle und 27 Wegeunfälle tödlich.

Mitgliedsunternehmen	1.643.409
meldepflichtige Unfälle	122.485
davon Arbeitsunfälle:	119.078
davon Wegeunfälle:	3.407
davon tödliche Arbeitsunfälle:	214
davon tödliche Wegeunfälle:	27
nicht meldepflichtige Unfälle	65.849

Tabelle 1-3: Bei der landwirtschaftlichen BG angezeigte Unfälle im Jahr 2002

Die Zuordnung der Arbeitsunfälle auf Arbeitsbereiche (Abbildung 1-1) zeigt für das Jahr 2002, dass fast ein Viertel der Unfälle im Bereich der Tierhaltung stattfanden.

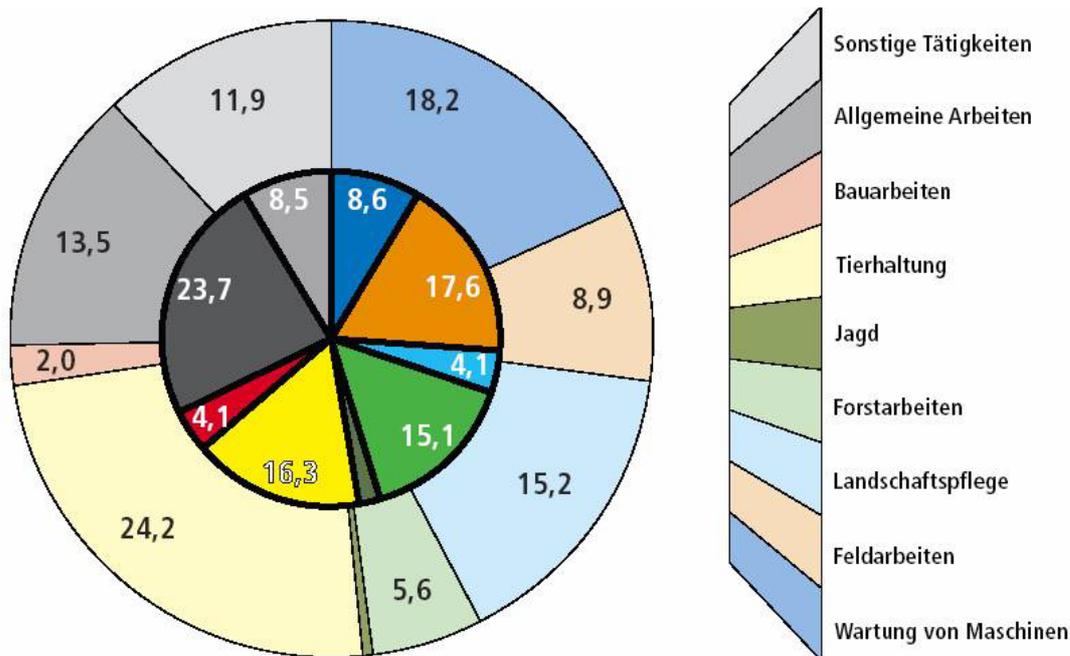


Abbildung 1-1: Prozentuale Verteilung der Unfälle in der Land und Forstwirtschaft nach Arbeitsgebieten (innerer Kreis: Tote). Aus: Geschäftsergebnisse der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften für das Jahr 2002 (BLB, 2004)

Der gleichen Statistik entstammen die Zahlen für das Berufskrankheiten- (BK-) geschehen: Insgesamt wurden im Jahr 2002 bei den landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften 2.918 Berufskrankheiten angezeigt. Im gleichen Jahr wurden 1.004 Verdachtsfälle auf eine Berufskrankheit bestätigt; diese verteilten sich auf 635 anerkannte Berufskrankheiten, 241 neue BK-Renten und 128 Feststellungen auf berufliche Verursachung einer Erkrankung.

Die in der Landwirtschaft bedeutendsten Berufskrankheiten, sortiert nach Anzahl der bestätigten BK-Verdachtsanzeigen im Jahr 2002 (siehe Tabelle 1-4), sind:

BK 3102 Von Tieren auf Menschen übertragbare Krankheiten

BK 4301 Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können

BK 2301 Lärmschwerhörigkeit

BK 4201 Exogen-Allergische Alveolitis

BK 5101 Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können

BK 4302 Durch chemisch-irritativ oder toxisch wirkende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können

BK 2108 Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

BK-Nr.	Erkrankung	BK-Anzeige	BK-Verdacht bestätigt	Anerkannte Berufskrankheiten	Neue BK-Renten	Berufl. Verursachung festgest.
	Gesamt	2.918	1.004	635	241	128
3102	Zoonosen	496	286	245	26	15
4301	obstr. Atemwegserkr. allergisierende Stoffe	482	237	95	71	71
2301	Lärmschwerhörigkeit	466	204	172	32	0
4201	Exogen-Allergische Alveolitis	112	80	40	39	1
5101	Hauterkrankungen	401	58	21	10	27
4302	obstr. Atemwegserkr. chem-irr./tox. Stoffe	57	32	13	14	5
2108	Lendenwirbelsäule Heben/Tragen	432	29	10	13	6

Tabelle 1-4: Wichtigste Berufskrankheiten in der Landwirtschaft, sortiert nach bestätigten BK-Verdachtsanzeigen

Betrachtet man die Entwicklung seit 1993 hinsichtlich der Anzahl der angezeigten Berufserkrankungen, so zeigt sich für die obstruktiven Atemwegserkrankungen aufgrund allergisierender Stoffe (BK 4301), für Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch Heben und Tragen (BK 2108), für Hauterkrankungen und für die Exogen-Allergische-Alveolitis ein leichter Abfall. Die Zoonosen (BK 3102), die Lärmschwerhörigkeit (BK 2301) und die aufgrund chemisch/irritativer und toxischer Stoffe verursachten obstruktiven Atemwegserkrankungen (BK 4302) pendeln um ein konstantes Niveau (Abbildung 1-2).

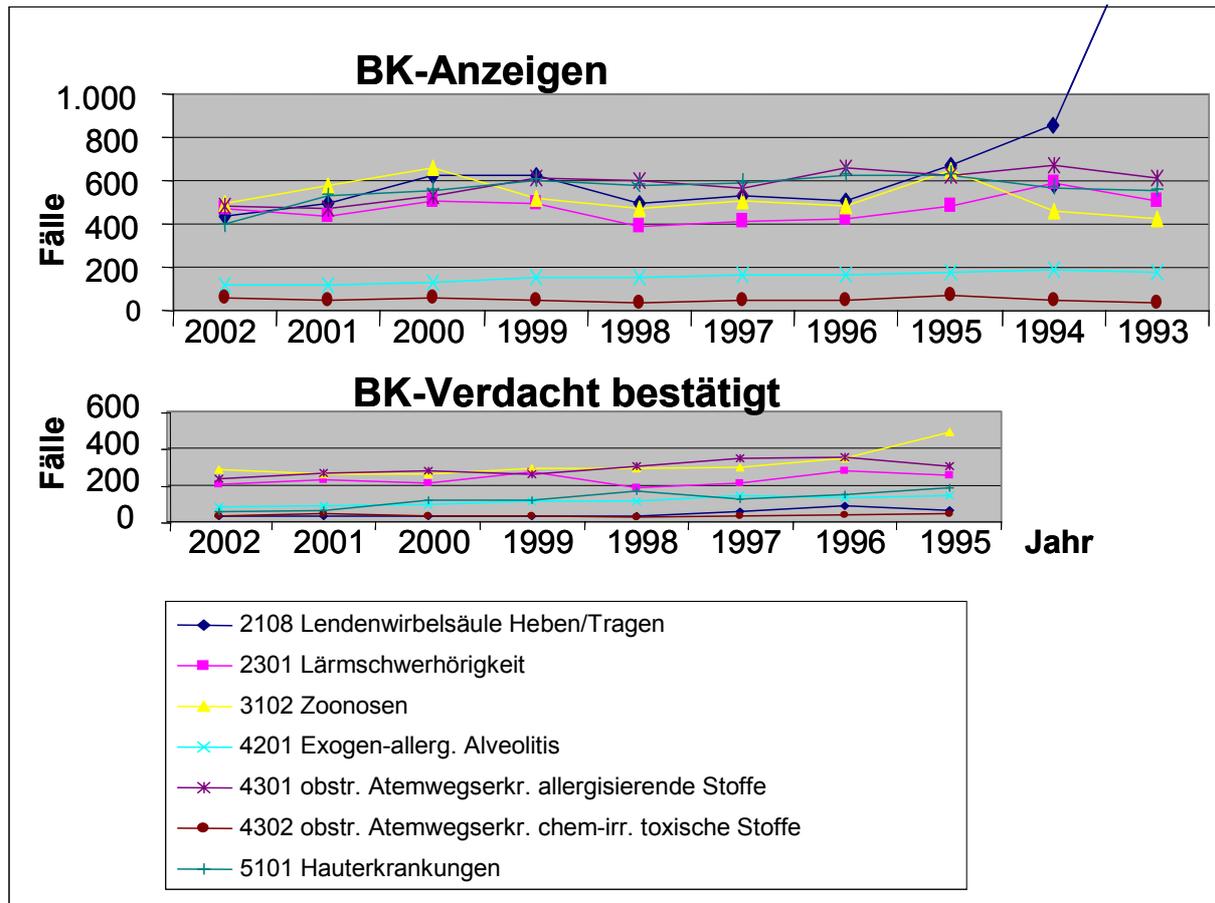


Abbildung 1-2: Anzahlen der BK-Verdachtsanzeigen (1993 bis 2002) und der bestätigten BK-Verdachtsanzeigen (1995 bis 2002) innerhalb der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften

Für die bestätigten BK-Verdachtsfälle innerhalb der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften liegen Zahlen seit 1995 vor. Hier zeigt sich für alle genannten Berufskrankheiten ein in der Tendenz leichter Abfall (Abbildung 1-2).

Eine andere Möglichkeit, sich über das Krankheitsgeschehen in der Landwirtschaft ein Bild zu machen, geben die von den landwirtschaftlichen Krankenkassen (LKK) veröffentlichten Daten über Krankenstände (BMGS, 2004). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Arbeitnehmer und auch die im Betrieb mitarbeitenden Familienangehörigen mit Arbeitsvertrag (was für die meisten Familienangehörigen zutrifft), nicht aber die selbstständigen Landwirte bei den Krankenstandsstatistiken erfasst werden. Neben der Unschärfe in Hinblick auf die Anzahl an Versicherten wird bei der Krankenstandsstatistik auch weder hinsichtlich des Arbeitsbereiches noch hinsichtlich der Art der Erkrankung differenziert. Trotzdem soll die interessante Entwicklung des Krankenstandes in den landwirtschaftlichen Krankenkassen im Vergleich zu allen gesetzlichen Krankenkassen (GKV) in Gesamtdeutschland kurz angesprochen werden (Abbildung 1-3): Im ersten Erfassungsjahr nach der Wiedervereinigung hatten

die landwirtschaftlichen Krankenkassen einen Krankenstand von 1,8%. Das war etwa ein Drittel des durchschnittlichen Krankenstandes im gesamten Bundesgebiet (4,9%). Bis heute stieg der Krankenstand bei den Landwirten stetig an, der allgemeine Krankenstand fiel, so dass sich im Jahr 2003 die Krankenstände von LKK und GKV bei 3,7% bzw. 3,6% trafen.

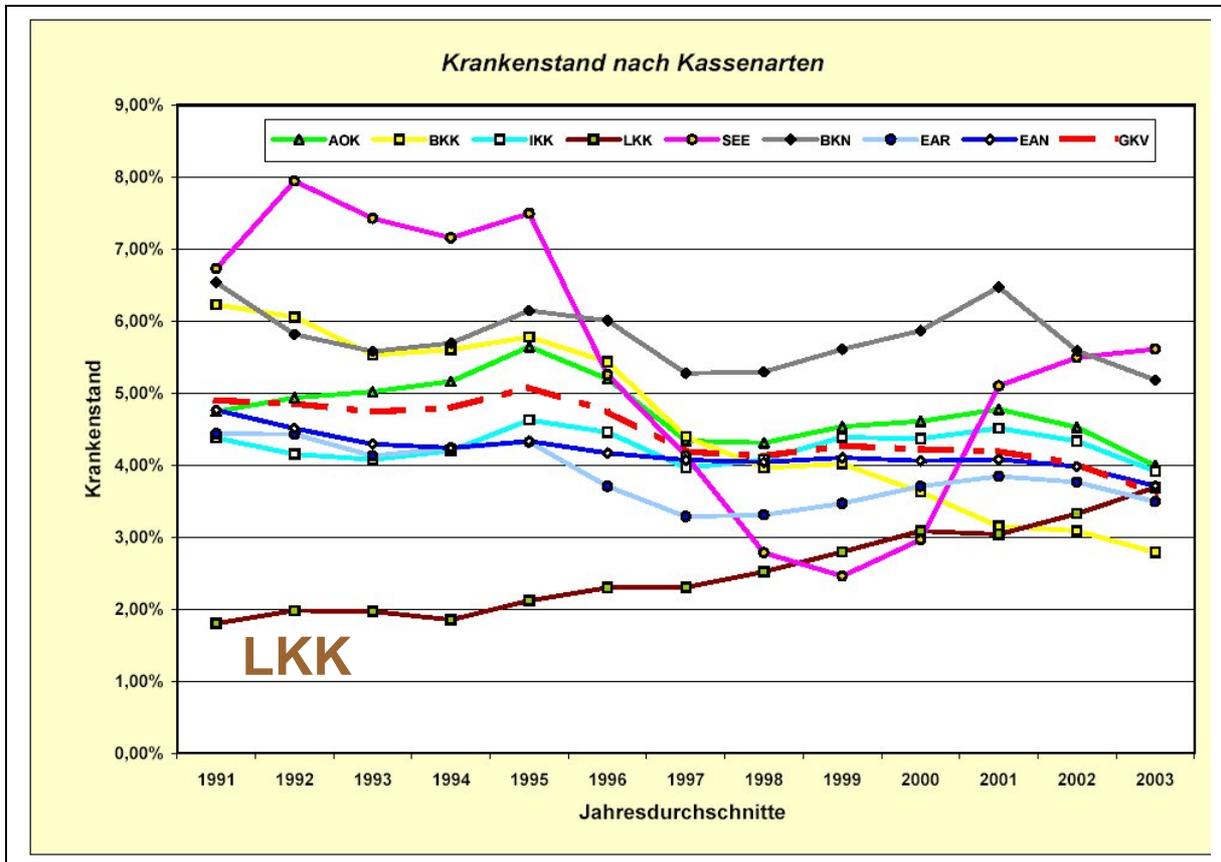


Abbildung 1-3: Krankenstand in Deutschland nach Kassenarten (BMGS, 2004)

1.3 Gesetzliche Grundlagen

1.3.1 Arbeitsschutz

Der Rat der Europäischen Gemeinschaft hat am 12. Juni 1989 die Richtlinie 89/391/EWG über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie) erlassen. Diese Richtlinie basiert auf Artikel 137 des EG-Vertrags, das heißt, sie beinhaltet Mindestvorschriften hinsichtlich der Umsetzung in nationales Recht.

In Artikel 16 wird der Erlass von Einzelrichtlinien vorgesehen. Als siebte dieser Einzelrichtlinien hat der Rat der EG die **Richtlinie 90/679/EWG** über den Schutz der

Arbeitnehmer gegen Gefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit am 26. November 1990 (kodifizierte Fassung: 2000/54/EG) verabschiedet. Auch diese Richtlinie beschreibt die Mindestanforderungen zur nationalen Umsetzung.

Nach Artikel 2, Absatz 2 des Grundgesetzes hat jeder das Recht auf körperliche Unversehrtheit. Dieses Grundrecht ist als die verfassungsrechtliche Grundlage des Arbeitsschutzes anzusehen.

Konkreter wird dieses in der Umsetzung der oben genannten EG-Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie in das deutsche Recht mit dem am 7. August 1996 erlassenen Gesetz zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weiterer Arbeitsschutz-Richtlinien (Artikelgesetz), dessen Artikel 1 das Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (**Arbeitsschutzgesetz** - ArbSchG) enthält. In diesem Gesetz stehen die biologischen Gefährdungen erstmals gleichberechtigt neben den mechanischen und chemischen Einwirkungen (§5 Abs. 3, ArbSchG). Wie die Europäische Richtlinie, so enthält auch das deutsche Gesetz für den Gesetzgeber die Möglichkeit, durch Rechtsverordnungen spezifische Bereiche genauer auszuführen.

Die am 4. Januar 1999 erlassene und am 4. April in Kraft getretene Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) setzt somit nach neun Jahren die entsprechende europäische Richtlinie um. Die lange Verzögerung erklärt sich mit der bis zur Verabschiedung des Arbeitsschutzgesetzes fehlenden Rechtsgrundlage zum Erstellen der Verordnung.

1.3.1.1 Die Biostoffverordnung

Der Biostoffverordnung liegt ein umfassender Ansatz und Geltungsbereich zugrunde - der Arbeitsschutz in diesem Bereich wird branchenübergreifend neu geordnet. Es werden alle Tätigkeiten mit natürlichen und gentechnisch veränderten Mikroorganismen, Zellkulturen und Humanendoparasiten erfasst, die beim Menschen Infektionen oder sensibilisierende bzw. toxische Reaktionen hervorrufen können. Die Vorgaben des Gentechnikgesetzes bleiben dabei bestehen, soweit es dort gleichwertige oder strengere Regelungen gibt. Tätigkeiten werden nach BioStoffV in gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten beim Umgang mit Biostoffen eingeteilt. Kriterium für eine gezielte Tätigkeit ist, dass der biologische Arbeitsstoff zumindest der Spezies nach bekannt,

die Tätigkeit auf den Stoff ausgerichtet und die Exposition des Beschäftigten bekannt oder abschätzbar ist.

Dabei werden die Biostoffe in die **Risikogruppen** eins bis vier eingeteilt, um die Tätigkeiten aufgrund der durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung in Schutzstufen einteilen zu können. Ausschlaggebend für die Einstufung ist lediglich das Infektionspotential, nicht jedoch die etwaigen sensibilisierenden oder toxischen Eigenschaften. Die Einstufungskriterien finden sich in den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 450 (Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe; TRBA 450, 2000) und im Speziellen für Pilze, Viren, Parasiten und Bakterien in den TRBA 460, 462, 464, 466. Das wichtigste Element der Biostoffverordnung ist die Pflicht des Arbeitgebers, die Arbeitsbedingungen, bei denen eine Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen stattfinden kann, zu beurteilen. Dies geschieht mit Hilfe des Instruments der **Gefährdungsbeurteilung**³.

Inhalte dieser Gefährdungsbeurteilung sind insbesondere:

- Ausreichende Informationsbeschaffung hinsichtlich Tätigkeit und Biostoff,
- eine Zuordnung zu gezielter oder nicht gezielter Tätigkeit,
- eine Einstufung der Biostoffe in Risikogruppen und entsprechende Zuordnung der Tätigkeit in Schutzstufen,
- Festlegung von der Gefährdung entsprechenden Schutzmaßnahmen.

An der Gefährdungsbeurteilung sind Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Arbeitsmediziner und der Betriebsrat gleichermaßen zu beteiligen. Sie ist durchzuführen vor Aufnahme der Tätigkeit, bei sicherheitsrelevanten Änderungen der Arbeitsbedingungen, bei Feststellung einer Kontamination am Arbeitsplatz, beim Auftreten von Erkrankungen am Arbeitsplatz sowie, unabhängig von diesen Kriterien, einmal jährlich.

Auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung sind auch die erforderlichen Hygienemaßnahmen (z. B. Desinfektion, Dekontamination) festzulegen und geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen. Die Funktion und Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen ist regelmäßig zu überprüfen. Die Biostoffverordnung beinhaltet dabei aber keine grundsätzliche Messverpflichtung. Messungen müssen nach TRBA 400 nur dann durchgeführt werden, wenn der Ausschuss für biologische Arbeitsstoffe (ABAS, s.u.) einen Technischen Kontrollwert (TKW) für einen Arbeitsbe-

³ Eine Gefährdungsbeurteilung für den Tätigkeitsbereich von Landwirten in der Schweinemast ist im Rahmen einer Studienarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführt worden (KLEMME, 2004).

reich oder ein Verfahren festgelegt hat. Der TKW beschreibt dabei keine biologischen Wirkschwellen, sondern die Luftkonzentration, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann.

Hat die Gefährdungsbeurteilung eine höhere Schutzstufe als 1 ergeben, oder sind sensibilisierende oder toxische Wirkungen möglich, so hat der Arbeitgeber zusätzlich zu den allgemeinen Hygienemaßnahmen nach TRBA 500 entsprechende Maßnahmen zu treffen. Dabei sind die Arbeitsverfahren grundsätzlich so zu gestalten, dass biologische Arbeitsstoffe nicht frei werden. Ist dies nicht möglich, muss die Freisetzung minimiert und die Zahl der exponierten Beschäftigten begrenzt werden. Bei Durchführung von Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppen 3 und 4 (mäßiges und hohes Risiko) sind die besondere Qualifikation von Beschäftigten und Arbeitgeber, das Anzeigen der Tätigkeit bei der zuständigen Behörde, das Erfassen der Beschäftigten und die Erstellung eines Notfallplans zu beachten.

Die Biostoffverordnung verpflichtet den Arbeitgeber weiterhin zu der Erstellung von Betriebsanweisungen, auf deren Grundlage die Beschäftigten regelmäßig unterwiesen werden. Bei der arbeitsmedizinischen Vorsorge werden Angebotsuntersuchungen von Pflichtuntersuchungen beim Umgang mit näher spezifizierten Erregern unterschieden. Diese Untersuchungen müssen, genauso wie entsprechende Impfungen, vom Arbeitgeber angeboten werden.

Ferner bildet die Biostoffverordnung die Rechtsgrundlage für den schon 1995 beim Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung gebildeten Ausschuss für biologische Arbeitsstoffe (ABAS). In ihm sollen nach Biostoffverordnung sachverständige Mitglieder der öffentlichen und privaten Arbeitgeber, der Gewerkschaften, der Länderbehörden, der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung, der Hochschulen und der Wissenschaft angemessen vertreten sein. Vorrangige Aufgabe des ABAS bleibt es, die in der BioStoffV niedergelegten Grundsätze und Pflichten in Form von branchen- oder tätigkeitsbezogenen Regelungen praxisgerecht zu konkretisieren. Daraus ergibt sich unter anderem die Erarbeitung der **Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe** (TRBA), die dem jeweiligen Stand von Wissenschaft, Technik und Medizin entsprechen.

Für den Bereich der Landwirtschaftlichen Tierhaltung wurde im Jahr 2000 die **TRBA 230** „Landwirtschaftliche Nutztierhaltung“ (TRBA 230, 2000) veröffentlicht. Hierin werden die Forderungen der BioStoffV für diesen Arbeitsbereich spezifiziert: Es werden die wichtigsten infektiösen, toxischen und allergischen Erkrankungen genannt,

die bei Beschäftigten in der Tierproduktion auftreten können. Entsprechend der Risikoeinstufungen und Schutzstufen werden Schutzmaßnahmen genannt.

Bezüglich sensibilisierender Arbeitsstoffe hat der ABAS Regelungen in Form des **Beschlusses 606** „Biologische Arbeitsstoffe mit sensibilisierender Wirkung“ (ABAS, 2003) verfasst. Dort ist der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengefasst und eine Konkretisierung der BioStoffV in Form entsprechender Schutzmaßnahmen aufgezeigt.

1.3.1.2 Gefahrstoffrechtliche Regelungen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Einstufung von Biostoffen in Risikogruppen ausschließlich auf Grundlage des infektiösen Potentials der Mikroorganismen beruht. Die Beurteilung möglicher allergenisierender und/oder toxischer Wirkungen und die Auswahl entsprechender Maßnahmen müssen zusätzlich erfolgen. Regeln zu sensibilisierender Arbeit finden sich neben dem ABAS-Beschluss 606 auch im Gefahrstoffrecht.

Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 gibt einen allgemeinen Staubgrenzwert von 3 mg/m³ Luft, in Ausnahmen 6 mg/m³ für alveolengängigen Staub, sowie 10 mg/m³ Luft für die einatembare Staubfraktion an (TRGS 900, 2000). Diese Grenzwerte gelten für inerte Stäube. Sensibilisierende Stäube sind in der TRGS 907 (TRGS 907, 2002) berücksichtigt. Hier sind die Stoffe aufgeführt, die bisher nach GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig sind, für die aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse oder praktischer Erfahrungen jedoch ein besonderer Umgang erforderlich ist. Für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung von Bedeutung sind dabei die Futtermittel- und Getreidestäube, Nutztierstaub und schimmelpilzhaltige bzw. strahlenpilzhaltige Stäube. Die TRGS 907 verweist für diese Stäube auf den fünften Abschnitt der Gefahrstoffverordnung, in dem die allgemeinen Umgangsvorschriften für Gefahrstoffe (Ermittlungspflicht, Schutzpflicht, Überwachungspflicht, Schutzmaßnahmen, Betriebsanweisung, Hygienemaßnahmen, Vorsorgeuntersuchung etc.) beschrieben sind. Für alle Stäube und Substanzen mit sensibilisierender Wirkung gilt das Minimierungsgebot entsprechend TRGS 540 (TRGS 540, 2000).

1.3.1.3 Berufsgenossenschaftliche Regelungen

In Deutschland ist der Arbeitsschutz als duales System geregelt. Das heißt, dass neben dem staatlich organisierten Arbeitsschutz das autonome Unfallverhütungsrecht

der Unfallversicherungsträger existiert. Das siebte Sozialgesetzbuch beschreibt die Funktion der Berufsgenossenschaften. Eine ihrer Aufgaben ist es, Unfallverhütungsvorschriften (UVV) zu erlassen.

Für den Bereich der Landwirtschaft erlassen die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (LBG) diese autonomen Vorschriften, die auch für den Unternehmer selbst und seine im Betrieb mitarbeitenden Familienangehörigen gelten. Damit unterscheidet sich die LBG von den gewerblichen Berufsgenossenschaften und den Unfallversicherungskassen, deren Vorschriften wie auch die staatlichen Arbeitsschutzvorschriften nur für Arbeitnehmer gelten.

In den Unfallversicherungsvorschriften der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften finden sich Vorschriften zum Umgang mit infizierten Tieren (VSG 4.1 „Tierhaltung, Stand Jan. 2000), aber keine Vorschriften, die den Umgang mit toxischen oder sensibilisierenden (luftgetragenen) biologischen Arbeitsstoffen regeln. In der Informationsbroschüre „Aktuelles zu Sicherheit und Gesundheitsschutz – Tierhaltung“ findet sich eine kurze Information zu allergisch bedingten Erkrankungen. Eine Broschüre und ein Informationsfilm, die die Gefährdung von Atemwegserkrankungen durch Stallstäube behandeln, sind nach Mitteilung von GÖSE (2004) aber in Arbeit.

Die sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Betreuung der landwirtschaftlichen Betriebe auf Grundlage der Unfallverhütungsvorschrift VSG 1.2 „Sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Betreuung und spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge bei besonderer Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz“ ist seit 2002 obligat.

1.3.2 Tierhaltungsvorschriften

Das Tierschutzgesetz (Neufassung vom 25. Mai 1998) enthält in §2 auch für landwirtschaftliche Nutztiere zentrale Vorschriften zur Haltung, Pflege und Unterbringung von Tieren. Die Diskussion über den Umgang mit Nutztieren, speziell ihre Haltungsbedingungen, nimmt zu, die Aufnahme des Tierschutzes ins Grundgesetz hat seinen Stellenwert deutlich erhöht. Aktuell zeigt sich die Diskussion auf legislativer Ebene am Streit um die Umsetzung der EU-Richtlinie 2001/93/EG zur Haltung von Schweinen. Die Richtlinie hätte bis spätestens zum 1. Januar 2003 umgesetzt werden müssen, bislang kam aber keine Einigung im Bundesrat zustande. Derzeit läuft diesbezüglich eine Klage der Brüsseler Kommission am Europäischen Gerichtshof. Hauptstreitpunkt bei der deutschen Umsetzung der Europäischen Mindestvorschriften in

eine deutsche Schweinehaltungsverordnung im Rahmen der diskutierten Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung ist dabei das Platzangebot für Mastschweine und Absatzferkel. Die Rechtslücke entstand 2001 durch das Außer-Kraft-Setzen der damals gültigen Schweinehaltungsverordnung aus formal juristischen Gründen. Einzelne Bundesländer gaben hierauf eigene, teilweise sehr unterschiedliche Erlasse zur Haltung von Schweinen heraus. Am kontroversesten wurde der Nordrhein-Westfälische Erlass für die Schweinemast (sog. „Kuschelerlass“) vom 8. Juni 2001 diskutiert. Das Verwaltungsgericht Minden entschied am 11. Dezember 2002 allerdings, dass für die Errichtung einer Schweinemastanlage mit Vollspaltenböden die Bestimmungen des Erlasses nicht maßgeblich seien.

Zu den allgemeinen Vorschriften zur Schweinehaltung gibt es auf Bundesebene die Schweinehaltungshygieneverordnung (SchHaltHygV) von 1999, die über hygienischen Anforderungen bei der Schweinehaltung, basierend auf dem Tierseuchengesetz, präventive seuchenhygienische Anforderungen für die Stall- und Freilandhaltung vorschreibt.

Hinzu kommen einzelne DIN-Normen außerhalb der Rechtssetzung, auf die Bezug genommen wird. Die Wichtigsten sind: DIN 18910-1 von 2003 „Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung“. Sie regelt die Planung geschlossener, wärmegeprägter zwangsbelüfteter Ställe für die Nutztierhaltung auf Grundlage von Festlegungen zur Berechnung des Luftmassenstroms im Winter und im Sommer. Die DIN 18908 beinhaltet Empfehlungen für Fußböden in Stallanlagen.

1.4 Biologische Arbeitsstoffe

Die Biostoffverordnung gibt in §2 Abs. 1 die Definition von biologischen Arbeitsstoffen als pathogene oder zumindest fakultativ pathogene Bakterien, Viren, Protozoen, Pilze, Prionen (mit transmissibler, spongiformer Enzephalopathie assoziiertes Agens) und Würmer (Endoparasiten). Dazu kommen pathogene Stoffwechselprodukte, die vom lebenden Mikroorganismus (Exotoxine, Mykotoxine) oder beim Zelltod (Endotoxine) freigesetzt werden.

Einen Überblick über die Größenverhältnisse genannter Biostoffe gibt Abbildung 1-4.

1.4.1 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe

Aerosole sind in der Luft oder in Gasen feinstverteilte feste oder flüssige Partikel. Bei in der Luft verteilten Feststoffteilchen spricht man auch von Staub, bei flüssigen Schwebstoffen von Nebel. Dabei sind belebte und unbelebte Partikel in der Luft allgegenwärtig. Sie entspringen anthropogenen (z.B. Landwirtschaft, Industrie, Verkehr) wie auch natürlichen Quellen (z.B. Erdbodenaufwirbelungen, Pollenflug oder Abbauprodukte organischer Materialien).

Die funktionsbestimmende Größe ist der aerodynamische Durchmesser. Als aerodynamischer Durchmesser eines Teilchens beliebiger Form und Dichte wird der Durchmesser einer Kugel mit der Dichte $1,0 \text{ g/cm}^3$ bezeichnet, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in ruhender oder laminar strömender Luft besitzt. Die Größenverteilung wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben und reicht in weitesten Grenzen von 1 nm bis 100 μm .

Alle Aerosolpartikel sind nach Cox (1995) folgenden aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen:

- Gravitation
- Elektrische Kräfte
- Brown'sche Bewegung
- thermische Gradienten im Raum
- Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen
- Luftströmung

Zudem besteht eine Abhängigkeit der luftgetragenen Partikel von der relativen Luftfeuchte bezüglich ihrer Größe, Masse, Dichte und Form.

Aerosole fallen mit der Zeit durch Sedimentation aus: Kleinere Partikel (etwa 0,2 μm – 2 μm , z.B. kleine Bakterie) mit einer Geschwindigkeit von 0,01mm/s, größere Partikel (20 μm – 100 μm , z.B. Pollen) mit 10mm/s – 100mm/s. Ebenfalls schneller werden größere Partikel durch Impaktion, z.B. durch Aufnahme in Regentropfen, ausgewaschen. Dieser Waschprozess wirkt auf Teilchen größer 5 μm und wird für Partikel größer 25 μm effektiv (LINSEL, 2001).

Von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen oder **Bioaerosolen** spricht man, wenn der im Gas getragene Stoff zumindest teilweise ein biologischer Arbeitsstoff im Sinne der Biostoffverordnung §2, Abs. 1 ist. Es ist hierbei nicht von Bedeutung, ob die Mikroorganismen frei oder gebunden an sonstigen Partikeln auftreten.

Biologische Arbeitsstoffe kommen folglich mit unterschiedlichen aerodynamischen Durchmessern und somit verschiedener Atemwegsgängigkeit vor (Abbildung 1-4). Die DIN EN 481 „Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“ (DIN EN 481, 1993) teilt Partikelfractionen entsprechend ihrer Vordringtiefe in den Atemtrakt ein (siehe auch Kapitel 2.1.2).

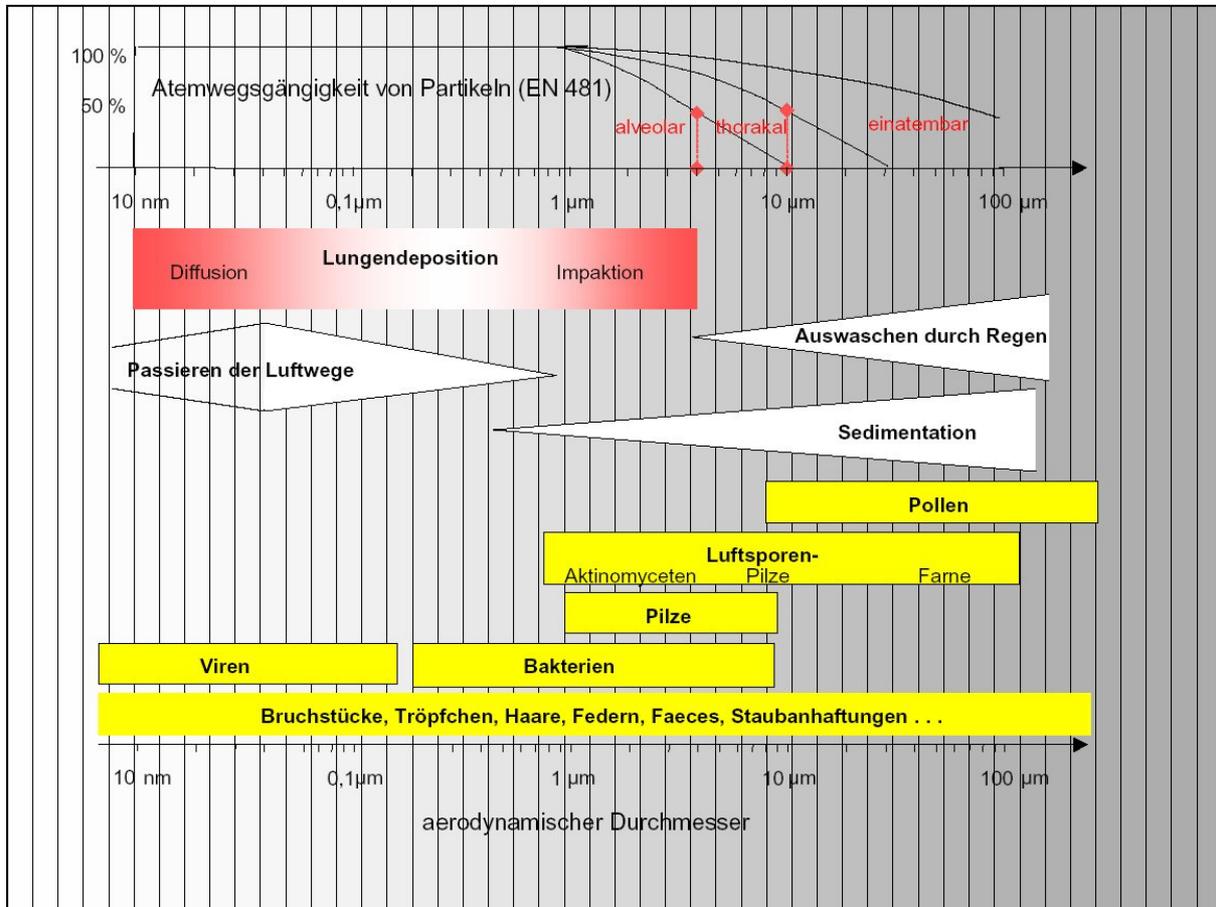


Abbildung 1-4: Bioaerosole in den menschlichen Atemwegen (LINSEL, 2001)

Man kann davon ausgehen, dass Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser größer als 8 µm bereits in der Nase abgeschieden werden. Teilchen ≤ 8 µm gelangen in thorakale Bereiche der Atemwege und nur Teilchen ≤ 4 µm bis in die Alveolen (DIN EN 481, 1993). Für das Retentionsverhalten der Aerosolteilchen in der Lunge ist das Abscheideprinzip wesentlich. Partikel zwischen 4 µm und 1 µm gelangen durch Impaktion aus dem Luftstrom auf das Lungengewebe, wobei für kleiner werdende Teilchen die Impaktion abnimmt. Unterhalb von 80 nm dominiert die Diffusion als Abscheideprinzip (LINSEL, 2001).

Da Biostoffe in nahezu allen Bereichen der Umwelt vorkommen, ist auch eine Grundbelastung mit Bioaerosolen gegeben. Diese unterliegt, bedingt durch Witterung

und Jahreszeiten, sehr starken Schwankungen. Außerdem spielen die aerodynamischen Verhältnisse vor Ort eine wichtige Rolle, da sie die Aerosolentstehung und Verbreitung beeinflussen.

Der natürliche Luftkeimgehalt erhöht sich immer dann, wenn keimhaltige Medien in die Aerosolphase gelangen. Einen Überblick über Größenordnungen von Luftkeimkonzentrationen in Außenluft und Wohnräumen bietet Tabelle 1-5 (wobei hier die Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Mess- und mikrobiologischer Bestimmungsverfahren eingeschränkt ist). Eine Zusammenstellung standardisierter erfasster Bioaerosolkonzentrationen aus verschiedenen Arbeits- und Wirtschaftsbereichen findet sich in Kapitel 4.2, Tabelle 4-3.

Messort	Gesamtkeimzahl [KBE/m ³]	Schimmelpilze [KBE/m ³]	Bakterien [KBE/m ³]	thermophile Actinomyceten [KBE/m ³]
unbelastete Außenluft (z.B. Innenstadt, Parks etc.)	10 ¹ – 10 ³	<10 ² - 10 ³	<10 ² - 10 ³	<10 ²
Wohnräume, sauberer Zustand	<100 - 500	0 - 250	0 - 250	<10

Tabelle 1-5: Luftkeimkonzentrationen im menschlichen Umfeld (Zusammenstellung nicht vergleichbarer Mess- und Auswerteverfahren verschiedener Veröffentlichungen) nach Bossow (1998)

Beim Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen ist besonderes Augenmerk auf die Entstehung von Aerosolen zu richten, da diese inhalativ aufgenommen werden, also permanent direkt in den Organismus gelangen, ohne dass man sie zwangsläufig riecht oder schmeckt.

1.4.1.1 Mikroorganismen

Die wichtigsten luftgetragenen Mikroorganismen sollen im Folgenden mit ihren für die vorliegende Arbeit bedeutensten pathogenen Eigenschaften kurz vorgestellt werden.

Bakterien sind einzellige Kleinlebewesen ohne echten Zellkern. Morphologisch sind sie sehr unterschiedlich; Kugeln, Stäbchen und Schrauben, teilweise mit Geißeln und Kapseln. Ihr Stoffwechsel kann autotroph oder heterotroph, aerob oder anaerob sein. Dabei können sich die meisten humanpathogenen Bakterien sowohl in aerobem als auch in anaerobem Milieu vermehren. Bakterien pflanzen sich durch Teilung fort, es gibt auch solche, die Sporen bilden. Mit der Gram-Färbetechnik können Bakterien

entsprechend ihrer Anfärbbarkeit in grampositive und gramnegative Keime unterteilt werden. Die Unterschiede in der Anfärbbarkeit beruhen dabei auf dem unterschiedlichen Aufbau der Zellwände (vgl. Abbildung 1-5). Der Nachweis von Bakterien kann direkt (Lichtmikroskopie, Kultur) oder indirekt (Antikörpernachweis) erfolgen. Zusätzlich ist es möglich, das genetische Material mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) nachzuweisen.

Aktinomyzeten sind überwiegend aerobe, grampositive Bakterien. Sie bilden im Unterschied zu anderen Bakterien ein charakteristisches, pilzähnliches Mycelgeflecht und Sporen. Diese gehen leicht in den luftgetragenen Zustand über und verbreiten sich.

Viren besitzen entgegen Bakterien keine Zellstruktur. Ihr genetisches Material ist von einem Kapsid umgeben, das bei komplexeren Virionen umhüllt ist (Envelope). Viren sind eine eigene infektiöse Einheit, sie bedürfen zur Vermehrung aber Wirtszellen, auf die sie häufig pathogen wirken. Der Nachweis von Viren kann kulturell auf lebenden Zellen, mittels Elektronenmikroskopie, PCR oder indirekt mittels serologischer Methoden erfolgen.

Pilze besitzen entgegen Bakterien einen echten Zellkern, gleichen demnach den Pflanzen, sind aber nicht zur Photosynthese fähig. Pilze wachsen entweder als Einzelzellen (Hefen) oder als mycelbildende, multizelluläre Kolonien. Pilze sind in der Regel Sporenbildner. Der Pilznachweis kann durch Mikroskopie und Kultivierung erfolgen. Zusätzlich ist der serologische Nachweis spezifischer Antikörper möglich. Erkrankungen durch Schimmelpilze in der Luft lassen sich in Mykosen, Mykoallergosen und Mykotoxikosen unterscheiden.

Mykosen sind die durch Pilze erzeugten Infektionskrankheiten. Voraussetzung für das Angehen einer Infektion ist deshalb in den meisten Fällen eine Abwehrschwäche des Wirts, da die meisten pathogenen Pilze ein nur geringes infektiöses Potential aufweisen.

Mykoallergosen bezeichnen eine allergische Reaktion vor allem durch Schimmelpilzsporen. Diese lassen sich unterteilen in:

- Typ I-Allergien, die mit Reaktionen vom Sofort-Typ einhergehen: allergische Rhinitis, allergische Konjunktivitis oder allergisches Asthma bronchiale (BK 4301 - durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen).

- Typ III-/ Typ IV-Allergien, die Exogen-Allergische Alveolitis (BK 4201 - Exogen-Allergische Alveolitis). Die EAA kann durch eine Vielzahl von Antigenen, neben den Aspergillus- und Penicilliumspecies auch durch thermophile Aktinomyzeten, Bacilluspecies, organische Stäube, Chemikalien u. A., verursacht werden. Je nach Exposition hat sie verschiedene Bezeichnungen wie Farmerlunge, Befeuchterlunge, Holzarbeiterlunge, etc.

Aufgrund seiner besonders atemwegssensibilisierenden Wirkung wird *Aspergillus fumigatus* als Leitkeim für humanpathogene Belastung durch Schimmelpilze herangezogen. Zudem ist er als Toxinbildner bekannt.

Des Weiteren gibt es die durch Schimmelpilzmykotoxine verursachten *Mykotoxikosen*. Dazu gehören cyto- und neurotoxische sowie immunsuppressive, teratogene, mutagene und carcinogene Effekte in akuter und chronischer Form. Primär werden Mykotoxikosen durch orale Aufnahme pilzbefallener Nahrung ausgelöst. Nach neueren Untersuchungen wird aber auch das Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) u.a. den inhalativ verursachten Mykotoxikosen zugeordnet. ODTS zeigt ähnliche Symptome wie die akute allergische EAA, zur Auslösung von ODTS ist aber im Gegensatz zu EAA keine Prädisposition oder Sensibilisierung erforderlich.

1.4.1.2 Endotoxine und Mykotoxine

Endotoxine sind Bestandteil von gramnegativen Bakterienzellwänden. Sie entstehen (entgegen den vom lebenden Bakterium sezernierten Exotoxinen) beim Absterben der Bakterien und kommen somit in der Natur ubiquitär vor. Biochemisch werden sie als *Lipopolysaccharide (LPS)* bezeichnet. Dieses Polymer besteht aus dem Lipid A, dem Kernpolysaccharid sowie der O-spezifischen Kette (Abbildung 1-5). Die toxische Wirkung des Endotoxins beruht auf dem wenig veränderlichen Lipid A (HAHN ET AL., 2001), seine Aktivität wird allerdings durch den Polysaccharid-Anteil modifiziert (HENDERSON ET AL., 1998).

Unter der Annahme, dass die Zellwand einer gramnegativen Zelle eine Dicke von 15 nm bis 20 nm hat, liegt die minimale Größe eines LPS in diesem Bereich. Es wird aber davon ausgegangen, dass zum einen die Bruchstücke der Zellwände nicht aus einzelnen Lipopolysacchariden bestehen, zum anderen sich die Endotoxine an sonstige Aerosolpartikel binden. Lipopolysaccharide sind thermostabil (110°C) und werden durch Autoklavieren nicht eliminiert.

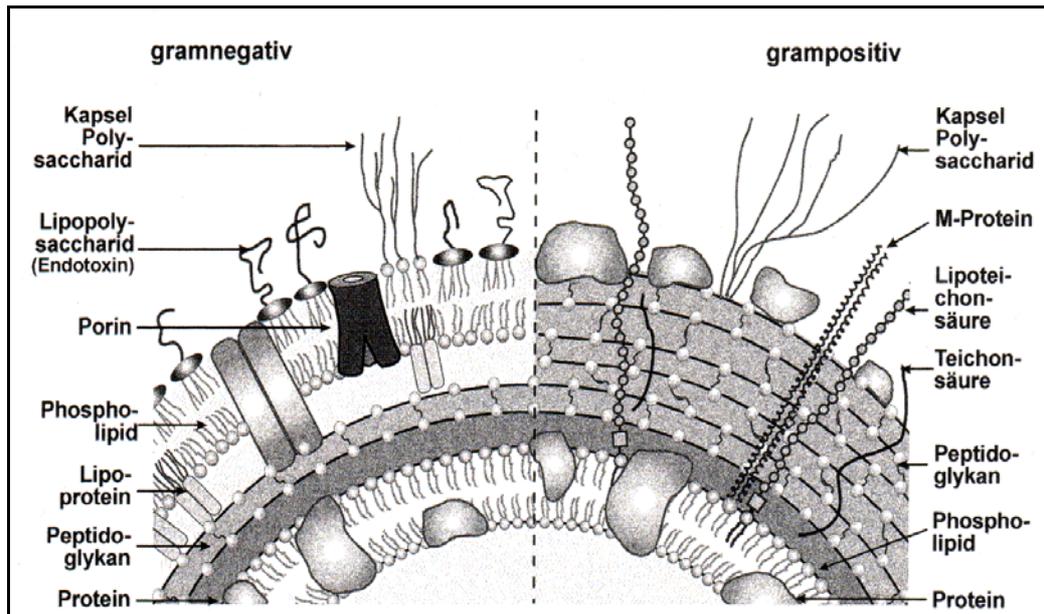


Abbildung 1-5: Zellwände gramnegativer und grampositiver Bakterien im Vergleich (nach RIETSCHEL, 1999)

Die wohl bedeutendste pathogene Eigenschaft des Endotoxins ist seine pyrogene Wirkung. Neben Fieber kann es aber auch zahlreiche andere pathophysiologische Wirkungen hervorrufen. SEEDORF & HARTUNG (2002) fassen die inhalative Wirkung von Endotoxinen als akute Entzündung in der Lunge zusammen. Dabei werden die Veränderungen von funktionellen (herabgesetzter O_2/CO_2 -Austausch in der Lunge, verschlechterte Lungenfunktionsparameter) und subjektiven Symptomen (Anstieg der Körpertemperatur, Husten, Erschöpfung) begleitet. Chronische Expositionen können zu chronischer Bronchitis führen (LINSEL ET AL., 2002). Zusätzlich werden auch Magen-Darm-Beschwerden durch eine inhalative Aufnahme des Endotoxins beschrieben. Des Weiteren finden sich in der Literatur Hinweise auf einen Zusammenhang von Endotoxinexposition und Augenentzündungen (LUNDHOLM & RYLANDER, 1983). Bei hohen Endotoxin-Dosen in der Körperflüssigkeit (z.B. Blut) kann es zu einem irreversiblen Endotoxinschock kommen.

Man geht davon aus, dass Endotoxine weniger allein als vielmehr im Zusammenwirken mit anderen Noxen wie Pilzsporen ihre krankmachenden Wirkungen entfalten. Beispielhaft seien das Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) genannt oder die Exogen-Allergische Alveolitis (EAA) im Zusammenwirken mit $(1\rightarrow3)\text{-}\beta\text{-D-Glucan}$. Ebenso wird die inhalative Aufnahme von Endotoxinen als ein Faktor bei der Entstehung und Entwicklung von Asthma gesehen (SCHWARTZ, 2001).

Mykotoxine sind Metabolite von Pilzen mit vielschichtiger Giftwirkung und umfangreichen immunmodulatorischen Eigenschaften (BONDY & PESTKA, 2000). Die toxi-

schen, mutagenen und teratogenen Wirkungen der Toxine können auf ingestivem (kontaminierte Lebens- /Futtermittel) oder inhalativem Weg beanspruchen. Mykotoxine sind aufgrund ihres hohen Molekulargewichts in aerogener Phase an Carrier (z.B. Staub) gebunden, abhängig von der Pilzart kommen sie aber auch in den Mycelen und Sporen vor. Der Nachweis der Mykotoxine ist mittels Hochdruck-Flüssigchromatographie (HPLC) oder in einzelnen Fällen mittels immunologischer Verfahren möglich.

1.4.1.3 Sonstige biologische Arbeitsstoffe

Glukane entstammen den Zellwänden von Pilzen, Pflanzen, bestimmten Bakterien und Aktinomyzeten. **β -(1,3)-D-Glukane** sind dabei die medizinisch relevanteste Gruppe. Sie zeigen bei Inhalation ein entzündliches Potential auf die Atemwege, insbesondere im Zusammenwirken mit Endotoxinen (RYLANDER, 1996).

Der Begriff „Microbial Volatile Organic Compounds“ (**MVOC**) steht als Zusammenfassung für alle flüchtigen organischen Verbindungen, die von Mikroorganismen in die Umgebungsluft abgegeben werden. Es handelt sich um ein breites Spektrum chemischer Stoffklassen. Ein Teil dieser Substanzen sind für Geruchsemissionen verantwortlich. MVOC können aber auch auf Schleimhäute irritativ oder systemisch toxisch wirken. In der Regel kommen diese chemischen Bestandteile jedoch nur niedrig konzentriert in der Luft vor (SEEDORF & HARTUNG, 2002).

Staub ist nicht grundsätzlich als biologischer Arbeitsstoff zu betrachten. Er hat in aerogenem Zustand aber grundsätzlich eine Vehikelfunktion für Mikroorganismen und sonstige biogene Partikel. Dabei ist nach SEEDORF & HARTUNG (2002) nicht auszuschließen, dass das Staubs substrat durch Partikelagglomeration einen protektiven Einfluss auf die Keime ausübt, indem Stressfaktoren aus den Umgebungsbedingungen wie Luftfeuchte, Temperatur, Sauerstoff, Strahlung etc. durch große Partikel abgefangen werden und das Staubs substrat selbst von den Mikroorganismen auch verstoffwechselt werden kann.

Als **Ultrafeinstäube** werden gewöhnlich Partikel in Aerosolen mit einem Durchmesser von $\leq 0,1 \mu\text{m}$ bezeichnet. Trotz der sehr geringen Massenkonzentration in der Luft ist ihre biologische Wirkung in der Anzahl und Oberflächengröße begründet. Zudem kommt dem Ultrafeinstaub eine potente Rolle als Carrier (z.B. von Viren oder Gasen) zu. Ultrafeinstäube sind als Komponente von Staub aus der Nutztierhaltung bislang nicht untersucht.

Bei den beschriebenen biologischen Arbeitsstoffen und deren pathologischen Wirkungen sind stoffliche und mikrobiologische Kombinationseffekte nicht außer Acht zu lassen. Neben den Einzeleffekten ist durch die Präsenz unzähliger Fremdbestandteile in der Luft landwirtschaftlicher Nutztierhaltung davon auszugehen, dass die pulmonalen Pathomechanismen als Konsequenz einwirkender Noxen durch Kumulations-, Synergie- oder antagonistische Effekte weitaus komplizierter sind als die für den einzelnen Stoff bekannten biologischen Vorgänge (SEEDORF & HARTUNG, 2002).

1.4.2 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe in der Tierhaltung

In der **landwirtschaftlichen Nutztierhaltung** findet sich ein breites Spektrum an Erregern und deren Abbau- und Stoffwechselprodukten im Stallstaub. Nach SEEDORF & HARTUNG (2002) sind das Futter und die Einstreu, nach DONHAM ET AL. (1986) das Futter und die Fäkalien die wichtigsten Quellen des Stallstaubes. Das Tier erzeugt ferner Staub durch Abschilferungen von Haut, Haaren und Federn die ebenfalls allergene Wirkungen entfalten können. Zusätzlich beeinflussen das Stallinventar (z.B. durch Holzabrieb) und die Außenluft die Aerosolkonzentration im Stall geringfügig. Auf der anderen Seite ergibt sich eine Ausdünnung der luftgetragenen Partikelkonzentration im Stall durch die Ventilation, durch Sedimentation und Impaktion und, bezogen auf die Lebensfähigkeit der luftgetragenen Mikroorganismen, durch ihre biologische Halbwertszeit.

Der Stallstaub im Schweinestall besteht nach LOUHELAINEN ET AL. (1987) zu etwa 90% aus organischen Komponenten. Dabei ist besonders der über 30%ige Anteil an Rohprotein (SEEDORF & HARTUNG, 2002) aufgrund seiner potentiellen sensibilisierenden Wirkung bemerkenswert.

SEEDORF & HARTUNG haben im Jahr 2002 aus 23 Studien die Ergebnisse von Staub und Bioaerosolkonzentrationen zusammengestellt. Differenziert wurde nach Staubfraktion, Aerosolart und Nutztierart, nicht jedoch nach Messmethodik, Haltungssystem, Alter der Tiere und Probenahmezeit. Um den schief verteilten Daten gerecht zu werden, wurde als Zusammenfassung der Median dargestellt. Für den **inhalierbaren Staub** ergaben 112 Messungen in Schweineställen einen Median von 2.080 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft bei einer Spannweite von 400 bis 14.050 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft. Die **alveolengängige Staubfraktion** betrug im Median 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft bei einer Spanne bis 710 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft (n=88). Dieses zusammenfassende Ergebnis wird bestätigt durch eine Studie von

TAKAI ET AL. aus dem Jahr 1998, in der in 329 Schweineställen in vier nordeuropäischen Ländern im Durchschnitt eine inhalative Staubkonzentration von $2.190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft und eine alveolengängige Staubkonzentration von $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft festgestellt wurde.

Für die **Gesamtkeimzahl** ergab die Zusammenstellung für die Luft in Schweineställen ($n=57$) einen Median von $209.000 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft mit einem Extremwert, der um den Faktor 16,7 ($3.490.000 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft) höher war. Die Konzentration von thermophilen Aktinomyzeten hatte eine Variationsbreite von 9 bis $7.300 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft, der Median lag bei $1.000 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft. Luftgetragene **Bakterien** setzten sich nach HARTUNG (1994) im Schweinestall zu 80% aus Staphylokokken und Streptokokken zusammen. Coliforme Bakterien nahmen einen Anteil von 0,5% ein. Gemessen an der Gesamtzahl aller kultivierbaren Bakterien haben nach ZUCKER ET AL. (2000) die gramnegativen Bakterien einen Anteil von 0,02 bis 5,2%. Bekannte bakterielle Erreger (Infektionen) aus der Nutztierhaltung, die durch die Luft übertragen werden können, sind nach BURGE (1995) *Staphylococcus aureus* (Wundinfektion), *Mycobacterium tuberculosis* (Tuberkulose), *Pseudomonas aeruginosa* (Respiratorische Infektionen), *Brucella abortus* (Brucellose), *Bacillus anthracis* (Milzbrand), *Chlamydia psittaci* (Psittakose), *Coxiella burnetii* (Q-Fieber). BILIC ET AL. (2000) fanden in 48 Impaktormessungen in Schweineställen überwiegend fakultativ pathogene Bakterien, während pathogene Bakterienarten in nur 33 bis 66% der Proben gefunden wurden.

Den nur wenigen **Schimmelpilzarten**, die zumeist bei verringerter Abwehrlage des Organismus, aerogene Infektionen verursachen können, stehen eine Vielzahl von allergen wirkenden Pilzarten im Stallstaub entgegen. Von medizinischer Bedeutung sind zudem die von Pilzen produzierten Mykotoxine und MVOC. Schimmelpilze und Hefen nehmen im Schweinestall einen Anteil von mehr als 1% im luftgetragenen Stallstaub ein (HARTUNG, 1994). Die oben genannte Zusammenstellung der Stallmessungen von SEEDORF & HARTUNG (2002) ergab für Pilze einen Median von $1.650 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft bei einem Extremwert von $290.000 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft ($n=44$).

Für **Endotoxine** ließen sich die Messwerte aus verschiedenen Studien in der inhalierbaren Fraktion ($n=247$) zu einem Median von $42 \text{ ng}/\text{m}^3$ Luft (höchster Wert: $75.000 \text{ ng}/\text{m}^3$ Luft) und in der alveolengängigen Fraktion ($n=223$) zu einem Median von $4,4 \text{ ng}/\text{m}^3$ Luft (höchster Wert: $1.660 \text{ ng}/\text{m}^3$ Luft) zusammenfassen.

Eine Zusammenstellung weiterer Literaturwerte luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe in Schweineställen gibt Tabelle 1-6. Auch hier ist wieder nur eine bedingte

Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Nachweisverfahren zu beachten.

Quelle	Gesamtstaub [µg/m³ Luft]	Bakterien [KBE/m³ Luft]	Schimmelpilze [KBE/m³ Luft]	Endotoxine [ng/m³]/ [EU/m³]
DONHAM ET AL., 1989	4.300			180 ng/m³
HEEDRIK ET AL., 1991	4.000			130-300 ng/m³
LARSSON ET AL., 1994	13.500 (5.600- 24.000)			600 ng/m³ (80- 1300)
PLATZ ET AL. 1995	260 (Winter) 75 (Sommer)	1,1x10 ⁶ (Winter) 5,7x10 ⁵ (Sommer)		
PRELLER ET AL. 1995	300-26.600 (Win- ter) 500-11.200 (Som- mer)			10,6-1502 ng/m³ (Winter) 5,6-825 ng/m³ (Sommer)
NOWAK ET AL. 1997				37 ng/m³
VOGELZANG ET AL. 1998	2.630			105 ng/m³
RADON ET AL. 1999	0 -39.600			0,02-444,4 ng/m³ (E-Staub)
CORMIER ET AL. 2000	2.200-5.620	172-1.551x10 ⁵	0,14-1,8x10 ³	215-596 EU/m³
ZEJDA ET AL. 1994	2.930±920 (A-Staub: 130±50)			11.332±13.492 EU/m³
DUCHAINE ET AL. 2000	2.150-5.600	≤1,25x10 ⁶ (A-Staub: ≤0,5x10 ⁶)		4.900 EU/m³
BILIC ET AL. 2000		8,46-53x10 ⁴ nach Reinigung: 1,8x10 ³ nach Desinfekti- on: 0,8x10 ²		

Tabelle 1-6: Konzentrationen luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe in der Schweinehaltung. Zusammengestellt nach RIEGER (2002) und NOWAK ET AL. (1998)

1.5 Biologische Belastungen und Beanspruchungen

Das **Belastungs-Beanspruchungs-Modell** (Abbildung 1-6) gilt hinsichtlich biologischer Belastungen in besonderem Maße. Anders als bei z.B. physikalischen oder chemischen Belastungen kommt den Eigenschaften des Individuums eine besondere

Bedeutung als intervenierende Größe in Hinblick auf die Folgen biologischer Einwirkungen zu.

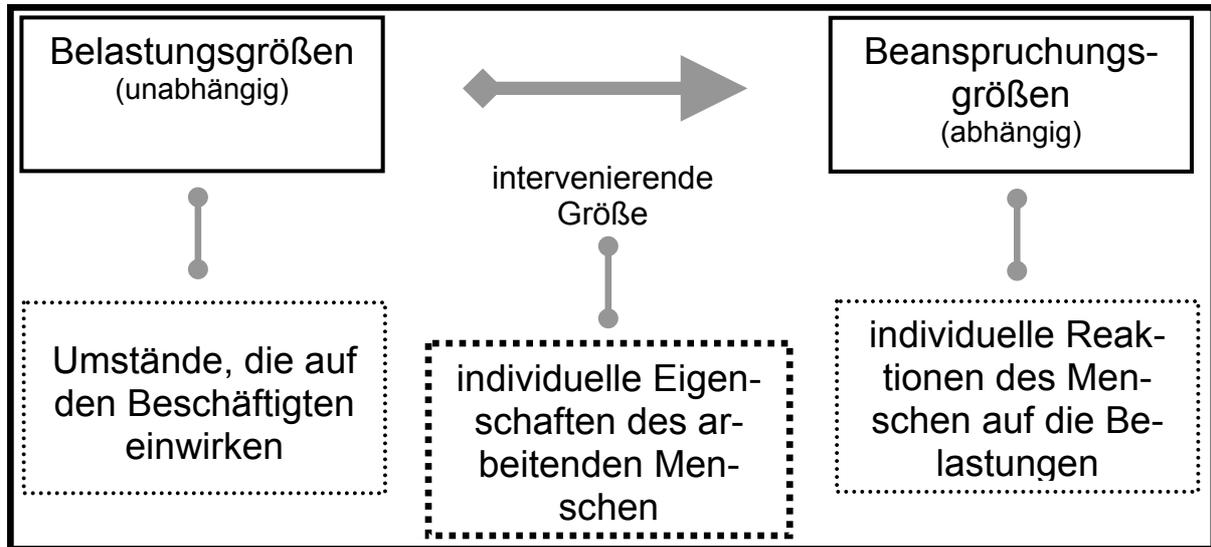


Abbildung 1-6: Belastungs-Beanspruchungs-Modell im Arbeitsschutz (nach ROHMERT, 1984)

Im Zusammenhang mit Biostoffen ist unter Belastungen alles Einwirken von fakultativ oder obligat pathogenen Mikroorganismen zu verstehen. Die Unterschiede in der Disposition von Menschen, diese Belastungen abwehren zu können, werden als intervenierende Größen bezeichnet. Dabei gibt es Unterschiede von Mensch zu Mensch, zum Beispiel in Form von Alter, genetischer Veranlagung u.a., und es gibt temporäre Unterschiede bei einem Menschen, beispielhaft die Modulation des Immunstatus durch äußere Faktoren.

Ob und wie die Mikroorganismen wirken, hängt aber in erster Linie davon ab, auf welchem Weg (Inhalation, Ingestion, Kontakt, Inokulation) sie in den Körper gelangen.

Neben dem Aufnahmeweg des Mikroorganismus und der Empfänglichkeit des Wirts (vgl. Belastungs-Beanspruchungs-Modell) ist die krankmachende Wirkung von der Anzahl der Erreger und von den qualitativen Eigenschaften des Erregers abhängig. Um die krankmachende Wirkung eines Biostoffs einzuordnen, ist es demnach auch notwendig, ihn nach seiner Pathogenität⁴, Virulenz⁵ und Tenazität⁶ zu beurteilen.

⁴ **Pathogenität**: Die grundsätzliche Eigenschaft eines infektiösen Mikroorganismus, eine Krankheit zu verursachen.

⁵ **Virulenz**: Die Stärke der Pathogenität eines einzelnen Mikroorganismenstamms.

⁶ **Tenazität**: Die Widerstandsfähigkeit eines Mikroorganismus gegen äußere Einflüsse, also seine Überlebenswahrscheinlichkeit in der Umwelt.

1.5.1 Beanspruchungen durch Bioaerosole in der Tierhaltung

Die Lunge ist neben der Haut das Organ, welches die stärkste Wechselwirkung mit der Umwelt hat: Die Gasaustauschfläche der Lunge beträgt etwa 100 m², täglich treten etwa 7,6 m³ Luft in Kontakt mit den Alveolen. Die gesundheitlichen Auswirkungen von inhalativ aufgenommenen Bioaerosolen lassen sich grundlegend unterteilen in:

- **Infektionen** wie Zoonosen,
- **allergische Reaktionen** wie allergisches Asthma oder EAA,
- **toxische Wirkungen** wie ODTS.

Dabei ist aber auch zu beachten, dass es auf indirektem Weg über die Ablagerung von Aerosolpartikeln auf Kleidung, Haut und Arbeitsmaterialien zu Schmierinfektionen kommen kann. Ebenso ist es möglich, dass größere, im Nasen- Rachenraum oder in den Bronchien abgeschiedene, Aerosoltröpfchen verschluckt werden und so über den Magen-Darm-Trakt wirken können.

1.5.1.1 Atemwegserkrankungen

Neben den in der Landwirtschaft vergleichsweise seltenen aerogenen Infektionen, die durch Viren, Bakterien oder Schimmelpilze ausgelöst werden können, kommt den Bioaerosolen die zentrale Rolle bei allergischen und toxischen Atemwegserkrankungen zu. Im Folgenden sollen diesbezüglich die wichtigsten, auf landwirtschaftliche Bioaerosole zurückführbaren, respiratorischen Krankheitsbilder angesprochen werden.

Die **Exogen-Allergische Alveolitis** (EAA) bezeichnet eine allergische Reaktion der Alveolen üblicherweise nach Inhalation organischer Stäube (insbesondere Pilzsporen und tierische Proteine). Nach einer Latenzzeit von 3 bis 12 Stunden treten grippeähnliche Symptome wie Husten, Schüttelfrost, Fieber, zunehmende Dyspnoe und ein thorakales Engegefühl auf und können bis zu mehreren Tage anhalten (PSCHYREMBEL, 1999). Die Krankheit entwickelt sich oft erst nach jahrzehntelanger Exposition. Bei Allergenkarenz heilt die Krankheit in der Regel nach wenigen Wochen aus, ein langjähriger rezidivierender Krankheitsverlauf führt häufig zur Lungenfibrose. In der Regel erfolgt die Bezeichnung der Erkrankung nach dem jeweiligen Gefährdungsbereich bzw. der Exposition gegenüber pflanzlichen oder tierischen Substanzen. Bekanntestes Beispiel ist die Farmerlunge (auch Drescherlunge oder Drescherkrankheit), die durch thermophile Aktinomyzeten und Pilze, insbesondere Aspergillusarten

aus verschimmeltem Getreide oder Heu, ausgelöst wird. Die EAA ist als Berufskrankheit BK 4201 in der BK-Liste aufgeführt.

Auch das **berufsbedingte Asthma bronchiale** kann im landwirtschaftlichen Tätigkeitsfeld durch Allergene wie Tierhaare bzw. – epithelien, tierische Proteine oder Pflanzenbestandteile ausgelöst werden. MUTIUS & NOWAK (2000) gaben für Beschäftigte mit Asthma bronchiale eine Prävalenz von 13% bei Exposition gegenüber Säugetierallergenen und 7-100% bei Pflanzenallergen-Exposition an.

Der **chronischen obstruktiven Pulmonalerkrankung** (COPD) geht in der Regel eine bronchiale Hyperreagibilität voraus, die sich schließlich als **chronisch obstruktive Bronchitis** etablieren kann. Als Auslöser der COPD kommen allergisch, infektiös und nicht infektiös wirkende Ursachen in Frage (SEEDORF & HARTUNG, 2002). Obstruktive Atemwegserkrankungen sind als Berufskrankheiten unter der Gruppe BK 43 aufgeführt.

Das Krankheitsbild des **Organic Dust Toxic Syndrome** (ODTS) ist dem der EAA zwar sehr ähnlich, ist von diesem aber durch eine fehlende Sensibilisierung abzugrenzen. Typische Symptome sind Fieber, welches vier bis acht Stunden nach der inhalativen Exposition auftritt und nur einen Tag dauert, sowie die von der EAA bekannten Grippe-symptome. Für die Erkrankung werden Endotoxine und Glucane, möglicherweise auch Mykotoxine, Exotoxine oder MVOC verantwortlich gemacht (LINSEL, 2001; KONIEZTKO, 2001).

1.5.1.2 Epidemiologische Studien

Bereits im frühen 18ten Jahrhundert berichtete der italienische Arzt und Vater der Arbeitsmedizin BERNARDO RAMAZZINI (1713), dass Bauern üblicherweise an Atemwegserkrankungen leiden, was von ihrer staubigen Arbeitsumgebung herrühre. Die Bedingungen haben sich seitdem in vielerlei Hinsicht, insbesondere in der Tierhaltung geändert, trotzdem hat die Aussage zu großen Teilen ihre Gültigkeit behalten.

Die aktuelle epidemiologische Bedeutung von Atemwegserkrankungen in der Landwirtschaft zeigt sich zum einen im Berufskrankheitengeschehen (vgl. Kapitel 1.2), zum anderen in einer Reihe epidemiologischer Untersuchungen.

Nach Angaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) leiden bis zu 10% aller Landwirte unter einer Exogen-Allergischen Alveolitis und bis zu 24% unter chronischer Bronchitis. Unter den in der Getreidewirtschaft tätigen Perso-

nen leiden bis zu 30% unter toxischen Symptomen, bis zu 55% aller Schweinehalter entwickeln eine chronische Bronchitis (LINSEL, 2001).

Die herausragende Bedeutung der Endotoxine innerhalb der inhalativen Gesamtbelastung im Schweinestall für die Entwicklung von Atemwegsbeschwerden wurde in mehreren Untersuchungen deutlich (ZEJDA ET AL., 1994; VOGELZANG, 1998; KIRYCHUK ET AL., 1998). Auch für die Exposition gegenüber Getreidestäuben scheinen die Endotoxine im Hinblick auf die Einschränkungen der respiratorischen Funktionen eine besondere Rolle zu spielen (HURST & DOSMAN, 1990; SCHWARTZ ET AL., 1995; VON ESSEN, 1997). Allerdings ließen sich in einigen Untersuchungen die Einschränkungen der Lungenfunktion bei Schweinehaltern nicht in jedem Fall auf die Endotoxinexposition zurückführen (HEEDERIK ET AL., 1990; DONHAM ET AL., 1995). Neben der Endotoxinwirkung scheint die Exposition gegenüber Ammoniak in der Schweinehaltung von Bedeutung zu sein. Grundsätzlich sind die inhalativen Belastungen und die Entwicklung entsprechender Beanspruchungssymptome (z.B. Husten, Auswurf) nicht auf die Schweinehaltung beschränkt. Eine Übersicht der bedeutendsten in der Literatur beschriebenen Untersuchungen ist in Tabelle 1-7 wiedergegeben.

