Hygienische und umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosolen aus der Tierhaltung

Wolfgang Dott

1 Expositionsgefahr – Emissionen und Immissionen von Bioaerosolen

1.1 Bioaerosol-Emissionen aus unterschiedlichen Anlagen

Bei Bioaerosolen (Biologische Agenzien/Arbeitsstoffe) aus Tierhaltungsanlagen kann es sich handeln um:

- Subzelluläre Erreger (ohne eigenständigen Stoffwechsel bzw. ohne eigenständige Vermehrung) wie Prione, Viroide (RNS Partikel), Viren,
- Prokaryonten (Einzeller ohne Zellkern) wie Bakterien, Mykoplasmen, Blaualgen,
- Eukaryonten wie Protozoen (Einzeller), Pilze (Hefen, Schimmelpilze), Algen, Zellen, Zellkulturen,
- Eukaryotische Parasiten wie Fadenwürmer (Spulwürmer) oder auch Bandwürmer,
- Biogene Verbindungen wie Allergene, Toxine (Mykotoxine, Endotoxine), Antibiotika und VOC (volatile organic compounds)/MVOC (microbial volatile organic compounds).

Die Tabelle 1 zeigt die Infektionswege von bakteriellen, viralen und parasitären (durch Protozoen) Zoonosen. Wie diesem Überblick entnommen werden kann, besteht nur für einige Zoonosen eine grundsätzliche inhalative Übertragung (fett und rot hervorgehoben) und nur für wenige Erreger eine ausschließlich inhalative Übertragung.

Tab. 1: Bakterielle, virale und parasitäre Zoonosen, Infektionswege, Erkrankungen[1)]

	Animal hosts	Transmission routes	Disease	Non fecal sources	In manure
Bacteria					
Campylobacter jejuni	Poultry and wild birds	Food, water, direct contact	Campylobacterioses	?	+
Clostridium perfringens	Many	Food, wounds	Gastroenteritis, gas gangrene	Soil, sediments	+
Escherichia coli (EHEC)	Cattle, sheep, goats, pigs	Food, water	Hemorrhagic colitis, hemolytic uremic syndrome	**No**	+
Leptospira spp.	Cattle, many others	Direct contact, skin lesions	Leptospirosis	Urine, stagnant water	+
Salmonella spp. (nontyphoidal)	Calves, pigs, poultry	Food, fomites, water	Salmonellosis, GBS, acute gastroenteritis	**No**	+
Yersinia enterocolit., Y. pseudotubercul.	Pigs, others	Food, direct contact, water	Yersiniosis	?	+
Virus (family/genus)					
SARS coronavirus *(Coronaviridae/Coronovirus)*	Pigs, chickens, other animals	Inhalation	Severe acute respiratory syndrome	-	+
Protozoan					
-	-	-	-	-	+

GBS = Guillain-Barré syndrome

[1)] Dungan (2010), Krauss et al. (2003) and Sobsey et al. (2006).

1.2 Transmissionswege über Luft: Anlagenspezifische Emissionen und Transmission in die Umwelt (Luft, Abfall, Produkttransport)

Stallstaub kann für die Gesundheit des Menschen eine Gefährdung darstellen. Dies trifft in erster Linie für die Menschen zu, die innerhalb des Stalles der Bioaerosol-Belastung direkt ausgesetzt sind. Eine Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Zoonose Erreger ist immer dann gegeben, wenn in der Stallluft hohe Konzentrationen solcher infektiöser Einheiten vorhanden sind (Hartung 2005).

Selbstverständlich können alle von den Tieren ausgeschiedenen Krankheitserreger aerosolisieren und in die Stallluft übergehen.

Die Mikroorganismen-Flora der Stallluft von Geflügelbetrieben besteht jedoch überwiegend aus grampositiven Bakterien der Gattungen Staphylococus (ca. 60 %) und Streptococcus (ca. 60 %) und in wechselnden Anteilen aus Sporenbildnern und Schimmelpilzsporen. Gramnegative Bakterien wie Enterobakterien (Endotoxinbildner) spielen eine untergeordnete Rolle.

Die ermittelten Gesamtkeimzahlen sind nicht zuletzt von der Sammeltechnik abhängig und schwanken in weiten Bereichen. Für Geflügelbetriebe (Hühnerställe) wird für die Gesamtmikroorganismenzahl ein Bereich von 250–5.000 KBE/Liter Stallluft angegeben. Methodenbedingt kann der Bereich um bis zu 2 Zehnerpotenzen höher liegen (Hartung 2005).

Einen Überblick über Quellen und die Mikroorganismen aus der Tierhaltung gibt Tabelle 2.

Tab. 2: Quellen und von diesen freigesetzte Mikroorganismen (Emission) in der Tierhaltung (Dungan 2010)

Operation	Organisms identified	Reference
Cattle, swine, and poultry barns	*Acinetobacter sp., Chryseomonas luteola, Citrobacter freundii, Escherichia coli, Enterobacter agglomerans, Klebsiella sp., Oligella urethralis, Moraxella sp., Pseudomonas sp., Xanthamonas maltophilia, Shewanella putrefaciens*	Zucker et al. 2000
Swine concent. animal feeding	*Coliforms, Staphylococcus aureus*	Green et al. 2006
Duck fattening unit	*Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Vibrionaceae, Legionellaceae,*	Zucker et al. 2006
Poultry & duck facilities	*Salmonella*	Fallschissel et al. 2009
Swine barns	*Methanosphaera stadtmanae, other Methanobacteriales and Methanosarcinales*	Nehme et al. 2009

Die Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren) bei der Transformation über den Luftweg als Bioaerosol hängt neben den spezifischen Eigenschaften der Erreger von physikalischen und chemischen Umweltfaktoren wie relative Feuchte, Temperatur, UV-Bestrahlung, Tröpfchengröße, pH-Wert und Partialdruck der Gase O_2, CO und NO_x ab.

Die Aerosolisierung bedeutet für die Mikroorganismen einen traumatischen Prozess und ihre Überlebensfähigkeit hängt sehr von den Mechanismen der Aerosolisierung und den sonstigen Stallklimafaktoren (insbesondere Temperatur und Feuchte) ab. Im Regelfall sind sie in der Stallluft in deutlich geringeren Mikroorganismengehalten nachzuweisen als beispielsweise in der Einstreu. So konnten Chinivasagam et al. (2009) *Salmonella spp.* und *Campylobacter spp.* nur sporadisch und in geringen Keimzahlen in der Stallluft von Broilerhaltungen finden. Der Nachweis des Transfers von Salmonellen nach außerhalb des Stalles gelang nur ein einziges Mal, *Campylobacter spp.* konnten zu keinem Zeitpunkt in der Luft außerhalb des Stalles nachgewiesen werden.

Wissenschaftliche Untersuchungen dazu wurden bereits seit den 50-er Jahren des vorigen Jahrhunderts durchgeführt und sind in der Literaturliste von Dungan (2010) aufgeführt.

Hartung (2011) stellt für verschiedene Erreger den prozentualen Verlust der Vermehrungsfähigkeit nach 250 sec. dar (Tab. 3). Gram-positive Bakterien der Gattungen Staphylococcus und Mykobakterien, wie aber auch Pilze erweisen sich in der Umwelt als relativ persistent.

Tab. 3: Ausmaß des Einflusses von relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur auf den Verlust der Überlebensfähigkeit für ausgewählte Keime (Hartung 2011)

Erreger	Rel. Feuchte %	Temperatur °C	Verlust der Vermehrungsfähigkeit nach 250 sec %
Escherichia coli (O78)	15–40	22	14
Mycoplasma gallisepticum	40–50	25	< 3
Salmonella enteritidis	75	24	< 20
Salmonella newbrunswick	30–70	10 - 21	38–11
Salmonella typhimurium	75	24	< 20
Staphylococcus aureus	50	22	< 1
Influenza A Viren	50–70	21	> 70 bis > 66
Newcastle disease Virus	10, 35 und 90	23	n. n. bis 20

Das Ausmaß der Immissionsbelastung durch Mikroorganismen und Endotoxine aus der Tierhaltung ist der Tabelle 4 zu entnehmen. Für alle kulturell nachgewiesenen Mikroorganismen-Gruppen kann man bei dem Vergleich der Vorbelastung (Luv), der im Stall herrschenden Belastung und der tatsächlichen Emission/Immission festhalten, dass sich die KBE/m^3 von 10^1 über 10^3 bis 10^6 (Stallluft) bis hin zu 10^2 bis 10^3 immiossionsseitig entwickeln.

Für die Endotoxin gelten luvseitig Konzentrationen von 1–88 EU/m^3; in Ställen von 3–34.000 EU/m^3 und leeseitig von 3–261 EU/m^3.

In der Außenluft von Geflügelbetrieben wurden nach 50 Meter Entfernung nur vereinzelt Endotoxine (Nachweisgrenze 1 EU/m^3) nachgewiesen.

Mit dem Ziel der der Entwicklung eines reduzierten und angepassten Messprogramms zur Quantifizierung und Charakterisierung von Emissionen aus der Intensivtierhaltung wurden seit 2013 vom Institut für Hygiene und Umweltmedizin unterschiedliche Anlagen untersucht. Für Geflügelanlagen (Legehennen, Hähnchen- und Putenmast) wurde ein anlagenspezifisches Bioaerosol-Monitoring erprobt, bei dem sich als mikrobiologische Messparameter der Nachweis von Staphylokokken, Enterokokken, thermophilen Pilzen und als Vertreter der Enterobacteriaceaen (Fäkalindikatoren) *Escherichia coli* und coliforme Bakterien als geeignete Indikatororganismen herausgestellt haben (Nowak 2014). Neben den ausgewählten mikrobiologischen Parametern eignen sich Feinstaub- ($PM_{2,5}$/PM_{10}) und Ammoniak-Messungen als gute Indikatoren für die Emission-/Immissionsbetrachtung.

Auf Basis der o. g. Messparameter (Nowak 2014) konnte festgestellt werden, dass die mikrobielle Abluftbelastung in 50 Metern Entfernung um 2 bis 3 Zehnerpotenzen niedriger ist als im Stall und die Werte, die allgemein als normale Hintergrundbelastung für Außenluft angesehen werden (Dott et al. 2002) in 50 Metern Entfernung unterschritten werden.

Staphylococcus aureus, resistente Mikroorganismen (MRSA, MRGN oder ESBL), Fäkalindikatoren oder andere stallungsspezifische Krankheitserreger wurden bei Geflügelbetrieben nach 50 Metern Entfernung nicht mehr nachgewiesen.

Tab. 4: Immission von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Tierhaltung (modifiziert und ergänzt nach Dungan 2010)

Operation	Microbe or agent	Sample location	Concentration cfu · m^{-3}	Reference
Landspreading of cattle, swine waste	Total culturable bacteria	Upwind 20 to 200 m **downwind**	10^1 10^1–10^3	Boutin et al. 1988
Cattle, swine, and poultryhouses	Inhalable endotoxin Respirable endotoxin	Inside houses	3–64,347 EU · m^3 0.1–260 EU · m^{-3}	Seedorf et al. 1998
Swine house	Total endotoxin Respirable endotoxin	Inside houses	14–818 EU · m^{-3} 0.02–1,643 EU · m^{-3}	Chang et al. 2001a
Swine barn	Total culturable bacteria	Upwind / Inside barn 150 m **downwind**	10^1 / 10^3 10^2	Green et al. 2006
Cattle, swine, and poultry houses	gram-neg. bacteria	Inside houses	10^0 to 10^2	Zucker et al. 2000
Open-air swine house	Total gram-neg. bact. Total culturable fungi	Inside house	10^3–10^6 / 10^0–10^3 10^2 to 10^4	Chang et al. 2001b
Dairy shed Broiler shed	Total cultural fungi *Escherichia coli* / *Salmonella*	Inside shed Inside and **outside**	10^2 to 10^3 10^2–10^4 / 0.7–2.3$_{(MPN)}$	Adhikari et al. 2004 Chinivasagam et al. 2009
Swine shed	Total culturable bacteria / *E. coli*	Inside shed	10^5 cfu · m^{-3} 10^1 cfu · m^{-3}	Chinivasagam & Blackall, 2005
Various animal operations	Inhalable endotoxin	Personal samplers	2 to 8,120 EU · m^{-3}	Spaan et al. 2006
Cattle, swine, and poultry houses	Inhalable endotoxin Respirable endotoxin	Inside houses	3–21,933 EU · m^{-3} 0.3–12,282 EU · m^{-3}	Schierl et al. 2007
Duck fattening	*Salmonella*	Inside unit	10^1–10^6 targets · m^{-3}	Fallschissel et al. 2009
Dairy	Total culturable fungi	Upwind / Inside barn 5–50 m **downwind**	10^3 / 10^3–10^5 10^2–10^4	Matković et al. 2009
Open-lot dairy	Total endotoxin	Upwind 5 / 200 m **downwind**	1–88 EU · m^{-3} 3–849 / 2–261 EU · m^{-3}	Dungan et al. 2010a
Open-lot dairy	Total culturable bacteria	Upwind 5 / 200 m **downwind**	10^3–10^4 10^4–10^7 / 10^3–10^5	Dungan et al. 2010b

Somit kann zusammenfassend festgestellt werden:

- **Emissionen von Bioaerosolen sind anlagen- und artspezifisch (Absterbekinetik) und hängen zusätzlich von Prozessbedingungen (Deposition) ab.**
- **Bei Geflügel-Intensivtierhaltungen (Putenmastanlagen) stehen partikelgebundene (Staub)-Emissionen mit grampositiven Mirkoorganismen im Vordergrund.**
- **Reduktion der luftgetragenen Mikroorganismen erfolgt mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle in der Regel exponentiell (Ausnahme: hohe Windgeschwindigkeiten und Trockenwetter-Lage können eine lineare Abnahme bedingen).**
- **Umweltmedizinisch relevante, pathogene oder resistente Mikroorganismen (MRSA, VRE, ESBL oder MRGN) sind in der Außenluft ab 50 Metern Entfernung von den Stallungen in der Regel nicht mehr nachzuweisen.**

1.3 Immissionsbelastungen (Mikroorganismen, VOC/MVOC, Toxine, Allergene)

Abbildung 1 zeigt am Beispiel der Schimmelpilz-Immission aus Kompostieranlagen, dass die Emission von Mikroorganismen nicht nur anlagen- und artspezifisch ist, sondern zudem von den jeweiligen Prozessbedingungen beeinflusst wird. Unabhängig davon reduziert sich der Nachweis der untersuchten luftgetragenen Pilzsporen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit linear oder exponentiell mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle (Fischer et al. 2003).

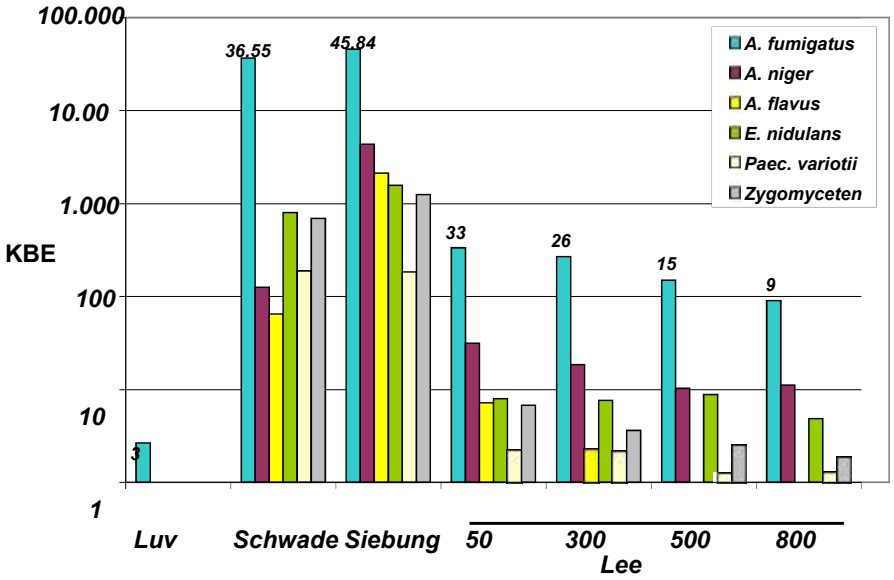


Abb. 1: Transport von Pilzsporen (Aspergillus fumigatus) in der Umgebung von Kompostierungsanlagen (Fischer et al. 2003)

Bei den geruchsintensiven Immissionen aus der Intensivtierhaltung handelt es sich neben dem Ammoniak und den organischen Stickstoffverbindungen um weitere flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) einschließlich der sogenannten MVOC (microbial volatile organic compounds), wie Dimethylsulfoxid, 3- und 2-Methyl-1-Butanol, DMDS, 2-Heptanon, α-Pinen und α-Pinen-ähnliche Verbindungen, Camphen, Limonen, γ-Terpinen, Camphor sowie endo-Bormeol. Die letztgenannten, den Terpenen zuzuordnenden Substanzen werden überwiegend von Pilzen produziert und stellen auch typische Emissionen aus Kompostierungsanlagen dar.

Die flüchtigen organischen Verbindungen können direkt (Toxizität) oder über geruchliche Belastungen zu unterschiedlichen Gesundheitsstörungen führen (Herr et al. 2013, Wiesmüller et al. 2013) wie beispielsweise:

- Irritationen von Augen, Nase und Rachen,
- Kopfschmerzen,
- Befindlichkeitsstörungen und
- Stressreaktionen.

Für Terpene konnten, jedoch bei wesentlich höheren Konzentrationen und dermaler Applikation (= Gabe über die Haut) in Parfüms und Seifen, sensibilisierende Wirkungen beobachtet werden. *In-vitro*-Untersuchungen (Untersuchungen „im Reagenzglas“) belegen sogar toxische und mutagene (erbgutverändernde) Wirkungen.

Am Beispiel von Kompostieranlagen konnte belegt werden, dass flüchtige organische Verbindungen bis zu einem Abstand von ca. 300 m nachweisbar sind (Abb. 2).

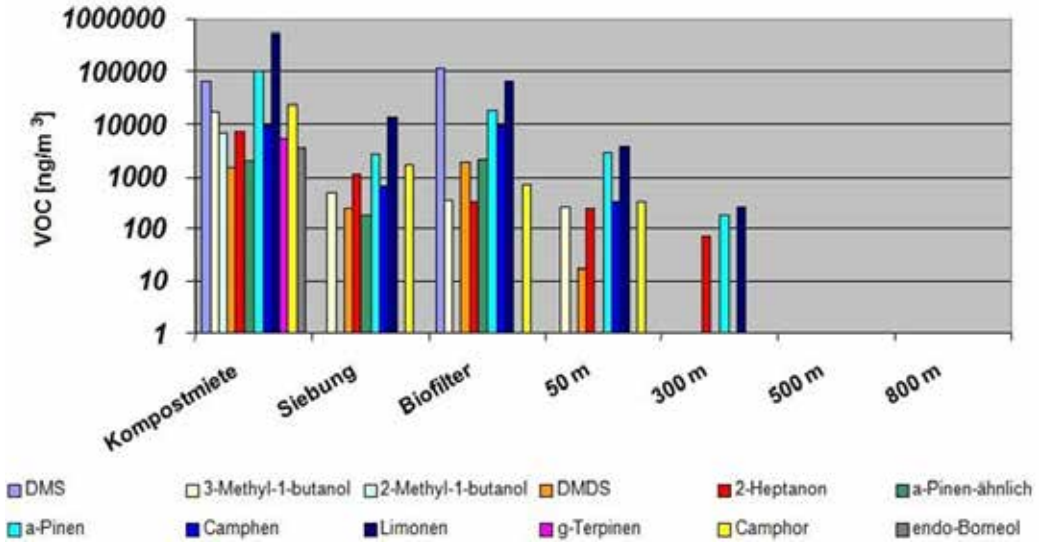


Abb. 2: Immissionen von VOC/MVOC (Geruchsstoffe) in der Umgebung von Kompostierungsanlagen (Fischer et al. 2003)

Die Immissionsbelastung in der Umgebung von Kompostierungsanlagen für VOC/MVOC (Gerüche) korreliert mit der nachgewiesenen Immissionsbelastung durch Mikroorganismen (KBE/m^3). Während die Belastung mit Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit mit der Entfernung linear abnimmt, scheint für die Geruchsstoffe die Abnahme einer exponentiellen Kurve zu folgen.