Autor(en)	Fragestellung / wichtigste Befunde
DONHAM ET AL., 1984a	Beschäftigte in Schweinehaltung: Husten: 33%, chronisches Niesen/Erkältungskrankheiten: 62,5%, Kontrollgruppe: 8,3% bzw. 29,2% Lungenfunktionsbefunde zw. Fall- und Kontrollgruppe vergleichbar
DONHAM ET AL. 1984b	Schweinehalter, n=21. Spirometrische Messungen vor und nach 4-stündiger Arbeitszeit: Signifikante Verschlechterungen von FVC und FEF25-75. Zurückführung auf Schadgasexposition.
DONHAM & LEININGER, 1984	Testtiere (Kaninchen und Meerschweinchen) 12 Monate in belegtem Schweinestall, Kontrolltiergruppe unter Laborbedingungen. 25% der Kaninchen, 58% der Meerschweinchen verstorben (0% bzw. 12% der Kontrolltiere). Meerschweinchen: Lungenerkrankungen, Organinfektionen mit Stallkeimen.
MANFREDA ET AL., 1986	bevölkerungsbezogene Querschnittstudie (Kanada): n=800 aktuelle und n=450 frühere Landwirte (Getreideproduktion) Prävalenz von Atemwegssymptomen (Männer): 69% (aktuell) – 46% (früher) häufigstes Symptom: tätigkeitsbedingte Atemnot Auslöser: v.a. Gerste, Hafer
BONGERS ET AL., 1987	Landwirte der Schweinehaltung n=132: Lungenfunktionswerte schlechter als Standardwerte, jedoch kein Zusammenhang zu Expositionsdauer. 28% respiratorische / grippale Reaktionen während bzw. kurz nach Stallarbeit. 4 bis 8 Stunden nach Exposition 14% Beschwerden. Signifikanter Zusammenhang von Lungenerkrankungen bei den Schweinen zu Lungenfunktionswerten bei entsprechenden Landwirten.
HOLNESS ET AL., 1987	Schweinehalter n=53 vs. n=43 Kontrollfarmer (sonstige Tierhaltung, gem. Prod.): Subjektiv mehr respiratorische Krankheitssymptome bei Schweinehaltern aber trotz signifikant höheren Konz. E- und A-Staub keine Unterschiede in Lungenfunktionswerten
TERHO ET AL., 1987	Landwirte, n=9.483. Longitudinalstudie, 3 Jahre (Finnland): chronische Bronchitis: Prävalenz 8,0%, mittlere jährliche Inzidenz: 2,02/100.000 Milchviehhaltung: EAA: 1,7% Prävalenz, mittlere jährliche Inzidenz: 540/100.000 Chronische Bronchitis – Atopie/Rauchen: additiver Effekt (Inzidenz / Prävalenz)

Autor(en)	Fragestellung / wichtigste Befunde
IVERSEN ET AL., 1988	Landwirte n=1685. Schweinehalter höhere Inzidenz gegenüber Asthma u. chron. Bronchitis sowie Niesen während der Stallarbeit.
SANDSTRÖM ET AL., 1992	n=8, Inhalation von 100µg LPS – BAL-Untersuchung, Vergleich mit BAL-Probe 6 Wochen zuvor. 100x mehr neutroph. Granulozyten, 3x mehr Lymphozyten, 2x mehr Fibronektin. Albumin gleich.
SCHWARTZ ET AL., 1992	Schweinehalter mit tätigkeitsbezogenen Atemwegssymptomen, n=37 Fall-Kontroll-Studie bei Schweinehaltern innerhalb Longitudinalstudie (USA): gematchte gesunde Kontrollen (Schweinehalter – andere Landwirte – andere Arbeiter) Fälle: verstärkte Antwort im Methacholintest, mikroskopisch fassbare Schädigung der Atemwege (nicht des Parenchyms)
MALMBERG & LARSSON, 1993	gesunde Probanden, n=6. 2-5 Stunden Exposition in Schweinestall. Methacholin-Provokationstest: mittlere kumulative Dosis für 20%ige Abnahme FEV1: 3,1 mg vor, 0,13 mg sechs Stunden nach, 0,99 mg 1 Woche nach Exposition.
NOWAK, 1994	Entzündungsreaktion nach Exposition mit Schweinestallstaub in der Nasenschleimhaut nachweisbar (NAL3), auslösende Endotoxinkonzentration: ≥2µg/g Staub (pyrogenfreier Staub: keine Reaktion)
SUBIRATS BAYEGO ET AL., 1994	Landwirte haben häufiger chronische Bronchitis (9,2%) und Asthma (4,8%) als Allgemeinbevölkerung (Spanien) Häufigkeit der EAA: Landwirte 1% - Allgemeinbevölkerung 0,2%
WENDEL ET AL., 1994	Querschnittstudie Beschäftigte in Tierfuttermühle (Niederlande): n=303 Exponierte, n=102 Kontrollen (Verwaltung) allgemeine Prävalenz von Atemwegsbeschwerden: 20% (beide Gruppen) signifikant mehr: Pfeifen/Brummen, Fehlzeiten wegen Atemwegserkrankung
ZEJDA ET AL., 1994	Schweinehalter, n=54. Fragebogen und Spirometrie: Einfluss: Endotoxinkonzentration auf FVC, FEV1 und Atemwegssymptomatik kein Einfluss: Staubkonzentration!
SCHWARTZ ET AL., 1995	Exposition gegenüber Getreidestaub (Kanada): negative Beeinflussung Lungenfunktion: FEV1, FEV1/FVC, FEF25-75
VARSLOT ET AL., 1995	Landwirte (Nutztierhaltung) n= 1.580. n=655 Kontrollen (Norwegen): MMIS1: 19% vs. 10%; Enge auf der Brust: 7% vs. 4%; Atemnot: 4% vs. 1% Husten mit Auswurf: 25% vs. 22%; ODTs: kein Unterschied Faktoren: Arbeitsstunden pro Tag, Jahre Tätigkeit mit Tieren Rinder-, Schweine-, Geflügelhaltung: erhöhte Prävalenz
CARVALHEIRO ET AL., 1995	Landwirte (Nichtraucher) n=76 vs. Kontrollen: Anamnese, Metacholint. (Portugal): Pflanzenbau – Tierproduktion ohne Schweine – Tierproduktion mit Schweinen Erhöhte Prävalenz: ODTs, MMIS1, chronischer Bronchitis (Landwirte mit Tieren) In der Regel: normale Lungenfunktion-Basiswerte, aber bronchiale Reagibilität in Abhängigkeit von einer positiven Anamnese hinsichtlich MMIS1 oder ODTs
REYNOLDS ET AL., 1996	Schweinehalter n=207. Longitudinalstudie, 2 Jahre (USA): FEV1-Verminderung durchschnittlich 2% Faktoren: Gesamtstaub, Endotoxine und Ammoniakgehalt. Gesamtstaub – chronische Effekte, Endotoxine - subakute Effekte
PRIOR ET AL., 1996	Schüler: Landwirtschaftsschule vs. Allgemein bildende Schule (Österreich): FEV1: Landwirtschaft < Nicht-Landwirtschaft; Erfassung allergischer Reaktionen: IgE-vermittelt: kein Unterschied; IgG-vermittelt: signifikanter Unterschied; Höhere Reaktivität: größere Betriebe, fehlende Heutrocknung, Verwendung von verschimmeltem Heu, positive Familienanamnese
CORMIR ET AL., 1997	n=7 (keine Landwirtschaft), 2 mal 5 Stunden in 8 Tagen Exposition im Schweinestall: Nach Stallgängen: signifikante Reduktion FEV1, Abnahme der Metacholinmenge beim M.-Provokationstest, NAL und BAL deutlich vermehrte Zellzahlen. Kein Zusammenhang von Bioaerosol-, Staub, Schadgaskonz. zu Befunden.
VOGELZANG ET AL., 1997	Schweinehalter: 96 mit, 100 ohne chronische Atemwegssymptome (Niederlande): Bronchiale (Hyper-)Reagibilität assoziiert mit Jahren der Tätigkeit in der Schweinehaltung und Haltungsbedingungen der Schweine

Autor(en)	Fragestellung / wichtigste Befunde
WANG, 1997	Exposition gesunder nicht-landwirtschaftlich tätiger Probanden (Schweden): Schweinestallstaub: FEV1-, FVC-Verminderung Erhöhung von Zytokinen in Serum, in mononukleäre Zellen (peripheres Blut), in Plasma, BAL2 und NAL3 Veränderungen korrelieren v.a. mit Endotoxinen, weniger mit Gesamtstaub
VON ESSEN ET AL., 1998	Beschäftigte Schweinehaltung n=24, gesunde Kontrollen n=14 (USA): Landwirte: signifikant häufiger Giemen, Husten, Sinusitis Landwirte: Hinweis auf Erkrankung der tiefen Atemwege: Makrophagenzahl (induziertes Sputum), Stickoxidkonzentration (Ausatemluft) Befunde nicht typisch für reines Asthma bronchiale oder chronische Bronchitis.
JOLIE ET AL., 1998	Veterinärmedizin-Studenten n=153, 3h Exposition in Schweinestall, danach Fragebogenerhebung: Generelle und/oder respiratorische Sympt.: 72,5%. Generelle Sympt. (z.B. Augenirritation, Kopfschmerzen, Müdigkeit): 42,2%, Husten, Nasen- Rachenirritationen, Schnupfen: 91%. Sympt. zumeist am gleichen Tag aufgetreten und innerhalb 3 Tagen fort. Kein signifikanter Unterschied zw. Studenten mit und ohne Atemmaske. Studenten mit Allergien höhere Prävalenz respiratorische Sympt..
KIRYCHUK ET AL., 1998	Beschäftigten in Schweinehaltung, Longitudinalstudie (Kanada): Verminderung der FEV1 und der FVC über eine Arbeitsschicht ist ein guter Prädiktor für das Ausmaß der respiratorischen Einschränkungen über Jahre
MELBOSTAD ET AL., 1998	Landwirte, n=8.482. Querschnittstudie, (Norwegen): Lebenszeitprävalenz für Asthma: Risikofaktor: positive Familienanamnese, Nutztierhaltung, Rauchen.
O'SULLIVAN ET AL., 1998	signifikante Zellzahlerhöhungen in der NAL nach Schweinestallstaub-Exposition
RADON ET AL., 1999	Landwirte n=3.599. Querschnittstudie (Norddeutschland): Prävalenz arbeitsplatzbezogener Atemwegssymptome: Niedersachsen 18,3% - Schleswig-Holstein 25,8%, Brandenburg 31,7% Risikofaktoren: Schweinehaltung, Schafhaltung
VON ESSEN ET AL. 1999	Landwirte, Fragebogen zu Atemwegsbeschwerden (USA): Zurückliegendes ODDS: Prävalenz 36%; Risikofaktoren: Brustenge/Husten
SJÖGREN ET AL., 1999	gesunder Probanden, Exposition gegenüber Schweinestallstaub (Schweden): Anstieg IL-6 (Blut), Fibrinogen (Blut) (2 Probanden erhöhte Körpertemperatur)
VOGELZANG ET AL., 1999	Schweinehalter n=239, Kontrollen n=311. Fragebogen nach Prävalenz ODDS: Höhere Prävalenz an ODDS bei Schweinehaltern. Zusammenhang ODDS mit Anzahl Arbeitsjahre, Atopiesymptome, Gebrauch von Hobelspänen
CORMIER ET AL., 2000	gesunder Probanden, Exposition im Schweinestall (Kanada): FEV1 und FVC: signifikante Verminderung, Anstieg IL-8 (NAL3), IL-6 (Blut)
IVRSÉN & DAHL, 2000	Longitudinalstudie über 7 Jahre (Dänemark): Verlust FEV1: Schweinehalter 53,0 ml/Jahr mehr vs. Milchkuhalter 36,1 ml/Jahr (beide Nichtraucher)
MAGAROLAS ET AL., 2000	Landwirte, n=808. Fragebogen (Spanien): Risikofaktoren für Atemwegsbeschwerden: Geflügel- und Milchwirtschaft
RADON ET AL., 2000	Schweinehalter mit Atemwegssymptomen (Vollerwerb), n=100 (Niedersachsen): häufigste Symptome: (Jahresprävalenz) Pfeifen/Brummen 69%, (tätigkeitsbezogen) Husten ohne Auswurf 76% Verschlechterung Lungenfunktionsparameter bei Füttern: morgens>nachmittags Risikofaktoren für schlechtere Basis-Lungenfunktion: manuelle Fütterung, Einstreumaterial, Lüftung über Wand, Heizung, Beschäftigungsdauer, Tierzahl Risikofaktoren für arbeitsbedingte Verschlechterung der Lungenfunktion: schlechte Lüftung, hohe Ammoniakkonzentrationen, Beschäftigungsdauer
VOGELZANG ET AL., 2000	Schweinehalter, n=171. Longitudinalstudie 3 Jahre: Metacholin-Provokationstest: Steigerung der respiratorischen Empfindlichkeit Faktoren: Staub, Ammoniak, Holzspäne als Einstreu, automatische Trockenfütterung
EDUARD ET AL. 2001	Landwirte mit Ehepartnern, n=106. übliche Tätigkeiten, Fragebogenerfassung zu Augen- und Atemwegssymptomen bei typischen Tätigkeiten: Prävalenz: Keuchen: 3%, Gefühl d. Brustenge: 7%, Husten 14%, Augensymptome: 18%, Nasensymptomatik: 22%. Symptome abhängig von Dosis Pilzsporen.

Autor(en)	Fragestellung / wichtigste Befunde
RADON ET AL., 1999 RADON ET AL., 2001a	Landwirte n=7.904 bzw. n=7.496. Querschnittstudie, Fragebogenerhebung (Europa): Analysengrundlage: n=6.156 Landwirte; Rinderhalter als Referenz - Schweinehalter: höchste Prävalenz arbeitsplatzbezogener Atemwegssymptome - Dosis-Wirkungs-Beziehung: Kurzatmigkeit, Husten mit Auswurf, grippeähnliche Symptome – tägliche Dauer des Aufenthalts im Schweinestall - tätigkeitsbezogene Symptome der Nasenschleimhaut assoziiert mit Auswurf - Tierhalter: geringere Prävalenz allergischer Rhinitis als Allgemeinbevölkerung - Landwirte: höhere Prävalenz für Auswurf (Winter) als Allgemeinbevölkerung
RADON ET AL., 2001b	Schweinehalter, n=40 (Dänemark) vs. Geflügelhalter, n=36 (Schweiz): Belastung der Beschäftigten: Geflügel > Schwein: Gesamtstaub, Endotoxine im Gesamtstaub, Gesamtbakterien, NH ₃ , CO ₂ Schwein > Geflügel: Gesamtschimmel, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit Beanspruchung der Beschäftigten: Lungenfunktion (FEV ₁ und FVC) Einschränkungen: Geflügel > Schwein; Assoziation mit Stallcharakteristika
RADON ET AL., 2003a RADON ET AL., 2003b	Landwirte, n=229. Spirometrie, Allergologie, Expositionsparameter (Dänemark, Deutschland, Schweiz, Spanien): Tierhalter signifikant niedrigere Prävalenz von Symptomen allergischer Atemwegserkrankungen als Allgemeinbevölkerung, aber höhere Prävalenz von Symptomen chronischer Bronchitis. Hauptrisikofaktoren: Lüftungssystem des Stalls, Aufenthaltsdauer im Stall
ANDERSEN ET AL., 2004	Tierärzte für Schweine, n=122. Befragung und Spirometrie: Rhinitis 69%, Husten und Engegefühl in Brust 53%, Atemgeräusche 31%. Atemwegsobstruktion 24%. Tierärzte mit Atemwegsobstruktion hatten vergleichsweise längere Aufenthaltsdauern in Schweineställen.

Tabelle 1-7: Epidemiologische Befunde zur Beeinträchtigung der respiratorischen Funktion bei oder aufgrund der landwirtschaftlichen Tätigkeit (geändert und erweitert nach RIEGER, 2002)

¹MMIS: Mucous Membrane Irritation Syndrome – Schleimhautirritation

²BAL: Bronchoalveoläre Lavage

³NAL: Nasallavage

FVC, FEV₁, FEF₂₅₋₇₅: Lungenfunktionkenngößen aus spirometrischen Untersuchungen (FVC: forcierte Vitalkapazität, FEV₁: forciertes Expirationsvolumen auch ‚Einsekundenkapazität‘, FEF₂₅₋₇₅: forciertes expiratorischer Flow)

1.6 Ziel der Arbeit

Die Bedingungen der landwirtschaftlichen Produktion stehen nicht zuletzt aufgrund des Einflusses der Agrarwende unter dem Blickpunkt des Tierschutzes bzw. der Artgerechtheit der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, des Verbraucherschutzes und des Umweltschutzes. Aktuelle Gesetzgebungsverfahren wie die Umsetzung des EU-Rechts (z.B. 91/630/EWG – Richtlinie über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen; EU-RL 91/630, 1991) zielen in diese Richtung. Aspekte des Arbeitsschutzes werden in dieser Diskussion weitestgehend vernachlässigt.

Die gesamte Landwirtschaft bedingt den Umgang mit einer großen Vielfalt an biologischem Material. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Tierhaltung. In der Bio-stoff-Verordnung ist der Schutz der Beschäftigten vor dem schädlichen Umgang mit diesen biologischen Arbeitsstoffen vorgegeben. Obwohl sie seit 1999 in Kraft ist, ist sie bislang im Bereich der Landwirtschaft nur mäßig umgesetzt worden. Das zeigt

sich auch am mangelnden Bewusstsein der Beschäftigten über die Gefahren durch die zumeist luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffe bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten.

In der Literatur werden zum einen hohe Konzentrationen an Bioaerosolen in der Tierhaltung beschrieben, zum anderen eine hohe Prävalenz an Atemwegserkrankungen bei Beschäftigten in der Landwirtschaft, insbesondere bei Beschäftigten in der Schweinehaltung.

Vor diesem Hintergrund, und vor dem in der Biostoff-Verordnung geforderten Minimierungsgebot biologischer Arbeitsstoffe, sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit verschiedene Haltungssysteme zur Schweinemast bezüglich ihrer Emission an luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen verglichen werden. Dies sollte insbesondere hinsichtlich des Vergleichs von ökologischen zu konventionellen Haltungssystemen geschehen. Auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse (RIEGER, 2002) wurde die Hypothese formuliert, dass eingestreute Haltungssysteme mit einer grundsätzlich höheren Emission an Staub und luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen einhergehen als einstreulose Systeme. Die Überprüfung dieser Hypothese scheint vor dem Hintergrund der bundespolitisch gewünschten Steigerung der Ökoproduktion in der landwirtschaftlichen Lebensmittelerzeugung auf 20% im Jahr 2011 (ANONYMOUS, 2001) besonders bedeutsam, da hierdurch mit einem Anstieg der im ökologischen Landbau beschäftigten Personen zu rechnen ist.

Schwerpunkt bei der Beschreibung der Bioaerosole waren die toxischen und sensibilisierenden Anteile des Staubes.

Mit den Ergebnissen sollen stall- und haltungstechnische und organisatorische Parameter beschrieben werden, die einen Einfluss auf die Konzentrationen luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe haben und Anhaltspunkte zu deren Minimierung abgeleitet werden. Abschließend sollten Vorschlägen zur Beratung der Politik und der betroffenen Landwirte erarbeitet werden.

Neben der messtechnischen Erfassung der Bioaerosol-Emissionen wurde ein epidemiologischer Fragebogen erhoben, in dem neben dem Arbeitsbewältigungsindex nach TUOMI ET AL. (1998) und Fragen zu Atemwegserkrankungen auch die Tätigkeits- und Stallcharakteristika von in der Schweinehaltung tätigen Landwirten erhoben wurden.

2 Material und Methoden

Wie in der Einleitung beschrieben, fließen die zwei Untersuchungsbereiche

- Vergleich verschiedener Haltungssysteme zur Schweinemast
- Epidemiologischer Fragebogen

in die vorliegende Arbeit ein. Deren Methoden werden im Nachfolgenden beschrieben.

2.1 Stallluftmessungen

Nach einer allgemeinen Darstellung der zur Luftmessung verwandten Materialien und der entsprechenden Erfassungs- und Analysemethoden von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen, erfolgt in Kapitel 2.1.3 eine detaillierte Darstellung der Methoden im Rahmen der Stallmessungen.

2.1.1 Erfassung luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe

Um luftgetragene biologische Arbeitsstoffe quantitativ zu erfassen, gibt es eine Vielzahl von Probenahmeverfahren, bei deren Vergleich nennenswerte Schwankungen in den Ergebnissen auffallen. Besonders gravierend sind die Unterschiede bei der Beschaffenheit der Probenahmegeräte in Hinblick auf die Abscheideleistung verschiedener Partikelgrößen, bei der Wahl des Probenahmeortes und bezüglich des Zeitpunktes und der Dauer der Messungen. Seit einigen Jahren gibt es die Bestrebung, Verfahren zur Messung luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe im Bereich des Arbeitsschutzes zu standardisieren und somit Ergebnisse vergleichbar zu machen. Vornehmlich sind hier folgende Vorschriften zu nennen:

- TRBA 405: Anwendung von Messverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe
- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9410 Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz
- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9411 Anwendung von Messverfahren für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe
- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9420 Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz

- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9427 Erster Ringversuch „Schimmelpilze“
- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9430 Verfahren zur Bestimmung von Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (1997)⁷
- BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen: 9450 Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (2002)
- DIN EN 13098: Arbeitsplatzatmosphäre – Leitlinie für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxin in der Luft (2001)
- DIN EN 14031: Arbeitsplatzatmosphäre – Bestimmung von luftgetragenen Endotoxinen (2003)

Die TRBA 405 schafft die Grundlage für die Anwendung standardisierter Messverfahren. Sie beschreibt die möglichen Messaufgaben wie Übersichtsmessungen, Messung von Expositionsspitzen, Messungen mittlerer Konzentrationen oder die Kontrolle wirksamer Schutzmaßnahmen. Außerdem macht sie Vorgaben zur Erhebung der Arbeitsplatzsituation, der Probenahme, zur Probenzahl, zum Probentransport und zur Dokumentation der Messungen. Ergänzt wird die TRBA 405 durch die oben genannten Verfahrensvorschriften des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BIA-ARBEITSMAPPE, 2004) hinsichtlich spezieller Bestimmungsverfahren. Zusätzlich ist der KAN⁸-Bericht 13 (DANNEBERG ET AL., 1999) zu nennen, der Empfehlungen für die Probenahme und Analyse von thermophilen Aktinomyzeten enthält.

In der vorliegenden Arbeit wurden die luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffe mittels PGP-System und Impaktor erfasst, begleitend wurde die Staubkonzentration bestimmt.

Die mikrobiologische Analyse der Luft- und Materialproben erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Lohmeyer, Mikrobiologisches Labor Dr. Balfanz – Dr. Lohmeyer, GbR, Münster.

Details der Messmethodik und Analytik von Luft- und Materialproben werden nachfolgend beschrieben.

⁷ Die BIA-Arbeitsmappe 9430 wurde 2004 überarbeitet. Die Bestimmung der Bakterienkonzentration erfolgte im Rahmen dieser Arbeit nach dem Stand von 1997.

⁸ Kommission Arbeitsschutz und Normung

2.1.1.1 PGP-System

Das personengetragene Gefahrstoffprobenahme-System (PGP-System) der Firma GSA Gesellschaft für Schadstoffmesstechnik GmbH wird von dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BIA) lizenziert und empfohlen (BIA-ARBEITSMAPPE, 2004). Es besteht aus einem entsprechend der zu analysierenden Staubart auszuwählenden Filterkopf, einem Verbindungsschlauch und einer geeigneten Pumpe. Zur Erfassung des Gesamtstaubes nach DIN EN 481 (1993) wird das Gesamtstaub-Probenahmesystem (GSP) verwendet.

Das GSP wird für die Gesamtstaubprobenahme standardmäßig mit einem Volumenstrom von 3,5 l/min betrieben, die Ansaugöffnung des Erfassungskegels ist für eine Ansaugeschwindigkeit von 1,25 m/s ausgelegt. Nach RIEDIGER (1996) eignet sich das GSP-System bei mittleren und niedrigen Umgebungswindgeschwindigkeiten ohne Einschränkung für die Probenahme der einatembaren Partikelfraktion in Aerosolen.

In die Filterköpfe wird zur Abscheidung des Staubes ein Filterträger mit einem sterilisierten Polycarbonat-Membranfilter (Porendurchmesser 8 µm) eingelegt. Bei der Erfassung von Staub zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft wird aufgrund der höheren Hitzebeständigkeit bei der vorangestellten Depyrogenisierung ein Borosilikat-Glasfaserfilter (Rückhaltevermögen 5 µm) benutzt.

Als Pumpen wurden in der vorliegenden Studie PP5-Ex / HFS 513 AUP der Firma Gilian verwendet. Die Pumpen werden vor den Messungen mit Hilfe eines Rotameters auf die entsprechende Durchflussrate geeicht und nach den Messungen ebenso überprüft.

2.1.1.2 Mikrobiologische Analysen

Eine besondere Bedeutung beim Nachweis der Mikroorganismen kommt dem Transport der beaufschlagten Filter zu. Um die Vitalität der Bakterien zu wahren und gleichzeitig ein Wachstum zu verhindern, werden die Bakterienfilter nach der Probenahme in eine (nicht nutritive) Kochsalzlösung gelegt und gekühlt bei etwa 4°C transportiert. Die Filter zur Bestimmung der Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentration werden ungekühlt und ohne Lösung transportiert. Der Transport soll so erfolgen, dass die Analyse in einem Zeitrahmen kleiner als 24 Stunden stattfinden kann.

Bei wie im vorliegenden Fall zu erwartender hoher Mikroorganismenkonzentration werden die Analysen der **Schimmelpilz- und Bakterienluftproben** mit der indirek-

ten Methode durchgeführt. Hierbei wird der beaufschlagte Filter nicht wie bei der direkten Methode auf ein Nährmedium gelegt und bebrütet, sondern in einer physiologischen Kochsalzlösung extrahiert. Diese Lösung wird dann in entsprechende Verdünnungsstufen versetzt und pro Verdünnungsstufe auf mindestens drei Nährmedien ausgebracht (Abbildung 2-1).

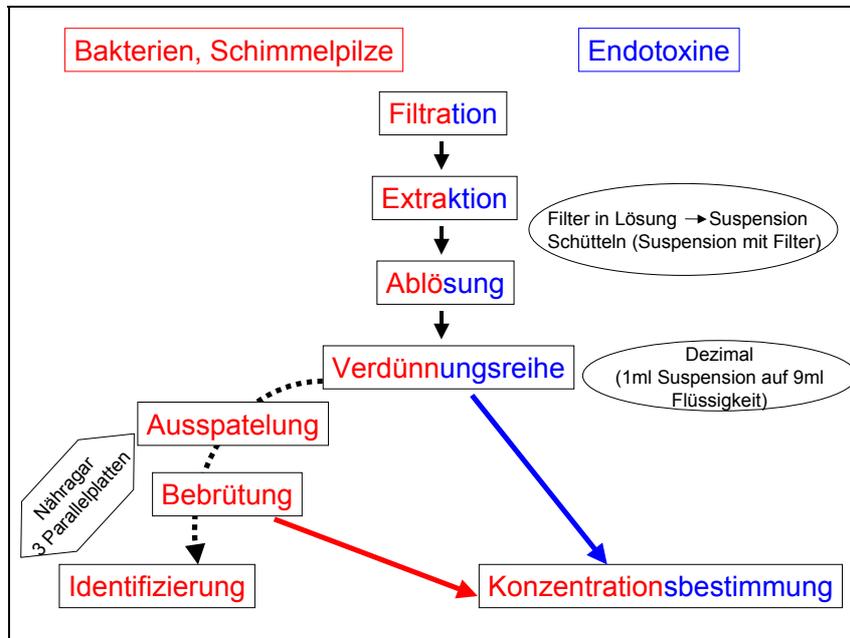


Abbildung 2-1: Von der Messung zur Bestimmung von Identität und Konzentration von biologischen Arbeitsstoffen – indirektes Verfahren (aus Rieger, 2002)

Die Nährmedien werden entsprechend der nachzuweisenden Keime bzw. ihrer Differenzierungen ausgewählt und nach dem Ausspachteln der Suspension bebrütet. Die Selektivnährmedien und Bebrütungstemperaturen entsprechend der nachzuweisenden Keime sind für die Stallluftmessungen in Tabelle 2-2, Kapitel 2.1.3 aufgelistet.

Die erste Auszählung erfolgt nach 24 bzw. 48 Stunden, weitere Auszählungen erfolgen dann in ein- bzw. zweitägigen Abständen bis zum einschließlich siebten Tag, wobei letztlich die maximal ausgezählte Kolonienzahl innerhalb dieser sieben Tage für jede Verdünnungsstufe angegeben wird. Die Luft-Konzentrationsangabe erfolgt in KBE/m³ Luft und wird nach folgender Formel berechnet:

$$KBE/m^3 = (Kolonien / Platte \times 1000 l) / Probenvolumen (l)$$

Die unteren Bestimmungsgrenzen liegen abhängig vom Probenvolumen bei diesem Vorgehen bei ca. 500 KBE/m³ Luft für Schimmelpilze und bei ca. 1.000 KBE/m³ Luft für vegetative Bakterien.

Die Analyse der **Endotoxin-Proben** erfolgte im Projekt unter Verwendung des chromogen-kinetischen Limulustestes (LAL-Test). Dieser Test beruht auf der Gerinnung der Hämolymphe des Pfeilschwanzkrebses (*Limulus polyphemus*) bei Anwesenheit von Endotoxinen. Im Jahr 2000 wurden die Ergebnisse eines ersten bundesweiten Ringversuchs zur Messung luftgetragener Endotoxine veröffentlicht (VDI-Bericht Nr. 1656: LINSEL ET AL., 2002). Es zeigte sich, dass der LAL-Test eine sensitive aber auch störanfällige Methode zum Nachweis von Endotoxin darstellt. Mit weitreichenden methodischen Festlegungen konnte ein Standardfehler von 19% und ein Streufaktor von 1,7 im Laborvergleich erreicht werden. Unter den zehn teilnehmenden Laboratorien befand sich auch das in der vorliegenden Untersuchung involvierte Mikrobiologische Labor Balfanz / Lohmeyer GbR.

Beim chromogen-kinetischen Limulustest müssen die Staubproben zunächst in einer pyrogenfreien, wässrigen Lösung unter Zusatz eines Dispergators extrahiert werden. Der Messbereich des Tests beträgt 0,005 bis 50 EU/ml (BIA-ARBITSMAPPE 9450, 2002), durch Verdünnung der Stammlösung ist der Nachweis höherer Endotoxinkonzentrationen möglich. Zur chromogen-kinetischen Messung wird eine lyophilisierte Mischung aus *Limulus*-Amöbozyten Lysat (LAL) und einem synthetischen gelbfärbenden Substrat benutzt, im vorliegenden Fall das Testkit COAMATIC® Chromo-LAL der Firma Chromogenix. Die Entstehung der Gelbfärbung ist an die Gerinnung gekoppelt: Je rascher die Gelbfärbung eintritt, desto höher ist die Konzentration von Endotoxinen. Jede Probe muss zusätzlich mit einem Standard versetzt werden ("Spike"), um hemmende oder verstärkende Effekte zu erkennen. Für jeden Test ist die Erstellung einer separaten Eichkurve erforderlich, die Testdurchführung erfolgt bei $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Zur Extinktionsmessung (405 nm) wurde ein computergestützter Mikrotiterplatten-Reader (Dynex MRX) verwendet. Alle Analysen erfolgten als Doppelbestimmungen.

Die Konzentration der Endotoxine wird in EU/m^3 (Endotoxin Units – Endotoxin Einheiten pro Probenvolumen) angegeben, was ihre Aktivität beschreibt (siehe auch Diskussion der Methoden, Kapitel 4.1.1)

2.1.1.3 Impaktor

Das Verfahren der Impaktion beruht auf dem Prinzip der Trägheitsabscheidung. Hierbei wird das Luft-Aerosolgemisch durch eine Düse gesaugt, dadurch beschleunigt

nigt und an einer Oberfläche umgeleitet. Dort scheiden sich die Partikel aus dem umgelenkten Luftstrom ab.

Im vorliegenden Fall kam ein Impaktor der Firma MERCK® (Modell MAS-100) zur Verwendung. Dieser Impaktor wird in der aktuellen Messvorschrift der BIA-Arbeitsmappe 9430 als Beispiel für die Bakteriensammlung mittels Impaktor empfohlen. Der MAS-100 beruht auf dem Prinzip des Andersen Air Samplers: Luft wird mit einem konstanten Volumenstrom von 100 Litern pro Minute und einer isokinetischen Luftgeschwindigkeit von 0,45 m/s durch eine mit 400 Löchern perforierte Platte angesaugt. Der Luftstrom wird direkt auf eine mit Agar belegte Petrischale geleitet. Die Aufprallgeschwindigkeit der Staubpartikel beträgt ca. 11 m/sec, welche mit der Stufe 5 des Andersen Samplers übereinstimmt. Diese Geschwindigkeit garantiert, dass alle Partikel ab einem Durchmesser von 1 µm gesammelt werden. Die belegten Agarplatten werden anschließend für 7 Tage bebrütet. Die erste Auszählung erfolgt nach 24 Stunden und dann in Tages-/Zweitagesabständen. Die maximal ausgezählte Kolonienzahl bis zum einschließlich siebten Tag bestimmt das Ergebnis, welches dann als kolonienbildende Einheiten (KBE) pro Kubikmeter Luft analog zu den Auszählungen der PGP-Proben gemäß folgender Formel berechnet wird:

$$KBE/m^3 = (Kolonien / Platte \times 1000 l) / Probenvolumen (l)$$

2.1.2 Staubmessungen

Entsprechend der Eigenschaft von Staub als Träger biologischer Arbeitsstoffe wurden parallel zu den mikrobiologischen Messungen Aerosolpartikel bezüglich ihrer Verteilung auf die arbeitsmedizinischen Fraktionen erfasst. Eine Vergleichbarkeit der Verfahren zur Erfassung der luftgetragenen Keime (GSP-System) mit dem zur Partikelmessung ist insoweit gegeben, als sich beide auf die Norm EN 481 zur Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel beziehen, die Erfassung selbst ist jedoch grundlegend verschieden (optisch vs. Filtration).

In der Norm werden die Partikel aufgrund ihres aerodynamischen Durchmessers in die einatembare, thorakale und alveolengängige Fraktion unterteilt (Abbildung 2-2).

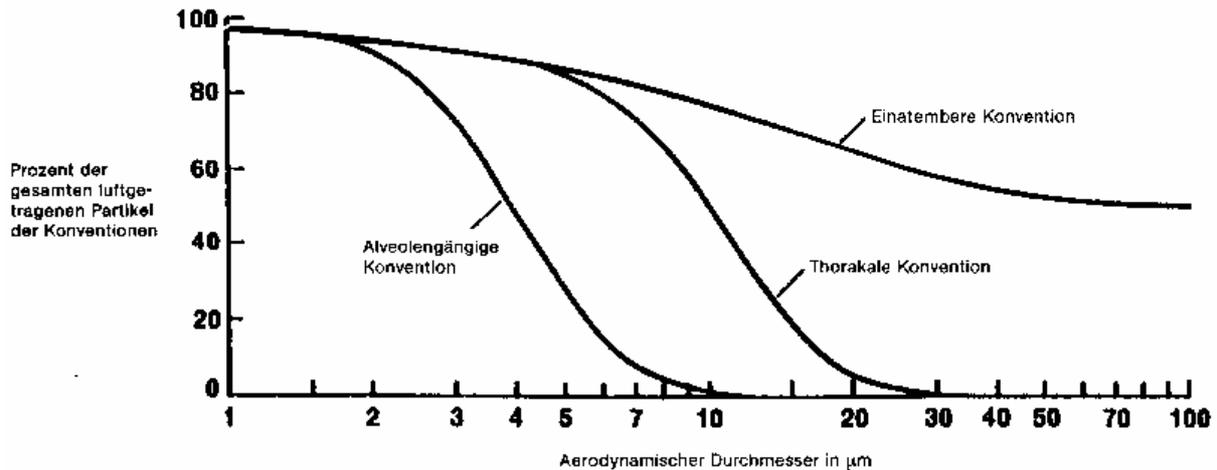


Abbildung 2-2: Die einatembare, thorakale und alveolengängige Konvention in Prozent der gesamten luftgetragenen Partikel, aus DIN EN 481 (1993)

Dabei ist die **einatembare Fraktion** definiert als der Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Mund und Nase eingeatmet wird. Unter der **thorakalen Fraktion** wird der Massenanteil aller eingeatmeten Partikel verstanden, die über den Kehlkopf hinaus vordringen. Die **alveolengängige Fraktion** beschreibt den Massenanteil aller eingeatmeten Partikel, die bis in die nicht cilierten Luftwege vordringen. Hierbei ist der **aerodynamische Partikeldurchmesser** definiert als der Durchmesser einer Kugel mit der Dichte 1 g/cm^3 und der gleichen Sinkgeschwindigkeit in ruhender Luft wie die Partikel unter den herrschenden Bedingungen bezüglich Temperatur, Druck und relativer Luftfeuchte (DIN EN 481, 1993).

Die Messungen wurden durchgeführt mit einem Aerosolspektrometer der Firma GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Modell Nummer 1.108. Hierbei handelt es sich um ein transportables Gerät zur Messung von Aerosolen und deren Verteilung in der Luft als Massenkonzentration oder Partikelkonzentration.

Messprinzip ist die Streulichtmessung mit einem Halbleiterlaser als Lichtquelle. Dabei wird das 90° Streulicht mit einem Öffnungswinkel von etwa 60° über einen Spiegel auf eine Empfängerdiode gelenkt. Durchqueren Partikel aus dem Probenvolumenstrom ($1,2 \text{ l/min} \pm 5\%$) den Laserstrahl, geben sie einen Lichtimpuls ab. Das Signal der Diode wird nach einer entsprechenden Verstärkung in verschiedenen Größenkanälen klassifiziert. Es stehen 15 Kanäle von $0,3 \mu\text{m}$ bis $20 \mu\text{m}$ ($0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,65 - 0,8 - 1,0 - 1,6 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 7,5 - 10 - 15 - 20$) zur internen Stauberfassung zur Verfügung. Durch Extrapolation wird ein weiterer Kanal unterhalb des feinsten gemessenen Kanals errechnet.

Die Umrechnung vom so erfassten aerodynamischen Durchmesser auf die Partikelmassenkonzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) erfolgt auf Grundlage der Werkskalibrierung, einer gravimetrischen Testung mit Sterinsäureaerosol (Dichte: 0,92 / Brechungsindex: 1,45) und sphärischen Glaskügelchen (Dichte: 2,8 / Brechungsindex: 1,36). Diese Annahme kann durch gravimetrische Kontrolle des zu messenden Staubs rechnerisch angepasst werden.

Als Messintervall wurden einminütige Mittelwerte der alle sechs Sekunden erfassten Momentanwerte auf die Speicherkarte geschrieben, die später an einem Computer ausgelesen und bearbeitet wurden.

Als Gerätesoftware war die Version 8.60 installiert, zum Auslesen der Daten fand die Computersoftware Version 3.02 Verwendung.

2.1.3 Messungen im Rahmen der Studie

Die mikrobiologischen Messungen in verschiedenen Stallsystemen zur Schweinemast waren eingebettet in ein interdisziplinäres Forschungsprojekt des Bundesprogramms Ökologischer Landbau der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 02OE615.

Ziel des Forschungsvorhabens war die umfassende, vergleichende Betrachtung der mit der Schweinemast zusammenhängenden Belastungen von Mensch (Beschäftigte), Tier und Umwelt unter besonderer Berücksichtigung der aus Sicht der ökologischen Landwirtschaft bzw. der artgerechten Tierhaltung vorgeschlagenen Schweinehaltungssysteme sowie die Ableitung von Vorschlägen zur Beratung der Politik (Diskussion „Beste Verfügbare Techniken“, Optimierung Ökologische Tierhaltung) und der betroffenen Landwirte.

Dazu wurden vier Haltungssysteme zur Schweinemast, davon zwei konventionelle und zwei ökologische, mit den folgenden Zielgrößen betrachtet:

a) Arbeitsschutz

- Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – PGP-System (Endotoxine, Schimmelpilze, Bakterien)
- Differenzierung der Schimmelpilz- und Bakterienproben
- Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – Impaktor
- Materialproben
- Staubmessung nach DIN EN 481

b) Tiergesundheit

- Serologie (*M. hyo.*, *PRRS-Virus*, *Influenza-Virus Typ A*, *PCV2*)
- Kotproben (bakterielle/parasitäre Analysen)
- Obduktion mit Lungenbefund (Schlachttiere)
- Obduktion verstorbener Tiere inkl. bakterieller Untersuchung
- Analyse der Futtermittel / Einstreu mittels Weender-Analyse
- histologische Untersuchung von Lungengewebe
- Bronchoalveolären Lavage

c) Umweltschutz

- Schadgase (CO₂, CH₄, NH₃)
- Staub (PM 10)
- Stallklimadaten (Lufttemperatur, -feuchte, Lüftungsrate)

Die Untersuchungen fanden in vier verschiedenen Stallsystemen statt, davon waren zwei konventionelle Stallsysteme ohne Verwendung von Einstreu (Stall A, Stall B) und zwei ökologische Stallsysteme mit Verwendung von Einstreu (Stall C, Stall D).

Haltungssystem A und Haltungssystem B (Tabelle 2-1) entsprachen zwei Abteilen in einem Versuchsstall der Universität Hohenheim auf der Versuchsstation für Tierhaltung, Tierzucht und Kleintierzucht „Unterer Lindenhof“ in Eningen u. Achalm, Landkreis Reutlingen. Der Versuchsstall entsprach den BVT⁹-Kriterien sowie weitestgehend den Anforderungen des vorliegenden Entwurfs der Ergänzung der Tier-schutznutztierhaltungsverordnung für Schweine (TIERSCHNUTZV, 2003).

Die beiden Abteile des Stalls verfügten über Spaltenböden. 50% des Spaltenbodens war mit einem reduzierten Schlitzanteil von 6% ausgestattet (Abbildung 2-3). Die Lüftung erfolgte über eine Unterflurabsaugung (Zwangsbelüftung). Pro Abteil befanden sich zwei Buchten mit jeweils 27 Mastplätzen (0,9 m²/Tier). Jede Bucht war mit einem Porky-Play-Beschäftigungsautomaten (STUBBE, 2000) ausgestattet. Die Tiere wurden vierphasig gefüttert, das Futter stand ad libitum zur Verfügung. Die Abteile waren aufgrund von Konzeption, Umgebungsbedingungen, Tierbetreuung und Routinear-

⁹ BVT steht für „Beste verfügbare Technik“ und bezieht sich auf die EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vom 30. Oktober 1996 (IVU-Richtlinie). Sie regelt die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrieanlagen auf der Grundlage eines medienübergreifenden Konzeptes. Bei diesem Ansatz werden sowohl Emissionen in Luft, Wasser und Boden als auch abfallwirtschaftliche Aspekte, Ressourcen- und Energieeffizienz sowie die Vorbeugung von Unfällen erfasst. Ziel ist es, ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. Ein wesentliches Element der Richtlinie ist die Forderung nach Anwendung der "Besten Verfügbaren Techniken" (BVT) bei allen neuen Anlagen, spätestens ab 2007 auch bei allen bestehenden Anlagen.

beiten als gleich anzusehen und unterschieden sich lediglich in der Art der Fütterungsanlage (vgl. Tabelle 2-1). Um bei den Untersuchungen einen vom Stallabteil unabhängigen Effekt der Fütterungstechnik auf die Höhe der Konzentration betrachteter Zielgrößen herausarbeiten zu können, wurde zwischen dem Mastdurchgang 2 und Mastdurchgang 3 die Art der Fütterung gewechselt, so dass das Abteil 1 in den Mastdurchgängen 1 und 2 mit einer Breifütterungsanlage ausgestattet war, im Mastdurchgang 3 wurde eine Sensor-Flüssigfütterung aus Abteil 2 installiert. Im Abteil 2 wurde dementsprechend im Mastdurchgang 1 und 2 über eine Sensor-Flüssigfütterung gefüttert, im Mastdurchgang 3 die Breifütterung aus Abteil 1 eingebaut. Dies bedeutet, dass Haltungssystem A jeweils durch die Fütterung mittels Breiautomaten in den Abteilen 1 und 2 und Haltungssystem B jeweils durch die Fütterung mit einer Sensor-Flüssigfütterung in den Abteilen 2 und 1 definiert war.

Das Management erfolgte im Rein-Raus-Prinzip, so dass die Mastdurchgänge in definierte Mastabschnitte unterteilt werden konnten. Abbildung 1-1 zeigt den Grundriss des Versuchstalls für Mastschweine der Universität Hohenheim.

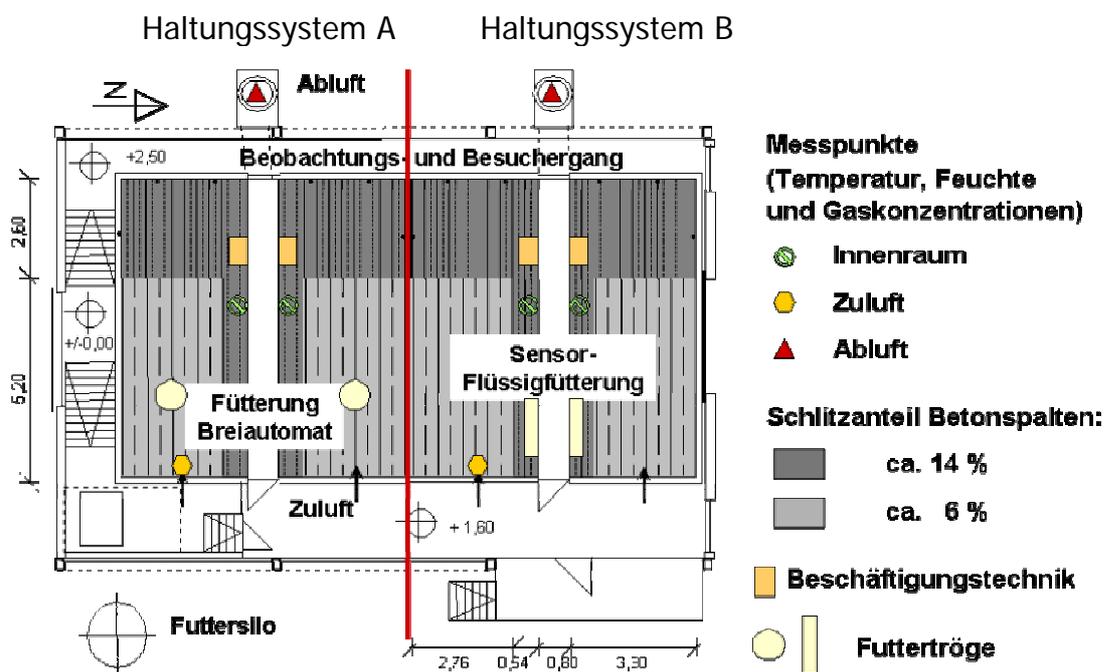


Abbildung 2-3: Grundriss des Versuchstalls für Mastschweine der Universität Hohenheim. Hier: Haltungssystem A (Flüssigfütterung) im Abteil 1, Haltungssystem B (Breifütterung) im Abteil 2

Bei den Mastschweinehaltungssystemen C und D (Tabelle 2-1) handelte es sich um ökologische Praxisställe im Großraum Fulda. Beide Ställe waren frei belüftet und mit Stroh eingestreut. Das Management erfolgte nach guter fachlicher Praxis im kontinuierlichen Mastbetrieb. **Haltungssystem C** (Abbildung 2-4) war ein **Tiefstreustall** in

einem Altbau mit 60 Mastplätzen (Altbauumnutzung). Der Stall war in ein Abteil mit drei Buchten mit je 20 Tieren aufgeteilt (1,3 m²/Tier). Die Fütterung erfolgte einphasig und ad libitum über Trockenfütterungsautomaten. Die Buchten wurden dem Prinzip nach frei belüftet. Der Luftwechsel konnte nur durch manuelles Kippen oder Herausnehmen der Fenster beeinflusst werden.



Abbildung 2-4: Haltungssystem C, Tiefstreustall. Mittelbucht



Abbildungen 2-5: Haltungssystem D, Stall nach EU-Öko-Verordnung. Auslauf (links), Innenansicht (rechts)

Das **Haltungssystem D** war ein Stall nach den Vorgaben der **EU-Öko-Verordnung** (EU-ÖKO-VERORDNUNG, 2003) mit getrennten Klimabereichen. Jede Bucht war mit 22 m² Innenbereich mit Stroheinstreu und mit 18 m² Auslauf ausgestattet, der gesamte Stall hat ca. 500 Mastplätze. Je nach Mastabschnitt befanden sich 20 bis 40 Tiere in

einer Bucht. Die zweiphasige Fütterung erfolgte je nach Bucht bzw. Alter der Tiere über Trockenfütterung oder Breifütterung. Die Lüftung war eine Trauf-First-Lüftung mit Spaceboards und Windbrechnetzen an beiden Seiten der Stallanlage (Tabelle 2-1, Abbildungen 2-5).

Bezeichnung	Messtage	Beschreibung
Haltungssystem A Konventionell I	MD 1: 09.10.2002 26.11.2002 08.01.2003 MD 2: 18.02.2003 02.04.2003 14.05.2003 MD 3: 02.07.2003 13.08.2003 29.09.2003	Mastschweinegestall, Bodengestaltung: 50% Vollspalten (14% Schlitzanteil), 50% reduzierter Schlitzanteil (6%), „Porky-Play“-Beschäftigungsautomat, 54 Mastplätze, zwei Buchten mit je 27 Tieren, 0,9 m ² /Tier, Rein-Raus-Verfahren, vierphasige Breifütterung ad libitum, zwangsbelüftet
Haltungssystem B Konventionell II	MD 1: 10.10.2002 27.11.2002 09.01.2003 MD 2: 19.02.2003 03.04.2003 15.05.2003 MD 3: 02.07.2003 13.08.2003 29.09.2003	Mastschweinegestall, Bodengestaltung: 50% Vollspalten (14% Schlitzanteil), 50% reduzierter Schlitzanteil (6%), „Porky-Play“-Beschäftigungsautomat, 54 Mastplätze, zwei Buchten mit je 27 Tieren, 0,9 m ² /Tier, Rein-Raus-Verfahren, vierphasige Sensor-Flüssigfütterung, zwangsbelüftet
Haltungssystem C Tiefstreu	MD 2: 13.03.2003 07.04.2003 24.04.2003 MD 3: 28.07.2003 14.08.2003 08.09.2003	Tiefstreustall, Altbaunutzung, 60 Mastplätze, drei Buchten mit je 20 Tieren, 1,3 m ² /Tier, kontinuierlicher Mastbetrieb, einphasige Trockenfütterung ad libitum, freibelüftet, Lüften durch Kippen bzw. Herausnehmen der Fenster
Haltungssystem D EU-ÖkoVO	MD 2: 17.03.2003 04.04.2003 28.04.2003 MD 3: 24.07.2003 18.08.2003 04.09.2003	Stall nach EU-Öko-Verordnung mit getrennten Klimabereichen, jede Bucht 22 m ² Innenbereich mit Stroh und 18 m ² Auslauf, 500 Mastplätze, je nach Mastabschnitt 20 bis 40 Tiere pro Bucht (1,3 m ² /Tier), kontinuierlicher Mastbetrieb, teils Trockenfütterung, teils Breifütterung, zweiphasige Fütterung, freibelüftet über Trauf-First-Lüftung und Spaceboards, Windbrechnetze beidseitig

Tabelle 2-1: Zeitliche Aufteilung der Messtermine auf die untersuchten Betrieben und Betriebsbeschreibung

Jedes Stallsystem wurde an sechs Messterminen beprobt, davon lagen jeweils drei in kalter und drei in warmer Jahreszeit (Abbildung 2-6). In den beiden konventionellen Ställen wurden 2 Mastdurchgänge durch jeweils drei Messtermine abgebildet (Messtermin jeweils Anfang, Mitte und Ende des Mastdurchganges), zusätzlich wurde in finanzieller Eigenleistung ein Mastdurchgang zwischen Juli und September 2003 mit verringertem Probenumfang gemessen.

Da die beiden ökologisch betriebenen Ställe im kontinuierlichen Verfahren betrieben wurden und die Buchten jeweils räumlich nicht voneinander getrennt waren, waren keine Messungen möglich, die einzelne Mastdurchgänge abbildeten. Trotzdem wurden die Messtermine analog einer Mastbegleitung zeitlich festgelegt (Abbildung 2-6).

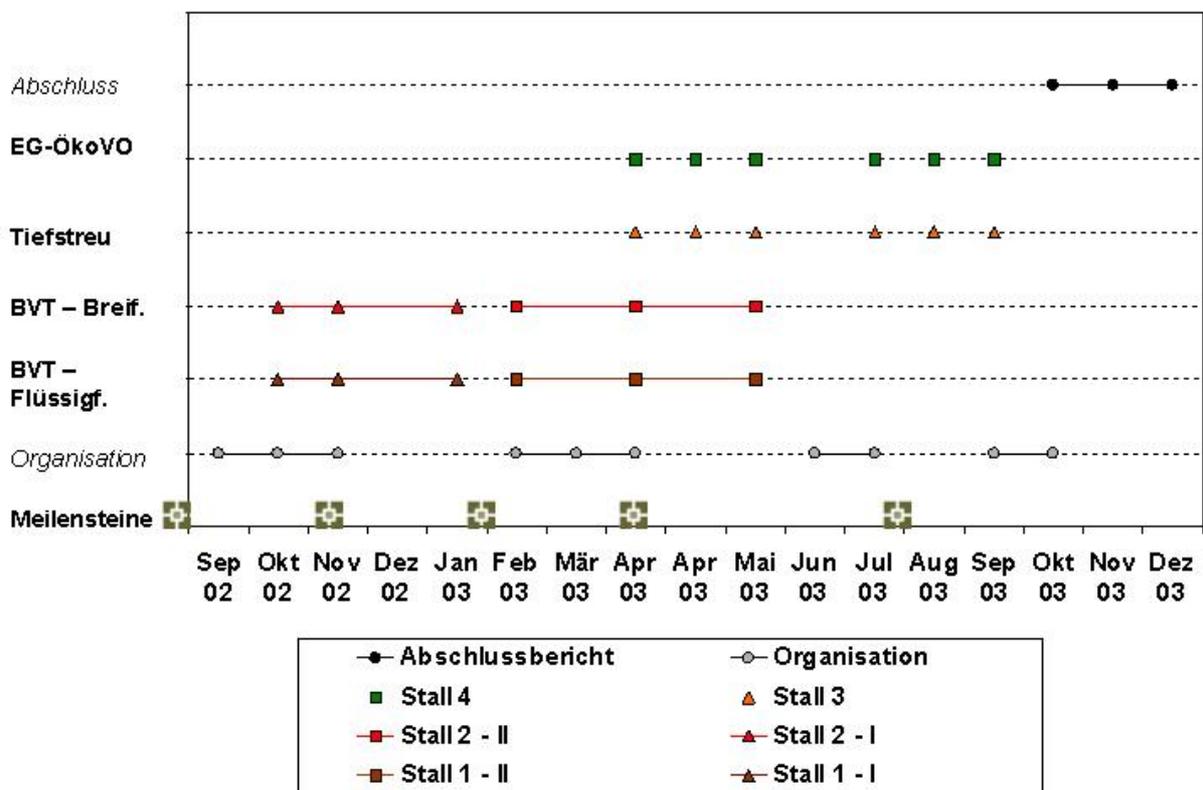


Abbildung 2-6: Messplan im Projekt 02OE615

Das **PGP-System** wurde bei den Stallluftmessungen mit drei GSP-Köpfen parallel betrieben, somit konnten gleichzeitig Proben zur Erfassung der luftgetragenen Konzentration von Endotoxinen, Schimmelpilzen und Bakterien genommen werden.

Die Messungen erfolgten teilweise personengetragen (Gurtsystem), teilweise stationär (Stativ oder Messbox). Mit den personengetragenen Messungen konnten die Emissionen bei typischen praxisüblichen Arbeitsvorgängen wie Einstreuen, Misten, Ausställen, Kontrollgang etc. (siehe Tabelle 3-9) erfasst werden; die stationären

Messungen gaben die Grundbelastung durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe des Stalles wieder. Die Befestigungshöhe der Filterköpfe für die stationären Proben war analog zu den personengetragenen Messungen auf einer Höhe von etwa 1,5 Meter (Abbildungen 2-7).



Abbildungen 2-7: Probenahme mit dem PGP-System, personengetragen und stationär

Die Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentrationen wurden pro Messtermin über je drei personengetragene und drei stationäre Proben bestimmt. Die Bakterienkonzentrationen wurden pro Messtermin über fünf personengetragene und fünf stationäre Proben ermittelt. Zusätzlich wurden je Messtermin ein bis zwei Referenzaußenluftmessungen durchgeführt. Die Probenahmedauer lag bei den Endotoxin- und Schimmelpilzproben bei etwa 30 Minuten und bei den Bakterienproben aufgrund der Gefahr des Austrocknens und Absterbens (Sammelstress) bei etwa 10 Minuten. Kürzere Probenahmezeiten ergaben sich bei den personengetragenen Messungen durch die Begleitung kürzer andauernder Arbeitsvorgänge.

Zusätzlich zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl erfolgte bei der Analyse der Schimmelpilz- und Bakterienproben eine Differenzierung der Mikroorganismen laut Tabelle 2-2.

Probe	Differenzierungen	Nährmedium (Agar)	Bebrütungs-temperatur
Schimmelpilze	Gesamtpilze A. fumigatus	DG 18 Malzextrakt	25°C 42°C
Bakterien	Gesamtkeimzahl Staphylokokken Bacilli thermophile Aktinomy- zeten	CASO (+Actidion) Baird-Parker CASO* Glycerin-Aginin	30°C 35-37°C 30°C 50°C

Tabelle 2-2: Differenzierung der Luftproben (PGP) mit Nährmedien und Wachstumstemperaturen für Differenzierungen von Schimmelpilzen und Bakterien

* nach Inkubation der Probe für 30 Minuten bei 75°C

Der **Impaktor** wurde zum Nachweis von Keimen eingesetzt, bei denen mit Ausnahme der Staphylokokken ein Vorkommen in eher geringen Luftkonzentrationen zu erwarten war. Bezüglich des Nachweises von Staphylokokken stellte die Impaktion ein zusätzliches, sensitiveres Werkzeug zu den PGP-Messungen dar. Je Messtermin wurden vier bis sechs Proben pro differenziertem Mikroorganismus genommen. Die Differenzierungen mit der Auswahl der entsprechenden Selektivnährmedien sind in Tabelle 2-3 aufgeführt.

Differenzierungen	Nährmedium (Agar)	Bebrütungs-temperatur
Enterobakterien E. coli Coliforme Pseudomonas Staphylokokken	VRBD-Agar (im Anaerobenbeutel) Chromocult Chromocult CN Baird-Parker	36°C

Tabelle 2-3: Differenzierung der Impaktorproben mit zugehörigen Selektivnährmedien und Bebrütungstemperaturen

Um der allgemein hohen Keimbelastung in der Stallluft gerecht zu werden, wurde mit einer geringen Luftmenge von 50 Litern, also einer Probenahmedauer von einer halben Minute, gearbeitet. Die Probenahme erfolgte handgetragen.

Die **Staub**-Probenahme erfolgte parallel zu der Erfassung der Keimkonzentration mit dem PGP-System. Entsprechend wurden stationäre wie personengetragene Messdaten erhoben. Bei den stationären Messungen war das Messgerät mit dem PGP-System auf einem Stativ oder in einer Messbox auf einer Höhe von etwa 1,5 Metern positioniert. Bei den personengetragenen Messungen konnte das Partikelmessgerät in einer Messtasche mit Schulterband getragen werden (Abbildungen 2-7).

Um Rückschlüsse auf die Herkunft der luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffe ziehen zu können, wurden bei jeder Stallluftmessung **Materialproben** genommen. Analysiert wurden - abhängig vom Stallsystem - Einstreumaterial, Beschäftigungsmaterial (beides Stroh) und Futter auf Gesamtpilze, Gesamtkeimzahl inklusive der in Tabelle 2-4 aufgeführten Differenzierungen.

Probe	Differenzierungen
Futter/ Einstreu/ Beschäftigungsmaterial	Gesamtpilze A. fumigatus Hefen Gesamtkeimzahl Enterobakterien E. coli Coliforme Pseudomonas aeruginosa Pseudomonas Staphylokokkus Staphylococcus aureus Bacilli Lactobacilli

Tabelle 2-4: Differenzierung der Materialproben

Für die Analyse der Materialproben wurde im vorliegenden Fall eine definierte Menge einer Materialprobe zuerst mit physiologischer Kochsalzlösung gemischt, um dann in einem sogenannten Stomacher die Bakterien aus der Probe zu extrahieren. Eine so gewonnene Stammlösung kann nach der bedarfsweisen Erstellung von Verdünnungsstufen auf den entsprechend des nachzuweisenden Keims ausgewählten Nährboden aufgetragen und bebrütet werden. Die Konzentrationsbestimmung erfolgt dann analog zu den PGP- bzw. Impaktorproben.

Entgegen den Planungen konnten die Materialproben aufgrund von starken Kreuzreaktionen mit den Glucanen in den Proben im LAL-Test nicht auf Endotoxin untersucht werden.

Zur Beurteilung der Hintergrundbelastung wurden mit dem PGP-System jeweils – wie in der TRBA 405 vorgesehen - **Referenzaußenluftmessungen** vorgenommen. Die Messungen erfolgten jeweils an der Frischluftseite der landwirtschaftlichen Betriebe. Bei den Stallsystemen, die in Bereichen anderer landwirtschaftlicher Tätigkeiten lagen (in der vorliegenden Untersuchung Milchvieh- und Mutterkuhhaltung bei den konventionellen Ställen), wurde eine zusätzliche Referenzmessung im Bereich der

Ansaugung der Frischluft für die Schweineställe (Referenz Hof) genommen, um einen möglichen Eintrag in die Ställe zu dokumentieren. Die Probenahme erfolgte stationär mit einem Stativ, an dem die Probenahmeköpfe in 1,5 Meter Höhe befestigt wurden.

Bei allen Messungen wurden Luftdruck (in hPa), relative Luftfeuchte (in%) und Lufttemperatur (in °C) mit einem vollautomatischen, elektronischen Gerät der Fa. Huber (Modell No: BAR928) sowie die Windgeschwindigkeit mit einem Flügelrad-Animometer der Fa. Thies, Göttingen, bestimmt.

Die **Anordnung der stationären Messstellen** unterschied sich in Abhängigkeit vom untersuchten Stallsystem. So befanden sich die Messgeräte bei den konventionellen Ställen auf einem Stativ in der Mitte des Gangs zwischen den Buchten (Abbildungen 2-7). Messhöhe war hier 1,5 Meter. Bei den ökologischen Ställen befanden sich die Messgeräte in einem Messkäfig, welcher auf einer Höhe von etwa 1,3 Metern in einer zentral gelegenen Bucht befestigt wurde.

Die **statistische Auswertung** erfolgte unter der Verwendung von SPSS[®] für Windows Version 11.0.1. Aufgrund der teilweise geringen Fallzahlen erfolgte die Grundauswertung deskriptiv über Boxplots. Bei den Boxplot-Diagrammen stellt die Box den Interquartilbereich mit 50% der Werte dar. Die von der Box ausgehenden Linien führen jeweils bis zum höchsten und niedrigsten Wert, ohne Ausreißer und Extremwerte zu berücksichtigen. Die quer über die Box gelegte Linie gibt die Lage des Medians wieder. Ausreißer sind dabei durch SPSS[®] definiert die Fälle mit Werten, die zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box entfernt sind, Extremwerte sind durch die Software festgelegt solche Fälle mit Werten, die mehr als 3 Balkenlängen von der oberen oder unteren Kante des Balkens entfernt sind.

Die Verteilungen der Bioaerosolkonzentrationen waren nicht normalverteilt. Das war erkennbar an der Lage der Mediane in den Boxen der Boxplots und an dem Vorhandensein der unteren analytischen Nachweisgrenzen und wurde auch durch den Kolmogoroff-Smirnoff-Test auf Normalverteilung nachgewiesen. Dementsprechend wurde ergänzend zu der deskriptiven Darstellung nichtparametrische Tests durchgeführt. Für den Vergleich der beiden konventionellen Stallsysteme kam der Mann-Whitney-U-Test zur Anwendung, für den Vergleich der drei Stallsysteme (A/B – C – D) der Kruskal-Wallis-H-Test.

Der **Mann-Whitney-U-Test** ist ein nichtparametrischer Test der prüft, ob zwei unabhängige Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Zugrundegelegt werden die Fallränge der Sortierung aller Werte. Bewertet wird dann, wie oft ein Wert in der ersten Gruppe einem Wert in der zweiten Gruppe vorausgeht.

Der **Kruskal-Wallis-H-Test** ist eine Erweiterung des Mann-Whitney-U-Tests für mehrere unabhängige Stichproben. Er ist die nichtparametrische Entsprechung der einfaktoriellen Varianzanalyse und erkennt Unterschiede in der Lage der Verteilung.

Spezielle Zusammenhänge von Einflussfaktoren auf die Bioaerosolkonzentrationen wurden über bi- und multivariate Analysen betrachtet. Die **bivariate Analyse** der Einflussfaktoren auf die Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentration in der Stallluft erfolgte unter Verwendung einer logarithmisierten Messwertdarstellung, da hiermit die größte Annäherung an die Normalverteilung erreicht werden konnte. In die **multivariate Analyse** wurden Prädiktoren aufgenommen, die in der bivariaten Analyse mit einem $p < 0,2$ als modifizierende Faktoren differenziert werden konnten. Die Signifikanzgrenze der multivariaten Analyse selbst lag bei $p < 0,05$.

Bei der Beurteilung wurden die üblichen drei Signifikanzniveaus zur Beschreibung der Irrtumswahrscheinlichkeit bei Ablehnung der Nullhypothese angewandt: $p < 0,05$ - signifikant, $p < 0,01$ - hochsignifikant, $p < 0,001$ – höchstsignifikant und $p > 0,05$ nicht signifikant.

Materialien und Methoden für den Bereich Umweltschutz

Da die im oben angesprochenen Verbundprojekt erfassten Daten aus dem Bereich Umweltschutz (Schadgase, Staub-PM10 und Stallklima) in die vorliegende Ergebnisanalyse und Diskussion einfließen, werden die zur Erfassung genutzte Materialien und Messmethoden kurz vorgestellt. Dieser Abschnitt ist aus dem noch nicht veröffentlichten Abschlussbericht (RIEGER ET AL., 2004) zum oben genannten Forschungsprojekt zitiert.

Zur **Konzentrationsbestimmung** von NH_3 wurde in den konventionellen Haltungssystemen A und B mit einem Gerät der Firma ROSEMOUNT, Modell Binos 4b, gemessen, die CO_2 - und CH_4 -Konzentrationen wurden mit Geräten der Firma MAIHAK, Modell UNOR 610, ermittelt. Beide Geräte arbeiten nach dem Prinzip der nicht dispersiven Infrarotspektroskopie (NDIR) (Tabelle 2-5).

In den ökologischen Haltungssystemen C und D wurden die Konzentrationen von NH_3 , CO_2 und CH_4 mit einem Multigasmonitor B&K 1302 INNOVA der Firma BRÜEL

& KJAER analysiert, welcher nach dem Prinzip der photoakustischen Infrarotspektroskopie arbeitet (Tabelle 2-5).

Die **Staubmessungen** erfolgten als Bestimmung der Partikelmassenkonzentration PM10. Sie wurden teils mit Streulichtphotometern der Firma TSI, Modell DustTrack 8520, teils mit Aerosolspektrometern der Firma GRIMM AEROSOL TECHNIK, Modell 1.108 durchgeführt (Tabelle 2-5).

Die **Lufttemperatur** und **Luftfeuchte** wurden in den jeweiligen Ställen bzw. Abteilinnenräumen mit Hilfe von Sensoren der Firma ROTRONIC, Modell Hygroclip, kontinuierlich und zeitgleich zur Bestimmung der Partikelmassen- und Gaskonzentrationen erfasst (Tabelle 2-5). In den konventionellen Ställen waren die Sensoren an die zentrale Datenerfassung und -speicherung angeschlossen. In den ökologischen Ställen wurden die Messwerte der Temperatur- und Feuchtesensoren mit Hilfe eines sensor-spezifischen Datenloggers, Modell HYDROLOG D, gespeichert.

Messgröße	Messbereich / Messgenauigkeit	Messgerät und Messprinzip	Messhäufigkeit pro Messstelle	Abtastrate
NH ₃ [ppm] HS A / B	0 - 100 ppm ± 1 ppm (ca. 80 ppm*)	„ROSEMOUNT“ NDIR-Spektroskopie	Alle 15 Minuten	1 Sek.
NH ₃ [ppm] HS C / D	ca. 80 ppm*	„INNOVA“ Photoakustische Infrarotspektroskopie	Alle vier Minuten	4 Min.
CO ₂ [ppm] HS A / B	0 - 10000 ppm ± 10 ppm (ca. 6500 ppm*)	„MAIHAK“ NDIR-Spektroskopie	Alle 15 Minuten	1 Sek.
CO ₂ [ppm] HS C / D	ca. 4000 ppm*	„INNOVA“ Photoakustische Infrarotspektroskopie	Alle vier Minuten	4 Min.
CH ₄ [ppm] HS A / B	0 - 300 ppm ± 3 ppm (ca. 50 ppm*)	„MAIHAK“ NDIR-Spektroskopie	Alle 15 Minuten	1 Sek.
CH ₄ [ppm] HS C / D	ca. 100 ppm*	„INNOVA“ Photoakustische Infrarotspektroskopie	Alle vier Minuten	4 Min.
PM 10** [mg/m ³] HS A / B	0,0001 – 100 mg/m ³ ± 0,0001 mg/m ³	„GRIMM“ Opt. Partikelzähler + „TSI“ Streulichtphotometer	Jede Minute	1 Sek.
PM 10 [mg/m ³] HS C / D	0,001 – 100 mg/m ³ ± 0,001 mg/m ³	„TSI“ Streulichtphotometer		
Lufttemperatur [°C] HS A / B	-30 bis +70 °C ± 1 °C	„ROTRONIC“ PT°100 (Widerstand)	Alle 15 Minuten	1 Sek.
HS C / D			Jede Minute	2 Min.
Rel. Luftfeuchte [%] HS A / B	0 bis 100% ± 1%	„ROTRONIC“ Kapazitive Feuchte-sensoren	Alle 15 Minuten	1 Sek.
HS C / D			Jede Minute	2 Min.

Tabelle 2-5: Übersicht der eingesetzten Messgeräte

*kalibrierter Messbereichsendwert

**bei GRIMM-Gerät errechneter Wert (Geräteangaben kumulativ)

Die **Anordnung der Messstellen** im beprobten Stall unterschied sich je nach Haltungssystem und eingesetzter Technik. Die Messung der Partikelmassenkonzentration erfolgte mit dem Gerät der Firma TSI in den konventionellen Stallsystemen in einem Messkäfig, der in unmittelbarer Nähe zu der auf ca. 1 m Höhe liegenden Messstelle für die Gase und die Stallklimaparameter angebracht war. Der Messort beim Einsatz der GRIMM-Aerosolspektrometer lag aus Gründen der schlechteren Handhabbarkeit der Geräte an der Stallwand am Ende des Buchtenganges.

In den ökologischen Ställen waren die Messstellen für die Gase in einem Käfig auf ca. 0,50 m Höhe direkt unterhalb des gemeinsamen Messortes von Partikeln und den Stallklimaparametern angebracht. Durch Teflonschläuche wurde die Probenluft aus der unmittelbaren Nähe der Partikelmessgeräte zu den jeweiligen Gasanalysegeräten geleitet.

Durchgeführt wurden die Messungen vom Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftlichen Bauwesen, Universität Hohenheim.

2.2 Epidemiologischer Fragebogen

Der epidemiologische Fragebogen sollte der Erfassung von Belastungen und Beanspruchungen von in der Schweinehaltung beschäftigten Personen dienen. Er sollte ferner einen möglichen Zusammenhang der Arbeitsbedingungen (z.B. ökologische oder konventionelle Schweinehaltung) zu den Beanspruchungen erbringen. Hierbei wurde besonderes Augenmerk auf die Produktionscharakteristika gelegt, die in den Untersuchungen zur Stallluftqualität als möglicherweise moderierende Faktoren differenziert werden konnten.

Dementsprechend beinhaltete der Fragebogen folgende Teile:

Soziodemographische Daten

- Alter, Geschlecht, Familienstand
- Ausbildung
- Raucherstatus

Arbeitsanamnese

- Betriebszugehörigkeit
- vorangegangene Tätigkeiten
- Arbeitszeiten (täglich, jährlich, in den jeweiligen Ställen)
- Inanspruchnahme (geistig / körperlich)

- weitere landwirtschaftliche Tätigkeiten
- weitere Beschäftigungen
- Verwendung von PSA

Stallcharakteristika

- Tierarten und –anzahl
- Produktionsform (ökologisch / konventionell)
- Haltungsform
- Mistverfahren
- Lüftungsverfahren
- Fütterungsverfahren

Erhebung der Arbeitsfähigkeit und des Gesundheitsstatus

- Arbeitsbewältigungsindex nach TUOMI ET AL. (1998)
- Beschwerden des Respirationstrakts

Der **Arbeitsbewältigungsindex** (Work Ability Index – WAI) ist in den 90er Jahren vom Finnish Institute of Occupational Health als ein Untersuchungsinstrument für den betrieblichen Gesundheitsschutz entwickelt worden. Er zeigt, wie gut ein Arbeitnehmer seine Arbeitsfähigkeit subjektiv einschätzt. Der WAI wird aus den Antworten auf eine Reihe von Fragen bestimmt (siehe Anhang, Fragen 3 bis 9), die die physischen und psychischen Anforderungen der Arbeit, den Gesundheitszustand und die Leistungsreserven des Arbeitnehmers betreffen. Für die Antworten werden Punkte vergeben, woraus ein Ergebnis zwischen 7 und 49 Punkten resultiert. Der so bestimmte Wert zeigt, wie hoch die eigene Arbeitsfähigkeit eingeschätzt wird, darauf bezogen wird das Niveau der Arbeitsfähigkeit wie folgt klassifiziert:

WAI-Punkte	Arbeitsfähigkeit
7-27	schlecht
28-36	mittelmäßig
37-43	gut
44-49	sehr gut

Tabelle 2-6: Klassifizierung der Arbeitsfähigkeit

Grundsätzlich beziehen sich die Ergebnisse auf die jeweilig zu erfüllenden Arbeitsanforderungen.

Der Arbeitsbewältigungsindex wurde so konstruiert, dass die 15% der Arbeitnehmer mit dem schlechtesten Punktwert der Arbeitsfähigkeit die Kategorie „schlecht“ und

jene 15% mit dem besten Punktwert die Kategorie „sehr gut“ bildeten: Die Kategorien „mittelmäßig“ und „gut“ wurden durch den Median geteilt (TUOMI ET AL., 1998).

Die Berechnung des WAI geschieht, indem die Frage bzw. die Fragen jeder der sieben Dimensionen bewertet und die Punkte aller Dimensionen addiert werden (Tabelle 2-7).

Dimension	Zahl der Fragen	Punkteverteilung der Antworten
1 Derzeitige Arbeitsfähigkeit im Vergleich zu der besten je erreichten Arbeitsfähigkeit	1	0-10 Punkte
2 Arbeitsfähigkeit in Relation zu den Anforderungen der Arbeitstätigkeit	2	Gewichtung der Punkte entsprechend dem Arbeitsinhalt
3 Anzahl der aktuellen vom Arzt diagnostizierten Krankheiten	1 (Liste von 51 Krankheiten)	Mindestens 5 Krankheiten = 1 Punkt 4 Krankheiten = 2 Punkte 3 Krankheiten = 3 Punkte 2 Krankheiten = 4 Punkte eine Krankheit = 5 Punkte keine Krankheit = 7 Punkte (nur ärztlich diagnostizierte Krankheiten zählen)
4 Geschätzte Beeinträchtigung der Arbeitsleistung durch die Krankheiten	1	1-6 Punkte
5 Krankenstandstage im vergangenen Jahr (12 Monate)	1	1-5 Punkte
6 Einschätzung der eigenen Arbeitsfähigkeit in 2 Jahren	1	1, 4 oder 7 Punkte
7 Psychische Leistungsreserven (Bezieht sich auf das Leben des Arbeitnehmers im Allgemeinen, d.h. sowohl auf die Arbeit als auch auf die Freizeit)	3	Die Punkte für die einzelnen Fragen werden addiert. Aus der jeweiligen Summe resultiert die folgende Punkteverteilung: Summe 0 – 3 = 1 Punkt Summe 4 – 6 = 2 Punkt Summe 7 – 9 = 3 Punkt Summe 10 – 12 = 4 Punkt

Tabelle 2-7: Im Arbeitsbewältigungsindex erfasste Dimensionen, Zahl der Fragen je Dimension und Punkteverteilung der Antworten (nach TUOMI ET AL., 1998)

Ergänzt wurde die Gesundheitsanamnese des WAI durch eigene anamnestiche Fragen zu **Atemwegserkrankungen und Symptomen**, die möglicherweise auf Endotoxinexposition zurückgeführt werden können (z.B. Fieber).

Der vollständige Abdruck des Fragebogens befindet sich im Anhang.

Im Zeitraum von Januar bis April 2004 wurden 360 Fragebögen an Schweinemast betreibende landwirtschaftliche Betriebe versandt. Die ökologisch wirtschaftenden Betriebe (n=324) wurden direkt über die Erzeugerkreise Bioland, gää, Naturland und Biokreis angeschrieben, so dass die Anonymität der Betriebe gewahrt werden konnte. Die konventionell wirtschaftenden Schweinemäster (n=42) wurden durch den Arbeitskreis für Betriebsführung Münsterland angeschrieben oder im Rahmen einer an der BU Wuppertal durchgeführten Studienarbeit (KLEMM, 2004) im Kreis Stade direkt befragt.

Die **statistische Auswertung** der Fragebögen erfolgte unter der Verwendung von SPSS® für Windows® Version 11.0.1. Die Auswertung erfolgte aufgrund der geringen Fallzahlen hauptsächlich deskriptiv. Wo es sinnvoll erschien, wurden Mittelwertvergleiche angestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Stallmessungen

Die Mastdurchgänge (MD) teilten sich auf die Jahreszeiten Winter (MD 1), Frühjahr (MD 2) und Sommer (MD 3) auf. Genauere Klimadaten sind in Tabelle 3-1 wiedergegeben.

MD	Jahreszeit	Stall	Datum	Temperatur Stall [°C]	Luftfeuchte Stall [%]	Temperatur außen [°C]
1	Winter	A	9. Okt 02	22	54	13
			26. Nov 02	19	57	9
			8. Jan 03	15	53	-3
		B	10. Okt 02	21	58	12
			27. Nov 02	19	62	13
			9. Jan 03	15	46	-7
2	Frühjahr	A	18. Feb 03	23	33	1
			2. Apr 03	19	49	8
			14. Mai 03	19	46	16
		B	19. Feb 03	23	36	0
			3. Apr 03	19	50	7
			15. Mai 03	17	46	21
		C	13. Mrz 03	13	66	8
			7. Apr 03	10	55	5
			24. Apr 03	21	56	20
		D	17. Mrz 03	8	61	10
			4. Apr 03	9	56	6
			28. Apr 03	18	60	20
3	Sommer	A	2. Jul 03	23	53	22
			13. Aug 03	31	35	35
			29. Sep 03	18	54	18
		B	2. Jul 03	24	53	22
			13. Aug 03	31	33	35
			29. Sep 03	18	55	18
		C	28. Jul 03	24	61	23
			14. Aug 03	27	56	22
			8. Sep 03	21	72	17
		D	24. Jul 03	19	76	21
			18. Aug 03	23	60	25
			4. Sep 03	16	60	18

Tabelle 3-1: Klimadaten der Stallmessungen (Tagesmittelwerte)

3.1.1 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – PGP-System

Insgesamt wurden 707 Proben mit dem PGP-System genommen. Daraus resultierten inklusive der Differenzierungen 1643 verarbeitete Fälle, darin inbegriffen 268 Refe-

renz-Außenmesswerte (Tabelle 3-10). Die Aufteilung der Messungen auf die Stall-systeme, die Art der Messung (stationär oder personengetragen) und die untersuch-ten Mikroorganismen findet sich im Anhang, in Tabelle A 1.

Um im Folgenden eine bessere graphische Beurteilung der Boxplots vornehmen zu können, sind die Skalen so gewählt, dass Ausreißer und Extremwerten teilweise ab-geschnitten werden. Die Boxplots mit allen Ausreißern und Extremwerte sind im An-hang dargestellt. Ebenfalls im Anhang sind Mediane (Med.) und Mittelwerte (MW) der jeweiligen Verteilungen und die Kennwerte der nichtparametrischen Tests aufgeführt. Die laboranalytisch bedingten unteren Nachweisgrenzen einzelner Mikroorganismen fließen als 2/3-Werte der Nachweisgrenze in die Darstellung und Berechnung der Ergebnisse ein.

3.1.1.1 Vergleich der Stallsysteme – stationäre Messungen

Wie geschildert unterschieden sich die beiden konventionellen Ställe ausschließlich durch die Fütterungssysteme. Dieser Unterschied führte im Hinblick auf die Konzentration von Bioaerosolen weder in der deskriptiven Betrachtung noch im Mann-Whitney-Test zu eindeutigen Unterschieden. Dies sei in Abbildung 3-1 beispielhaft anhand der stationären Endotoxin- (Breifütterung: Med. 6.100; Flüssigfütterung: Med. 5.000; $p=0,78$) und Schimmelpilzmessungen (Breifütterung: Med. 1.000; Flüssigfüt-te-rung: Med. 1.400; $p=0,341$) gezeigt, gilt jedoch entsprechend für die stationären Mes-sungen der weiteren untersuchten Mikroorganismen sowie für den Vergleich der per-sonengetragenen Messwerte.

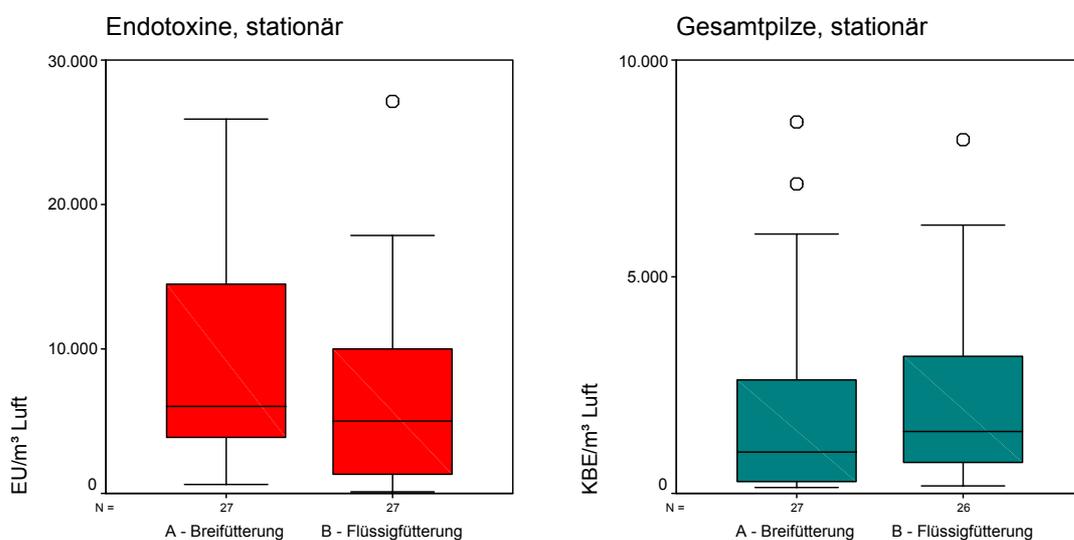


Abbildung 3-1: Vergleich der stationären Messungen der konventionellen Stallsysteme; Endotoxine, Gesamtschimmelpilze

Aus diesem Grund wurden in den folgenden Betrachtungen die beiden konventionellen Ställe zugunsten einer besseren Darstellung zusammengefasst.

Weitere Abbildungen und Kennwerte finden sich im Anhang, Abbildungen A 1, Tabelle A 2 bis Tabellen A 4.

Im Vergleich der mit dem PGP-System erfassten Messwerte fiel der Tiefstreustall durch die höchste Belastung mit luftgetragenen **Endotoxinen** auf (Abbildung 3-2). Der Median der Konzentrationen lag beim Tiefstreustall bei 14.495 EU/m³ Luft, der Median der konventionellen Ställen bei 5.544 EU/m³ Luft und der Median des EU-ÖkoVO-Stalls bei 2.876 EU/m³ Luft. Die Streuung war beim EU-ÖkoVO-Stall geringer als bei den anderen Stallsystemen, Ausreißer gab es bei den ökologischen Stallsystemen. Der Kruskal-Wallis-Test ergab einen höchstsignifikanten Unterschied zwischen den Stallsystemen ($p < 0,001$).

Auch bei der Betrachtung der luftgetragenen **Schimmelpilze** wies der Tiefstreustall mit einem Median von 4.622 KBE/m³ Luft und größter Streuung die höchsten Werte auf (Abbildung 3-2). Konventionelle Ställe (Median 1.058 KBE/m³ Luft) und EU-ÖkoVO-Stall (Median 2.151 KBE/m³ Luft) zeigten eine ähnliche Streuung. Ausreißer gab es bei den konventionellen Ställen und dem Tiefstreustall. Auch hier ergab der Kruskal-Wallis-Test einen höchstsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$).

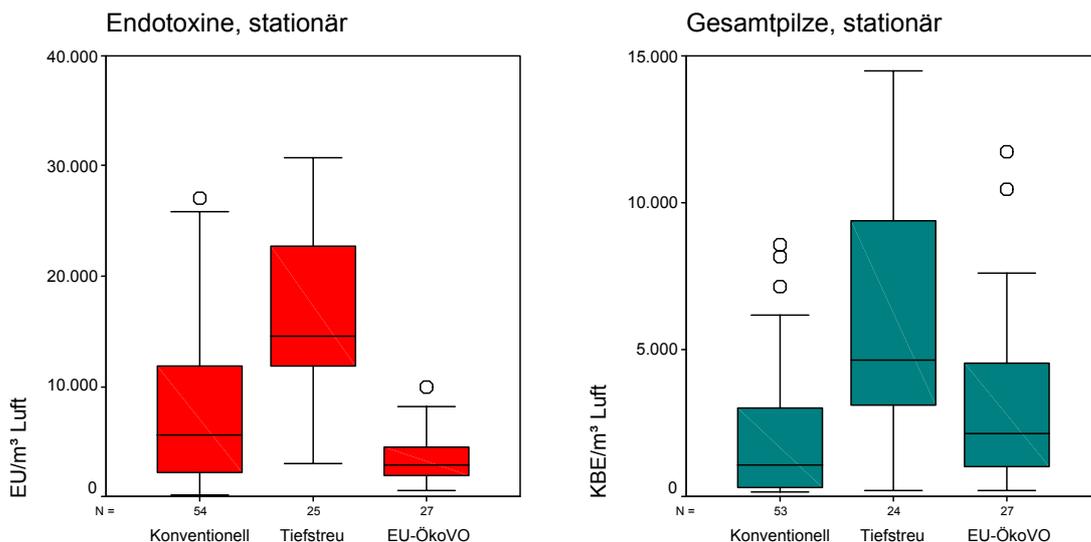


Abbildung 3-2: Vergleich der Stallsysteme; Endotoxine und Gesamtschimmelpilze, stationär

Bei der Betrachtung der **Gesamtbakterienkonzentrationen** zeigte der Tiefstreustall wiederum die höchsten Werte (Median 16,1 Mio. KBE/m³ Luft) mit stärkster Streu-

ung. Hier unterschieden sich aber auch der EU-ÖkoVO-Stall (Median 4,4 Mio. KBE/m³ Luft) und die konventionellen Ställe (Median 0,2 Mio. KBE/m³ Luft) deutlich (Abbildung 3-3). Der nichtparametrische Test ergab wiederum einen höchstsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$).

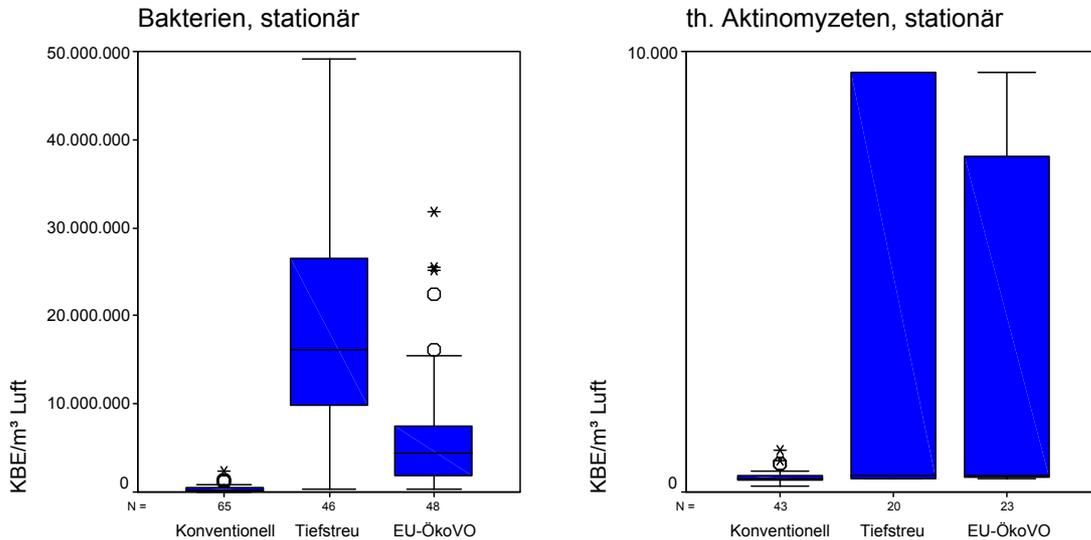


Abbildung 3-3: Vergleich der Stallsysteme; Gesamtbakterien und thermophile Aktinomyzeten, stationär

In der überwiegenden Zahl von Messungen in den ökologischen Ställen und fast allen Messungen in den konventionellen Ställen lagen die Konzentrationen von **Aspergillus fumigatus** unter der jeweiligen unteren Nachweisgrenze der Analysen. Abgesehen von einigen Ausreißern zeigten sich also allgemein geringe Konzentrationen von *A. fumigatus* in den Stallsystemen mit der Tendenz zu höheren Werten in den ökologischen Ställen. Trotzdem zeigte der Kruskal-Wallis-Test einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) der Messergebnisse.

Das gleiche Bild ergab sich bei der Betrachtung der **thermophilen Aktinomyzeten** in den Stallsystemen: Nur wenige Messwerte in den ökologischen Ställen lagen und nur ein Messwert in den konventionellen Ställen lag oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen (Abbildung 3-3, Kruskal-Wallis: $p < 0,05$).

Bei der stationären Erfassung der Luftkonzentration von **Bacilli** lagen etwa die Hälfte der Werte aus den konventionellen Ställen und dem EU-ÖkoVO-Stall unter der unteren Nachweisgrenze, dagegen nur wenige aus dem Tiefstreustall. Dies deutet also, auch im Vergleich der Mediane (Tiefstreu: 5.455 KBE/m³ Luft, konventionelle: 1.058 KBE/m³, EU-ÖkoVO: 1.429 KBE/m³; $p < 0,001$), auf eine höhere Konzentration luftgetragener Bacilli im Tiefstreustall hin (Abbildung 3-4).

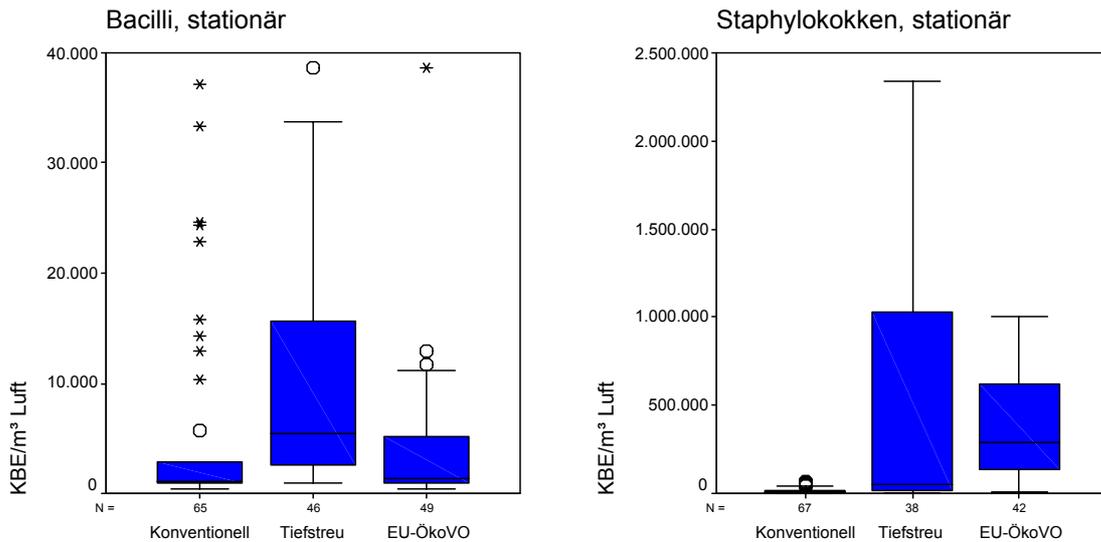


Abbildung 3-4: Vergleich der Stallsysteme; Bacilli und Staphylokokken, stationär

Die Belastungen der Ställe mit luftgetragenen **Staphylokokken** zeigten sich sehr uneinheitlich (Abbildung 3-4). Die geringste Belastung wurde in den konventionellen Ställen (Median 5.714 KBE/m³ Luft) festgestellt. Im Tiefstreustall lag der Median bei 51.948 KBE/m³ Luft mit hoher Streuung und Ausreißern, im EU-ÖkoVO-Stall lag der Median bei 286.905 KBE/m³ Luft. Der Rangtest nach Kruskal-Wallis zeigte einen höchstsignifikanten Unterschied.

Die Abbildungen der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 2. Mediane und Mittelwerte der Messungen finden sich in Tabelle A 5, Ränge und Kennwerte für die nichtparametrischen Tests in den Tabellen A 6.

3.1.1.2 Vergleich der Messwerte über die Mastdurchgänge

Konventionelle Ställe

Der Verlauf der Luftkonzentrationen über die einzelnen Mastdurchgänge wurde nur für Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentrationen analysiert, da diese aufgrund von längeren Probenahmezeiten am ehesten die vorherrschende Keimlast der Ställe widerspiegeln.

Im Mastdurchgang 1 stiegen die Konzentrationen kontinuierlich an (Abbildung 3-5), während die Konzentrationen im Mastdurchgang 2 in der dritten Messung wieder abfielen (Abbildung 3-6). Der dritte Mastdurchgang war geprägt durch sehr niedrige Werte in der zweiten Messung (Abbildung 3-7).

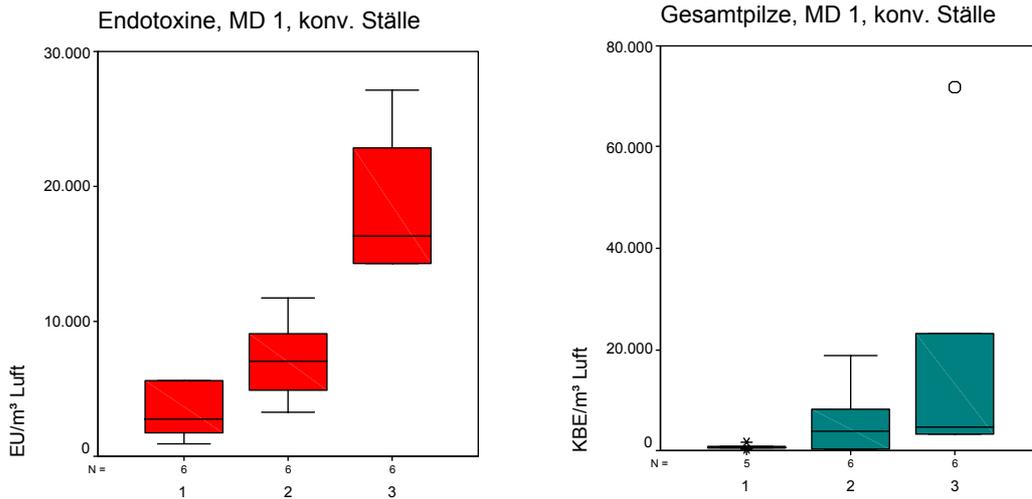


Abbildung 3-5: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 1

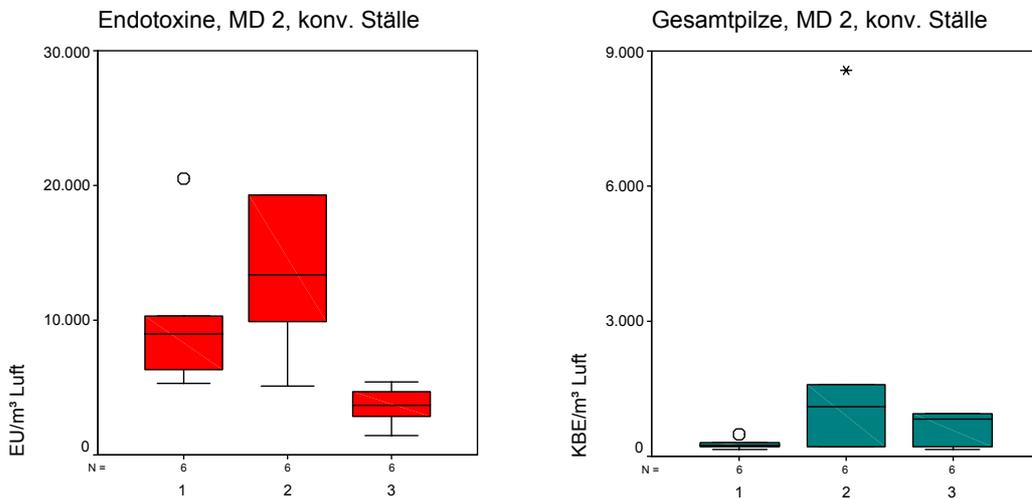


Abbildung 3-6: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2

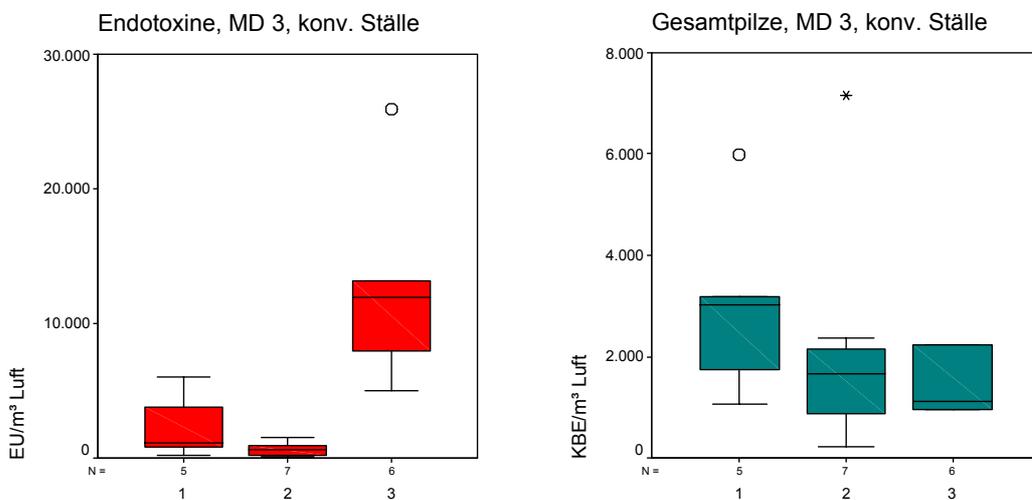


Abbildung 3-7: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3

Ökologische Ställe

In den ökologischen Ställen war der Verlauf der Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentrationen weniger ähnlich als in den konventionellen Ställen. An manchen Punkten war der Verlauf über den Messzeitraum sogar eher gegenläufig. (Abbildung 3-8 bis Abbildung 3-11). Mastdurchgang 2 umfasste hierbei das Frühjahr 2003, Mastdurchgang 3 den Sommer 2003. Die Messzeitpunkte lagen nahezu parallel zu den Messungen in den konventionellen Ställen.

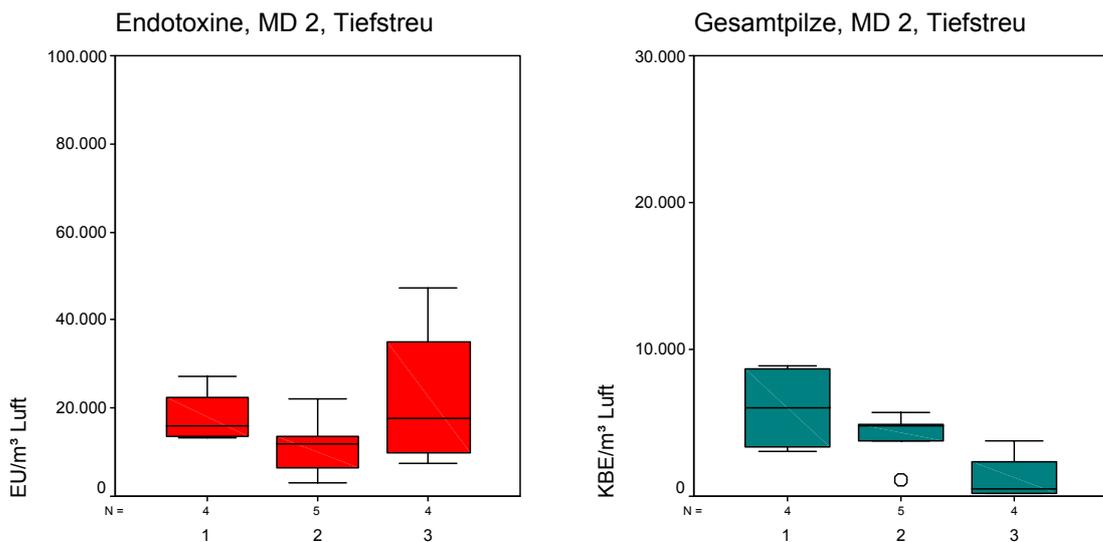


Abbildung 3-8: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im Tiefstreustall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2

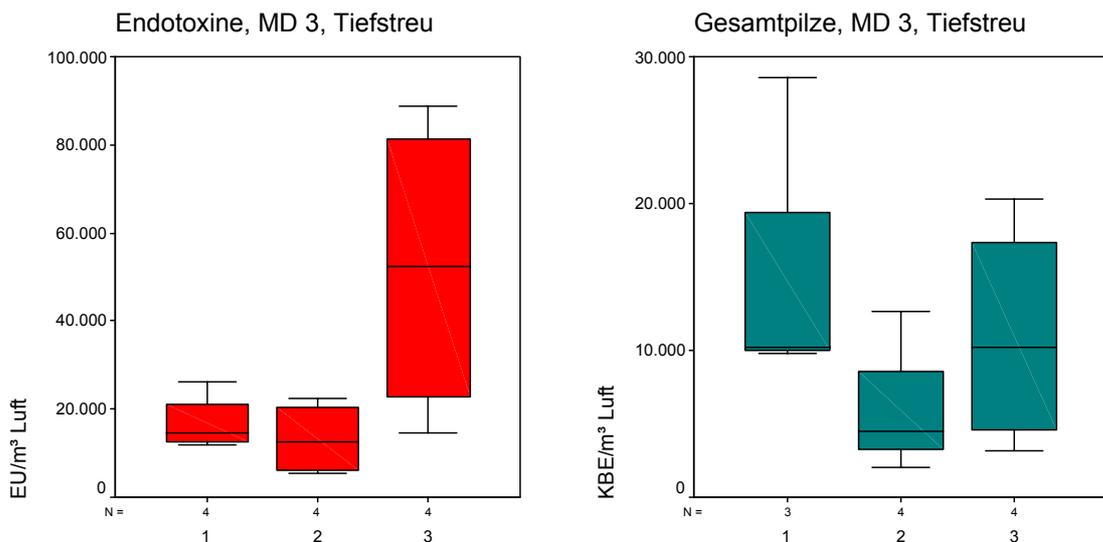


Abbildung 3-9: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im Tiefstreustall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3

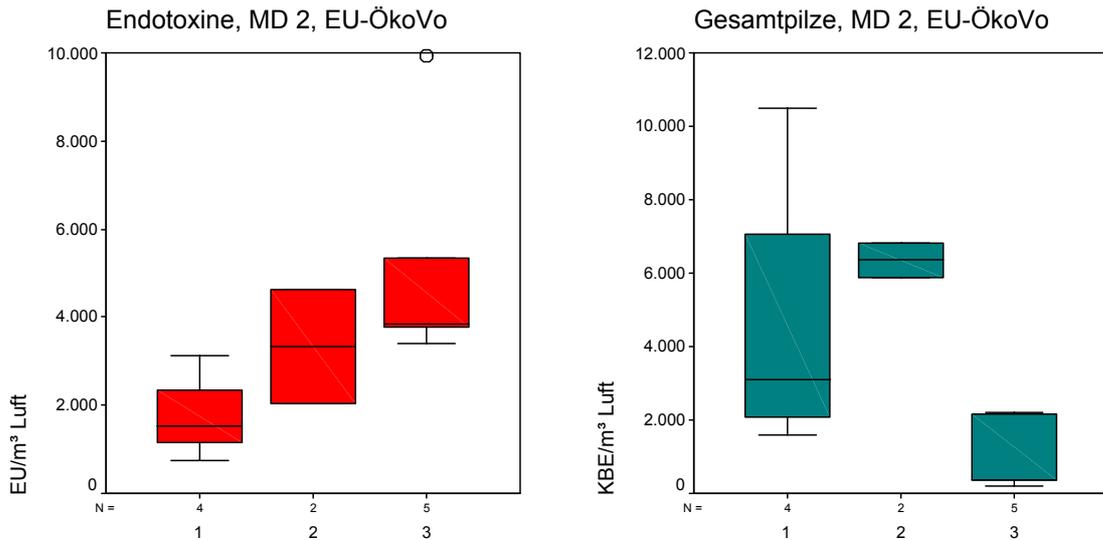


Abbildung 3-10: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im EU-ÖkoVO-Stall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2

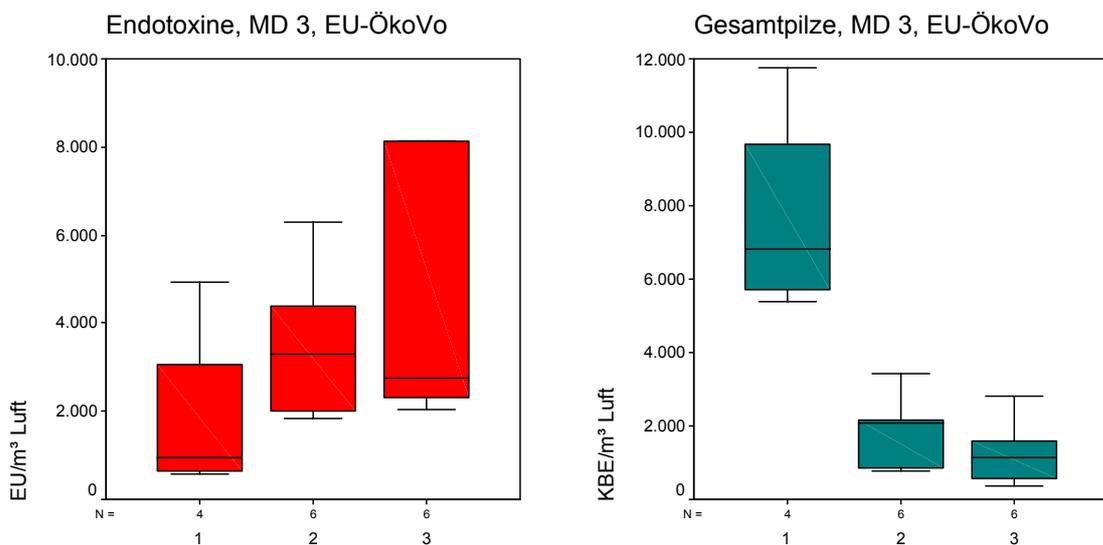


Abbildung 3-11: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im EU-ÖkoVO-Stall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3

3.1.1.3 Analyse möglicher Einflussfaktoren

Neben dem Vergleich der Stallsysteme an sich war es von Interesse, mögliche Einflussfaktoren auf die Freisetzung von biologischen Arbeitsstoffen in den einzelnen Ställen zu differenzieren. Hierzu erfolgte die bi- und multivariate Analyse der Variablen Stallinnentemperatur, Außentemperatur sowie – wo vorhanden – Angaben zur Besatzdichte (ermittelt über die Großvieheinheit) und Lüftungsrate. Die Analyse erfolgte ausschließlich mit Blick auf die stationär erfassten Endotoxin- und Gesamtpilzkonzentrationen, da diese aufgrund der langen Messdauer am ehesten die Grundbe-

lastung im Stall widerspiegeln. Die Konzentrationen wurden als logarithmisierte Messwerte analysiert.

3.1.1.3.1 Bivariate Modelle

Konventionelle Ställe

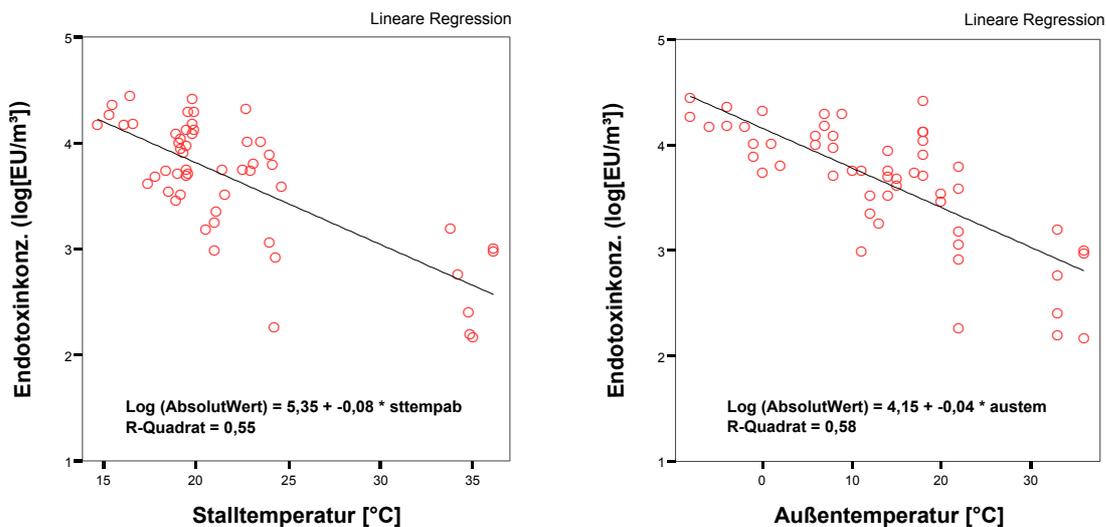
In den konventionellen Ställen wurden folgende mögliche Einflussfaktoren untersucht:

- Stallinnentemperatur
- Außentemperatur
- Lüftungsrate
- Großvieheinheiten (GVE)¹⁰

Bei den Endotoxinen ergaben sich signifikante Korrelationen aller untersuchten Parameter (Tabelle 3-2). Hierbei fanden sich negative Zusammenhänge für die Stall- und Außentemperatur sowie für die Stallluft rate. Die Besatzdichte korrelierte positiv und deutlich schwächer (Abbildung 3-12).

		Stalltemperatur	Stallluft rate	GVE/Bucht	Außentemperatur
Log (Endotoxin-konzentration)	Korrelation nach Pearson	-0,744	-0,390	0,280	-0,760
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,004	0,040	0,000
	N	54	54	54	54

Tabelle 3-2: Korrelation nach Pearson, Endotoxine im konventionellen Stall



¹⁰ 1 GVE entspricht 500kg Lebendmasse

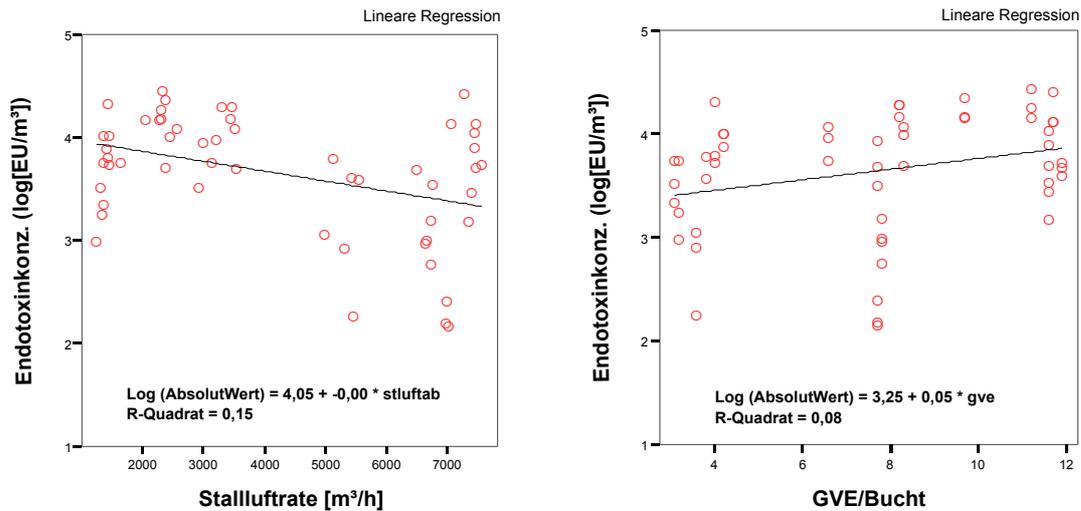


Abbildung 3-12: Korrelation der Endotoxinkonzentration (log) in den konventionellen Ställen mit Stalltemperatur, Außentemperatur, Stallluft rate und Besatzdichte (GVE/Bucht)

Für die Schimmelpilze ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge bei Analyse der genannten Parameter (Tabelle 3-3)

		Stalltemperatur	Stallluft rate	GVE/Bucht	Außentemperatur
Log (Schimmelpilzkonzentration)	Korrelation nach Pearson	-0,171	0,026	0,225	-0,072
	Signifikanz (2-seitig)	0,220	0,853	0,105	0,610
	N	53	53	53	53

Tabelle 3-3: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, konventionelle Ställe

Tiefstreustall

Im Tiefstreustall wurden die Einflussfaktoren

- Stallinnentemperatur
- Außentemperatur

untersucht.

Hier fanden sich weder für die Endotoxin-, noch für Schimmelpilzkonzentrationen signifikante Zusammenhänge (Tabelle 3-4, Tabelle 3-5).

		Stalltemperatur	Außentemperatur
Log (Endotoxinkonzentration)	Korrelation nach Pearson	0,250	0,218
	Signifikanz (2-seitig)	0,229	0,295
	N	25	25

Tabelle 3-4: Korrelation nach Pearson, Endotoxine, Tiefstreustall

		Stalltemperatur	Außentemperatur
Log (Schimmelpilzkonzentration)	Korrelation nach Pearson	0,086	0,002
	Signifikanz (2-seitig)	0,688	0,992
	N	24	24

Tabelle 3-5: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, Tiefstreustall

EU-ÖkoVO-Stall

Im EU-ÖkoVO-Stall wurden ebenfalls die Einflussfaktoren

- Stallinnentemperatur
- Außentemperatur

untersucht.

Auch hier ließen sich keine signifikanten Zusammenhänge beschreiben (Tabelle 3-6, Tabelle 3-7)

		Stalltemperatur	Außentemperatur
Log (Endotoxinkonzentration)	Korrelation nach Pearson	0,209	0,201
	Signifikanz (2-seitig)	0,294	0,315
	N	27	27

Tabelle 3-6: Korrelation nach Pearson, Endotoxine, EU-ÖkoVO-Stall

		Stalltemperatur	Außentemperatur
Log (Schimmelpilzkonzentration)	Korrelation nach Pearson	-0,271	-0,285
	Signifikanz (2-seitig)	0,172	0,149
	N	27	27

Tabelle 3-7: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, EU-ÖkoVO-Stall

3.1.1.3.2 Multivariate Modelle

Die multivariate Modellbildung hatte das Ziel, den Einfluss aller in den bivariaten Analysen betrachteten Faktoren im Zusammenspiel zu betrachten. Alle Prädiktoren, deren möglicher Einfluss im bivariaten Modell mit einem Wert von $p < 0,2$ errechnet wurde, wurden in das multivariate Modell eingeschlossen.

Nur für die Endotoxinkonzentration in den konventionellen Ställen war bei der Betrachtung der zusammengefassten Mastdurchgänge die Voraussetzung von mindestens zwei Prädiktoren mit $p < 0,2$ erfüllt. Als Ergebnis der Analyse resultierte ein lineares Modell, in das die beiden Faktoren Außentemperatur und Besatzdichte als unabhängige Prädiktoren eingeschlossen wurden (Abbildung 3-13). Aus dem Modell ausgeschlossen wurden die Faktoren Stalltemperatur und Lüftungsrate. Die Kenngrößen des Modells lauten $R^2 = 0,668$, $p < 0,001$ ($F = 51,352$, $df = 2$). Die Koeffizienten finden sich im Anhang, Tabellen A 7.

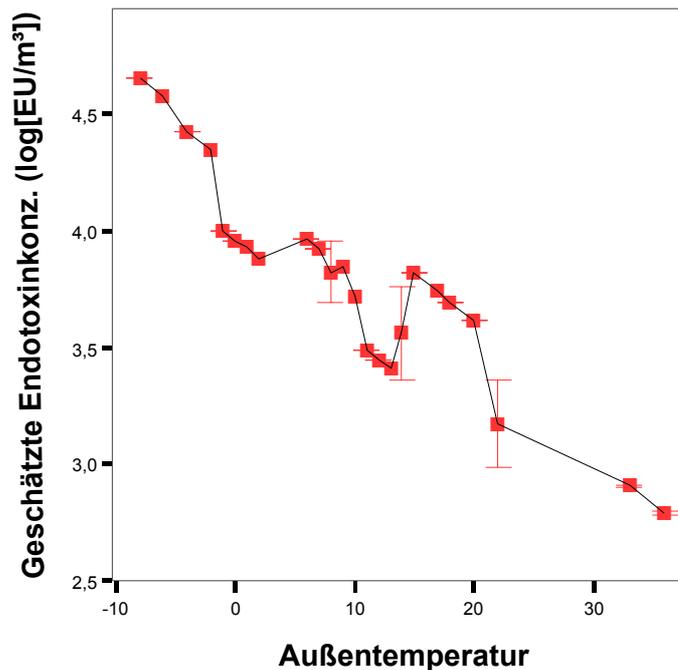


Abbildung 3-13: Geschätzte Endotoxinkonzentration in Abhängigkeit von der Außentemperatur (multivariates Modell, eingeschlossen: Außentemperatur und GVE/Bucht)

3.1.1.3.3 Einflussfaktoren in einzelnen Mastdurchgängen

Bei Betrachtung der **einzelnen Mastdurchgänge** veränderten sich die Ergebnisse sowohl der bi- als auch multivariaten Analysen dahingehend, dass für den ersten Mastdurchgang (kalte Jahreszeit) die Besatzdichte als bester Prädiktor für die Endotoxinkonzentration resultierte ($R^2=0,685$, $p<0,001$, $F=34,810$, $df=1$). Im zweiten Mastdurchgang wurde allein die Außentemperatur ($R^2=0,463$, $p<0,01$, $F=13,814$, $df=1$) eingeschlossen, und im dritten Durchgang wurden die Stalltemperatur und die Besatzdichte als Prädiktoren in das multivariate Modell eingeschlossen ($R^2=0,692$, $p<0,001$, $F=16,884$, $df=2$).

Bezüglich der Schimmelpilzkonzentration konnte das multivariate Modell lediglich bei Betrachtung des ersten Mastdurchgangs zur Anwendung kommen, da nur hier mindestens zwei Faktoren in der bivariaten Analyse differenziert werden konnten. Es resultierte entsprechend dem Modell zur Beschreibung der Endotoxinkonzentration die Besatzdichte als einziger Prädiktor ($R^2=0,471$, $p<0,01$, $F=13,348$, $df=1$).

Beim **Tiefstreu-Stall** konnte eine Modellbildung für die Endotoxine in Mastdurchgang 3 erfolgen (eingeschlossen: Außentemperatur: $R^2=0,430$, $p<0,05$, $F=7,534$, $df=1$), für die Schimmelpilze war dies in Mastdurchgang 2 der Fall (eingeschlossen: Außentemperatur: $R^2=0,382$, $p<0,05$, $F=6,808$, $df=1$).

Beim **EU-ÖkoVO-Stall** war die Modellbildung in Mastdurchgang 2 möglich. Hier resultierte sowohl für die Endotoxine ($R^2=0,369$, $p<0,05$, $F=5,252$, $df=1$) als auch für die Schimmelpilze ($R^2=0,570$, $p<0,01$, $F=11,907$, $df=1$) die Stalltemperatur.

Tabelle 3-8 gibt eine Übersicht über die im multivariaten Modell eingeschlossenen Faktoren bezogen auf das Stallsystem, die untersuchten Mikroorganismen und den Mastdurchgang.

Stallsystem	Art	Mast-durchgang	Eingeschlossene Faktoren	Kenngrößen des Modells			
				R ²	p	F	df
Konventionell	Endotoxine	1-3	Außentemperatur Besatzdichte	0,668	<0,001	51,352	2
		1 (Winter)	Besatzdichte	0,685	<0,001	34,810	1
		2 (Frühjahr)	Außentemperatur	0,463	<0,01	13,814	1
		3 (Sommer)	Stalltemperatur Besatzdichte	0,692	<0,001	16,884	2
	Schimmel-pilze	1-3	-				
		1 (Winter)	Besatzdichte	0,471	<0,01	13,348	1
		2 (Frühjahr)	-				
		3 (Sommer)	-				
	Tiefstreu	Endotoxine	2-3	-			
			2 (Frühjahr)	-			
3 (Sommer)			Außentemperatur	0,430	<0,05	7,534	1
Schimmel-pilze		2-3	-				
		2 (Frühjahr)	Außentemperatur	0,382	<0,05	6,808	1
		3 (Sommer)	-				
EU-ÖkoVO	Endotoxine	2-3	-				
		2 (Frühjahr)	Stalltemperatur	0,369	<0,05	5,252	1
		3 (Sommer)	-				
	Schimmel-pilze	2-3	-				
		2 (Frühjahr)	Stalltemperatur	0,570	<0,01	11,907	1
		3 (Sommer)	-				

Tabelle 3-8: Multivariates Modell, eingeschlossene Faktoren bezogen auf das Stallsystem, die untersuchten Mikroorganismen und den Mastdurchgang

Die Koeffizienten der jeweiligen Modelle sind im Anhang (Tabellen A 7) zusammengestellt.

3.1.1.4 Vergleich der Stallsysteme – personengetragene Messungen

Der Vergleich der Stallsysteme im Hinblick auf die Ergebnisse der personengetragenen Messungen war geprägt von der in den Stallungen in unterschiedlichem Umfang anfallenden Tätigkeiten. Während in den konventionellen Ställen alleine das Ausstallen und der Kontrollgang als typische Tätigkeiten messtechnisch erfasst wurden, fielen in den beiden ökologischen Ställen zusätzliche Arbeitsschritte wie Einstreuen, Ausmisten und z.T. Füttern von Hand (Tabelle 3-9) an.

Im Vergleich der verschiedenen personengetragenen ermittelten Konzentrationen ergaben sich erhebliche Unterschiede zwischen den Stallsystemen (Abbildung 3-14 bis Abbildung 3-17).

Stallsystem			Art		
			Endotoxine	Gesamtpilze	Bakterien
Konventionell	Tätigkeit	Ausstallen	1	1	2
		Kontrollgang	39	39	65
	Gesamt		40	40	67
Tiefstreu	Tätigkeit	Ausstallen	1	1	1
		Einstreuen	4	4	4
		Misten	2	2	4
		Füttern	5	4	5
		Schw.Duschen*	1	1	1
	Gesamt		13	12	15
EU-ÖkoVO	Tätigkeit	Ausstallen	1	1	1
		Einstreuen	6	6	8
		Fegen	1	1	1
		Misten	1	1	1
	Gesamt		9	9	11

Tabelle 3-9: Beprobte Tätigkeiten in den Stallsystemen mit Anzahl der Messungen

*Abduschen der Schweine bei heißer Witterung

Bei den Endotoxinen zeigten sich hohe Werte mit großer Streuung im Tiefstreustall. Die konventionellen Ställe und der EU-ÖkoVO-Stall dagegen lagen bei geringerer Streuung deutlich niedriger und auf ähnlicher Höhe. Diese im Vergleich niedrigen Werte für den EU-ÖkoVO-Stall spiegelten sich bei den Schimmelpilzen und Bakterien samt Differenzierungen nicht wieder: Bei durchweg niedrigen Werten in den konventionellen Ställen ergaben sich hohe bis extrem hohe Werte in den ökologischen Ställen. Dabei fielen die im Vergleich der ökologischen Ställe nochmals höheren Werte im EU-ÖkoVO-Stall für die Gesamtschimmelpilze und *Aspergillus fumigatus* auf. Bei allen untersuchten Keimen ergab der Rangtest nach Kruskal-Wallis einen höchstsignifikanten Unterschied zwischen den Stallsystemen.

Die Darstellung der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 3. Mediane und Mittelwerte der Messungen finden sich in Tabelle A 8, die Ränge und Kennwerte der nichparametrischen Tests in Tabellen A 9.

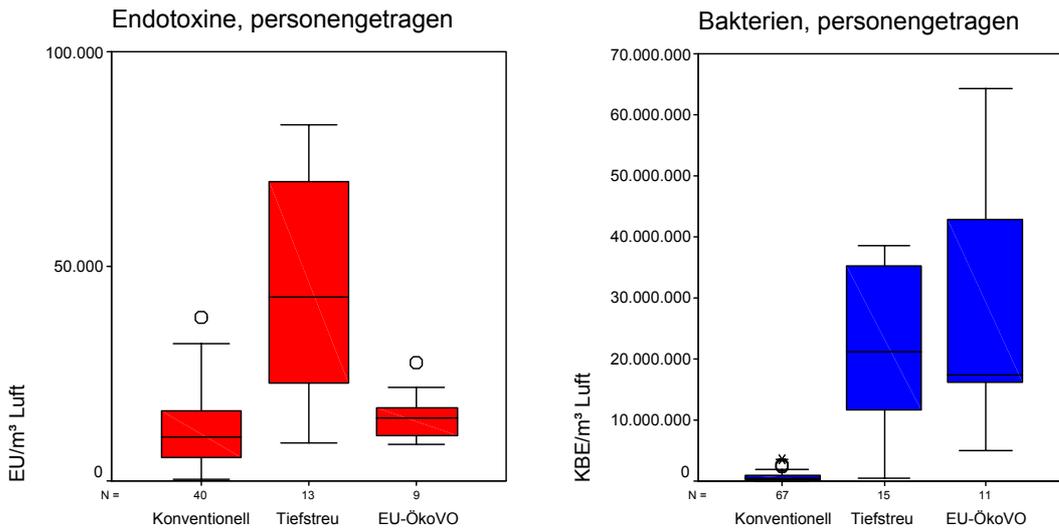


Abbildung 3-14: Vergleich der Stallsysteme; Endotoxine und Gesamtbakterien, personengetragen

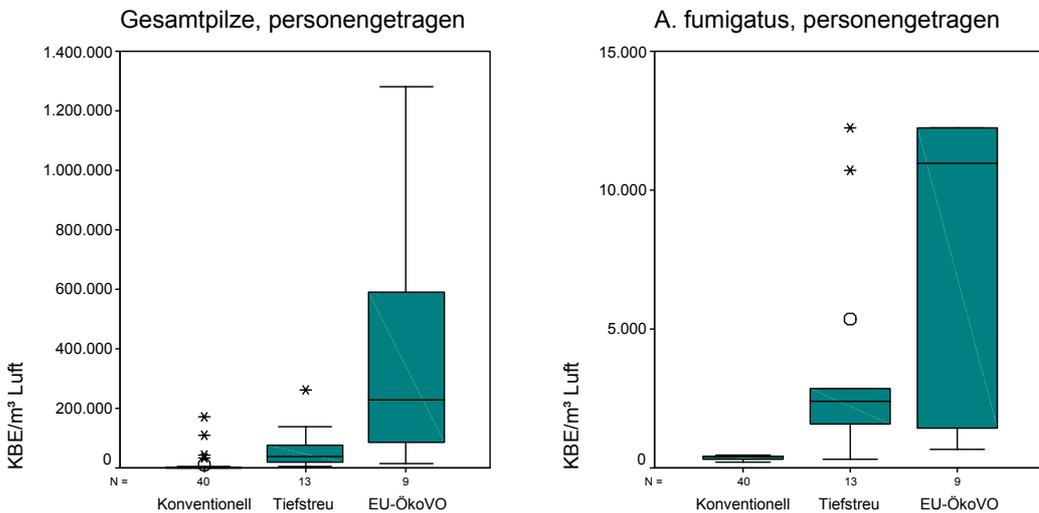


Abbildung 3-15: Vergleich der Stallsysteme; Gesamtschimmelpilze und A. fumigatus, personengetragen

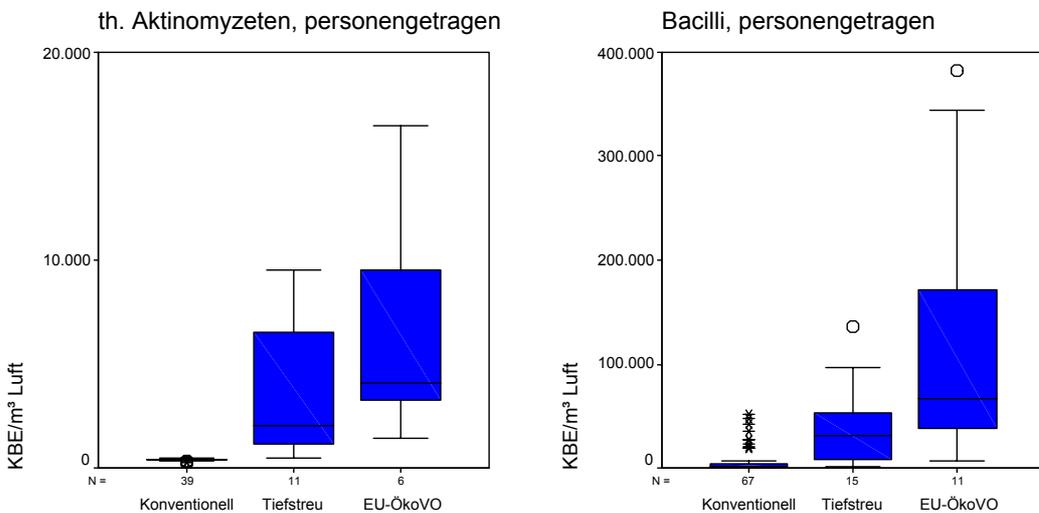


Abbildung 3-16: Vergleich der Stallsysteme; thermophile Aktinomyzeten und Bacilli, personengetragen

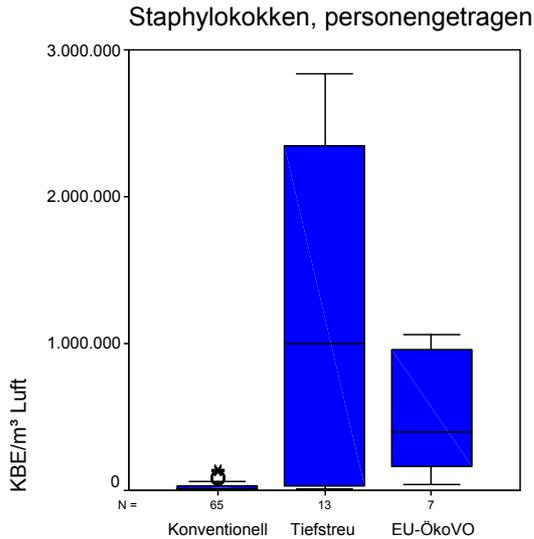


Abbildung 3-17: Vergleich der Stallsysteme; Staphylokokken, personengetragen

Der Einfluss der im Stall ausgeübten Tätigkeiten auf die Exposition der Beschäftigten wurde im Vergleich der personengetragen erfassten Bioaerosolkonzentrationen mit den stationär gewonnenen Messwerten in den einzelnen Ställen besonders deutlich.

Vergleich luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe stationär – personengetragen in den Stallsystemen

Am Beispiel der Endotoxinkonzentration zeigte sich, dass das bereits sehr hohe Expositionsniveau im Tiefstreustall bei den personengetragenen Messungen noch um ein Vielfaches überschritten wurde. Dagegen erhöhte sich die Exposition im konventionellen Stall nur geringfügig. Eine deutliche Zunahme der im Vergleich der Ställe als niedrig einzustufenden Endotoxinkonzentration fand sich im EU-Öko-VO-Stall (Abbildung 3-18). Im Hinblick auf die Schimmelpilzkonzentrationen bildeten sich die geschilderten Unterschiede noch weitaus deutlicher ab (Abbildung 3-19 bis Abbildung 3-21). Auch die Bakterienkonzentration war im EU-ÖkoVO-Stall personengetragen deutlich höher als bei der stationären Erfassung (Abbildung 3-22). Die Darstellung der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 4.

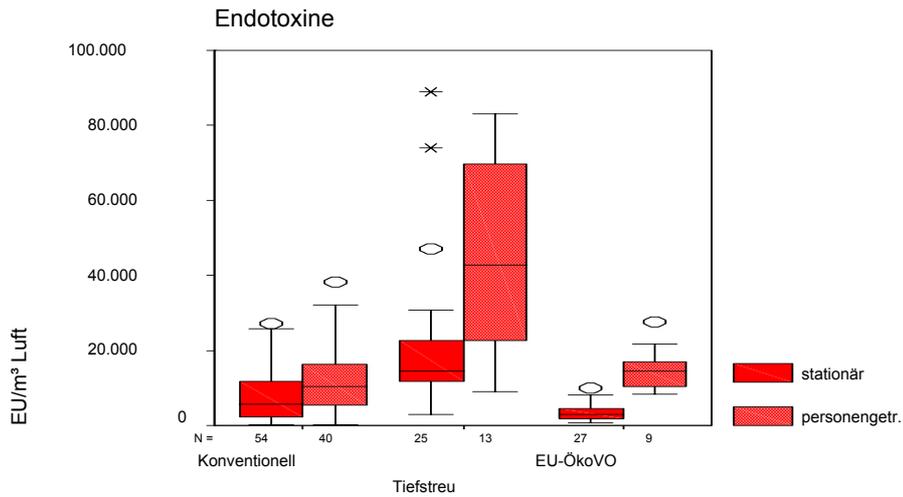


Abbildung 3-18: Endotoxinkonzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen

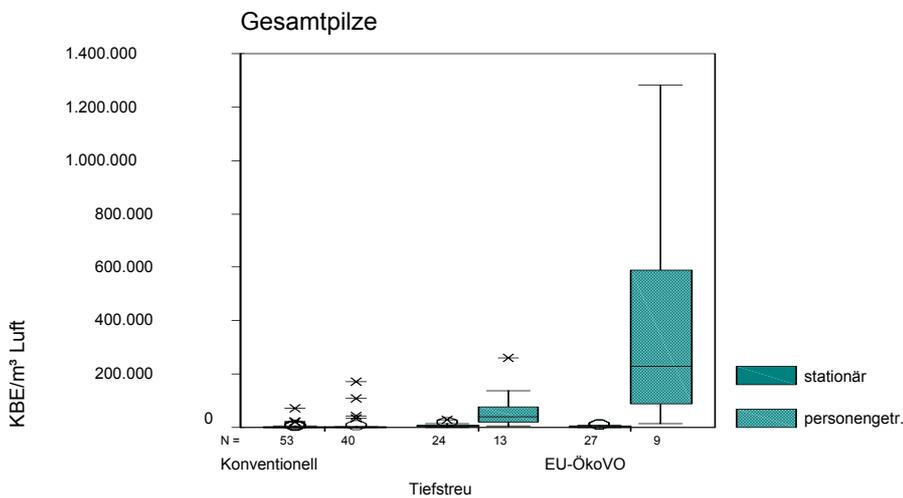


Abbildung 3-19: Gesamtschimmelpilz-Konzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen

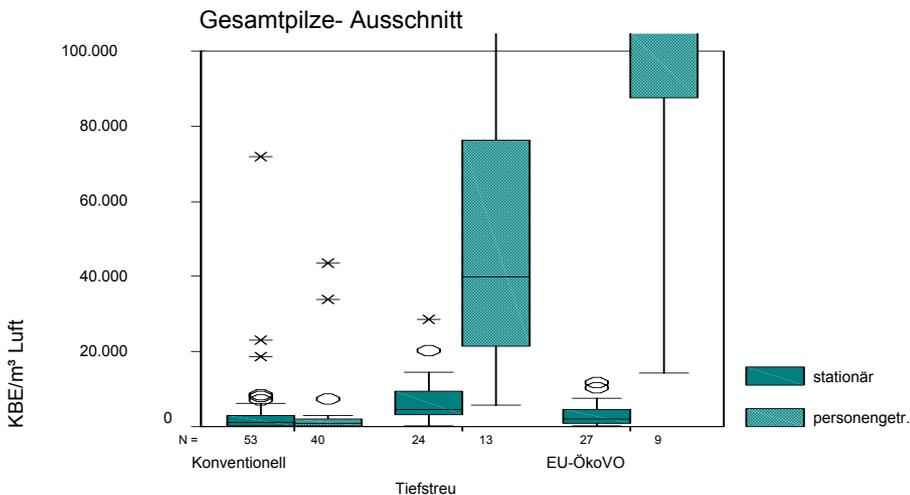


Abbildung 3-20: Gesamtschimmelpilz-Konzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen (Ausschnitt)

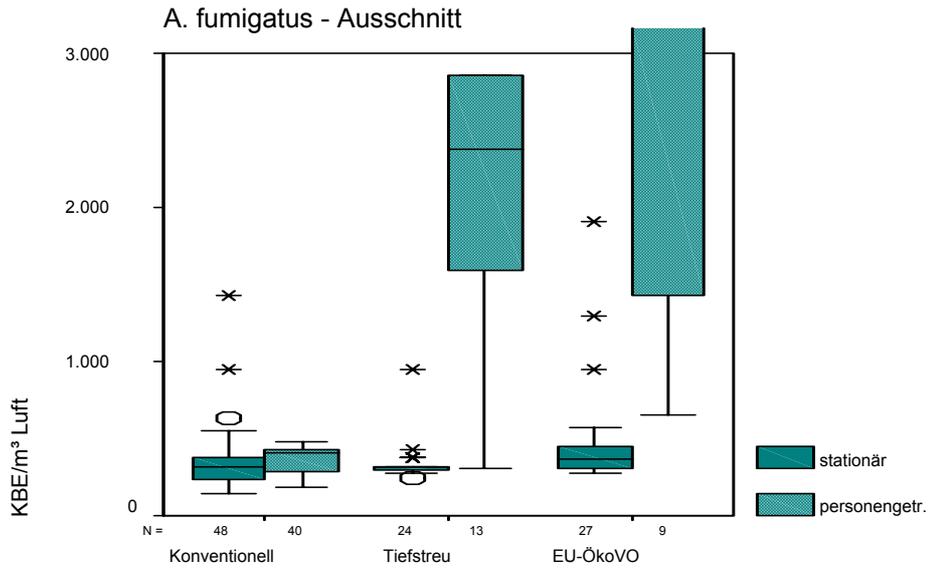


Abbildung 3-21: A. fumigatus-Konzentrationen: Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallssystemen (Ausschnitt)

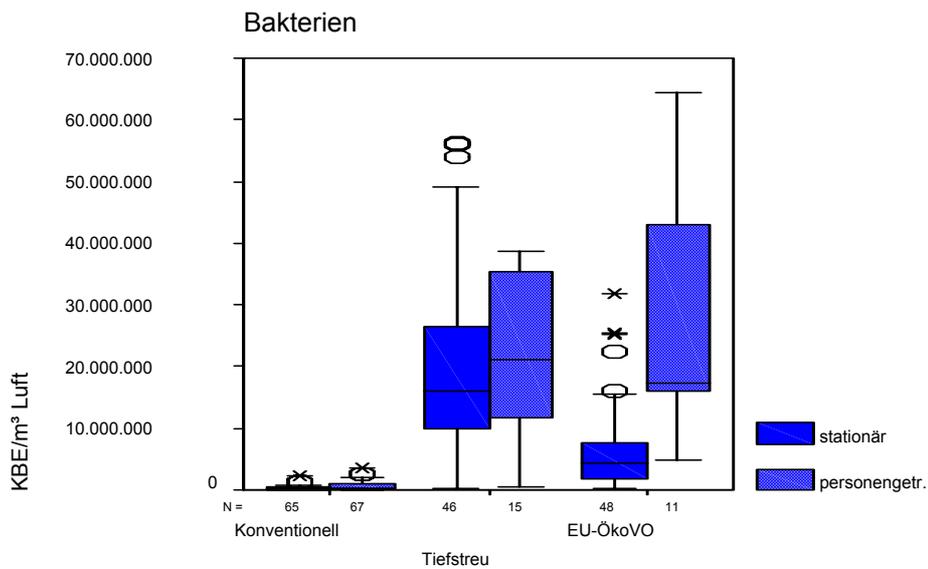


Abbildung 3-22: Bakterienkonzentrationen: Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallssystemen

3.1.1.5 Referenzmessungen

Insgesamt wurden 120 Außenluftreferenzmessungen durchgeführt, aus denen 268 Referenzwerte resultierten. Ihre Zuordnung auf die Stallsysteme und auf die analysierten Mikroorganismen finden sich in Tabelle 3-10. Ebenso sind dort die Mediane und Mittelwerte der Messungen aufgeführt.

Stallsystem	Art	Referenzmessungen		
		N	Median	Mittelwert
Konventionelle Ställe	Endotoxine	13	4	8
	Gesamtpilze	13	244	271
	Bakterien	14	1.105	3.539
	A. fumigatus	11	353	377
	thermophile Aktinomyzeten	11	353	401
	Bacilli	12	910	891
	Staphylokokken	12	1.905	1.871
Konventionelle Ställe Referenz Hof	Endotoxine	13	8	44
	Gesamtpilze	15	423	3.351
	Bakterien	13	1.905	37.077
	A. fumigatus	15	476	420
	thermophile Aktinomyzeten	15	476	618
	Bacilli	13	953	1.313
	Staphylokokken	13	1.905	2.477
Tiefstreu-Stall	Endotoxine	6	3	3
	Gesamtpilze	6	389	743
	Bakterien	6	635	1.839
	A. fumigatus	6	312	318
	thermophile Aktinomyzeten	5	317	3.992
	Bacilli	7	866	893
	Staphylokokken	5	1.731	1.267
EU-ÖkoVO-Stall	Endotoxine	6	1	1
	Gesamtpilze	6	750	1.847
	Bakterien	6	1.746	2.782
	A. fumigatus	6	317	314
	thermophile Aktinomyzeten	5	317	2.176
	Bacilli	6	953	840
	Staphylokokken	5	1.905	1.634

Tabelle 3-10: Anzahl, Mediane und Mittelwerte der Außenluft-Referenzproben nach Stallsystem und Art

3.1.2 Luftgetragene biologische Arbeitsstoffe – Impaktor

Insgesamt wurden 452 Differenzierungen aus 360 Impaktorproben durchgeführt. Die Verteilung der Differenzierungen auf die Stallsysteme wird in Tabelle 3-11 wiedergegeben.

Art			Fütterungsart			Gesamt
			Breifütterung	Flüssigfütterung	Trockenfütterung	
Coliforme	Stallsystem	Konventionell	22	24		46
		Tiefstreu			24	24
		EU-ÖkoVO	22			22
	Gesamt		44	24	24	92
E. Coli	Stallsystem	Konventionell	22	24		46
		Tiefstreu			24	24
		EU-ÖkoVO	22			22
	Gesamt		44	24	24	92
Enterobakterien	Stallsystem	Konventionell	22	24		46
		Tiefstreu			24	24
		EU-ÖkoVO	22			22
	Gesamt		44	24	24	92
Pseudomonas	Stallsystem	Konventionell	22	22		44
		Tiefstreu			24	24
		EU-ÖkoVO	19			19
	Gesamt		41	22	24	87
Staphylokokken	Stallsystem	Konventionell	22	23		45
		Tiefstreu			24	24
		EU-ÖkoVO	20			20
	Gesamt		42	23	24	89

Tabelle 3-11: Zahl der differenzierten Impaktorproben nach Stall- und Fütterungssystemen

Beim **Vergleich der konventionellen Stallsysteme** fanden sich beim Mann-Whitney-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Stall mit Breifütterung und dem mit Flüssigfütterung. Bei der deskriptiven Betrachtung der Boxplots zeigten sich nur für die coliformen Keime tendenziell höhere Werte für den Breifütterungsstall (Breifütterung: Med. 680 KBE/m³; Flüssigfütterung: Med. 280 KBE/m³; Abbildung 3-23).

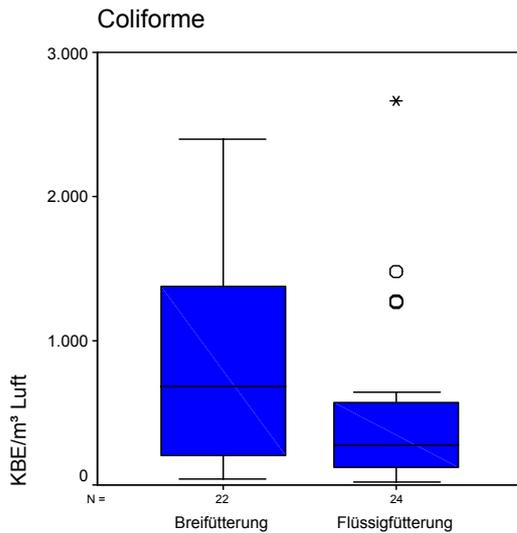


Abbildung 3-23: Vergleich konventioneller Ställe, Coliforme, Impaktor

Die sonstigen erfassten Mikroorganismen waren im Vergleich der konventionellen Ställe nicht bewertbar, da fast alle Messwerte unterhalb, bei den Staphylokokken oberhalb der analytisch bedingten Nachweisgrenze lagen. In den folgenden Betrachtungen werden die konventionellen Ställe also weiterhin zugunsten einer besseren Darstellung als ein Stallsystem betrachtet.

Bei der Konzentration luftgetragener **coliformer Keime** fand sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den Stallsystemen (Abbildung 3-24). Die Werte in den konventionellen Ställen streuten entsprechend der Werte aus dem Breifütterungsstall stärker als in den ökologischen Ställen. Der Median der Messwerte im EU-ÖkoVO-Stall lag unterhalb der 25%-Percentilwerte der anderen Ställe, es gab in diesem Stall aber einen hohen Ausreißer (über 50.000 KBE/m³ Luft, siehe Anhang, Abbildungen A 5), was den Mittelwert auf mehr als das Zehnfache im Vergleich zu den konventionellen Ställen und zum Tierstreustall erhöhte (Anhang, Tabelle A 10). Der Kruskal-Wallis-Test ergab keinen signifikanten Unterschied (Tabellen A 11).

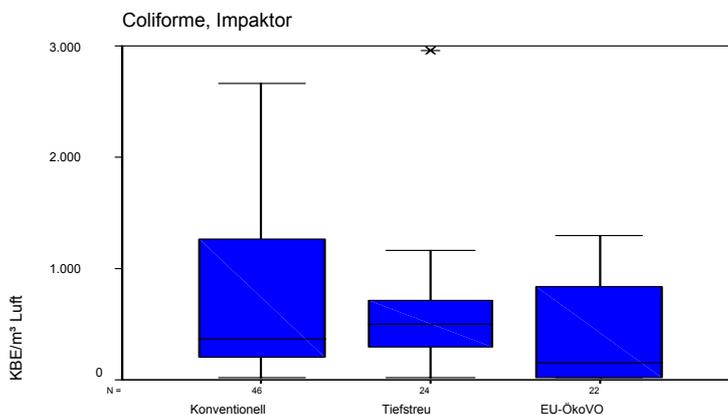


Abbildung 3-24: Impaktorproben, Coliforme Keime

Fast alle ermittelten Konzentrationen von *E. coli* lagen für die konventionellen Ställe und den EU-ÖkoVO-Stall unter der unteren Nachweisgrenze (0 – 20 KBE/m³ Luft). Im Tiefstreustall lagen die Werte mit einem Median von 230 KBE/m³ Luft wesentlich höher (Abbildung 3-25). Hier ergab auch der nichtparametrische Test einen höchst-signifikanten Unterschied.

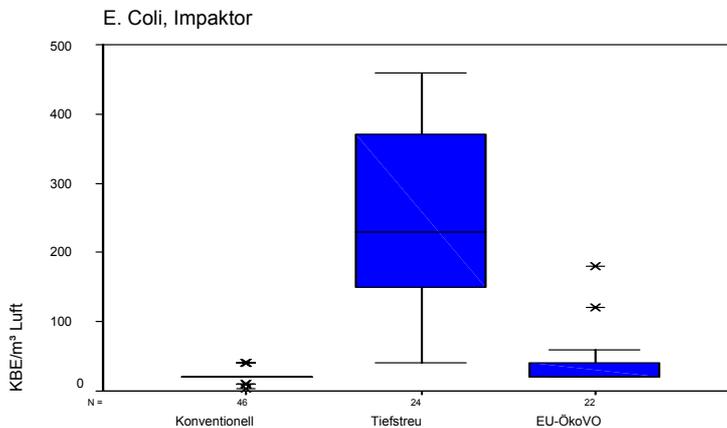


Abbildung 3-25: Impaktorproben, *E. coli*

Ebenso fanden sich bei den Impaktorproben der Enterobakterien im Tiefstreustall die höchsten Werte (Median bei 100 KBE/m³ Luft, $p < 0,001$). Abgesehen von einigen Ausreißern lagen die meisten Werte bei den konventionellen Ställen und dem EU-ÖkoVO-Stall unter der unteren Nachweisgrenze (Abbildung 3-26).