Neben der Abnahme der KBE/m^3 in der Größenordnung von zwei bis drei Zehnerpotenzen nehmen mit der Entfernung der Emissionsquelle entsprechend auch die Konzentrationen an VOC/MVOC ab (Abb. 3).

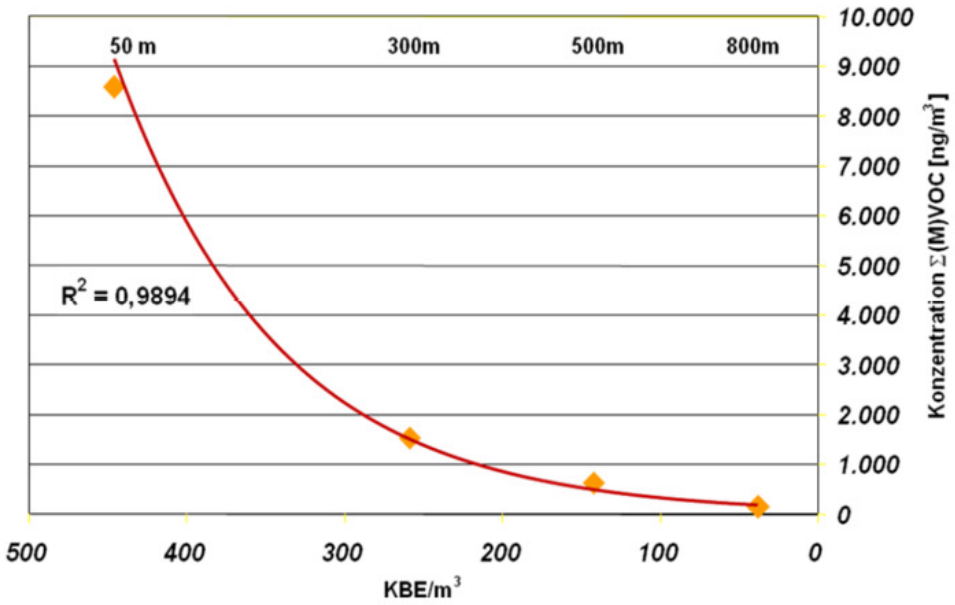


Abb. 3: Korrelation der Immissionen von VOC/MVOC (Gerüche) mit der mikrobiellen Belastung in der Umgebung von Kompostierungsanlagen (Fischer et al. 2003)

Damit kann bzgl. einer Immissions-Minderung aus Tierhaltungsanlagen für den Luftpfad festgestellt werden:

Immissionsminderung:

- **Mikroorganismen [KBE/m³]:**
  - innen/außen — 1 Zehnerpotenz
  - 100 m Abstand — 2 bis 3 Zehnerpotenzen
- **Geruchsstoffe: Stickstoffverbindungen, VOC/MVOC in ng/m³:**
  - innen/außen — 2 Zehnerpotenzen
  - 300 m Abstand — 2 bis 3 Zehnerpotenzen

(Dott, Wiesmüller – BioAluRein 2012, 2013 und Fischer et al. 2003)

Der Nachweis von Toxinen hängt wesentlich von der Partikelzahl, im Fall der Mykotoxine von der Zahl der luftgetragenen Sporen ab.

Endotoxine stehen im Wesentlichen für Zellwandbestandteile von gram-negativen Bakterien. In Abbildung 4 ist die exponentielle Abnahme von Endotoxinen mit Entfernung der Lee-Messorte von der Emissionsquelle dargestellt.

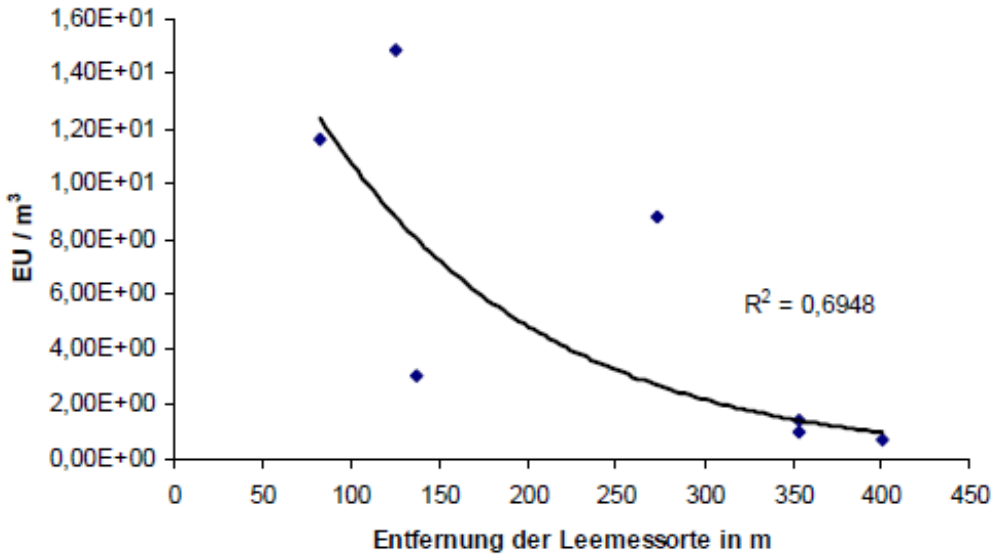


Abb. 4: Exponentielle Abnahme von Endotoxinen (Hartung 2011).

Für die (Myko-)Toxine gilt, dass deren Emission anlagen- und artspezifisch erfolgt. Die Konzentrationsabnahme der Toxine erfolgt ebenfalls linear oder exponentiell mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle (Hartung 2011).

- **Mykotoxine spielen grundsätzlich erst ab 106 KBE/m³ eine Rolle.**
- **Endotoxine (Nachweisgrenze 1 EU/m³) konnten in der Außenluft von Geflügelbetrieben nach 50 Meter Entfernung nur sporadisch nachgewiesen werden.**

2 Gesundheitliche Beinträchtigung durch Bioaerosolen

2.1 Erkrankungsmöglichkeiten durch luftgetragene biologische Agenzien (Infektionen, Sensibilisierungen, Allergisierungen, toxische Reaktionen)

Gemäß ihrer gesundheitlichen Auswirkungen kann von Bioaerosolen ein infektiöses, sensibilisierendes/allergisierendes und/oder toxisches Potential ausgehen:

- **Infektionen**
  Ornithose, (Psittakose), Leptospirose (M. Weil, Fleckfieber), Hantavirus (Puumala-Virus), Darmerkrankungen, Aspergillose
- **Allergien**
  Heuschnupfen, Allergisches Asthma bronchiale, Exogen Allergische Alveolitis (EAA), Allergische Bronchopulmonale Aspergillose (ABPA)
- **Intoxikationen**
  Mucous Membrane Irritation (MMI), Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS)

Bei den Infektionen spricht man auch von Zoonosen, d. h. die Krankheitserreger können sowohl vom Tier auf den Menschen als auch vom Menschen auf das Tier übertragen werden. Allerdings unterscheiden sich die Erreger der etwa 200 bekannten Zoonosen (Bakterien, Viren, Pilze, Protozoen, Helminthen, Arthropoden oder Prione) hinsichtlich der möglichen Übertragungs-/Infektionswege beträchtlich. Die meisten Erreger werden durch Schmierinfektion, d. h. den direkten Kontakt mit den Tieren und/oder deren Ausscheidungen übertragen. Nur wenige Erreger sind so widerstandsfähig, dass sie lange persistieren und in ausreichender Menge als Bioaerosole oder gebunden an Stäube aus der Luft inhalativ aufgenommen werden können, um eine Infektion zu ermöglichen (siehe Tab. 1 und 2).

Sensibilisierende Stoffe in Bioaerosolen weisen eine wesentlich höhere Persistenz in der Umwelt auf und können bereits in sehr niedrigen Konzentrationen als Auslöser und Trigger von Allergien angesehen werden.

Um toxische Reaktionen auszulösen, sind deutlich höhere Immissionsbelastungen notwendig als bislang im Umfeld von Biotechnologischen Anlagen und Tierställen nachgewiesen wurden.

2.2 Worst-Case-Szenario: Arbeitsplatzexpositionen und berufsbedingte Erkrankungen

Belastbare Daten zur Wirkung von luftgetragenen biologischen Agenzien können aus dem arbeitsmedizinischen Bereich der in der Tierzucht und Tierhaltung beschäftigten Personen (Veterinärmediziner und/oder deren Angehörige) herangezogen werden.

Die von Tieren auf den Menschen übertragbaren Krankheiten sind im „Merkblatt zu den Berufskrankheiten“ Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003 zusammengestellt (Tab. 5).

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass neben der inhalativen Aufnahme auch eine Übertragung der Erreger durch den direkten Kontakt (Schmierinfektion) zu den Tieren oder deren Ausscheidungen zustande kommen kann. Als Worst-Case-Szenario können diese verstärkte Exposition und die damit verbundenen berufsbedingten Erkrankungen Ausgangspunkt für eine Risikobewertung geben.

Insgesamt werden hier 37 berufsbedingte Erkrankungen genannt, von denen nur 10 prinzipiell über den Luftweg als Bioaerosole nachgewiesenermaßen übertragen, d. h. inhalativ aufgenommen wurden (in Tab. 5 fett gedruckt). Besiedlungen, Infektionen oder Intoxikationen mit Staphylokokken, v. a. *Staphylococcus aureus* werden nicht genannt.

Tab. 5: Berufsbedingte Erkrankungen durch Bioaerosol-Übertragung; die 10 inhalativ übertragenen Erkrankungen sind fett gedruckt (Anonym 2003)

Nr.	Krankheit	Inhalativ	Nr.	Krankheit	Inhalativ
1	Balantidiose		19	Mikrosporie	
2	Bläschenkrankheit des Schweines (SVD)		20	Milzbrand (Anthrax)	
3	**Brucellosen**	+	21	Newcastle-Krankheit	
4	Campylobacter-Infektionen		22	**Pasteurellosen**	+
5	**Chlamydiosen**	+	23	**Pneumozystose**	+
6	Echinokokkosen		24	**Q-Fieber**	+
7	(EHEC)-Infektionen		25	Rattenbisskrankheit	
8	Frühsommer-Meningoenzephalitis		26	Rotlauf (Erysipeloid)	
9	Giardiasis (Lambliasis)		27	Salmonellosen	
10	**Hantavirus-Erkrankungen**	+	28	Sporotrichose	
11	Katzenkrankheit		29	Streptococcus equi-Infektionen	?
12	Kryptosporidiose		30	Streptococcus suis-Infektionen	?
13	Leptospirosen		31	Tierpocken	
14	**Listeriose**	+	32	**Tollwut**	+
15	Lyme-Borreliose		33	Toxoplasmose	
16	Lymphozytäre Choriomeningitis		34	Trichophytie	
17	**Maul- und Klauenseuche**	+	35	**Tuberkulose**	+
18	Melkerknoten		36	Tularämie	

2.3 Gesundheitliche Beeinträchtigung der Bevölkerung (Epidemiologie)

Während für Beschäftigte in der Tierhaltung Zoonosen, allergische und toxische Atemwegsreaktionen und -erkrankungen belegt sind (Nowak 2002), lassen sich in der Bevölkerung aus der Nachbarschaft von Tierhaltungsanlagen gesundheitliche Beschwerden nur **bei Atopikern**[1] schwache Zusammenhänge durch erhöhte Bioaerosolexpositionen nachweisen (Abb. 5 und 6) (AABEL 2004, Radon 2005).

[1] Personen, die eine genetisch festgelegte Bereitschaft haben, auf luftgetragenen (pulmonal), über den Magendarmtrakt (gastrointestinalen) oder über den Hautkontakt (kutanen) mit natürlichen oder künstlichen Umweltstoffen mit einer gesteigerten IgE-Bildung zu reagieren.

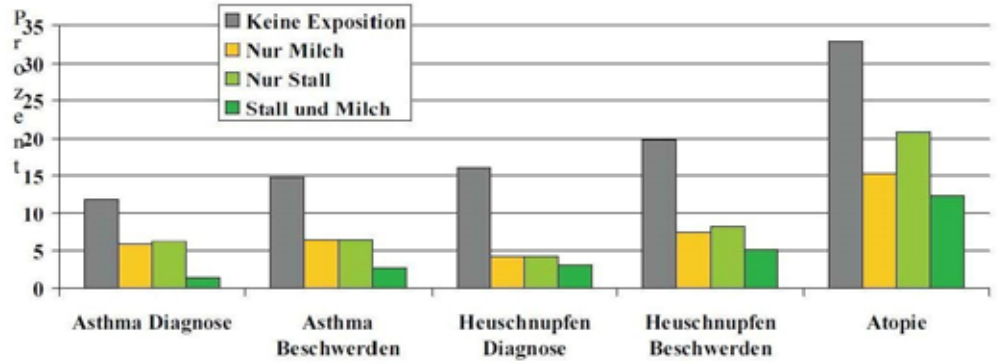


Abb. 5: Gesundheitliche Beeinträchtigung der Bevölkerung (Epidemiologie) (Nowak 2002)

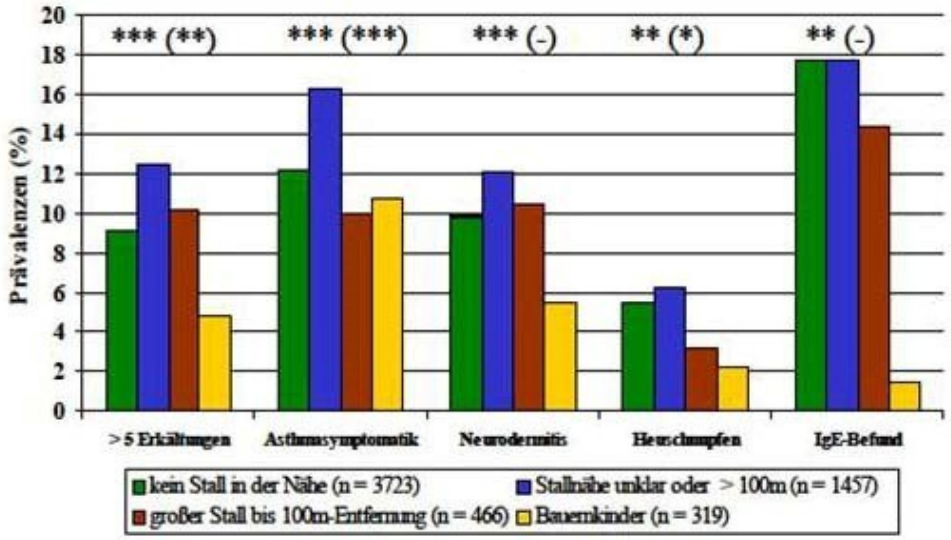


Abb. 6: Bioaerosole aus der Nutztierhaltung und Symptome/Erkrankungen (Radon 2005)

Aus den bisher vorliegenden epidemiologischen Daten zur gesundheitlichen Beeinträchtigung der Bevölkerung, also Nachbarschaft von Tierhaltungsanlagen, kann festgestellt werden:

Für Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen und gesundheitliche Beschwerden/Erkrankungen bestehen:

- **schwache Zusammenhänge zwischen Exposition und Symptomatik,**
- **keine erhöhten Erkrankungsrisiken für normal empfindliche Kinder,**
- **erhöhte Symptom-Häufigkeiten bei Kindern von atopischen Eltern,**
- **geringere Sensibilisierungen bei stärkerer Exposition.**

3 Expositionsvorsorge – Ableitung einer umweltmedizinischen Risikobewertung

Die umweltmedizinische Bewertung bezieht sich auf die Bevölkerung (Nachbarschaft von Anlagen der Tierhaltung). Als Worst-Case-Szenario werden arbeitsplatzrelevante Expositionen und deren berufsbedingte Erkrankungen herangezogen.

3.1 Gefahren-/risikobasierte umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosolen

Für Bioaerosole und ihre gesundheitliche Bedeutung gibt es bisher keine belastbare Erkenntnis zur Dosis-Wirkungs-Beziehung, so dass auch keine Richt- oder Grenzwerte existieren, die eine eindeutige Aussage über die gesundheitliche Gefährdung durch biogene Emissionen aus Tierhaltungen zulassen.

Auch die VDI-Richtlinie 4250, Blatt 1E: „Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosolimmissionen – Wirkungen mikrobieller Verunreinigungen auf den Menschen“ gibt nur an, dass ein Überschreiten der lokalen Hintergrundkonzentrationen als umweltmedizinisch unerwünscht anzusehen ist.

Für Bioaerosole und Geruchsstoffe ist von einer geringen Persistenz, einer begrenzten Transmission, einer geringen Toxizität/Infektiosität sowie einer geringen Empfindlichkeit der Betroffenen auszugehen. Daher können für umweltmedizinisch relevante gesundheitliche Beeinträchtigungen in der Regel keine gefahren-, sondern nur risikobasierte Bewertungen vorgenommen werden (Abb. 7).

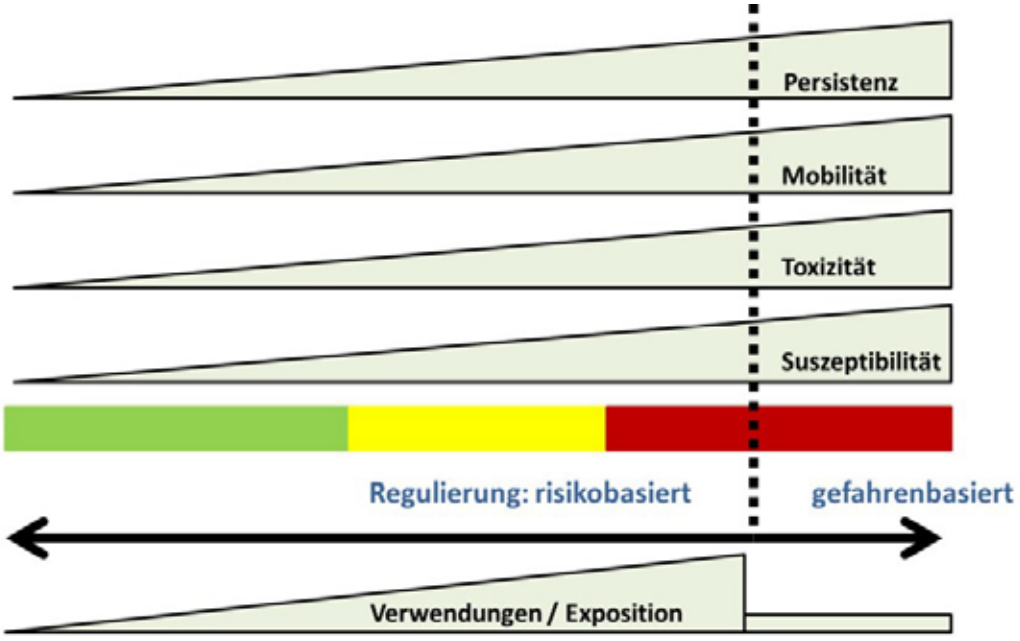


Abb. 7: Gefahren- oder risikobasierte Bewertung der gesundheitlichen Beeinträchtigung (Neumann 2010)

Insgesamt lässt sich festhalten, dass eine GEFAHREN-basierte umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosolen bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Gesundheit NICHT möglich ist.