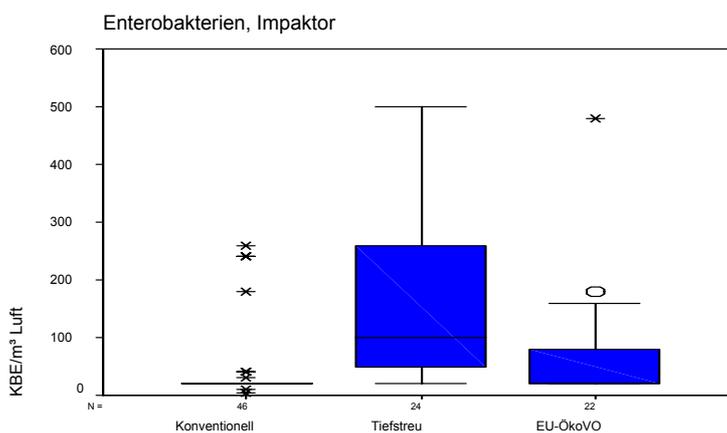


Abbildung 3-26: Impaktorproben, Enterobakterien

Die Impaktorproben zum Nachweis von Pseudomonaden ergaben bis auf einen Ausreißer beim EU-ÖkoVO-Stall in allen Stallsystemen keine Werte über der unteren Nachweisgrenze, und es ergab sich auch kein signifikanter Unterschied im Kruskal-Wallis-Test (Anhang, Tabellen A 11).

Bei der Erfassung luftgetragener Staphylokokken mit dem Impaktor lag die obere Nachweisgrenze bei 50.000 KBE/m³ Stallluft. Abgesehen von wenigen Ausreißern lagen alle Messwerte in den ökologischen Ställen in diesem Bereich. Auch die Mehrheit der Messwerte in den konventionellen Ställen war entsprechend hoch, die Werte streuten aber mehr nach unten ($p < 0,05$, Abbildung 3-27).

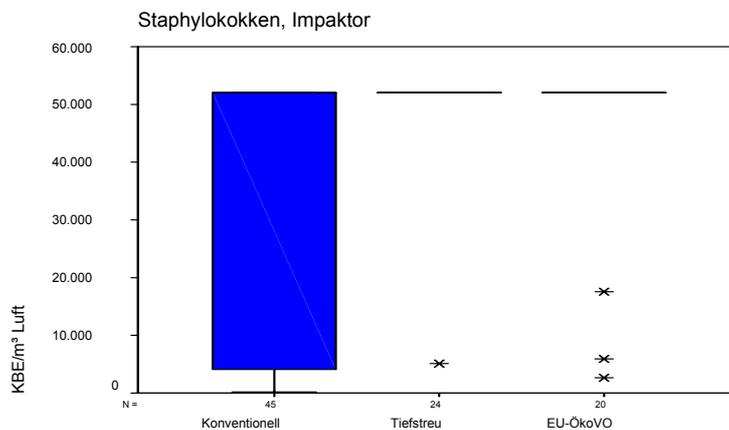


Abbildung 3-27: Impaktorproben, Staphylokokken

Zusammenfassend lässt sich für die Impaktorproben festhalten, dass im Tiefstreustall vergleichsweise hohe Werte an luftgetragenen E. coli und Enterobakterien gefunden wurden. In allen Stallsystemen waren die Luftkonzentrationen coliformer Keime und luftgetragener Staphylokokken hoch bis sehr hoch. Die Pseudomonaskonzentration war mit Ausnahme eines Messwertes im EU-ÖkoVO-Stall bei allen Stallsystemen unter der unteren Nachweisgrenze.

Die Darstellung der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 5. Ebenso befinden sich im Anhang die Mediane und Mittelwerte (Tabelle A 10) und die Kennwerte der Rangtests der Impaktormessungen (Tabellen A 11).

3.1.3 Staubmessungen

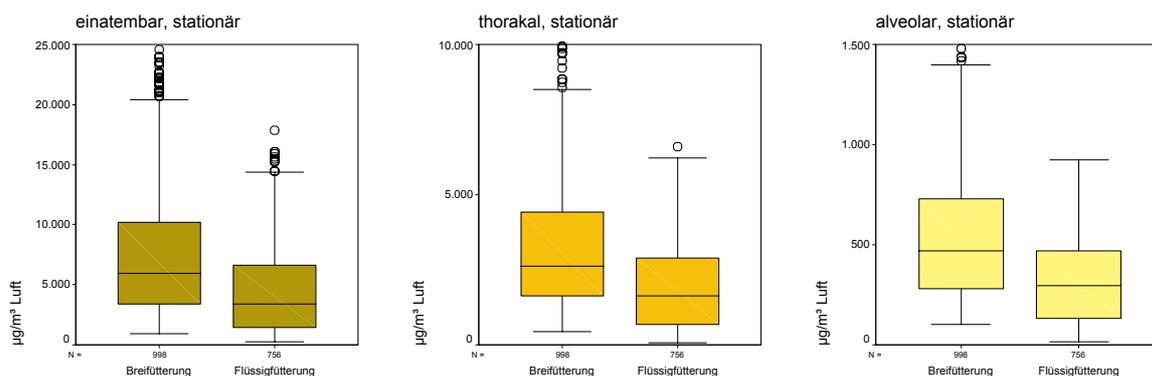
Insgesamt wurden 4.693 Messpunkte (Minutenmessungen) genommen. Die Verteilung auf personengetragene und stationäre Messungen und auf die Stallsysteme ist in Tabelle 3-12 aufgeführt.

Messart			Fütterungsart			Gesamt
			Breif- ütterung	Flüssig- fütterung	Trocken- fütterung	
stationär	Stallsystem	Konventionell	998	756		1754
		Tiefstreu			1068	1068
		EU-ÖkoVO	1016			1016
	Gesamt	2014	756	1068	3838	
personengetragen	Stallsystem	Konventionell	338	421		759
		Tiefstreu			27	27
		EU-ÖkoVO	69			69
	Gesamt	407	421	27	855	

Tabelle 3-12: Anzahl der Messpunkte bei den Staubmessungen

Parallel zu den Außenluftreferenzmessungen mit dem PGP-System wurde auch das Partikelmessgerät betrieben. Hierbei wurden insgesamt 430 Messpunkte bei den konventionellen Ställen, 222 beim Tiefstreustall und 161 beim EU-ÖkoVO-Stall erfasst. Die Referenzwerte zu den Staubproben (Anhang, Tabellen A 15) waren im Ganzen unauffällig und werden im Folgenden nicht weiter behandelt.

Im **Vergleich der konventionellen Stallsysteme** ergaben sich sowohl deskriptiv als auch im nichtparametrischen Test eindeutige Unterschiede ($p < 0,001$ für alle Vergleiche) zwischen den konventionellen Ställen. Dies zeigte sich bei den stationären wie auch bei den personengetragenen Messungen: die Partikelkonzentration in allen Fraktionen war im Stall mit Breifütterung höher als in dem mit Flüssigfütterung (Abbildung 3-28).



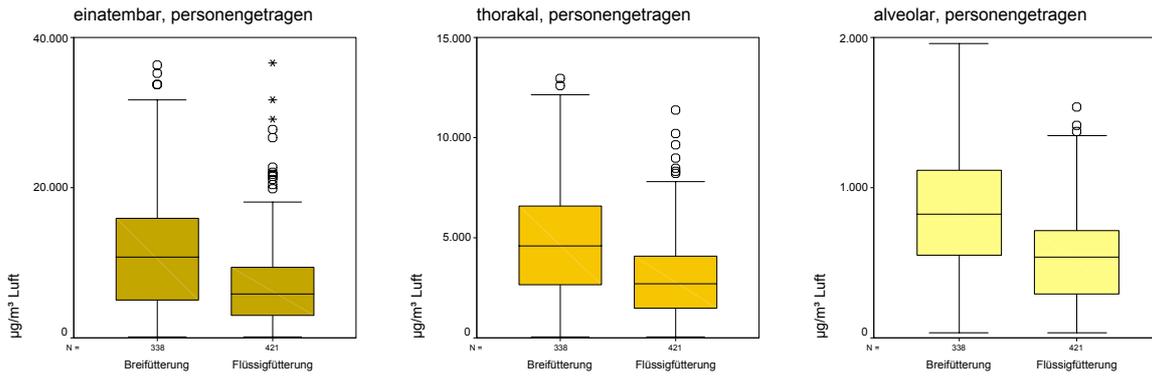


Abbildung 3-28: Vergleich der Staubmessungen zwischen den konventionellen Ställen

Die unbeschnittenen Boxplot-Grafiken, die Mediane und Mittelwerte und die Kennwerte der nichtparametrischen Tests befinden sich im Anhang, Abbildungen A 6 und Tabellen A 12 und Tabellen A 13.

Die stationär gemessenen Massenkonzentrationen der einzelnen Staubfraktionen im **Vergleich der Stallssysteme** unterschieden sich in der deskriptiven Betrachtung nur unwesentlich. Die Medianwerte der einatembaren Staubfraktion lagen bei allen Stallsystemen um $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft. Die thorakale Staubfraktion hatte in den konventionellen Ställen und im Tiefstreustall eine Höhe von etwa 2.300 , im EU-ÖkoVO-Stall $1.700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft und die alveolengängige Fraktion lag beim konventionellen und Tiefstreusystem bei 380 und im EU-ÖkoVO-Stall bei $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft. Einzig erkennbare Auffälligkeit war also der etwas geringere Medianwert bei der thorakalen und der alveolengängigen Staubfraktion im EU-ÖkoVO-Stall (Abbildung 3-29). Trotzdem ergab der Kruskal-Wallis-Test für die Stallvergleiche aller Fraktionen höchstsignifikante Unterschiede.

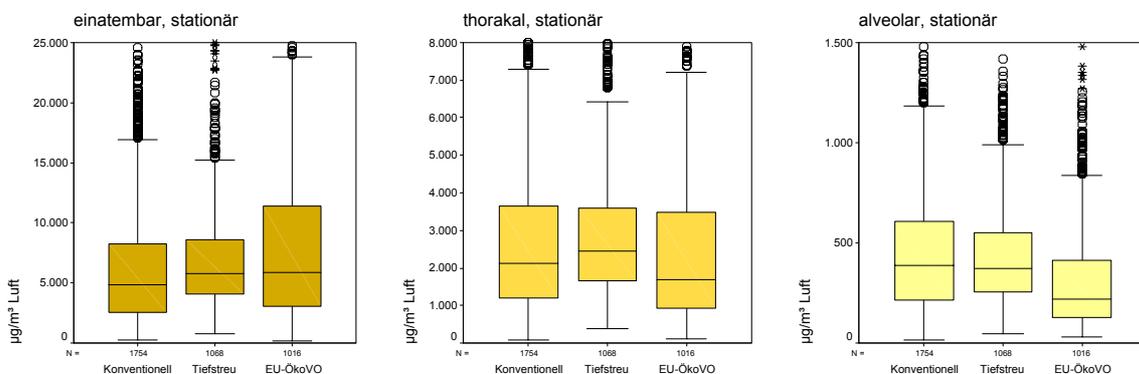


Abbildung 3-29: Stationär gemessene Staubkonzentrationen in den Stallsystemen

Die Darstellung der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 7. Ebenso befinden sich im Anhang die Tabellen A 14 und Tabellen A 16 mit den

Ergebnisse

Medianen und Mittelwerten sowie die Kennwerte der nichtparametrischen Tests.

Die Verläufe der einatembaren und alveolengängigen Staubkonzentrationen über die einzelnen Mastdurchgänge werden aufgeteilt nach Ställen in Abbildung 3-30 bis Abbildung 3-32 wiedergegeben.

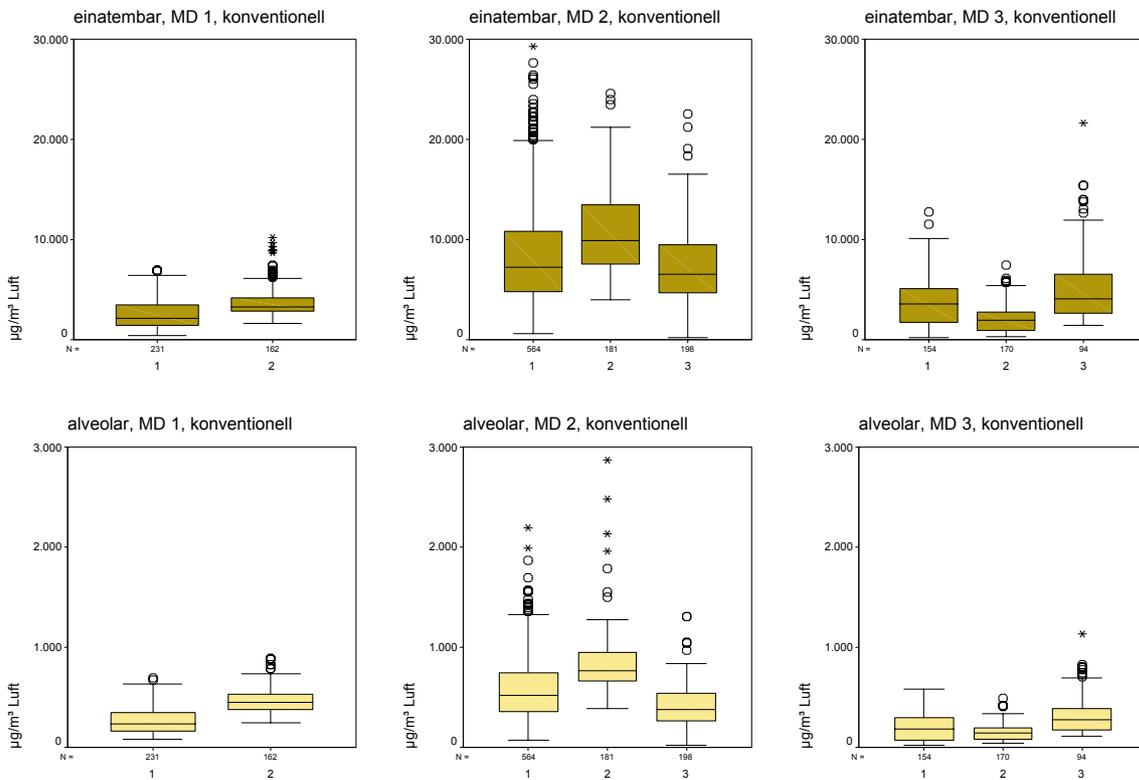
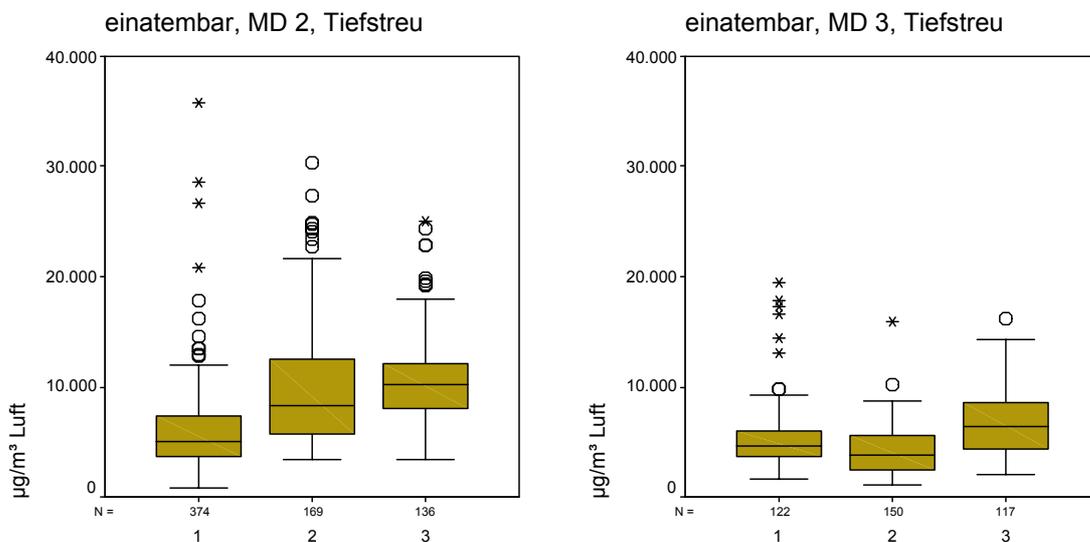


Abbildung 3-30: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge in den konventionellen Ställen (Messung 3 in MD 1 konnte nicht verwertet werden)



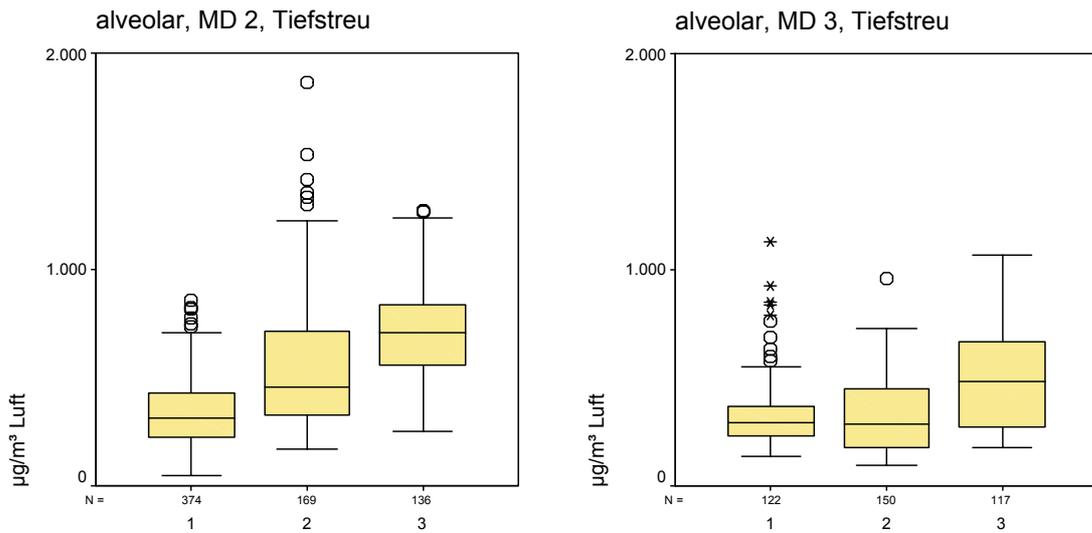


Abbildung 3-31: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge im Tiefstreustall

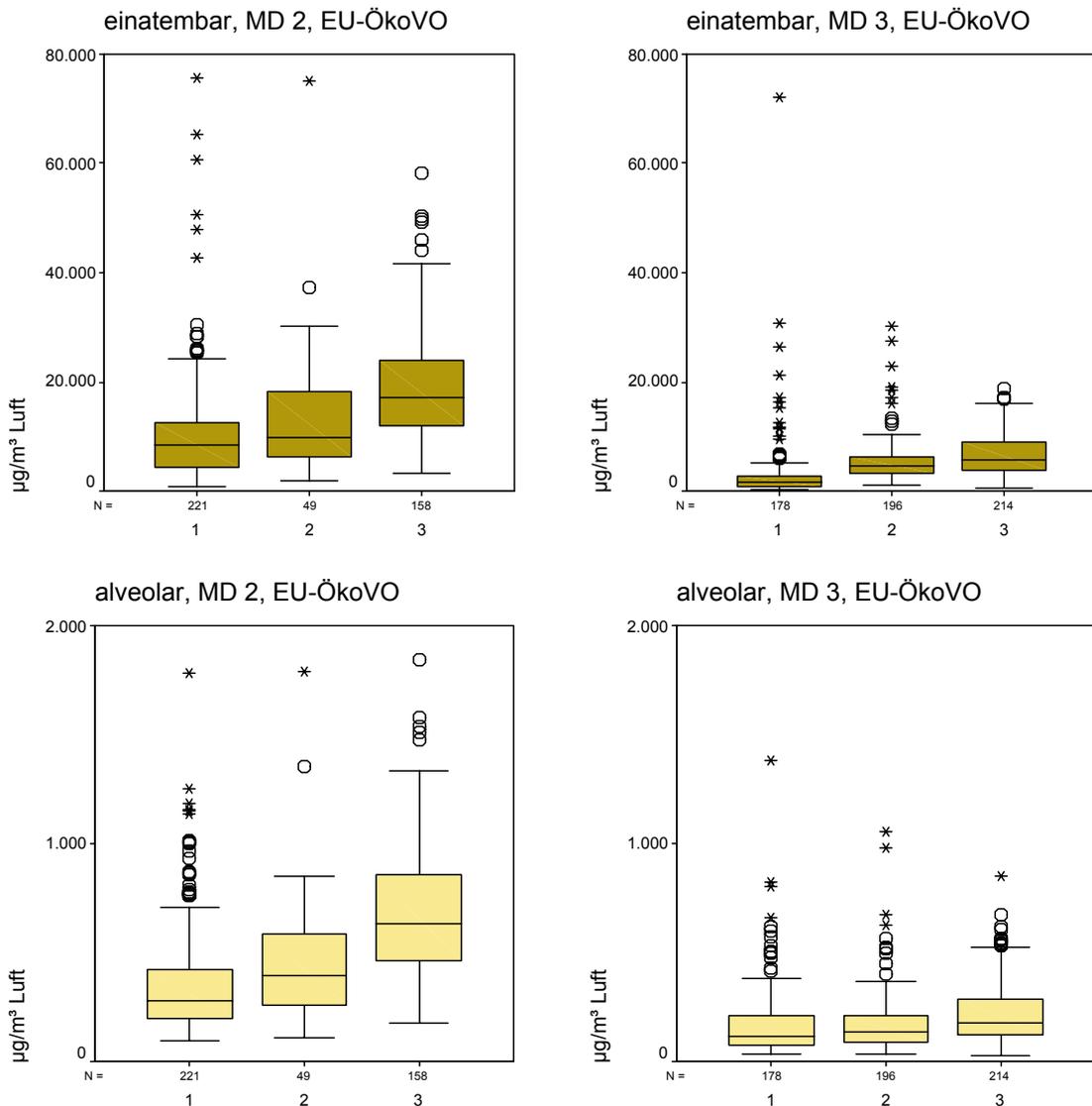


Abbildung 3-32: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge im EU-ÖkoVO-Stall

Wie bereits bei den PGP-Proben angesprochen, resultierten aus den in den ökologischen Ställen durchgeführten Tätigkeiten wie Einstreuen oder manuelles Futternachfüllen in Verbindung mit stärker schwankenden Luftwechselraten die sehr hohen Staubwerte bei den **personengetragenen Messungen** (vgl. Tabelle 3-9: Beprobte Tätigkeiten in den Stallsystemen). Die personengetragenen ermittelten Staubwerte in den konventionellen Ställen waren dagegen aufgrund der kaum vorhandenen staubfreisetzenden Tätigkeiten wiederum nicht höher als die entsprechenden stationären Messungen (Abbildung 3-33).

Das Maß der Staubbefreiung bei den Tätigkeiten in den ökologischen Ställen war sehr ähnlich. Aufgrund der hohen Streuung im EU-ÖkoVO-Stall überlappten sich alle Boxen, wobei der Median der Messwerte im EU-ÖkoVO-Stall in allen Staubfraktionen unter dem des Tiefstreustalls lag.

Der Kruskal-Wallis-Test ergab für alle Staubfraktionen höchstsignifikante Unterschiede zwischen den Stallsystemen.

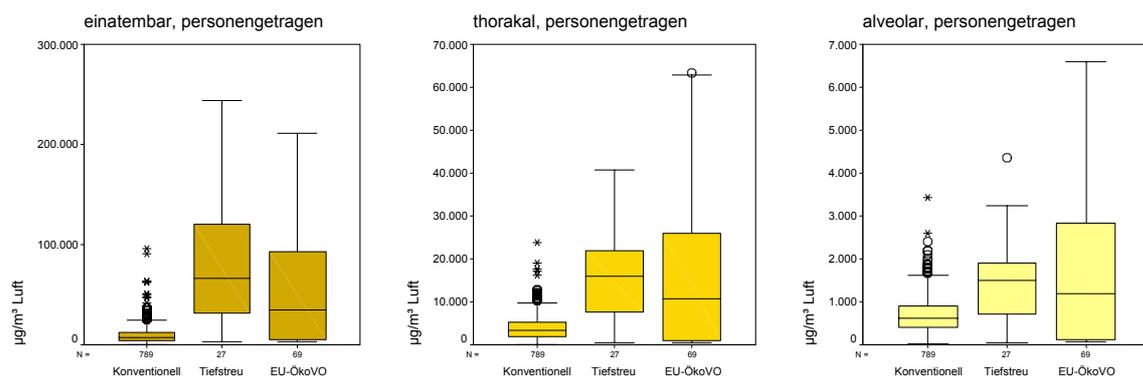


Abbildung 3-33: Personengetragen gemessene Staubkonzentrationen in den Stallsystemen

Die Darstellung der Boxplots mit allen Ausreißern findet sich im Anhang, Abbildungen A 7. Tabellen A 14 und Tabellen A 16 zeigen Mediane und Mittelwerte sowie die Kennwerte der nichtparametrischen Tests für die personengetragenen Staubmessungen.

3.1.4 Materialproben

Im Folgenden werden die Analysen der Mikroorganismenkonzentrationen in den Stroh- und Futtermittelproben beschrieben. Die Darstellung aller Ergebnisse aus den Materialproben findet sich im Anhang, Abbildungen A 8 bis Abbildungen A 10. Ebenso die Mediane und Mittelwerte (Tabelle A 17 bis Tabelle A 19)

3.1.4.1 Stroh

Die Untersuchung der Strohproben auf Mikroorganismenkonzentrationen ergab bei sehr großer Streuung der Werte wesentlich höhere Konzentrationen des in den konventionellen Ställen als Beschäftigungsmaterial genutzten Strohs bei den Gesamtbakterien (Abbildung 3-34) und bei den Pseudomonaden (Abbildung 3-35) als bei den Einstreu-Strohproben aus dem Tiefstreu- und EU-ÖkoVO-Stall. Die Proben der ökologischen Ställe dagegen waren für alle Mikroorganismen sehr ähnlich, bei einer allerdings zumeist größeren Streuung beim EU-ÖkoVO-Stall.

Grundsätzlich fanden sich mit Ausnahme der Bacilli- und *A. fumigatus*-Konzentrationen für alle Stallsysteme und der *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration in den ökologischen Ställen (Mediane für alle um 100 KBE/g) hohe bis sehr hohe Konzentrationen der jeweiligen Mikroorganismen in den Strohproben (Abbildung 3-34 bis Abbildung 3-40).

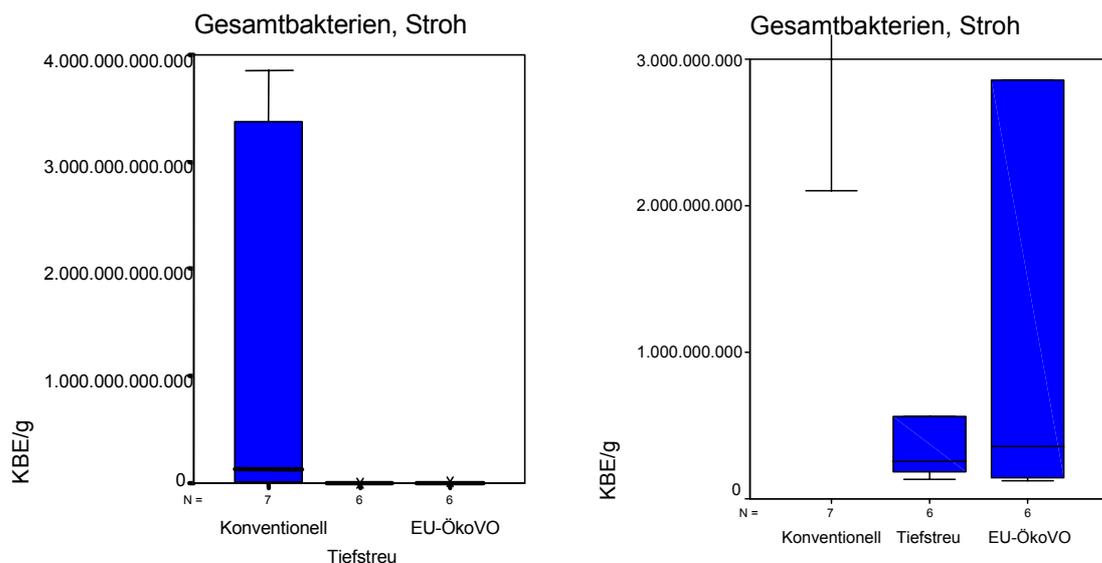


Abbildung 3-34: Gesamtbakterien im Stroh, rechts: Ausschnitt

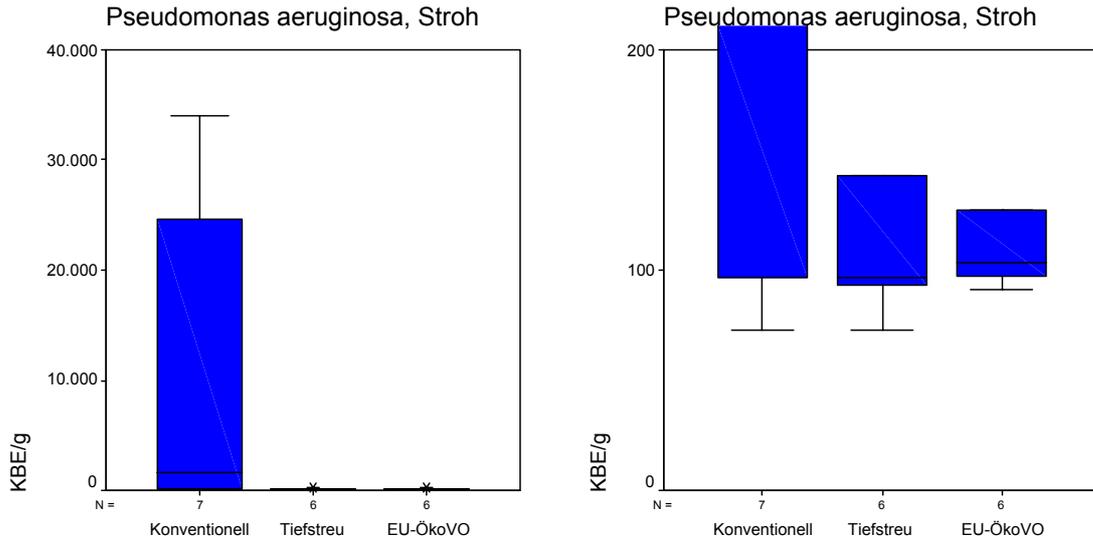


Abbildung 3-35: Pseudomonas aeruginosa im Stroh, rechts: Ausschnitt

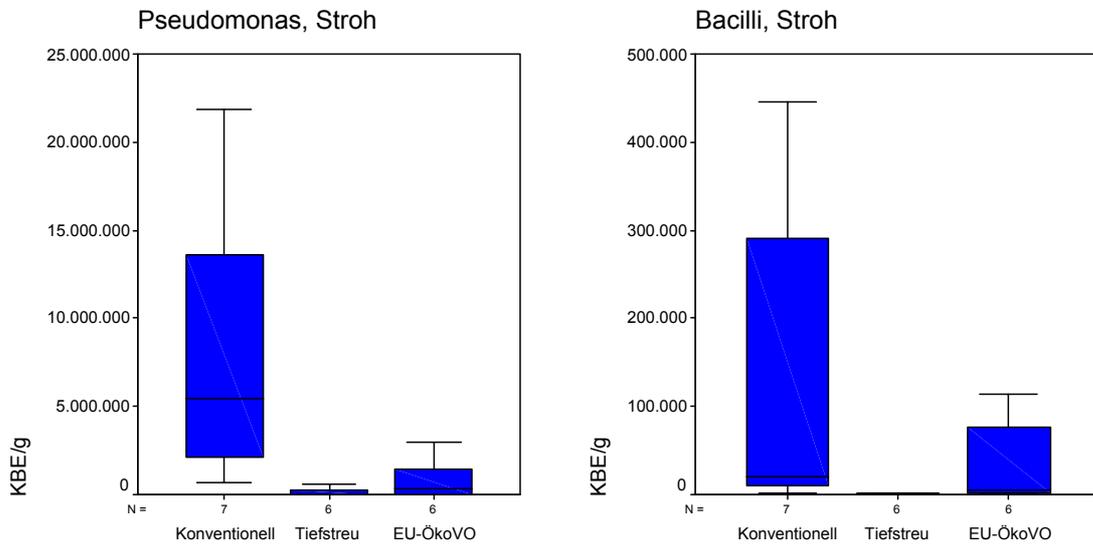


Abbildung 3-36: Pseudomonas und Bacilli im Stroh

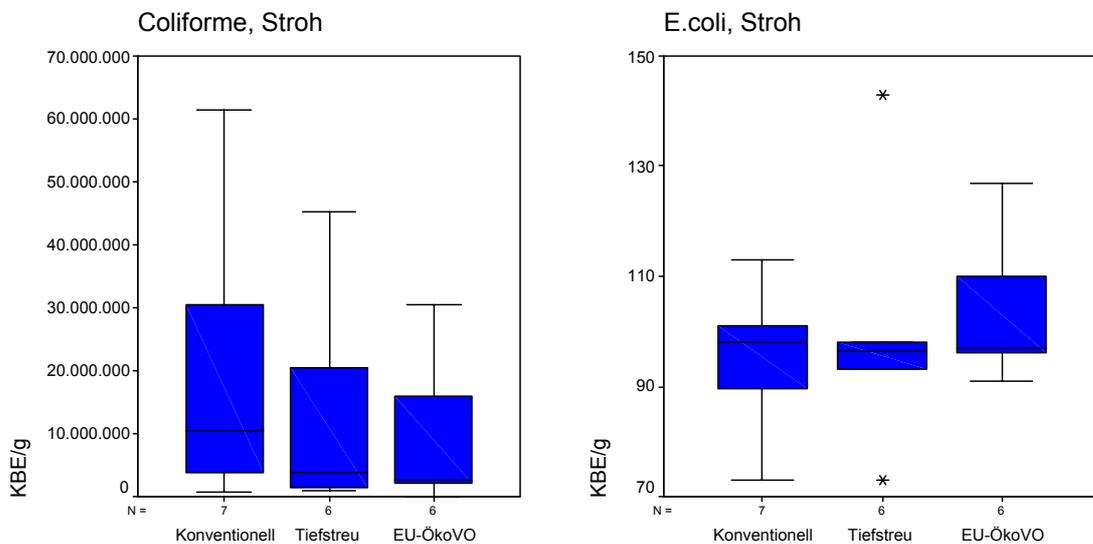


Abbildung 3-37: Coliforme Keime und E. coli im Stroh

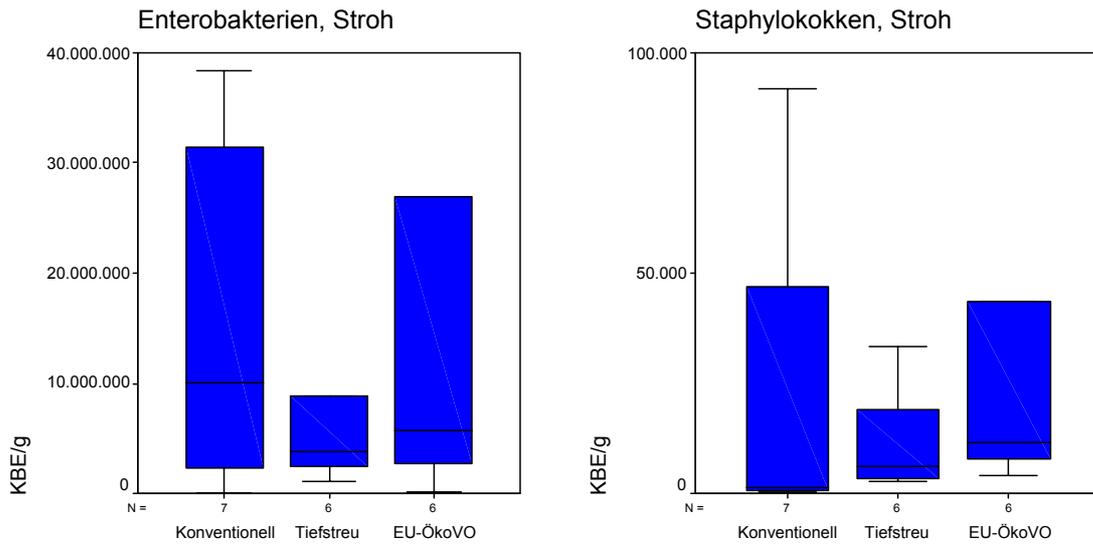


Abbildung 3-38: Enterobakterien und Staphylokokken im Stroh

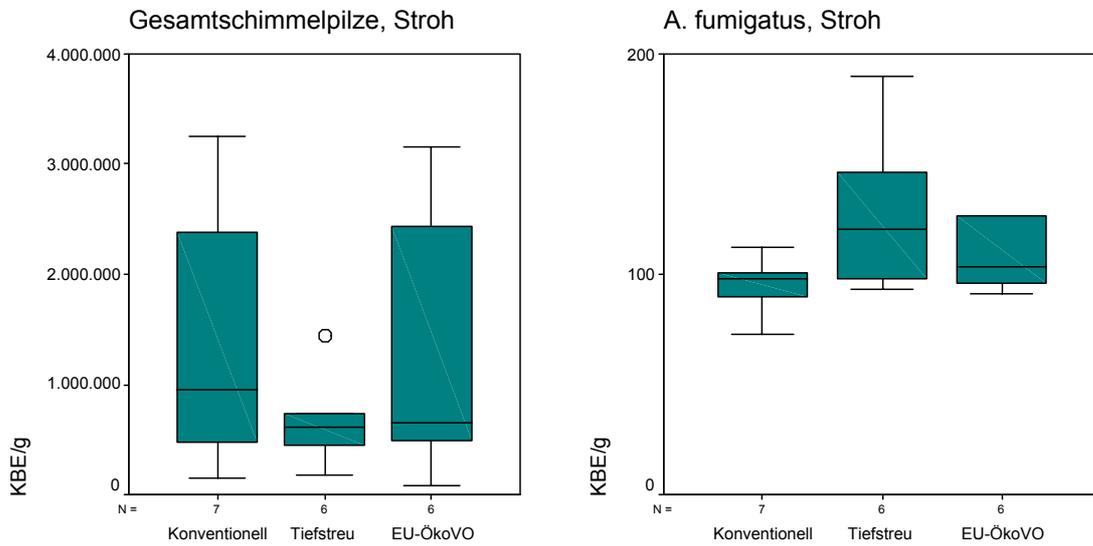


Abbildung 3-39: Gesamtschimmelpilze und A. fumigatus im Stroh

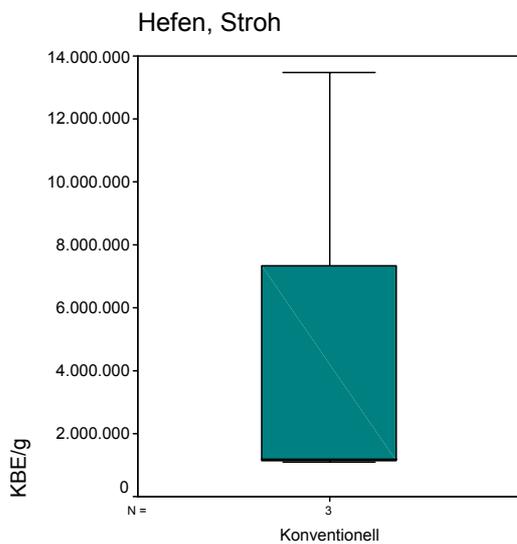


Abbildung 3-40: Hefen im Stroh

3.1.4.2 Futtermittel

Die verwendeten Futtermittel lagen als Trockenfutter (konventioneller Stall A und EU-ÖkoVO-Stall: Breifütterung, Tiefstreustall: Trockenfütterung) sowie Flüssigfutter (konventioneller Stall B) vor.

Im Vergleich der Trockenfutter wies das Futter im konventionellen Stall A für alle untersuchten Mikroorganismen mit Ausnahme von E.coli, Coliforme und Enterobakterien bei zumeist sehr hoher Streuung die höchsten Konzentrationen auf. Die Futtermittel in den ökologischen Ställen dagegen unterschieden sich zumeist nicht. Durchweg ließen sich hohe Konzentrationen von Gesamtbakterien, Pseudomonaden, Coliformen und Enterobakterien feststellen. Das Trockenfutter aus dem konventionellen Stall stach durch besonders hohe Werte bei den Gesamtbakterien, Bacilli, Staphylokokken und bei A. fumigatus heraus.

Im Vergleich des Flüssigfutters mit den Trockenfuttermitteln fanden sich im ersteren wesentlich geringere Keimlasten. Die Konzentrationen an Gesamtbakterien, Pseudomonaden, Coliformen, Enterobakterien, Schimmelpilzen und Hefen lagen beim Flüssigfutter etwa um den Faktor 10^2 bis 10^5 unter den Konzentrationen im Trockenfutter pro Gramm. Bei der hohen Konzentration coliformer Keime handelte es sich vermutlich um Kontamination des Futters. Die Konzentrationen an Bacilli, E.coli, Staphylokokken und A. fumigatus waren im Flüssig- und Trockenfutter ähnlich. Von Herstellerseite gewollt war der hohe Wert an Lactobacilli im Flüssigfutter (Abbildung 3-41 bis Abbildung 3-44). Die grafische Darstellung aller Ergebnisse der Futteruntersuchungen finden sich im Anhang.

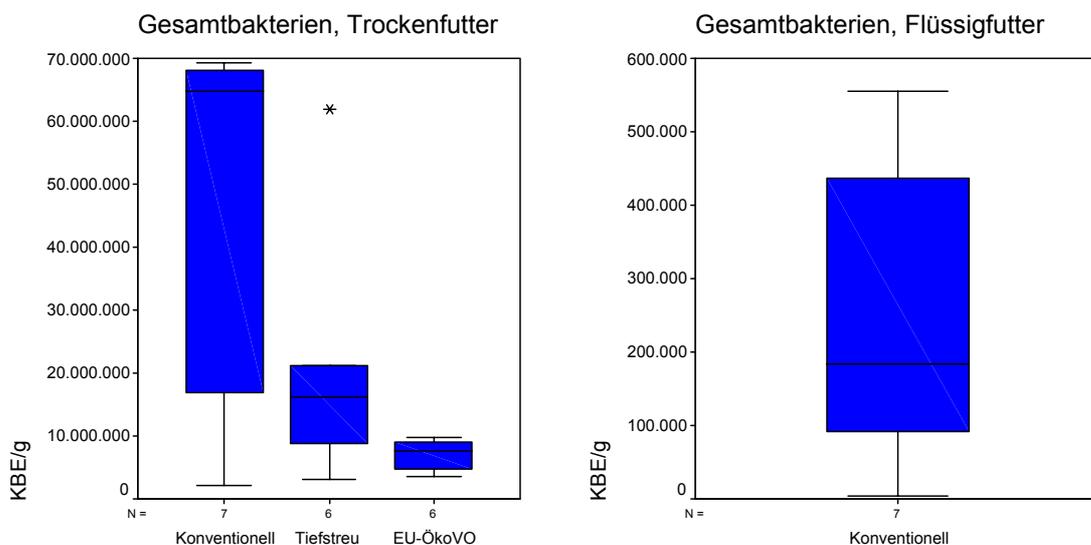


Abbildung 3-41: Gesamtbakterien im Trocken- und Flüssigfutter

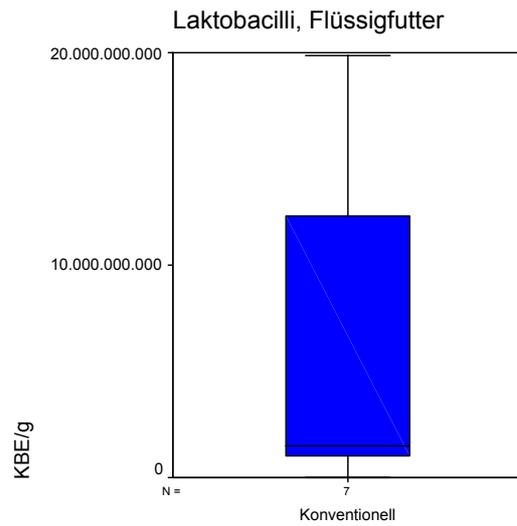


Abbildung 3-42: Lactobacilli im Flüssigfutter

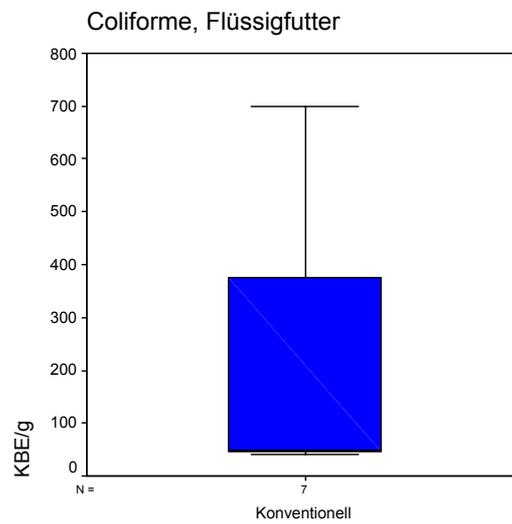
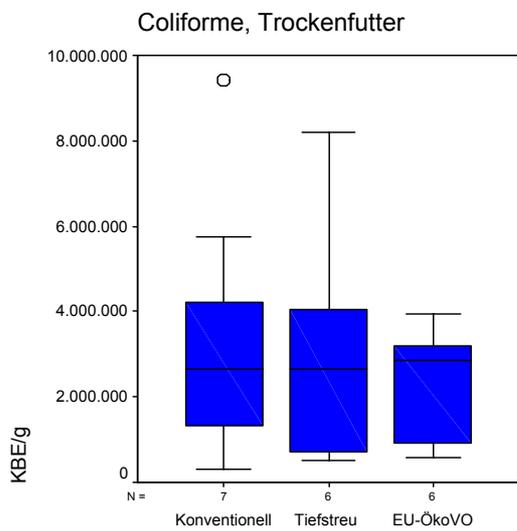


Abbildung 3-43: Coliforme Keime im Trocken- und Flüssigfutter

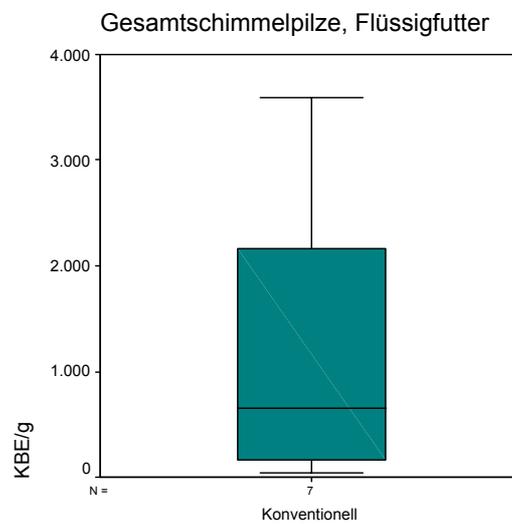
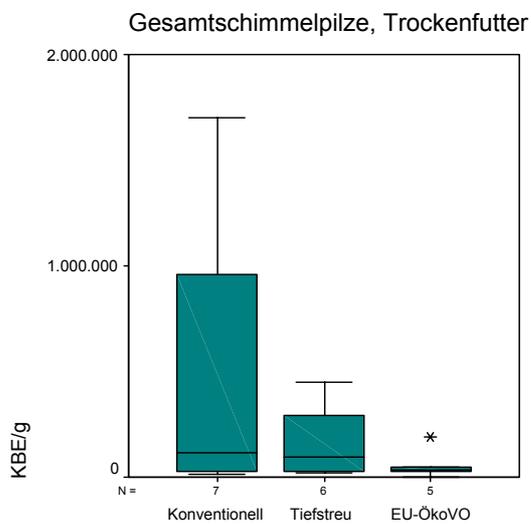


Abbildung 3-44: Gesamtschimmelpilze im Trocken- und Flüssigfutter

3.2 Ergebnisse der Fragebogenerhebung

3.2.1 Stichprobe

Insgesamt wurden 360 Fragebögen an in der Schweinemast tätige Landwirte versandt. 138 wurden zurückgeschickt (Rücklaufquote: 38%), wovon 133 ausgefüllt waren. Hinzu kamen 6 Fragebögen, die im persönlichen Interview erhoben wurden. Zur Auswertung standen also 139 Fragebögen zur Verfügung, die von 99 ökologisch und 36 konventionell produzierenden Landwirten ausgefüllt wurden (keine Angaben über Produktionsform: n=3, ökologisch und konventionelle Produktion: n=1).

Das Durchschnittsalter der Landwirte insgesamt lag bei 42 ± 9 Jahren und war bei Differenzierung auf die Produktionsformen sehr gut vergleichbar (ökologisch: 43 ± 8 , konventionell: 40 ± 12). Unter den Teilnehmern waren 12 (9%) **weibliche** Landwirte¹¹ (ökologisch: 10, konventionell: 2).

16 (12%) der Befragten gaben an, ledig zu sein, 106 (76%) waren verheiratet.

Die Auswertung der Angaben zur **Schul- und Berufsausbildung** stellten sich bei den in der Schweinemast Beschäftigten wie folgt dar: 33 (24%) der Befragten schlossen die Hauptschule ab, 56 (40%) die Realschule, 4 (3%) die Gesamtschule und 39 (28%) das Gymnasium. Sonstige Schulformen wurden von 6 (4%) angegeben (keine Angabe: 1). Eine Berufsschule schlossen anschließend 75 (54%) ab, ein berufsbildendes Institut 5 (4%) der Befragten und ein Studium 38 (27%) der Landwirte. Sonstige abgeschlossene Berufsausbildungen wurden von 16 (12%) angegeben (keine Angaben: 4).

Von den Befragten gaben insgesamt 28 (20%) an, zum Zeitpunkt der Erhebung **Raucher** zu sein (Packungsjahre¹²: 14 ± 13). Dabei war der Anteil der rauchenden ökologisch wirtschaftenden Landwirte mit 24 (24%) (16 ± 14 Packungsjahre) deutlich höher als unter den konventionellen Landwirten (2 (6%), 2 ± 1 Packungsjahre). Auch der Anteil von 30 (30%) Exrauchern (9 ± 6 Ex-Raucherjahre, aufgehört vor 16 ± 10 Jahren) lag bei den ökologischen Tierhaltern höher als bei den konventionellen mit 9 (25%) Exrauchern (13 ± 10 Ex-Raucherjahre, aufgehört vor 11 ± 8 Jahren).

¹¹ Zugunsten einer besseren Lesbarkeit wird im gesamten Text, so nicht ausdrücklich anders genannt, der Begriff „Landwirt“ für Männer wie für Frauen verwendet.

¹² Packungsjahre berechnen sich aus: (Anzahl täglich gerauchter Zigaretten/20)*Raucherjahre

3.2.2 Tätigkeiten

In beiden Produktionsformen gaben die Befragten an, seit 21 ± 12 **Jahren im Betrieb** tätig zu sein. Dabei zeigte sich aber mit 43 (43%) bei den ökologischen und 3 (8%) bei den konventionellen Landwirten ein deutlicher Unterschied bei der Frage nach anderen Tätigkeiten vor der landwirtschaftlichen. Die vorherigen Tätigkeiten umfassten bei beiden Gruppen ein weites Spektrum von handwerklichen, akademischen und Bürotätigkeiten.

Der überwiegende Teil der Befragten (öko: 89 (90%), konv.: 35 (97%)) war ganzjährig im landwirtschaftlichen Betrieb tätig. Die Wochenarbeitszeit wurde sowohl von den ökologisch als auch von den konventionell wirtschaftenden Tierhaltern im Durchschnitt mit 48 Stunden angegeben, wobei 30 (30%, öko) bzw. 4 (11%, konv.) neben der Landwirtschaft einer weiteren Beschäftigung nachgingen. Bei den weiteren Beschäftigungen konnte kein Schwerpunkt für bestimmte Arbeitsgebiete (z.B. akademisch – nichtakademisch, Büro – Handwerk) festgemacht werden.

3.2.3 Belastungsfaktoren

Aus der Befragung nach der **Tierhaltung** ergab sich, dass 90 (91%) der ökologischen Schweinehalter Mastschweine hielten, 50 (51%) Ferkel aufzogen, 47 (48%) Sauen und 39 (39%) Eber hielten. Die Anzahl der Mastschweine wurde mit durchschnittlich 124 ± 156 beziffert, die Anzahl der Ferkel mit 106 ± 174 , die der Sauen mit 29 ± 25 und die der Eber mit $1,5 \pm 1,3$, was einen durchschnittlichen Schweinebestand von 181 ± 218 (Median: 100) Schweinen ergab. Bei den konventionellen Schweinehaltern gaben alle Befragten an, Mastschweine zu halten, 6 (17%) hielten zudem Ferkel und jeweils ein Landwirt hielt Sauen bzw. Eber. Die Schweinebestände wurden wie folgt angegeben: Mastschweine: 2.006 ± 836 ; Ferkel: 1.383 ± 527 ; Sauen: 220 ± 0 ; Eber: 2 ± 0 , insgesamt also Tierzahlen von 2.243 ± 1.161 (Median: 2.100) Stück.

Zwischen 20 und 40% der ökologischen Landwirte gaben jeweils an, neben den Schweinen noch Rinder, Geflügel oder sonstige Nutztiere zu halten. Die zusätzlichen jeweiligen Aufenthaltsdauern in den entsprechenden Stallgebäuden wurden mit 1 bis 2 Stunden beziffert. Die konventionellen Schweinehalter gaben nur zu jeweils etwa 10% (n=3) an, Rinder bzw. sonstige Nutztiere zu halten. Die mittleren Aufenthaltsdauern in den Ställen wurden mit 4 bzw. 1,5 Stunden pro Tag beziffert. Fast alle ökologischen Landwirte betrieben neben der Schweinehaltung auch Pflanzenbau, insbe-

sondere Getreideanbau (94%). Auch die konventionellen Landwirte betrieben fast alle zusätzlich Getreideanbau (97%).

Die Zusammenfassung der **Stallcharakteristika** für die Schweinehaltung stellte sich für die *ökologischen* Betriebe wie folgt dar (Mehrfachnennungen waren in den einzelnen Kategorien möglich): Alle Befragten gaben an, Einstreu zu verwenden. 42% der Tierhalter bezeichneten ihr Haltungssystem als Mistgangbucht, 36% gaben an, Tiefstreubuchten zu betreiben, und mit jeweils 14% wurden die Haltungsformen Schrägbodenbucht, Kistenstall und Freilandhaltung genannt. 8% gaben sonstige Haltungssysteme an. Das Mistverfahren wurde entsprechend der Verwendung von Einstreu hauptsächlich als Festmist angegeben, die Häufigkeit des Ausmistens wurde von 36% der Schweinehalter als „täglich“, von 31% als „mehrmals wöchentlich“, von 19% als „mehrmals monatlich“ und von 7% als „zum Ausstallen“ beschrieben. Der Kotbereich lag bei 23% der ökologischen Ställe außerhalb des Stallgebäudes. Die Lüftungstechnik war zu 71% als freie und zu 18% als Zwangsbelüftung beschrieben. Bei den Angaben zum Fütterungssystem herrschte mit 75% die manuelle Trockenfütterung vor, bei 18% der Landwirte wurde manuelle und bei 10% automatische Breifütterung beschrieben. Sonstige Fütterungssysteme kamen nur zu geringen Prozentsätzen vor.

Die *konventionellen* Schweinehalter verwendeten mit nur einer Ausnahme kein Einstreumaterial. Ihre Haltungssysteme gaben sie zu 97% (n=35) als Voll- und mit 11% (n=4) als Teilspaltenboden an. Die Entmistung wurde zu 67% (n=24) durch Speicherung unter Rost, zu 36% (n=13) durch Fließmist und zu 19% (n=7) durch Staumist bewerkstelligt. Gemistet wurde dementsprechend hauptsächlich zum Ausstallen. Das Lüftungssystem war in fast allen erfassten Ställen eine Zwangsbelüftung. Flüssigfütterung war in den konventionellen Ställen das bevorzugte Fütterungssystem (11% manuell, 83% automatisch).

Aus den genannten Stall- und Tätigkeitscharakteristika ergibt sich eine tägliche **Aufenthaltsdauer in Schweineställen** der ökologischen Schweinehalter von durchschnittlich $1,7 \pm 1,5$ Stunden und von den konventionellen von $2,7 \pm 1,4$ Stunden (Gesamt: $2,0 \pm 1,5$ Stunden).

Stellt man die tägliche Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der Anzahl der Schweine dar, so verdeutlicht sich der Unterschied der Tieranzahlen zwischen den Produktionsformen wie auch der höhere Arbeitszeitbedarf der ökologischen Schweinehalter im Stall (Abbildung 3-45) Dieser kann aufgrund vorliegender Daten auf durchschnitt-

lich 4,5 s/Tier und Tag bei den konventionellen und auf 41,1 s/Tier und Tag (Medianwerte) bei den ökologischen Landwirten beziffert werden¹³.

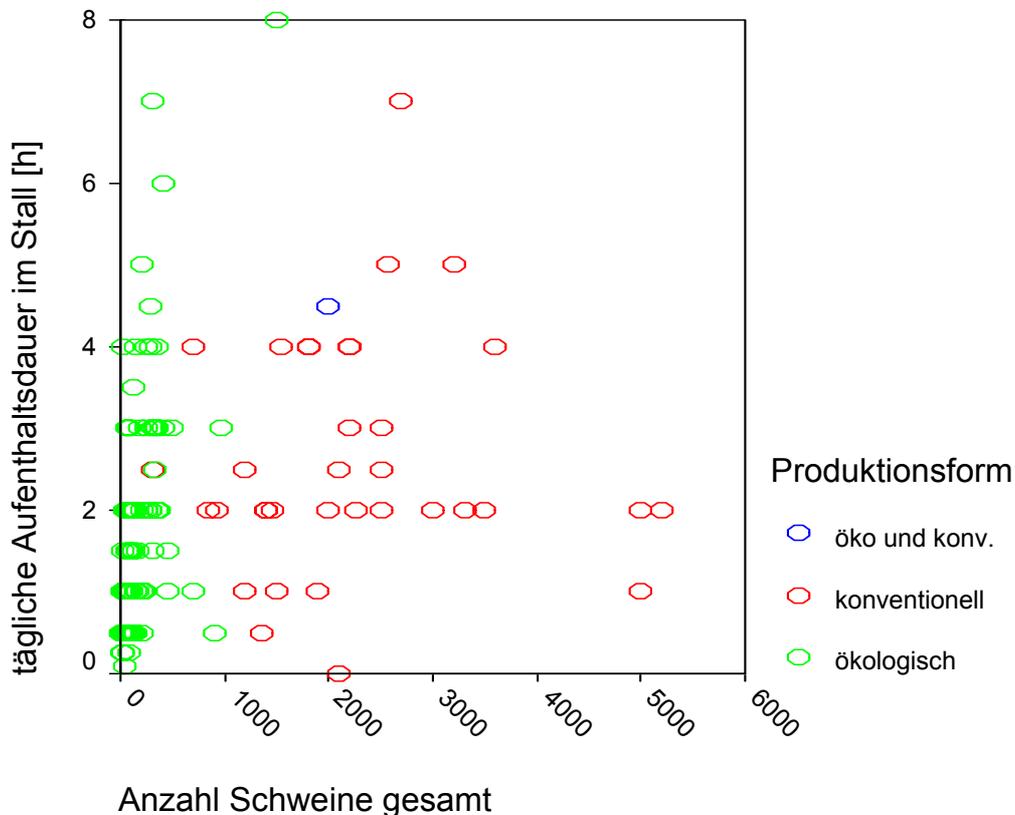


Abbildung 3-45: Tägliche Aufenthaltsdauer im Stall bezogen auf Anzahl der Schweine im Betrieb, differenziert nach Produktionsform.

Als **Tätigkeit mit einer besonders starken Staub- und Geruchsentwicklung** wurde von vielen *ökologischen* Landwirten das tägliche (25%) bzw. wöchentliche (29%) Reinigen der Ställe angegeben. Auch das tägliche bzw. wöchentliche Futtermischen wurde als Belastung angegeben (25% bzw. 46%). Als saisonale Belastung wurde vor allem das Ausbringen von Festmist (62%) und von Flüssigmist (32%) beschrieben. Zu geringeren Anteilen gaben die ökologisch wirtschaftenden Befragten auch Strohhäckseln und Desinfektionsarbeiten als Belastung an. Bei den *konventionellen* Schweinehaltern wurde das wöchentliche Reinigen der Ställe von 28% (n=10) der Befragten und das tägliche bzw. wöchentliche Mischen von Futter (31%; n=11 bzw. 19%; n=7) als durch Staub und Geruch belastende Tätigkeit gesehen. Das saisonale Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln bezeichneten 92% (n=33) und das von Flüs-

¹³ Die angegebene Zeit pro Schwein kann nicht im Sinne des Arbeitsbedarfs pro Tier gesehen werden, da keine Angaben über die Anzahl weiterer Beschäftigte im Betrieb und deren Arbeitszeit im Schweinestall vorliegen.

sigmist 78% (n=28) als belastend. Weiterhin wurden auch Desinfektionsarbeiten und Strohhäckseln als belastend eingestuft.

3.2.4 Beanspruchungen

Zur Erfassung der Beanspruchungen konnten zum einen die aus der WAI-Erhebung vorliegenden Punktprävalenzen der selbst wahrgenommenen und der vom Arzt diagnostizierten Krankheiten verwendet werden. Zum anderen wurden Punkt-, Jahres-, und allgemeine Prävalenzen von Atemwegserkrankungen, ergänzt durch die allgemeine Prävalenz eines ODTS (erfragt als „Grippegefühl einige Stunden nach der Arbeit“), erfasst.

Im Vergleich der Fragen nach den aktuellen, vom Arzt diagnostizierten Krankheiten zeigte sich beim WAI eine durchschnittlich angegebene Anzahl von 2,04 Krankheiten. Die ökologischen Landwirte hatten mit 2,00 Krankheiten einen kaum geringen Durchschnitt als die konventionellen Landwirte mit 2,22 ärztlicher Diagnosen.

Fasst man alle Erkrankungen (ärztliche und eigene Diagnosen) in Erkrankungsgruppen im Sinne einer subjektiven Beanspruchungserhebung zusammen, so ergaben sich für das Gesamtkollektiv der schweinehaltenden Landwirte hohe Prävalenzen bei den Unfallverletzungen und bei den Erkrankungen des Bewegungsapparates (41% und 59%), die Prävalenz der Atemwegserkrankungen lag bei 21% (Abbildung 3-46).

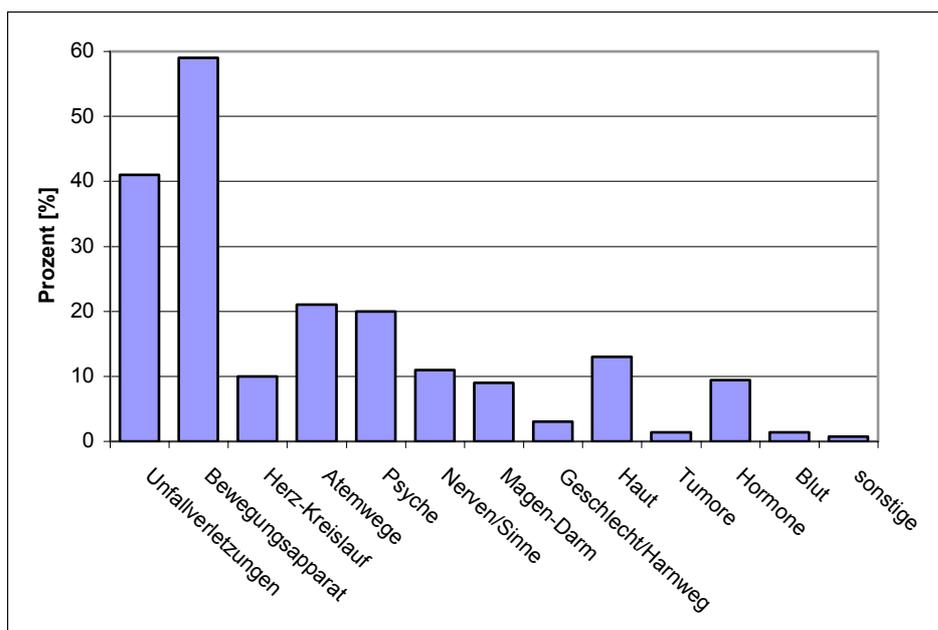


Abbildung 3-46: Prävalenz der im WAI erfragten Erkrankungen gruppiert, Schweinehalter gesamt

Inhaltlich waren nur bei den Fragen nach **Atemwegserkrankungen** deutliche Unterschiede zwischen den Beschäftigten der ökologischen und konventionellen Schweinemast festzustellen. Besonders bei der Frage nach wiederholten Atemwegsinfekten war die Prävalenz bei den konventionellen Landwirten mit 36% (n=13) gegenüber 12% (n=12) bei den ökologischen Kollegen deutlich erhöht. Dasselbe galt für die ärztlich diagnostizierte chronische Bronchitis, die ausschließlich von konventionellen Landwirten angegeben wurde (3 (8%) vs. 0) (Abbildung 3-47).

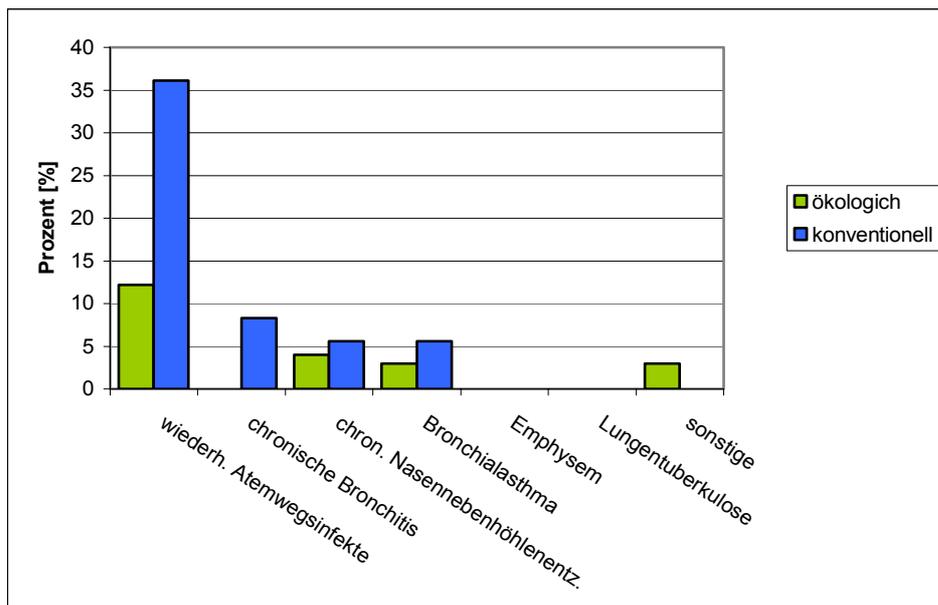


Abbildung 3-47: Punktprävalenzen der Atemwegserkrankungen (WAI) im Vergleich der konventionellen und ökologischen Schweinemäster

Die Angaben zu den über den WAI hinaus erfragten Atemwegserkrankungen ergaben für das gesamte Kollektiv eine hohe Jahresprävalenz für das Symptom „verstopfte Nase“ (46%). Auch die Prävalenzen von „Husten mit Auswurf“ (23%) und „Niesanfällen“ (21%) sind hoch einzustufen. Im Vergleich der Prävalenzen zwischen den beiden Produktionsformen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede (Abbildung 3-48).

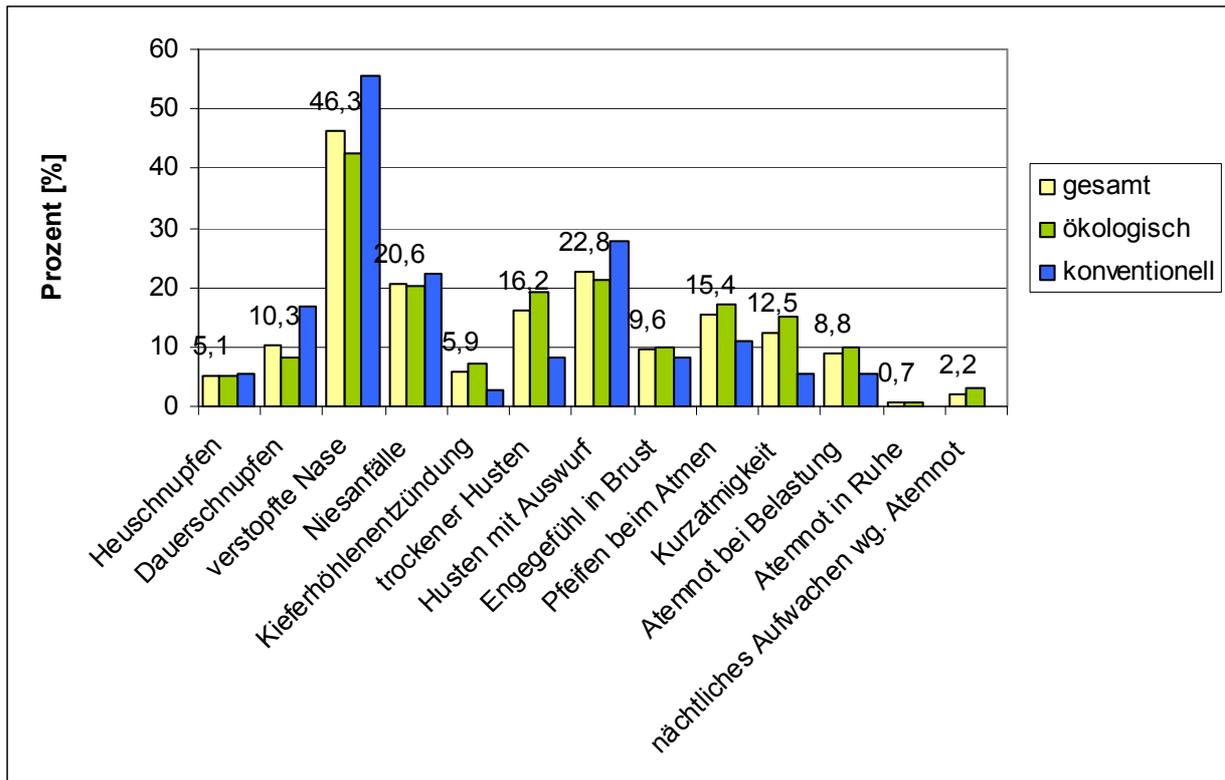


Abbildung 3-48: Jahresprävalenzen der Atemwegssymptome im Vergleich (bezifferter Wert für Gesamtkollektiv)

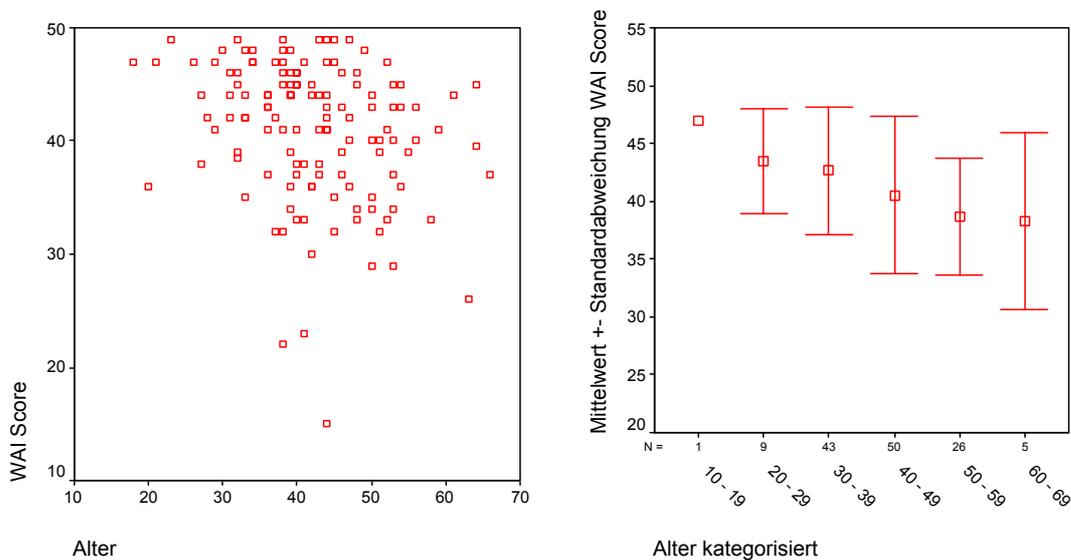
Das zusätzlich erfragte „Grippegefühl einige Stunden nach der Arbeit“ (ODTS) wurde von den konventionellen Landwirten mit einer Häufigkeit von 25% (n=9) etwa doppelt so häufig angegeben wie bei den ökologischen Landwirten (14%; n=14). Die konventionellen Schweinehalter sahen mit 31% (n=11) auch wesentlich häufiger (Faktor 3) die angegebenen Atemwegsbeschwerden in einem zeitlichen Bezug zur Arbeit.

In die Berechnung des **Arbeitsbewältigungsindex (WAI)** aus dem Kollektiv der Befragten Landwirte flossen die Ergebnisse von 133 auswertbaren Fragebögen ein; es ergab sich ein durchschnittlicher Wert von $41,0 \pm 6,2$ Punkten. Entsprechend der definierten Kategorien lässt sich die Arbeitsfähigkeit folglich im Durchschnitt als „gut“ bezeichnen. Vergleicht man die ökologisch wirtschaftenden ($40,4 \pm 6,6$; n=89) mit den konventionell wirtschaftenden Landwirten ($42,7 \pm 4,6$; n=34), so zeigte sich ein deutlicher, im Mittelwertsvergleich aber nicht signifikanter Unterschied ($p=0,065$; $df=1$; $F=3,46$). Die durchschnittliche Arbeitsfähigkeit ist bei beiden aber mit gut zu bewerten. Vergleicht man aus diesen beiden Gruppen die Nichtraucher, wurde der Unterschied wesentlich geringer ($p=0,277$; $df=1$; $F=1,20$). Entsprechend ergab sich ein

signifikanter Unterschied ($p=0,015$; $df=1$; $F=6,07$) beim Vergleich der Raucher ($38,7\pm 8$; $n=27$) mit den Nichtrauchern ($41,6\pm 5,5$; $n=104$) im Gesamtkollektiv.

Die im Vergleich der männlichen ($40,9\pm 6,2$; $n=123$) und weiblichen ($42,4\pm 5,4$; $n=11$) Beschäftigten auftretenden Unterschiede waren unwesentlich ($p=0,445$; $df=1$; $F=0,59$).

Dagegen zeigte sich ein deutlicher Alterseffekt im Sinne einer Verringerung des WAI-Wertes bei steigendem Alter (Abbildungen 3-49), der im Mittelwertvergleich statistisch gerade nicht signifikant war (Mittelwertvergleich, $p=0,058$, $df=5$; $F=2,20$).



Abbildungen 3-49: WAI-Score in Abhängigkeit vom Alter (gruppiert), gesamtes Kollektiv

Neben der Betrachtung des Summenscores wurde auch die Verteilung der Studienteilnehmer auf die einzelnen WAI-Kategorien untersucht. Für das Gesamtkollektiv der auswertbaren Schweinehalter fielen 42% der Befragten in die Kategorie „sehr gut“, 34% in die Kategorie „gut“, bei 19% wurde die Arbeitsfähigkeit mit „mittelmäßig“ und bei 3% mit „schlecht“ bewertet. Wählte man diese Beschreibung für den Vergleich der Beschäftigten aus den ökologischen und den konventionellen Betrieben, so ergaben sich Anteile von 39% bzw. 50% für die Bewertung „sehr gut“, 35% bzw. 31% für „gut“, 20% bzw. 14% für „mittelmäßig“ und Anteile von 4% bzw. 0% für die Bewertungskategorie „schlecht“ (Abbildung 3-50).

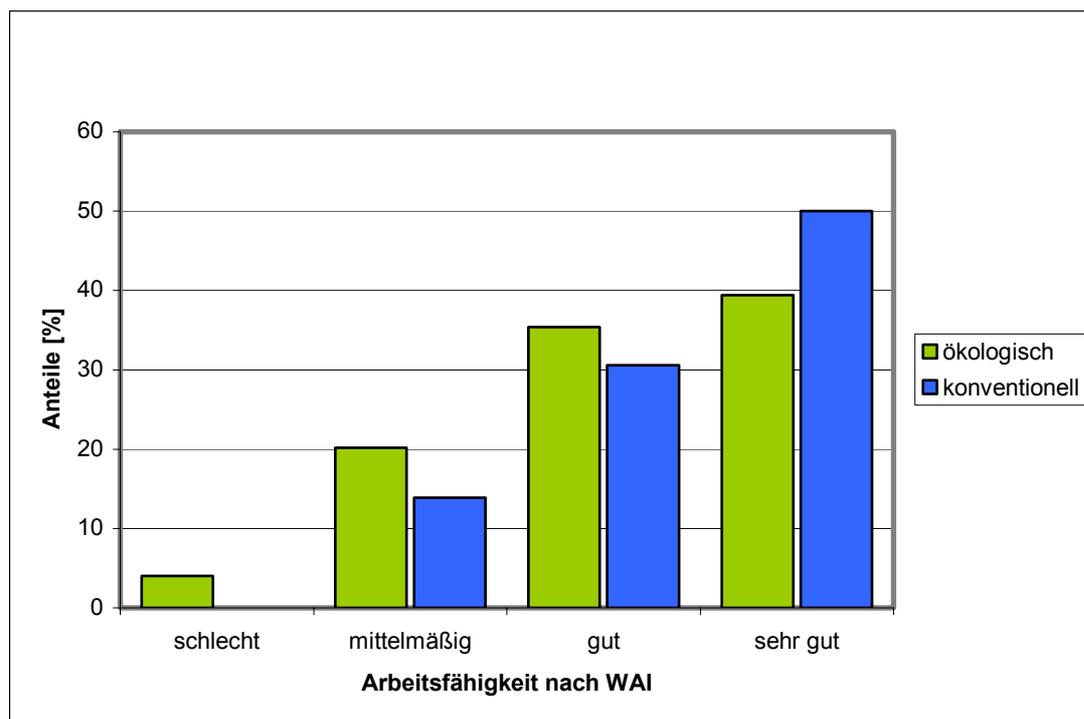


Abbildung 3-50: Vergleich des Arbeitsbewältigungsindex (WAI-Kategorien) für ökologische und konventionelle Schweinehalter

In den WAI flossen auch die Angabe des Krankenstandes im letzten Jahr sowie die subjektive Einschätzung der Behinderung der Arbeit durch Krankheiten bzw. Verletzungen und die der voraussichtlichen Arbeitsfähigkeit in zwei Jahren ein. Zudem wurden Fragen zu Einstellung und Befindlichkeit gestellt.

Auf der Ebene dieser Einzelitems stellten sich beide Kollektive sehr ähnlich dar: Der Krankenstand betrug bei etwa 90% beider Gruppen unter 10 Tage, die Arbeitsfähigkeit wurde dementsprechend von über 90% der Landwirte als - trotz teilweise vorhandener Beschwerden - „überwiegend vorhanden“ eingestuft und auch für die nächsten zwei Jahre als „ziemlich sicher“ eingestuft. Ebenfalls gaben etwa 90% der Landwirte beider Gruppen an, meistens oder eher häufig aktiv und rege zu sein und ihre Arbeit mit Freude zu erledigen. Ein leichter Unterschied zwischen den Produktionsgruppen trat nur bei der Zuversichtlichkeit im Hinblick auf die Zukunft auf. Hier waren die ökologischen Landwirte mit 81% (n=80) Angaben von „eher häufig“ oder „ständig“ zuversichtlicher als die konventionellen mit einem Anteil von 67% (n=24) für diese Nennungen.

Bezieht man den **Raucherstatus** auf das im WAI erfasste Erkrankungsgeschehen im Bereich der Atemwege, so fanden sich positive Nennungen bei 7 (25%) der Raucher im Vergleich zu 21 (19%) der Nichtraucher ($p=0,6$) im Gesamtkollektiv. Bei der Korrelation des Raucherstatus mit den einzelnen erfragten Atemwegssymptomen ergaben sich nur für Dauerschnupfen und trockenen Husten signifikante positive Zusammenhänge.

Bei der Frage nach der Verwendung von **Atemschutz** gaben 52% der Landwirte die Verwendung von Atemschutz bei der Arbeit mit „bei Bedarf“ an. Eine tägliche Verwendung beschrieben 11% ($n=16$), „selten“ und „nie“ gaben 21 Befragte an (17%). Unter den ökologischen Landwirten gaben nur 3% ($n=3$) an, Atemschutz täglich zu verwenden, 33% ($n=20$) dagegen nur selten oder gar nicht. Bei den konventionellen Landwirten schien die Nutzung regelmäßiger zu erfolgen: 36% ($n=13$) täglicher Gebrauch gegenüber nur 8% ($n=3$) mit seltener / keiner Verwendung.

Landwirte, die bei der WAI-Erfassung aktuelle Atemwegserkrankungen angaben, verwendeten zu 18% ($n=5$) täglich Atemschutz, jedoch gaben ebenso viele atemwegskranke Landwirte an, selten oder nie Atemschutz zu verwenden. Unter denen, die innerhalb der letzten 12 Monate Atemwegssymptome hatten, gaben maximal 25% der Befragten an, täglich Atemschutz zu verwenden, bis zu 30% trugen ihn selten oder nie.

7% der Befragten gaben an, dass es **Verständnisprobleme** bei der Ausfüllung des Fragebogens gab. In der Nennung der insgesamt 12 Problem-Fragen und auch in der allgemeinen Kritik am Fragebogen ergaben sich keine Mehrfachnennungen, so dass davon auszugehen ist, dass es sich bei den Verständnisproblemen um Einzelfälle handelte.

4 Diskussion

4.1 Diskussion von Material und Methoden

4.1.1 Stallmessungen

Die vier untersuchten Haltungssysteme für Mastschweine stellten sowohl auf der konventionellen einstreulosen als auch auf der ökologischen Seite repräsentative praxistypische Stallbaulösungen dar (vgl. Tabelle 2-1).

Die konventionellen Haltungssysteme entsprachen den BVT-Kriterien sowie weitestgehend den Anforderungen des vorliegenden Entwurfs der Ergänzung der Tierschutznutztierhaltungsverordnung für Schweine (TIERSCHNUTZV, 2003). Der Einsatz von Stroh beschränkte sich bei diesen beiden Systemen, die keine getrennten Klimabereiche aufwiesen, ausschließlich auf die Nutzung als Beschäftigungsmaterial, welches den Mastschweinen mittels Beschäftigungsautomaten zur Verfügung gestellt wurde (Tabelle 4-1).

Beim Tiefstreustall handelte es sich um eine typische Umnutzung eines Altgebäudes als Stall für Mastschweine, der wie die konventionellen Haltungssysteme ohne getrennte Klimabereiche betrieben wurde (Tabelle 4-1).

Der zweite untersuchte ökologisch betriebene Stall entsprach den Anforderungen der EG-Öko-Verordnung (EG-ÖKO-VERORDNUNG, 2003). Er verfügte über getrennte Klimabereiche, im Innenbereich wurde Stroh als Einstreu verwendet (Tabelle 4-1). Zusätzlich wurde in diesem Haltungssystem eine ausgesprochen gute Trennung der Funktionsbereiche erreicht, da der Kotbereich im Außenbereich des Stalles lag.

Ein die Stallinnenraumsituation (d.h. die Stallluftqualität) entscheidend beeinflussender Unterschied zwischen den Systemen war die Art und Ausführung der Lüftungssysteme. Die konventionellen Systeme waren mit einer nach DIN 18910 (2003) dimensionierten Zwangsbelüftung ausgestattet, wohingegen es sich bei den ökologischen Stallsystemen um grundsätzlich frei belüftete Ställe handelte (Tabelle 4-1). Bedingt durch die Umnutzung eines Altbaus konnte das freie Lüftungssystem des Tiefstreustalls nur als mäßig funktionell beschrieben werden. Der Luftaustausch konnte hier nur durch das Kippen bzw. Herausnehmen einiger Fenster beeinflusst werden. Es war keine Decken- und/oder Firstöffnung vorhanden, welche die Abführung der warmen und verbrauchten Stallluft unterstützte. Beim EU-ÖkoVO-Stall hingegen handelte es sich um ein Gebäude mit einer nach guter fachlicher Praxis aus-

geführten Lüftung, deren einwandfreie Funktion durch die Standortwahl und die angepasste Stallausrichtung unterstützt wurde.

Auch die in den untersuchten Haltungssystemen verwendeten Fütterungssysteme (Trocken-, Brei- und Flüssigfütterung) und die unterschiedlichen Futterzusammensetzungen spiegelten das typische breite Spektrum der Praxisbedingungen wider.

Da das Management der vier untersuchten Systeme unterschiedlich war (die konventionellen Ställe wurden Rein-Raus, die ökologischen Ställe kontinuierlich mit Mastschweinen belegt; vgl. Tabelle 4-1), konnten keine Systemdifferenzen in Abhängigkeit von definierten Tier-Lebendmassen bzw. unterschiedlichem Tialter ermittelt werden.

Eine zusammenfassende, vergleichende Übersicht der für die nachfolgende Ergebnisdiskussion wichtigsten Parameter der vier Haltungssysteme gibt Tabelle 4-1.

Haltungssystem	Stroheinsatz	getrennte Klimabereiche	Lüftung	Fütterung	Stallmanagement
Konventionell A	Beschäftigung	nein	zwangselüftet nach DIN 18910	Breifütterung	Rein-Raus
Konventionell B	Beschäftigung	nein	zwangselüftet nach DIN 18910	Flüssig-Sensorfütterung	Rein-Raus
Tiefstreu	Einstreu für Tiefstreu	nein	frei belüftet „Fensterlüftung“	Trockenfütterung	Kontinuierlich
EU-ÖkoVO	Minimaleinstreu	ja	frei belüftet „Spaceboard-First-Lüftung“ Außenklimastall	Trocken- und Breifütterung	Kontinuierlich

Tabelle 4-1: Vergleichende Übersicht der vier untersuchten Haltungssysteme

Um jahreszeitlich bedingte Effekte erfassen zu können, wurden pro System mindestens drei Messtage in der kalten (MD 2) und drei in der warmen Jahreszeit (MD 3) durchgeführt, für die konventionellen Stallsysteme liegen darüber hinaus Ergebnisse von drei weiteren Messterminen vor (MD 1) (vgl. Tabelle 2-1). Grundsätzlich gelang es, im Hinblick auf die Rahmenbedingungen der Messungen repräsentative Messzeiträume auszuwählen: Die in den Stall- bzw. Abteilinnenräumen der vier untersuchten Haltungssysteme registrierten Lufttemperaturen und -feuchtegehalte (Tabelle 3-1) bewegten sich in den in der entsprechenden Literatur beschriebenen, jahreszeit- und witterungsabhängigen Bandbreiten für zwangselüftete und frei belüftete Stallsysteme (RIEGER ET AL., 2004).

Durch die bei den Stallmessungen eingeflossenen verschiedenen Standort- und lokalen Witterungsbedingungen, das unterschiedliche Stallmanagement (vgl. Tabelle 4-1) sowie Anzahl und Dauer von Messterminen bzw. Wiederholungen können die ermittelten Daten für eine Status-Quo-Beschreibung der untersuchten Systeme herangezogen werden. Der Vergleich der Stallsysteme kann, abgesehen vom Vergleich der Fütterungssysteme in den konventionellen Ställen, hingegen keinen direkten Vergleich der einzelnen Stallparameter und Managementfaktoren erbringen (vergl. Kapitel 5.2).

Das für die Luftmessungen verwendete PGP-System entsprach den Empfehlungen des BIA für Messungen im Bereich des Arbeitsschutzes (BIA, 2004). Es erwies sich im Rahmen der Fragestellungen der Stallluftmessungen als grundsätzlich geeignet. Die Aufteilung in stationäre und personengetragene Messungen ließ eine Differenzierung der Messdaten in stall- und tätigkeitsbezogene Emissionen zu. Da das PGP-System nach dem Filtrationsprinzip arbeitet, waren die erhobenen Emissionswerte als Mittelwert über die Probenahmezeit eines jeden Filters zu sehen. Die Grenzen des Probenahmesystems liegen also in der Abzeichnung kurzzeitiger Expositionsspitzen, wie sie beispielsweise beim manuellen Füttern auftreten. Bei den personengetragenen Messungen wurde dem durch kürzere, der Tätigkeitsdauer angepassten Probenahmezeiten begegnet.

Bei Betrachtung der Analysemethode zum Nachweis von Schimmelpilzen geben FLÜCKIGER ET AL. (2000) zu bedenken, dass die Beladung der Luft mit Pilzallergenen über Kulturnachweis zu gering eingeschätzt wird, da auch die nicht kultivierbaren Fragmente der Sporen allergene Eigenschaften besitzen können. Ähnliches gilt für den kulturellen Nachweis von Bakterien, deren Vorkommen in der Luft durch Anzuchten nur teilweise nachgewiesen werden kann.

Die Methoden der Impaktormessung zum Nachweis seltener Keime und die Erfassung der arbeitsmedizinischen Staubfraktionen mit einem Aerosolspektrometer erwiesen sich als zweckmäßig. Eine gravimetrische Staubbestimmung zur Errechnung eines Gravimetriefaktors gelang aufgrund technischer Probleme allerdings nicht.

Grundsätzlich muss betont werden, dass für eine exakte Bestimmung der Staubkonzentration abscheidende Verfahren statt der hier verwendeten optischen Messung eingesetzt werden müssen.

Die Angabe der Endotoxinkonzentrationen in EU/m³ stellt eine Beschreibung ihrer Aktivität dar. Diese basiert auf dem Mitführen eines Standard-Endotoxins bekannter Konzentration. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass Endotoxine unterschiedlicher Herkunft entsprechend verschiedene Aktivitäten besitzen. In Tabelle 4-2 sind die Endotoxinaktivitäten pro Gewicht von ausgewählten Bakterien aufgeführt.

Bakterienart	Endotoxinaktivität [EU/ng]
Escherichia coli 026:B6	8,3
Escherichia coli 055:B5	4,8
Escherichia coli 0111:B4	1,2
Enterobacter agglomerans	8,3
Salmonella abortus equi	7,7
Shigella dysenteriae	0,4

Tabelle 4-2: Endotoxinaktivitäten verschiedener Bakterienarten (nach POPENDORF, 1986)

Eine Umrechnung von EU auf Masse ist also nur bedingt möglich. Als Näherung wird ein Verhältnis von 10 EU ~ 1 ng zugrundegelegt (BIA-ARBEITSMAPPE, 2004). Trotz genannter Unschärfen stellt der LAL-Test ein international akzeptiertes und derzeit alternativloses Messverfahren zur Quantifizierung von luftgetragenen Endotoxinen dar. Andere Methoden, z.B. auf Grundlage menschlichen Vollblutes, befinden sich noch im Entwicklungsstadium (ANONYMOUS, 2003).

Der Grund für die nicht durchgeführte Testung der Materialproben auf Endotoxine liegt in der bekannten Kreuzempfindlichkeit des verwendeten LAL-Tests mit Glucanen. Diese Kreuzreaktion könnte auch die analysierten Luftkonzentrationen zu höheren Werten beeinflusst haben. LAL-Tests unterschiedlicher Hersteller besitzen deutlich unterschiedliche Sensitivitäten auf Glucane, der verwandte Test COAMATIC® Chromo-LAL der Firma Chromogenix besitzt dabei eine vergleichsweise hohe Glucanempfindlichkeit (LOHMEYER, 2004).

Aus arbeitsmedizinischer Sicht allerdings ist die Einbeziehung von Glucanen in die Bewertung pyrogener Substanzen sogar sinnvoll, da sie neben den Endotoxinen, und vermutlich im Besonderen mit ihnen zusammen, einen negativen, irritativ bis entzündlichen Einfluss auf die Atmungsorgane ausüben (RYLANDER, 1996; RYLANDER & HOLT, 1998).

Die Differenzierung der Gesamtschimmelpilze in den Luftproben auf *Aspergillus fumigatus* war in seinem besonders sensibilisierenden Potential begründet. Er ist ein Auslöser der EAA, bildet Mykotoxine und kann bei massiver Inhalation eine infektiöse

Lungenerkrankung (Aspergillose) auslösen. Auch bei der Differenzierung der Bakterien wurde mit den thermophilen Aktinomyzeten ein besonders stark Allergien auslösender Keim gewählt. Diese Myzel- und Sporenbildner sind ebenfalls Auslöser der EAA und können zudem Infektionen verursachen. Staphylokokken wurden gewählt, weil sie die häufigsten im Schweinestall anzutreffenden Bakterien sind (HARTUNG, 1998), und Bacilli repräsentieren als aerobe Sporenbildner die widerstandsfähigsten Bakterien (Austrocknung, Hitze, Strahlung etc). Durch die Impaktormessungen kam mit den Enterobakterien, E. coli und den Coliformen Keimen ein Spektrum von typischen Darmbakterien und mit den Pseudomonaden ein klassischer Wasserkeim hinzu. All diese Differenzierungen dienten dazu, ein Spektrum häufiger Umweltkeime im Stall abzubilden. Für die Materialuntersuchungen wurde dieses Spektrum noch geringfügig erweitert.

Die grundlegende statistische Darstellung der Ergebnisse erfolgte grafisch in Form von Boxplots. Das war in den teilweise geringen Fallzahlen (<10) begründet, die sich bei Differenzierungen der modifizierenden Faktoren ergaben. Zudem wiesen die Messwerte keine Normalverteilung auf, weshalb für die weiterführenden Analysen auf nicht parametrische Tests zurückgegriffen wurde. Der Mann-Whitney-U-Test ist der am häufigsten verwendete Test bei zwei unabhängigen Stichproben, da er durch die Zugrundelegung von Fallrängen aussagekräftiger als der Median-Test ist. Er ist äquivalent zum Kruskal-Wallis-Test für zwei Gruppen. Für die bi- und multivariaten Modelle war die Verwendung von Mittelwertsvergleichen möglich, da über die Logarithmisierung der Werte eine Annäherung an die Normalverteilung erreicht werden konnte. Die Auswahl der Messwerte von Endotoxinen und Gesamtschimmelpilzen für diese statistischen Modelle erfolgte zum einen aufgrund der längeren Probenahmezeiten bei den stationären Messungen, durch die eine bessere Abzeichnung der Stall-emissionen als Summenparameter und somit eine bessere Beschreibung der Unterschiede in den Ställen möglich war. Zum anderen lagen für Endotoxine und Gesamtpilze die meisten Werte vor (zusätzlich beprobter Mastdurchgang 3 in den konventionellen Ställen).

4.1.2 Fragebogen

Neben der grundlegenden Erfassung von soziodemographischen Daten und der Rauchgewohnheiten diente der Fragebogen der Erfassung von Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren der befragten Schweinehalter. Die Belastungen wurden durch

die Arbeitsanamnese und eine ausführliche Beschreibung der Stallcharakteristika abgebildet. Damit konnten die baulich-technischen und organisatorischen Faktoren beschrieben werden, für die modifizierende Wirkungen auf die die Bioaerosolkonzentration bei den Stallluftmessungen gezeigt wurden. Die Erhebung erfolgte zum einen durch die standardisierte Ermittlung der Arbeitsfähigkeit mittels WAI, zum anderen durch die zusätzliche detaillierte Erfragung von Beanspruchungssymptomen der Atemwege. Diese wurden in Bezug zu Daten zu Arbeitsfähigkeit und Gesundheitsstatus gesetzt.

Die Kollektive der ökologischen und konventionellen Schweinehalter waren hinsichtlich der Altersverteilung sehr gut vergleichbar. Da die Gruppe der konventionellen Landwirte aber mit 36 Personen vergleichsweise klein war, lagen hier z.T. nur sehr geringe Fallzahlen vor, beispielsweise bei weiblichen Landwirten oder Rauchern (beide $n=2$). Die Kollektive, insbesondere das der konventionellen Gruppe, waren zum Zeitpunkt der vorliegenden Auswertung zu klein, um gesicherte Rückschlüsse beim Vergleich der Produktionsfaktoren der konventionellen und ökologischen Landwirte auf deren Atemwegserkrankungen ziehen zu können. Die Auswertung erfolgte dementsprechend vor allem deskriptiv.

4.2 Diskussion der Ergebnisse der Stallmessungen

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die ermittelten Konzentrationen von Endotoxinen und Gesamtbakterien in allen, also sowohl eingestreuten als auch einstreulosen Haltungssystemen, sehr hoch lagen. Einen Vergleich der in diesem Projekt erfassten Werte mit denen aus anderen Wirtschaftsbereichen zeigt Tabelle 4-3. Die hier wiedergegebenen Messwerte wurden alle nach der beschriebenen standardisierten Methodik erfasst und im selben Labor analysiert. Es wird deutlich, dass sowohl Endotoxin-, als auch Bakterienkonzentrationen im Entsorgungsbereich und in der Metallindustrie weit unter den vorliegenden Konzentrationen im Mastschweineestall lagen.

Einen Vergleich zu Messungen aus anderen Schweinehaltungssystemen bietet die in Kapitel 1.4.2 vorgestellte Literaturzusammenstellung aus 23 verschiedenen Studien von SEEDORF & HARTUNG (2002). Wie bereits bemerkt, geschieht der Vergleich mit diesen Werten ungeachtet der jeweils verwandten Messmethodik und aller sonstiger Parameter.

Wirtschaftsbereich	Arbeitsbereich	Bakterien [KBE/m ³]		Endotoxine [EU/m ³]	
		min.	max.	min.	max.
Entsorgung - Abwasserkanalisation	Kanalreinigung	<160	9.000	10	281
Entsorgung - kommunale Kläranlagen	div.	<100	61.000	3	231
	Kammerfilterpresse	250	122.000	4	943
Entsorgung - Müllsammlung	Fahrer	<1.000	20.000	1	17
	Lader	1.000	100.000	1	88
Entsorgung - Mülldeponie	Grundbelastung	<1.000	40.000	9	120
	Ladevorgänge	7.000	1.000.000	48	150
Entsorgung - Müllverbrennung	div.	5.900	138.000	20	1.271
Metallindustrie	Bearbeitung	<1.000	5.000	2	500

Tabelle 4-3: Luftkeimmessungen an Arbeitsplätzen (standardisierte Methodik).
Zusammengestellt nach DIEFENBACH (2001; 2002), ORZEL (2003), LOHMEYER (2001), RIEGER (2002), STEINBERG (2001)

Die in der vorliegenden Studie stationär erfassten Medianwerte der Endotoxinkonzentrationen in den einzelnen Stallsystemen lagen alle über den 75.-Perzentilwerten der von SEEDORF & HARTUNG zusammengestellten Messwerte (Median: 420 EU/m³, 75.-Perzentil: 1.500 EU/m³). Im Vergleich der Gesamtkeimzahlen zeigte sich die große Streuung der drei Stallsysteme in der vorliegenden Studie: Während der stationäre Wert der konventionellen Ställe im Mittelmaß der Werte der Literaturzusammenstellung lag (Median: 209.000 KBE/m³), übertrafen die Werte von EU-ÖkoVO- und Tiefstreustall alle von SEEDORF & HARTUNG beschriebenen Werte. Hinsichtlich der Gesamtpilzkonzentration fügten sich alle im vorliegenden Vergleich stationär erfassten Messwerte in das 25.- bis 75.-Perzentil der Literaturdaten (Median: 1.600 KBE/m³) ein.

Bei allen stationär erfassten Emissionen der vorliegenden Studie zeigte der Tiefstreustall die höchsten Werte, die konventionellen Ställe und der EU-ÖkoVO-Stall lagen zumeist auf ähnlichem Niveau.

Eine grundsätzliche Unterscheidung der Ställe in eingestreute und einstreulose Systeme hinsichtlich ihrer Emission an luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen konnte entgegen der Vermutungen nicht nachgewiesen werden: Die Verwendung von Einstreu führte nicht grundsätzlich zu einer erhöhten Belastung der Stallluft.

Bei Betrachtung der Verläufe der stationär erfassten Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentrationen in den **konventionellen Ställen** über die Messzeitpunkte in den ein-

zelenen Mastdurchgängen fielen die zumeist gleichen Tendenzen bei Endotoxinen und Schimmelpilzen auf, wobei die Pilzkonzentrationen weniger stark auf die Änderungen möglicher Einflussfaktoren reagierten (Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-7).

Die einzelnen Mastdurchgänge zeigten uneinheitliche Verläufe. Unter den Bedingungen der zwangsbelüfteten Ställe war zu vermuten, dass diese ungleichen Verläufe am ehesten auf die unterschiedliche Lüftungsrate der temperaturgesteuerten Lüftung zurückzuführen waren: Niedrige Temperaturen (z.B. MD 1, Messung 3) führten zu einer starken Drosselung der Lüftung bis zur Minimalluft rate und gingen mit einer Erhöhung der Endotoxinkonzentration einher, während die Lüftung bei hohen Temperaturen (z.B. MD 3, Messung 2) die überwiegende Zeit mit der Maximalluft rate arbeitete und somit eine bessere Verdünnung der Bioaerosolkonzentration bewirkte. Eine Überprüfung möglicher Einflussfaktoren auf die Bioaerosolkonzentration in den Ställen erfolgte vor dem Hintergrund von Überlegungen zu technischen Minimierungsmaßnahmen mittels bivariater und multivariater Modelle (Kapitel 3.1.1.3).

Hierbei zeigte sich für die Endotoxinkonzentration in den konventionellen Ställen, dass sich bei der Analyse aller zur Verfügung stehenden Daten (Lüftungsrate, Besatzdichte, Stalltemperatur, Außentemperatur) die Außentemperatur in Verbindung mit der Besatzdichte als stärkste Einflussfaktoren differenzieren ließen. Bei Betrachtung der einzelnen Mastdurchgänge ergab sich ein uneinheitlicheres Bild: Bei niedriger Lüftungsrate in der kalten Jahreszeit hatte die Besatzdichte den stärksten Einfluss, dieser wurde in den beiden anderen Mastdurchgängen jedoch teilweise durch den Temperatureinfluss (Außen- bzw. Stalltemperatur) zurückgedrängt. Da die Temperatur die Stärke der Lüftung bestimmt, bestätigen die Modellrechnungen letztlich den großen Einfluss dieser technischen Maßnahme in zwangsbelüfteten Ställen.

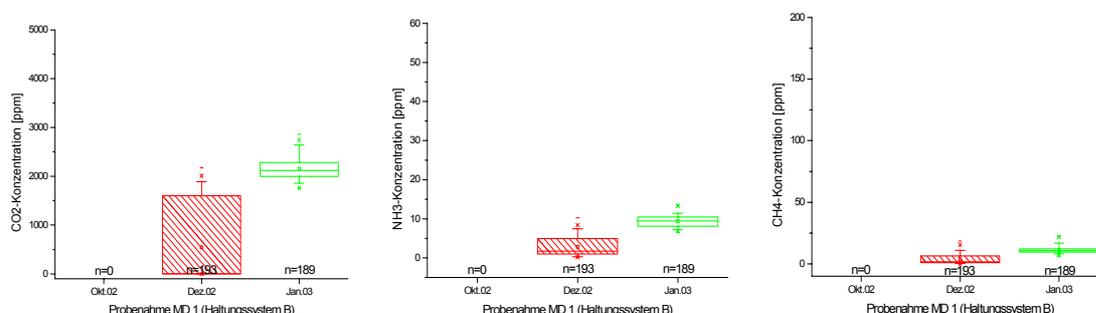
Der schwächere Einfluss der Faktoren auf die Schimmelpilzkonzentration zeigte sich neben der grafischen Darstellung auch in den statistischen Modellen: Einzig beim ersten (kalten) Mastdurchgang konnte die Besatzdichte als Prädiktor beschrieben werden, ein Temperatureinfluss zeigte sich nicht.

Beim Vergleich der jahreszeitlichen Verläufe der Endotoxin- und Schimmelpilzkonzentrationen in den **ökologischen Ställen** konnten entgegen der Situation in den konventionellen Ställen, die ja zusätzlich den Mastdurchgang abbildeten, keine Tendenzen beobachtet werden; die Entwicklungen waren teilweise gegenläufig. Bei Betrachtung der Verläufe über die einzelnen Messzeiträume konnten jedoch bei den Endotoxinen ähnliche Entwicklungen wie bei den konventionellen Ställen erkannt

werden. Dies spiegelte sich jedoch in den bi- und multivariaten Modellen nicht wieder; die zwei erfassten Einflussgrößen Außen- und Stalltemperatur konnten in der gemeinsamen Betrachtung der Mastdurchgänge 2 und 3 in beiden Ställen weder für Endotoxine noch für Schimmelpilze als Prädiktoren dargestellt werden.

Es bleibt festzuhalten, dass im Bereich der Einflussfaktoren weiterer Forschungsbedarf besteht, wobei vor allem für die freibelüfteten Ställe die Parameter herausgearbeitet werden sollten, die zu niedrigen Endotoxinkonzentrationen in der Stallluft führen. Dass in dieser Hinsicht günstige Haltungssysteme existieren, wurde am Beispiel des EU-Öko-VO-Stalles deutlich: Durch Optimierung der baulich-technischen Gegebenheiten (und in Verbindung mit getrennten Funktions- und Klimabereichen) konnten trotz der Verwendung von Einstreu Endotoxinkonzentrationen (stationäre Messung) erreicht werden, die unter den in den anderen Ställen ermittelten Werten lagen (Abbildung 3-2). Dies ist vor allem unter Berücksichtigung der Tatsache bedeutsam, dass die Lüftungstechnik in den konventionellen Ställen durchweg zu einer guten Kontrolle der Schadgas- und Partikelkonzentrationen führte. Allerdings gelang mit Hilfe dieser technischen Maßnahmen keine grundsätzliche Reduktion der Endotoxinbelastung in der Stallluft. Deutlich wird dies beispielsweise im Vergleich der jeweiligen Konzentrationen (CO_2 , NH_3 , CH_4 , Partikel und Endotoxine) in den einzelnen Mastdurchgängen in den konventionellen Ställen.

Im Mastdurchgang 1 (Oktober 2002 – Januar 2003) kam es bei relativ niedrigen Lüftungsraten aufgrund der tiefen Außentemperatur zu einem nur leichten Anstieg der CO_2 -, NH_3 - und CH_4 -Konzentration, begleitet von einer deutlich größeren Zunahme der Endotoxinkonzentration. Die Partikelkonzentration fiel als einziger Parameter bei der dritten Messung im betrachteten Mastdurchgang ab (Abbildung 4-1).



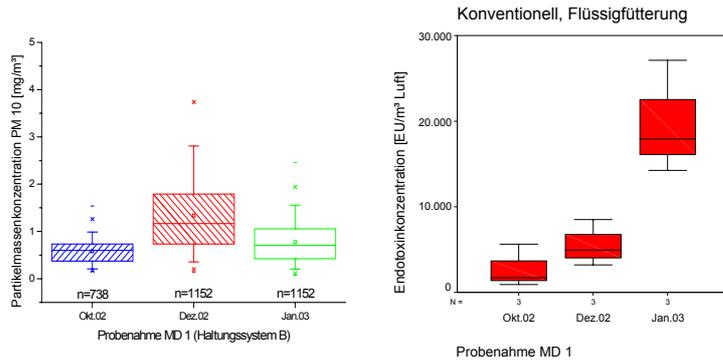


Abbildung 4-1: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM10, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den ersten Mastdurchgang

In ähnlicher Weise – modifiziert durch die jeweils anderen klimatischen Verhältnisse – differierten die Werte im Mastdurchgang 2 und 3. Während in Ersterem die CO₂-Konzentration im Verlauf abfiel, die CH₄-Konzentration nahezu konstant verlief und die NH₃-Konzentration zur Mitte hin leicht anstieg, blieb die Endotoxinkonzentration zur Mitte hin nahezu konstant und fiel gegen Ende ab (Abbildung 4-2).

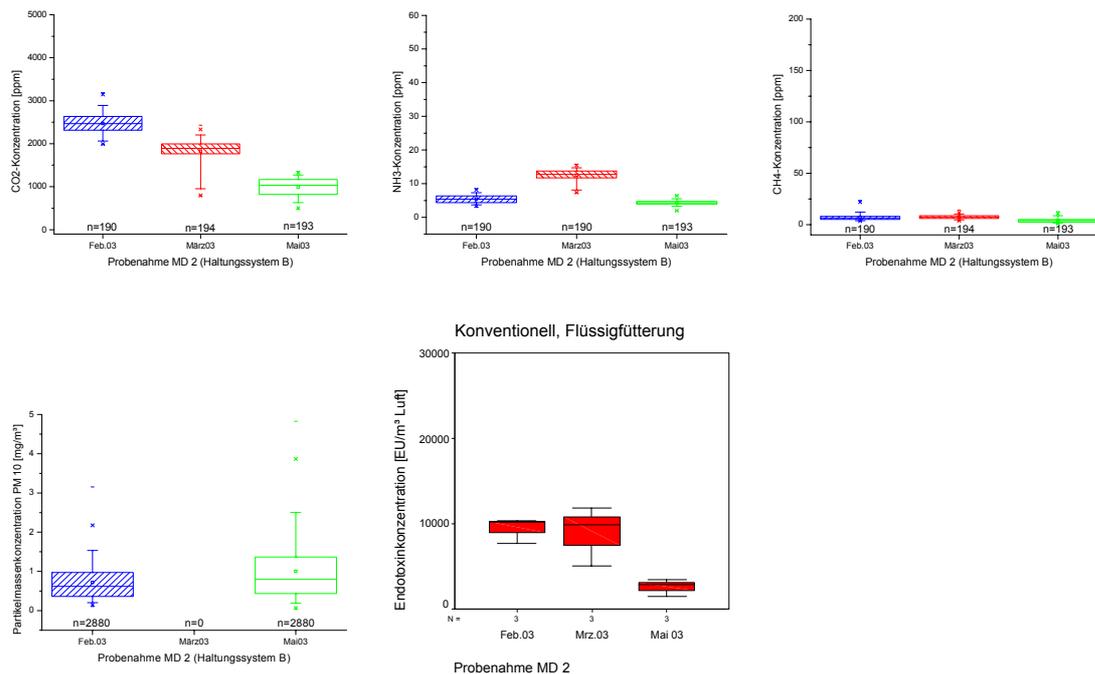


Abbildung 4-2: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM10, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den zweiten Mastdurchgang

Im Mastdurchgang 3 wurden die NH₃-, CO₂- und CH₄-Konzentrationen durch die Lüftungsregelung auf einem nahezu konstanten Niveau gehalten, wohingegen die Endotoxinkonzentration am Ende der Mastperiode anstieg (Abbildung 4-3).

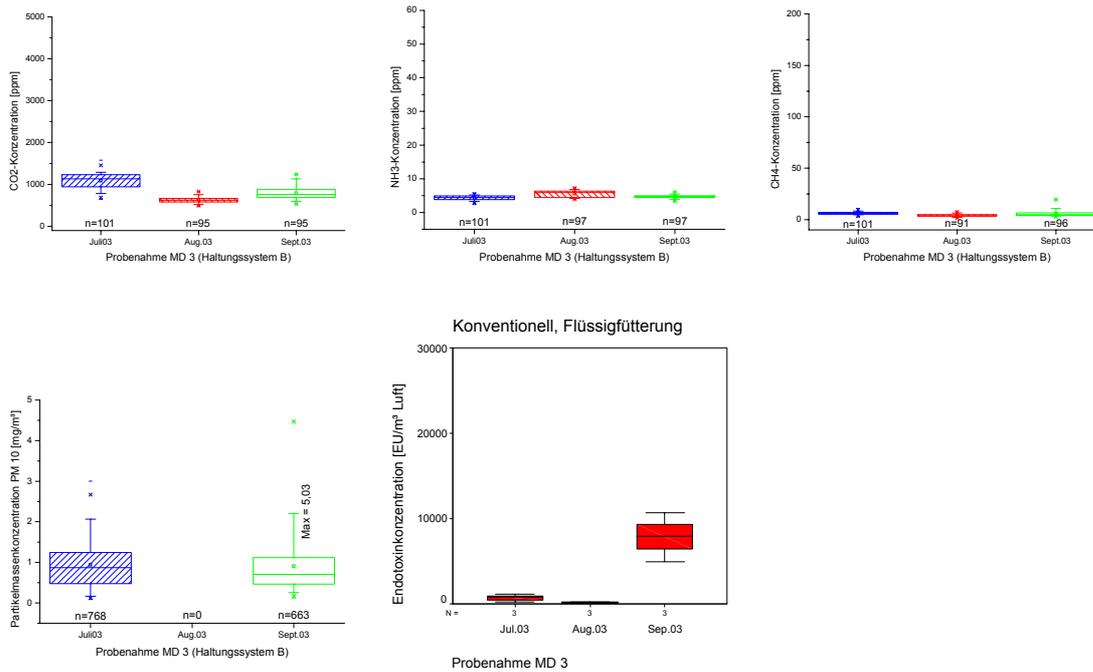
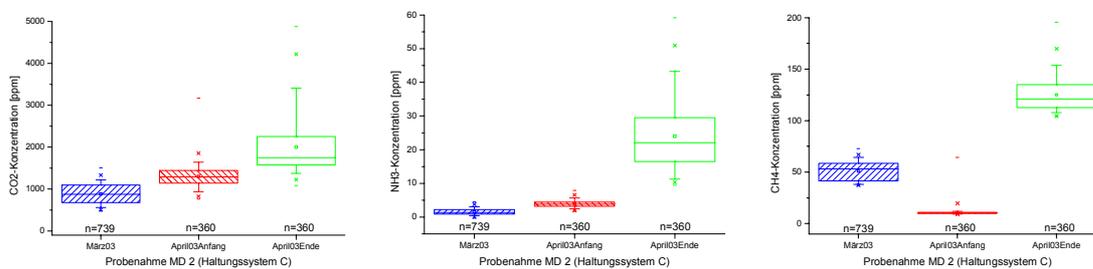


Abbildung 4-3: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM₁₀, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den dritten Mastdurchgang

Auch in den eingestreuten Ställen differierte die Endotoxinkonzentration in den beiden untersuchten Zeiträumen Frühjahr (MD 2) und Sommer 2003 (MD 3) zum Teil deutlich von der Partikel- und Schadgaskonzentration. Im Tiefstreustall (Stall C) konnte im Frühjahr eine nahezu konstante Partikelkonzentration bei gegen Ende April ansteigenden CO₂- und vor allem NH₃-Messwerten festgestellt werden. Die CH₄- und Endotoxinkonzentrationen fielen dagegen zur Mitte des Messzeitraumes ab und stiegen dann – ähnlich der anderen Schadgaskonzentrationen – Ende April stark an (Abbildung 4-4).



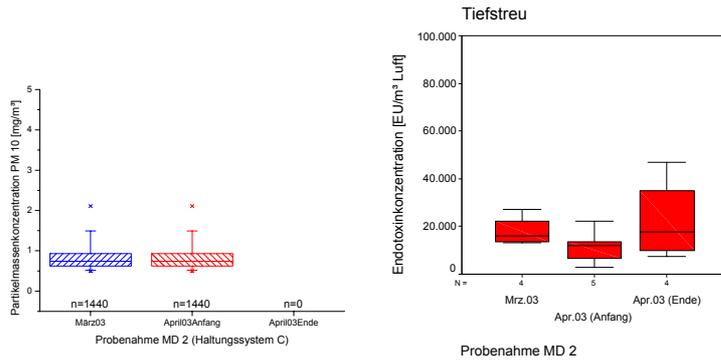


Abbildung 4-4: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem C (Tiefstreu) über den zweiten Mastdurchgang

Im Sommer 2003 (MD3) verlief die Partikelkonzentration wiederum nahezu konstant, wohingegen die CO₂- und NH₃-Werte abnahmen und die CH₄-Werte zur Mitte hin leicht anstiegen. Im selben Zeitraum stieg die Endotoxinkonzentration erneut stark an (Abbildung 4-5).

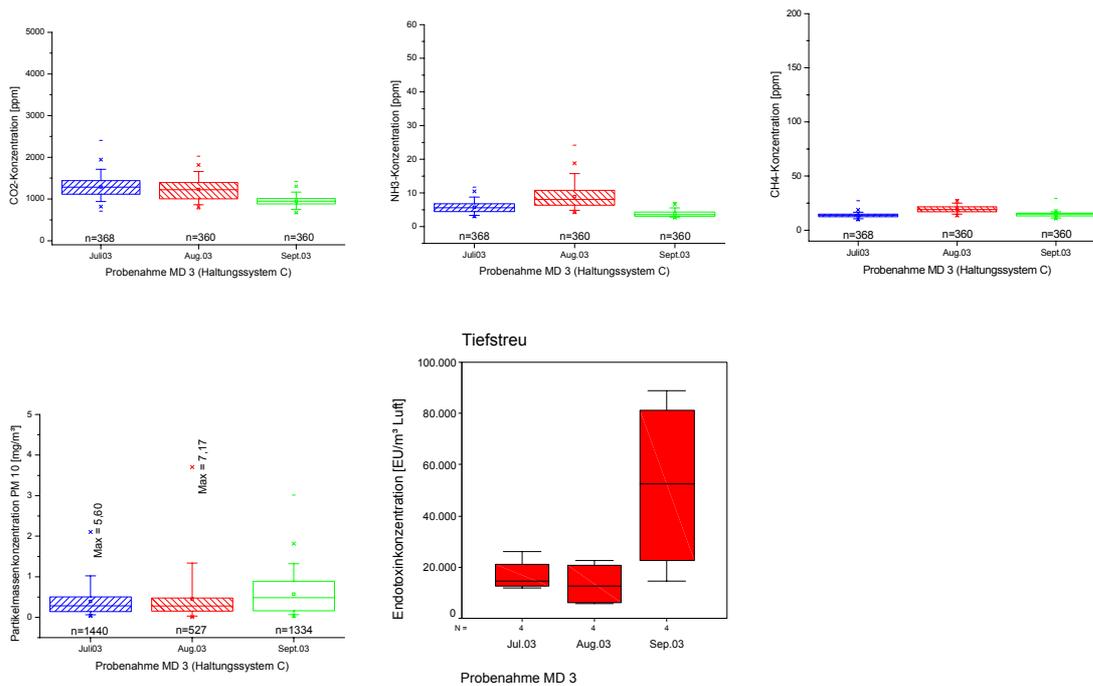


Abbildung 4-5: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem C (Tiefstreu) über den dritten Mastdurchgang

Im Haltungssystem D (Stall nach EU-ÖkoVO) waren in beiden Messzeiträumen die Partikelkonzentrationen nahezu konstant. Dies galt auch für die NH₃-Konzentration im Frühjahr, wohingegen die CO₂- und Endotoxinkonzentration leicht anstiegen. Die CH₄-Konzentration zeigte im selben Zeitraum eine Abnahme zur Mitte des Messzeitraumes hin, gefolgt von einem Anstieg Ende April (Abbildung 4-6)

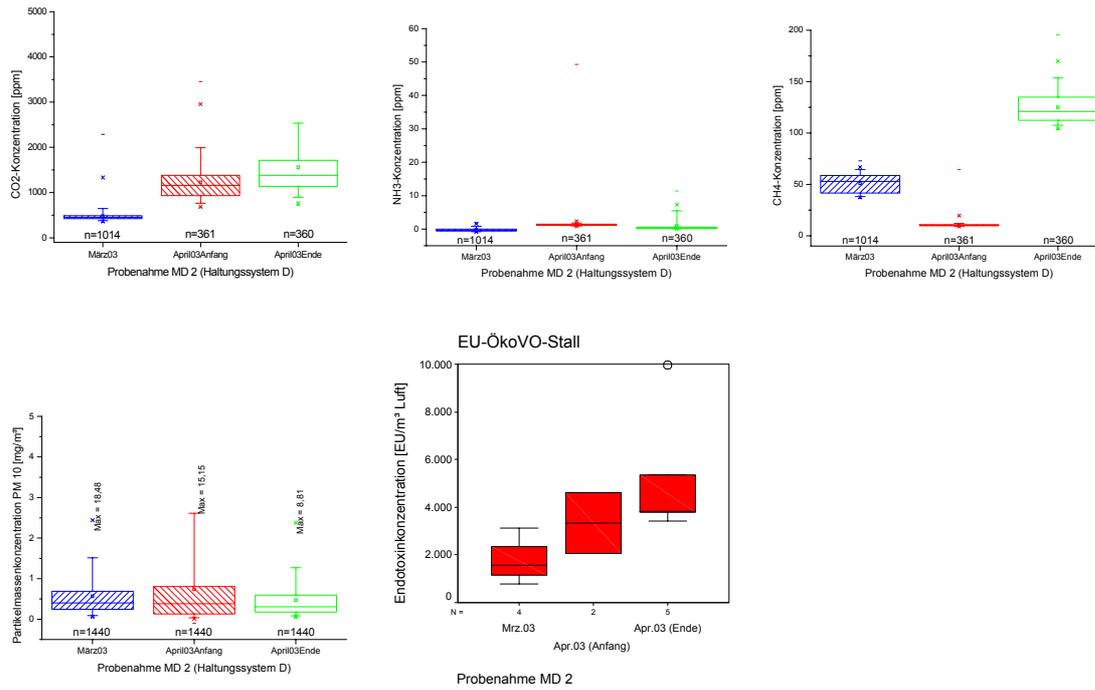


Abbildung 4-6: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM₁₀, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem D (EU-ÖkoVO-Stall) über den zweiten Mastdurchgang

Im Sommer verliefen die Werte von CO₂, NH₃ und Partikeln nahezu konstant, und die CH₄-Konzentration fiel ab. Die Endotoxinkonzentration dagegen stieg leicht an (Abbildung 4-7).

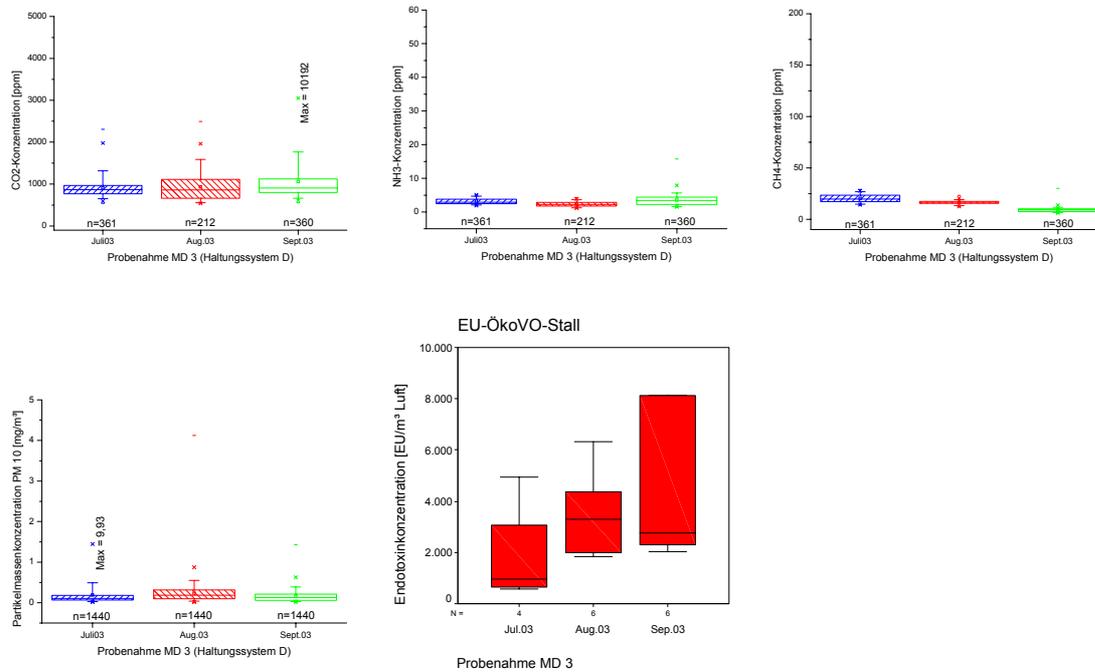


Abbildung 4-7: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO₂, NH₃, CH₄, PM₁₀, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem D (EU-ÖkoVO-Stall) über den dritten Mastdurchgang

In der Regel war in allen untersuchten Haltungssystemen auffällig, dass im Verlauf der jeweiligen Mastdurchgänge bzw. des jeweiligen Messzeitraumes die Endotoxinkonzentrationen stärkere Schwankungen als die Schadgas- und Partikelkonzentrationen aufwiesen.

Sieht man von den Unterschieden in der Konzentration der Endotoxine (stellvertretend für die biologischen Arbeitsstoffe) und den CH₄-Konzentrationen in den betrachteten Haltungssystemen ab, fiel auf, dass die in den verschiedenen Ställen gemessenen Schadgas- und Staubkonzentrationen in der Regel in ähnlicher Höhe lagen. Die höheren Methanwerte sind bei den eingestreuten Ställen aufgrund der erhöhten bakteriellen Stoffwechsel bekannt (RIEGER ET AL., 2004). Die Unterschiede der Endotoxinkonzentrationen im Vergleich der Haltungssysteme und die ungleichen Verläufe über die Mastdurchgänge zeigen, dass die Endotoxinkonzentrationen anderen Einflussfaktoren unterworfen sind, als die Schadgas- und Partikelkonzentrationen bzw. anders auf die bekannten Faktoren reagierten. Für die zwangsbelüfteten Ställe ließ sich klar erkennen, dass die temperaturgesteuerte Lüftung eine ausreichende Kontrolle der erfassten Schadgase und des Staubes erreicht, die Endotoxinkonzentration jedoch nicht ausreichend kontrolliert wurde.

Die großen Unterschiede bei den **personengetragenen Messungen** zwischen den Stallsystemen beruhten zum einen auf dem Unterschied der im Stall durchgeführten Tätigkeiten an sich, zum anderen auf der Intensität der Tätigkeiten: Während der Einstreuvorgang im Tiefstreustall jeweils nicht länger als fünf Minuten in Anspruch nahm und die Strohlagerung in einem Vorraum des Stalles stattfand, dauerte der Einstreuvorgang im EU-ÖkoVO-Stall 20 bis 30 Minuten. Dabei wurde das über den Buchten gelagerte Stroh von oben in die Buchten geworfen, der Landwirt befand sich also dauerhaft an der Expositionsquelle. Dies wird insbesondere in den hohen Schimmelpilzkonzentrationen abgebildet (Abbildung 3-15). Die im Vergleich zu den ökologischen Ställen durchweg niedrigeren Luftkonzentrationen bei den personengetragenen Messungen in den konventionellen Ställen waren in erster Linie darauf zurückzuführen, dass stark Bioaerosol emittierende Tätigkeiten wie Einstreuen (ökologische Ställe) oder manuelles Futternachfüllen (Tiefstreustall) in Verbindung mit stärker schwankenden Luftwechselraten nicht anfielen. Zudem wurde das wöchentliche

Befüllen der Beschäftigungsautomaten in den konventionellen Stallsystemen messtechnisch nicht abgebildet.

Aus dem Vergleich der stationären mit den personengetragenen Messungen wurde insbesondere bei den ökologischen Ställen deutlich, dass je nach Tätigkeitsspektrum die Beschäftigten deutlich höher gegenüber biologischen Arbeitsstoffen exponiert sein können, als dies aus den stationären Messungen ersichtlich wird. Hier zeigt sich also ein weiterer Ansatzpunkt für technischen, organisatorischen und persönlichen Arbeitsschutz (Kapitel 5.1).

Um einen möglichen verstärkenden Einfluss der Außenluft auf die Ergebnisse der Stallmessungen zu erkennen, wurden die erfassten **Referenzwerte** mit den jeweiligen Messwerten der stationären Stallmessungen verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Außenluftwerte in Bezug auf die Schimmelpilzerfassung im konventionellen Stall und im EU-ÖkoVO-Stall einen hohen Anteil hatten. Dies ist vermutlich in der landwirtschaftlichen Nutzung um die Schweineställe (Kuhweiden, Getreideanbau etc.) begründet. Die Anteile der Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft für alle Stallsysteme, und der Bakterien- und Staphylokokkenkonzentration für den Tiefstreu- und den EU-ÖkoVO-Stall an den Stallkonzentrationen lagen auf äußerst geringem Niveau. Die Anteile von *A. fumigatus*, th. Aktinomyzeten und Bacilli konnten nicht bewertet werden, da die meisten Referenz- und viele Stallwerte unter der unteren analytischen Nachweisgrenze lagen.

Bei der Feststellung der Keimlast in den Ställen mittels **Impaktor**proben spiegeln sich in der Tendenz die Ergebnisse der stationären PGP-Messungen wieder: Die Keime, die in den Schweineställen nachweisbar und differenzierbar waren, fanden sich in den vergleichsweise höchsten Konzentrationen im Tiefstreustall.

ZUCKER ET AL. (2000) differenzierten hinsichtlich des Vorkommens von Bakterien der Familie Enterobacteriaceae in Nutztierställen mit Stroheinstreu vorwiegend die Spezies *Enterobacter agglomerans* und in einstreufreien Ställen zumeist *E. Coli*. Dies konnte durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden; beide Enterobacteriaceae-Spezies fanden sich hier in überwiegender Zahl in den eingestreuten Ställen.

Die eindeutigen Unterschiede der **Staub**-Massenkonzentrationen im Vergleich der beiden konventionellen Haltungssysteme zeigte eine höhere Staubbelastung bei Verwendung des Breifütterungssystems. Unklar bleibt allerdings, warum dies nicht zu

Unterschieden beim mikrobiologischen Vergleich der beiden Systeme führte, zumal das im Breifutterautomat verwendete Trockenfutter durchweg wesentlich höher keimbelastet war als das Flüssigfutter. Kann man bei den meisten Bakterien noch davon ausgehen, dass sie im Aerosol absterben, so ist dies in der Regel für Bacilli und Schimmelpilze nicht der Fall.

Im Vergleich der Stallsysteme zeigte sich unter Ausschluss der Extremwerte und Ausreißer bei den kleineren Staubfraktionen nur eine leicht geringere Staubkonzentration beim EU-ÖkoVO-Stall. Da dies bei den personengetragenen Messungen, also in den Momenten der stärksten Staubemission, nicht der Fall war, ist davon auszugehen, dass gleiche Anteile der Staubfraktionen emittiert werden, die kleineren Staubfraktionen im EU-ÖkoVO-Stall aber weniger lange persistierten. Dies kann als weiterer Hinweis auf die gut funktionierende freie Lüftung in diesem System gedeutet werden. Das zeigt sich entsprechend bei der Mittelwertsbetrachtung, ergänzt durch deutlich höhere Werte im EU-ÖkoVO-Stall bei der einatembaren Staubfraktion. Dem optischen Eindruck des Stallgebäudes (starke Staubablagerungen) entsprechend gab es also höhere Emissionen, insbesondere sich in den Extremwerten abzeichnende Expositionsspitzen, die aber durch die Lüftung gut kontrolliert wurden. Auch GALLMANN ET AL. (2002) fanden im standardisierten Vergleich eine bessere Reduktion der Staubkonzentration durch freie Lüftung als bei der Zwangsbelüftung.

Bei Betrachtung der Verläufe über die Mastdurchgänge zeigte sich für alle Stallsysteme, dass die Staubkonzentrationen in der Tendenz die gleichen Verläufe wie die Endotoxinkonzentrationen hatten, die Reaktion auf die Einflussfaktoren aber bei den Endotoxinen wesentlich stärker war. Das zeigt, dass sowohl durch Zwangsbelüftung als auch durch die freien Lüftungen die Staubkonzentrationen besser kontrolliert werden konnten als die Endotoxinkonzentration. Die Staubkonzentration kann also im heterogenen Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung nicht als Marker für die Endotoxinkonzentration herangezogen werden (vgl. auch ZUCKER & MÜLLER, 2000; ZEJDA ET AL., 1994).

Den besonderen Einfluss des Lüftungssystems auf die Staubkonzentration stellt u.a. auch GUINGAND (1999) heraus, wohingegen GUSTAFFSON (1997) den Einfluss aufgrund von gestörter Sedimentation des Staubs als nur gering einstufte.

GUSTAFFSON (1999b) zeigte eine positive Abhängigkeit der Lebendmasse zur einatembaren Staubkonzentration.

Ein Einfluss der mikrobiellen Belastung der **Futtermittel** auf die Konzentration luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe lässt sich nicht eindeutig beschreiben; wie bereits angesprochen, bewirkte die wesentlich höhere Belastung des Trockenfutters im konventionellen Breifütterungsstall bei sogar höheren Staubwerten keine höheren Bioaerosolkonzentrationen im Vergleich zum konventionellen Flüssigfütterungsstall. Zwar konnten beim Flüssigfutter die (gewollt) hohen Werte an Laktobacilli nachgewiesen werden, auch die Konzentrationen an Hefen waren beim Flüssigfutter um den Faktor 10 erhöht, bei den Analysen der Luftproben waren jedoch die Werte beim Breifutter für alle Zielgrößen um einen Faktor von bis zu 1.000 höher als beim Flüssigfutter. Diese Ergebnisse entsprechen tendenziell Beobachtungen von PRELLER ET AL. (1995), die zeigten, dass in Einzelfällen die Flüssigfütterung der Schweine mit höheren Endotoxinkonzentrationen (bei verminderten Staubkonzentrationen) als bei Verwendung von trockenem Futter einherging.

Auch der Einfluss der mikrobiellen Besiedlung des Strohs bleibt unklar: So fanden sich beispielsweise in allen **Stroh**proben hohe Pseudomonadenkonzentrationen, bei den Impaktorproben lagen aber alle erfassten Werte unter der Nachweisgrenze. Allgemein ließen sich im Vergleich der Stallsysteme keine eindeutigen Beziehungen zwischen mikrobieller Besiedelung des Materials und Luftkonzentrationen erkennen. Der Tiefstreustall lag mit seinen Luftkonzentrationen höher als die anderen Stallsysteme, bei den Materialproben lag er aber bei fast allen analysierten Mikroorganismen unter den konventionellen Ställen und auf gleicher Ebene mit dem EU-ÖkoVO-Stall.

Die in der vorliegenden Untersuchung zu erkennenden Einflussfaktoren auf die Staub- und Endotoxinkonzentration entsprechen den in der Literatur beschriebenen Einflussfaktoren. Die folgende Auflistung fasst diese auf der Basis verschiedener Studien zusammen (PRELLER ET AL., 1995; GUSTAFSSON, 1997; 1999; GUINGAND, 1999; GALLMANN ET AL., 2002).

Zu einer Erhöhung der Staubkonzentration führten:

- Tieraktivität
- Tierzahl
- Lebendmasse
- kalte Jahreszeit
- keine freie Lüftung
- geringe Lüftungsrate
- Bodenheizung
- Hygiene
- Trockenfütterung

Zu einer Erhöhung der Endotoxinkonzentration führten in den zitierten Untersuchungen:

- geringe Lüftungsrate
- manuelle Trockenfütterung

Der Einfluss von technischen Minimierungsmaßnahmen wird in Kapitel 5.1.1 ausführlich beschrieben.

4.2.1 Grenzwertdiskussion

Ein Schwerpunkt der Diskussion der erfassten Bioaerosole liegt im Vergleich der Stallsysteme. Da aber in allen Ställen allgemein hohe Werte vorherrschten, müssen die Emissionen auch vor dem Hintergrund des in der BioStoffV formulierten **Minimierungsgebotes** beurteilt werden. Dieses generelle Minimierungsgebot gilt grundsätzlich beim Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen, da es national und international keine anerkannten Grenz- oder Richtwerte am Arbeitsplatz gibt.

Aus dem Gefahrstoffrecht kennt man das Konzept des Schwellenwertes: Wenn der Wert der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK), des biologischen Arbeitsplatztoleranzwertes¹⁴ (BAT) oder der Auslöseschwelle unterschritten ist, so ist im Allgemeinen mit keiner Beeinträchtigung der Gesundheit des Arbeitnehmers zu rechnen. Diese Schwellendosis gibt es bei den biologischen Arbeitsstoffen zurzeit nicht.

Der Grund für ein fehlendes Grenzwertkonzept bei den Biostoffen ist darin begründet, dass derzeit nur für wenige biologische Arbeitsstoffe eine arbeitsmedizinisch-toxikologisch-epidemiologische Wirkungsschwelle abgeleitet werden kann. Für die meisten mikrobiologischen Parameter kann aus verschiedenen Gründen eine exakte Dosis-Wirkungs-Beziehung, etwa für die Sensibilisierung durch Schimmelpilze, nicht angegeben werden (DEININGER, 1998). Im ABAS Beschluss 606 „Biologische Arbeitsstoffe mit sensibilisierender Wirkung“ (ABAS, 2003) wird das derzeitige Fehlen gesundheitsbasierter Grenzwerte für sensibilisierende Stoffe damit begründet, dass momentan keine ausreichenden Untersuchungen vorliegen.

Auch die erforderlichen Infektionsdosen¹⁵ sind nicht immer bekannt (RÜDEN, 1995), oder werden in der Literatur kontrovers diskutiert.

¹⁴ 'Biologisch' bedeutet im Sinne der Gefahrstoffverordnung nicht, dass es sich um biologische Arbeitsstoffe handelt, sondern dass biologische Indikatoren (i.A. Körperflüssigkeiten) zur Beurteilung der Schadstoffexposition herangezogen werden.

¹⁵ Menge an Erregern, die zu einer Infektion führen

Des Weiteren ist die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung von Beschwerden bei Kontakt mit Biostoffen wesentlich stärker von der Konstitution des jeweiligen Beschäftigten abhängig als bei den 'klassischen', durch die Gefahrstoffverordnung abgedeckten Stoffen. Das gilt sowohl inter- als auch intraindividuell. Jedes Individuum hat eine z.T. genetisch festgelegte Allergiedisposition und eine schwankende persönliche Disposition gegenüber einer Infektion (KUTZNER & KEMPF, 1994). Dazu wird die Empfindlichkeit von der jeweiligen Abwehrkompetenz bestimmt, die ihrerseits wiederum äußeren Einflüssen unterliegt.

Als zusätzlicher wichtiger Grund für das Fehlen eines Grenzwertkonzeptes sei die große Heterogenität der Biostoffgemische genannt, wie sie in den meisten Arbeitsbereichen bestehen, wo nach Biostoffverordnung eine nicht gezielte Tätigkeit ausgeübt wird. Die Landwirtschaft ist hierfür ein gutes Beispiel. Keimbelastungen stellen hier eine kumulative allergene, toxische und infektiöse Gesamtgefährdung dar. Das erschwert nicht nur die Voraussage der Wirkungsweise, es bringt auch messtechnische Probleme. Zusätzlich ist die messtechnische Erfassung von Bioaerosolen durch Ungenauigkeiten bei den Nachweisverfahren, durch große Schwankungsbreiten und wechselnde Mischexpositionen erschwert.

Vor dem Hintergrund der aktuell diskutierten gesundheitsbasierten Grenzwerte, die z.T. an einem No-Effekt-Level (NOEL) orientiert sind (Tabelle 4-4), muss weiterhin festgehalten werden, dass die entsprechenden Konzentrationen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung kurz- und mittelfristig technologisch nicht einzuhalten sind.

Bezüglich der Endotoxinexposition wurde die Grenzwertdiskussion auf der Basis des NOEL geführt. Nach **LINSEL & KUMMER** (1998) wurden in der Literatur Werte von 90 EU/m³ Luft bis 1.800 EU/m³ Luft als NOEL angegeben. Als Erklärung für diese große Streuung wurden verschiedene Gründe genannt: Die Expositionsbedingungen der verschiedenen Studien wie auch die Messverfahren (da nicht standardisiert) waren nicht vergleichbar. So ergaben sich auch Probleme bei der Umrechnung und beim Vergleich von Endotoxin-Gewichtskonzentrationen (ng/m³) zu Aktivitätsangaben (EU/m³). Zudem wurden Phänomene wie der Healthy-Worker-Effekt oder Adaptationseffekte in den Untersuchungen nicht berücksichtigt, und die Berechnung des NOEL erfolgte, entgegen einer üblicherweise nichtlinear verlaufenden Dosis-Wirkungsbeziehung, ausschließlich aufgrund linearer statistischer Modelle.

Quellennachweis	biologischer Arbeitsstoff	Luftkonzentration
RYLANDER & SNELLA, 1983 CASTELLAN ET AL., 1987 ANONYMOUS, 1998 DONHAM & CUMBRO, 1999 HEEDRIK & DOOWES, 1999 DECOS* TUC (Grenzwert, Schweden)	Endotoxine	0,1 µg/m ³ 9-100 ng/m ³ 50 EU/m ³ 0,35 EU/m ³ (alveoleng.) 50 EU/m ³ 200 EU/m ³ (ab 2003) 1.000 EU/m ³
DONHAM, 1991 LASI [#] , 1997; 1998	Schimmelpilze	13.000 KBE/m ³ 5.000 KBE/m ³
DONHAM, 1991 MALMROS ET AL., 1992 HERR ET AL., 1999 TUC (Grenzwert, Schweden)	Gesamtkeime	430.000 KBE/m ³ 10.000 KBE/m ³ 10.000 KBE/m ³ 5.000 KBE/m ³
MALMROS ET AL., 1992 HERR ET AL., 1999	gramnegative Bakterien	1.000 KBE/m ³ 1.000 KBE/m ³
DONHAM, 1991 REYNOLDS ET AL., 1998	einatembarer Staub	2,4 mg/m ³ 2,5 mg/m ³
DONHAM & CUMBRO, 1999	alveolengängiger Staub	0,16 mg/m ³

Tabelle 4-4: Literaturbezogene Grenzwertempfehlungen für Bioaerosole (Auswahl)

* Dutch Expert Committee on Occupational Standards

[#] Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik

Nach Anwendung des Regressionsmodells kamen Linsel & Kummer auf der Basis von den entsprechend verlässlichsten Studien (SMID ET AL., 1992 und CASTELLAN ET AL., 1987) zu einem NOEL von 75 EU/m³ für chronische Effekte. HEEDRIK & DOOWES (1999) empfahlen für das niederländische Expertenkomitee für berufsbezogene Normen (DECOS) einen Grenzwert von 50 EU/m³ Luft. Hierin war ein Sicherheitsfaktor 2 berücksichtigt, der dem erhöhten Risiko für empfindliche Beschäftigte gegenüber chronischen Effekten gerecht werden sollte. Dieser Wert wurde im Januar 2003 aufgrund der Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie auf 200 EU/m³ Luft angehoben. In der hier vorliegenden Studie wurde allerdings auch diese Konzentration in allen untersuchten Ställen bei weitem überschritten.

PIPKE fasste 1996 den Erkenntnisstand über den Zusammenhang von Exposition und Wirkung bei Schimmelpilzbelastung wie folgt zusammen:

Exposition	Wirkung
niedrig: < 10 ⁴ KBE/m ³	im Allgemeinen keine
mittel: 10 ⁴ – 10 ⁶ KBE/m ³	gesundheitliche Wirkung bei mehrjähriger Exposition wenig untersucht
hoch: > 10 ⁶ KBE/m ³	gesundheitliche Beeinträchtigung bei hinreichender Expositionsdauer wurde nachgewiesen

Tabelle 4-5: Bewertung der Schimmelpilzexpositionen nach PIPKE (1996)

Er kam zu der Erkenntnis, dass im Bereich der mittleren Expositionen mehrjährige Studien über den Gefährdungsgrad Aufschluss geben müssen. In der vorliegenden Studie sind die stationär gewonnenen Messwerte der Gesamtschimmelpilze in die von Pipke definierte niedrige Expositionskategorie einzuordnen, die personengetragenen Messwerte, insbesondere die in den ökologischen Ställen, dagegen lagen in der mittleren, teilweise auch in der hohen Kategorie. Unabhängig von den aufgestellten Kategorien müssen sensibilisierende Pilzarten beachtet werden. So haben beispielsweise Aspergillen auch in Konzentrationen der als niedrig eingestuften Expositionskategorie ein erhebliches sensibilisierendes Potential. Bei bereits sensibilisierten Personen können Symptome (Asthma, EAA, etc.) bereits bei niedrigsten Konzentrationen auftreten.

Auch in Bezug auf die **Staubemissionen** gilt das Minimierungsgebot der BioStoffV, da es sich bei Stallstaub nicht um inerte, sondern um biogen wirkende Stäube handelt. Um die Staubkonzentrationen in den Ställen in eine Relation setzen zu können, sollen trotzdem die Stallstaubemissionen mit den allgemeinen Staubgrenzwerten aus der TRGS 900 verglichen werden: Die TRGS 900 schreibt bei täglicher achtstündiger Arbeit einen Grenzwert von 10 mg/m³ Luft bei der einatembaren und 3 mg/m³ Luft für die alveolengängige Staubfraktion vor. Die Grenze für den alveolengängigen Staubanteil wurde für alle Stallsysteme bei den stationären Messungen sowie die meisten Messwerte bei den personengetragenen Messungen eingehalten. Bei der einatembaren Fraktion lagen die meisten Messwerte der stationären Messungen unter den vorgeschriebenen 10 mg/m³, bei den personengetragenen Messwerten wurde dieser Wert dagegen bei den meisten Messpunkten aus den ökologischen Ställen weit überschritten. Auch wenn die Aufenthaltsdauern der Landwirte in den betrachteten Mastställen i.d.R. geringer als 8 Stunden pro Tag waren, ist zu betonen, dass der Spitzenbegrenzungswert von 4 bei manuellen Tätigkeiten in den ökologischen Ställen nicht eingehalten wurde.

4.2.2 Technischer Kontrollwert

Nicht als Grenzwert im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung, sondern als Maß des technisch Machbaren wurde mit der Neufassung der TRBA 405 „Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe“ vom Mai 2001 ein **Technischer Kontrollwert** (TKW) eingeführt. Dieser Kontrollwert wird vom ABAS festgelegt und bestimmt eine Konzentration von biologischen Arbeitsstoffen in der Luft bezüglich eines bestimmten Arbeitsbereichs, gegebenenfalls auch eines Verfahrens oder Anlagentyps. Er kann als Summenwert oder bezogen auf Mikroorganismen definiert werden. Der TKW ist an die jeweilige Messstrategie gebunden.

Ausdrücklich wird in der TRBA darauf hingewiesen, dass der Kontrollwert keine Korrelation zwischen der Exposition und den damit verbundenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen liefert. Für die Festlegung des TKW ist neben den arbeitsmedizinischen, toxikologischen und epidemiologischen Erfahrungen der Stand der Technik maßgebend. Darum wird explizit in diesem Zusammenhang auf das Minimierungsgebot aus der Biostoffverordnung verwiesen.

Für Arbeitsbereiche oder Mikroorganismengruppen in der Landwirtschaft existieren derzeit keine technischen Kontrollwerte. Festlegungen scheinen insbesondere für Arbeitsplätze in der Tierproduktion fraglich, da die bei der Arbeit zu erwartenden Werte an luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen einer großen Zahl von Einflussfaktoren unterliegen. Diese machen insbesondere in Zusammenhang mit der großen Schwankungsbreite einen Vergleich und eine Beurteilung bezüglich eines TKW nahezu unmöglich. Es scheint sinnvoller, den Einfluss von baulichen und technischen Maßnahmen in weiteren Untersuchungen zu erfassen und so, gemeinsam mit organisatorischen Maßnahmen, dem Minimierungsgebot der Biostoffverordnung gerecht zu werden.

4.3 Diskussion des Fragebogens

Die Kollektive der ökologischen und der konventionellen Schweinehalter waren bei der Fragebogenerhebung grundsätzlich gut miteinander vergleichbar (Alter, Betriebszugehörigkeit, etc.), deutlich unterschiedlich war nur der wesentlich höhere Anteil Raucher bei den ökologischen Landwirten. Die eindeutigen Unterschiede bei den Angaben zu den Stallcharakteristika, der Tierhaltung und der Arbeitsanamnese sind dagegen charakteristisch für die unterschiedlichen Produktionsformen. So finden sich

bei den ökologischen Tierhaltern mit 181 durchschnittlich wesentlich weniger Schweine als bei den konventionellen mit 2.243 Stück. Die hohe Standardabweichung bei den ökologischen Schweinehaltern machte deutlich, dass auch bei den ökologischen Betrieben einige Bestände mit großen Tierzahlen vorhanden waren (Maximum 1.500 Stück). Die konventionellen Schweinehalter wiesen dagegen fast ausschließlich große Tierbestände auf, mit einer deutlichen Konzentration auf Mast-schweine.