Aufgrund umfangreicher wissenschaftlicher Literaturdaten, Erhebungen, Berichte und Befunde aus den Bereichen:

- Bioaerosol-Emission aus unterschiedlichen Anlagen,
- Persistenz und Ausbreitung von Infektionserregern,
- Ausbreitung von biogenen Stoffen (Gerüche, MVOC, Allergene),
- Immissionsbelastung durch Bioaerosole,
- Erkrankungsmöglichkeiten durch luftgetragene biologische Agenzien (Infektionen, Sensibilisierungen, Allergiesierungen, toxische Reaktionen),
- Arbeitsplatzbelastungen und arbeitsplatzbedingte Erkrankungen von Beschäftigten in der Tierzucht und Tierhaltung (Worst-Case-Szenario),
- epidemiologische Untersuchungen zu Atemwegserkrankungen und Sensibilisierungen kann abgeleitet werden:

- Es ist LEDIGLICH eine RISIKO-basierte umweltmedizinische Bewertung zu Auswirkungen von Bioaerosolen aus der Tierhaltung möglich.
- Für eine Gesundheitsstörung oder Erkrankung spielt die Disposition der exponierten Personen die entscheidende Rolle.

Diese Aussagen lassen sich im Wesentlichen durch die epidemiologischen Daten der AABEL-Studie: „Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region“ (2004) sowie die Nils-Studie: „Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens“ (Radon 2005) belegen.

3.2 Mögliche Risiken für Erkrankungen und Gesundheitsstörungen

Zur Ermittlung von Personen unter einem möglichen Infektionsrisiko wird die Einteilung der Abwehrschwäche (Immunsuppression/-defizienz) in drei Risikogruppen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) (KRINKO 2010) herangezogen (Abb. 8). Unabhängig davon haben Personen mit Mukoviszidose (Zystische Fibrose; nicht heilbare Erbkrankheit der Drüsen) ein Infektions- und Allergierisiko.

Risikogruppe 1 (mittelschwere Immunsuppression/-defizienz)
- Granulozytopenie <0,5×10^9/l (<500/µl) bis zu 10 Tage (analog Leukopenie <1×10^9/l; <1000/µl)
- Mangel an CD4-positiven T-Helfer-Zellen <250/µl (cave: altersentsprechende Normwerte bei Kindern); autologe Stammzelltransplantation bis drei Monate nach intensiver Therapiephase

Patienten, die mehr als 1 Merkmal der unter Risikogruppe 1 aufgeführten Immunsuppression/-defizienz aufweisen, kommen in Risikogruppe 2.

Risikogruppe 2 (schwere Immunsuppression/-defizienz)
- Granulozytopenie <0,5×10^9/l (<500/µl) über mehr als 10 Tage (analog Leukopenie <1×10^9/l; <1000/µl)
- Schwere aplastische Anämie oder Makrophagen-Aktivierungssyndrom während einer intensiven immunsuppressiven Therapie
- Allogene Knochenmark- oder/Stammzelltransplantation bis 6 Monate nach Abschluss der intensiven Therapiephase (wichtig: Ausmaß der GVHD und der anhaltenden iatrogenen Immunsuppression)
- Akute stationäre Behandlungsphase bei autologer Stammzelltransplantation oder nach Transplantation solider Organe (bis zur Entlassung)

Risikogruppe 3 (sehr schwere Immunsuppression/-defizienz)
- Allogene KMT/PBSCT in intensiver Therapiephase (bis zum Engraftment = Regeneration der Granulopoese)
- Schwere GVHD Grad III oder IV unter intensiver Immunsuppression

Die Entscheidung über die Zuordnung zu Gruppe 3 bei Patienten nach allogener Stammzelltransplantation wird letztlich in Zusammenschau aller Befunde von den behandelnden Onkologen getroffen.

Abb. 8: Einteilung der Abwehrschwäche (Immunsuppression/-defizienz) in drei Risikogruppen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) (KRINKO 2010)

Infektionsrisiko

Für die Exposition von Bioaerosolen aus Tierhaltungsanlagen kann ein numerisches Risiko auf der Grundlage des aktuellen Wissensstandes nicht abgeleitet werden. Es kann lediglich semiquantitativ ein mögliches Infektionsrisiko abgeleitet werden, das in Abbildung 9 dargestellt ist.

Prädisposition / Mikroorganismen	Keine Immunsuppression*	Mittelschwere Immunsuppression*	Schwere Immunsuppression*	Sehr schwere Immunsuppression*
Bioaerosol-Exposition ab 50 Meter				
Bioaerosol-Exposition bis 50 Meter				

* Erläuterungen zu den Einteilungen der Immunsuppression ist Abbildung 8 zu entnehmen.

Abb. 9: Semiquantitative Risikobewertung eines möglichen Infektionsrisikos durch Bioaerosol-Emissionen aus der Tierhaltung (Wiesmüller 2010)

Danach besteht mit zunehmender Abwehrschwäche (Immunsuppression/-defizienz) in unmittelbarer Nähe zur Tierhaltungsanlage ein mögliches zunehmendes Infektionsrisiko. Aufgrund des derzeitigen Wissens über Emission und Immission (s. oben) sowie die innerhalb kurzer Zeit abnehmende Überlebensfähigkeit der emittierten Erreger kann zurzeit davon ausgegangen werden, dass ein Infektionsrisiko für durch Abwehrschwäche prädisponierte Personen im Bereich von bis zu 50 Metern um eine Tierhaltungsanlage bestehen kann.

Mögliches Allergierisiko

Grundsätzlich kann ein Allergierisiko für die Bevölkerung (Nachbarschaft von Anlagen der Tierhaltung) nicht ausgeschlossen werden. Ein numerisches Risiko kann auf der Grundlage des aktuellen Wissensstandes nicht abgeleitet werden. Dieses ist nur semiquantitativ möglich (Abb. 10).

Prädisposition / Bioaerosole	Keine Allergie		Allergie aber ohne Allergie gegen Bioaerosol-bestandteile*	Allergie gegen Bioaerosol-bestandteile*
	ohne familiäre Prädisposition	mit familiärer Prädisposition		
Bioaerosol-Exposition ab 50 Meter				
Bioaerosol-Exposition bis 50 Meter				

* Nachweis der klinischen Relevanz (im Regelfall durch Provokationstestung) einer im Allergietest festgestellten Sensibilisierung erforderlich!

Abb. 10: Semiquantitative Risikobewertung eines möglichen Allergierisikos durch Bioaerosol-Emissionen aus der Tierhaltung (Wiesmüller 2010)

Das Risiko steigt mit Zunahme der atopischen Prädisposition exponierter Personen. Je stärker und spezifischer (bezogen auf Bestandteile des Bioaerosols der Exposition) eine Person atopisch prädisponiert ist, desto höher ist das Risiko, auf den entsprechenden Bestandteil des Bioaerosols zu reagieren. Unabhängig davon haben Personen mit Mukoviszidose (Zystische Fibrose; nicht heilbare Erbkrankheit der Drüsen) ein Allergie- und Infektionsrisiko. Die Wahrscheinlichkeit eines Allergierisikos ist umso höher, je näher die prädisponierte Person sich an der Tierhaltungsanlage aufhält. Aufgrund des oben dargestellten Emissions- und Immissionsverhaltens von Bioaerosolen kann zurzeit davon ausgegangen werden, dass hierzu ein Radius von bis zu 50 Meter um die Tierhaltungsanlage entscheidend ist.

Mögliches Risiko toxischer Wirkungen

Nach aktuellem Wissensstand reichen die Konzentrationen an Mykotoxinen und Endotoxinen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen nicht aus, um toxische Reaktionen bei der Bevölkerung (Nachbarschaft von Anlagen der Tierhaltung) auszulösen.

Mögliches Risiko durch Geruchsbelastungen

Gerüche können auch ohne direkte Gesundheitsschädigung als Belästigung wahrgenommen werden und damit zu Befindlichkeitsstörungen führen (Herr et al. 2013, Wiesmüller et al. 2013).

Chemisch/physikalisch relevante Geruchs-Parameter (PM_{10}, Ammoniak, VOC) sind bei den meisten Wettersituationen ab 50 Metern Entfernung von Geflügelmastanlagen nicht mehr nachzuweisen.

Mögliches Risiko von Befindlichkeitsstörungen, Belästigungsreaktionen

Die bloße Wahrnehmung von Tierhaltungsanlagen kann als Stressor zu Befindlichkeitsstörungen und/oder Belästigungsreaktionen führen.

4 Umweltmedizinische Bewertung der anlagenbezogenen Bioaerosol-Immissionen

4.1 Bewertung der prognostizierten Immissionskonzentrationen für den anlagenspezifischen Bioaerosol-Leitparameter „Staphylokokken" (Aussagekraft von LAI-Leitfaden (31.01.2014) und VDI-Richtlinien (4250 Bl. 1:2014-08))

Für die umweltmedizinische Bewertung der prognostizierten Bioaerosol-Immissionen wird die VDI Richtlinie VDI 4250 Blatt 1:2014-08 sowie der LAI-Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen vom 31.01.2014 über Bioaerosole herangezogen. Der LAI-Leitfaden stellt eine bundesweit einheitliche, standardisierte Methodik zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosolbelastungen insbesondere für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, für die hinreichende Anhaltspunkte vorliegen, dass der Schutz der menschlichen Gesundheit vor Bioaerosolbelastungen nicht immer gewährleistet ist, dar.

Die Luft in Nutztierställen setzt sich aus Bestandteilen der Außenluft und aus Stoffen zusammen, die innerhalb des Stalls neu oder im Vergleich zur Außenluft in erhöhter Konzentration gebildet und an die Luft abgegeben werden. Bei den im Stall gebildeten Stoffen handelt es sich in erster Linie um Gase, Gerüche, Stäube, Toxine, aber auch Mikroorganismen, die von den Tieren, dem Futter, der Einstreu oder den Fäkalien ausgehen. Man spricht auch von Bioaerosolen und versteht darunter luftgetragene Partikel mit biologischer Aktivität, die sich durch ihr Potential zur Auslösung von Infektionen und Allergien oder anderen toxischen oder pharmakologischen Wirkungen bei Mensch und Tier auszeichnen (Hartung 2005).

Eine prognostizierte Immissionskonzentration für den anlagenspezifischen Bioaerosol-Leitparameter „Staphylokokken" gemäß den Beurteilungsgrundlagen des LAI-Leitfadens bezieht sich im Wesentlichen auf den Orientierungswert für die Bakteriengruppe „Staphylokokken".

Aus umweltmedizinischer Sicht sind Staphylokokken im allgemeinen für Bioaerosole nicht anlagenrelevant: Statt der Bakteriengattung „Staphylokokken" müsste es *Staphylococcus aureus* heißen, da nur für diese human-pathogene Species eine umweltmedizinische Relevanz belegt ist.

Bei den Leitparametern und Orientierungswerten im LAI-Leitfaden (Stand 31.01.2014) steht in Tab. 1 bei den Bakterien in der 1. Zeile richtigerweise *Staphylococcus aureus*, jedoch in der 2. Zeile auch die Gruppenbezeichnung „Staphylokokken", die als Immissionsparameter wegen ihrer relativ einfachen Nachweisbarkeit gerne herangezogen werden, jedoch für eine umweltmedizinische Risikobewertung keine Bedeutung haben.

Unter anderem wegen dieser Unstimmigkeit haben einige Bundesländer die Anwendung dieses LAI-Leitfadens zunächst ausgesetzt.

Neuere Untersuchungen von Anlagen zur Geflügel-Intensivtierhaltung haben gezeigt, dass weniger als 1 % der nachgewiesenen Staphylokokken der Art *Staphylococcus aureus* zugeordnet werden konnte.

Des Weiteren ist ein Bezug zu Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA)-Stämmen im Zusammenhang mit Bioaerosolen aus Geflügelmastbetrieben wenig zielführend, da diese sogenannten livestock-associated Methicillin-resistenten Stämme des Typs 398 in der Schweinemast zwar nachgewiesen wurden (Heederik et al. 2011), sich jedoch von den humanmedizinisch bedeutsamen hospital- bzw. community-acquired-MRSA deutlich unterscheiden und im Staub von Legehennen- und Masthähnchenhaltungen bislang nicht nachgewiesen wurden (Hartung und Käsbohrer 2011).

Unzureichendes Wissen über Konzentrationen, Auslöseschwellen, Wirkungen und Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Bioaerosolen stellt Bewertungen von Mindestabständen zwischen Anlagen und Wohnnutzungen als Grundlage für Anlagengenehmigungen in Frage.

Keimgutachten beschreiben lediglich einen Ist-Zustand und können nicht zur Gefährdungsanalyse beitragen, weil sowohl verbindliche Durchführungsbestimmungen für die Erfassung von Bioaerosolen als auch Richt- oder Grenzwerte fehlen.

Für Bioaerosole und ihre gesundheitliche Bedeutung gibt es bisher keine belastbare Erkenntnis zur Dosis-Wirkungs-Beziehung, sodass auch keine Richt- oder Grenzwerte existieren, die eine klare Aussage über die gesundheitliche Gefährdung durch biogene Emissionen aus Tierhaltungen machen.

4.2 Emissionsmindernde Maßnahmen: Betrieb von Befeuchtungsanlagen

Die Luftbefeuchtung von Tierställen trägt zweifelsohne zu einer Reduzierung der Feinstaub(PM_{10})-Emissionen bei. Nach neueren Untersuchungen (Seedorf 2012, Clauß et al. 2015) kann durch eine Luftbefeuchtung die Feinstaubbelastung und die Zahl der luftgetragenen Mikroorganismen um den Faktor > 10 reduziert werden.

Allerdings ist die zielgerichtete Staubminderung nicht das technische Ziel einer Sprühkühlnebelanlage, sondern die Senkung der Stallinnentemperatur. Daher ist die Staubminderung als eine ungeregelte und zufällige Nebenerscheinung zu bewerten, zumal die Befeuchtung in der Regel nur an warmen Tagen zum Einsatz kommt.

Stand der Technik von Filteranlagen bei Geflügelmastbetrieben

Als emissionsmindernde Maßnahmen für Bioaerosol emittierende Betriebe der Tierhaltung stehen prinzipiell Filter und Luftwäscher zur Verfügung, die die mikrobielle Luftbelastung nur um ein bis zwei Zehnerpotenzen reduzieren. Beim Einsatz von Luftwäschern muss die Möglichkeit eines zusätzlichen Infektionsrisikos durch Legionellen in Betracht gezogen werden.

Bei Geflügelmastbetrieben ist der Einbau einer Abluftreinigungsanlage noch nicht unbedingt zwingend, da gegenwärtig für die Geflügelkurzmast nur eine von der DLG zertifizierte Abluftreinigungsanlage zur Verfügung steht (Niedersächsischer Filtererlass 21.02.2013).

- **Zur risikobasierten Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigung durch Tierhaltungsanlagen liefern Keimgutachten keinen validen Beitrag.**
- **Bei der risikobasierten Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigung durch Tierhaltungsanlagen spielt die individuelle Disposition die entscheidende Rolle => Dispositionsbasierte Risikobewertung.**
- **Meist lässt sich aus den zu erwartenden oder prognostizierten Immissionsbelastungen der Tierhaltungsanlagen kein erhöhtes Risiko für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung in der Umgebung ableiten.**

5 Zusammenfassung

- Zur Beurteilung der primären und sekundären Emission sowie der umwelt-medizinischen Bewertung von Bioaerosolen aus der Tierhaltung wird in Analogie zu biotechnologischen Anlagen (Kompostierungs-, Biogas-, Abwasserbehandlungsanlagen) der Vergleich zwischen Lee und Luv bzw. die ortsüblichen Hintergrundbelastungen herangezogen.
- Die Beurteilungskriterien gemäß LAI-Leitfaden und VDI(4250)-Richtlinien sind nur nach eindeutiger mikrobiologischer Identifizierung der Mikroorganismen justiziabel.
- Bei der intensiven Tierhaltung, insbesondere bei Geflügelaufzucht und -mastanlagen, stehen partikelgebundene grampositive Mikroorganismen der Gattungen Staphylococus, Streptococcus, Bacillus sowie Pilzsporen im Vordergrund.
- Umweltmedizinisch relevante, pathogene oder resistente Mikroorganismen (MRSA, VRE oder MRGN) sind in der Außenluft ab 50 Metern Entfernung von Tierhaltungsanlagen in der Regel nicht mehr nachzuweisen.
- Daher kann die Abschätzung der Zusatz- und Gesamtbelastung durch Bioaerosole über eine Ausbreitungsrechnung des Parameters Feinstaub (PM_{10}) erfolgen.
- Die Immissionsbelastung durch Feinstaub und Bioaerosole aus Tierhaltungsbetrieben nimmt mit zunehmendem Abstand von der Emissionsquelle exponentiell ab.
- Arbeitsmedizinische Untersuchungen belegen, dass die in Tierhaltungsanlagen auftretenden Bioaerosole bei Beschäftigten zu Atemwegs- und allergischen Erkrankungen führen können („Worst-case-Betrachtung“).
- Die gesundheitlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung der Nachbarschaft von Tierhaltungsanlagen wurden epidemiologisch (AABEL, NiLs) untersucht. Epidemiologisch wurden sowohl schädliche als auch nützliche Effekte beobachtet.
- Bei einer Dispositionsbasierten Risikobewertung lässt sich ausschließlich für suszeptible oder prädisponierte Personen im unmittelbaren Bereich der Emissionsquelle (50 Meter Abstand) ein nennenswertes Gesundheitsrisiko ableiten.

Literatur

AABEL: "Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region." (2004) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover

Berufskrankheiten-Verordnung (BKV): Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten – Merkblatt zu den Berufskrankheiten Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003

Bünnger, J.: Arbeitsmedizinische Krankheitsbilder. In: Bioaerosole aus Geflügelställen – Gesundheitliche Beeinträchtigung der Nachbarschaft? Fachgespräch Bioaerosole. LGA Niedersachsen. 20. Juni 2011

Clauß, M.; J. Hahne; A. Munack und K.-D.Vorlop: Aktuelle Entwicklung im Bereich der Bioaerosole und der Abluftreinigung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2014. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2015. S. 1-10

Chinivasagam, H. N.; T. Tran; L. Maddock; A. Gale and P. J. Blackall: Mechanically ventilated broiler sheds: A possible source of aerosolized Salmonella, Campylobacter, and Escherichia coli. Appl. Environ. Microbiol. 75 (2009) 7417–7425

Dott, W.; H. Merk; J. Neuser und R. Osienka: Lehrbuch der Umweltmedizin. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2002

Dungan, R. S.: BOARD-INVITED REVIEW: „Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures" J Anim Sci 88 (2010) 3693-3706

Fischer, G. et al.: "Dispersal and diversity of pathogenic and non-pathogenic microfungi in the surrounding of waste-handling facilities." VAAM Tagung (2003) Braunschweig

Hartung, J.: Beurteilung von Bioaerosol-Emissionen und -Immissionen aus der Tierhaltung. Vortrag aus dem Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Umweltmedizinisches Symposium Mecklenburg-Vorpommern 05.05.2012

Hartung, J.; J. Stratmann-Selke; M. Clauß: Efficiency of a bioscrubber/biofilter combination to reduce air pollutants from exhaust air of a piggery – techniques, efficiency, cots. CIGR 2011 vom 25. November 2011

Hartung, M. und A. Käsbohrer: Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2011. BfR Wissenschaft (2013) 1–285, ISBN 3-943963-01-4

Heederik, D.; H. Graveland; M. Bos; K. Bergs and J. Wagenaar: Persistence of ST398 MRSA carriage in livestock farmers, Occup Environ Med (2011) 68:A36 doi:10.1136/oemed-2011-100382.115

Herr, C. E. W; G. A Wiesmüller; D. Twardella: Umweltmedizinische Relevanz von Gerüchen in der Umwelt. Umweltmed – Hygiene – Arbeitsmed 18 (2013) 27-29

KRINKO - Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut (RKI), 2010. Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten. Bundesgesundheitsbl 53 (2010) 357–388

LAI-Leitfaden: „Bioaerosole" zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz 31.01.2014

Neumann, M.: "Environmental Risk Assessment" SETAC GLB 10.–13. September 2012 Leipzig

Nowak, D.: "Atemwegserkrankungen in der Landwirtschaft." In: Gottwald FT, Nowak D.: Nutztierhaltung und Gesundheit. 2002, ISBN 978-3-89958-334-2

Nowak, N.: Bioaerosole aus Legehennenbetrieben Biologische und chemische Charakterisierung und Quantifizierung umweltmedizinisch relevanter Emissionen. Masterarbeit Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Prof. Dr. W. Dott UKA/RWTH (September 2014) 1-91 Aachen

Radon, K.: “Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens.“ – Niedersächsische Lungenstudie, NiLS 2005. Inst. f. Arbeits- und Umweltmedizin, Prof. Dr. D. Nowak, LMU München

Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel mit potentieller Hygienerelevanz in biologischen Abluftreinigungsanlagen der Tierproduktion (2016). in: Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel in biologischen Abluftreinigungsanlagen 2012, 1 – 283, A 1 – 29, F 1 - 10, T 2 Seiten, G 1 – 14

VDI 4250 Blatt 1: Bioaerosole und biologische Agenzien Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen, 2014-08

Wiesmüller, G A; B. Heinzow; C. E. W. Herr: Befindlichkeitsstörungen in Innenräumen. Umweltmed – Hygiene – Arbeitsmed 18 (2013) 30-34

air Umwelt GmbH
Aachener Institut für Risikoanalyse und -bewertung

Hygienische und umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosolen aus der Tierhaltung

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Dott
Institut für Hygiene und Umweltmedizin, RWTH Aachen

15. KTBL-Tagung „Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung 2018“,
16. Mai 2018| Stadthaus - Ulm; 29. Mai 2018 CongessCentrum-HCC - Hannover

Medizin – Umwelt – Technik

Gliederung

- Novellierung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft
- Bioaerosole (Biologischen Agenzien/Arbeitsstoffen) und ihre Wirkungen: **Infektionen, Intoxikationen, Sensibilisierung**
- Worst case scenario: Expositionen und **Berufsbedingte Erkrankungen**
- Infektionswege: Anlagen spezifischen Emissionen und **Transmission** in die Umwelt (Luft, Abwasser, Abfall, Produkttransport)
- **Immission**sbelastung (Mikroorganismen, VOC, Toxine, Allergene)
- Umweltmedizinische Risikobewertung (Risikogruppen)
  - Besiedlungs- / Infektionsrisiko
  - Risiko toxischer Reaktionen
  - Geruchswirkungen
  - Sensibilisierungs- / Allergierisiko
- Gefahren- oder **Risikobasierte Bewertung** der gesundheitliche Beeinträchtigung

Einleitung: Bioaerosole, Nutztierhaltung und Risik im Web

Stichwörter	Ergebnisse
„Bioaerosole“	102.000 / 8.550 / 2
„Bioaerosole & Nutztierhaltung“	6.230 / 99 / 0
„Bioaerosole & Risiko“	58.200 / 202 / 0
„bioaerosols“	439.000 / 9.670 / 1.048
„bioaerosols & livestock“	167.000 / 980 / 38
„bioaerosols & risk“	283.000 / 5.000 / 178
„bioaerosols & risk assessment“	57.100 / 3.820 / 52
“environment agency risk assessment & bioaerosols”	144.000 / 1.720 / 1
„Occupational bio-aerosol exposure in veterinary medicine“	2.210.000 / 34 / 0

Web of Science®/ScienceDirect/PubMed

AABEL: “Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region“ (2004) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover

Fachgespräch Bioaerosole: „Bioaerosole aus Geflügelställen – Gesundheitliche Beeinträchtigung der Nachbarschaf?“ Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (20. Juni 2011)

Dungan, R.S.: BOARD-INVITED REVIEW: „Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures.“ J. Anim. Sci. 88 (2010) 3693-3706

Radon, K.: “Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens“ – Niedersächsische Lungenstudie, NiLS (2005), Inst. f. Arbeits- und Umweltmedizin, Prof. Dr. D. Nowak, LMU München

Lippmann, J., H. Mietke-Hofmann, J. Deichmann und T. Heidenreich: Bestimmung und Beurteilung wichtiger Bestandteile des Bioaerosols in der Stall- und Abluft. In: Schriftenreihe - Bioaerosole aus Anlagen der Geflügelhaltung, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen, Heft 13 (2016) 1 – 104

Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel mit potentieller Hygienerelevanz in biologischen Abluftreinigungsanlagen der Tierproduktion (2016). in: Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel in biologischen Abluftreinigungsanlagen 2012, 1 – 283, A 1 – 29, F 1 -10, T 2 Seiten, G 1 – 14.

Zielsetzung bei der Novellierung der TA Luft

- Nr. 4 Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen (= Immissionsteil) und Nr. 5 Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen (= Emissionsteil)
- Grundlage für mehr als 50.000 Anlagen
- Schafft bundeseinheitliche, verbindliche Anforderungen für genehmigungsbedürftige Anlagen; somit Gleichbehandlung vergleichbarer Anlagen
- Flexibel, durch altanlagenspezifische Regelungen, Dynamisierungsklauseln, Minimierungsgebote und Zielwerte (Spielräume gegenüber Rechtsverordnung)
- Erleichtert den Behörden die Genehmigungspraxis (Rechts- und Planungssicherheit)

Wichtigste Neuregelungen zu Bioaerosolen

4.1 Änderungen in Nr. 5.2 Allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung (4)

- Nr. 5.2.1 Aufnahme eines neuen Staubemissionswertes von 10 mg/m³ für große Einzelquellen (Massenstrom > 0,4 kg/h)
- Nr. 5.2.9: Allgemeine Regelung für Bioaerosole und **Legionellen** (bislang in Nr. 5.4.7.1, 5.4.7.15, 5.4.8.5 und 5.4.8.6 der besonderen Regelungen): Vorsorge entsprechend Stand der Technik!
- Neu: Anhang 7 GIRL, Anhang 8 FFH, Anhang 9 Deposition, Anhang 10 Bioaerosole, Anhang 11 Abgasreinigung bei Tierhaltungsanlagen

Bedeutung und Auswirkungen der Neuregelungen zu Bioaerosolen

1. Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen (Nr. 4 TA Luft)

- Geltungsbereich auch für kleine Anlagen (sog. Baurechtsanlagen)
- Immisionsbegrenzung bei erhöhter Geruchsbelästigung (Nr. 4.3.2.2) schließt sog. Verbesserungsgenehmigungen aus
- Absenkung der Irrelevanz- und Bagatellwerte zur N-Deposition (Anhang 9)
- **Mandatierung der VDI-Richtlinie 4250, Blatt 1 und damit Übernahme von umweltmedizinisch/toxikologisch nicht begründeten Richt-/Grenzwerten**
- Einschränkung der tiergerechten und ökologischen Haltungsformen mit freier Lüftung und Auslauf (Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung)

2. Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen (Nr. 5 TA Luft)

- Reduzierung des Staubemissionswertes von 10 mg/m^3 für große Einzelquellen (Massenstrom > 0,4 kg/h) **ohne Berücksichtigung der staubspezifischen Auswirkungen auf die Gesundheit**
- Kontingentierungsregeln für Geruch
- Nachrüstungspflicht für Abluftreinigungsanlagen bei G-Anlagen

Siehe auch: Stellungnahme der KTBL-Arbeitsgruppe „TA Luft“ vom 26.09.2016

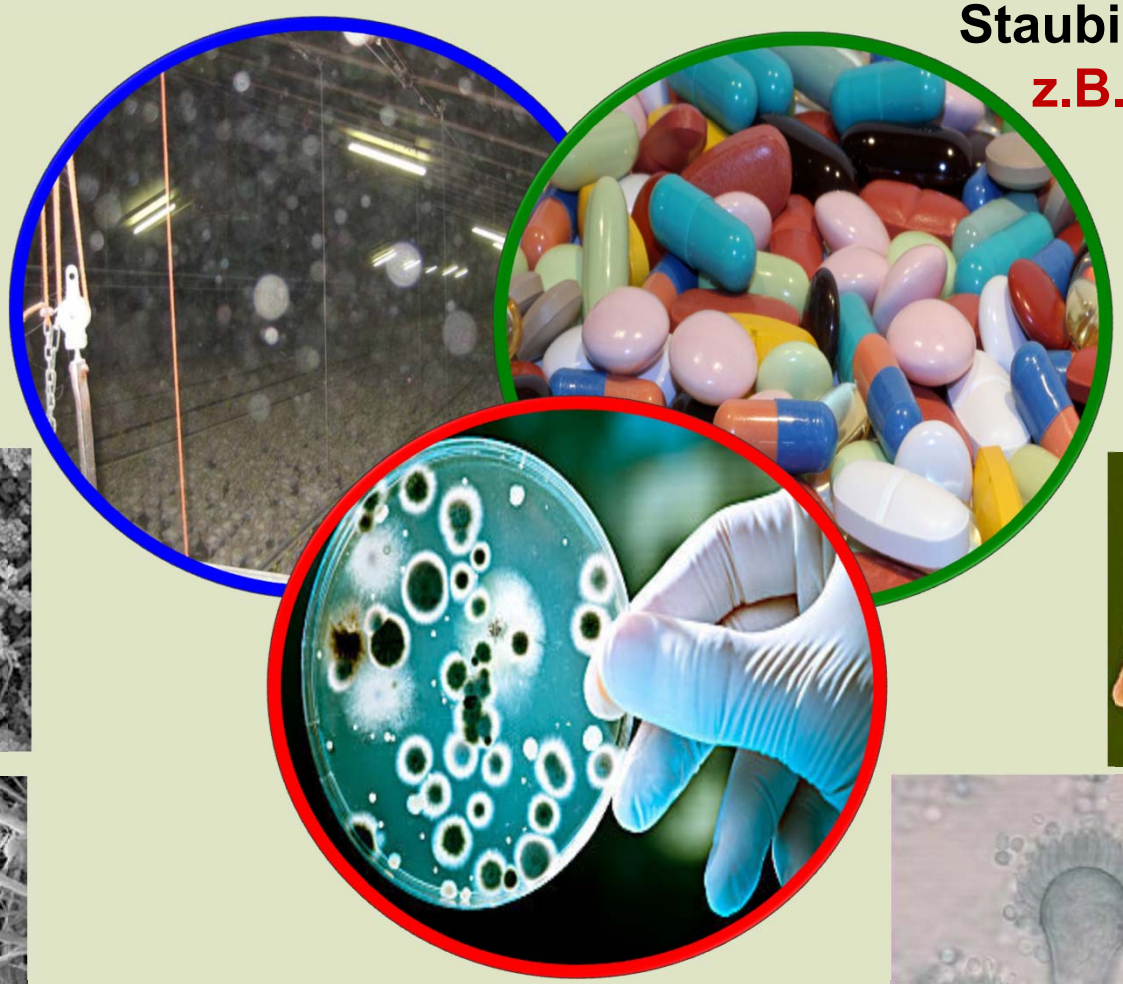
VDI Richtlinie 4250 Blatt 1

Bereich	Anlagenart	Anlagenbezogene und schutzgutbezgene, umweltmedizinisch relevante Messparameter	
		obligate Messparameter/ Leitparameter	**fakultative Messparameter**
		Diese Parameter müssen gemessen werden.	**Der Messumfang kann bei besonderer Fragestellung durch die Auswahl eines oder mehrerer zusätzlicher Parameter erweitert werden.**
Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse (Auswahl möglicher Quellen)	**Tierhaltung** (Tierställe, Güllelagerung und -verarbeitung, Kottrocknung)	**Gesamtbakterienzahl** (36 ± 2) °C und (22 ± 2) °C ***Staphylococcus aureus*** **und/oder Enterokokken fäkaler Herkunft**	**thermophile Bakterien** **thermophile Actinomyceten** ***Coxiella burnetii*** (Ziegen-, Schaf- und Rinderhaltung)
		Gesamtpilzzahl (25 ± 2) °C **Endotoxine** (nur bei Tierställen)	***Chlamydophila psittaci*** (Geflügelhaltung) ***Mycoplasma*** **spp.** (Geflügelhaltung) **thermotolerante Pilze** **Differenzierung weiterer Pilze** [a)] **Enteroviren**

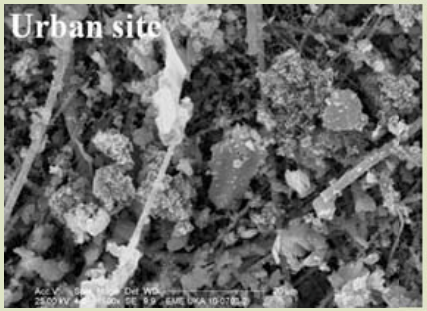
a) **Die Kenntnis der spezifischen Pilzspezies ermöglicht einerseits die Beurteilung des Anlageneinflusses und dient andererseits als Grundlage für die Einschätzung eventuell auftretender infektiöser, allergischer und toxischer Effekte.**

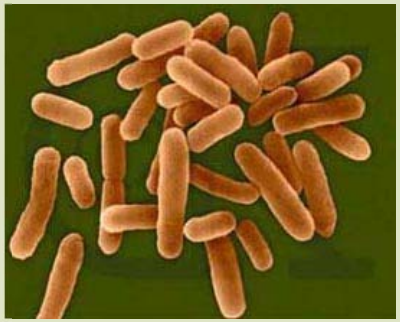
Bioaerosole → “Biologische Agenzien/Arbeitsstoffe”

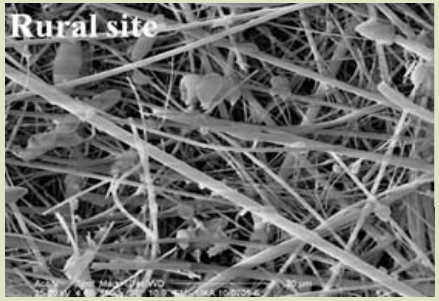
Staub:
organisch
anorganisch

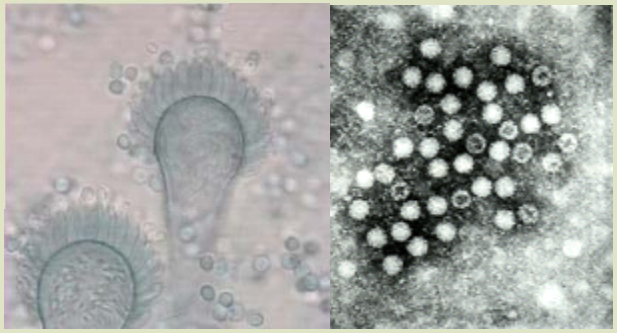


Staubinhaltsstoffe:
z.B. Endotoxine, Antibiotika-rückstände, Ammoniak, Gase, VOC









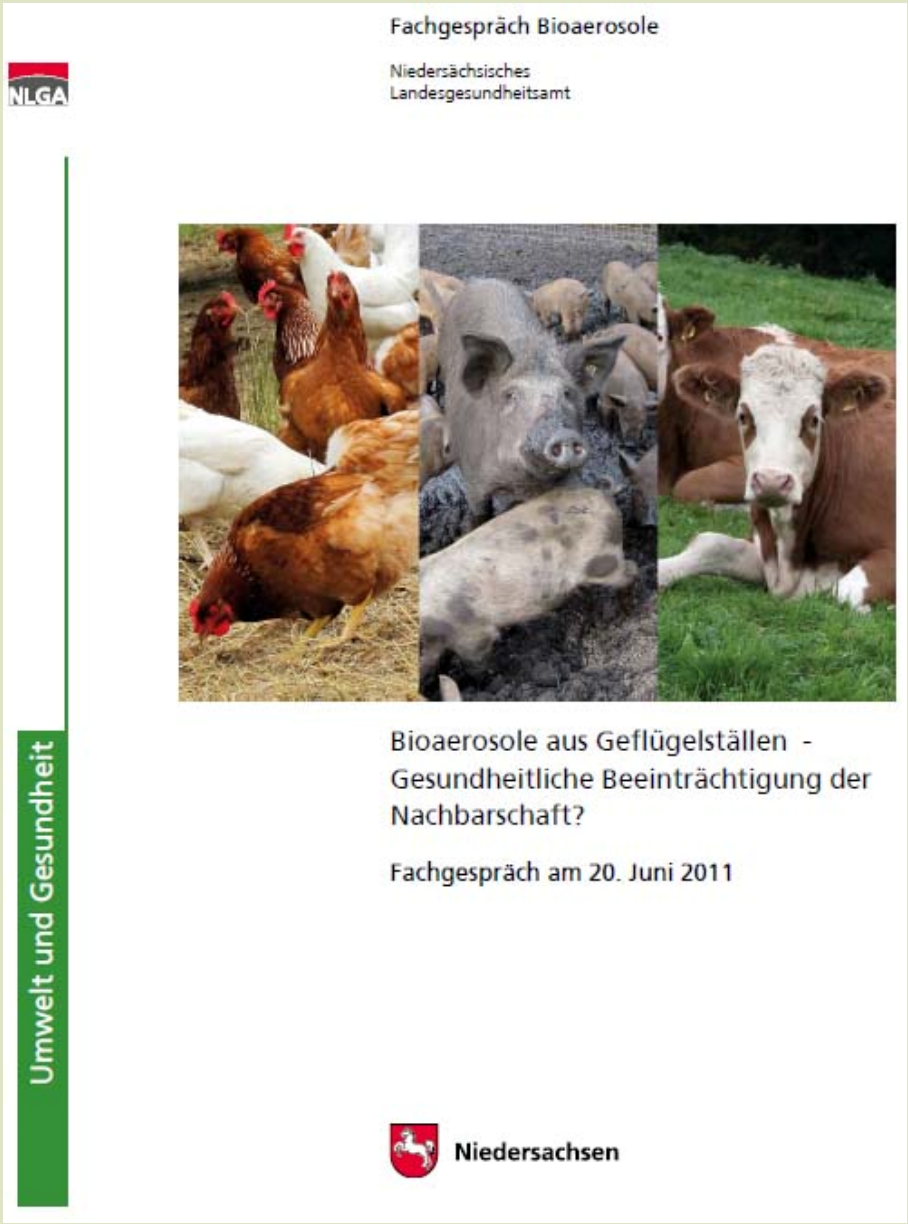
Mikroorganismen:
Bakterien, Pilze und Viren

Worst case scenario: Exposition und Berufsbedingte Erkrankungen

Infektionen
Ornithose (Psittakose)
Leptospirose (M. Weil, Fleckfieber)
Hantavirus (Puumala-Virus)
Darmerkrankungen
Aspergillose

Allergien
Allergische bronchopulmonale Aspegillose
Allergisches Asthma
Heuschnupfen
Exogen-allergische Alveolitis (EAA)

Intoxikationen
ODTS (Organic Dust Toxic Syndrom)
MMIS (Mucous Membrane Irritation Syndrome)



Worst case scenario: Exposition und Berufsbedingte Erkrankungen

Nr.	Krankheit	Inhalativ
1	Balantidiose	
2	Bläschenkrankheit des Schweines (SVD)	
3	**Brucellosen**	+
4	Campylobacter-Infektionen	
5	**Chlamydiosen**	+
6	Echinokokkosen	
7	*(EHEC)-Infektionen*	
8	Frühsommer-Meningoenzephalitis	
9	**Giardiasis** (Lambliasis)	
10	**Hantaviren**	+
11	Katzenkrankheit	
12	Kryptosporidiose	

Nr.	Krankheit	Inhalativ
13	Leptospirosen	
14	**Listeriose**	+
15	Lyme-Borreliose	
16	Lymphozytäre Choriomengigitis	
17	**Maul- u. Klauenseuche**	+
18	Melkerknoten	
19	Mikrosporie	
20	Milzbrand (Anthrax)	
21	Newcastle-Krankheit	
22	**Pasteurellosen**	+
23	**Pneumozystose**	+
24	**Q-Fieber**	+