Vergleicht man diese Stückzahlen pro Betrieb mit denen der Agrarstrukturerhebung 2003 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2004), so zeigen sich mit bundesdurchschnittlich 243 Schweinen zum gemeinsamen Durchschnitt von 737 Schweinen bei der Fragebogenerhebung deutliche Unterschiede. Gleiches gilt für die Anzahl der ökologisch produzierten Schweine pro Betrieb (Bundesdurchschnitt 2004: 62 Stück). Bezieht man die Tierzahlen auf die im Fragebogen durchschnittlich angegebene Aufenthaltsdauer im Schweinestall, so ergibt sich für die befragten konventionellen Tierhalter eine im täglichen Durchschnitt wesentlich kürzere Aufenthaltsdauer im Schweinestall (4,5 Sekunden pro Tier und Tag) als für die ökologischen Schweinehalter (41 Sekunden pro Tier und Tag). Dies liegt einerseits an den unterschiedlich großen Tierzahlen pro Betrieb, andererseits an den Tätigkeitsprofilen der Produktionsformen: Tätigkeiten, die nur oder wesentlich häufiger bei den ökologischen Tierhaltern auftraten, waren Einstreuen, Ausmisten und manuelles Füttern. Das bestätigte sich bei der Frage nach Tätigkeiten mit besonders starker Staub- und Geruchsentwicklung. Auch hier zeigte sich, dass die ökologischen Schweinehalter bestimmte Tätigkeiten ausschließlich oder zumindest wesentlich häufiger als die konventionellen Kollegen nannten. Einzige Ausnahme war das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln.

Man erkennt also, dass die konventionellen Schweinehalter aufgrund der größeren Tierbestände längere Aufenthaltsdauern in den Schweineställen haben, aber weniger häufig stark staubende Tätigkeiten ausüben.

Da der durchschnittliche Schweinebestand bei der vorliegenden Stichprobe größer als im Bundesdurchschnitt war, wird – vor dem Hintergrund der mit steigender Bestandsgröße abnehmenden Arbeitszeit pro Tier - in der vorgestellten Befragung die tägliche Aufenthaltsdauer im Stall pro Tier eher unterschätzt.

Der Stellenwert der Atemwegserkrankungen beim befragten Kollektiv entsprach deren Bedeutung im Berufskrankheitengeschehen (Kapitel 1.2). Die Unterschiede bei den Belastungen zwischen den Landwirten beider Kollektive waren gering. Deutliche

Unterschiede zeigten sich nur bei der Frage nach der Jahresprävalenz wiederholter Atemwegsinfekte, einer ärztlich diagnostizierten chronischen Bronchitis und der allgemeinen Prävalenz der Symptome eines ODTs. Diese wurden von den konventionellen Schweinehaltern häufiger angegeben.

Der Einfluss des Raucherstatus auf die Gesundheit der Atemwege war in der vorliegenden Untersuchung sehr gering. Ebenso ließ sich kein klarer Zusammenhang zwischen der Angabe von Atemwegssymptomen und dem Tragen von Atemschutz aufzeigen. Auffällig war, dass selbst bei aktuell bestehender Atemwegserkrankung der regelmäßige Gebrauch von Atemschutz nicht üblich war.

Die Ergebnisse der Erhebung des Arbeitsbewältigungsindex ergaben eine im Durchschnitt als „gut“ kategorisierte Arbeitsfähigkeit für Schweinemäster. Der Unterschied des WAI zwischen den Produktionsgruppen war sehr gering, wenn man die Raucher von der Bewertung ausschloss. Der höhere Anteil an Rauchern bei den ökologisch produzierenden Tierhaltern könnte der Grund für den etwas niedrigeren WAI-Summenscore dieser Gruppe im Vergleich zu den konventionellen Landwirten sein (Unterschied: 2,3 Punkte).

In einer Dresdener Pilotstudie (JACOBI & SEIBT, 2003) wurde der WAI von n=120 Lehrern, n=64 Ärzten, n=156 Büroangestellten, n=68 wissenschaftlichen Mitarbeitern sowie n=35 Angehörigen des medizinisch-technischen Personals erfasst. Die gemittelte Arbeitsfähigkeit bei der Dresdener Stichprobe war 41, entsprach dem Durchschnittswert der hier befragten Schweinewirte (Abbildung 4-8). Allerdings zeigte sich in Dresden bei Männern (25% des Studienkollektivs) eine signifikant höhere Arbeitsfähigkeit. Dieser Geschlechtseffekt war bei den Landwirten gegenläufig, wobei die Gruppe der Schweinehalterinnen mit n=11 sehr klein war. Wie bei den Landwirten konnte auch in der Dresdener Studie ein Abfall des WAI-Wertes bei höherem Lebensalter beschrieben werden. Vergleicht man die WAI-Scores der einzelnen Branchen, so liegen die Landwirte mit den Büroangestellten (41 ± 5) zwischen den beiden Hochschulgruppen (Ärzte: 43 ± 3 ; wissenschaftliche Angestellte: 43 ± 5) und dem medizinisch-technischem Personal (40 ± 5) bzw. den Lehrern (38 ± 6).

Eine weitere deutsche Erhebung des WAI liegt im Rahmen der laufenden Validierung (NÜBLING ET AL., 2004) des Copenhagen Psychosocial Questionnaire (COPSOQ) vor (NÜBLING, 2004). Die Stichprobe (n=2.202) setzte sich zusammen aus (Beschäftigte bzw. Organisation): Stadtverwaltung, Pfarrer/Priester, Lehrer, Hotelbedienstete, div. Krankenhäuser, Berufsfeuerwehr und Rettungskräfte. Das gesamte Kollektiv erreich-

te im Mittel einen WAI von $39,0 \pm 6,2$, liegt also in der Selbsteinschätzung der Arbeitsfähigkeit zwei Punkte unter dem Kollektiv der Schweinehalter.

Abbildung 4-8 zeigt den Vergleich der kategorisierten Arbeitsfähigkeit nach WAI im Vergleich der Schweinehalter mit den Kollektiven der Dresdener Pilotstudie und der COPSOQ-Validierung.

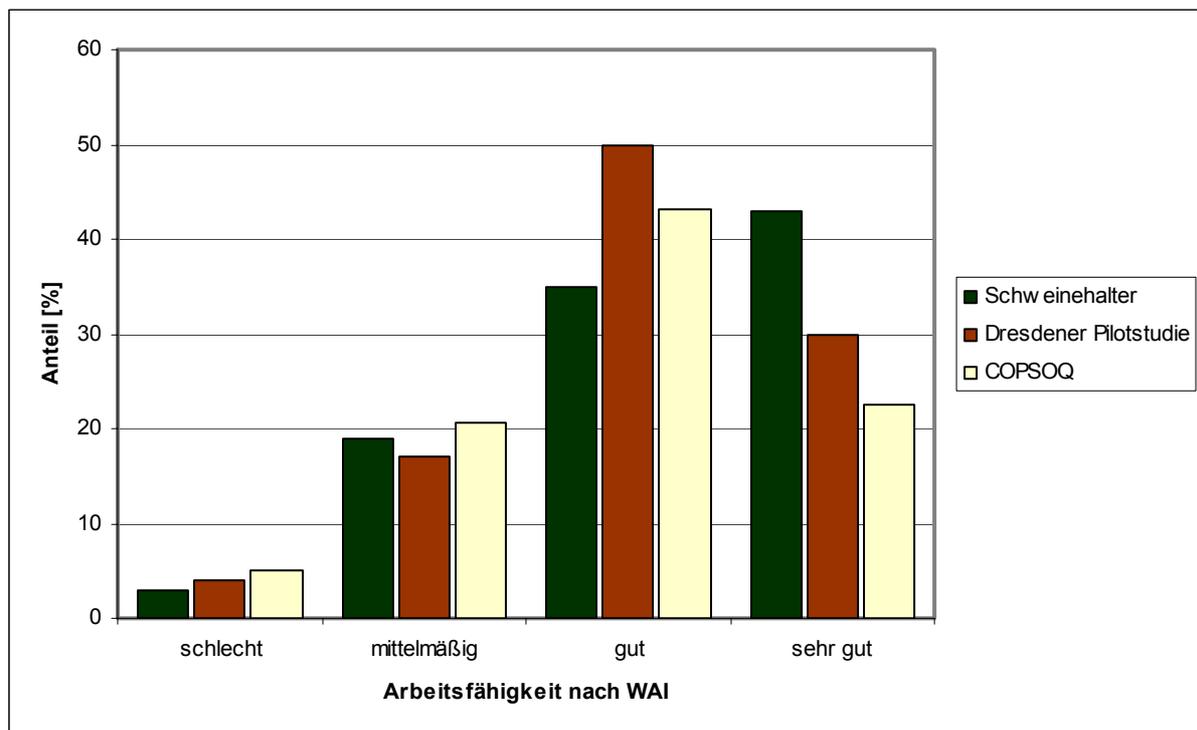


Abbildung 4-8: Vergleich des Arbeitsbewältigungsindex: Schweinehalter, Dresdener Pilotstudie (JACOBI & SEIBT, 2003) und COPSOQ (NÜBLING, 2004)

Ursprünglich waren die Klassifikationsgrenzen des WAI (siehe Kapitel 2.2) in Finnland so angelegt, dass 15% der erfassten Arbeitnehmer in die Kategorie „schlecht“, 15% in die Kategorie „sehr gut“ fielen und die mittleren Kategorien durch den Medianwert geteilt wurden (TUOMI ET AL., 1998). Dem entsprachen weder die in Dresden gewonnenen Daten noch die der Landwirte. Neben der Frage nach einer Anpassung der Klassifikationsgrenzen an deutsche Bedingungen muss über eine branchenspezifische Anpassung der Kategoriengrenzen nachgedacht werden.

Die sowohl in der Erkrankungsliste des WAI als auch über die zusätzlichen Fragen erhobene Prävalenz von Atemwegserkrankungen war zum Teil geringer als vor dem Hintergrund des allgemein in der Literatur (vergl. Kapitel 1.5.1.2) angegebenen Krankheitsgeschehens bei Landwirten bzw. bei Schweinehaltern angenommen wurde (Tabelle 4-6).

Symptome / Erkrankungen	Prävalenz (%)				
	vorliegende Studie			Daten aus der Literatur	
	gesamt	ökologisch	konv.		
trockener Husten	16	19	8	76	Radon et al., 2000
Husten mit Auswurf	23	21	28	25	Varslot et al., 1995
Engegefühl in Brust	10	10	8	53	Andersen et al., 2004
Pfeifen beim Atmen	15	17	11	31 – 69	Andersen et al., 2004;
Atemnot Belastung/Ruhe	8 / 1	10 / 1	5 / 0	4	Varslot et al., 1995
wiederholte Atemwegsinfekte	18	12	36	63	Donham et al., 1984a
chronische Bronchitis	2	0	8	8 – 24	Terho et al., 1987; Andersen et al, 2004
Asthma	4	3	6	4	Subirats Bayego et al., 1994
Symptome ODTS	17	14	25	14 – 36	Bongers et al., 1987; von Essen et al, 1999

Tabelle 4-6: Vergleich der Prävalenz von Atemwegssymptomen – Studienkollektiv und Angaben aus der Literatur

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich das in dieser Studie befragte Kollektiv als vergleichsweise gesund darstellte. Allgemeingültiger zeigte sich dieser Sachverhalt auch beim Vergleich der Arbeitsfähigkeit der erfassten Landwirte mit der von anderen Berufsgruppen (s.o.). Dabei ist zu bemerken, dass sowohl der WAI als auch die sonstige Gesundheitsanamnese des Fragebogens aufgrund einer subjektiven Bewertung der Befragten geschieht. RIEGER (2002) erhob in ihrer Arbeit anhand des Beschwerdebogen nach v. Zeressen den Befund, dass die Landwirte im Vergleich zum Normkollektiv weniger klagsam waren. Dieser Effekt kann bei der Erfassung von Beanspruchungsreaktionen über subjektive Daten zu einer Verzerrung führen. Eine weitere Erklärung kann darin liegen, dass eine erhöhte Symptomprävalenz sich nicht immer in epidemiologischen Studien abbilden, was auch in der Landwirtschaft (MONSO ET AL., 2000) bzw. bei Beschäftigten mit chronischer Bronchitis (RADON ET AL. 2002) auf den sogenannten Healthy-Worker-Effekt zurückgeführt werden kann. Dieser besagt, dass in z.B. Querschnittstudien Verzerrungen bei der Erfassung von Krankheitshäufigkeiten vor allem dadurch auftreten können, dass nur die Probanden ihre exponierende Tätigkeit langjährig ausüben, die nicht unter tätigkeitsbezogenen Krankheitssymptomen leiden.

Die subjektive Wahrnehmung von Belastungen und Beanspruchungen modifiziert auch die Bereitschaft zur Umsetzung persönlicher Arbeitsschutzmaßnahmen. Insbesondere die ökologischen Schweinehalter gaben bei der Charakterisierung ihrer Arbeit sehr häufig „täglich“ für staubende Tätigkeiten (Misten, Einstreuen, manuelles Füttern etc) an, die von ihnen selbst auch in die Kategorie stark staub- und geruchsentwickelnder Tätigkeiten gestellt wurden. Trotzdem gaben speziell die ökologischen

Landwirte nur zu 3% den täglichen Gebrauch von Atemschutz an. Es zeigt sich also deutlich, dass auch bei der Verrichtung stark Staub emittierender Tätigkeiten fast nie Atemschutz getragen wird. Dementsprechend sahen auch nur 10% der ökologischen Schweinehalter auftretende Atemwegsbeschwerden in einem Bezug zur Arbeit.

Grundsätzlich kann man also sagen, dass Landwirte und insbesondere ökologisch wirtschaftende, eine schlechte Wahrnehmung der Gefährdung durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe haben. Bei objektiver Erfassung der Beanspruchung von Tierhaltern (z.B. über Lungenfunktionsanalyse) wurden in der Literatur durchgehend hohe Prävalenzen ermittelt. In der vorliegenden Erhebung ließen sich über die Erfassung subjektiv wahrgenommener Beschwerden vergleichbare Häufigkeiten nicht beschreiben.

Die Arbeitsplätze der ökologischen Schweinehalter zeichneten sich aufgrund der charakteristischen Tätigkeiten durch sehr starke Staubemissionen aus. Die absolute Aufenthaltsdauer im Schweinestall war zwar (aufgrund geringerer Tierzahlen) geringer, dafür wurden im Vergleich zu den konventionellen Schweinehaltern mehr sonstige Tierhaltung und auch mehr Ackerbau betrieben, alles Tätigkeiten die auch mit starken Bioaerosol-Emissionen einher gehen können. Trotzdem ist die Verwendung von Atemschutz nicht alltäglich. Offensichtlich wurde also nicht nur die Beanspruchungs-, sondern auch schon die Belastungsseite nicht sensibel genug wahrgenommen. Hier zeigt sich eine sehr wichtige Angriffsstelle für den Arbeitsschutz.

5 Schlussfolgerung

Grundsätzlich ermöglichten die durchgeführten Stallmessungen eine Beschreibung des Status Quo bezüglich der Höhe und Dynamik biologischer Belastungen in praxistypischen Haltungssystemen für Mastschweine, welche mit und ohne Einstreumaterial betrieben werden. Hierbei zeigte sich, dass die Belastung durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe in allen betrachteten Ställen, unabhängig vom Gebrauch des Einstreumaterials, sehr hoch war. Insbesondere die Endotoxinkonzentration lag zu meist über den in der Literatur beschriebenen Werten. Bei der Literaturrecherche zeigte sich, dass gerade die Endotoxine in Kombination mit anderen toxischen und sensibilisierenden Stoffen für die hohe Zahl von Schweinehaltern mit chronischen Atemwegserkrankungen verantwortlich gemacht werden. Diese hohe Prävalenz an Atemwegserkrankungen konnte in der vorgestellten Fragebogenerhebung allerdings nicht in dem Maß wie in der Literatur beschrieben ermittelt werden.

Die höchsten Endotoxinwerte wurden während der Winter- und Frühjahrmessungen registriert. Am Beispiel des Stalls nach EU-Öko-VO wurde deutlich, dass die gute Abstimmung der baulichen und technischen Gegebenheiten (freie Lüftung über Spaceboards und First, Ausrichtung an der Hauptwindrichtung) sowie die Trennung der Funktionsbereiche (Stallinnenraum: Fressen und Liegen; Stallaußenbereich: Abkoten) zu einer niedrigeren Endotoxinkonzentration im Stall führte als in Ställen ohne getrennte Funktions- bzw. Klimabereiche. Die Bedeutung der Lüftung zeigte sich auch bei Betrachtung der schnelleren Abnahme der Konzentration der kleineren emittierten Staubfraktionen im EU-ÖkoVO-Stall. Diese Staubanteile schienen in geringerem Maße zu persistieren. Allerdings konnte mit der freien Lüftung nicht auf Expositionsspitzen reagiert werden, die sowohl durch den mit den Haltungssystemen einhergehenden Umgang mit Einstreu als auch durch geringere Windgeschwindigkeiten bedingte niedrige Luftwechselraten hervorgerufen wurden. Diese Faktoren waren im Zusammenwirken mit der weniger effektiven freien Lüftung über die Fenster dann auch bestimmend für die deutlich höheren Endotoxinkonzentrationen im Bereich des Tiefstreustalles.

Die bei der Erfassung der tätigkeitsbezogenen Belastungen (personengetragen) ermittelten Konzentrationen an Bioaerosolen lagen immer deutlich höher als die stationär im Stall ermittelten. Dementsprechend muss bei einer Bewertung der Belastung von Landwirten auch immer die mit bestimmten Tätigkeiten assoziierte Aufenthalts-

dauer im Schweinestall berücksichtigt werden. Aus der Fragebogenerhebung ging zwar hervor, dass die tägliche Aufenthaltsdauer der ökologischen Schweinehalter im Stall nicht höher war als die der konventionellen, die Tätigkeiten selbst jedoch (z.B. Einstreuen) gingen aber – wie in den Stallluftmessungen gezeigt werden konnte – mit hohen Belastungen durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe einher.

Zusätzlich sind bezüglich der Tätigkeitsdauern im Schweinestall zu beachten, dass aufgrund der Konzentration der Schweineproduktion die Tierbestände immer größer werden und somit für den einzelnen Landwirt die tägliche Arbeitszeit im Stall ansteigt. Dies gilt insbesondere in Zusammenhang mit dem bundespolitischen Ziel einer Ausweitung der ökologischen Schweinemast, da der Arbeits- und somit Zeitbedarf pro Schwein hier wesentlich höher ist als bei der konventionellen Schweinehaltung.

In diesem Zusammenhang sei auf die Notwendigkeit der in Kapitel 5.1 beschriebenen Arbeitsschutzmaßnahmen hingewiesen.

Beim Vergleich der Bioaerosolkonzentration (beispielhaft Endotoxine) mit den Schadgas- und Staubkonzentrationen wurde deutlich, dass keine eindeutigen Abhängigkeiten zwischen den Schadstoffarten beschrieben werden konnte, d.h., dass den sehr unterschiedlichen Lüftungssystemen gemein war, dass sie Schadgase und Staub, nicht jedoch die Bioaerosolkonzentrationen in ausreichendem Maß kontrollieren konnten.

Die dabei für die Bioaerosole auftretenden Unterschiede zwischen den Stallsystemen legen die Vermutung nahe, dass das Ausmaß der Belastungen nicht ursächlich einem spezifischen Haltungssystem zugeschrieben werden konnte, sondern in erster Linie von dessen individueller Ausgestaltung und der spezifischen Betriebsführung bestimmt wurde. Um die von den Haltungsbedingungen ausgehenden Belastungen für Mensch und Tier einzuschätzen, ist folglich die Klassifizierung in Haltungssysteme, wie sie v.a. im BVT-Konzept verfolgt wurde, von geringer Aussagekraft bzw. müsste weitaus differenzierter erfolgen. Die Untersuchungsergebnisse unterstreichen also die Bedeutung der Ausführung, Dimensionierung und Regelung des Lüftungssystems sowie der Sauberkeit bzw. Hygiene und insbesondere des Betriebsmanagements im Stall hinsichtlich ihrer Schlüsselrolle bei der Freisetzung von luftgetragenen biologischen Schadstoffen. Darüber hinaus scheint eine den Funktionsbereichen und den Bedürfnissen der Tiere entsprechende sowie der Tieraktivität und der Tätigkeit des Stallpersonals angepasste Gestaltung und Regelung des Stallklimas von großer Bedeutung. Hieraus ergeben sich vielfältige verfahrenstechnische Hand-

lungsoptionen, die eine tages-, jahreszeitliche und ereignisorientierte Anpassung der Lüftungs-, Fütterungs-, Entmistungs- und Aufstallungsverfahren an die spezifische Haltungsumwelt unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von Tier und Mensch zum Ziel haben sollten.

In verschiedenen Studien wurden die Produktionsfaktoren differenziert, die das Auftreten von arbeitsbedingten Symptomen bei den Beschäftigten im Schweinestall modifizieren können (PRELLER ET AL., 1995; BONGERS ET AL., 1996; VOGELZANG ET AL., 1996; 1997; 1999; 2000; IVERSEN ET AL., 2000; RADON ET AL., 2000; 2003b). Folgende Faktoren hatten einen negativen Effekt auf die Gesundheit der Atemorgane:

- Anzahl der gearbeiteten Jahre als Schweinehalter
- tägliche Aufenthaltsdauer in Tier-/Schweineställen
- Anzahl der Schweine
- Fehlendes oder schlechtes Lüftungssystem (auch geringe Windgeschwindigkeit bei freibelüfteten Ställen)
- Keine Teil- oder Vollspaltenböden
- Verwendung von Einstreumaterial
- Verwendung von Holzspänen oder Sägemehl als Einstreu
- Automatisierte Fütterung, v.a. Trockenfütterung, Pellets
- manuelle Fütterung
- Verwendung von Desinfektionsmitteln, v.a. quartäre Ammoniumverbindungen, und deren Applikation mit Hochdruck
- Verwendung von Stallheizung

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Faktoren, die zu einer Erhöhung der Bioaerosolkonzentration führen können, decken sich mit den in der Literatur beschriebenen Einflussfaktoren auf die Atemwegsgesundheit. Grundsätzlich ist also ein direkter Einfluss der Produktionsfaktoren auf die Gesundheit der Beschäftigten anzunehmen. Die sich daraus ergebenden Arbeitsschutzmaßnahmen und der aus den gewonnenen Ergebnissen resultierende Forschungsbedarf werden in den folgenden Kapiteln dargestellt

5.1 Arbeitsschutz

Aus dem Vergleich der stationären mit den personengetragenen Messungen wurde insbesondere bei den ökologischen Ställen deutlich, dass je nach Tätigkeitsspektrum die Beschäftigten deutlich höher gegenüber biologischen Arbeitsstoffen exponiert sein können, als dies aus den stationären Messungen ersichtlich wird. Zu nennen sind in dieser Hinsicht Arbeitsgänge wie Einstreuen oder das manuelle Futter-

Nachfüllen und das Ausstallen von Tieren. Aus Sicht des Arbeitsschutzes liegt hier besonderer Interventionsbedarf in dem Sinne, dass sich das in der BiostoffV geforderte Minimierungsgebot sowohl auf den Arbeitsbereich, also den Stall, als auch auf die entsprechend durchgeführten Tätigkeiten bezieht.

Die folgenden Kapitel fassen mögliche technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen bezüglich der Arbeitsbereiche in der Schweinemast und der dort anfallenden Tätigkeiten zusammen.

5.1.1 Rangfolge von Schutzmaßnahmen

Im Arbeitsschutz gibt es das Konzept der Rangfolge von Schutzmaßnahmen, welches unter anderem in der Gefahrstoffverordnung (§19) und in der Biostoffverordnung (§10) Ausdruck findet.

An oberster Stelle der Rangfolge von Schutzmaßnahmen steht die **Vermeidung** der Freisetzung des Biostoffs. Dies kann zum einen durch Substitution des gefährlichen Stoffes durch einen ungefährlichen, zumindest aber weniger gefährlichen geschehen, zum anderen durch eine Gestaltung der Arbeitsverfahren, so dass der Biostoff nicht freigesetzt wird.

Die wichtigsten Quellen für Bioaerosole in der Schweinemast sind:

- die Schweine selbst,
- die Exkremeinte der Schweine,
- die Futtermittel und
- das Einstreumaterial (wenn vorhanden).

Die Schweine selbst kann man selbstverständlich nicht ersetzen, auch die Fäzes nicht. Ein Zusammenhang zwischen der Fütterung und der Fäkalzusammensetzung ist für den Bereich der Schadgase bekannt (z.B. LEONARD, 1990). Ob sich durch die Fütterung auch Einfluss auf die Fäkalzusammensetzung hinsichtlich der Freisetzung von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen nehmen lässt, ist zu prüfen (RIEGER ET AL, 2004).

Für Futtermittel sind staubarme Fütterungsarten zu wählen. Futter ist wesentlicher Staubbildner im Stall. Nach PLINKE ET AL. (1991) sind niedriger Feuchtegehalt, steigende Fallhöhe und hoher Materialfluss die Einflussgrößen, welche das Staubungsverhalten positiv beeinflussen. Trockenfütterung sollte durch Breifütterung bzw. durch Flüssigfütterung ersetzt werden. Eine Verminderung der Staubungsneigung beim Trockenfutter kann auch durch den Zusatz von Öl, Fett oder Lezithin erfolgen (z.B.

LEONARD, 1990; LEHNERT, 2004). Sowohl für Futter als auch für Stroh gilt, dass eine gute Qualität der Materialien die wichtigste Voraussetzung für eine Minimierung der Bioaerosolemissionen ist. Der Feuchtegehalt der Materialien ist dabei sehr eng mit der Kontamination von Mikroorganismen verknüpft. Nach EDUARD (1997) kann es bei Lagerung von Heu, Stroh und Getreide mit einem Feuchtegehalt von über 35% zu einer Selbsterhitzung auf bis zu 65°C kommen. Neben der Gefahr der Selbstentzündung wird unter diesen Bedingungen primär das Wachstum gesundheitsgefährdender thermotoleranter und thermophiler Pilze sowie Aktinomyzeten gefördert.

Die Frage nach der Substitution von Stroh als Einstreumaterial ist aus Sicht des Arbeitsschutzes nicht eindeutig zu beantworten. Bei der Untersuchung verschiedener Einstreumaterialien fanden DIEFENBACH ET AL. (2003) bei der Verwendung von Holzeinstreu die geringsten Emissionen an Endotoxinen und Schimmelpilzen im Vergleich zu verschiedenen Einstreuen aus Stroh, Hanf und Flachs. Allerdings wurde in dieser Untersuchung auch gezeigt, dass das Vermögen der Holzeinstreuen, Flüssigkeiten aufzunehmen nur etwa halb so gut war wie bei den anderen Materialien. Daraus ergibt sich in der praktischen Nutzung häufigeres Einstreuen und Entmisten der Ställe, also eine Zunahme der exponierenden Tätigkeiten. VOGELZANG ET AL. (2000) berichtet diesbezüglich von einem Zusammenhang des Gebrauchs von Hobelspänen als Einstreu in der Schweinemast und entzündlichen Reaktionen der Atemwege bei den Beschäftigten.

Neben der unklaren Frage nach Substitution von Stroh durch andere Einstreumaterialien steht die klare Aussage, dass der Umgang mit Einstreu immer eine Belastung für den Beschäftigten darstellt. Zwar konnte gezeigt werden, dass eingestreute Haltungssysteme nicht grundsätzlich höhere Bioaerosolkonzentrationen bedingen als nicht eingestreute Systeme, jedoch ist der Gebrauch von Einstreu derzeit fast immer mit exponierender Tätigkeit verbunden (manuelles Einstreuen, Entmisten). Zudem ist davon auszugehen, dass der Verzicht auf Einstreu immer eine zusätzliche Verbesserung der Stallluftqualität bedingen würde. Ein Verzicht auf Einstreu ist aus Sicht des Arbeitsschutzes also nach wie vor zu empfehlen.

Wird Stroh gebraucht, so beschrieben BREUM ET AL. (1999) eine Maßnahme zur Minderung der Exposition. Sie zeigten im Experiment, dass gehäckseltes Stroh nach Besprühung mit einer Ligninsulfonat-Lösung ein wesentlich geringeres Staubungsverhalten aufwies. Staub konnte um den Faktor 6 reduziert werden, luftgetragene Schimmelpilze um den Faktor 4 und Endotoxine um den Faktor 3. Nach der luftdich-

ten Lagerung des Strohs für 4 Wochen konnte eine Reduktion um den Faktor 2 für Staub und den Faktor 4 für Endotoxine erreicht werden, die Schimmelpilzkonzentration des behandelten und gelagerten Strohs stieg allerdings um den Faktor 3. Auch HOGAN ET AL. (1999) behandelten unterschiedliche Einstreumaterialien mit drei handelsüblichen Mitteln (alkalischer Conditioner, saurer Conditioner und gelöschter Kalk) und erreichten damit eine Reduzierung der Bakterienkonzentration um den Faktor 2 bis 6. Die Auswirkung auf die Endotoxinkonzentration wurde dabei leider nicht erfasst.

Eine weitere technische Minimierungsmaßnahme besteht in der Vernebelung von Wasser, Öl oder Wasser-Öl-Emulsion in der Luft. Studien beschreiben dabei sehr unterschiedliche Effekte: BARBER ET AL. (1999) konnten mit der Vernebelung von Canolaöl (Rapsart) in Schweineställen eine Verringerung der Staub und Endotoxinkonzentration in der Luft von annähernd 90% erreichen, TAKAI & PEDERSEN (1999) erreichten mit einer Wasser-Öl-Emulsion 50-90% Staubreduktion, NONNENMANN ET AL. (2004) 52% mit Soja- oder Canolaöl. DROST ET AL. (1999) dagegen konnten mit der Vernebelung von Rapsöl oder Wasser nur eine Reduktion des Staubes in Geflügelställen von maximal 12% erreichen. Die Wirkungsweise der Staubreduzierung durch Vernebelung liegt in der Bindung des abgelagerten Staubes im Stall, GUSTAFSSON (1997; 1999a) vermutet aber auch eine Reduzierung der Staubgenerierung von der Haut der Schweine.

Keinen Effekt in der Reduktion der Staubkonzentration im Stall fand GUSTAFSSON dagegen durch die technischen Maßnahmen der elektrostatischen Luftreinigung (siehe auch MÜLLER, 1969) und durch das Staubsaugen im Stall. Einen nur geringen Effekt sieht er für die Staubreduktion durch die Ventilationsrate aufgrund der Staubablagerungen im Stallgebäude. Das entspricht den Ergebnissen der vorliegenden Studie, wie auch der Erkenntnis, dass die Lüftungstechnik verbunden mit der Art des Stallsystems einen weitaus größeren Einfluss auf die Staubkonzentration hat (GUSTAFSSON, 1999b).

Die zentrale Bedeutung des Lüftungssystems als baulich/technische Komponente des Arbeitsschutzes wurde bereits ausführlich diskutiert. Der Stall nach EU-ÖkoVO ist ein Beispiel für eine gut funktionierende freie Lüftung. Eine Minderung der Staubkonzentration bei Schweineställen mit freier Lüftung wurde auch von GALLMANN ET AL. (2002) und Chang et al. (2001) beobachtet. Hinsichtlich der besten Steuerungsme-

thode zur Kontrolle der Konzentration luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe in zwangsbelüfteten Ställen besteht Forschungsbedarf.

Die zweite Stufe der Schutzmaßnahmen bezieht sich auf die **Trennung** der biologischen Arbeitsstoffe und der Beschäftigten. Im Fall der Tierhaltung ist eine grundsätzliche Trennung von den Quellen der Bioaerosole nicht möglich, das würde eine vollmechanisierte Tierhaltung bedeuten. Durch technische und organisatorische Maßnahmen kann aber sowohl die Dauer als auch das Ausmaß der Exposition (s.o.) minimiert werden.

Die vorliegende Studie hat gezeigt, wie eng bestimmte Tätigkeiten im Stall mit einer Bioaerosolexposition einhergehen. Aus Arbeitsschutz-Sicht ist also ein möglichst hoher Technisierungsgrad bezüglich der Fütterung, des Einstreuens und des Entmistens wünschenswert. Dies steht jedoch zumeist im Konflikt zu den wirtschaftlichen Bedingungen im Tierhaltungsbetrieb. So zeigte sich in der Fragebogenerhebung, dass weit mehr als die Hälfte der Schweinehalter manuelle Fütterungsverfahren zumeist mit Trockenfutter verwenden.

Ein gutes Beispiel für den expositionsarmen Umgang mit den tierischen Exkrementen gibt der in dieser Arbeit vorgestellte Stall nach EU-ÖkoVO. Einerseits kombiniert er getrennte Klima- mit getrennten Funktionsbereichen, indem der Kotbereich außerhalb des Stallinnenraumes liegt, andererseits ist die Entmistung im Kotbereich automatisiert. In diesem Stall findet man also sowohl eine geringere personenbezogene Belastung durch den Wegfall der personenbezogenen Exposition beim manuellen Entmisten, als auch eine geringere Grundemission im Stallinnenraum.

Als **organisatorische Maßnahme** ist die Begrenzung der Expositionszeit wie auch die Begrenzung der Anzahl exponierter Personen zu nennen: Bei stark staubenden Tätigkeiten wie Einstreuen oder Reinigungsarbeiten sollten möglichst wenige weitere Beschäftigte im Stall sein. Auch die Reihenfolge der Tätigkeiten sollte so gewählt werden, dass die stark staubenden Arbeitsvorgänge am Ende des Aufenthalts im Stall durchgeführt werden, um der nur langsam abnehmenden Staubkonzentration nicht unnötig ausgesetzt zu sein.

Als zusätzliche organisatorische Maßnahme muss auch die Unterweisung und Information der Beschäftigten verstanden werden. Während Landwirte die meisten mechanischen Gefährdungen wahrnehmen und sich zumeist entsprechend verhalten, muss ein Bewusstsein für die Gefährdungen durch luftgetragene biologische Arbeits-

stoffe in der Landwirtschaft erst noch erzeugt werden. Nur bei Wahrnehmung der Gefährdungen sind die Beschäftigten bereit, die Belastungen im Rahmen ihrer Möglichkeiten zu verringern. Bei landwirtschaftlichen Betrieben mit Angestellten schließt das die Pflicht des Arbeitgebers ein, Unterweisungen aufgrund der Betriebsanweisungen entsprechend BioStoffV §12 durchzuführen und hierbei Verhaltens- und Verfahrensweisen zum risikoarmen Arbeiten sowie den nötigen Gebrauch von Schutzmaßnahmen, einschließlich Hygienemaßnahmen und persönliche Schutzausrüstung, anzusprechen.

In den Bereich organisatorischer Hygiene fällt weiterhin die Trennung zwischen Stall- und Wohnbereich. Durch Kleidungswechsel und Körper-, in jedem Fall aber Handhygiene soll das Verschleppen von Keimen und Bioaerosolen vermieden werden. PASANEN ET AL. (1989) zeigten Hinweise auf die Verschleppung von Pilzsporen aus Kuhställen in Wohnbereiche der Landwirte. Ähnliche Befunde stellten HEUTELBECK ET AL. (2004) in Untersuchungen zur Rinderhaarallergie bei Landwirten vor. In dieser Untersuchung konnte der protektive Effekt einer guten Körperhygiene (Duschen inkl. Haarwaschen) auf den Allergeneintrag in den Wohnbereich und auf die Atemwegssymptomatik gezeigt werden. Während in großen schweinehaltenden Betrieben aus seuchenhygienischen Gründen eine Abtrennung der Stallanlagen von der Umwelt durch einen Schwarzweißbereich gegeben ist, findet diese Trennung in kleineren schweinehaltenden Betrieben nicht statt. Auch hier ist über den Weg der Aufklärung eine Änderung der Verhaltensweise wünschenswert.

Zusammenfassend lassen sich als wichtige Maßnahmen zur Minimierung der Exposition gegenüber luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen nennen:

- gut funktionierendes Lüftungssystem
- getrennte Funktionsbereiche
- gute Stallhygiene (inkl. regelmäßiger Reinigung)
- einstreuarmer oder einstreufreier Haltungssysteme
- gute Futterqualität / Einstreuqualität (wenn eingestreutes System)
- technische Maßnahmen wie das Vernebeln von Öl
- möglichst hoher Automatisierungsgrad anfallender Arbeitsvorgänge
- Minimierung der Aufenthaltsdauer im Stall, insbesondere nach Staubfreisetzen den Tätigkeiten

Erst wenn die oben genannten baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der biologischen Arbeitsstoffe bzw. zur Minimierung der Exposition der Beschäftigten durch biologische Arbeitsstoffe umgesetzt sind, die Minderung sich aber als nicht ausreichend darstellt (Konzentrationen über NOEL), ist

der Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung angeraten. Da die technischen und organisatorischen Minimierungsmaßnahmen in der Praxis aus wirtschaftlichen und praktischen Gründen nicht immer umgesetzt werden können oder keine ausreichenden Maßnahmen existieren, kommt dem Einsatz von Atemschutz als präventive Maßnahme eine besondere Bedeutung zu.

5.1.2 Persönliche Schutzausrüstung – Atemschutz

Wie aus der Fragebogenerhebung deutlich wurde, war der tägliche Gebrauch von Atemschutz trotz täglich anfallenden stark staubenden Tätigkeiten bei den befragten Schweinehaltern weitestgehend unüblich. Selbst das Vorhandensein von Atemwegserkrankungen veranlasste die Landwirte nicht zu einem verstärkten Gebrauch von Atemschutz. RADON ET AL. (2000) bestätigen diese Beobachtung mit einer Befragung von 100 Schweinehaltern, die unter tätigkeitsbezogenen Atemwegsbeschwerden litten, von denen aber nur etwa die Hälfte den regelmäßigen Gebrauch einer Staubmaske bei der Arbeit angaben. RIEGER (2002) zeigte bei einer Befragung von Landwirten, dass den inhalativen Belastungen und v.a. der Möglichkeit von Atemwegsbeschwerden im Vergleich zu den körperlichen Anforderungen und muskuloskelettalen Erkrankungen eine deutlich geringere Bedeutung zugemessen wurde.

Die hohen Belastungen in Schweineställen wurden in der vorliegenden Arbeit ausführlich beschrieben, und auch die atemwegsbezogenen Beanspruchungen sind in der Literatur hinreichend dargestellt (vgl. Kapitel 1.5.1.2). Zusätzlich gibt es in der Literatur Untersuchungen, die eine eindeutige Reduktion der negativen Gesundheitseffekte durch das Tragen von Atemschutz bei Tätigkeiten in Nutztierställen beschreiben (z.B. SENTHILSELVAN ET AL., 1999; BARBER ET AL., 1999; DOSMAN ET AL., 2000).

Nach GefStoffV (§19) muss dem Beschäftigten bei Bedarf (ausdrücklich auch bei der Gefahr allergischer Reaktionen) geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung gestellt werden, diese muss in gebrauchsfähigem, hygienisch einwandfreiem Zustand gehalten werden. Die Arbeitnehmer müssen die zur Verfügung gestellten persönlichen Schutzausrüstungen benutzen, dabei darf das Tragen von Atemschutz keine ständige Maßnahme sein.

Sind die Beschäftigten in der Landwirtschaft überzeugt von der Wichtigkeit des präventiven Gebrauchs von Atemschutz, stellt die richtige Handhabung zumeist noch ein Problem dar. Die sicherheitstechnische, arbeitsmedizinische und berufsgenossen-

schaftliche Betreuung sollte also auch in dieser Hinsicht auf die Landwirte eingehen. Anwendung, Reinigung und Lagerung von Atemschutzgeräten sollte auch Inhalt von Unterweisungen sein.

Da luftgetragene biologische Arbeitsstoffe vor allem partikelgebunden vorkommen, ist in der Regel ein effektiver Schutz durch **partikelfiltrierende Halbmasken (FFP)** möglich. Diese sind zudem vergleichsweise preiswert, und auch vergleichsweise einfach in der Handhabung. Die Norm EN 149: 2001 „Atemschutzgeräte - Filtrierende Halbmasken zum Schutz gegen Partikeln“ fasst die Anforderungen, Prüfungen, Kennzeichnungen zusammen. Die Prüfung der Masken erfolgt mit einem Natriumchlorid-Aerosol (NaCl, Schutz vor Feinstäuben) und mit einem Paraffinöl-Nebel (Schutz vor flüssigen Partikeln). Zusätzlich müssen alle Masken, die für mehr als eine Arbeitsschicht verwendet werden sollen, mit Dolomitstaub getestet werden, um eine mögliche Zunahme des Atemwegswiderstandes durch Staubeinlagerung im Filtermedium zu erfassen. Im Hinblick auf die maximale Filterdurchlässigkeit und die nach innen gerichtete Leckage werden drei Masken-Kategorien unterschieden, wobei Produkte der Kategorie FFP3 einen Schutzfaktor 50 und FFP2-Masken einen Schutzfaktor von 12 aufweisen müssen (Tabelle 5-1).

Kategorie	Maximale Filterdurchlässigkeit		Gesamtleckage	Schutzfaktor	Vielfaches des Grenzwertes nach BGR 190
	NaCl-Aerosol	Paraffinöl-Nebel			
FFP1	20%	20%	22%	4	4
FFP2	6%	6%	8%	12	10
FFP3	1%	1%	2%	50	30

Tabelle 5-1: Partikelfiltrierende Halbmasken – Kategorien nach EN 149:2001

Die BGR 190 „Einsatz von Atemschutzgeräten“ legt fest, dass Masken der Kategorie FFP1 nicht eingesetzt werden dürfen gegen: Tröpfchenaerosole, Partikel krebserzeugender und radioaktiver Stoffe, Mikroorganismen (Viren, Bakterien und Pilze und deren Sporen) und Enzyme. FFP2-Masken dürfen nicht eingesetzt werden gegen: Partikel radioaktiver Stoffe, Viren und Enzyme. Bei Berücksichtigung dieser Vorgaben müssen bei Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen generell partikelfiltrierende Halbmasken der Kategorie FFP3 verwendet werden. Geht man aber davon aus, dass sowohl Viren als auch Enzyme im Stallstaub partikelgebunden vorkommen, kann auch das Tragen von FFP2-Masken als grundsätzlicher Schutz für die Nutztierhaltung propagiert werden. Dabei sollten aber auch eine eventuelle Vorschä-

digung des Beschäftigten oder besonders intensiv staubende Tätigkeiten bedacht werden, die einen höheren Schutz erfordern. Auch spezielle Voraussetzungen der Tätigkeit oder der Personen die den Atemschutz tragen (z.B. Barträger, Brillenträger, Gesichtsanatomie) können eine Auswahl der Art des Atemschutzes bzw. des Fabrikats beeinflussen.

Neben partikelfiltrierenden Halbmasken ist auch der Gebrauch von anderem Atemschutzgerät mit höherer Schutzwirkung und größerem Anwendungsbereich (Gasfiltration) möglich (vgl. berufsgenossenschaftlichen Regel BGR 190). Zu nennen sind hier Vollmasken, Halbmasken und Viertelmasken mit Filtereinsätzen oder gebläseunterstützte Atemschutzgeräte (Atemschutzhelme bzw. -hauben). Hinsichtlich des Minimierungsgebotes der BioStoffV wäre der Gebrauch zwar empfehlenswert, jedoch muss neben der zumeist ausreichenden Wirkung der (FFP"/FFP3) gegen Staub auch immer der Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität von persönlichem Atemschutz gefunden werden.

Bei einem bereits geschädigten Atemsystem aufgrund einer anerkannten Berufskrankheit kommen die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften für die Geräte- und Filterkosten eines gebläseunterstützten Atemschutzgerätes auf. Diese haben den großen Vorteil, dass das vorgeschädigte Atemsystem nicht den Atemwiderstand einer Atemmaske überbrücken muss. Im Gegensatz zu partikelfiltrierenden Halbmasken ist auch keine arbeitsmedizinische Vorsorge nach G26 erforderlich. Im präventiven Bereich sind diese Geräte zwar empfehlenswert, aufgrund hoher Anschaffungs- und Betriebskosten und eines aufwendigen Gebrauchs aber nur schwer zu vertreten.

5.1.3 Sicherheitstechnische und Arbeitsmedizinische Betreuung

Trotz der vielfältigen Möglichkeiten zur Verringerung des Expositionsumfangs bleiben landwirtschaftliche Tätigkeiten in der Nutztierhaltung durch den direkten Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen gekennzeichnet. Aus diesem Grund kommt der Prophylaxe im Hinblick auf Exposition wie auch Disposition jedes einzelnen Beschäftigten in der Landwirtschaft eine besondere Bedeutung zu (RIEGER, 2002). Als wichtige Maßnahmen sind in diesem Zusammenhang die Ermittlung der betrieblichen Gefährdungen, die Beurteilung der sich daraus ergebenden Risiken und die Ableitung und Überprüfung der daraus resultierenden Arbeitsschutzmaßnahmen zu nennen. Entscheidend sind dabei die Unterweisung und Aufklärung der Beschäftigten, in denen

neben Belastungsfaktoren und Erkrankungsrisiken die entsprechenden Schutzmaßnahmen erörtert werden sollen. Diesbezüglich sollte auch die Anleitung zur Umsetzung allgemeiner und spezieller Hygienemaßnahmen nach TRBA 500 und TRBA 230 in Form eines sogenannten Hygienetrainings erfolgen. Diese aufklärenden Maßnahmen sind im Rahmen der sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Betreuung besonders wichtig, da es zur Zeit von den landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften noch keine Regelungen oder Informationsmaterialien zur Gefährdung durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe in ausreichendem Umfang gibt.

Seit Anfang 2002 ist die sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Betreuung von landwirtschaftlichen Betrieben ab einem Angestellten obligat. Die Grundlage hierfür bildet die UVV 1.2 „Sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Betreuung und spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge bei besonderer Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz“.

Die arbeitsmedizinische Vorsorge nach §15 BioStoffV wird in der geplanten TRBA 300 „Arbeitsmedizinische Vorsorge bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen“ und „Anlässe für die Durchführung der arbeitsmedizinischen Vorsorge“ konkretisiert. Sie umfasst die Untersuchung und Beratung der Beschäftigten, ergänzend müssen der Tätigkeit entsprechende Impfungen angeboten werden. Bis zu ihrem Inkrafttreten gelten weiterhin die arbeitsmedizinischen Grundsätze für die arbeitsmedizinische Vorsorge. In Hinblick auf luftgetragene biologische Arbeitsstoffe sind hier die G23 „Obstruktive Atemwegserkrankungen“ und die G42 „Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung“ zu nennen.

Bei den arbeitsmedizinischen Untersuchungen sollte bei Landwirten stets besonderes Augenmerk auf vorbestehende oder neu aufgetretene Beschwerden und Erkrankungen von Seiten der Atemwege oder des Immunsystems gerichtet werden. Einschränkungen im Bereich der Atemwege (z.B. Asthma bronchiale, chronisch obstruktive Bronchitis, klinisch manifeste irreversible bronchiale Hyperreagibilität) oder dauerhafte Einschränkung der cardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit können zur Äußerung dauernder gesundheitlicher Bedenken gegen eine Tätigkeit mit Exposition gegenüber luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen führen (RIEGER, 2002). Abhängig von der Erkrankung ist alternativ eine weitere Berufstätigkeit unter Verwendung von Atemschutz zu erwägen. Hierbei kann es zu einer klinisch und immunologisch fassbaren Besserung der Beschwerden kommen (DOSMAN ET AL., 2000).

5.2 Ausblick

Auf der Basis der bislang vorliegenden Daten muss festgehalten werden, dass die bisher erforschten technischen und organisatorischen Maßnahmen keinen ausreichenden Effekt auf die Konzentration der Bioaerosole haben, um die Gesundheit der Atemwege bei den Landwirten ohne personenbezogene Schutzmaßnahmen sicherzustellen. Grundsätzlich muss dieses Ziel jedoch weiter verfolgt werden, um eine weitere Reduktion der Konzentration luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe im Stall zu erreichen. Der in diesem Zusammenhang stehende Forschungsbedarf ist in Tabelle 5-2 bezogen auf die Quelle des Schadstoffs und seine möglichen Einflussfaktoren zusammengefasst. Wünschenswert wäre weiterhin, dass im Rahmen von Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren bei den landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften eine detaillierte Erfassung der Produktionsfaktoren erfolgt, die in Zukunft die Ableitung von protektiven Faktoren erlauben.

Des Weiteren besteht genereller Forschungsbedarf hinsichtlich der Verwendung von Einstreu. Da die Verwendung von Einstreu aufgrund der Anforderungen im Bereich der ökologischen Tierhaltung nicht verzichtbar ist, und Stroh als Einstreumaterial derzeit insbesondere in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit alternativlos erscheint, wäre eine Untersuchung folgender Einflussfaktoren auf die mikrobielle Strohqualität wünschenswert:

- Getreideart (Roggen, Weizen, Gerste, etc.)
- Anbaubedingungen (z.B. Klima)
- Erntebedingungen
- Lagerungsbedingungen (z.B. Ort, Ballenart)
- Alter des Strohs
- Strohbehandlung

Der interdisziplinäre Ansatz des Forschungsprojektes BÖL02OE615, in dessen Rahmen die Datenerfassung der vorliegenden Stallmessungen durchgeführt wurde, sollte Vorbild für weitere Forschung sein. Die Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsbereiche ermöglicht die Ausrichtung von Forschungsarbeit auf Lösungen von Zielkonflikten (Arbeits-, Tier- und Umweltschutz), wie sie insbesondere in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung bestehen. Damit ist ein effektiver Beitrag für eine umfassende Beratung der Politik hinsichtlich der Implementierung des Arbeitsschutzes in die Vorschriften und Regelungen zur Tierhaltung gegeben, was auch auf diesem Wege den tierhaltenden Landwirten zugute kommt.

Ein direkter Bezug auf die landwirtschaftliche Praxis ist durch Vertreter der Berufsgenossenschaften, die Fachkräfte für Arbeitssicherheit und durch Arbeitsmediziner gegeben. Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit ermöglichen auf Grundlage einer differenzierten Betrachtung von Belastungen und Beanspruchungen und ihrer Einflussfaktoren bei der Schweinehaltung neben Empfehlungen für die sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Vorsorge in landwirtschaftlichen Betrieben eine Beratung zur Minimierung von Belastungsfaktoren. Diese Beratung richtet sich im Rahmen der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und berufsgenossenschaftlichen Betreuung direkt an die Landwirte, sollte aber auch von z.B. Stallausrüstern und landwirtschaftlichen Verfahrenstechnikern in Anspruch genommen werden.

Schadstoff	Quelle	mögliche Einflussfaktoren	Forschungsbedarf
Endotoxine	Tiere – Fäces Einstreumaterial Beschäftigungsmaterial Futter	Funktionsbereiche (z.B. Kotbereiche draußen) Lüftung Futter als modifizierender Faktor für Fäkalzusammensetzung	Evaluation Anpassung / Steuerung der Zwangsbelüftung auf: – Funktionsbereiche – vorherrschendes Klima / Jahreszeit – Tätigkeit im Stall – Kontrolle der Schadstoffe Evaluation freier Lüftungssysteme
Schimmelpilze	Einstreu Beschäftigungsmaterial Futter	Einstreu- und Beschäftigungsmaterial / Futter (Menge, Art, Qualität, System, Lagerung)	Trennung von Funktionsbereichen Einfluss der Einstreumenge auf Freisetzung Zusammenhang von Futter- und Fäceszusammensetzung alternative Einstreumaterialien alternative Beschäftigungsmaterialien
(Bakterien)	Einstreu Beschäftigungsmaterial Futter / Trinkwasser	Einstreu- und Beschäftigungsmaterial / Futter (Menge, Art, Qualität, System, Lagerung)	Managementfaktoren (Rein-Raus-Verfahren vs. kontinuierliche Belegung) Einfluss Stallhygiene Möglichkeiten zur Reduktion von Expositionsspitzen Erforschung/Verbesserung technischer Minimierungsmaßnahmen
Staub	Schwein – Fäces Einstreumaterial Futter Schwein – Haut	Lüftungssystem Verwendung von Einstreu (Menge) Sauberkeit Luftfeuchte	Langzeitwirkung von Endotoxinen auf Lungengesundheit von Schweinen (als Indikator für Mensch), Entwicklung von Nachweismethoden (z.B. BAL, Histologie), Forschung in Beständen mit geringem Infektionsdruck Epidemiologie der Atemwegserkrankungen bei Beschäftigten Vorkommen der Endotoxine (partikelgebunden, frei)

Tabelle 5-2: Forschungsbedarf bezogen auf Quelle des Schadstoffs und seine möglichen Einflussfaktoren (geändert nach RIEGER ET AL., 2004)

Literaturverzeichnis

ABAS (2003): Beschluss des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe 606: Biologische Arbeitsstoffe mit sensibilisierender Wirkung. BArbBI 3/03, 66-68.

ANDERSEN, C.I.; VON ESSEN, S.G.; SMITH, L.M.; SPENCER, J.; JOLIE, R.; DONHAM, K.J. (2004): Respiratory symptoms and airway obstruction in swine veterinarians: A persistent problem (In Process Citation). Am J Ind Med, 46(4), 386.

ANONYMOUS (1998): Vorschlag eines Richtwertes für Endotoxin. Ausschuss für biologische Arbeitsstoffe in Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 58, 23.

ANONYMOUS (2001): Große Allianz für einheitliches Ökosiegel, aus: Pressedienst Nr. 22 des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, <http://www.verbraucherministerium.de/pressedienst/pd2001-22.htm>

ANONYMOUS (2003): Richtwerte für Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz? Diskussion zum Symposium zur Problematik von luftgetragenen Endotoxinen an Arbeitsplätzen, BAuA Berlin am 14. Mai 2003, <http://www.baua.de/info/fachzeit/endotoxine.htm>.

ARBSCHG (1996): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit – Arbeitsschutzgesetz. BGBl I 1996.

BARBER, E.M.; DOSMAN, J.A.; SENTHILSELVAN, A.; KIRYCHUK, S.; WILLSON, P.; RHODES, C.S.; LEMAY, S.; HURST, T.S. (1999): Comparison of Two Strategies for Reducing Exposure of Swine Barn Workers to Dust. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 157-163.

BERUFGENOSSENSCHAFT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE - BG CHEMIE (1992): Sichere Biotechnologie - Eingruppierung biologischer Agenzien: Bakterien. Merkblatt B 006, ZH 1/346.

BGR 190 (2004): Benutzung von Atemschutzgeräten. Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

BIA-ARBEITSMAPPE (2004): BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Expositionsermittlung bei chemischen und biologischen Einwirkungen (Bd. 3). Loseblattsammlung, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Bielefeld:

Kennzahl 9410: Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz 14. Lfg. II/1995.

Kennzahl 9411: Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe. 30. Lfg. IV/2003.

Kennzahl 9420: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz. 30. Lfg. IV/2003.

Kennzahl 9427: Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz – Erster Ringversuch „Schimmelpilze“. 18.Lfg. IV/1997.

Kennzahl 9430: Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz. 18. Lfg. IV/1997 und 32. Lfg. IV/2004.

Kennzahl 9450: Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz. 28. Lfg. IV/2002.

BILIC, V.; HABRUN, B.; BARAC, I.; HUMSKI, A. (2000): Distribution of airborne bacteria in swine housing facilities and their immediate environment. *Arh Hig Rada Toksikol*, 51, 199-205.

BIOSTOFFV (1999): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen - Biostoffverordnung. BGBl I, 1999.

BLB (2004): Geschäftsergebnisse der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften für das Jahr 2002. Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften, Kassel.

BMGS (2004): Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung: Gesetzliche Krankenversicherung – Krankenstand – 1970 bis 2003 und Januar bis August 2004 (Ergebnisse der GKV-Statistik KM1), Stand: 26. August 2004. Zusammenge stellt von Klaus Busch Referat P25.

BONDY, G.S. & PESTKA, J.J. (2000): Immunomodulation by fungal toxins. *JToxicol Environ Health, Part B*, 3, 109-143.

BONGERS, P.; HOUTHUIS, D.; REMIJN, B.; BROUWER, R.; BIERSTEKER, K. (1987): Lung function and respiratory symptoms in pig farmers. *Brit J Ind Med*, 44, 819-823.

BOSSOW, B. (1998): Keimemission bei der Weiterverarbeitung aussortierter Wertstoffe; Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschungsbericht 793, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.

BREUM, N.O.; NIELSEN, B.H.; LYNGBYE, M.; MIDTGÅRD, U. (1999): Dustiness Of Chopped Straw As Affected By Lignosulfonate As A Dust Suppressant. *Ann Agric Environ Med*, 6, 133-140.

BURGE, H.A. (1995): Airborne contagious disease. In: *Bioaerosols*, H.A. Burge (Hrsg.), CRC Press, Boca Raton, USA, 25-47.

CARVALHEIRO, M.F.; PETERSON, Y.; RUBENOWITZ, E.; RYLANDER, R. (1995): Bronchial reactivity and work-related symptoms in farmers. *Am J Ind Med*, 27, 65-74.

CASTELLAN, R.M.; OLENCHOCK, S.A.; HANINSON, J.L.; MILLNER, P.D.; COCKE, J.B.; BRAGG, C.K.; PERKINS, H.H.; JACOBS, R.R. (1984): Acute bronchoconstriction induced by cotton dust: dose-related responses to endotoxin and other factors. *Ann Int Med*, 101, 157-163.

CASTELLAN, R.M.; OLENCHOCK, S.A.; KINSLEY, K.B.; HANKINSON, J.L. (1987): Inhaled Endotoxin and decreased spirometric values. *New Engl J Med*, 317, 605-610.

CHANG, C.W.; CHUNG, H.; HUANG, C.F.; SU, H.J.J. (2001): Exposure Assessment to Airborne Endotoxin, Dust, Ammonia, Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide in Open Style Swine Houses. *Ann occup Hyg*, 45, 457-465.

CORMIER, Y.; DUCHAINE, C.; ISRAEL-ASSAYAG, E.; BEDORD, G.; LAVIOLETTE, M.; DOSMANN, J. (1997): Effects of repeated swine building exposures on normal naive subjects. *Eur Resp J*, 10, 1516-1522.

CORMIER, Y.; ISRAEL-ASSAQAG, E.; RACINE, G.; DUCHAINE, C. (2000): Farming practice and the respiratory health risks of swine confinement buildings, *Eur Respir J*, 15, 560-565.

- COX C.S. (1995):** Physical aspects of bioaerosol particles. In: *Bioaerosols Handbook*, C.S. Cox and C.M. Wathes (Hrsg.), CRC Press, Boca Raton, USA, 15-25.
- DANNEBERG, G.; DRIESEL, A. J.; THELEN, R. (1999):** KAN-Bericht 13: Mikroorganismen in der Arbeitsplatzatmosphäre – Aktinomyceten. St. Augustin, ISBN 3-88383-517-X.
- DEININGER, C. (1998):** Grenz- und Richtwertekonzeption für biologische Arbeitsstoffe. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 48, 446-449.
- DIEFENBACH, H. (2001):** Gefährdungsbeurteilung für den Bereich der Müllsammlung bei den Entsorgungsbetrieben Solingen. Studienarbeit im Fachbereich Sicherheitstechnik, Fachgebiet Arbeitsphysiologie, Arbeitsmedizin und Infektionsschutz an der Bergischen Universität GH Wuppertal.
- DIEFENBACH, H. (2002):** Biologische Belastungen bei der Kanalreinigung – Vergleich der Hochdruckspülverfahren – Gefährdungsbeurteilung. Diplomarbeit im Fachbereich Sicherheitstechnik, Fachgebiet Arbeitsphysiologie, Arbeitsmedizin und Infektionsschutz an der Bergischen Universität GH Wuppertal.
- DIEFENBACH, H.; RIEGER, M.A.; LOHMEYER, M. (2003):** Untersuchung des Staubungsverhaltens verschiedener Einstreumaterialien im standardisierten Experiment. In: von Restorff, W. (Hrsg.): 7. Symposium Arbeitsphysiologie für Nachwuchswissenschaftler, Koblenz, 16.
- DIN EN 13098 (2001):** Arbeitsplatzatmosphäre – Leitlinie für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxinen in der Luft. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 14031 (2003):** Arbeitsplatzatmosphäre – Bestimmung von luftgetragenen Endotoxinen. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 149 (2001):** Atemschutzgeräte - Filtrierende Halbmasken zum Schutz gegen Partikel. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 481 (1993):** Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 18908 (1992):** Fußböden für Stallanlagen. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 18910 (2003):** Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene, zwangsbelüftete Ställe. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin.
- DONHAM, K.J.; LEININGER, J.R. (1984):** Animal studies of potential chronic lung disease of workers in swine confinement buildings. *Am J Vet Res*, 45, 926-931.
- DONHAM, K.J.; ZAVALA, D.C.; MERCHANT, J.A. (1984a):** Respiratory symptoms and lung function among workers in swine confinement buildings: A cross-sectional epidemiological study. *Arch Environ Health*, 39, 96-101.
- DONHAM, K.J.; ZAVALDA, D.C.; MERCHANT, J.A. (1984b):** Acute effects of the work environment on pulmonary functions of swine confinement workers. *Am J Ind Med*, 5, 367-375.
- DONHAM, K.J.; SCALLON, L.J.; POPENDORF, W.; TREUHAF, M.W.; ROBERTS, R.C. (1986):** Characterization of dust collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J*, 47, 404-410.

DONHAM, K.; HAGLIND, P.; PETERSON, Y.; RYLANDER, R.; BELIN, L. (1989): Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings, *Brit J Ind Med*, 46, 31-37.

DONHAM, K.J. (1991): Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. *Am J Vet Res*, 52, 1723-1730.

DONHAM, K.J., REYNOLDS, S.J., WHITTEN, P., MERCHANT, J.A., BURMEISTER, L., POPENDORF, W.J. (1995): Respiratory dysfunction in swine production facility workers: Dose response relationships of environmental exposures and pulmonary function. *Am J Ind Med*, 27, 405-418.

DONHAM, K.J. & CUMBRO, D. (1999): Setting maximum dust exposure levels for people and animals in livestock facilities. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 93-110.

DOSMAN, J.A.; SENTHILSELVAN, A.; KIRYCHUK, S.P.; LEMAY, S.; BARBER, E.M.; WILLSON, P.; CORMIER, Y.; HURST, T.S. (2000): Positive human health effects of wearing a respirator in a swine barn. *Chest*, 118, 852-860.

DROST, H.; BEENS, N.; DOLEHGHS, B.; ELLEN, H.; OUDE VRIELINK, H.H.E. (1999): Is fogging of water or oil effective in reducing dust concentrations in poultry houses? International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 231-236.

DUCHAIINE, C.; GRIMARD, Y.; CORMIER, Y. (2000): Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *AIHAJ*, 61, 56-63.

EDUARD, W. (1997): Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture. *Ann Agric Environ Med*, 4, 179-186.

EDUARD, W.; DOUWES, J.; MEHL, R.; HEEDERIK, D.; MELBOSTAD, E. (2001): Short term exposure to airborne microbial agents during farm work: exposure-response relations with eye and respiratory symptoms. *Occup Environ Med*, 58(2), 113-118.

EG-ÖKO-VERORDNUNG (2003): Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel (ABl. Nr. L 198 vom 22.07.1991, S. 1); Fortgeschriebene, nicht amtliche Fassung, Stand: Februar 2003.

ESSEN, VON S. (1997): The role of endotoxin in grain dust exposure and airway obstruction. *Curr Opin Pulm Med*, 3, 198-202.

ESSEN, VON S.; SCHEPPERS, L.A.; ROBBINS, R.A.; DONHAM, K.J. (1998): Respiratory tract inflammation in swine confinement workers studied using induced sputum and exhaled nitric oxid. *J Toxicol Clin Toxicol*, 36, 557-565.

ESSEN, VON S.; FRYZEK, J.; NOWAKOWSKI, B.; WAMPLER, M. (1999): Respiratory symptoms and farming practices in farmers associated with an acute febrile illness after organic dust exposure. *Chest*, 116(5), 1452-1458.

EU-RL 91/630 (1991): 91/630/EWG – Richtlinie des Europäischen Rates über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen. A Bl. L 340 vom 11.12.1991, 33; Änderung vom 12.6.2001.

EUROSTAT (2003): Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe; Erhebung 1999/2000. Eurostat, Luxemburg.

FAOSTAT (2004): Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases – FAOSTAT. Letztes Update Februar 2004: <http://apps.fao.org/faostat/>.

FLÜCKIGER, B.; KOLLER, T.; MONN, C. (2000): Comparison of airborne spore concentrations and fungal allergen content. *Aerobiologia*, 16, 393-396.

GALLMANN, E.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T. (2002): Comparison of the indoor dust concentration between two different housing and ventilation systems for fattening pigs. Landbauforschung Völknerode SH PM-Conference 3.-4. 6.2002.

GATZKA, E. M.; SCHULZ, K.; INGWERSEN, J. (2003): Schweineproduktion 2002 in Deutschland. Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e.V. (ZDS), Bonn, ISSN 0179 – 1001.

GOSE, M. (2004): Persönliche Mitteilung. Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften, BLB.

GUINGAND, N. (1999): Dust Concentrations in Piggeries: Influence of Season, Age of Pigs, Type of Floor and Feed Presentation in Farrowing, Post-Weaning and Finishing Rooms. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 69-75.

GUSTAFSSON, G. (1997): Investigations Of Factors Affecting Air Pollutants In Animal Houses. *Ann Agric Environ Med*, 4, 203-215.

GUSTAFSSON, G. (1999a): Measures Against Dust in Pig Houses. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 244-252.

GUSTAFSSON, G. (1999b): Factors affecting the Release and Concentration of Dust in Pig Houses. *J agric Engng Res* 74, 379-390.

HAHLEN, J. (2004): Pressekonferenz „Landwirtschaft in Deutschland 2003 – Aktuelle Ergebnisse der Agrarstatistik“ 21. Januar 2004. Statistisches Bundesamt Deutschland, Wiesbaden <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2004/p0341141.htm>.

HAHN, H.; FALKE, D.; KAUFMANN, S.; ULLMANN, U. (HRSG.) (2001): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin.

HARLEY, L. (2004): Erhebung über den Schweinebestand im Frühjahr 2003 und Produktionsabschätzung für 2004. *Landwirtschaft und Fischerei*, Thema 5 – 5/2004, ISSN 1562-1359, 1.

HARTUNG, J. (1994): The effect of airborne particulates on Livestock health and production. In: *Pollution in Livestock Production Systems*. Ap Dewi, I.; Axford, R.F.E.; Marai, I.F.M.; Omed, H. (eds.), CAB International, Wallingsford, UK: 55-69.

HARTUNG, J. (1998): Art und Umfang der von Nutztierställen ausgehenden Luftverunreinigungen. *Dtsch tierärztl Wschr* 105, 213-216.

HEEDERIK, D.; VAN ZWIETEN, R.; BROUWER, R. (1990): Across-shift lung function changes among pig farmer. *Am J Ind Med*, 17, 57-58.

- HEEDERIK, D., BROUWER, R., BIERSTEKER, K., BOLEIJ, J. (1991):** Relationship of airborne endotoxin and bacteria levels in pig farms with the lung function and respiratory symptoms of farmer, *Int Arch Occup Environ Health*, 62, S. 595-601.
- HEEDERIK, D. & DOUWES, J. (1999):** Gesundheitsbasierte Expositionsgrenzwert-Empfehlungen für Endotoxine. BGFA-Info Mai-Ausgabe (1/1999), 4 – 6.
- HENDERSON, B.; POOLE, S.; WILSON, M. (1998):** Lipopolysaccharid: Structure and function, in: *Bacteria-Cytokine Interactions in Health and Disease*, Portland Press Ltd., London – Miami, 143.
- HERR, C.; BITTIGHOFER, P.M.; BÜNGER, J.; EIKMAN, TH.; FISCHER, A.B.; GRÜNER, CH.; IDEL, H.; ZUR NIEDEN, A.; PALMGREN, U.; SEIDEL, H.-J.; VELCOVSKY, H.-G. (1999):** Wirkung von mikrobiellen Aerosolen auf den Menschen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 59, 229-239.
- HEUTELBECK, A.; JANICKE, N.; BICKEBÖLLER, H.; KUTTING, B.K DREXLER, H.; HAL-LIER,E. (2004):** Epidemiologische Untersuchung zum Präventionsbedarf bei Rinderhaarallergikern in Deutschland. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 39, 228
- HOGAN, J.S.; BOGACZ, V.L.; THOMPSON, L.M.; ROMIG, S.; SCHOENBERGER P. S.; WEISS, W.P.; SMITH, K.L. (1999):** Bacterial counts associated with sawdust and recycled manure bedding treated with commercial conditioners. *J Dairy Sci*, 82(8), 1690-1695.
- HOLNESS, D.L.; O´BLENIS, E.L.; SASS-KORTSAK, A.; PILGER, CH.; NETHERCOTT, J.R. (1987):** Respiratory effects and dust exposures in hog confinement farming. *Am J Ind Med*, 11, 571-580.
- HURST, T.S. & DOSMAN, J.A. (1990):** Characterization of health effects of grain dust exposures. *Am J Ind Med*, 17, 27-32.
- IVERSEN, M.; DAHL, R.; KORSGAARD, J.; HALLAS, T.; JENSEN, E.J. (1988):** Respiratory symptoms in danish farmers: An epidemiological study of risk factors. *Thorax*, 43, 872-877.
- IVERSEN, M.; KIRYCHUK, S.; DROST, H.; JACOBSON, L. (2000):** Human health effects of dust exposure in animal confinement buildings. *J Agric Saf Health*, 6(4), 283-8.
- IVERSEN, M. & DAHL, R. (2000):** Working in swine-confinement buildings causes an accelerated decline in FEV1: a 7-yr follow-up of Danish farmers. *Eur Respir J*, 16, 404-408.
- JACOBI, M. & SEIBT, R. (2003):** Beurteilung der Arbeitsfähigkeit mittels Work Ability Index – eine Pilotstudie aus Dresden. *Tagungsband d. 7. Symposiums Arbeitsphysiologie für Nachwuchswissenschaftler*, 24.
- JOLIE, R.; BÄCKSTRÖM, L.; THOMAS, C. (1998):** Health Problems in Veterinary Students After Visiting a Commercial Swine Farm. *Can J Vet Res*, 62, 44-48.
- KIRYCHUK, S.; SENTHILSELVAN, A.; DOSMAN, J.A.; ZHOU, C.; BARBER, E.M.; RHODES, C.S.; HURST, T.S. (1998):** Predictors of longitudinal changes in pulmonary function among swine confinement workers. *Can Respir J*, 5, 472-478.
- KLAUK, E. (1984):** Belastungen und Beanspruchungen bei Tätigkeiten in der Abwasserentsorgung. Dissertation an der Fakultät für theoretische Medizin der Universität Ulm; 143.
- KLEMME, JAN (2004):** Gefährdungsbeurteilung der Tätigkeit von Landwirten in der Schweinemast. Studienarbeit im Fachbereich D, Abteilung Sicherheitstechnik, Fach-

gebiet Arbeitsphysiologie, Arbeitsmedizin und Infektionsschutz der Bergischen Universität Wuppertal.

KONIEZTKO, J. (2001): Arbeitsbedingte Erkrankungen – Ätiologie, Diagnose, Therapie, Handbuch für die ärztliche Praxis. ecomed, Landsberg, 81-82.

KTBL (2001): Erstellung eines Gutachtens für einen deutschen Beitrag zur Vollzugsvorbereitung zur Umsetzung der IVU-Richtlinie für den Bereich Intensivtierhaltung, UBA Vorhaben FKZ 360 08 001, Entwurf Stand November 2001.

KUTZNER, H.J. & KEMPF, A. (1994): Emission von Bakterien (an verschiedenen Arbeitsplätzen) in Kompostwerken und anderen Müll verarbeitenden Anlagen. 5. Hohenheimer Seminar - Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen, 5. - 6.10.1994 in Stuttgart-Hohenheim, 113 – 127.

LARSSON, K.A.; EKLUND, A. G.; HASSON, L.O.; ISAKSSON, B. M.; MALMBERG, P.O. (1994): Swine dust causes intense airways inflammation in healthy subjects, *Am J Respir Crit Care Med*, 150, 973-977.

LASI – LÄNDERAUSSCHUSS FÜR ARBEITSSCHUTZ UND SICHERHEITSTECHNIK (1997): LV 13 - Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen, Eigenverlag, Wiesbaden.

LASI – LÄNDERAUSSCHUSS FÜR ARBEITSSCHUTZ UND SICHERHEITSTECHNIK (1998): LV 15 - Leitlinien für den Arbeitsschutz in Abfallbehandlungsanlagen, Eigenverlag, Wiesbaden.

LEHNERT, H. (2004): Vorsicht Stallstaub: Schützen Sie Ihre Lunge. *top agrar*, 2, 14-17.

LEONARD, S. (1990): Good (Hog) Housekeeping. *National Hog Farmer: Your Health – The Risk of Confinement*. Spring, 32-37.

LINSEL, G. & KUMMER, B. (1998): Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 58 (7/8), 281- 286.

LINSEL, G. (2001): Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkung. Beitrag für den Workshop "Sicherer Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen und Zytostatika" am 12./13.03.2001 in Braunschweig, <http://www.baua.de/info/fachzeit/bioaerosol.pdf>.

LINSEL, G.; DIERING, C.; DUGGAL, S.; HARTUNG, J.; KOCH, A.; KOTTMAIR, A.; LOHMEYER, M.; SCHIERL, R.; WEIST, K.; ZUCKER, B.-A. (2002): Ergebnisse eines Ringversuchs zur Messung luftgetragener Endotoxine. *VDI-Bericht Nr. 1656*, 329-339.

LOHMEYER, M. (2001): Messungen Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft. Script zum Vortrag beim 41. arbeitsmedizinischen Seminar am 10.1.2001 an der BUGH Wuppertal, persönliche Mitteilung.

LOHMEYER, M. (2004): persönliche Mitteilung.

LOUHELAINEN, K.; VILHUNEN, P.; KANGAS, J.; TERHO, E.O. (1987): Dust exposure in piggeries. *Eur J Resp Dis*, 71, Suppl. 152; 80-90.

LUNDHOLM, M. & RYLANDER, R. (1983): Work related symptoms among sewage workers. *British J of Ind Med*. 40, 325–329.

MAGAROLAS, R.; MONSO, E.; AGUILAR, X.; RADON, K.; NOWAK, D.; MARTINEZ, C; MORERA, J. (2000): Prevalencia y factores de riesgo de sintomas respiratorios en la agricultura y la ganaderia. *Med Clin* , 114, 685-689.