Nr.	Krankheit	Inhalativ
25	Rattenbisskrankheit	
26	Rotlauf (Eryspeloid)	
27	Salmonellosen	
28	Sporotrichose	
29	*Streptococcus equi*-Infektionen	?
30	*Streptococcus suis*-Infektionen	?
31	Tierpocken	
32	**Tollwut**	+
33	Toxoplasmose	
34	Trichopythie	
35	**Tuberkulose**	+
36	Tularämie	
37	(Enterale) Yersiniose	

„Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten“ Merkblatt zu den Berufskrankheiten Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003

Worst case scenario: Exposition und Berufsbedingte Erkrankungen

Nr.	Krankheit	Inhalativ
3	**Brucellosen**	+
5	**Chlamydiosen**	+
10	**Hantaviren**	+

Nr.	Krankheit	Inhalativ
14	**Listeriose**	+
17	**Maul- u. Klauenseuche**	+
22	**Pasteurellosen**	+
23	**Pneumozystose**	+
24	**Q-Fieber**	+

Nr.	Krankheit	Inhalativ
29	***Streptococcus equi*-Infektionen**	?
30	***Streptococcus suis*-Infektionen**	?
32	**Tollwut**	+
35	**Tuberkulose**	+

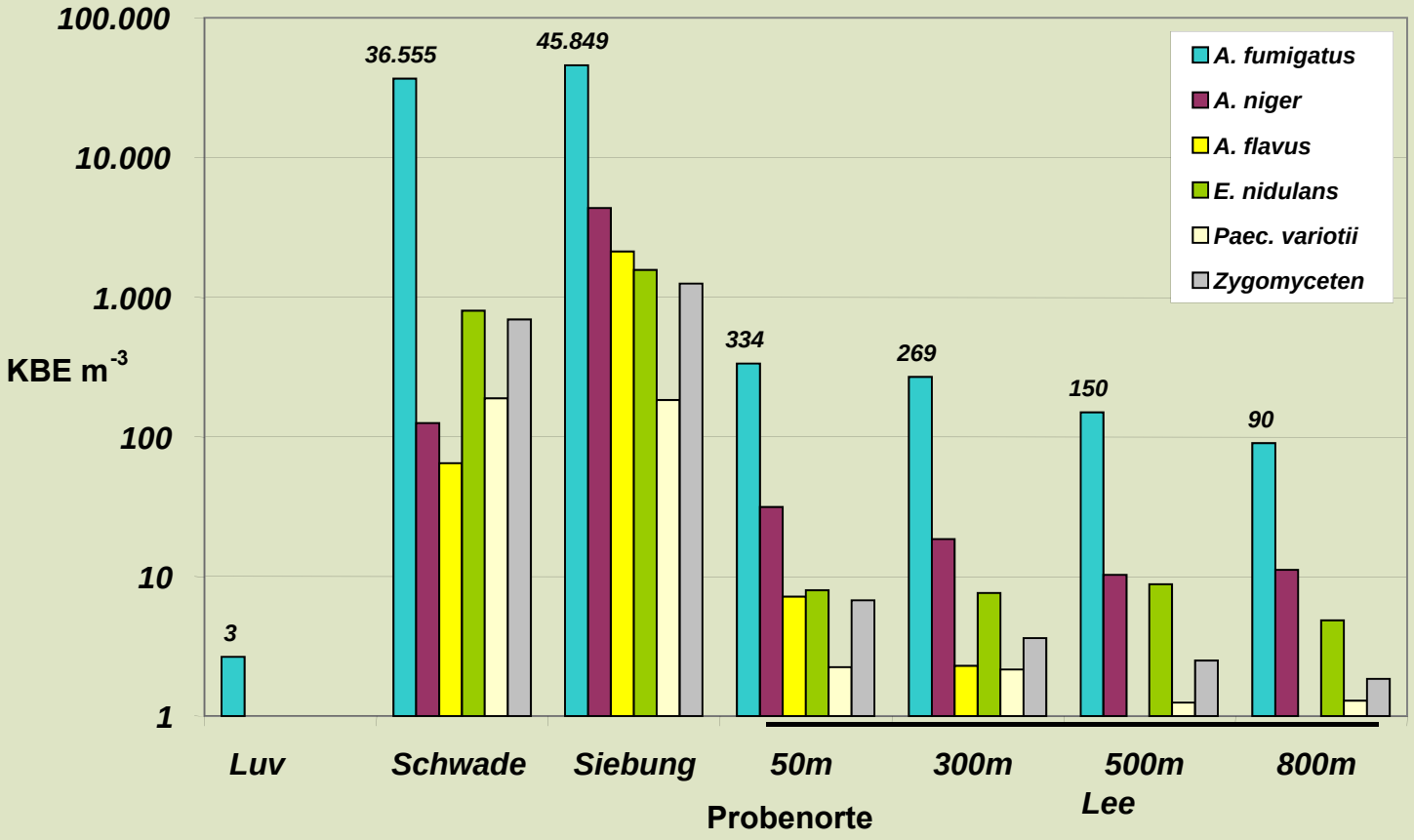
„Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten“ Merkblatt zu den Berufskrankheiten Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003

BKV: Kurzcharakteristik der Inhalativen (Staub, Aerosole) Zoonosen

Nr	Krankheit / *Erreger*	Inku-bation	Reservoir	Infektionswege	Krankheitsbild
3	**Brucellosen** *Brucella abortus, B. melitensis, B. suis, B. canis*	1-3 W	Schaf, Ziege, Rind, Schwein, Hase, Hund	Schmierinfektion (Sekret, Lochien), **inhalativ** (Staub, Aerosol), oral (insbes. Rohmilch, Schafs- u. Ziegenkäse)	Granulome in Leber, Milz, Knochen (Arthritis); Komplikation: Endokarditis, Osteomyelitis, Meningoenzephalitis
5	**Chlamydiosen** *Chlamydophila psittaci, C. Pecorum, C. felis, C. abortus*	7-21 d (3M)	**Vögel**, Schaf, Haus- und Wildtiere, Rind, Katze	**Hauptsächlich inhalativ (Staub)**, Schmierinfektion (Fäzes), direkter Kontakt (Katzenkonjunktivitis, (M→M)	Leichte „Grippe“, bis „atypische“ interstitielle Pneumonie, Orchitis, Endokarditis, Glomerulonephritis, Fehlgeburt
10	**Hantavirus-Erkrankungen** Hantaviren *(Bunyaviridae)*	14-21 d	Nagetiere (**Feldmaus**, Rötelmaus, Ratte)	Schmierinfektion (Urin, Fäzes, Speichel), infizierter Mäuse oder Ratten, **aerogen (Aerosol)**, kontaminierte Lebensmittel	Hohes Fieber, Atemnot, Arthralgien, Rücken- und retrosternale Schmerzen, generalisiertes Ödem, proteinreiches Lungenödem
14	**Listeriose** *Listeria monocytogenes*	1-3 d - 4 W	Rind, Schaf, Ziege, Schwein, **Huhn**, Hund, Katze, **Vögel**, Kaltblüter, Insekten	Schmierinfektion (Fäzes), über Konjunktiven, **Inhalation (Staub)**, diaplazentar, oral (Rohmilch, Weichkäse, Salate)	Lokal: Papeln, Pusteln (Hände, Arme, Brust, Gesicht) Systemisch: septisch-typhöse Monozyten-angnina, Endo-karditis, Pleuritis, Pneumonie, Urethritis, Leberabszeß, Meningitis, Enzephalitis, Neugeborenenlisteriose
17	**Maul- und Klauenseuche** MKS-Virus (Picornaviridae)	2-8 d	Rind, Schaf	Schmierinfektion über belebte und unbelebte Vektoren, **aerogen**	Allgemeine Krankheitssymptome , Primäraphthe an Eintrittspforte, schmerzhafte Bläschen in Mund und Rachen, an Fingern und Zehen
22	**Pasteurellosen** *Pasteurella multocida, (P. dagmatis, P. canis od. Mannheimia haemolytica*	2-14 d	Katzen (75-90%), Hunde (55%), Vögeln, Mäusen, Ratten	Über Biss- oder Kratzverletzungen durch infizierte Tiere, Schmierinfetkion, **aerogene Tröpfcheninfektion**, oral (sehr selten)	Biss: Phlegmone, Abszess, Nekrose, Periostitis, Osteomyelitis akut und subakut: Bronchitis, Pneumonie, oder Asthma, Konjunktivitis, Stomatitis, Enteritis, Peritonitis, intraabdomineller Abszeß, Harnwegsinfektion, Myositis
23	**Pneumozystose** *Pneumocystis carinii*	4-8 W	**Maus**, Ratte , Haus- und Zootiere	**Aerogen (kontaminierte Tröpfchen, Staub)**, diaplazentar	Pneumonie, selten: in Lymphknoten, Leber, Milz und Knochen
24	**Q-Fieber** *Coxiella burnetii*	2-4 W	Nager, Zecken, Schaf, Ziege, Rind, Wildtiere	**Aerogen mit kontaminiertem Staub** (monatelang infektiös), direkter Kontakt mit Ausscheidungen, Lochien infizierter Tiere (insbesondere Schaf)	Hohes Fieber, retrobulbärer Kopfschmerz, Gewichtsverlust, atypische Pneumonie, Endocarditis, Komplikation: granulomatöse Hepatitis
32	**Tollwut** *Rabiesvirus (Rhabdoviridae)*	d – 3 M	Fuchs, Hund, Katze, (Marder, Dachs), Fledermaus	Biss, über Hautverletzungen und Konjunktiven, auch **aerogen möglich**	Parästhesie im Bereich der Verletzung, Unruhe, Tremor, Krämpfe, Hypersalivation, Hydrophobie, Exzitation, Paralyse, Tod
35	**Tuberkulose** *Mycob: tuberculosis, M. bovis, M. africanum*	4-6 W	Rind, Ziege, Hund, Katze, Zootiere (insbesondere Affen)	**Aerogen (im Staub monatelang infektiös)**, Schmierinfektionen (Sputum, Milch, Urin, Fäzes infizierter Tiere), oral, über Wunden	Primärtuberkulose, Pleuritis exsudativa, hämatogene Streuung: Miliartuberkulose, Meningitis, Peritonitis, Knochen- Gelenk-, Haut- u. Genitaltuberkulose

„Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten“ Merkblatt zu Berufskrankheiten Nr. 3102 Anlage zur BKV, BMGS (2003) 10 BABl.

Emission und Immission von Schimmelpilzen



- **Emission von Mikroorganismen ist anlagen-, artspezifisch und hängt zusätzlich von Prozessbedingungen ab**
- **Reduktion der Mikroorganismen erfolgt (linear oder logarithmisch) mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle**

Emission und Immission von Bioaerosolen

JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE

BOARD-INVITED REVIEW: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures

R. S. Dungan

J ANIM SCI 2010, 88:3693-3706.

Dungan, R. S.: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. J. Anim. Sci. (2010) 3693 - 3706

„Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten“ Merkblatt zu den Berufskrankheiten Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003

Mikroorganismen in Bioaerosole aus der Nutztierhaltung

Operation	Organisms identified	Reference
Swine barns	Alternaria, Aspergillus, Monilia, Mucor, Penicillium, Rhizopus	Scarpino & Quinn 1998
Cattle, swine, and poultry barns	***Acinetobacter sp., Chryseomonas luteola, Citrob. freundii, E. coli, Enterob. agglomerans, Klebsiella sp., Oligella urethralis, Moraxella sp., Pseudomonas sp., Xanthom. maltophilia, Shewanella putrefaciens***	Zucker et al., 2000
Swine barns	Actinomycetes, Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Botrytis, Candida, Cephalo-sporium, Cladosporium, Curvularia, Diplococcus, Drechslera, Fusarium, Geotrichum, Monilia, Oidium, Paecilomyces, Penicillium, Sclerotium, Stemphyllium, Trichoderma, Ulocladium, Zygomyces	Chang et al., 2001b
Swine barns	Bacillus, Enterococcus, Lactobacillus, Listeria, Nocardia, Penicillium, Pseudomonas, Staphylococcus	Predicala et al., 2002
Cattle feedlot	***Bacillus sp., Chrysobacterium sp., Coryneb. spp., Helcococcus sp., Micrococcus sp., Paenibacillus sp., Alternaria sp., Bipolaris sp., Chryosporium sp., Cladosporium sp., Penicillium sp.***	Wilson et al., 2002
Cattle shed	Absidia, Alternaria, Aspergillus, Choanephora, Cladosporium, Corynespora, Curvularia, Drechslera, Ganoderma, Leptosphaeria, Memnoniella, Mucor, Nigrospora, Penicillium, Periconia, Rhizopus, Torula, Syncephalastrum	Adhikari et al., 2004
Swine concent. animal feeding	Coliforms, ***Staphylococcus aureus***	Green et al., 2006
Duck fattening unit	Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Vibrionaceae, Legionellaceae,	Zucker et al., 2006
Swine barns	***Aerococcus sp., Anaerococcus sp., Clost. sp., Lactob. sp., Streptococcus sp.***	Nehme et al., 2008
Poultry & Duck	Salmonella	Fallschissel et al., 2009
Swine barns	***Methanosphaera stadtmanae*, other Methanobacteriales a. Methanosarcinales**	Nehme et al., 2009

Dungan, R.S.: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. J. Anim. Sci. (2010) 3693 - 3706

Transmission von Bioaerosolen

Bacterium	Animal hosts	Transmission routes	Disease	Present in manure	Nonfecal sources
Bacillus anthracis	Cattle, goats, sheep, horses, pigs	Skin wounds, food, **inhalation**	Cutaneous, pulmonary, or gastrointestinal anthrax	**Yes**	**Soil**
Brucella spp.	Cattle	Direct contact, food, **inhalation**	Brucellosis	Yes (rare)	No
Campylobacter jejuni	Poultry and wild birds	Food, water, direct	Campylobacterioses	**Yes**	Maybe
Clostridium botulinum	Many	Food	Botulism	Maybe	**Soil, sediments**
Clostridium perfringens	Many	Food, wounds	Gastroenteritis, gas gangrene	**Yes**	**Soil, sediments**
Coxxiella burneti	Cattle, sheep, goats, others	**inhalation** (infected dust), direct contact	Q fever	**Yes**	Milk, urine, semen
Enterohemorrhagic Escherichia coli	Cattle, sheep, goats, pigs	Food, water	Hemorrhagic colitis, hemolytic uremic syndrome	**Yes**	No
Leptospira spp.	Cattle, many others	Direct contact, skin lesions	Leptospirosis	**Yes**	Urine, stagnant water
Listeria monocytogenes ***Mycobacterium bovis and tuberculosis***	Cattle, sheep, pigs Cattle, some others	Food, water, **inhalation** Inhalation, undercooked food, skin wounds	Listerosis Tuberculosis	**Yes** **Yes**	**Soil,** poorly ripened silage Sputum, milk, urine
Salmonella spp. (nontyphoidal)	Calves, pigs, poultry	Food, fomites, water	Salmonellosis, acute gastroenteritis, Guillain-Barré syndrome	**Yes**	No
Yersinia enterocolitica and pseudotuberculosis	Pigs, others	Food, direct contact, water	Yersiniosis	**Yes**	Maybe

[1] **Krauss et al. (2003) and Sobsey et al. (2006).**

Persistenz von Bioaerosolen

Organism	Variables tested	References
Pasteurella tularensis	Relative humidity, solar radiation, temperature	Beebe, 1959; Cox and Goldberg, 1972; Ehrlich and Miller, 1973
Adenovirus 2, Coxsackie B1, Influenza A, Sindbis, Vaccinia	UV radiation	Jensen, 1964
Escherichia coli	Temperature, relative humidity, oxygen	Poon, 1966; Cox and Baldwin,
Pasteurella pestis, Serratia marcesc		
Columbia SK viruses		
Newcastle virus, bovine rhinotrache vesicular stomatitis virus, *E. coli B* T bacteriophage	Relative humidity	Songer, 1967
Serratia marcescens, Sarcina lutea, E coli, spores of Bacillus subtilis var.		
Flavobacterium		
Serratia marcescens		
Simian virus 40		
Various strains of *E. coli* and Semli virus		
Reovirus		
Enterobacter cloacae, Erwinia herbi Klebsiella planticola, Pseudomonas		
Pseudomonas syringae, Erwinia her		
Chlamydia pneumoniae		
Mycobacterium bovis		

Erreger	Rel. Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Verlust Vermehrungsfähigkeit nach 250 sec [%]
Escherichia coli (O78)	15 - 40	22	14
Mycoplasma gallisepticum	40 - 50	25	< 3
Salmonella enteritidis	75	24	< 20
Salmonella newbrunswick	30 70	10 21	38 11
Salmonella typhimurium	75	24	< 20
Staphylococcus aureus	50	22	< 1
Influenza A Viren	50 70	21	> 70 > 66
Newcastle disease Virus	10, 35 und 90	23	n.n. 20

J. Hartung: Beurteilung von Bioaerosol-Emissionen und –Immissionen aus der Tierhaltung

Dungan, R.S.: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. J. Anim. Sci. (2010) 3693 - 3706

Emission und Immission von Mikroorganismen und Endotoxine

Operation	Microbe or agent	Sample location	Concentration[1] [cfu·m^{-3}]	Reference
Landspreading of cattle and swine waste	Total culturable bacteria	Upwind 20 to 200 m downwind	10^1 **10^1 to 10^3**	Boutin et al., 1988
Swine barn	Total culturable bacteria	Upwind / Inside barn 150 m downwind	10^1 / 10^3 **10^2**	Green et al., 2006
Cattle, swine, and poultry houses	Gram-negative bacteria	Inside houses	10^0 to 10^2	Zucker et al., 2000
Dairy shed Broiler shed	Total cultural fungi *Escherichia coli* / *Salmonella*	Inside shed Inside and outside	10^2 to 10^3 10^2 to 10^4 / **0.7 to 2.3$_{(MPN)}$**	Adhikari et al., 2004 Chinivasagam et al., 2009
Various animal operations	Inhalable endotoxin	Personal samplers	2 to 8,120 EU·m^{-3}	Spaan et al., 2006
Dairy	Total culturable fungi	Upwind / Inside barn 5 to 50 m downwind	10^3 / 10^3 to 10^5 **10^2 to 10^4**	Matković et al., 2009
Open-lot dairy	Total endotoxin	Upwind 5 / 200 m downwind	1 to 88 EU·m^{-3} **3 to 849 / 2 to 261 EU·m^{-3}**	Dungan et al., 2010a
Open-lot dairy	Total culturable bacteria	Upwind 5 / 200 m downwind	10^3 to 10^4 **10^4 to 10^7 / 10^3 to 10^5**	Dungan et al., 2010b

[1]EU = endotoxin units; MPN = most probable number

Dungan, R.S.: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. J. Anim. Sci. (2010) 3693 - 3706

	Upwind		Inside		Downwind
cfu/m^3	10^1	→	10^3 - 10^6	→	10^2 - 10^5
EU/m^3	1 – 88		3 – 64,347		2 - 261

Emission Minderung (Mikroorganismen und Endotoxine)

Mikroorganismen im Roh- und Reingas sowie Eliminierungsleistung der Abluft Reinigungsanlage, Schweinemastbetrieb (März – August 2010)

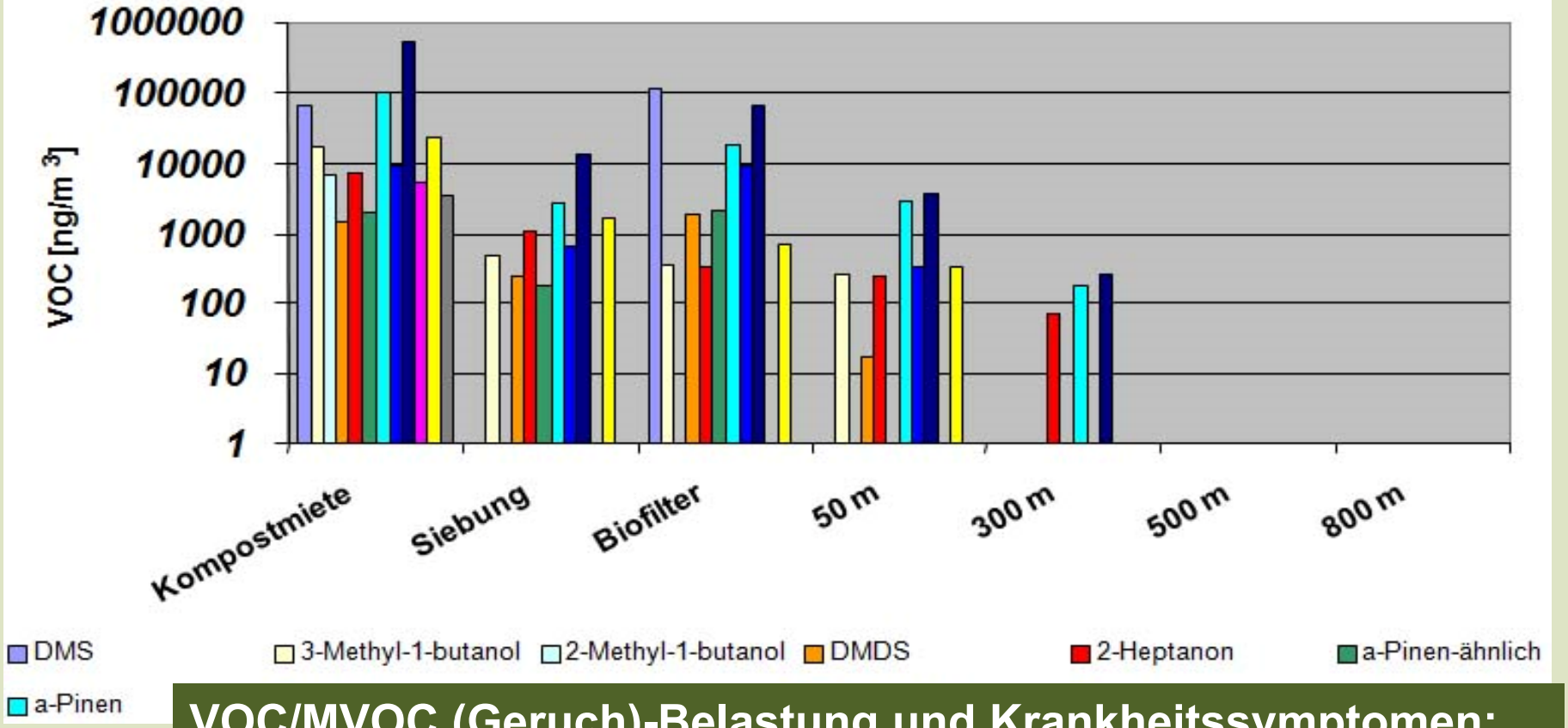
Bioaerosol	Rohgas	Reingas	% Elimination*
	KBE / m^3		
Gesamtkeimzahl	$8{,}0 \times 10^4$	$8{,}5 \times 10^3$	**87,89**
Streptokokken	$2{,}2 \times 10^4$	$1{,}1 \times 10^3$	**93,51**
Staphylokokken	$1{,}7 \times 10^4$	$2{,}4 \times 10^3$	**80,88**
MRSA	$3{,}9 \times 10^2$	$4{,}0 \times 10^1$	**89,52**
Actinomyceten 25°C	$3{,}0 \times 10^3$	$1{,}4 \times 10^3$	**56,78***
Schimmelpilze	$4{,}1 \times 10^2$	$2{,}1 \times 10^2$	**38,14***
Pseudomonaden	$7{,}2 \times 10^1$	$6{,}8 \times 10^1$	**43,69***
Endotoxine [EU]	11,6 EU	5,8 EU	**45,56**

Emission von Mikroorganismen ist anlagen- und artspezifisch, KBE = 10^2 - 10^4/m^3, Reduktion um eine Zehnerpotenz

* signifikant höhere Zahlenwerte im Reingas wurden nicht berücksichtigt

Hartung, J., J. Stratmann-Selke und M. Clauß: "Efficiency of a bioscrubber/biofilter combination to reduce air pollutants from exhaust air of a piggery – techniques, efficiency, costs." CIGR 2011 vom 25. November 2011

Emission und Immission von VOC/MVOC (Gerüche)



VOC/MVOC (Geruch)-Belastung und Krankheitssymptomen:

- → Irritationen von Augen, Nase und Rachen
- → Kopfschmerzen
- → psychosomatische Störungen (Stimmungslage, Stress)

G. Fischer et al.: "Dispersal and diversity of pathogenic and non-pathogenic microfungi in the surrounding of waste-handling facilities" VAAM Tagung (2003) Braunschweig

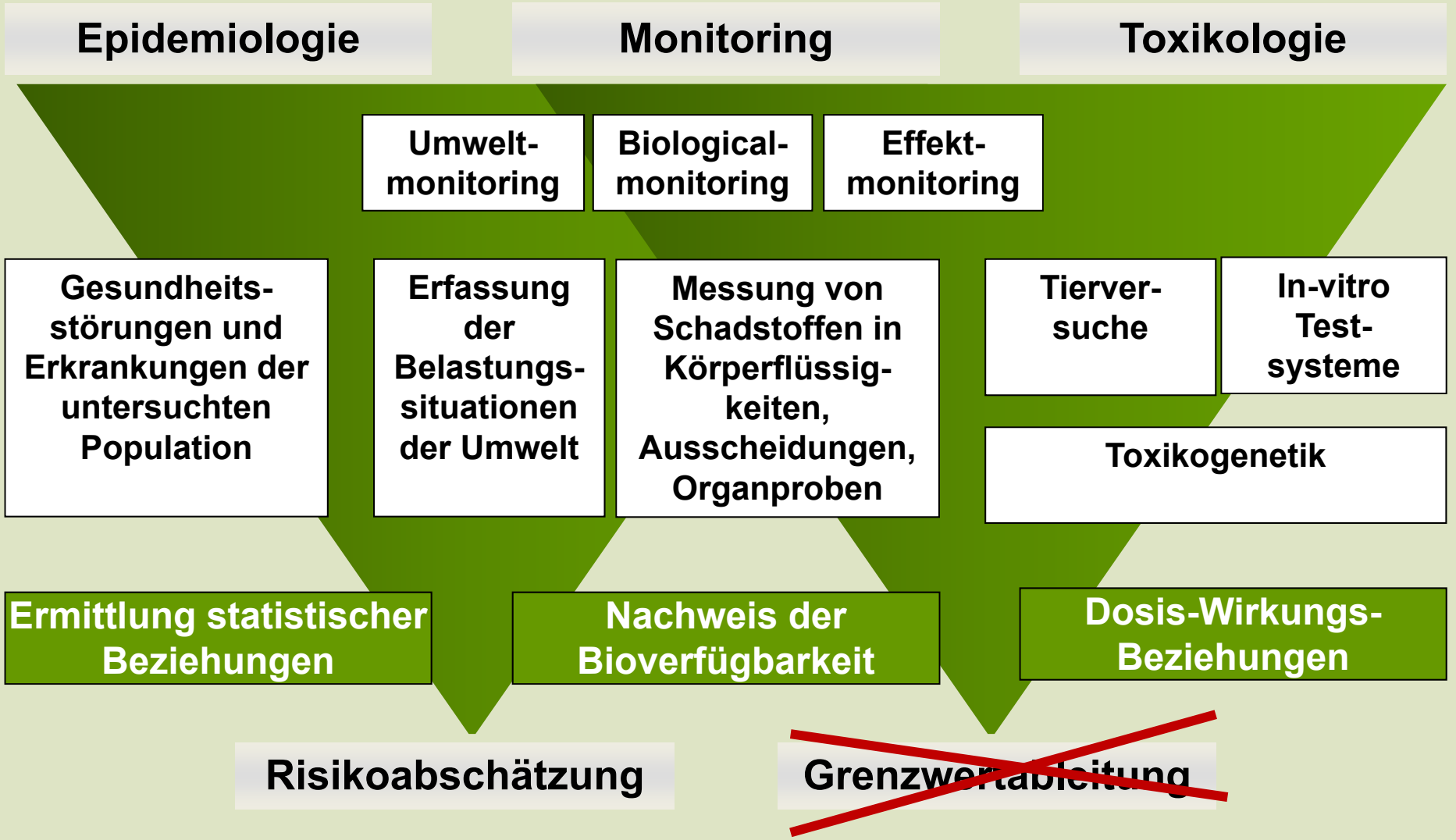
Umweltmedizinische Risikobewertung (Risikogruppen)

→ 500 m im Lee von Tierställen können noch erhöhte KBE/m³ von Bakterien und Staphylokokken nachgewiesen werden.

→ Enterobakterien, Enterokokken und *Staphylococcus aureus* werden im Lee von Tierställen nicht bzw. nur im Nahbereich des Stalles mit geringer Konzentration nachgewiesen.

→ Schimmelpilze werden im Luv und Lee auf vergleichbarem Niveau nachgewiesen. Die Tierställe haben auf die Schimmelpilzkonzentration im Umfeld keinen Einfluss.

Medizinische Wirkungsanalyse (Risikoabschätzung u. Grenzwertableitung)



Bioaerosole und ihre Wirkung

Biostoffverordnung - BioStoffV:
Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen vom 27. Januar 1999 (BGBl. I 1999, S. 50 ff.)

§ 2 Begriffsbestimmungen

(1) Biologische Arbeitsstoffe sind Mikroorganismen [...], Zellkulturen und humanpathogene Endoparasiten, die beim Menschen Infektionen, sensibilisierende oder toxische Wirkungen hervorrufen können

§ 5 Informationen für die Gefährdungsbeurteilung

(1) Für die Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber ausreichende Informationen zu beschaffen. Insbesondere sind folgende Informationen zu berücksichtigen:

1. die ihm zugänglichen tätigkeitsbezogenen Informationen über die Identität, die Einstufung und das Infektionspotenzial der vorkommenden biologischen Arbeitsstoffe sowie die von ihnen ausgehenden sensibilisierenden und toxischen Wirkungen,

infektiös

allergen

toxinogen

Umweltmedizinische Risikobewertung: Infektionsgefährdung

Risikogruppe	Krankheit	Verbreitung in der Bevölkerung	Vorbeugung oder Behandlung
Risikogruppe 1	unwahrscheinlich	ohne Bedeutung	nicht erforderlich
Risikogruppe 2	Krankheitsgefahr für Beschäftigte	unwahrscheinlich	normalerweise möglich
Risikogruppe 3/3**	schwere Krankheit ernste Gefahr für Beschäftigte	Gefahr kann bestehen	normalerweise möglich
Risikogruppe 4	schwere Krankheit ernste Gefahr für Beschäftigte	Gefahr ist groß	normalerweise nicht möglich

Prädisposition Immunsuppression

Empfehlung

Bundesgesundheitsbl 2010 · 53:357–388
DOI 10.1007/s00103-010-1028-9
Online publiziert: 20. März 2010
© Springer-Verlag 2010

Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention
beim Robert Koch-Institut (RKI)

Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten

Empfehlung der Kommission für Kranken-haushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut (RKI)

Umweltmedizinische Risikobewertung (Risikogruppen)

Risikogruppe 1 (mittelschwere Immunsuppression/-defizienz)
- Granulozytopenie <0,5×10^9/l (<500/µl) bis zu 10 Tage (analog Leukopenie <1×10^9/l; <1000/µl)
- Mangel an CD4-positiven T-Helfer-Zellen <250/µl (cave: altersentsprechende Normwerte bei Kindern); autologe Stammzelltransplantation bis drei Monate nach intensiver Therapiephase

Patienten, die mehr als 1 Merkmal der unter Risikogruppe 1 aufgeführten Immunsuppression/-defizienz aufweisen, kommen in Risikogruppe 2.

Risikogruppe 2 (schwere Immunsuppression/-defizienz)
- Granulozytopenie <0,5×10^9/l (<500/µl) über mehr als 10 Tage (analog Leukopenie <1×10^9/l; <1000/µl)
- Schwere aplastische Anämie oder Makrophagen-Aktivierungssyndrom während einer intensiven immunsuppressiven Therapie
- Allogene Knochenmark- oder/Stammzelltransplantation bis 6 Monate nach Abschluss der intensiven Therapiephase (wichtig: Ausmaß der GVHD und der anhaltenden iatrogenen Immunsuppression)
- Akute stationäre Behandlungsphase bei autologer Stammzelltransplantation oder nach Transplantation solider Organe (bis zur Entlassung)

Risikogruppe 3 (sehr schwere Immunsuppression/-defizienz)
- Allogene KMT/PBSCT in intensiver Therapiephase (bis zum Engraftment = Regeneration der Granulopoese)
- Schwere GVHD Grad III oder IV unter intensiver Immunsuppression

Die Entscheidung über die Zuordnung zu Gruppe 3 bei Patienten nach allogener Stammzelltransplantation wird letztlich in Zusammenschau aller Befunde von den behandelnden Onkologen getroffen.

Infektionsrisiko

Prädisposition / Mikroorganismen	Keine Immunsuppression	Leichte Immunsuppression	Schwere Immunsuppression
Bioaerosol-Exposition ab 50 Meter			
Bioaerosol-Exposition bis 50 Meter			

Alter > 64 Jahre, Diabetes mellitus, chronische Herz-, Lungen-, Leber-, Nierenerkrankung, Alkoholabusus, HIV-Infektion (abhängig von CD4-Zellzahl, CDC-Stadium, opportunistischen Infektionen)

Organtransplantation, fortgeschrittenes Tumorleiden, Chemotherapie, Strahlentherapie, Konnektivitis, Steroidtherapie (> 20 mg/Tag und länger als 14 Tage), andere Immunsuppressiva, Zystische Fibrose (Mukoviszidose), HIV-Infektion (abhängig von CD4-Zellzahl, CDC-Stadium, opportunistischen Infektionen)

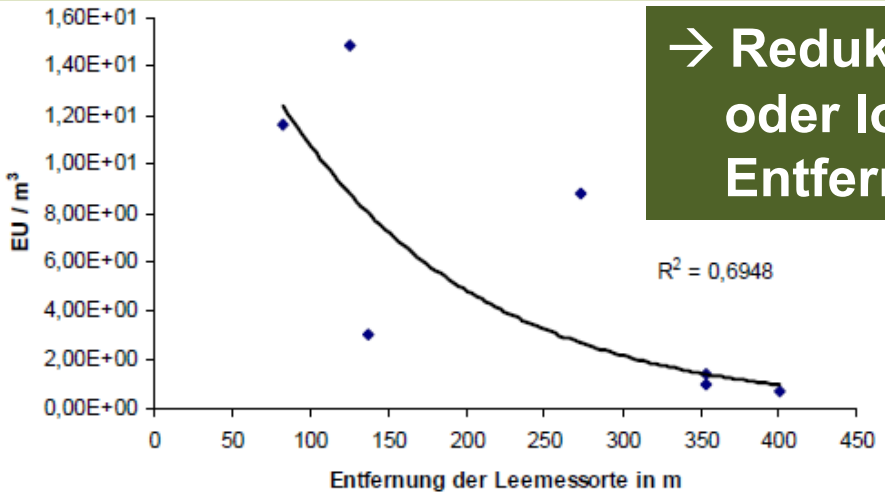
G.A. Wiesmüller et al.: "Kriterien für die Beurteilung von gesundheitlichen Beschwerden bei einem nachgewiesenen Schimmelpilzbefall / Mykotoxinnachweis" GHUP (2010) Aachen

Emission und Immission von (Myko-)Toxinen

Toxikologisch relevante Verbindungen	Konzentrationen in der Außenluft	ETOX-(NO)EL Richtwerte	Symptome	Reference
VOC/MVOC [mg/m³]	0,1 - 10	0,2 0,3	Atemwegs-Entzündungen	Mølhave, 1991 Seifert, 1990
Mykotoxine [ng/m³]	1 – 100 (-> 10^6 KBE)	10 (-> 10^6 KBE)	Pulmonale Effekte	Fischer et al. 2003
Endotoxine [EU/m³]	Upwind:	$9x10^1$ - $1,8x10^3$	Pulmonale Effekte	Allgemein (Hartung 2011)
	10^0 - $9x10^1$	$2x10^3$	Tox. Pneumonitis	Rylander 2002
	Downwind:	$2x10^3$	FEV1 vermindert	Donham et al. 89
	$2x10^0$ - $2,3x10^2$	$1,5x10^2$	Chronische Pulm. Effekte	Smid 1992/93
		$1,5x10^2$	Atemwegs-Entzündungen	Rylander 2002
		$9x10^1$	FEV1 vermindert	Castellan et al. 1987

Aflatoxin B_1-Äquivalenten [pg/10^6 Konidien]

→ **Toxinemission ist anlagen- und artspezifisch für Mykotoxinen nur relvant bei KBE ≥ 10^6**

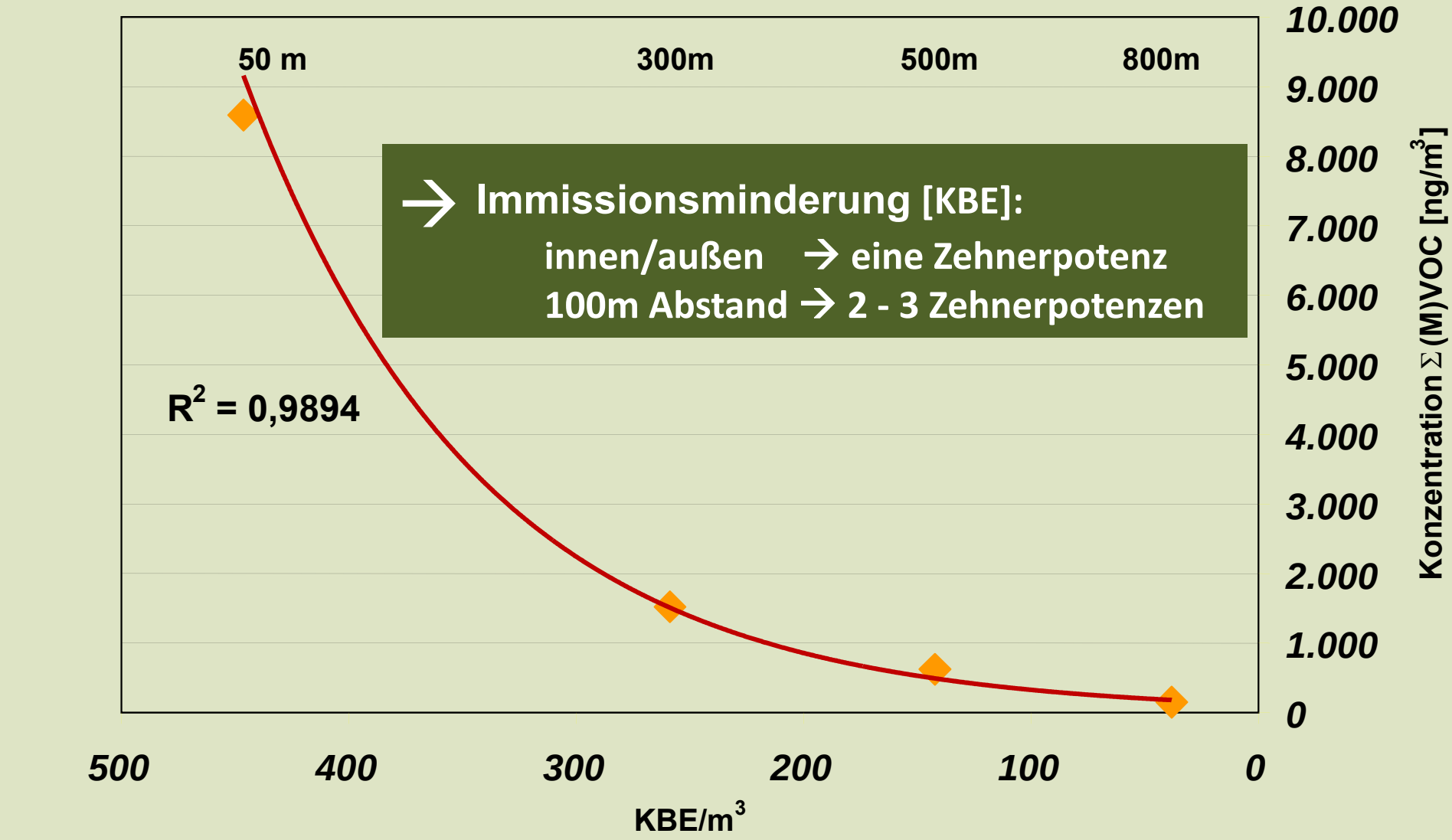


→ **Reduktion der Endotoxine erfolgt (linear oder logarithmisch) mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle**

Endotoxinkonzentrationen mit zunehmender Entfernung vom Stall in Hauptwindrichtung

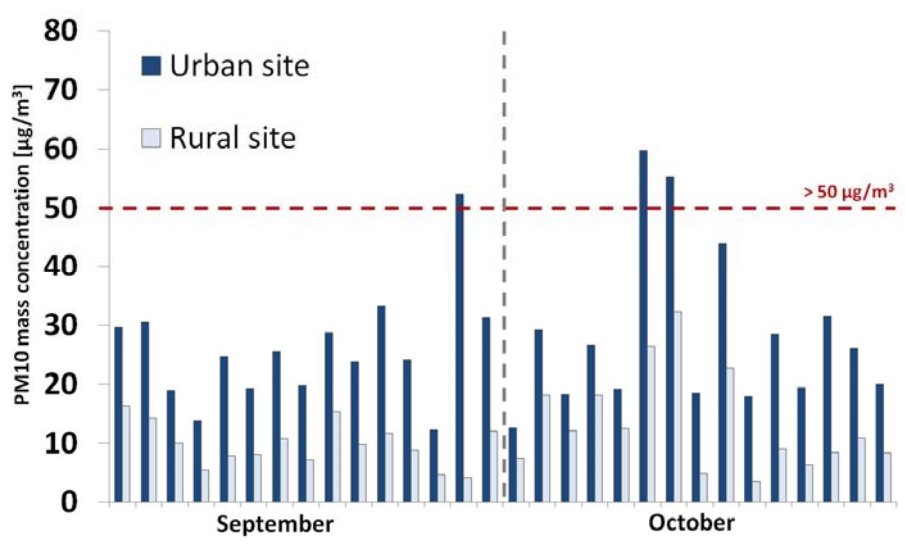
J. Hartung (2011)

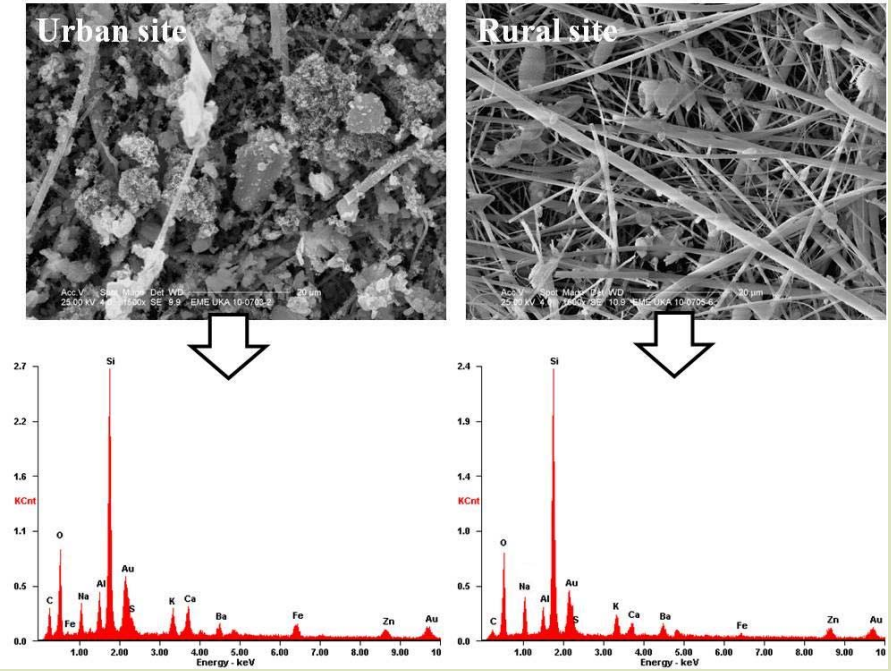
Korrelation der Ausbreitung von VOC/MVOC und Mikroorganismen



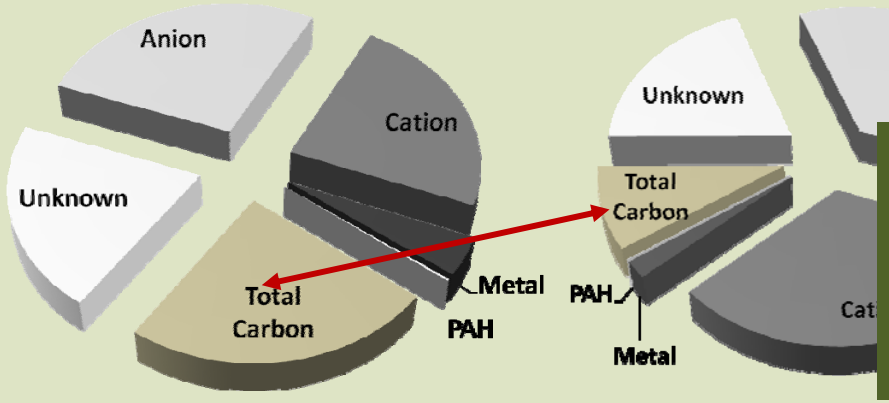
G. Fischer et al.: "Dispersal and diversity of pathogenic and non-pathogenic microfungi in the surrounding of waste-handling facilities" VAAM Tagung (2003) Braunschweig

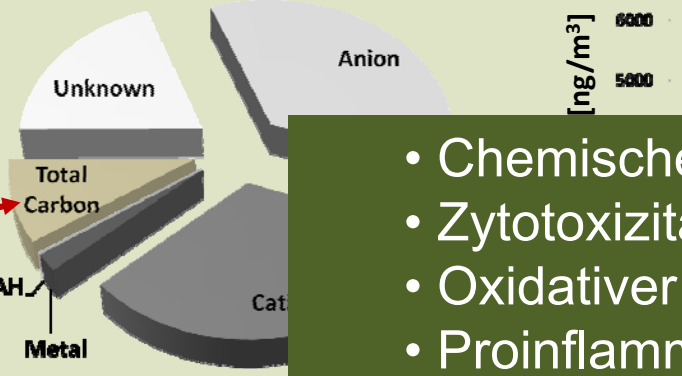
Feistaubbelastung in städtischen und ländlichen Gebieten





Urban site **Rural site**

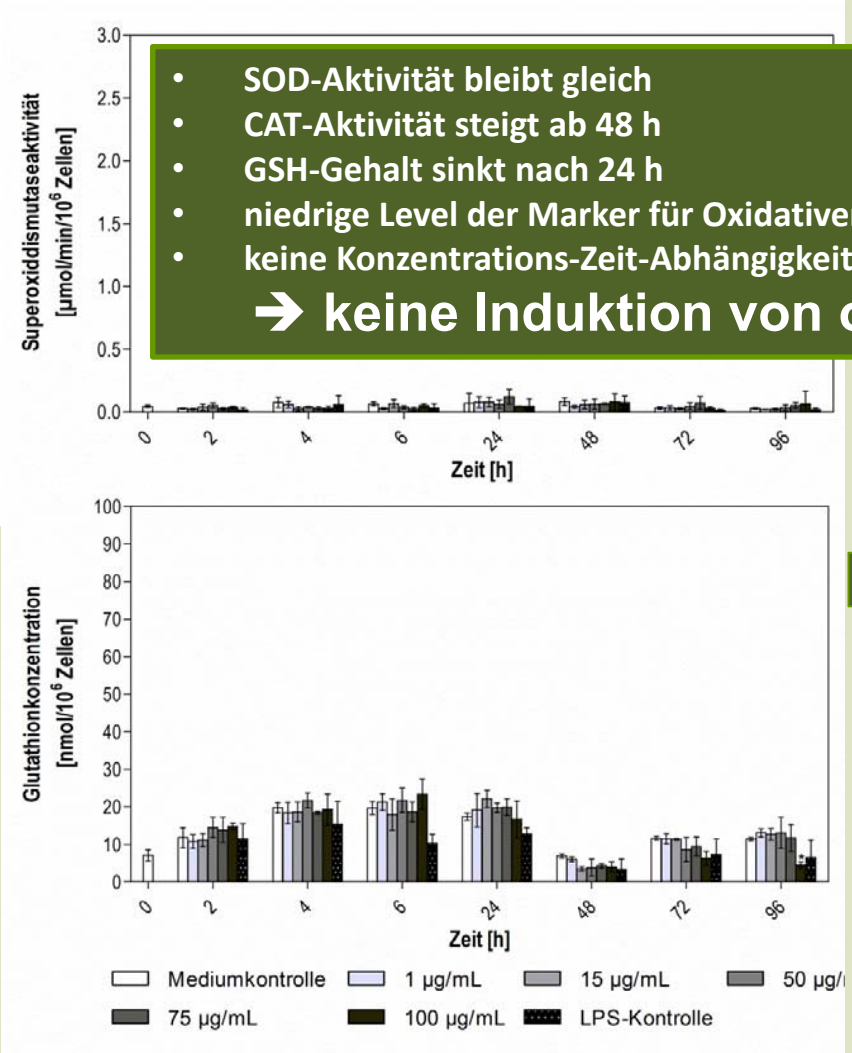




- Chemische Analytik
- Zytotoxizität
- Oxidativer Stress
- Proinflammatorische Effekte

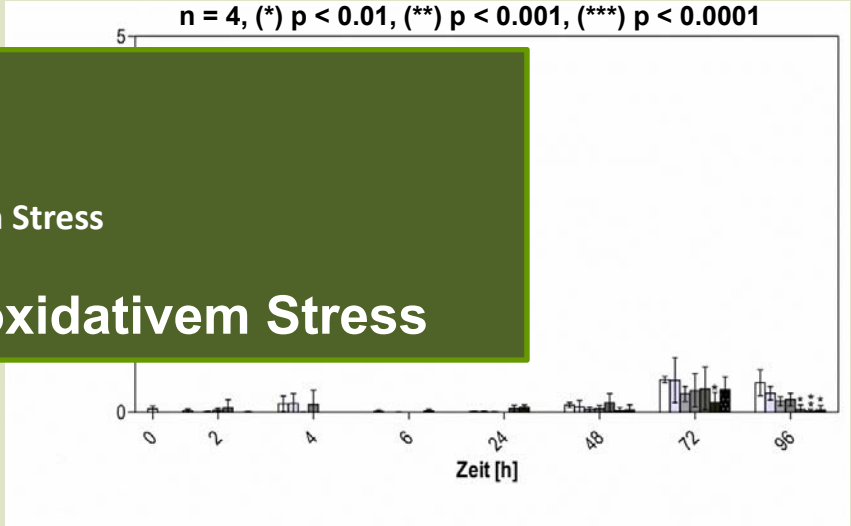
S. Michael and W. Dott: "Toxicity and chemical composition of ambient particulate matter"
6th Int. Conf. Environm. Sci. Technol. (2012) Houston

Feinstäube aus Legehennen-Betrieben: Oxidativer Stress

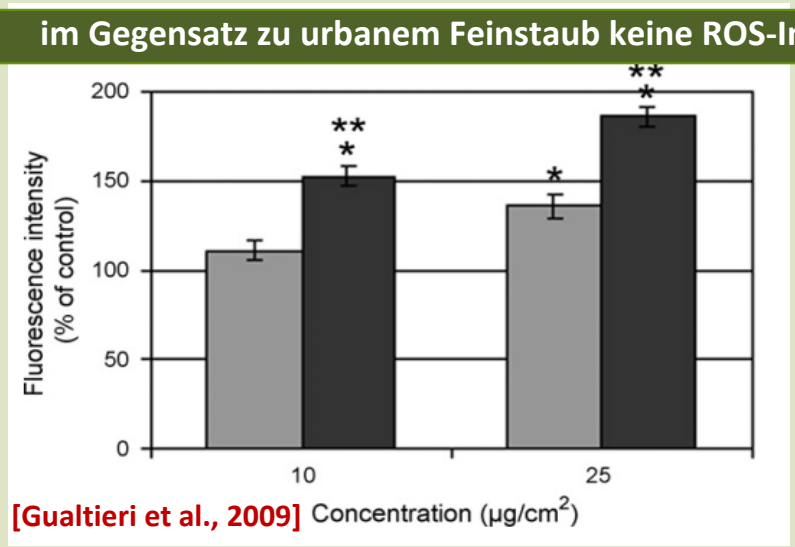


- SOD-Aktivität bleibt gleich
- CAT-Aktivität steigt ab 48 h
- GSH-Gehalt sinkt nach 24 h
- niedrige Level der Marker für Oxidativen Stress
- keine Konzentrations-Zeit-Abhängigkeit

➔ **keine Induktion von oxidativem Stress**



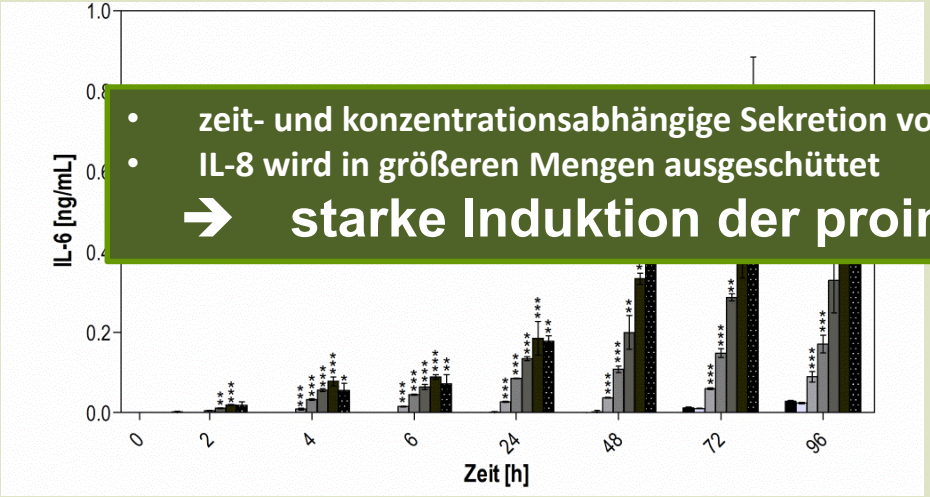
➔ **im Gegensatz zu urbanem Feinstaub keine ROS-Induktion**



[Gualtieri et al., 2009]

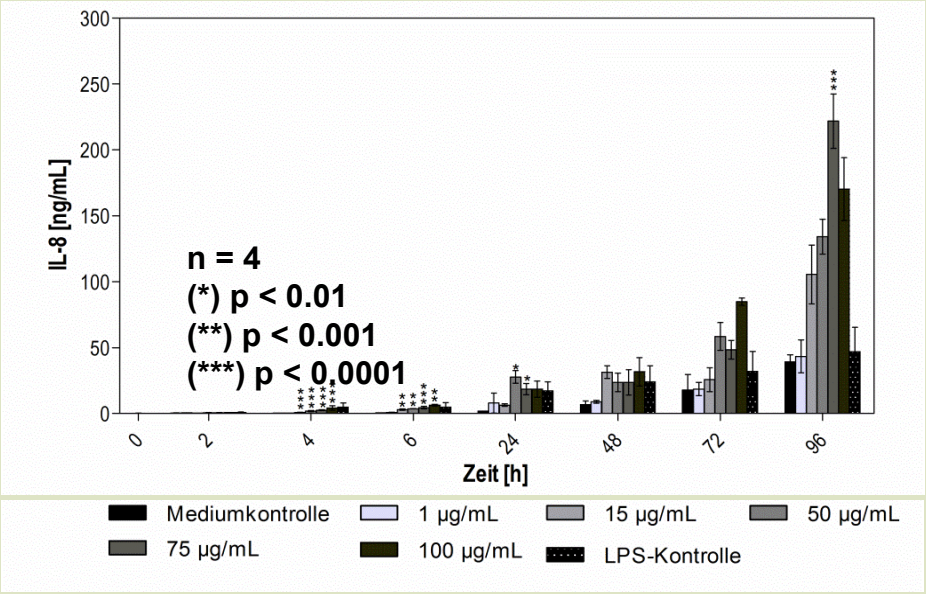
air Umwelt GmbH
Aachener Institut für Risikoanalyse und -bewertung

Feinstäube aus Legehennen-Betrieben: Proinflammatorische Effekte



- zeit- und konzentrationsabhängige Sekretion von IL-6
- IL-8 wird in größeren Mengen ausgeschüttet

➔ **starke Induktion der proinflammatorischen Marker IL-6 / IL-8**



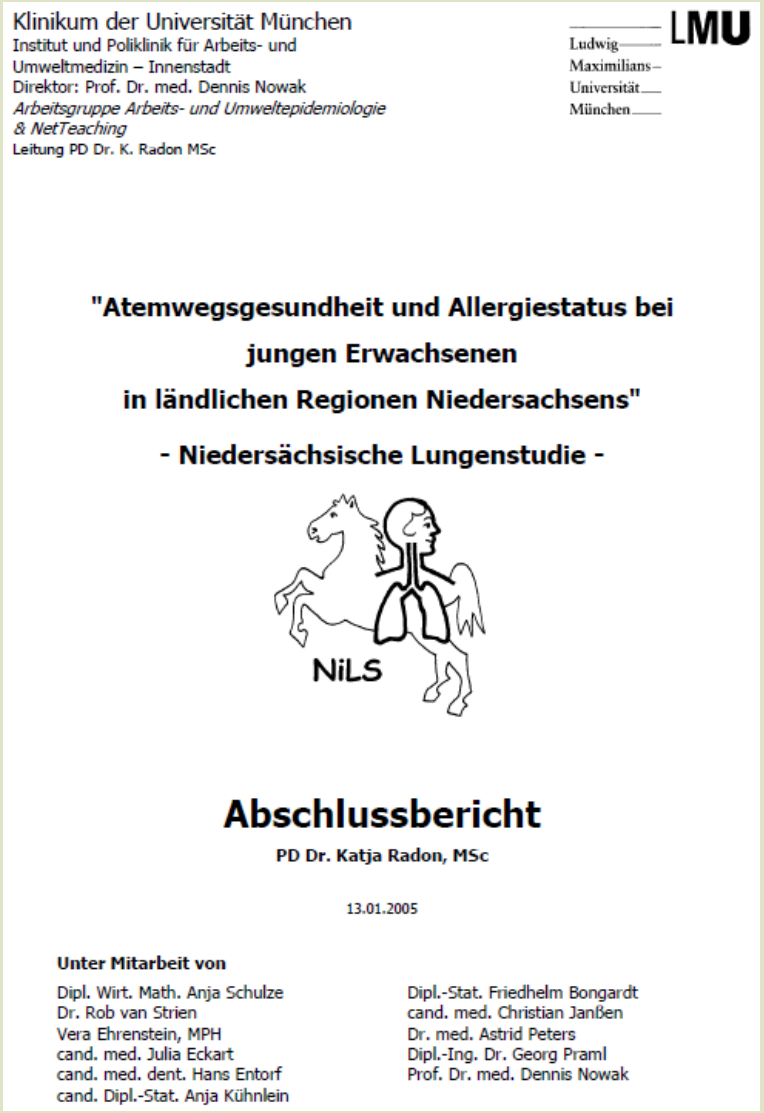
➔ proinflammatorischen Effekte etwas höher als in ländlichen Gegenden (IL-6), IL-8 Sekretion erheblich höher [Michael et al. 2013]

➔ Effekte bei Bioaerosol aus Milchwirtschaft auf IL-8 Expression niedriger als aus urbanen Gegenden [Vogel et al. 2012]

➔ Einfluss von Endotoxin fraglich, Dhakal, 2002 (Rinder); Cavaillon et al., 1986 (*E.coli*/Neisserien), Allermann & Poulsen, 2000 (Bakterien/Pilze)]

air Umwelt GmbH
Aachener Institut für Risikoanalyse und -bewertung

Sensibilisierungs- / Allergierisiko



Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin – Innenstadt
Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak
Arbeitsgruppe Arbeits- und Umweltepidemiologie & NetTeaching
Leitung PD Dr. K. Radon MSc

Ludwig Maximilians Universität München — LMU

"Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens"

- Niedersächsische Lungenstudie -

NiLS

Abschlussbericht

PD Dr. Katja Radon, MSc

13.01.2005

Unter Mitarbeit von

Dipl. Wirt. Math. Anja Schulze
Dr. Rob van Strien
Vera Ehrenstein, MPH
cand. med. Julia Eckart
cand. med. dent. Hans Entorf
cand. Dipl.-Stat. Anja Kühnlein
Dipl.-Stat. Friedhelm Bongardt
cand. med. Christian Janßen
Dr. med. Astrid Peters
Dipl.-Ing. Dr. Georg Praml
Prof. Dr. med. Dennis Nowak

- **Nur Stallanlagen**
- **Nachteilige Effekte nur bei Personen mit sehr hoher Dichte an Betrieben der Veredelungswirtschaft (= Nutztierhaltung)**
- **Erhöhte Geruchsbelästigung assoziiert mit geringerer gesundheitsbezogener Lebens-qualität**
- **Nachbarschaftsexposition gegenüber sehr hoher Anzahl von Betrieben der Nutztierhaltung möglicherweise mit Verminderung von Lungenfunktions-parametern und Auftreten von nicht erkältungsbedingten giemenden Atemgeräuschen assoziiert**

↳ **Erstmaliger Befund, der überprüft werden muss**

Sensibilisierungs- / Allergierisiko

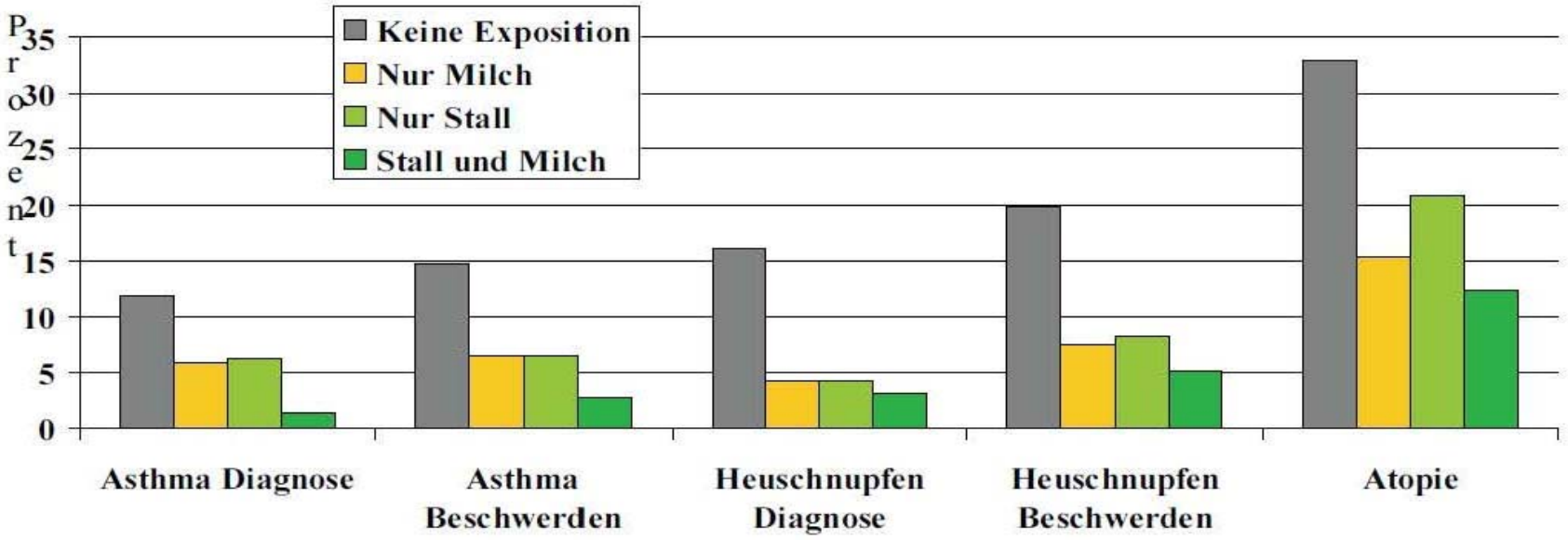


ABB 1: Prävalenzen (in Prozent) in Abhängigkeit von Stallexposition und Bauernmilchkonsum im 1. Lebensjahr (Braun-Fahrländer, Ch., et al, NEJM 347 (2002) 869-877)

- **In der Bevölkerung (Nachbarschaft) lassen sich nur für den prädisponierten Personenkreis (Atopiker) schwache Zusammenhänge zwischen Bioaerosol-exposition und Krankheitssymptomen nachweisen.**

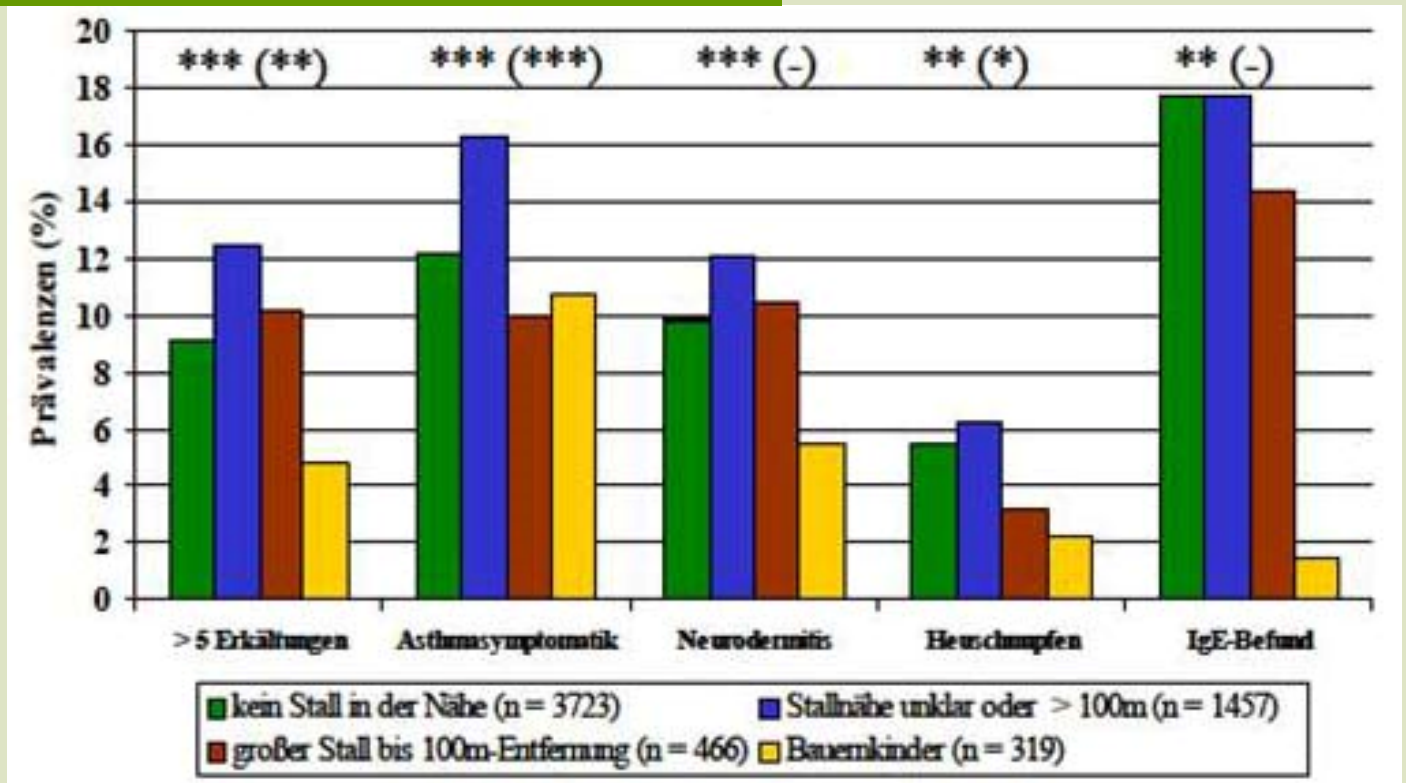
Nowak, D.:"Atemweserkrankungen in der Landwirtschaft" in: Nutztierhaltung und Gesundheit, F.T. Gottwald, D. Nowak (2002) ISBN 978-3-89958-334-2

Sensibilisierungs- / Allergierisiko

AABEL
Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region.
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover 2004

- Geringe gesundheitliche Effekte in Zusammenhang mit Exposition zu Bioaerosolen aus Tierställen
- Tendenz: bei familiär prädisponierten Kindern gehäuftes Auftreten von asthmatischen Symptomen mit zunehmender Exposition
- Effekte nicht eindeutig einem Bioaerosol zuzuordnen
- Geringere Wahrscheinlichkeit der Sensibilisierung gegenüber Inhalationsallergenen bei zunehmender Exposition zu Bioaerosolen aus Ställen

Sensibilisierungs- / Allergierisiko



Bioaerosole aus der Nutztierhaltung und Krankheitssymptomen:

- → schwache Zusammenhänge zwischen Exposition und Symptomen
- → keine erhöhtes Erkrankungsrisiko bei normal empfindlichen Kindern
- → erhöhte Prävalenzen bei Kindern von atopischen Eltern
- → geringere Sensibilisierung bei stärkerer Exposition

AABEL: "Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region" (2004) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover

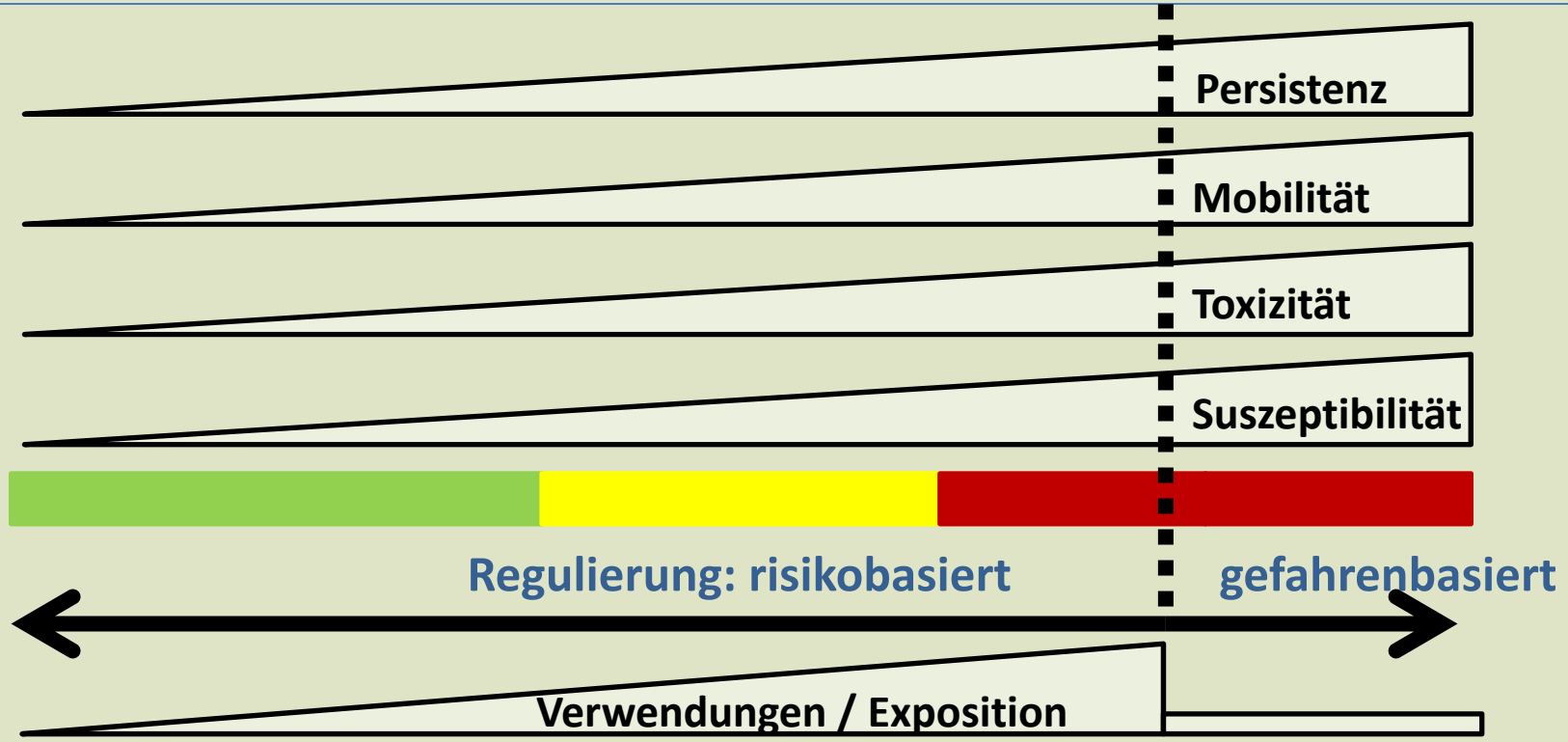
Sensibilisierungs- / Allergierisiko

Bioaerosole \ Prädisposition	Keine Allergie		Allergie aber ohne Allergie gegen Bioaerosol-bestandteile *	Allergie gegen Bioaerosol-bestandteile *
	ohne familiäre Prä-disposition	mit familiärer Prä-disposition		
Bioaerosol-Exposition ab 50 Meter				
Bioaerosol-Exposition bis 50 Meter				

* Nachweis der klinischen Relevanz einer im Allergietest festgestellten Sensibilisierung erforderlich

G.A. Wiesmüller et al.: "Kriterien für die Beurteilung von gesundheitlichen Beschwerden bei einem nachgewiesenen Schimmelpilzbefall / Mykotoxinnachweis" GHUP (2010) Aachen

Gefahren- oder Risikobasierte Bewertung der gesundheitliche Beeinträchtigung



Gefahrenbasierte Bewertung und Grenzwertableitung

→ immer dann, wenn

- Gefährdungspotential **zu hoch**
- Hohe Unsicherheit bezüglich **langfristiger** Anreicherung (Persistenz)
- Hohe Unsicherheit bezüglich **langfristiger** Wirkung
- **Klassische Risikobewertung** nicht ausreichend
- **Vorsorgeprinzip:** eingetretene Schäden nicht reparabel

Zusammenfassung

- Arbeitsmedizinische Untersuchungen belegen, dass die in Intensivtierstallungen auftretenden Bioaerosole zu Atemwegs- und allergischen Erkrankungen führen können.
- Die gesundheitliche Auswirkungen auf die Bevölkerung der Nachbarschaft von Intensivtierstallungen wurde epidemiologisch (AABEL, NiLs) untersucht.
- Die Bewertung von Bioaerosole erfolgt über die Bestimmung der primären und sekundären Emission (Vergleiche zwischen Lee und Luv bzw. die ortsüblichen Hintergrundbelastung) sowie einer umweltmedizinische Bewertung.
- Die Immissionsbelastung durch Bioaerosole nimmt mit zunehmenden Abstand von der Emissionsquelle exponentiell ab.
- Nach eindeutiger Identifizierung der emittierten Mikroorganismen kann ein **Infektionsrisikos** praktisch ausgeschlossen werden.
- Ein Risiko für **toxischer Reaktionen** durch Bioaerosol-Inhaltstoffe besteht außerhalb von Stallanlagen nicht.
- Ein **Sensibilisierungs- / Allergierisiko** lässt sich nur für suszeptible oder prädisponierte Personen im unmittelbaren Umfeld von Emittenten ableiten.
- Eine über die Hintergrundwerte hinausgehende Bioaerosol-Konzentration ist präventiv- und umweltmedizinisch unerwünscht, ohne dass dadurch ein konkretes quantitatives Gesundheitsrisiko abgeleitet werden kann.

Einleitung: Bioaerosole, Nutztierhaltung und Risik im Web

AABEL: “Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region“ (2004) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover

Fachgespräch Bioaerosole: „Bioaerosole aus Geflügelställen – Gesungheitliche Beeinträchtigung der Nachbarschaf?“ (20. Juni 2011) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt

BMGS: „Von Tieren auf den Menschen übertragbare Krankheiten“ Merkblatt zu den Berufskrankheiten Nr. 3102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BMGS (2003) 414-45222-3102, BABl. 10/2003

Douwes, J. et al.: Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. Ann. Occup. Hyg. 47 (2003) 187-200

Dungan, R.S.: BOARD-INVITED REVIEW: „Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures.“ J. Anim. Sci. 88 (2010)3693-3706

Green, C.F.: The potential for community exposures to pathogens from an urban dairy. In: Journal of environmental health, Jg. 74 (2012) Nr. 7, S.22-28 ISSN 0022-0892 (P), 0022-0892 (E)

Hartung, J., J. Stratmann-Selke und M. Clauß: Efficiency of a bioscrubber/biofilter combination to reduce air pollutants from exhaust air of a piggery – techniques, efficiency, cots, CIGR 2011 vom 25. November 2011

Lippmann, J., H. Mietke-Hofmann, J. Deichmann und T. Heidenreich: Bestimmung und Beurteilung wichtiger Bestandteile des Bioaerosols in der Stall- und Abluft sowie im Stallumfeld (Luv/Lee) zur Bereitstellung von Kenndaten und Bewertung des Emissions- und Immissionsverhaltens mikrobieller Luftbestandteile aus Tierställen (Geflügel). In: Schriftenreihe - Bioaerosole aus Anlagen der Geflügelhaltung, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen, Heft 13 (2016) 1 - 104

Nowak, D.:“Atemweserkrankungen in der Landwirtschaft“ in: Nutztierhaltung und Gesundheit, F.T. Gottwald, D. Nowak (2002) ISBN 978-3-89958-334-2

Radon, K.: “Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens“ – Niedersächsische Lungenstudie, NiLS (2005), Inst. f. Arbeits- und Umweltmedizin,, Prof. Dr. D. Nowak, LMU München

Samadi, S.: Occupational bio-aerosol exposure in veterinary medicine: a comprehensive assessment of exposure and exploration of bio-aerosol related health effects authors. Dissertation Utrecht University, Institute for Risk Assessment (Heederik, D.J.J.; Wouters, I.M.) 2011

Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel mit potentieller Hygienerelevanz in biologischen Abluftreinigungsanlagen der Tierproduktion (2016). in: Seedorf, J.: Systemimmanente Biopartikel in biologischen Abluftreinigungsanlagen 2012, 1 – 283, A 1 – 29, F 1 -10, T 2 Seiten, G 1 – 14.