- MALMBERG, P.; LARSSON, K. (1993):** Acute exposure to swine dust causes bronchial hyperresponsiveness in healthy subjects. *Eur Resp J*, 6, 400-404.
- MALMROS, P.; SIGSGAARD, T.; BACH, B. (1992):** Occupational Health Problems Due to Garbage Sorting. *Waste Mangement Research*, 27, 227-234.
- MANFREDA, J.; HOLFORD-STREVEVS, V.; CHEANG, M.; WARREN, C.P.W. (1986):** Acute Symptoms Following Exposure to Grain Dust in Farming. *Environ Health Persp*, 68, 81-82.
- MELBOSTAD, E.; WIJNAND, W.; MAGNUS, P. (1998):** Determinants of asthma in a farming population. *Scand J Work Environ Health*, 24, 262-269.
- MONSO, E.; MAGAROLAS, R.; RADON, K.; DANUSER, B.; IVERSEN, M.; WEBER, C.; OPRAVIL, U.; DONHAM, K.J.; NOWAK, D. (2000):** Respiratory Symptoms of obstructive lung disease in European crop farmers. *Am J Respir Crit Care Med*, 162, 1246-1250.
- MÜLLER, W. (1969):** Untersuchungen über die mögliche Beeinflussung des Keimgehaltes der Stallluft durch Ionisation. *Wien tierärztl Mschr* 56(4),150-151.
- MUTIUS, VON E. & NOWAK, D. (2000):** Epidemiologische und sozialmedizinische Aspekte des Asthma bronchiale im Kindes- und Erwachsenenalter, Petermann, F., Warschburger, P. (Hrsg.): *Asthma bronchiale*, Hogrefe – Verlag für Psychologie, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle, 35-64.
- NONNENMANN, M.W.; DONHAM, K.J.; RAUTIAINEN, R.H.; O´SHAUGHNESSY, P.T.; BURMEISTER, L.F.; REYNOLDS, S.J.(2004):** Vegetable oil sprinkling as a dust reduction method in swine confinement. *J Agric Saf Health* 10(1), 7-15.
- NOWAK, D.; DENK, G.; JÖRRES, R.; KIRSTEN, D.; WIEGAND, B.; HARTUNG, J.; KOOPS, F.; SZADKOWSKI, D.; MAGNUSSEN, H. (1994):** Entzündungsreaktion in der Nasenlavage nach Provokation mit Stallstäuben unterschiedlichen Endotoxingehalts. In: Kessel, R.: 34. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Wiesbaden, 16.-19.05.1994, Gentner-Verlag, Stuttgart, 483-485.
- NOWAK, D.; SCHOTTKY, A.; GARZ, S.; KOOPS, F.; LUCZYNSKA, C.; HARTUNG, J.; SZADKOWSKI, D. (1997):** Belastung und Beanspruchung des Atemtrakts bei Schweinehalten mit arbeitsplatzbezogeneren Atembeschwerden. Tagungsband der 37. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin (DGAUM). Fulda; Rindt Druck, 233-237.
- NOWAK, D.; GARZ, S.; SCHOTTKY, A. (1998):** Zur Bedeutung von Endotoxinen für obstruktive Atemwegserkrankungen im Bereich der Landwirtschaft. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed*, 33, 233-240.
- NÜBLING, M; STÖSSEL, U.; HASSELHORN, H.-M.; MICHAELIS, M.; HOFMANN, F. (2004):** Mitarbeiterbefragung zu psychosozialen Belastungen in Betrieben – Das Befragungsinstrument COPSOQ. *Arbeitsmedizin im Gesundheitsdienst*, 17, 227-241.
- NÜBLING, M. (2004):** Zwischenergebnisse der deutschen COPSOQ Erprobungsstudie. Persönliche Mitteilung von M. Nübling, FFAS.
- ORZEL, Y. (2001):** Gefährdungsbeurteilung nach BioStoffV für die Müllverbrennungsanlage Solingen. Studienarbeit im Fachbereich Sicherheitstechnik, Fachgebiet Arbeitsphysiologie, Arbeitsmedizin und Infektionsschutz an der Bergischen Universität GH Wuppertal.
- O´SULLIVAN, S.; DAHLEN, S.E.; LARSSON, K.; LARSSON, B.M.; MALMBERG, P.; KUMLIN, M.; PALMBERG, L. (1998):** Exposure of healthy volunteers to swine house dust in-

creases formation of leukotrienes, prostaglandine D2, and bronchial responsiveness to metacholine. *Thorax*, 53: 1041-1046.

PASANEN, A.L.; KALLIOKOSKI, P.; PASANEN, P.; SALMI, T.; TOSSAVAINEN, A.(1989): Fungi carried from farmers' work into farm homes. *Am Ind Hyg Assoc J* 50(12), 631-633.

PIPKE, R. (1996): Grenzwerte für biologische Arbeitsstoffe. *Sichere Arbeit* 4, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 30-35.

PLATZ, S.; SCHERER, M.; UNSHELM, J. (1995): Untersuchungen zur Belastung von Mastschweinen sowie der Umgebung von Mastschweinställen durch atembaren Feinstaub, stallspezifische Bakterien und Ammoniak. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 196, 399-415.

PLINKE, M.A.; LEITH, D.; HOLSTEIN, D.B.; BOUNDY, M.G. (1991): Experimental examination of factors that affect dust generation. *Am Ind Hyg Assoc J*, 52(12), 521-528.

POPENDORF, W. (1986): Report on Agents. *Am J of Ind Med* 10; 251 - 259.

PRELLER, L.; HEEDERIK, D.; KROMHOUT, H.; BOLEIJ, J.; TIELEN, M. (1995): Determination of dust and endotoxin exposure of pig farmers: Development of a control strategy using empirical modeling. *An Occup Hyg*, 39, 545-558.

PRIOR, C.; FALK, M.; FRANK, A. (1996): Early Sensitization to Farming-related antigens among young farmers: analysis of risk factors. *Int Arch Allergy Immunol*, 111, 182-187.

PSCHYREMBEL (1999): *Klinisches Wörterbuch* 258. Ausgabe, Nikol-Verlagsgesellschaft, Hamburg.

RADON, K.; BLAINEY, D.; DANUSER, B.; IVERSEN, M.; MONSO, E.; OPRAVIL, U.; RABE, U.; WEBER, C.; NOWAK, D. (1999): Atemwegssymptome bei europäischen Landwirten. V89, Abstracts zum 40. Kongreß der Dt. Ges. für Pneumologie, 17.-20. März 1999, Pneumologie, Sonderheft.

RADON, K.; GARZ, S.; SCHOTTKY, A.; KOOPS, F.; HARTUNG, J.; SZADKOWSKI, D.; NOWAK, D. (2000): Lung function and work-related exposure in pig farmers with respiratory symptoms. *J Occup Environ Med*, 42, 814-820.

RADON, K.; DANUSER, B.; IVERSEN, M.; JÖRRES, R.; MONSO, E.; OPRAVIL, U.; WEBER, C.; DONHAM, K.J.; NOWAK, D. (2001a): Respiratory symptoms in European animal farmers. *Eur Respir J*, 17, 747-754.

RADON, K.; WEBER, C.; IVERSEN, M.; DANUSER, B.; PEDERSEN, S.; NOWAK, D. (2001b): Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers, *Occup Environ Med*, 58, 405-410.

RADON, K.; MONSO, E.; WEBER, CH.; DANUSER, B.; IVERSEN, M.; OPRAVIL, U.; DONHAM, K.; HARTUNG, J.; PEDERSEN, S.; GARZ, S.; BLAINEY, D.; RABE, U.; NOWAK, D. (2002): Prevalence and Risk Factors for airway Diseases in farmers – Summary of Results of the European Farmers' Project. *Ann Agric Environ Med*, 9, 207-213.

RADON, K. & NOWAK, D. (2003a): Atemwegs- und Lungenerkrankungen in der Europäischen Landwirtschaft – Teil 1: Literaturübersicht. *Pneumologie*, 57, 444-448.

RADON, K.; GARZ, S.; RIESS, A.; KOOPS, F.; MONSO, E.; WEBER, C.; DANUSER, B.; IVERSEN, M.; OPRAVIL, U.; DONHAM, K.; HARTUNG, J.; PEDERSEN, S.; NOWAK, D. (2003b): Atemwegs- und Lungenerkrankungen in der Europäischen Landwirtschaft –

Teil 2: Ergebnisse der europäischen Landwirtschaftsstudie. *Pneumologie*, 57, 510-517.

RAMAZZINI, B. (1713): De Morbis Artificum Diatraba. Translated by W.C. Wright, University of Chicago: Chicago Press, 1940. Aus: Donham, K.J. (1987): Human Health and Safety for Workers in Livestock Housing. Intern. Commission of Agricultural Engineering, Technical Section 2. ASAE-Publication 6-87.

REYNOLDS, S.J.; DONHAM, K.J.; WHITTEN, P.; MERCHANT, J.A.; BURMEISTER, L.F.; POPENDORF, W.J. (1996): Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *Am J Ind Med*, 29, 33-40.

REYNOLDS, S.J.; DONHAM, K.J.; WHITTEN, P.; MERCHANT, J.A.; BURMEISTER, L.F.; POPENDORF, W.J. (1998): Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *Am J Ind Med*, 29(1), 33-40.

RICHTLINIE 96/61/EG (1996): Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie). ABl. Nr. L 257 vom 10.10. 1996, 26.

RIEDIGER, G. (1996): Staubmessung in Arbeitsbereichen entsprechend DIN EN 481 mit GSP und FSP, Mitteilung des BIA für innerbetriebliche und außerbetriebliche Messstellen.

RIEGER, MONIKA A. (2002): Biologische Belastungen der Beschäftigten in der Landwirtschaft, Habilitationsschrift am Fachbereich Sicherheitstechnik, Bergische Universität GH Wuppertal.

RIEGER, M.A.; SUNDRUM, A.; JUNGBLUTH, T.; HARTUNG, E.; LOHMEYER, M. (2004): Fragen des Arbeits-, Tier- und Umweltschutzes bei der Schweinemast in verschiedenen Systemen unter besonderer Berücksichtigung mikrobieller Belastungen. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Schlussbericht Projekt 02OE615 – bisher unveröffentlicht.

RIETSCHEL, E. T. (1999): Bakterielle Endotoxine – Vorträge N 440; Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften; Westdeutscher Verlag.

ROHMERT, W. (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitung für Arbeitswissenschaft*, 4, 193-200.

RÜDEN, H. (1995): Hygienische Aspekte bei der Wertstoffsartierung. 4. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 16.1. – 18.1.1995 in Münster, Tagungsband, 408 – 410.

RYLANDER, R. & SNELLA, M.C. (1983): Endotoxins and the Lung: Cellular Reactions and Risk for Disease. *Prog Allergy*, 33, 332-344.

RYLANDER, R. (1996): Airway responsiveness and Chest Symptoms after Inhalation of Endotoxin or (1 → 3)-β-D-Glucan. *Indoor Built Environment*, 5, 106 - 111.

RYLANDER, R. & HOLT, P.G. (1998): (1 → 3)-β-D-Glucan and endotoxin modulate immune response to inhaled allergen. *Mediators of Inflammation*, 7, 105 - 110.

SANDSTRÖM, T.; BJERMER, L.; RYLANDER, R. (1992): Lipopolysaccharide (LPS) inhalation in healthy subjects increases neutrophils, lymphocytes and fibronectin levels in bronchoalveolar lavage fluid. *Eur Resp J*, 5, 992-996.

SCHMIDT, B. (1994): Bakteriologische Untersuchungen zur Keimemission an Arbeitsplätzen der Müllentsorgung und -verwertung. Agrarwissenschaftliche Dissertation, Universität Hohenheim.

SCHWARTZ, D.A.; LANDAS, S.K.; LASSISE, D.L.; BURMEISTER, L.F.; HUNNINGHAKE, G.W.; MERCHANT, J.A. (1992): Airway injury in swine confinement workers. *Ann Int Med*, 116, 630-635.

SCHWARTZ, D.A.; THORNE, P.S.; YAGLA, S.J.; BURMEISTER, L.F.; OLENCHOCK, S.A.; WATT, J.L.; QUINN, T.J. (1995): The role of endotoxin in grain dust-induced lung disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 152, 603-608.

SCHWARTZ, D.A. (2001): Does inhalation of Endotoxin cause Asthma? *Am J Respir Crit Care Med*, 163, 305/306.

SCHWEINEHALTUNGSHYGIENEVERORDNUNG – SCHHALTHYGV (1999): Verordnung über hygienische Anforderungen beim Halten von Schweinen vom 7. Juni 1999. BGBl 29,1252.

SEEDORF, J. & HARTUNG, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 393, Darmstadt.

SENTHILSELVAN, A.; DOSMAN, J.A.; BONO, D.; KIRYCHUK, S.; BARBER, E.M.; WILSON, P.; CORMIER, Y.; LEMAY, S.; HURST, T.S.; RHODES, C.S. (1999): Health Effects of Wearing a Respiratory Protective Device in a Swine Barn. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 164-165.

SJÖGREN, B.; WANG, Z.; LARSSON, B.M.; LARSSON, K.; LARSSON, P.H.; WESTERHOLM, P. (1999): Increase in interleukin-6 and fibrinogen in peripheral blood after swine dust inhalation. *Scand J Work Environ Health*, 25, 39-41.

SMID, T.; HEEDERIK, D.; HOUBA, R.; QUANJER, P.H. (1992): Dust- and endotoxin-related respiratory effects in the animal feed industry. *Am rev Respir Dis*, 146, 1471-1479.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2004): Statistisches Bundesamt Deutschland, Wiesbaden http://www.destatis.de/themen/d/thm_land.htm.

STEINBERG, R. (2001): Biologische Arbeitsstoffe in der Abwasserwirtschaft - Belastungen und Beanspruchungen von Beschäftigten in Arbeitsbereichen der Abwasserwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Gefährdung durch Biologische Arbeitsstoffe. Dissertation Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, ATV-DVWK (Hrsg.), GFA, Hennef, 353 –356.

STUBBE, A. (2000): Entwicklung und Beurteilung einer Beschäftigungstechnik für Mastschweine in intensiven Haltungssystemen. Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG-Schrift Nr. 358, Dissertation Universität Hohenheim, ISSN 0931-6264.

SUBIRATS BAYEGO, E.; VILA BALLESTER, L.; VILA SUBIRANA, T.; MORELL BROTA, F.; VALLESCAR PINANA, R.; MARGALEF MIR, N. (1994): [Prevalence of respiratory diseases in a rural population in the north of Catalonia: La Cerdanya.]. *Med Clin (Barc)*, 103, 481-484.

TA LUFT (2002 II): Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft <http://www.bmu.de/files/taluft.pdf>.

TAKAI, H.; PEDERSEN, S.; JOHNSEN, J.O.; METZ, J.H.M.; GROOT KIERKAMP, P.W.G.; UENK, G.H.; PHILLIPS, V.R.; HOLDEN, M.R.; SNEATH, R.W.; SHORT, J.L.; WHITE, R.O.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K.H. (1998): Concentration and Emission of Airborne Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. *J agric Engng Res* 70, 59-77.

TAKAI, H. & PEDERSEN, S. (1999): Design Concept of Oil Sprayer for Dust Control in Pig Buildings. International Symposium on dust control in animal production facilities, Congress Proceedings, Scandinavian Congress Center, Aarhus, 30 May – 2 June 1999, Eigenverlag, 279-285.

TERHO, E.O.; HUSMAN, K.; VOHLONEN, I. (1987): Prevalence and incidence of chronic bronchitis and farmer's lung with respect to age, sex, atopy, and smoking. *Eur J Respir Dis Suppl*, 152, 19-28.

TIERSCHNUTZTV (2003): Entwurf zur zweiten Verordnung zur Veränderung der Tier-schutz-Nutztierhaltungsverordnung vom 25. Oktober 2001 (BGBL. I S. 2758), Stand 11.04.2003.

TRBA 230 (2000): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 230: Landwirtschaftliche Nutztierhaltung. *BArbBI* 6/00, 57.

TRBA 400 (2001): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 400: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. *BArbBI* 8/01, 89.

TRBA 405 (2001): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 405: Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe. *BArbBI* 5/01, 58; 3/03 59.

TRBA 450 (2000): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 450: Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe. *BArbBI* 6/00, 58-61; *BArbBI* 4/02; 127-128; *BArbBI* 10/02, 86.

TRBA 500 (1999): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 500: Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen. *BArbBI* 6/1999, 81-82.

TRGS 540 (2000): Technische Regeln für Gefahrstoffe 540: Sensibilisierende Stoffe. *BArbBI*. 2/00, 73.

TRGS 900 (2002): Technische Regeln für Gefahrstoffe 900: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte. *BArbBI*. 10/02, 34-63.

TRGS 907 (2000): Technische Regeln für Gefahrstoffe 907: Sensibilisierende Stoffe., *BArbBI*. 10/00, 74.

TUOMI, K.; ILMARINEN, J.; JAHKOLA, A.; KATAJARINNE, L.; TULKKI, A. (1998): Work ability index. 2. rev. ed. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health 1998 (Occupational health care, 19), ISBN 951-802-202-X. Übersetzung von Cugier, Bernd (2001): Arbeitsbewältigungsindex – Work Ability Index. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Ü 14, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, ISBN 3-89701-728-8.

VARSLOT, M.; HILT, B.; QVENILD, T. (1995): [Respiratory tract symptoms among farmers keeping animals in Midt-Norge.] *Tidsskr Nor Laegeforen*, 115, 2524-2528.

VOGELZANG, P.F.J.; VAN DER GULDEN, J.W.J; PRELLER, L.; HEEDERIK, D.; TIELEN, M.J.M; VAN SCHAYCK, C.P. (1996): Respiratory Morbidity in Relationship to Farm

Characteristics in Swine Confinement Work: Possible Preventive Measures. *Am J Ind Med*, 30, 212-218.

VOGELZANG, P.F.J.; VAN DER GULDEN, J.W.J.; PRELLER, L.; TIELEN, M.J.M; VAN SCHAYCK, C.P.; FOLGERING, H. (1997): Bronchial hyperresponsiveness and exposure in pig farmers. *Int Arch Occup Environ Health*, 70, 327-333.

VOGELZANG, P.F.J.; VAN DER GULDEN, J.W.J.; FOLGERING, H.; KOLK, J.J.; HEEDERIK, D.; PRELLER, L; TIELEN, J.M.J.; VAN SCHAYCK, C.P. (1998): Endotoxin exposure as a major determinant of lung function decline in pig farmers. *Am J Respir Crit Care Med*, 157, S. 15-18.

VOGELZANG, P.F.J.; VAN DER GULDEN J.W.J.; FOLGERING, H.; VAN SCHAYCK, C.P. (1999): Organic Dust Toxic Syndrome in Swine Confinement Farming. *Am J Ind Med*, 35, 332-334.

VOGELZANG, P.F.J.; VAN DER GULDEN, J.W.J.; FOLGERING, H.; HEEDERIK, D. TIELEN, J.M.J.; VAN SCHAYCK, C.P. (2000): Longitudinal changes in bronchial responsiveness associated with swine confinement dust exposure. *Chest*, 117(5), 1488-1495.

WANG, Z. (1997): Acute cytokine responses to inhaled swine confinement building dust. In: *Arbetslivsinstitutet – National Institute for Working Life, Schweden (Hrsg.): Arbeite och Hälsa, Band 23, Eigenverlag, Solna.*

WEINSHEIMER, C. (1990): Gutachten zur Gesundheitsbelastung und Beanspruchung an Klärwärtern und Kanalarbeitern. Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Ulm, 114.

WENDEL, K.P.; BURDORF, A.; BRUGGELING, T.G. (1994): Relations between respiratory symptoms and sickness among workers in the animal feed industry. *Occup Environ Med*, 51, 440-446.

ZEJDA, J.E.; BARBER, E., DOSMAN, J.A.; OLENCHOCK, S.A.; McDUFFIE, H.H.; RHODES, C.; HURST, T. (1994): Respiratory health status in swine producers relates to endotoxin exposure in the presence of low dust levels. *J Occup Med*, 36, 49-46.

ZUCKER B.A.; TROJAN, S. MULLER, W. (2000): Airborne gram-negative bacterial flora in animal houses. *Vet Med B Infect Dis Vet Public Health* 47(1). 37-46.

ZUCKER B.A. & MÜLLER, W. (2000): Untersuchungen zum Luftkeimhaushalt in Tierställen. 3. Mitteilung: Beziehungen zwischen einatembarem Endotoxin, einatembarem Staub und luftgetragenen Bakterien in einer Legehennenbatterie. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 113(7-8), 279-283.

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

ABAS.....	Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe
BAuA.....	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BIA.....	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
BK.....	Berufskrankheit
BLE.....	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BÖL.....	Bundesprogramm Ökologischer Landbau
BVT.....	Beste verfügbare Technik
COPD.....	Chronic Obstruktive Pulmonal Disease
COPSOQ.....	Copenhagen Psychosocial Questionnaire
EAA.....	Exogen-Allergische-Alveolitis
EU.....	Endotoxin-Units
EU.....	Europäische Union
FAO.....	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GKV.....	Gesetzliche Krankenkassen
GSP.....	Gesamtstaub-Probenahmesystem
GVE.....	Großvieheinheit
HPLC.....	Hochdruck-Flüssigchromatographie
HS.....	Haltungssystem
KAN.....	Kommission Arbeitsschutz und Normung
KBE.....	Kolonienbildende Einheiten
LAL.....	Limulus-Amöbozyten Lysat
LBG.....	Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft
LG.....	Lebendgewicht
LKK.....	Landwirtschaftliche Krankenkasse
Med.	Median
MD.....	Mastdurchgang
MVOC.....	Microbial Volatile Organic Compounds
MW.....	Mittelwert
NDIR.....	Nicht dispersiven Infrarotspektroskopie
NOEL.....	Non-Effect-Level
ODTS.....	Oganic Dust Toxic Syndrome
PCR.....	Polymerase-Kettenreaktion
PGP.....	Personengetragenes Gefahrstoff-Probenahmesystem
PM.....	Particulate Matter
ppm.....	parts per million
PSA.....	Persönliche Schutzausrüstung
TKW.....	Technischer Kontrollwert
TRBA.....	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe
TRGS.....	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UVV.....	Unfallverhütungsvorschriften
WAI.....	Work Ability Index

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1-1: Prozentuale Verteilung der Unfälle in der Land und Forstwirtschaft nach Arbeitsgebieten (innerer Kreis: Tote). Aus: Geschäftsergebnisse der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften für das Jahr 2002 (BLB, 2004) ..	11
Abbildung 1-2: Anzahlen der BK-Verdachtsanzeigen (1993 bis 2002) und der bestätigten BK-Verdachtsanzeigen (1995 bis 2002) innerhalb der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften	13
Abbildung 1-3: Krankenstand in Deutschland nach Kassenarten (BMGS, 2004)	14
Abbildung 1-4: Bioaerosole in den menschlichen Atemwegen (LINSEL, 2001)	22
Abbildung 1-5: Zellwände gramnegativer und grampositiver Bakterien im Vergleich (nach RIETSCHEL, 1999)	26
Abbildung 1-6: Belastungs-Beanspruchungs-Modell im Arbeitsschutz (nach ROHMERT, 1984)	31
Abbildung 2-1: Von der Messung zur Bestimmung von Identität und Konzentration von biologischen Arbeitsstoffen – indirektes Verfahren (aus Rieger, 2002)	42
Abbildung 2-2: Die einatembare, thorakale und alveolengängige Konvention in Prozent der gesamten luftgetragenen Partikel, aus DIN EN 481 (1993)	45
Abbildung 2-3: Grundriss des Versuchstalls für Mastschweine der Universität Hohenheim. Hier: Haltungssystem A (Flüssigfütterung) im Abteil 1, Haltungssystem B (Breifütterung) im Abteil 2	48
Abbildung 2-4: Haltungssystem C, Tiefstreustall. Mittelbucht	49
Abbildungen 2-5: Haltungssystem D, Stall nach EU-Öko-Verordnung. Auslauf (links), Innenansicht (rechts)	49
Abbildung 2-6: Messplan im Projekt 02OE615	51
Abbildungen 2-7: Probenahme mit dem PGP-System, personengetragen und stationär	52
Abbildung 3-1: Vergleich der stationären Messungen der konventionellen Stallsysteme; Endotoxine, Gesamtschimmelpilze	63
Abbildung 3-2: Vergleich der Stallsysteme; Endotoxine und Gesamtschimmelpilze, stationär	64
Abbildung 3-3: Vergleich der Stallsysteme; Gesamtbakterien und thermophile Aktinomyzeten, stationär	65
Abbildung 3-4: Vergleich der Stallsysteme; Bacilli und Staphylokokken, stationär ...	66
Abbildung 3-5: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 1	67
Abbildung 3-6: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2	67
Abbildung 3-7: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration in den konventionellen Ställen über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3	67
Abbildung 3-8: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im Tiefstreustall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2	68
Abbildung 3-9: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im Tiefstreustall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3	68
Abbildung 3-10: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im EU-ÖkoVO-Stall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 2	69
Abbildung 3-11: Verlauf der Endotoxin- und Gesamtschimmelpilzkonzentration im EU-ÖkoVO-Stall über die drei Messzeitpunkte in Mastdurchgang 3	69
Abbildung 3-12: Korrelation der Endotoxinkonzentration (log) in den konventionellen Ställen mit Stalltemperatur, Außentemperatur, Stallluftfrate und Besatzdichte (GVE/Bucht)	71

Abbildung 3-13: Geschätzte Endotoxinkonzentration in Abhängigkeit von der Außentemperatur (multivariates Modell, eingeschlossen: Außentemperatur und GVE/Bucht)	73
Abbildung 3-14: Vergleich der Stallsysteme; Endotoxine und Gesamtbakterien, personengetragen	76
Abbildung 3-15: Vergleich der Stallsysteme; Gesamtschimmelpilze und <i>A. fumigatus</i> , personengetragen	76
Abbildung 3-16: Vergleich der Stallsysteme; thermophile Aktinomyceten und Bacilli, personengetragen	76
Abbildung 3-17: Vergleich der Stallsysteme; Staphylokokken, personengetragen ...	77
Abbildung 3-18: Endotoxinkonzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen	78
Abbildung 3-19: Gesamtschimmelpilz-Konzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen	78
Abbildung 3-20: Gesamtschimmelpilz-Konzentrationen; Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen (Ausschnitt)	78
Abbildung 3-21: <i>A. fumigatus</i> -Konzentrationen: Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen (Ausschnitt)	79
Abbildung 3-22: Bakterienkonzentrationen: Vergleich der personengetragenen und der stationären Messungen in den Stallsystemen	79
Abbildung 3-23: Vergleich konventioneller Ställe, Coliforme, Impaktor	82
Abbildung 3-24: Impaktorproben, Coliforme Keime	82
Abbildung 3-25: Impaktorproben, <i>E. coli</i>	83
Abbildung 3-26: Impaktorproben, Enterobakterien	83
Abbildung 3-27: Impaktorproben, Staphylokokken	84
Abbildung 3-28: Vergleich der Staubmessungen zwischen den konventionellen Ställen	86
Abbildung 3-29: Stationär gemessene Staubkonzentrationen in den Stallsystemen	86
Abbildung 3-30: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge in den konventionellen Ställen	87
Abbildung 3-31: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge im Tiefstreustall.....	88
Abbildung 3-32: Einatembare und alveolengängige Staubfraktion im Verlauf der Mastdurchgänge im EU-ÖkoVO-Stall.....	88
Abbildung 3-33: Personengetragen gemessene Staubkonzentrationen in den Stallsystemen	89
Abbildung 3-34: Gesamtbakterien im Stroh, rechts: Ausschnitt.....	90
Abbildung 3-35: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> im Stroh, rechts: Ausschnitt	91
Abbildung 3-36: <i>Pseudomonas</i> und Bacilli im Stroh	91
Abbildung 3-37: Coliforme Keime und <i>E. coli</i> im Stroh	91
Abbildung 3-38: Enterobakterien und Staphylokokken im Stroh.....	92
Abbildung 3-39: Gesamtschimmelpilze und <i>A. fumigatus</i> im Stroh	92
Abbildung 3-40: Hefen im Stroh.....	92
Abbildung 3-41: Gesamtbakterien im Trocken- und Flüssigfutter	93
Abbildung 3-42: Lactobacilli im Flüssigfutter.....	94
Abbildung 3-43: Coliforme Keime im Trocken- und Flüssigfutter	94
Abbildung 3-44: Gesamtschimmelpilze im Trocken- und Flüssigfutter	94
Abbildung 3-45: Tägliche Aufenthaltsdauer im Stall bezogen auf Anzahl der Schweine im Betrieb, differenziert nach Produktionsform.	98

Abbildung 3-46: Prävalenz der im WAI erfragten Erkrankungen gruppiert, Schweinehalter gesamt	99
Abbildung 3-47: Punktprävalenzen der Atemwegserkrankungen (WAI) im Vergleich der konventionellen und ökologischen Schweinemäster	100
Abbildung 3-48: Jahresprävalenzen der Atemwegssymptome im Vergleich (bezifferter Wert für Gesamtkollektiv)	101
Abbildungen 3-49: WAI-Score in Abhängigkeit vom Alter (gruppiert), gesamtes Kollektiv	102
Abbildung 3-50: Vergleich des Arbeitsbewältigungsindex (WAI-Kategorien) für ökologische und konventionelle Schweinehalter	103
Abbildung 4-1: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den ersten Mastdurchgang	114
Abbildung 4-2: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den zweiten Mastdurchgang	114
Abbildung 4-3: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im konventionellen Haltungssystem B (Flüssigfütterung) über den dritten Mastdurchgang	115
Abbildung 4-4: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem C (Tiefstreu) über den zweiten Mastdurchgang	116
Abbildung 4-5: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem C (Tiefstreu) über den dritten Mastdurchgang	116
Abbildung 4-6: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem D (EU-ÖkoVO-Stall) über den zweiten Mastdurchgang	117
Abbildung 4-7: Vergleich der Konzentrationsverläufe von CO ₂ , NH ₃ , CH ₄ , PM10, Endotoxine im ökologischen Haltungssystem D (EU-ÖkoVO-Stall) über den dritten Mastdurchgang	117
Abbildung 4-8: Vergleich des Arbeitsbewältigungsindex: Schweinehalter, Dresdener Pilotstudie (JACOBI & SEIBT, 2003) und COPSOQ (NÜBLING, 2004)	129
Tabelle 1-1: Betriebe mit Schweinehaltung und Schweinebestand in Deutschland im Jahr 2002 / 2003 (Statistisches Bundesamt Deutschland, 2004)	7
Tabelle 1-2: Bestandsgrößen der Mastschweinehaltung 1995 bis 2003	8
Tabelle 1-3: Bei der landwirtschaftlichen BG angezeigte Unfälle im Jahr 2002	10
Tabelle 1-4: Wichtigste Berufskrankheiten in der Landwirtschaft, sortiert nach bestätigten BK-Verdachtsanzeigen	12
Tabelle 1-5: Luftkeimkonzentrationen im menschlichen Umfeld (Zusammenstellung nicht vergleichbarer Mess- und Auswerteverfahren verschiedener Veröffentlichungen) nach BOSSOW (1998)	23
Tabelle 1-6: Konzentrationen luftgetragener biologischer Arbeitsstoffe in der Schweinehaltung. Zusammengestellt nach RIEGER (2002) und NOWAK ET AL. (1998)	30

Tabelle 1-7: Epidemiologische Befunde zur Beeinträchtigung der respiratorischen Funktion bei oder aufgrund der landwirtschaftlichen Tätigkeit (geändert und erweitert nach RIEGER, 2002).....	37
Tabelle 2-1: Zeitliche Aufteilung der Messtermine auf die untersuchten Betrieben und Betriebsbeschreibung.....	50
Tabelle 2-2: Differenzierung der Luftproben (PGP) mit Nährmedien und Wachstumstemperaturen für Differenzierungen von Schimmelpilzen und Bakterien	53
Tabelle 2-3: Differenzierung der Impaktorproben mit zugehörigen Selektivnährmedien und Bebrütungstemperaturen.....	53
Tabelle 2-4: Differenzierung der Materialproben	54
Tabelle 2-5: Übersicht der eingesetzten Messgeräte	57
Tabelle 2-6: Klassifizierung der Arbeitsfähigkeit	59
Tabelle 2-7: Im Arbeitsbewältigungsindex erfasste Dimensionen, Zahl der Fragen je Dimension und Punkteverteilung der Antworten (nach TUOMI ET AL., 1998).....	60
Tabelle 3-1: Klimadaten der Stallmessungen (Tagesmittelwerte).....	62
Tabelle 3-2: Korrelation nach Pearson, Endotoxine im konventionellen Stall.....	70
Tabelle 3-3: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, konventionelle Ställe.....	71
Tabelle 3-4: Korrelation nach Pearson, Endotoxine, Tiefstreustall	71
Tabelle 3-5: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, Tiefstreustall	72
Tabelle 3-6: Korrelation nach Pearson, Endotoxine, EU-ÖkoVO-Stall	72
Tabelle 3-7: Korrelation nach Pearson, Schimmelpilze, EU-ÖkoVO-Stall	72
Tabelle 3-8: Multivariates Modell, eingeschlossene Faktoren bezogen auf das Stallsystem, die untersuchten Mikroorganismen und den Mastdurchgang	74
Tabelle 3-9: Beprobte Tätigkeiten in den Stallsystemen mit Anzahl der Messungen	75
Tabelle 3-10: Anzahl, Mediane und Mittelwerte der Außenluft-Referenzproben nach Stallsystem und Art.....	80
Tabelle 3-11: Zahl der differenzierten Impaktorproben nach Stall- und Fütterungssystemen	81
Tabelle 3-12: Anzahl der Messpunkte bei den Staubmessungen.....	85
Tabelle 4-1: Vergleichende Übersicht der vier untersuchten Haltungssysteme.....	106
Tabelle 4-2: Endotoxinaktivitäten verschiedener Bakterienarten (nach POPENDORF, 1986)	108
Tabelle 4-3: Luftkeimmessungen an Arbeitsplätzen (standardisierte Methodik).....	111
Tabelle 4-4: Literaturbezogene Grenzwertempfehlungen für Bioaerosole (Auswahl)	124
Tabelle 4-5: Bewertung der Schimmelpilzexpositionen nach PIPKE (1996)	125
Tabelle 4-6: Vergleich der Prävalenz von Atemwegssymptomen – Studienkollektiv und Angaben aus der Literatur	130
Tabelle 5-1: Partikelfiltrierende Halbmasken – Kategorien nach EN 149:2001	141
Tabelle 5-2: Forschungsbedarf bezogen auf Quelle des Schadstoffs und seine möglichen Einflussfaktoren (geändert nach RIEGER ET AL., 2004).....	146

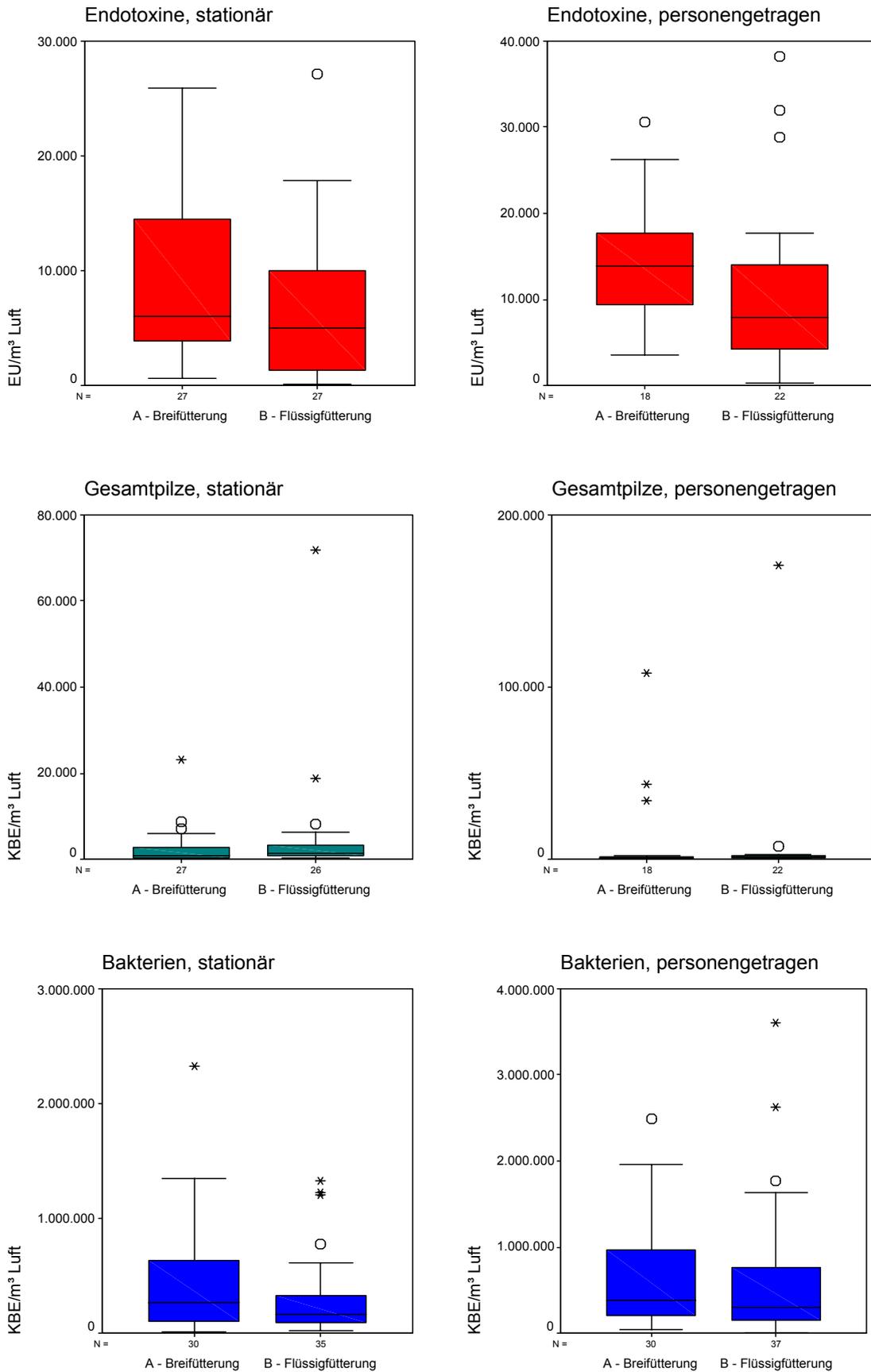
Tabellen und Abbildungen zu den Stallmessungen

Abbildungen A 1: Vergleich der konventionellen Stallsysteme; PGP-System – stationär und personengetragen.....	168
Abbildungen A 2: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär.....	173
Abbildungen A 3: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – personengetragen ..	178
Abbildungen A 4: Vergleich der PGP-Messungen stationär – personengetragen ...	181
Abbildungen A 5: Impaktormessungen	182
Abbildungen A 6: Vergleich der Staubmessungen, konventionelle Stallsysteme	184
Abbildungen A 7: Ergebnisse der Staubproben, stationär und personengetragen ..	186
Abbildungen A 8: Materialproben, Stroh	188
Abbildungen A 9: Materialproben, Trockenfutter	190
Abbildungen A 10: Materialproben, Flüssigfutter	193
Tabelle A 1: Anzahl Stallluftproben (PGP-System), unterschieden nach Stallsystem, Mikroorganismen und Art der Messung	167
Tabelle A 2: Mediane und Mittelwerte beim Vergleich der konventionellen Stallsysteme; PGP-System	170
Tabellen A 3: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställe, PGP-System – stationär	171
Tabellen A 4: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställe, PGP-System – personengetragen	172
Tabelle A 5: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär	174
Tabellen A 6: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär.....	175
Tabellen A 7: Koeffizienten des multivariaten Modells, PGP-System – stationär	176
Tabelle A 8: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – personengetragen	179
Tabellen A 9: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme, PGP-System – personengetragen	180
Tabelle A 10: Mediane und Mittelwerte der Impaktormessungen	183
Tabellen A 11: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme; Impaktormessungen	183
Tabellen A 12: Mediane und Mittelwerte der Staubmessungen, Vergleich stationäre Ställe	184
Tabellen A 13: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställen, Staub	185
Tabellen A 14: Mediane und Mittelwerte der Staubproben	186
Tabellen A 15: Mediane und Mittelwerte der Referenzmessungen, Staubproben ...	187
Tabellen A 16: Kruskal-Wallis-H-Test; Vergleich der Stallsysteme, Staub	187
Tabelle A 17: Mediane und Mittelwerte der Strohanalysen	189
Tabelle A 18: Mediane und Mittelwerte der Materialproben, Trockenfutter	192
Tabelle A 19: Mediane und Mittelwerte der Materialproben, Flüssigfutter	195

Tabelle A 1: Anzahl Stallluftproben (PGP-System), unterschieden nach Stallsystem, Mikroorganismen und Art der Messung

Stallsystem	Mikroorganismus	Messung	Anzahl
Haltungssystem A	Endotoxine	stationär	27
		personengetragen	18
Konventioneller Stall I	Gesamtschimmelpilze	stationär	27
		personengetragen	18
	Bakterien	stationär	30
		personengetragen	30
	A. fumigatus	stationär	25
		personengetragen	18
	thermophile Aktinomyzeten	stationär	23
		personengetragen	17
	Bacilli	stationär	30
		personengetragen	30
Staphylokokken	stationär	32	
	personengetragen	28	
Haltungssystem B	Endotoxine	stationär	27
		personengetragen	22
Konventioneller Stall II	Gesamtschimmelpilze	stationär	26
		personengetragen	22
	Bakterien	stationär	35
		personengetragen	37
	A. fumigatus	stationär	23
		personengetragen	22
	thermophile Aktinomyzeten	stationär	20
		personengetragen	22
	Bacilli	stationär	35
		personengetragen	37
Staphylokokken	stationär	35	
	personengetragen	37	
Haltungssystem C	Endotoxine	stationär	25
		personengetragen	13
Tiefstreu-Stall	Gesamtschimmelpilze	stationär	24
		personengetragen	13
	Bakterien	stationär	46
		personengetragen	15
	A. fumigatus	stationär	24
		personengetragen	13
	thermophile Aktinomyzeten	stationär	20
		personengetragen	11
	Bacilli	stationär	46
		personengetragen	15
Staphylokokken	stationär	38	
	personengetragen	13	
Haltungssystem D	Endotoxine	stationär	27
		personengetragen	9
EU-ÖkoVO-Stall	Gesamtschimmelpilze	stationär	27
		personengetragen	9
	Bakterien	stationär	49
		personengetragen	11
	A. fumigatus	stationär	27
		personengetragen	9
	thermophile Aktinomyzeten	stationär	23
		personengetragen	6
	Bacilli	stationär	49
		personengetragen	11
Staphylokokken	stationär	42	
	personengetragen	7	

Abbildungen A 1: Vergleich der konventionellen Stallsysteme; PGP-System – stationär und personengetragen



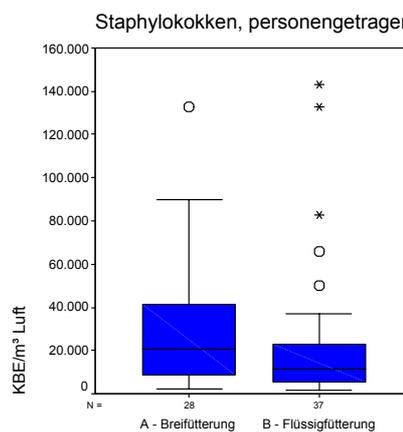
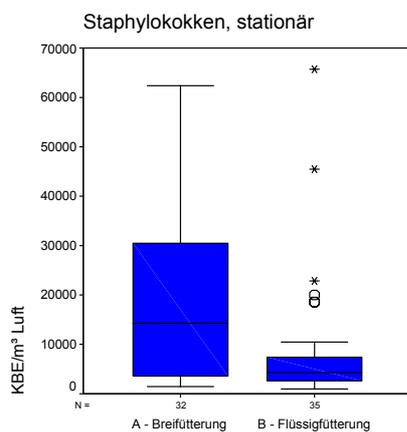
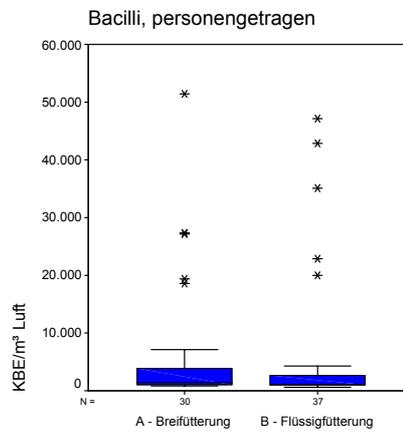
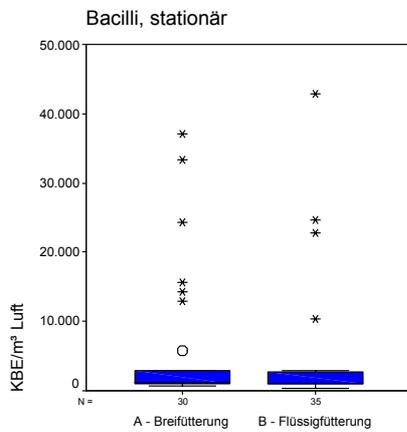
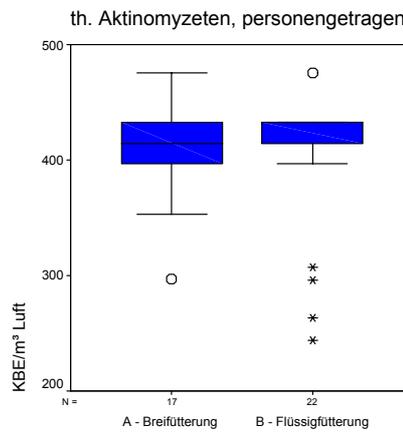
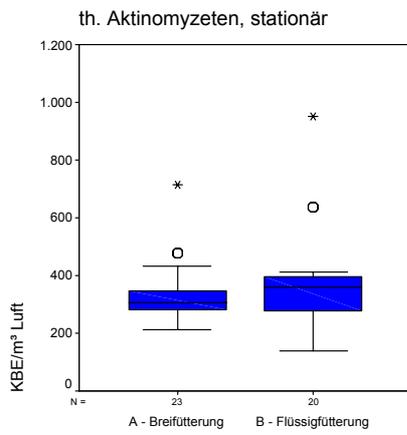
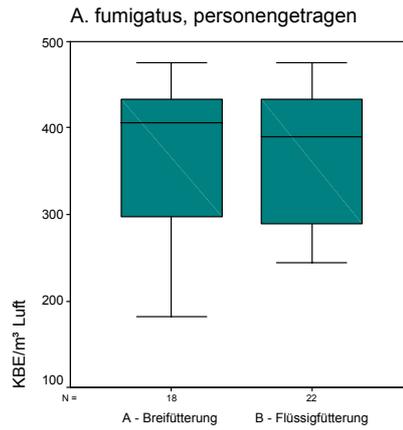
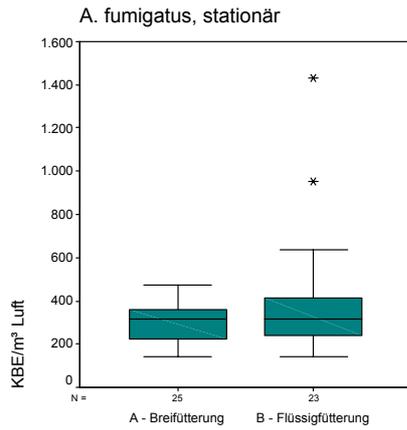


Tabelle A 2: Mediane und Mittelwerte beim Vergleich der konventionellen Stallsysteme; PGP-System

Art	Personengetragen	Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Endotoxine	stationär	Breifütterung	27	6.060	9.448	7.403
		Flüssigfütterung	27	4.981	6.415	6.350
		Insgesamt	54	5.544	7.931	7.001
	personengetragen	Breifütterung	18	13.822	13.863	7.122
		Flüssigfütterung	22	7.860	10.985	10.386
		Insgesamt	40	10.330	12.280	9.072
	Insgesamt	Breifütterung	45	9.686	11.214	7.534
		Flüssigfütterung	49	5.771	8.467	8.620
		Insgesamt	94	7.805	9.782	8.192
Gesamtpilze	stationär	Breifütterung	27	952	2.644	4.702
		Flüssigfütterung	26	1.415	5.195	14.123
		Insgesamt	53	1.058	3.895	10.421
	personengetragen	Breifütterung	18	415	10.780	27.333
		Flüssigfütterung	22	1.121	9.309	36.105
		Insgesamt	40	828	9.971	32.064
	Insgesamt	Breifütterung	45	816	5.898	17.831
		Flüssigfütterung	48	1.193	7.080	26.322
		Insgesamt	93	952	6.508	22.503
Bakterien	stationär	Breifütterung	30	266.190	432.033	480.201
		Flüssigfütterung	35	165.714	297.800	341.572
		Insgesamt	65	209.524	359.754	413.542
	personengetragen	Breifütterung	30	387.381	630.482	620.462
		Flüssigfütterung	37	295.238	639.889	778.347
		Insgesamt	67	361.905	635.677	706.843
	Insgesamt	Breifütterung	60	342.619	531.258	559.088
		Flüssigfütterung	72	269.286	473.596	626.654
		Insgesamt	132	275.000	499.806	595.353
A. fumigatus	stationär	Breifütterung	25	317	307	96
		Flüssigfütterung	23	317	397	286
		Insgesamt	48	317	350	213
	personengetragen	Breifütterung	18	406	364	85
		Flüssigfütterung	22	390	359	78
		Insgesamt	40	406	361	80
	Insgesamt	Breifütterung	43	317	331	95
		Flüssigfütterung	45	317	379	210
		Insgesamt	88	317	355	165
th. Aktinomyzeten	stationär	Breifütterung	23	307	333	110
		Flüssigfütterung	20	360	382	180
		Insgesamt	43	317	356	147
	personengetragen	Breifütterung	17	414	416	44
		Flüssigfütterung	22	433	401	62
		Insgesamt	39	433	407	55
	Insgesamt	Breifütterung	40	374	368	97
		Flüssigfütterung	42	414	392	131
		Insgesamt	82	397	380	115
Bacilli	stationär	Breifütterung	30	1.124	5.707	9.812
		Flüssigfütterung	35	1.020	4.135	8.672
		Insgesamt	65	1.058	4.861	9.176
	personengetragen	Breifütterung	30	1.429	6.568	11.354
		Flüssigfütterung	37	953	5.736	11.876
		Insgesamt	67	1.299	6.108	11.565
	Insgesamt	Breifütterung	60	1.429	6.138	10.529
		Flüssigfütterung	72	953	4.957	10.401
		Insgesamt	132	1.190	5.494	10.436
Staphylokokken	stationär	Breifütterung	32	14.286	20.094	19.035
		Flüssigfütterung	35	4.286	8.788	13.219
		Insgesamt	67	5.714	14.188	17.105
	personengetragen	Breifütterung	28	20.714	30.679	31.778
		Flüssigfütterung	37	11.429	23.030	33.207
		Insgesamt	65	14.286	26.325	32.571
	Insgesamt	Breifütterung	60	16.364	25.033	26.094
		Flüssigfütterung	72	5.714	16.107	26.347
		Insgesamt	132	9.762	20.164	26.510

Tabellen A 3: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställe, PGP-System – stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	262,500
Wilcoxon-W	640,500
Z	-1,765
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,078

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	27	31,28	844,50
Flüssigfütterung	27	23,72	640,50
Gesamt	54		

Endotoxine, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	297,500
Wilcoxon-W	675,500
Z	-,953
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,341

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	27	25,02	675,50
Flüssigfütterung	26	29,06	755,50
Gesamt	53		

Gesamtpilze, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	428,500
Wilcoxon-W	1058,500
Z	-1,270
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,204

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	30	36,22	1086,50
Flüssigfütterung	35	30,24	1058,50
Gesamt	65		

Gesamtbakterien, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	250,500
Wilcoxon-W	575,500
Z	-,768
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,443

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	25	23,02	575,50
Flüssigfütterung	23	26,11	600,50
Gesamt	48		

A. fumigatus, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	175,500
Wilcoxon-W	451,500
Z	-1,334
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,182

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	23	19,63	451,50
Flüssigfütterung	20	24,73	494,50
Gesamt	43		

th. Aktinomyzeten, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	479,500
Wilcoxon-W	1109,500
Z	-,617
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,537

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	30	34,52	1035,50
Flüssigfütterung	35	31,70	1109,50
Gesamt	65		

Bacilli, stationär

	Wert
Mann-Whitney-U	332,500
Wilcoxon-W	962,500
Z	-2,864
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,004

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	32	41,11	1315,50
Flüssigfütterung	35	27,50	962,50
Gesamt	67		

Staphylokokken, stationär

Tabellen A 4: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställe, PGP-System – personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	135,500
Wilcoxon-W	388,500
Z	-1,699
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,089
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,089 ^a

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	18	23,97	431,50
Flüssigfütterung	22	17,66	388,50
Gesamt	40		

Endotoxine, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	126,000
Wilcoxon-W	297,000
Z	-1,959
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,050
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,051 ^a

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	18	16,50	297,00
Flüssigfütterung	22	23,77	523,00
Gesamt	40		

Gesamtpilze, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	523,500
Wilcoxon-W	1226,500
Z	-,397
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,691

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	30	35,05	1051,50
Flüssigfütterung	37	33,15	1226,50
Gesamt	67		

Gesamtbakterien, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	189,500
Wilcoxon-W	442,500
Z	-,234
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,815
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,819 ^a

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	18	20,97	377,50
Flüssigfütterung	22	20,11	442,50
Gesamt	40		

A. fumigatus, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	179,500
Wilcoxon-W	432,500
Z	-,220
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,826
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,834 ^a

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	17	20,44	347,50
Flüssigfütterung	22	19,66	432,50
Gesamt	39		

th. Aktinomyzeten, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	439,500
Wilcoxon-W	1142,500
Z	-1,482
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,138

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	30	37,85	1135,50
Flüssigfütterung	37	30,88	1142,50
Gesamt	67		

Bacilli, personengetragen

	Wert
Mann-Whitney-U	378,000
Wilcoxon-W	1081,000
Z	-1,857
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,063

Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Breifütterung	28	38,00	1064,00
Flüssigfütterung	37	29,22	1081,00
Gesamt	65		

Staphylokokken, personengetragen

Abbildungen A 2: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär

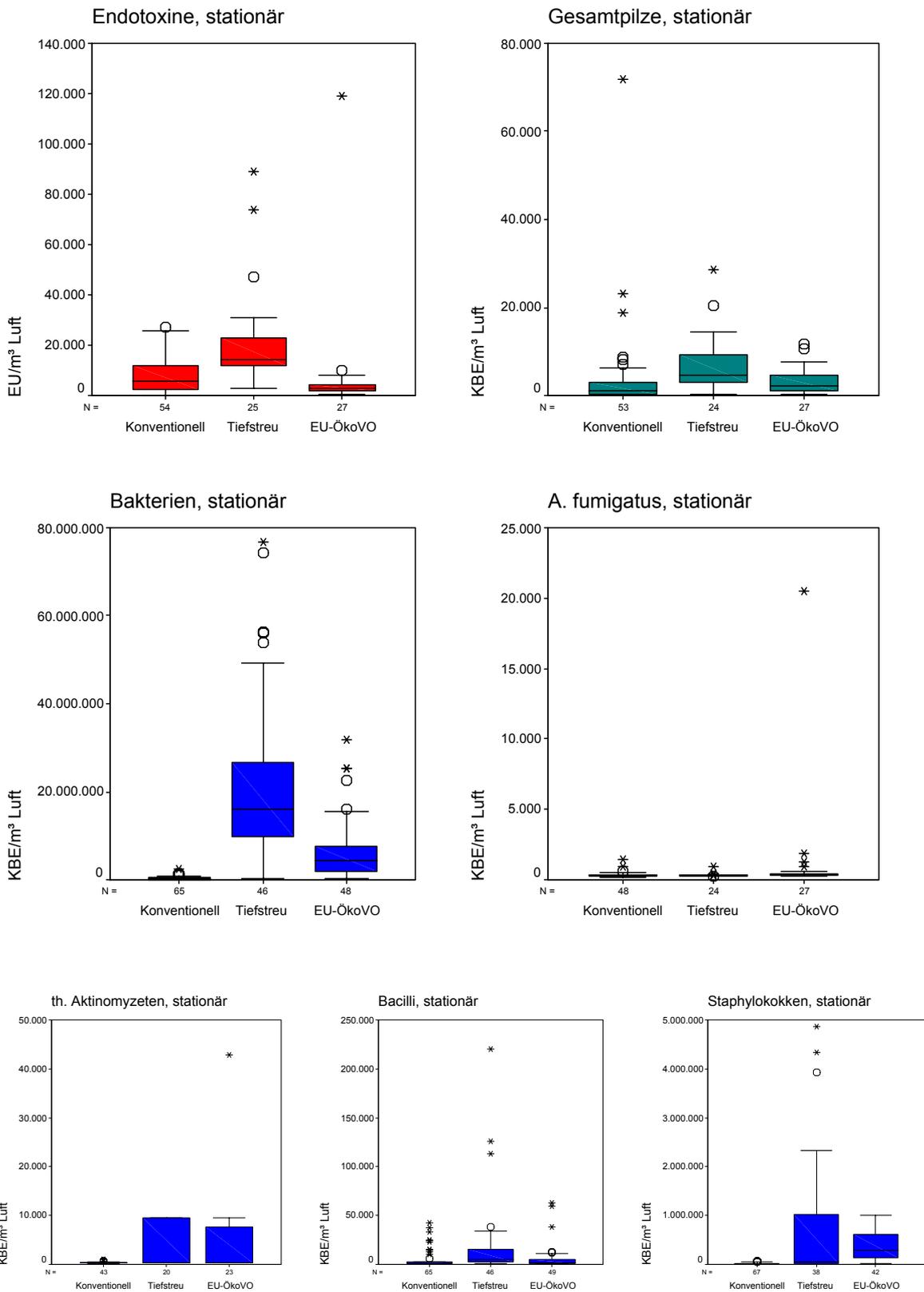


Tabelle A 5: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Endotoxine	Konventionell	54	5.544	7.931	7.001
	Tiefstreu	25	14.495	21.885	20.373
	EU-ÖkoVO	27	2.876	7.612	22.369
	Insgesamt	106	5.602	11.141	16.718
Gesamtpilze	Konventionell	53	1.058	3.895	10.421
	Tiefstreu	24	4.622	6.907	6.690
	EU-ÖkoVO	27	2.151	3.190	3.100
	Insgesamt	104	2.052	4.407	8.320
Bakterien	Konventionell	65	209.524	359.754	413.542
	Tiefstreu	46	16.099.567	21375330	18.570.741
	EU-ÖkoVO	48	4.359.307	6.809.558	7.341.337
	Insgesamt	159	1.933.333	8.386.842	13.809.544
A. fumigatus	Konventionell	48	317	350	213
	Tiefstreu	24	317	345	136
	EU-ÖkoVO	27	366	1.217	3.866
	Insgesamt	99	317	585	2.035
th. Aktinomyzeten	Konventionell	43	317	356	147
	Tiefstreu	20	381	4.037	4.602
	EU-ÖkoVO	23	381	4.499	9.200
	Insgesamt	86	360	2.320	5.530
Bacilli	Konventionell	65	1.058	4.861	9.176
	Tiefstreu	46	5.455	18.161	39.220
	EU-ÖkoVO	49	1.429	6.188	12.919
	Insgesamt	160	1.667	9.091	23.523
Staphylokokken	Konventionell	67	5.714	14.188	17.105
	Tiefstreu	38	51.948	735.326	1.237.886
	EU-ÖkoVO	42	286.905	368.352	289.982
	Insgesamt	147	30.000	301.794	707.274

Tabellen A 6: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – stationär

	Wert
Chi-Quadrat	33,134
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	54	50,28
Tiefstreu	25	81,88
EU-ÖkoVO	27	33,67
Gesamt	106	

Endotoxine, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	15,522
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	53	42,83
Tiefstreu	24	71,96
EU-ÖkoVO	27	54,19
Gesamt	104	

Gesamtpilze, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	114,355
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	65	35,19
Tiefstreu	46	126,50
EU-ÖkoVO	48	96,11
Gesamt	159	

Gesamtbakterien, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	6,340
df	2
Asymptotische Signifikanz	,042

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	48	45,10
Tiefstreu	24	46,58
EU-ÖkoVO	27	61,74
Gesamt	99	

A. fumigatus, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	14,531
df	2
Asymptotische Signifikanz	,001

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	43	33,29
Tiefstreu	20	52,97
EU-ÖkoVO	23	54,35
Gesamt	86	

th. Aktinomyzeten, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	24,925
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	65	65,31
Tiefstreu	46	108,38
EU-ÖkoVO	49	74,48
Gesamt	160	

Bacilli, stationär

	Wert
Chi-Quadrat	78,258
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	67	40,65
Tiefstreu	38	93,76
EU-ÖkoVO	42	109,32
Gesamt	147	

Staphylokokken, stationär

Tabellen A 7: Koeffizienten des multivariaten Modells, PGP-System – stationär

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	3,732	0,132		28,294	0,000
Außentemperatur	-0,0380	0,004	-0,768	-9,521	0,000
GVE	0,0553	0,015	0,301	3,732	0,000

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, Konventionelle Ställe, Mastdurchgänge 1 bis 3

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	3,093	0,137		22,562	0,000
GVE	0,107	0,018	0,828	5,900	0,000

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, Konventionelle Ställe, Mastdurchgang 1

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,089	0,084		48,643	0,000
Außentemperatur	-0,027	0,007	-0,681	-3,717	0,002

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, Konventionelle Ställe, Mastdurchgang 2

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,489	0,582		7,713	0,000
Stalltemperatur	-0,0694	0,016	-0,659	-4,372	0,001
GVE	0,0786	0,034	0,344	2,280	0,038

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, Konventionelle Ställe, Mastdurchgang 3

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	2,193	0,351		6,255	0,000
GVE	0,166	0,045	0,686	3,653	0,002

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Gesamtschimmelpilzkonzentration, Konventionelle Ställe, Mastdurchgang 1

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	5,937	0,606		9,791	0,000
GVE	-0,0791	0,029	-0,655	-2,745	0,021

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, Tiefstreu-Stall, Mastdurchgang 3

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	3,935	0,249		15,812	0,000
GVE	-0,0503	0,019	-0,618	-2,609	0,024

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Gesamtschimmelpilzkonzentration, Tiefstreu-Stall, Mastdurchgang 2

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	2,921	0,251		11,626	0,000
GVE	-0,0373	0,016	0,607	2,292	0,048

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Endotoxinkonzentration, EU-ÖkoVO-Stall, Mastdurchgang 2

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,506	0,377		11,940	0,000
GVE	-0,0843	0,024	-0,755	-3,451	0,007

Abhängige Variable: Log Endotoxinkonzentration

Koeffizienten multivariates Modell, Gesamtschimmelpilzkonzentration, EU-ÖkoVO-Stall, Mastdurchgang 2

Abbildungen A 3: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – personengetragen

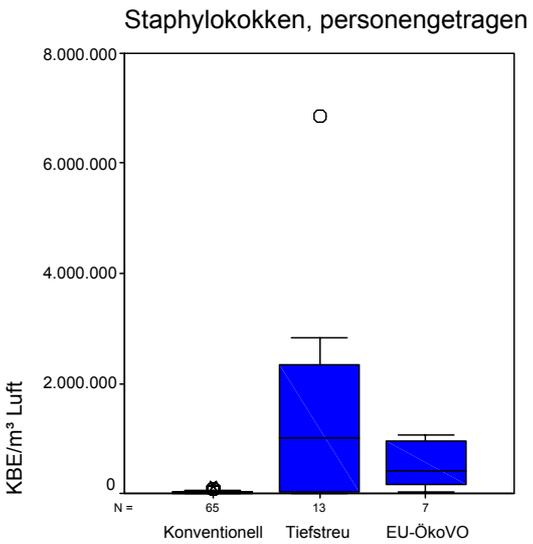
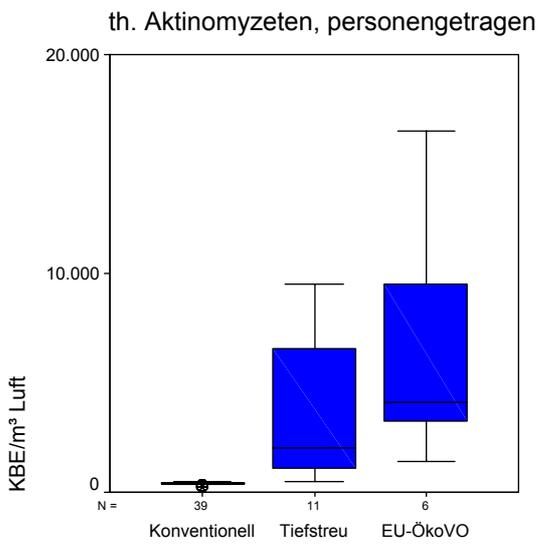
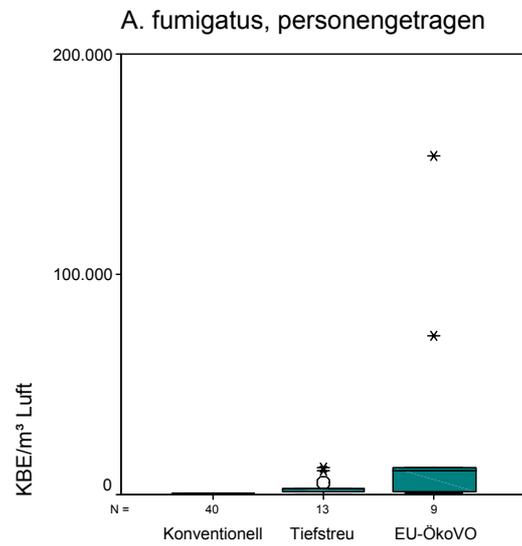
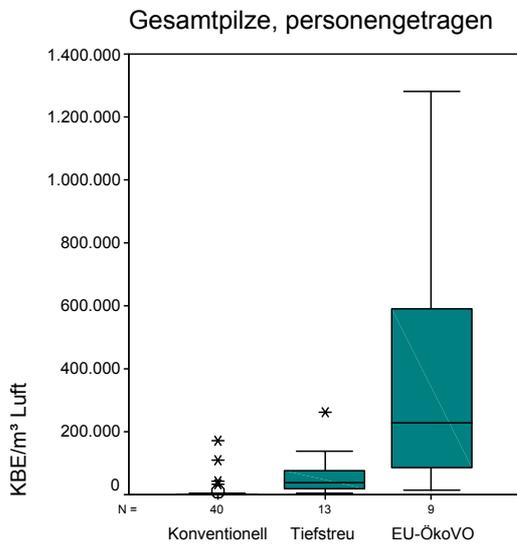
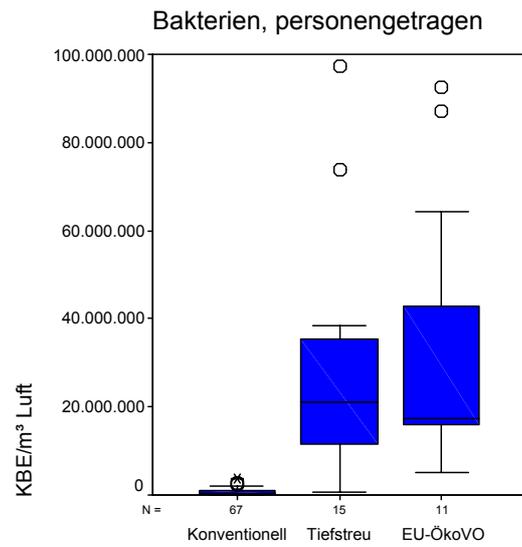
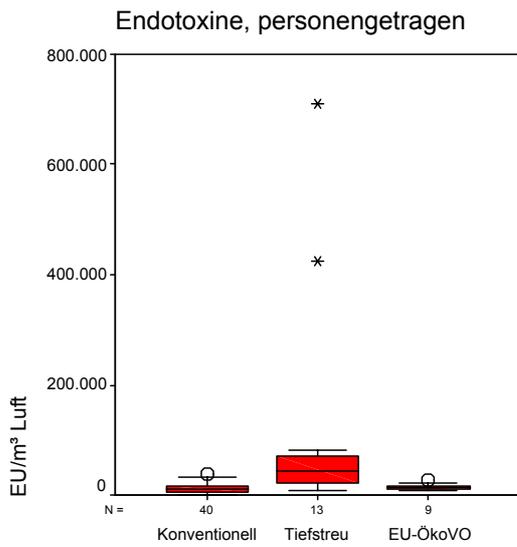


Tabelle A 8: Vergleich der Stallsysteme; PGP-System – personengetragen

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standard- abweichung
Endotoxine	Konventionell	40	10.330	12.280	9.072
	Tiefstreu	13	42.857	120.475	208.176
	EU-ÖkoVO	9	14.549	15.149	6.257
	Insgesamt	62	14.128	35.383	102.648
Gesamtpilze	Konventionell	40	828	9.971	32.064
	Tiefstreu	13	39.776	61.404	69.493
	EU-ÖkoVO	9	229.932	360.223	407.876
	Insgesamt	62	2.165	71.598	195.522
Bakterien	Konventionell	67	361.905	635.677	706.843
	Tiefstreu	15	21.224.490	28325413	26.480.662
	EU-ÖkoVO	11	17.402.597	33791601	31.502.806
	Insgesamt	93	632.035	9.023.432	20.006.718
A. fumigatus	Konventionell	40	406	361	80
	Tiefstreu	13	2.381	3.553	3.731
	EU-ÖkoVO	9	10.989	30.064	51.455
	Insgesamt	62	433	5.342	21.380
th. Aktinomyzeten	Konventionell	39	433	407	55
	Tiefstreu	11	2.041	3.792	3.790
	EU-ÖkoVO	6	4.103	6.481	5.600
	Insgesamt	56	433	1.723	3.165
Bacilli	Konventionell	67	1.299	6.108	11.565
	Tiefstreu	15	31.746	39.897	37.491
	EU-ÖkoVO	11	66.234	129.038	129.692
	Insgesamt	93	2.857	26.098	61.050
Staphylokokken	Konventionell	65	14.286	26.325	32.571
	Tiefstreu	13	1.000.000	1.543.964	1.909.612
	EU-ÖkoVO	7	395.604	536.020	450.401
	Insgesamt	85	20.714	300.409	915.603

Tabellen A 9: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme, PGP-System – personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	21,039
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	40	24,90
Tiefstreu	13	51,31
EU-ÖkoVO	9	32,22
Gesamt	62	

Endotoxine, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	34,452
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	40	21,67
Tiefstreu	13	46,15
EU-ÖkoVO	9	54,00
Gesamt	62	

Gesamtpilze, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	52,078
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	67	34,43
Tiefstreu	15	78,30
EU-ÖkoVO	11	80,91
Gesamt	93	

Gesamtbakterien, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	38,155
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	40	21,11
Tiefstreu	13	48,08
EU-ÖkoVO	9	53,72
Gesamt	62	

A. fumigatus, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	35,269
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	39	20,08
Tiefstreu	11	46,55
EU-ÖkoVO	6	50,17
Gesamt	56	

th. Aktinomyzeten, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	40,187
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	67	36,21
Tiefstreu	15	69,67
EU-ÖkoVO	11	81,82
Gesamt	93	

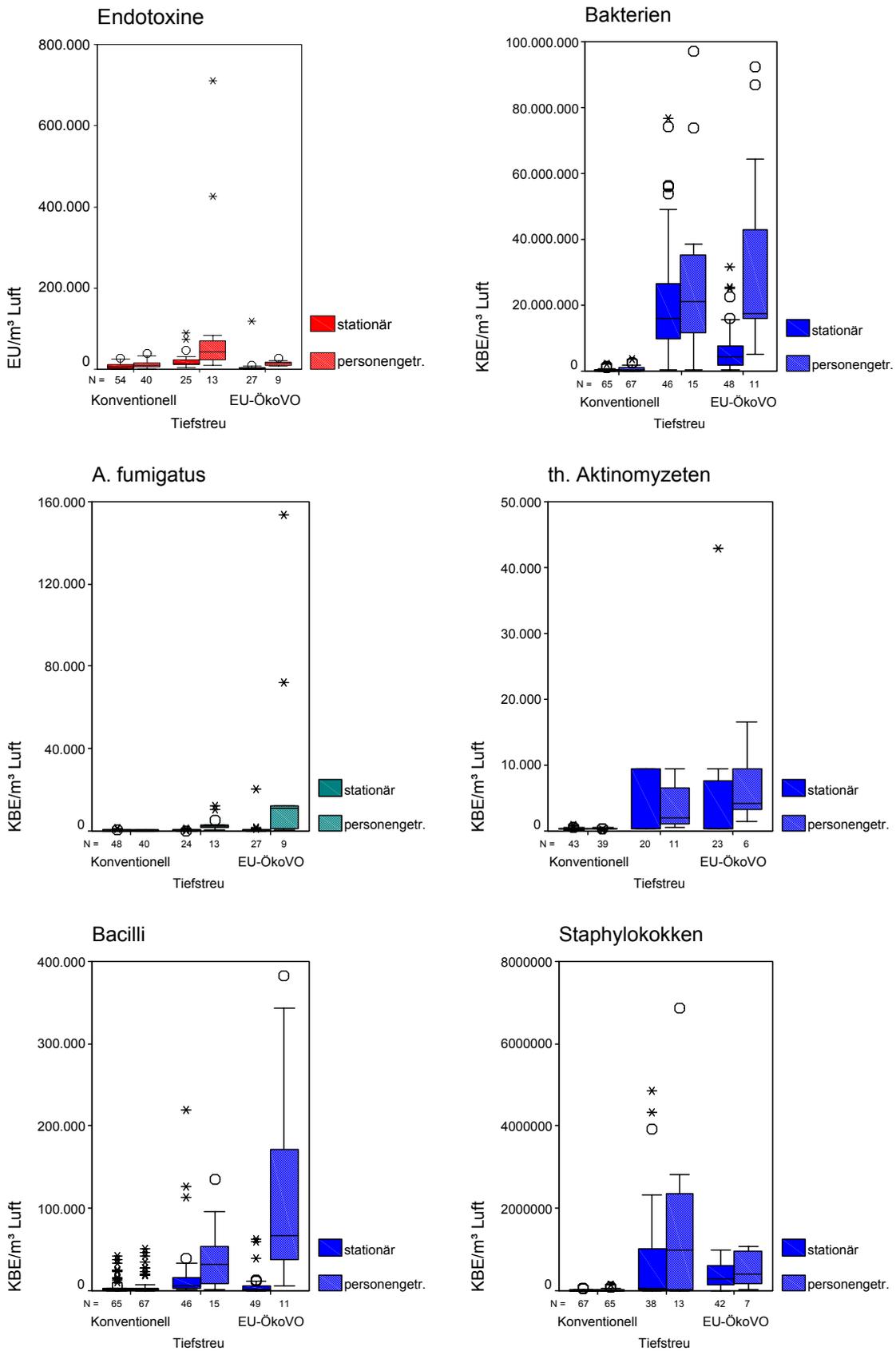
Bacilli, personenge-tragen

	Wert
Chi-Quadrat	29,659
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	65	34,92
Tiefstreu	13	68,46
EU-ÖkoVO	7	70,71
Gesamt	85	

Staphylokokken, personenge-tragen

Abbildungen A 4: Vergleich der PGP-Messungen stationär – personengetragen



Abbildungen A 5: Impaktormessungen

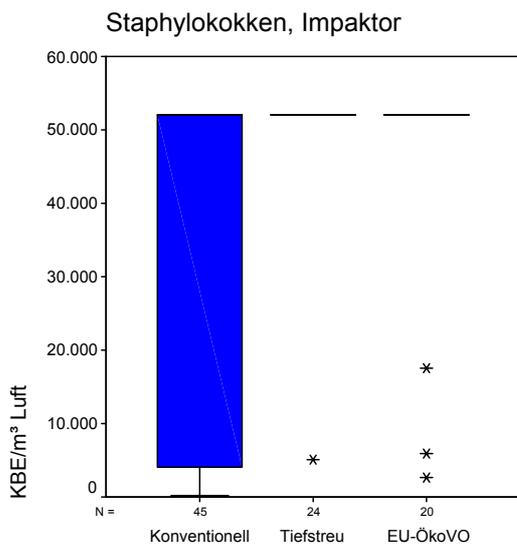
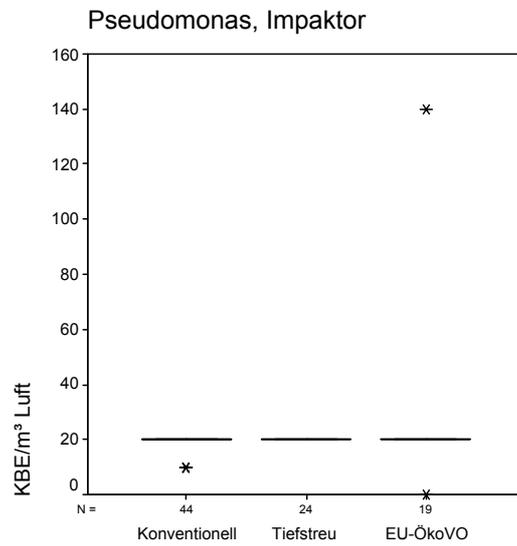
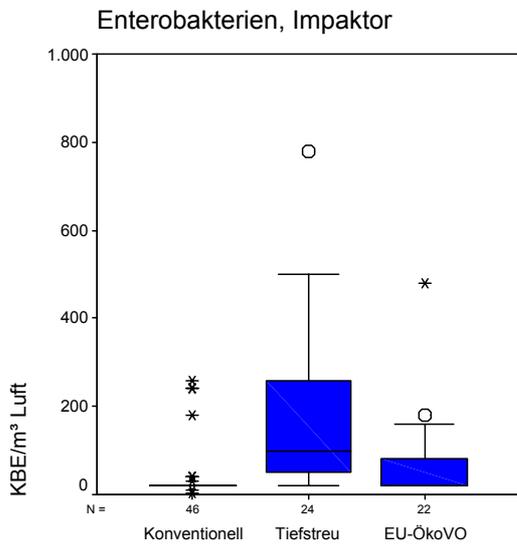
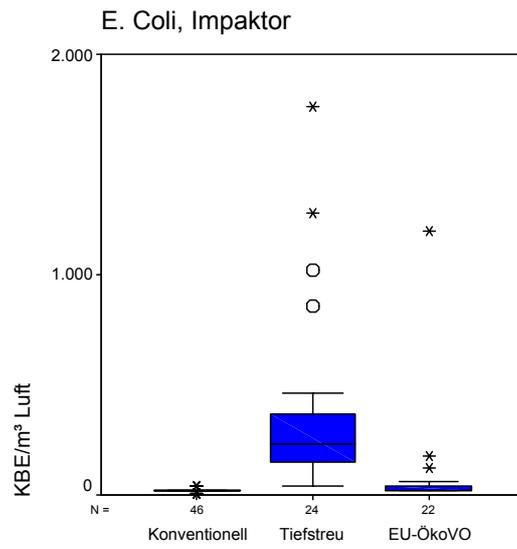
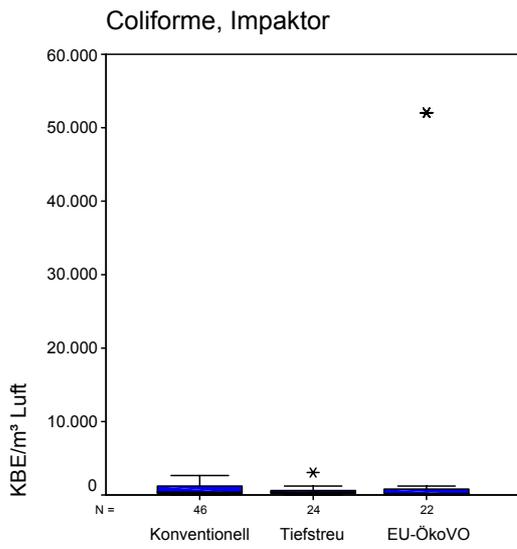


Tabelle A 10: Mediane und Mittelwerte der Impaktormessungen

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Coliforme	Konventionell	46	370	674	678
	Tiefstreu	24	500	583	600
	EU-ÖkoVO	22	150	7.342	18.167
	Insgesamt	92	380	2.245	9.205
E. Coli	Konventionell	46	20	21	6
	Tiefstreu	24	230	386	425
	EU-ÖkoVO	22	20	90	251
	Insgesamt	92	20	132	290
Enterobakterien	Konventionell	46	20	39	61
	Tiefstreu	24	100	177	182
	EU-ÖkoVO	22	20	67	105
	Insgesamt	92	20	82	127
Pseudomonas	Konventionell	44	20	20	2
	Tiefstreu	24	20	20	0
	EU-ÖkoVO	19	20	25	28
	Insgesamt	87	20	21	13
Staphylokokken	Konventionell	45	52.000	38.583	22.512
	Tiefstreu	24	52.000	50.048	9.565
	EU-ÖkoVO	20	52.000	45.504	16.069
	Insgesamt	89	52.000	43.230	18.920

Tabellen A 11: Kruskal-Wallis-H-Test: Vergleich der Stallsysteme; Impaktormessungen

	Wert
Chi-Quadrat	2,833
df	2
Asymptotische Signifikanz	,243

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	46	49,45
Tiefstreu	24	48,48
EU-ÖkoVO	22	38,18
Gesamt	92	

Coliforme

	Wert
Chi-Quadrat	64,754
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	46	31,57
Tiefstreu	24	78,85
EU-ÖkoVO	22	42,43
Gesamt	92	

E. Coli

	Wert
Chi-Quadrat	34,448
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	46	35,28
Tiefstreu	24	70,13
EU-ÖkoVO	22	44,18
Gesamt	92	

Enterobakterien

	Wert
Chi-Quadrat	,921
df	2
Asymptotische Signifikanz	,631

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	44	43,07
Tiefstreu	24	45,00
EU-ÖkoVO	19	44,89
Gesamt	87	

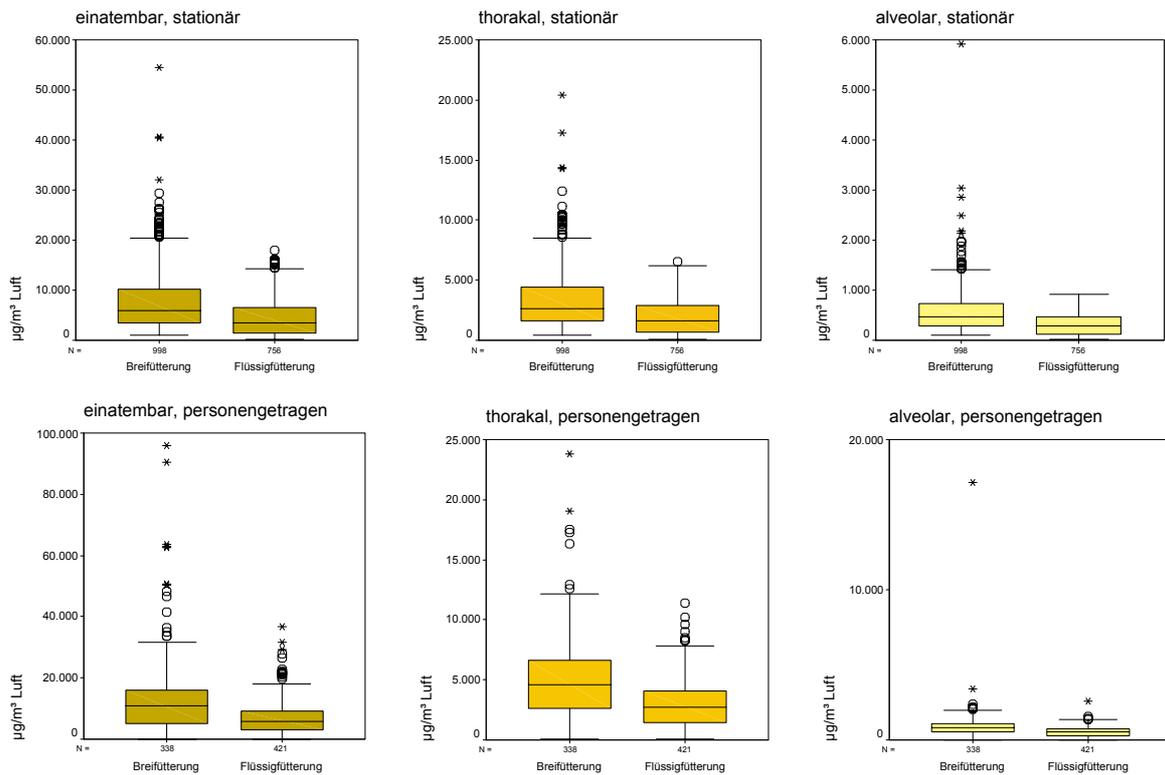
Pseudomonas

	Wert
Chi-Quadrat	6,337
df	2
Asymptotische Signifikanz	,042

Stallsystem	N	Mittlerer Rang
Konventionell	45	40,69
Tiefstreu	24	51,38
EU-ÖkoVO	20	47,05
Gesamt	89	

Staphylokokken

Abbildungen A 6: Vergleich der Staubmessungen, konventionelle Stallsysteme



Tabellen A 12: Mediane und Mittelwerte der Staubmessungen, Vergleich stationäre Ställe

stationär

einatembar

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	998	5.949	7.571	5.748
Flüssigfütterung	756	3.399	4.315	3.421
Insgesamt	1754	4.830	6.167	5.141

personengetragen

einatembar

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	338	10.805	12.593	11.453
Flüssigfütterung	421	5.851	6.931	5.215
Insgesamt	759	7.294	9.452	9.017

stationär

thorakal

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	998	2.626	3.253	2.280
Flüssigfütterung	756	1.643	1.906	1.383
Insgesamt	1754	2.121	2.672	2.056

personengetragen

thorakal

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	338	4.584	5.062	3.050
Flüssigfütterung	421	2.718	2.960	1.919
Insgesamt	759	3.398	3.896	2.696

stationär

alveolar

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	998	469	551	393
Flüssigfütterung	756	294	320	212
Insgesamt	1754	389	451	347

personengetragen

alveolar

Fütterungsart	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Breifütterung	338	821	937	980
Flüssigfütterung	421	538	529	320
Insgesamt	759	638	711	725

Tabellen A 13: Mann-Whitney-U-Test; Vergleich der konventionellen Ställen, Staub

Staub, stationär

	Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
einatembar	Breifütterung	998	1024,91	1022863,50
	Flüssigfütterung	756	682,90	516271,50
	Gesamt	1754		
thorakal	Breifütterung	998	1024,47	1022422,01
	Flüssigfütterung	756	683,48	516712,99
	Gesamt	1754		
alveolengängig	Breifütterung	998	1031,64	1029572,47
	Flüssigfütterung	756	674,02	509562,50
	Gesamt	1754		

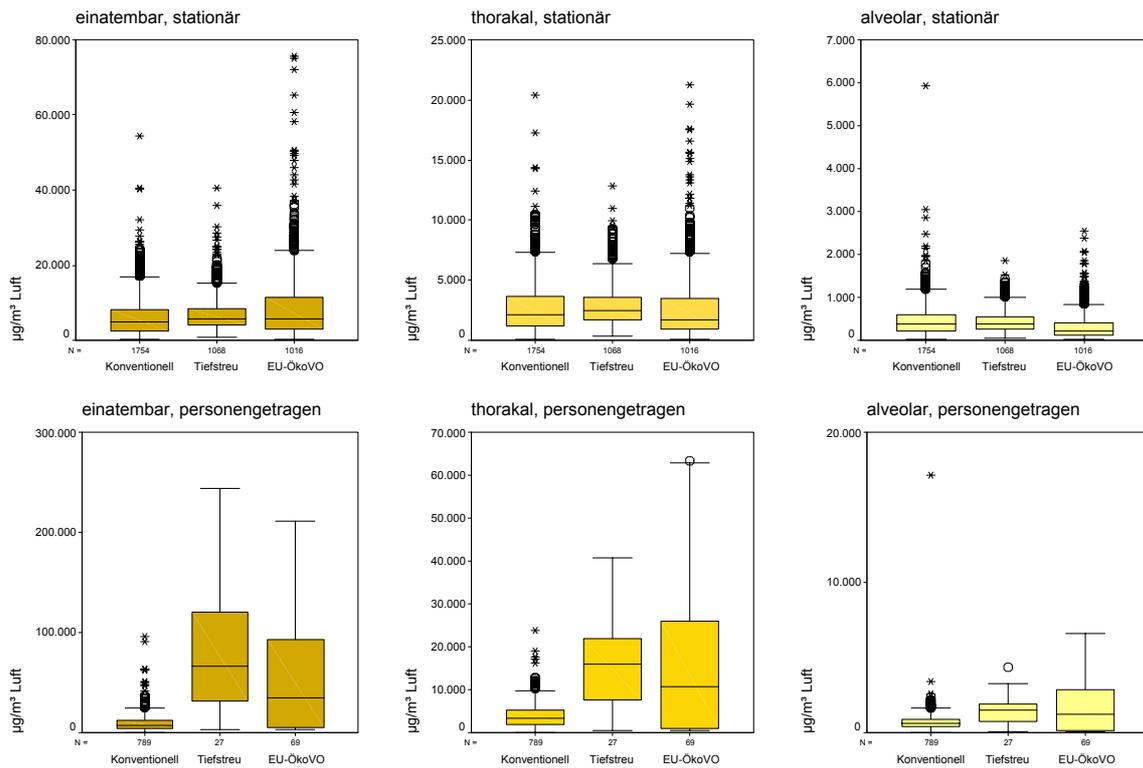
	einatembar	thorakal	alveolengängig
Mann-Whitney-U	230125,500	230567,0	223416,500
Wilcoxon-W	516271,500	516713,0	509562,500
Z	-14,005	-13,963	-14,644
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

Staub, personengetragen

	Fütterungsart	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
einatembar	Breifütterung	338	463,17	156551,00
	Flüssigfütterung	421	313,23	131869,00
	Gesamt	759		
thorakal	Breifütterung	338	475,70	160787,00
	Flüssigfütterung	421	303,17	127633,00
	Gesamt	759		
alveolengängig	Breifütterung	338	485,61	164137,50
	Flüssigfütterung	421	295,21	124282,49
	Gesamt	759		

	einatembar	thorakal	alveolengängig
Mann-Whitney-U	43038,000	38802,000	35451,500
Wilcoxon-W	131869,000	127633,0	124282,500
Z	-9,364	-10,775	-11,891
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

Abbildungen A 7: Ergebnisse der Staubproben, stationär und personengetragen



Tabellen A 14: Mediane und Mittelwerte der Staubproben

stationär

einatembar				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	1754	4.830	6.167	5.141
Tiefstreu	1068	5.816	6.926	4.463
EU-ÖkoVO	1016	5.850	8.890	9.307
Insgesamt	3838	5.401	7.099	6.464

personengetragen

einatembar				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	789	7.176	9.262	8.925
Tiefstreu	27	66.319	82.872	65.276
EU-ÖkoVO	69	34.507	58.156	60.769
Insgesamt	885	7.422	15.320	28.209

stationär

thorakal				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	1754	2.121	2.672	2.056
Tiefstreu	1068	2.444	2.854	1.745
EU-ÖkoVO	1016	1.694	2.637	2.692
Insgesamt	3838	2.107	2.713	2.169

personengetragen

thorakal				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	789	3.339	3.802	2.696
Tiefstreu	27	15.906	15.975	11.226
EU-ÖkoVO	69	10.781	16.128	17.300
Insgesamt	885	3.398	5.134	6.915

stationär

alveolar				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	1754	389	451	347
Tiefstreu	1068	373	433	250
EU-ÖkoVO	1016	220	323	302
Insgesamt	3838	336	412	315

personengetragen

alveolar				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	789	620	692	718
Tiefstreu	27	1.505	1.514	1.000
EU-ÖkoVO	69	1.202	1.739	1.854
Insgesamt	885	634	799	921

Tabellen A 15: Mediane und Mittelwerte der Referenzmessungen, Staubproben

Referenzmessungen					Referenzmessungen				
einatembar					alveolar				
Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Konventionell	202	18	32	75	Konventionell	202	13	13	8
Tiefstreu	176	78	85	112	Tiefstreu	176	27	36	27
EU-ÖkoVO	161	37	49	47	EU-ÖkoVO	161	19	24	20
Insgesamt	539	30	54	86	Insgesamt	539	18	24	22

Tabellen A 16: Kruskal-Wallis-H-Test; Vergleich der Stallsysteme, Staub

Staub, stationär			
	Stallsystem	N	Mittlerer Rang
einatembar	Konventionell	1754	1752,55
	Tiefstreu	1068	2067,30
	EU-ÖkoVO	1016	2052,36
	Gesamt	3838	
thorakal	Konventionell	1754	1913,28
	Tiefstreu	1068	2131,87
	EU-ÖkoVO	1016	1706,99
	Gesamt	3838	
alveolengängig	Konventionell	1754	2064,63
	Tiefstreu	1068	2117,76
	EU-ÖkoVO	1016	1460,54
	Gesamt	3838	

	einatembar	thorakal	alveolengängig
Chi-Quadrat	73,426	76,654	238,581
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

Staub, personengetragen			
	Stallsystem	N	Mittlerer Rang
einatembar	Konventionell	789	417,49
	Tiefstreu	27	765,26
	EU-ÖkoVO	69	608,62
	Gesamt	885	
thorakal	Konventionell	789	426,68
	Tiefstreu	27	704,48
	EU-ÖkoVO	69	527,33
	Gesamt	885	
alveolengängig	Konventionell	789	430,87
	Tiefstreu	27	658,93
	EU-ÖkoVO	69	497,25
	Gesamt	885	

	einatembar	thorakal	alveolengängig
Chi-Quadrat	79,738	38,980	24,151
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

Abbildungen A 8: Materialproben, Stroh

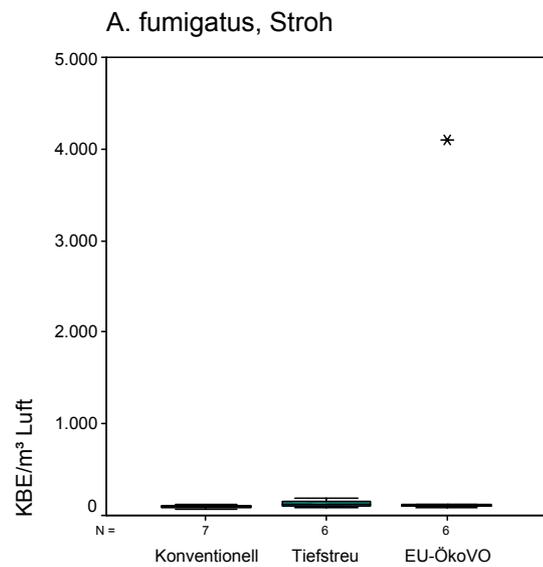
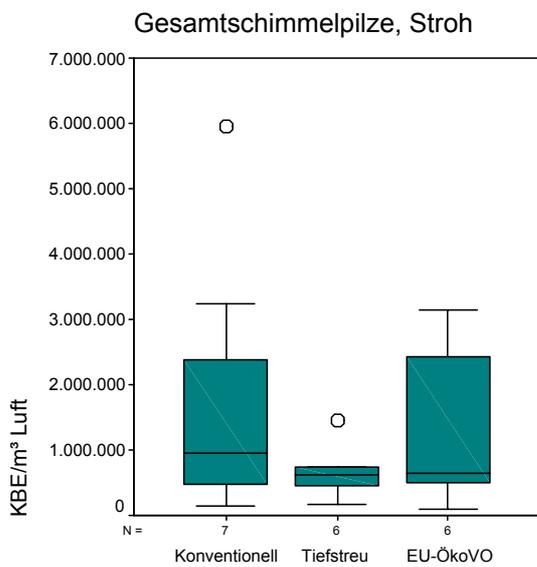
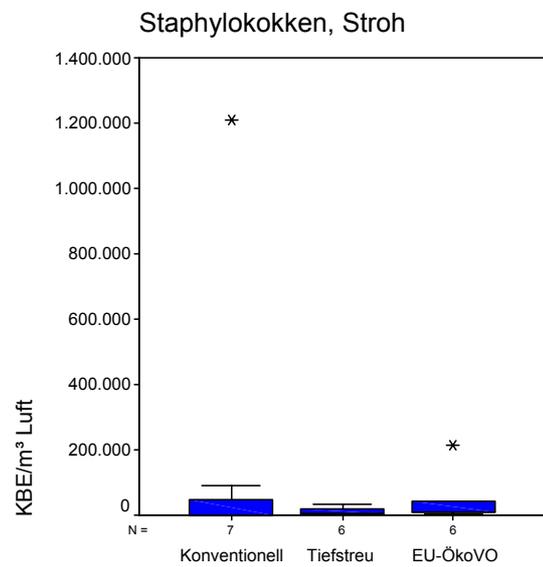
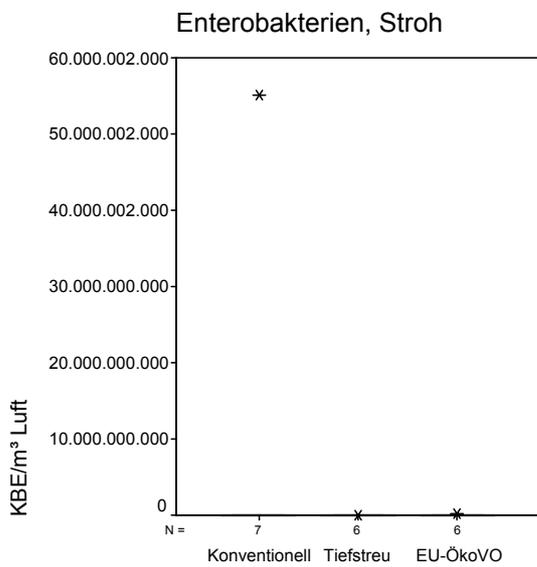
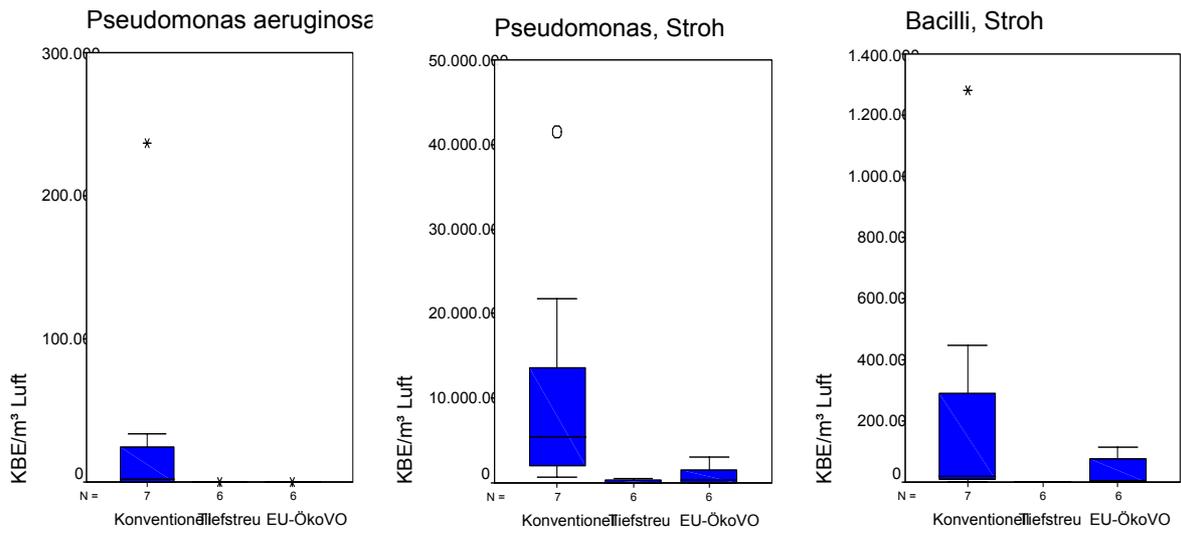
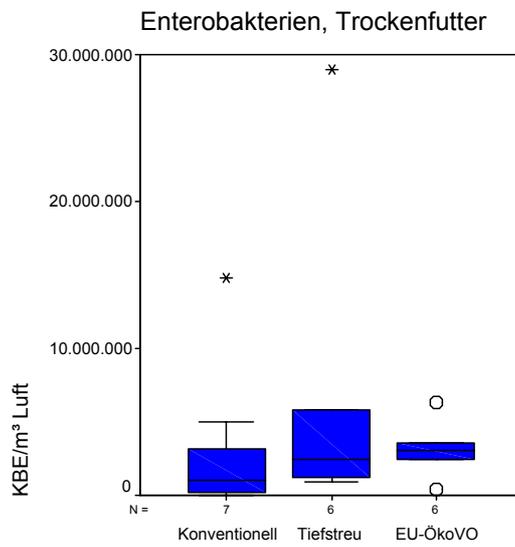
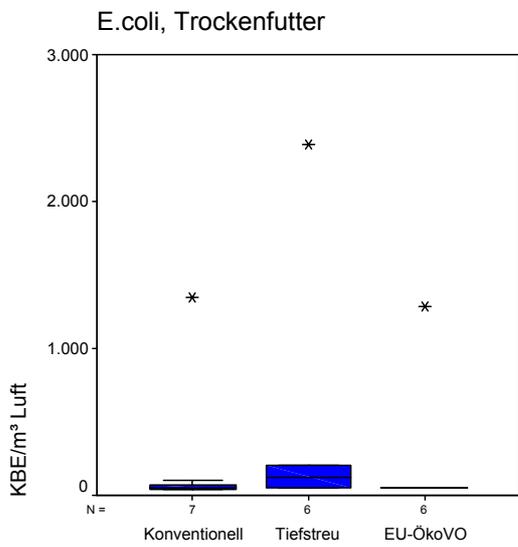
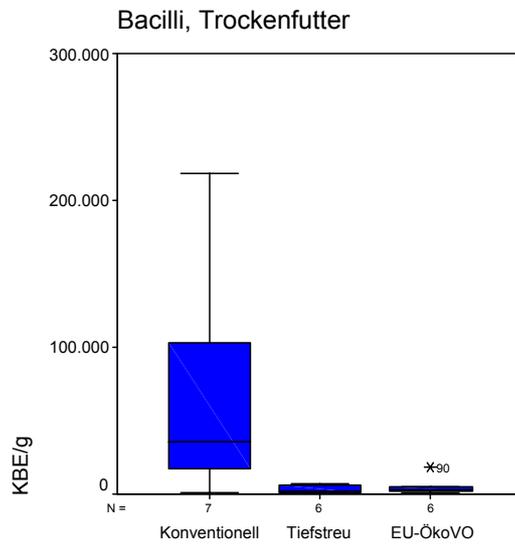
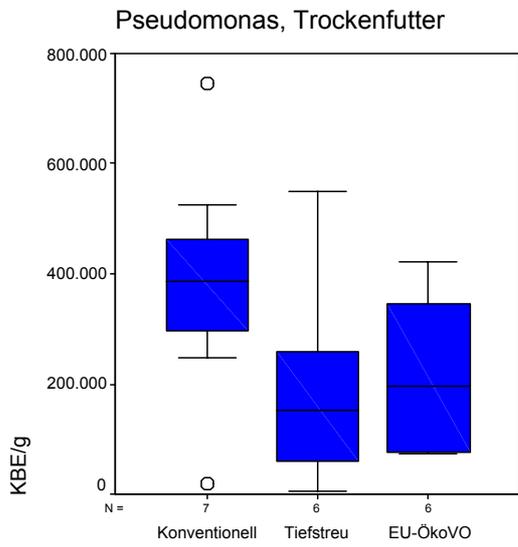
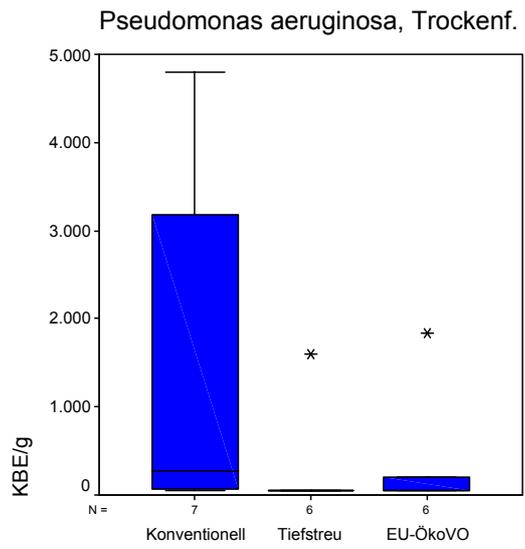
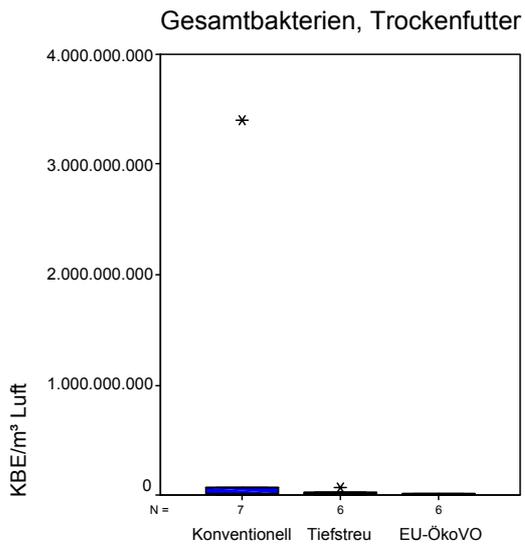


Tabelle A 17: Mediane und Mittelwerte der Strohanalysen

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Gesamtbakterien	Konventionell	7	127.953.000.000,00	1536027952149,43	1.891.342.775.235,115
	Tiefstreu	6	255.074.403,85	913.678.339,73	1.568.020.854,101
	EU-ÖkoVO	6	360.249.923,10	3.495.553.757,72	6.764.701.185,741
	Insgesamt	19	2.103.879.027,00	567.297.424.085,83	1.330.504.425.867,704
Pseudomonas aerugi	Konventionell	7	1.683,50	41.076,21	86.983,972
	Tiefstreu	6	96,53	132,73	82,449
	EU-ÖkoVO	6	103,50	134,78	75,520
	Insgesamt	19	98,00	15.217,82	54.164,499
Pseudomonas	Konventionell	7	5.429.250,00	11.320.568,71	15.150.106,949
	Tiefstreu	6	27.954,21	151.957,64	225.872,171
	EU-ÖkoVO	6	356.324,05	868.267,14	1.172.686,098
	Insgesamt	19	559.207,30	4.492.912,09	10.280.767,866
Bacilli	Konventionell	7	19.878,57	271.984,77	473.419,673
	Tiefstreu	6	881,93	953,24	639,319
	EU-ÖkoVO	6	4.294,06	33.466,52	49.293,661
	Insgesamt	19	3.775,41	111.074,31	302.494,391
Coliforme	Konventionell	7	10.400.000,00	20.197.562,02	23.181.224,679
	Tiefstreu	6	3.858.825,00	12.649.044,85	17.515.038,348
	EU-ÖkoVO	6	2.616.797,68	9.013.999,83	11.992.405,814
	Insgesamt	19	4.277.250,00	14.282.168,54	18.111.773,673
E.coli	Konventionell	7	98,00	95,00	12,987
	Tiefstreu	6	96,50	100,00	23,065
	EU-ÖkoVO	6	97,00	103,00	13,342
	Insgesamt	19	97,00	99,11	16,289
Enterobakterien	Konventionell	7	10.008.035,65	7.886.086.583,28	20.830.407.588,241
	Tiefstreu	6	3.869.492,50	12.539.732,24	21.030.680,642
	EU-ÖkoVO	6	5.746.618,30	28.375.082,79	50.220.997,653
	Insgesamt	19	4.813.662,54	2.918.320.788,06	12.642.461.700,467
Staphylokokken	Konventionell	7	1.262,63	186.611,95	452.403,816
	Tiefstreu	6	6.277,60	11.793,32	12.171,065
	EU-ÖkoVO	6	11.589,25	48.784,86	82.315,070
	Insgesamt	19	7.732,19	87.881,73	276.362,933
Gesamt-schimmelpilze	Konventionell	7	951.178,45	1.823.637,47	2.107.575,038
	Tiefstreu	6	614.418,23	670.844,73	426.822,758
	EU-ÖkoVO	6	648.437,86	1.244.498,50	1.240.925,598
	Insgesamt	19	714.285,71	1.276.711,67	1.482.568,617
A. fumigatus	Konventionell	7	98,00	94,94	12,858
	Tiefstreu	6	120,50	128,03	38,559
	EU-ÖkoVO	6	103,40	768,54	1.627,618
	Insgesamt	19	98,00	318,11	913,993
Hefen	Konventionell	3	1.200.000,00	5.272.350,00	7.125.474,621
	Insgesamt	3	1.200.000,00	5.272.350,00	7.125.474,621

Abbildungen A 9: Materialproben, Trockenfutter



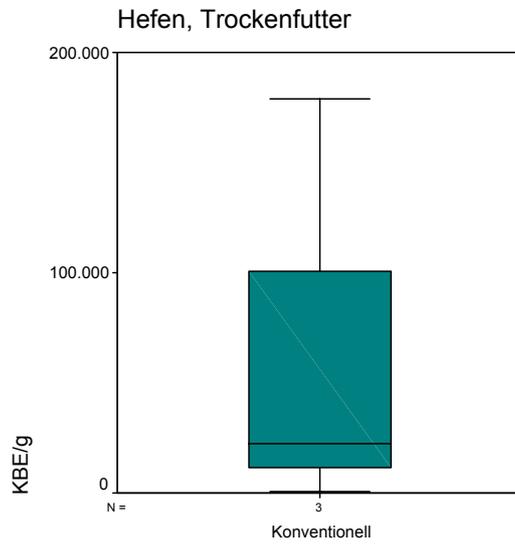
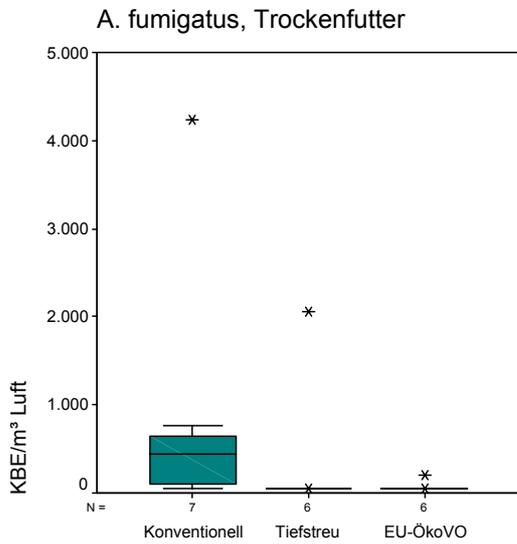
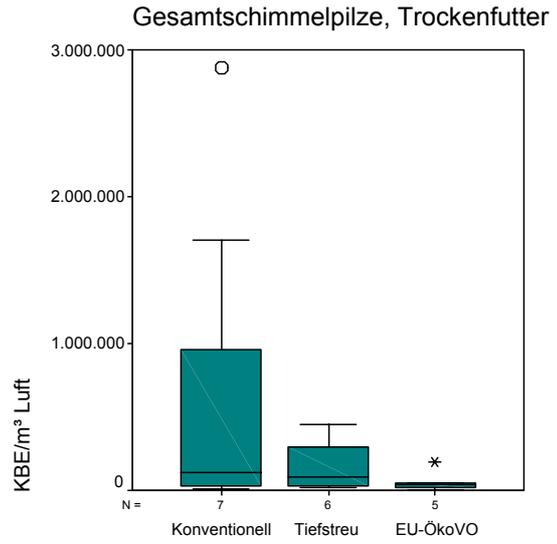
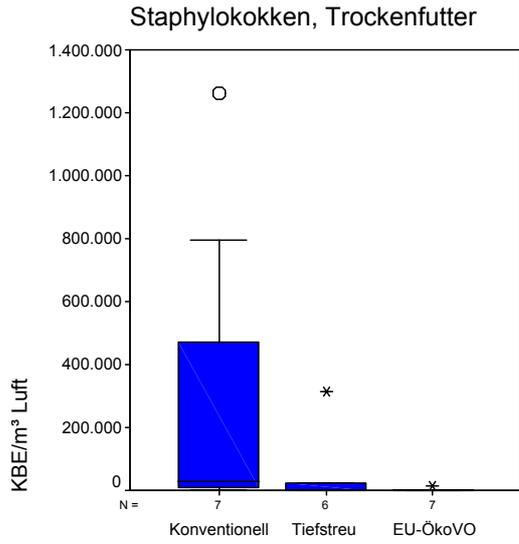
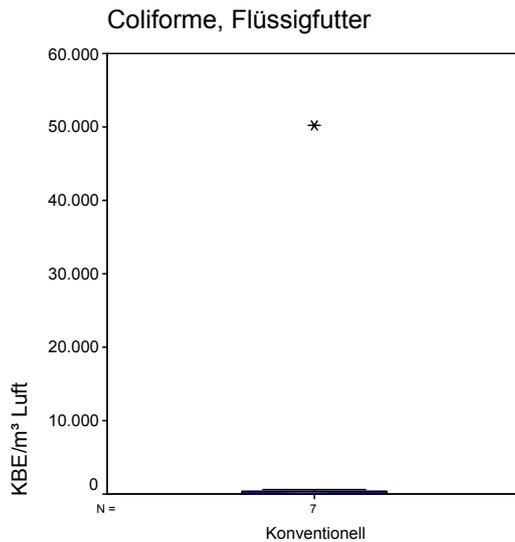
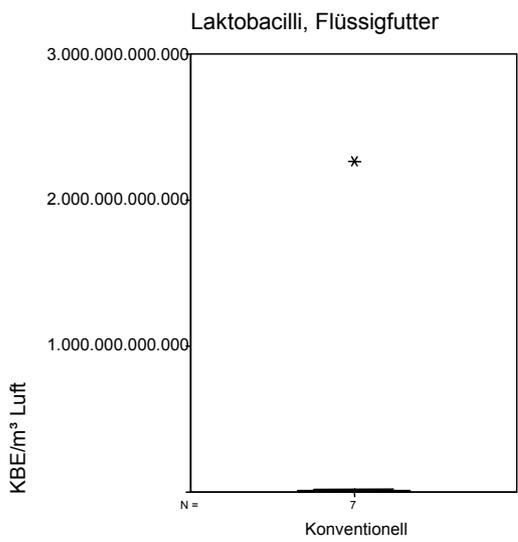
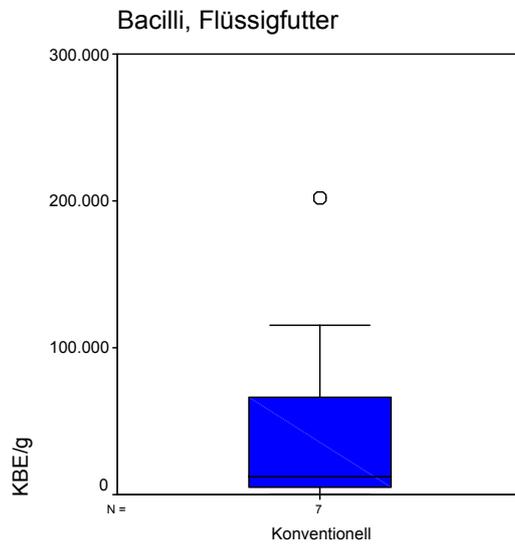
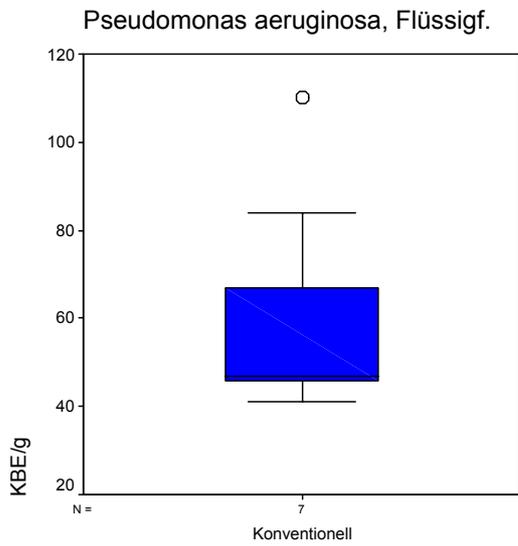
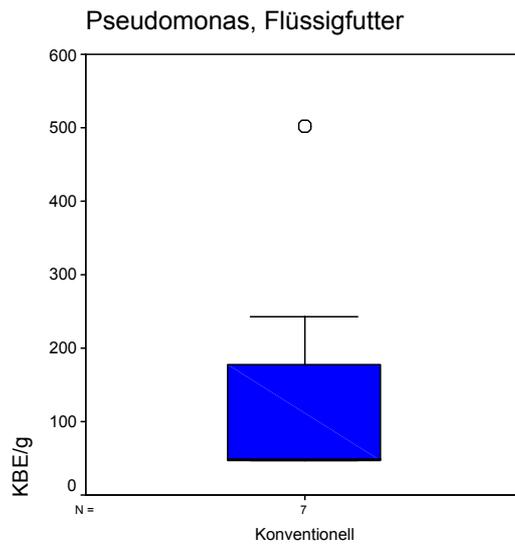
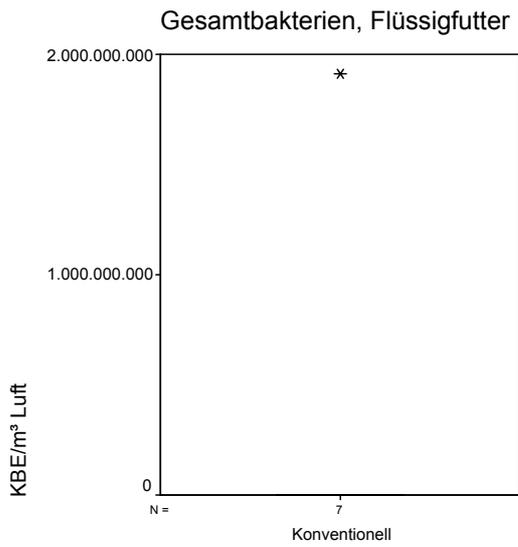


Tabelle A 18: Mediane und Mittelwerte der Materialproben, Trockenfutter

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Gesamtbakterien	Konventionell	7	64.750.319	519.110.769	1.269.340.134
	Tiefstreu	6	16.102.691	21.209.753	21.145.737
	EU-ÖkoVO	6	7.675.366	7.111.342	2.431.669
	Insgesamt	19	9.838.194	200.194.840	774.505.739
Pseudomonas aerugi	Konventionell	7	270	1.660	2.006
	Tiefstreu	6	50	307	631
	EU-ÖkoVO	6	50	373	721
	Insgesamt	19	50	826	1.423
Pseudomonas	Konventionell	7	385.280	381.520	225.337
	Tiefstreu	6	152.019	196.477	199.104
	EU-ÖkoVO	6	194.773	218.262	147.174
	Insgesamt	19	259.248	271.530	203.672
Bacilli	Konventionell	7	35.318	71.030	78.223
	Tiefstreu	6	2.478	3.379	2.749
	EU-ÖkoVO	6	3.337	5.240	6.378
	Insgesamt	19	4.196	28.891	56.098
Coliforme	Konventionell	7	2.655.000	3.357.555	3.240.380
	Tiefstreu	6	2.645.516	3.125.862	2.837.584
	EU-ÖkoVO	6	2.850.082	2.388.988	1.341.322
	Insgesamt	19	2.655.000	2.978.525	2.532.859
E.coli	Konventionell	7	49	240	490
	Tiefstreu	6	123	489	935
	EU-ÖkoVO	6	50	256	505
	Insgesamt	19	50	324	638
Enterobakterien	Konventionell	7	981.164	3.209.633	5.396.340
	Tiefstreu	6	2.400.435	6.956.380	10.920.514
	EU-ÖkoVO	6	3.041.326	3.139.695	1.935.092
	Insgesamt	19	2.492.259	4.370.730	6.865.280
Staphylokokken	Konventionell	7	29.432	321.570	502.810
	Tiefstreu	6	723	56.833	126.334
	EU-ÖkoVO	7	100	2.416	5.538
	Insgesamt	20	723	130.445	324.430
Gesamtschimmelpilze	Konventionell	7	117.728	711.088	1.133.839
	Tiefstreu	6	93.721	163.387	172.604
	EU-ÖkoVO	5	35.856	60.476	76.332
	Insgesamt	18	54.633	347.796	744.647
A. fumigatus	Konventionell	7	450	889	1.498
	Tiefstreu	6	50	383	817
	EU-ÖkoVO	6	50	75	61
	Insgesamt	19	50	472	1.028
Hefen	Konventionell	3	22.500	67.383	97.462
	Insgesamt	3	22.500	67.383	97.462

Abbildungen A 10: Materialproben, Flüssigfutter



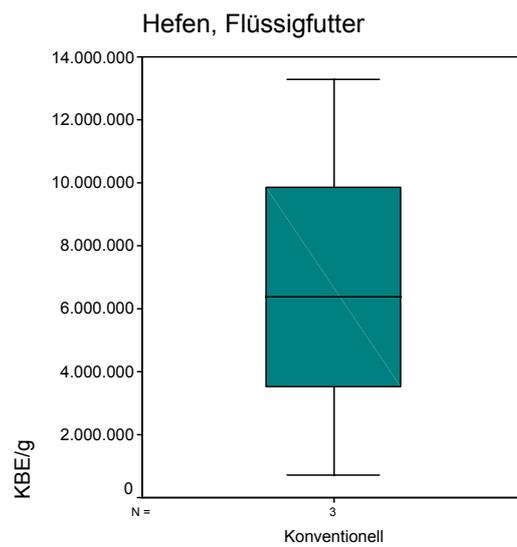
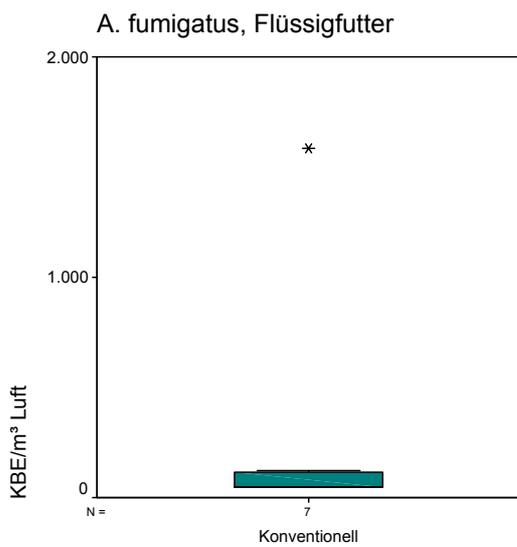
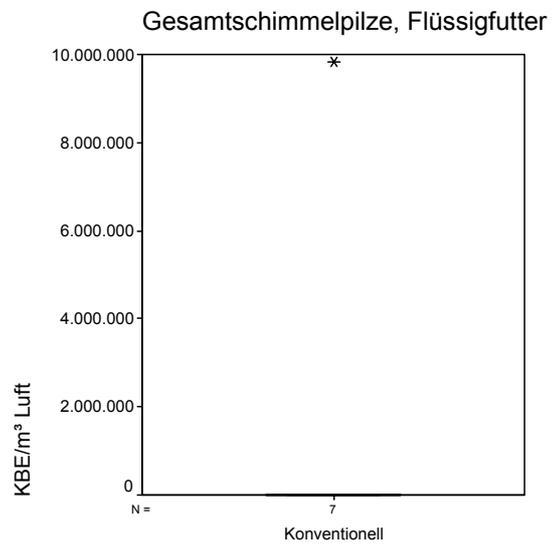
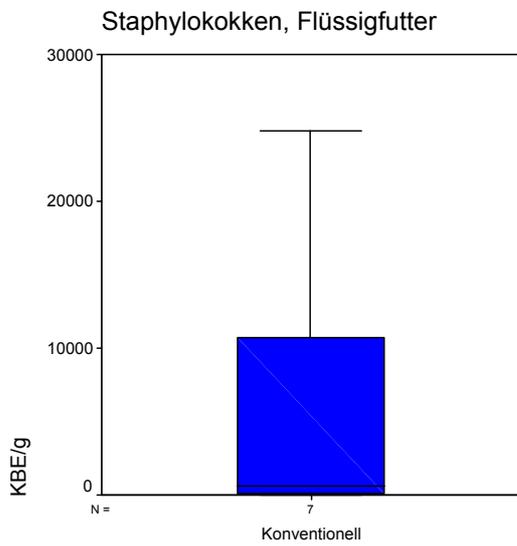
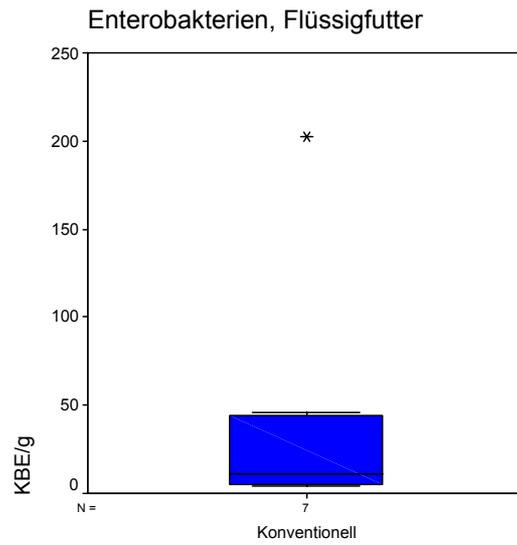
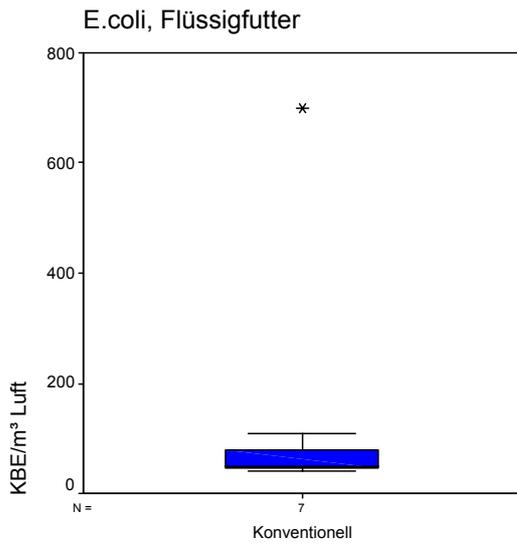


Tabelle A 19: Mediane und Mittelwerte der Materialproben, Flüssigfutter

Art	Stallsystem	N	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Gesamtbakterien	Konventionell	7	184.297	272.779.853	721.158.281
	Insgesamt	7	184.297	272.779.853	721.158.281
Laktobacilli	Konventionell	7	1.473.379.283	327.578.960.191	854.350.612.809
	Insgesamt	7	1.473.379.283	327.578.960.191	854.350.612.809
Pseudomonas aerugi	Konventionell	7	47	61	26
	Insgesamt	7	47	61	26
Pseudomonas	Konventionell	7	50	149	171
	Insgesamt	7	50	149	171
Bacilli	Konventionell	7	12.393	51.215	77.806
	Insgesamt	7	12.393	51.215	77.806
Coliforme	Konventionell	7	49	7.307	18.923
	Insgesamt	7	49	7.307	18.923
E.coli	Konventionell	7	50	149	244
	Insgesamt	7	50	149	244
Enterobakterien	Konventionell	7	11	45	72
	Insgesamt	7	11	45	72
Staphylokokken	Konventionell	7	643	6.723	10.232
	Insgesamt	7	643	6.723	10.232
Gesamtschimmelpilze	Konventionell	7	659	1.403.948	3.712.134
	Insgesamt	7	659	1.403.948	3.712.134
A. fumigatus	Konventionell	7	50	287	574
	Insgesamt	7	50	287	574
Hefen	Konventionell	3	6.380.100	6.795.764	6.306.686
	Insgesamt	3	6.380.100	6.795.764	6.306.686

Anhang - Fragebogen

1. Allgemeine Daten

(1=ja, 0=nein)

Bitte beantworten Sie zunächst folgende Fragen zu Ihrer Person:

Alter ^{1.1} :	<input type="text"/> Jahre
Geschlecht ^{1.2} :	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich
Seit wann arbeiten Sie im Betrieb? ^{1.3}	Seit <input type="text"/> Jahren
Sind Sie vorher einer anderen Tätigkeit nachgegangen? ^{1.4}	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, nämlich: <input type="text"/>
Sind Sie ganzjährig im Betrieb beschäftigt? ^{1.5}	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, sondern <input type="text"/> Mon./Jahr
Ihre Wochenarbeitszeit beträgt: ^{1.6}	<input type="checkbox"/> Vollzeit 40 Std. <input type="checkbox"/> weniger, <input type="text"/> Std. <input type="checkbox"/> mehr, <input type="text"/> Std.
In welcher Form werden Sie von Ihrer Arbeit in Anspruch genommen? ^{1.7}	<input type="checkbox"/> vorwiegend geistig <input type="checkbox"/> vorwiegend körperlich <input type="checkbox"/> geistig und körperlich
Gehen Sie einer weiteren Beschäftigung nach? ^{1.8}	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, nämlich: <input type="text"/>

2. Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Bedingungen der Tierhaltung in Ihrem Betrieb.

Ihre Produktionsform ist? ^{2.1}

Ökologisch	<input type="checkbox"/> ₁
Konventionell	<input type="checkbox"/> ₂
sonstiges, <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> ₃

Wie viele Schweine werden in Ihren Stallungen gehalten? ^{2.2}

	Stück (0= nicht vorhanden)
Sauen	<input type="text"/>
Eber	<input type="text"/>
Ferkel	<input type="text"/>
Mast	<input type="text"/>

Welcher Haltungsform entsprechen Ihre Ställe? ^{2.3}
(Mehrfachnennungen möglich)

Stall ist eingestreut ^{2.3.1}	<input type="checkbox"/> ₁ ja <input type="checkbox"/> ₀ nein
Kotbereich liegt ... ^{2.3.2}	<input type="checkbox"/> ₁ innerhalb Stallgebäude <input type="checkbox"/> ₀ außerhalb Stallgebäude
2.3.3	
Vollspaltenboden <input type="checkbox"/> ₁	Kistenstall <input type="checkbox"/> ₅
Teilspaltenboden <input type="checkbox"/> ₂	Freilandhaltung <input type="checkbox"/> ₆
Tiefstreubucht <input type="checkbox"/> ₃	Mistgangbucht <input type="checkbox"/> ₇
Schrägbodenbucht <input type="checkbox"/> ₄	Sonst. <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ₈

Welches Mistverfahren und welches Einstreu verwenden Sie? ^{2.4} (Mehrfachnennungen möglich)

Festmist <input type="checkbox"/> ₁	Staumist <input type="checkbox"/> ₃
Fließmist <input type="checkbox"/> ₂	Speicherung unter Rost <input type="checkbox"/> ₄
Sonstiges <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ₅	

Wie oft wird entmistet? ^{2.5}

täglich <input type="checkbox"/> ₁	mehrmals/Woche <input type="checkbox"/> ₂
mehrmals im Monat <input type="checkbox"/> ₃	zum Ausstallen <input type="checkbox"/> ₄
Sonstiges <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ₅	

Welche Lüftungstechnik verwenden Sie im Stall? ^{2.6}

Zwangsbelüftung/Zwangsentlüftung	<input type="checkbox"/> ₁
Freie Lüftung/Entlüftung	<input type="checkbox"/> ₂
Sonstiges <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> ₃

Wie füttern Sie Ihre Tiere? ^{2.7}
Zutreffendes bitte ankreuzen.

manuell	<input type="checkbox"/> ₁
automatisch	<input type="checkbox"/> ₂

Trockenfutter ^{2.7.1}	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Breifutter ^{2.7.2}	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Flüssigfutter ^{2.7.3}	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Sonstiges <input type="text"/> ^{2.7.4}	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂

Wie lange halten Sie sich täglich im Schweinestall auf? ^{2.8}

h

Anhang - Fragebogen

Werden in Ihrem Betrieb weitere Tierarten kommerziell gehalten? ^{2.9} (0= nicht vorhanden)

Tragen Sie bitte, falls zutreffend, die Anzahl ein und gegebenenfalls, wie viel Zeit Sie in den Ställen verbringen.

Aufenthalt im Stall		
	Anzahl der Tiere	
Rinder, Milchkühe, etc. ^{2.9.1}	_____ Stk.	_____ h
Geflügel ^{2.9.2}	_____ Stk.	_____ h
Sonstiges _____ ^{2.9.3}	_____ Stk.	_____ h

Betreiben Sie außerdem Pflanzenbau? ^{2.10} (0= nicht vorh.)

Futtermittel ^{2.10.1}	<input type="checkbox"/> _{0/1}
Getreide ^{2.10.2}	<input type="checkbox"/> _{0/1}
Feldfrüchte ^{2.10.3}	<input type="checkbox"/> _{0/1}
Sonstiges _____ ^{2.10.4}	<input type="checkbox"/> _{0/1}

Wie häufig verrichten Sie Tätigkeiten, die mit einer starken Staub- oder Geruchsentwicklung verbunden sind? ^{2.11}

	täglich	1	wöchentlich	2	saisonal	3	jährlich	4	nach der Mastperiode	5
Reinigen der Ställe ^{2.11.1}	<input type="checkbox"/>									
Ausbringen von Flüssigmist ^{2.11.2}	<input type="checkbox"/>									
Ausbringen von Festmist ^{2.11.3}	<input type="checkbox"/>									
Mischen von Futter ^{2.11.4}	<input type="checkbox"/>									
Strohhäckseln ^{2.11.5}	<input type="checkbox"/>									
Desinfektionsarbeiten ^{2.11.6}	<input type="checkbox"/>									
Ausbringen v. Pflanzenschutzmitteln ^{2.11.7}	<input type="checkbox"/>									
Sonstiges _____ ^{2.11.8}	<input type="checkbox"/>									

Nachfolgend interessieren wir uns für Ihre Arbeitsfähigkeit und Gesundheit.

3. Derzeitige Arbeitsfähigkeit im Vergleich zu der besten, je erreichten Arbeitsfähigkeit

Wenn Sie Ihre **beste**, je erreichte **Arbeitsfähigkeit mit 10 Punkten** bewerten:

Wieviele Punkte würden Sie sich für Ihre **derzeitige Arbeitsfähigkeit** geben?

("0" - wenn Sie derzeit **arbeitsunfähig** sind)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
völlig arbeitsunfähig										derzeit die beste Arbeitsfähigkeit

4. Bewältigung der derzeitigen Anforderungen in der Arbeit

Wie gelingt es Ihnen, die derzeitigen **körperlichen Arbeitsanforderungen** zu bewältigen? ^{4.1}

sehr gut	<input type="checkbox"/> ₅
eher gut	<input type="checkbox"/> ₄
mittelmäßig	<input type="checkbox"/> ₃
eher schlecht	<input type="checkbox"/> ₂
sehr schlecht	<input type="checkbox"/> ₁

Wie gelingt es Ihnen, die derzeitigen **geistigen Arbeitsanforderungen** zu bewältigen? ^{4.2}

sehr gut	<input type="checkbox"/> ₅
eher gut	<input type="checkbox"/> ₄
mittelmäßig	<input type="checkbox"/> ₃
eher schlecht	<input type="checkbox"/> ₂
sehr schlecht	<input type="checkbox"/> ₁

Kreuzen Sie bitte auf der folgenden Seite diejenigen Krankheiten oder Verletzungen an, die für Sie zutreffend sind. Geben Sie bitte auch an, ob ein Arzt diese Erkrankungen diagnostiziert oder behandelt hat.

Anhang - Fragebogen

5. Anzahl der aktuellen, vom Arzt diagnostizierten Krankheiten

Kreuzen Sie bitte für jede angeführte Krankheit das Zutreffende oder gar nichts an.

Ja, Diagnose des Arztes₁

Ja, eigene Diagnose₂

Unfallverletzungen

01	Rücken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02	Arm/Hand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
03	Bein/Fuß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
04	anderer Körperteil, welche Verletzung ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Erkrankungen des Bewegungsapparates

05	oberer Bereich des Rückens oder der Halswirbelsäule, wiederholte Schmerzattacken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
06	unterer Bereich des Rückens, wiederholte Schmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
07	vom Rücken ins Bein ausstrahlender Schmerz / Ischias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
08	Muskel-Skelett-Beschwerden in Gliedmaßen (Hand, Fuß), wiederholte Schmerzattacken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
09	rheumatische Gelenk-Beschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	andere Erkrankungen des Bewegungsapparates, welche ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Herz-Kreislauf-Erkrankungen

11	Hypertonie (Bluthochdruck)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	koronare Herzkrankheit, Brustschmerzen bei körperl. Anstrengung (Angina pectoris)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	stattgefundener Herzinfarkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Herzleistungsschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	andere Herz-Kreislauf-Erkrankungen, welche ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ja, Diagnose des Arztes₁

Ja, eigene Diagnose₂

Atemwegserkrankungen

16	Wiederholte Atemwegsinfektionen (auch Mandelentzündung, Nasennebenhöhlenentzündung, Schnupfen, akute Bronchitis, Grippe)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	chronische Bronchitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	chronische Nasennebenhöhlenentzündung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Bronchialasthma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	Emphysem (Lungenüberblähung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	Lungentuberkulose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	andere Atemwegserkrankungen, welche ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Psychische Erkrankungen

23	schwere psychische Erkrankung (z.B. schwere Depression, Psychosen, Verwirrtheit, Halluzinationen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	Leichte psychische Probleme oder Krisen (z.B. leichte Depression, Angespanntheit, Angstzustände, Schlaflosigkeit)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Erkrankungen der Nerven / Sinnesorgane

25	Schwerhörigkeit oder Hörschaden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	Sehschwierigkeiten (außer korrigierbaren Sehschäden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	neurologische Krankheit (z.B. Neuralgie, Migräne, Epilepsie)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	andere neurologische oder sensorische Störung, welche ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Erkrankungen im Magen-Darm-Trakt

29	Gallensteine oder Gallensteinbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	Leber- oder Bauchspeicheldrüsenerkrankung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	Magen- oder Zwölffingerdarmgeschwüre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	Gastritis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	Dickdarmreizung, Colitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	andere Verdauungskrankheit, welche ✍ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang - Fragebogen

Ja, Diagnose des Arztes₁

Ja, eigene Diagnose₂

Geschlechts- und Harnwegserkrankungen

35	Harnwegsinfektion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	Nierenleiden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	Krankheit der Geschlechtsorgane Frauen z.B.: Gebärmutter Männer z. B.: Prostata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	andere Geschlechts- oder Harnwegserkrankung, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hauterkrankungen

39	allergischer Hautausschlag, Ekzeme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	anderer Hautausschlag, welcher ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41	andere Hautkrankheit, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tumoren

42	gutartiger Tumor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43	bösartiger Tumor / Krebs, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hormon- und Stoffwechselerkrankungen

44	Fettleibigkeit (Übergewicht)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45	Diabetes (Zucker)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
46	Schilddrüsenüber- oder Schilddrüsenunterfunktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
47	andere Hormon- und Stoffwechselerkrankung, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Blutkrankheiten und angeborene Erkrankungen

48	Anämie / Blutarmut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
49	andere Blutkrankheit, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50	Angeborene Erkrankungen, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

51	andere Leiden oder Krankheiten, welche ☞ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
----	---	--------------------------	--------------------------

6. Geschätzte Beeinträchtigung der Arbeitsleistung durch die Krankheiten

Behindert Sie derzeit eine Erkrankung oder Verletzung bei der Ausübung Ihrer Arbeit? ₆

- Wenn ja, wie stark?

Keine Beeinträchtigung / Ich habe keine Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	₆
Ich kann meine Arbeit ausführen, aber sie verursacht Beschwerden	<input type="checkbox"/>	₅
Ich bin manchmal gezwungen, langsamer zu arbeiten oder meine Arbeitsmethoden zu ändern	<input type="checkbox"/>	₄
Ich bin oft gezwungen, langsamer zu arbeiten oder meine Arbeitsmethoden zu ändern	<input type="checkbox"/>	₃
Ich kann aufgrund meiner Krankheit meine bisherige Arbeit nur in geringerem zeitlichen Ausmaß leisten (z.B. Teilzeitregelung)	<input type="checkbox"/>	₂
Meiner Meinung nach bin ich völlig arbeitsunfähig	<input type="checkbox"/>	₁

7. Krankenstandstage im vergangenen Jahr (12 Monate)

Wie viele Tage blieben Sie aufgrund eines gesundheitlichen Problems (Krankheit, Gesundheitsvorsorge oder Untersuchung) im letzten Jahr (12 Monate) der Arbeit fern? ₇

überhaupt nicht	<input type="checkbox"/>	₅
höchstens 9 Tage	<input type="checkbox"/>	₄
10 - 24 Tage	<input type="checkbox"/>	₃
25 - 99 Tage	<input type="checkbox"/>	₂
100 - 365 Tage	<input type="checkbox"/>	₁

8. Einschätzung der eigenen Arbeitsfähigkeit in zwei Jahren

Glauben Sie, dass Sie - ausgehend von Ihrem jetzigen Gesundheitszustand - Ihre derzeitige Arbeit auch in den nächsten zwei Jahren ausüben können? ₈

unwahrscheinlich	<input type="checkbox"/>	₁
nicht sicher	<input type="checkbox"/>	₄
ziemlich sicher	<input type="checkbox"/>	₇

Anhang - Fragebogen

9. Einstellung und Befindlichkeit

Haben Sie in letzter Zeit Ihre täglichen Aufgaben mit Freude erledigt? ^{9.1}

meistens	<input type="checkbox"/> ₄
eher häufig	<input type="checkbox"/> ₃
manchmal	<input type="checkbox"/> ₂
eher selten	<input type="checkbox"/> ₁
niemals	<input type="checkbox"/> ₀

Waren Sie in letzter Zeit aktiv und rege? ^{9.2}

meistens	<input type="checkbox"/> ₄
eher häufig	<input type="checkbox"/> ₃
manchmal	<input type="checkbox"/> ₂
eher selten	<input type="checkbox"/> ₁
niemals	<input type="checkbox"/> ₀

Waren Sie in letzter Zeit zuversichtlich, was die Zukunft betrifft? ^{9.3}

ständig	<input type="checkbox"/> ₄
eher häufig	<input type="checkbox"/> ₃
manchmal	<input type="checkbox"/> ₂
eher selten	<input type="checkbox"/> ₁
niemals	<input type="checkbox"/> ₀

In der nächsten Spalte möchten wir Sie zu bestimmten gesundheitlichen Problemen gesondert befragen.

10. Folgende Erkrankungen interessieren uns im Detail.

Kreuzen Sie bitten an, ob und wann folgende Beschwerden auftraten: ^{10.1}

	nein, bisher nicht	1	2	3	4
	jetzt, im Augenblick				
	in den letzten 12 Monaten				
	vor mehr als 12 Monaten				
01 Heuschnupfen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02 Dauerschnupfen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
03 verstopfte Nase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
04 Niesanfälle (mehr als 3mal)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
05 Kieferhöhlenentzündung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
06 trockener Husten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
07 Husten mit Auswurf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
08 Engegefühl in der Brust	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
09 Pfeifen beim Atmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Kurzatmigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Atemnot bei körperlicher Belastung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Atemnot in Ruhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 nächtliches Aufwachen wg. Atemnot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Fieber / Schüttelfrost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Muskel- und Gelenkschmerzen wie bei einer Erkältung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Augenbrennen, Fremdkörpergefühl mit Tränenfluss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Reizung der Nase (Jucken, Brennen, Laufen, Kitzeln)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wann treten/traten die genannten Beschwerden besonders deutlich auf? ^{10.2}

Bei der Arbeit	<input type="checkbox"/> ₁
In der Freizeit	<input type="checkbox"/> ₂
Unabhängig von Arbeit und Freizeit	<input type="checkbox"/> ₃

Hatten Sie jemals circa 2 bis 6 Stunden nach der Arbeit im Stall das Gefühl, als ob Sie eine Grippe bekämen (Fieber, Schüttelfrost, Muskelschmerzen, Kopfschmerzen etc.)? ^{10.3}

<input type="checkbox"/> ₁ ja	<input type="checkbox"/> ₀ Nein
--	--

Anhang - Fragebogen

Haben oder hatten Sie Beschwerden, von denen Sie denken, dass sie durch die Arbeit verursacht werden?

10.4

<input type="checkbox"/> ₀	Nein
<input type="checkbox"/> ₁	Ja, nämlich <input type="checkbox"/> a) _____ <input type="checkbox"/> b) _____

11. Diese Frage bezieht sich auf die von Ihnen verwendeten Arbeitsschutzmittel

Welche Arten von Arbeitsschutzausrüstung verwenden Sie? Bitte kreuzen Sie an, für:

	täglich	1	2	3	4	5
Arbeitsschuhe _{11.1}	<input type="checkbox"/>					
Augenschutz _{11.2}	<input type="checkbox"/>					
Gehörschutz _{11.3}	<input type="checkbox"/>					
Schutzanzug _{11.4}	<input type="checkbox"/>					
Handschuhe _{11.5}	<input type="checkbox"/>					
Staubmaske _{11.6}	<input type="checkbox"/>					
Atemmaske _{11.7}	<input type="checkbox"/>					
Hautschutz (z.B.Melkfett) _{11.8}	<input type="checkbox"/>					
Desinfektionsmittel _{11.9}	<input type="checkbox"/>					

12. Weiterhin interessiert uns noch, ob Sie rauchen, bzw. früher geraucht haben.

Rauchen sie Tabak? _{12.1}	<input type="checkbox"/> ₀ nein <input type="checkbox"/> ₁ ja
Seit wie vielen Jahren rauchen Sie? _{12.2}	<input type="checkbox"/> _____ Jahre
Welche Produkte konsumieren Sie? _{12.3}	<input type="checkbox"/> ₁ Zigaretten <input type="checkbox"/> ₂ Zigarren/Zigarillo <input type="checkbox"/> ₃ Pfeife <input type="checkbox"/> ₄ Kautabak <input type="checkbox"/> ₅ Schnupftabak
Wie viele Zigaretten/Zigarren rauchen Sie pro Tag? _{12.4}	Etwa <input type="checkbox"/> _____ Stück
Haben Sie in der Vergangenheit geraucht und haben damit aufgehört? _{12.5}	<input type="checkbox"/> ₀ Nein <input type="checkbox"/> ₁ Ja,

Falls ja, von wann bis wann haben sie geraucht_{12.6}

Von bis 19 _____

13. Weitere Hintergrunddaten

Familienstand: _{13.1}

Ledig	<input type="checkbox"/> ₁
Verheiratet	<input type="checkbox"/> ₂
Getrennt lebend	<input type="checkbox"/> ₄
Geschieden	<input type="checkbox"/> ₅
Verwitwet	<input type="checkbox"/> ₆
Leben Sie in einer festen Partnerschaft?	<input type="checkbox"/> _{3.1} ja <input type="checkbox"/> _{3.0} nein

Grundausbildung (abgeschlossen): _{13.2}

Hauptschule	<input type="checkbox"/> ₁
Realschule	<input type="checkbox"/> ₂
Gesamtschule	<input type="checkbox"/> ₃
Gymnasium	<input type="checkbox"/> ₄
Andere, nämlich <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> ₅

Berufsausbildung (abgeschlossen): _{13.3}

Schulungskurs für Arbeitslose (mind. 4 Mon.)	<input type="checkbox"/> ₁
Andere Schulungskurs (mind. 4 Mon.)	<input type="checkbox"/> ₂
Berufsschule	<input type="checkbox"/> ₃
Berufsbildendes Institut	<input type="checkbox"/> ₄
Fachhochschule/Universität	<input type="checkbox"/> ₅
Andere, nämlich <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> ₆

Wir danken Ihnen für die Bearbeitung dieses umfangreichen Fragebogens. Wenn Sie Anmerkungen oder Anregungen haben, können Sie uns diese in der letzten Frage mitteilen

14. Gab es Verständnisprobleme bei der Bearbeitung des Fragebogens?

₀ nein
₁ ja, bei Frage _____

Haben wir Ihrer Meinung nach etwas vergessen oder möchten Sie Kritik äußern?
 Hier haben Sie Gelegenheit dazu:

