

Aktuelles zu Staub- und Bioaerosolemissionen aus der Nutztierhaltung

Marcus Clauß

Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig



KTBL-Tagung Emissionen der Tierhaltung 2023
– erheben, beurteilen, mindern

10. und 11. Oktober 2023 in Bonn

Aktuelles zu Staub- und Bioaerosolemissionen aus der Nutztierhaltung

1. **Staub und Bioaerosole, Bezug zur TA-Luft**
2. **Partikelgrößenverteilungen**
3. **Umwelthygienische Relevanz**
4. **Tageszeitliche Schwankungen der Emissionen**
5. **Überlebensrate luftgetragener Mikroorganismen**
6. **Minderungsmöglichkeiten**
7. **Zusammenfassung und Ausblick**



Fast 25 % der Feinstaubemissionen in Deutschland sind aus der Landwirtschaft

Staubkonzentrationen

Ein Atemzug Außenluft

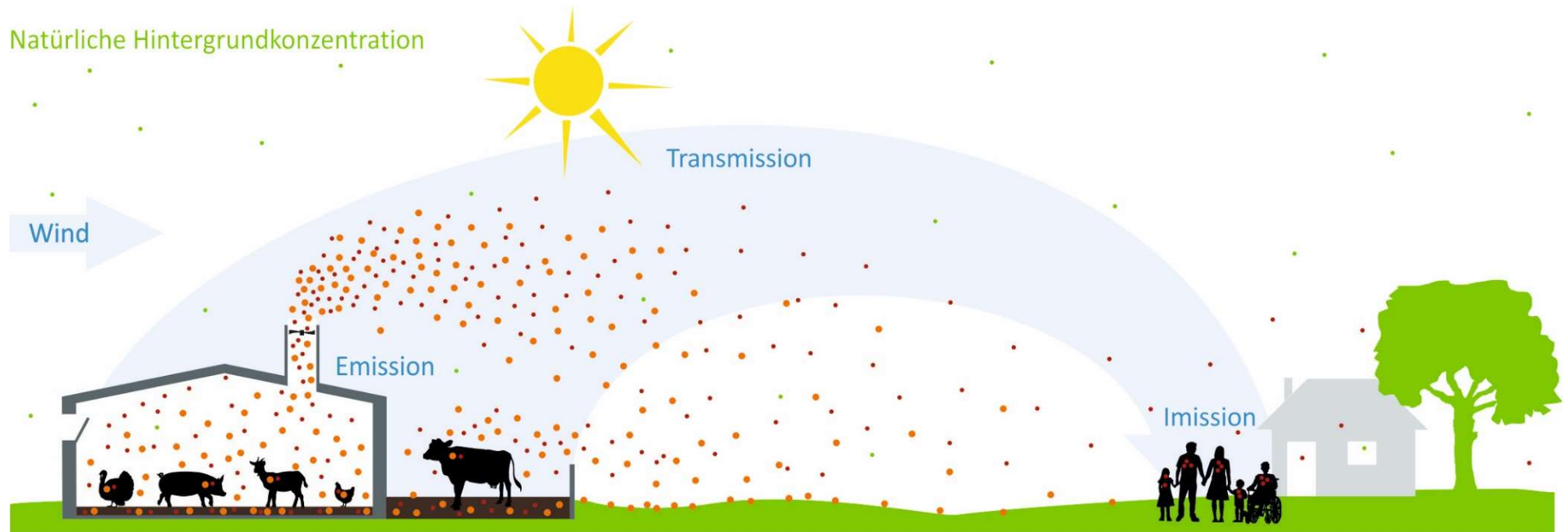
ländlicher Hintergrund ca. $15 - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

100 μm

ein Atemzug Hühnerstallluft

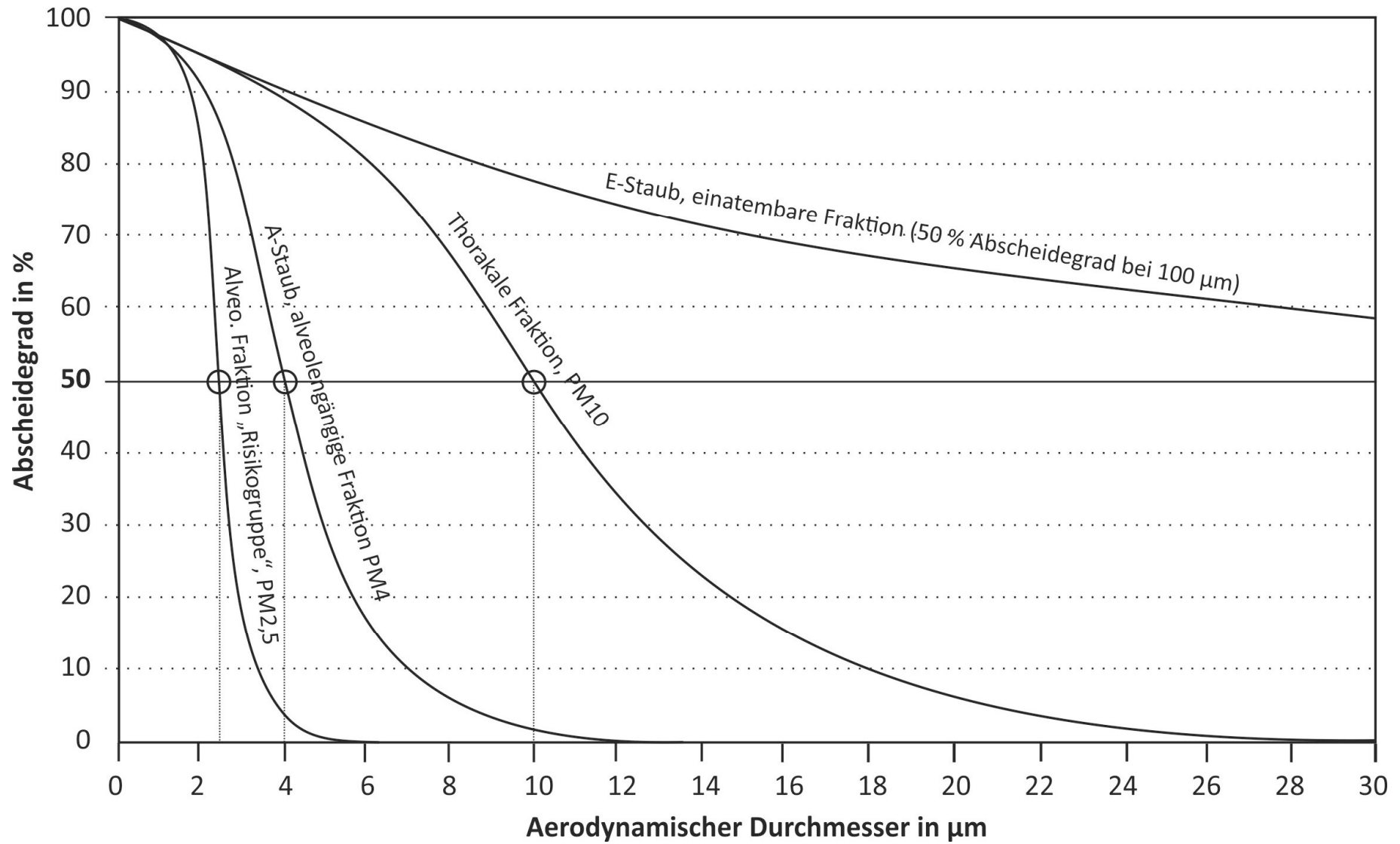
Legehennenhaltung $5 - 10 \text{mg}/\text{m}^3$

Partikuläre Emissionen in der Landwirtschaft – Wirkungskette



Ist das was hier ankommt gesundheitsschädlich?

Größenklassifizierung von Staub



Staub in der TA-Luft

Immissionsschutz

Ziff. 4.6.1 Bagatellmassenströme

gefasste Quellen: Gesamtstaub 1,0 kg/h, bei diffusen Quellen 0,1 kg/h

Partikel (PM₁₀) 0,8 kg/h, bei diffusen Quellen 0,08 kg/h

Partikel (PM_{2,5}) 0,5 kg/h, bei diffusen Quellen 0,05 kg/h

Ziff. 4.2.1 Immissionswerte Staub

Partikel (PM₁₀) Jahresmittelwert $\leq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tagesmittelwert $\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Partikel (PM_{2,5}) Jahresmittelwert $\leq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

WHO-Richtwert für PM_{2,5}
bis 2050 Jahresmittel: $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
bis 2030 Jahresmittel: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Vorsorge

Ziff. 5.2.1 Gesamtstaub

Massenstrom $\leq 0,20 \text{ kg}/\text{h}$ oder Massenkonzentration $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$

Bei mehr als $0,40 \text{ kg}/\text{h} \leq 10 \text{ mg}/\text{m}^3$

Ziff. 5.3.3.2

Bei Massenströmen von $1 \text{ kg}/\text{h}$ bis $3 \text{ kg}/\text{h}$ Messeinrichtungen zur Überwachung der Emissionsbegrenzung.

$>3 \text{ kg}/\text{h}$ Messeinrichtung zur Überwachung der Massenkonzentration

Daten zu Emissionen von $PM_{2,5}$ aus der Nutztierhaltung?

Daten zu Emissionen von PM_{2,5} aus der Nutztierhaltung in nationalen (Vos et al. 2022) und EU-Emissionsinventaren (in kg TP⁻¹ a⁻¹)

Zum Beispiel:	TSP		PM10		PM2,5
	Vos et al.	VDI 3894/1	Vos et al.	VDI 3894/1	Vos et al.
Legehennen, Voliere, freier Zugang zum Scharraum	0,19	0,26	0,04	0,16	0,003
Legehennen, Voliere, Zugang zum Scharraum nur über untere Volierenebene	0,19	0,065	0,04	0,039	0,003
Bodenhaltung, Kotbunker	0,19	0,235	0,04	0,118	0,003
Hähnchenmast Bodenhaltung	0,04	0,03	0,02	0,015	0,002

Daten zu Emissionen von PM_{2,5} aus der Nutztierhaltung in nationalen (Vos et al. 2022) und EU-Emissionsinventaren (in kg TP⁻¹ a⁻¹)

Nationale Emissionsinventare beziehen Daten zu Staub aus den EU-Inventaren.

- Basieren auf Staubmessungen von Takai et al. (1998)
- PM_{2,5} und PM₁₀ wurden mit Faktoren aus Seedorf und Hartung 2001 abgeleitet.
- Dieselbe Literatur liegt den Werten in der VDI 3894/1 zugrunde, ergänzt durch Brehme 2003, LfULG 2010 und Heidenreich et al. 2008.
- Starke Streuung im EU-weiten Vergleich, teilweise um bis zu einer Zehnerpotenz [Vos et al. 2022]. Verschiedene Lüftungsraten?

Derzeitige Datengrundlage vergleichsweise dürftig.

Lösung?: Sachgerechte Zusammenstellung der Daten normgerechter Staubmessungen an genehmigungsbedürftigen Anlagen (z. B. nach DLG-Prüfrahmen „Abluftreinigung in der Tierhaltung“)

Staubkonzentrationen

Ein Atemzug Außenluft

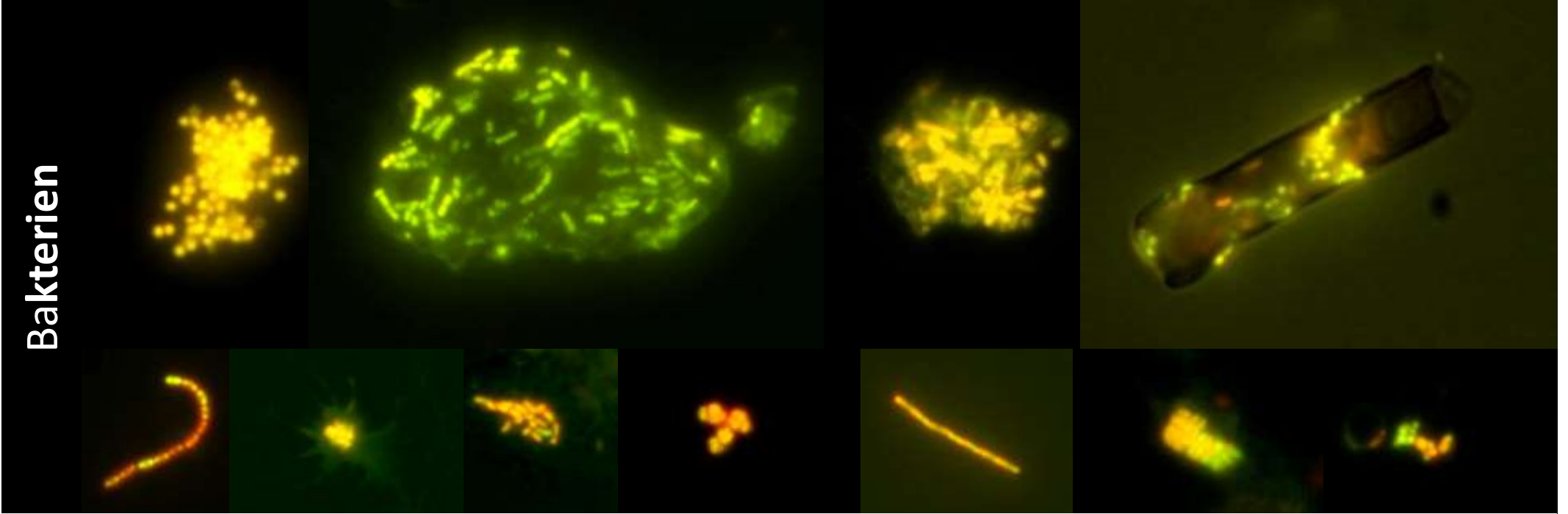
**25 % organische Partikel
→ Bioaerosole**

100 µm

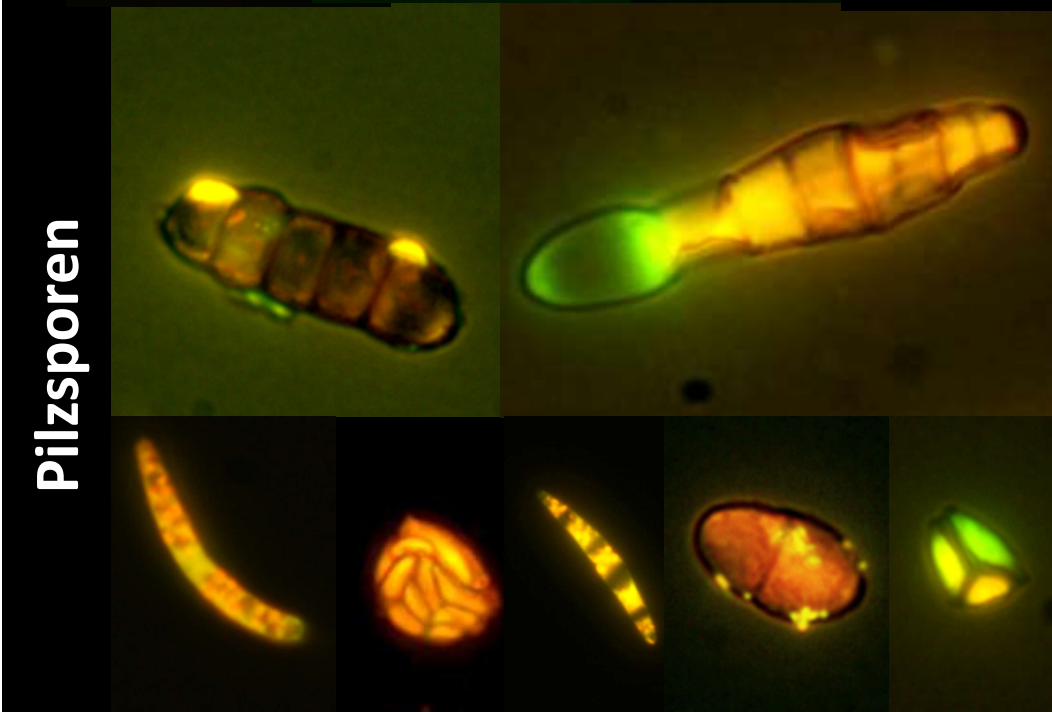
ein Atemzug Hühnerstallluft

> 90 % des Feinstaubs ist organisch

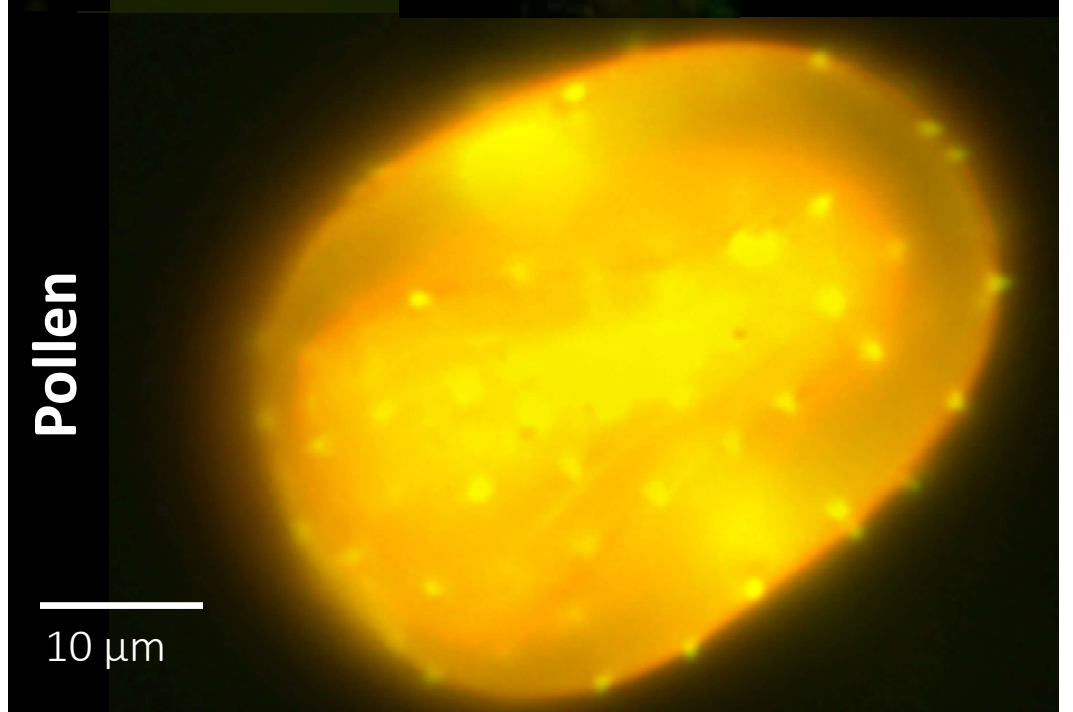
Bakterien



Pilzsporen



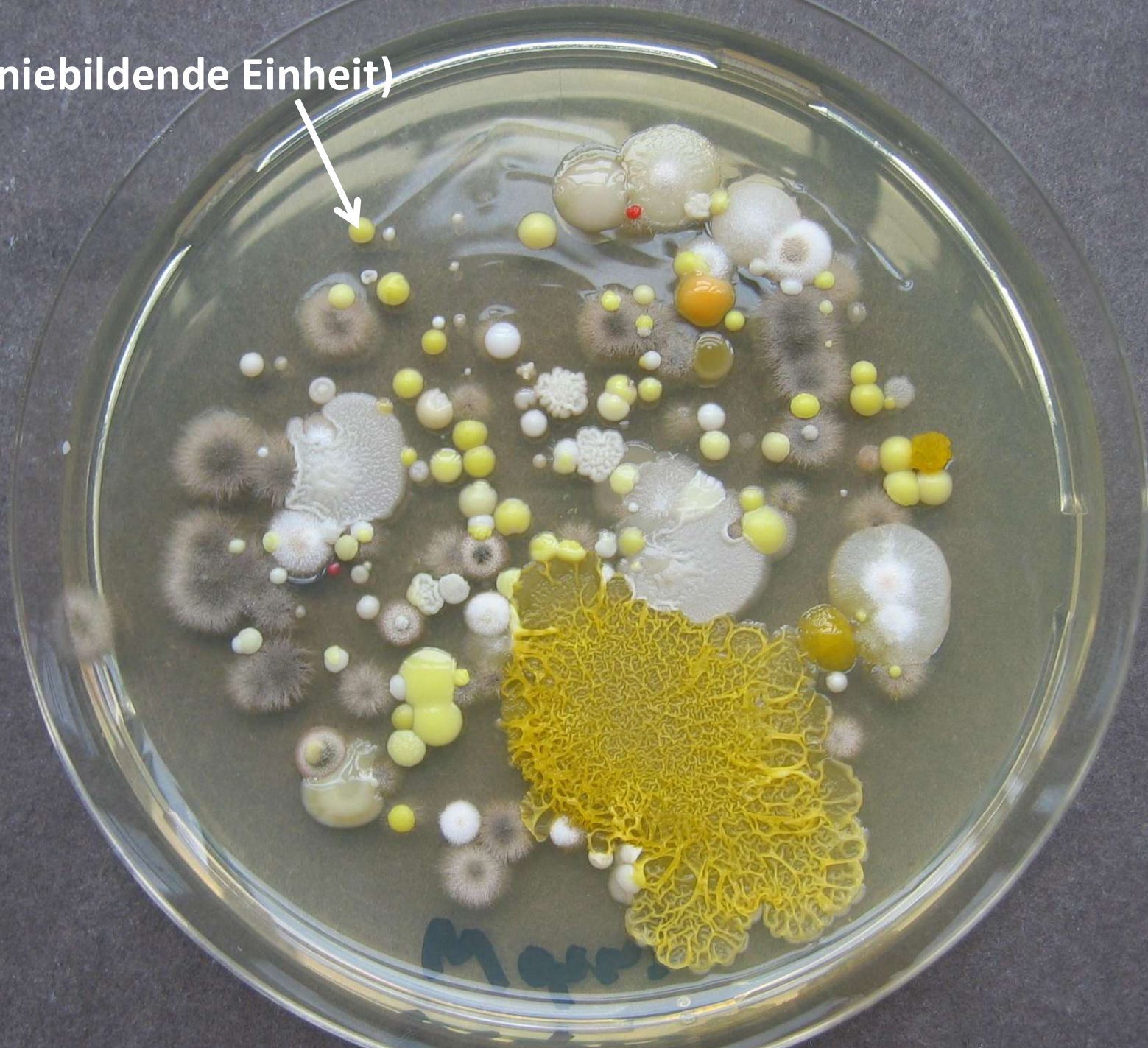
Pollen



Probenahme von Bioaerosolen in der Emission



KBE (koloniebildende Einheit)



Ergebnisse aus Umweltepidemiologischen Studien

Sowohl **schützende**, als auch **schädigende Wirkung** von Bioaerosolen (+ andere Luftschadstoffe wie Staub und Ammoniak) in Assoziation mit Tierhaltungsanlagen

Bei gesunden Erwachsenen:

Weniger Asthma, chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD), Infektionen des oberen Respirationstraktes und Heuschnupfen

(Quelle Heederik & Ijzermans 2011)

Bei Kindern:

mehr Q-Fieber, Lungenentzündungen, atopischen Ekzeme

(Quelle Heederik & Ijzermans 2011), Asthma (Quellen Douglas et al 2018, AABEL-Studie 2004)

und Einschränkung der Lungenfunktionsparameter (Quelle NiLS-Studie 2004)

Bei vorgeschädigten Personen (Asthma, COPD) :

erhöhte Häufigkeit von Infektionen (Quelle Heederik & Ijzermans 2011)

und Atemwegssymptomen (Giemen) (Quelle Borlee et al. 2005)

Konkrete Gefährdungen durch Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen

- **Q-Fieber** in Verbindung mit Ziegenhaltungen, Zoonose mit grippeähnlichen Symptomen, ausgelöst durch das Bakterium *Coxiella burnetii* (Smith et al. 2012). Für Schwangere besonders gefährlich (Abort)
- Influenza-A-Virus A/H1N1 (**Schweinegrippe**), 2009/2010 Pandemie in Deutschland und den USA (Fraser et al. 2005, Al-Tawfiq et al. 2014)
- Aviäre Influenza A virus (I-AV) (**Vogelgrippe**) verschiedene Subtypen (A/H5N1, A/H7H7, A/H7N9, A/H7N3) (Shi et al. 2018)
- **SARS-CoV**, Schweres akutes Atemwegssyndrom (SARS)

Variante **SARS-CoV-2**, größere Ausbrüche auf Nerzfarmen in Dänemark und den Niederlanden (Molenaar et al. 2020)

Luftgetragene Ausbreitung aus Tierhaltungsanlagen heraus jedoch sehr unwahrscheinlich (Hobbs et al. 2020)

Legionellen in Abluftreinigungsanlagen?

Bioaerosole in der TA-Luft (Vorsorge)

5.2.9 Bioaerosole

Bioaerosole sind im Luftraum befindliche Ansammlungen von Partikeln, denen Pilze, deren Sporen, Konidien oder Hyphenbruchstücke oder Bakterien, Viren oder Pollen oder deren Zellwandbestandteile und Stoffwechselprodukte anhaften oder die diese beinhalten. Bei Anlagen, **die umweltmedizinisch relevante Bioaerosole in relevantem Umfang emittieren** können, sind zur **Emissionsminderung dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen** zu treffen. Angaben zu relevanten **Anlagen sind in der Richtlinie VDI 4250 Blatt 3** (Ausgabe August 2016) enthalten.

Richtlinie VDI 4250 Blatt 3 (2023)

Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2023

– 8 – VDI 4250 Blatt 3 Entwurf

Tabelle 1. Übersicht über Anlagenarten und Messparameter

Bereich	Anlagenart	Anlagenbezogene und schutzgutbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter	
		Leitparameter	spezielle Messparameter
Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen (Entsorgungsanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> Wertstoffsortieranlagen Gewerbeabfallsortieranlagen 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Aspergillus</i> spp.^{b)} <i>Penicillium</i> spp.^{b)} 	<ul style="list-style-type: none"> Differenzierung der Pilze^{a)} Endotoxine
	Verwertung getrennt erfasster/aussortierter Wertstoffe (Metalle, Kunststoffe)	<ul style="list-style-type: none"> <i>Aspergillus</i> spp.^{b)} <i>Penicillium</i> spp.^{b)} 	Differenzierung weiterer Pilze ^{a)}
	<ul style="list-style-type: none"> Kompostierungsanlagen Erden- und Humuswerke 	<ul style="list-style-type: none"> thermotolerante Pilze (36 ± 2) °C^{b)} <i>Aspergillus fumigatus</i>^{b)} <i>Aspergillus</i> spp.^{b)} 	<ul style="list-style-type: none"> thermophile Bakterien (50 ± 2) °C thermophile Actinomyceten (50 ± 2) °C^{b)} <i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus/Emericella nidulans</i> Differenzierung weiterer Pilze^{a)} Endotoxine

Tabelle 1. Übersicht über Anlagenarten und Messparameter

Bereich	Anlagenart	Anlagenbezogen Leitparameter
Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen (Entsorgungsanlagen)	• Wertstoffsortieranlagen • Gewerbeabfallsortieranlagen	• <i>Aspergillus</i> spp. • <i>Penicillium</i> spp.
	Verwertung getrennt erfasster/aussortierter Wertstoffe (Metalle, Kunststoffe)	• <i>Aspergillus</i> spp. • <i>Penicillium</i> spp.
	• Kompostierungsanlagen • Erden- und Humuswerke	• thermotolerant (36 ± 2 °C ^b) • <i>Aspergillus fu</i> • <i>Aspergillus sp</i>
	• Vergärungsanlagen	• intestinale E

Leitparameter Nutztierhaltung

Bioaerosolbestandteile die nach derzeitigem Wissensstand für die jeweilige Anlagenart charakteristisch und mit standardisierten Methoden nachweisbar sind.

Bakteriengruppe der Staphylokokken

Spezielle Messparameter

Für bestimmte Fragestellungen
Messung zusätzlicher Parameter zur
Charakterisierung der Emissionen aus
einer Anlage und zur Ermittlung des
Anlageneinflusses

(z. B. bei Untersuchungen von
Nachbarschaftsbeschwerden)

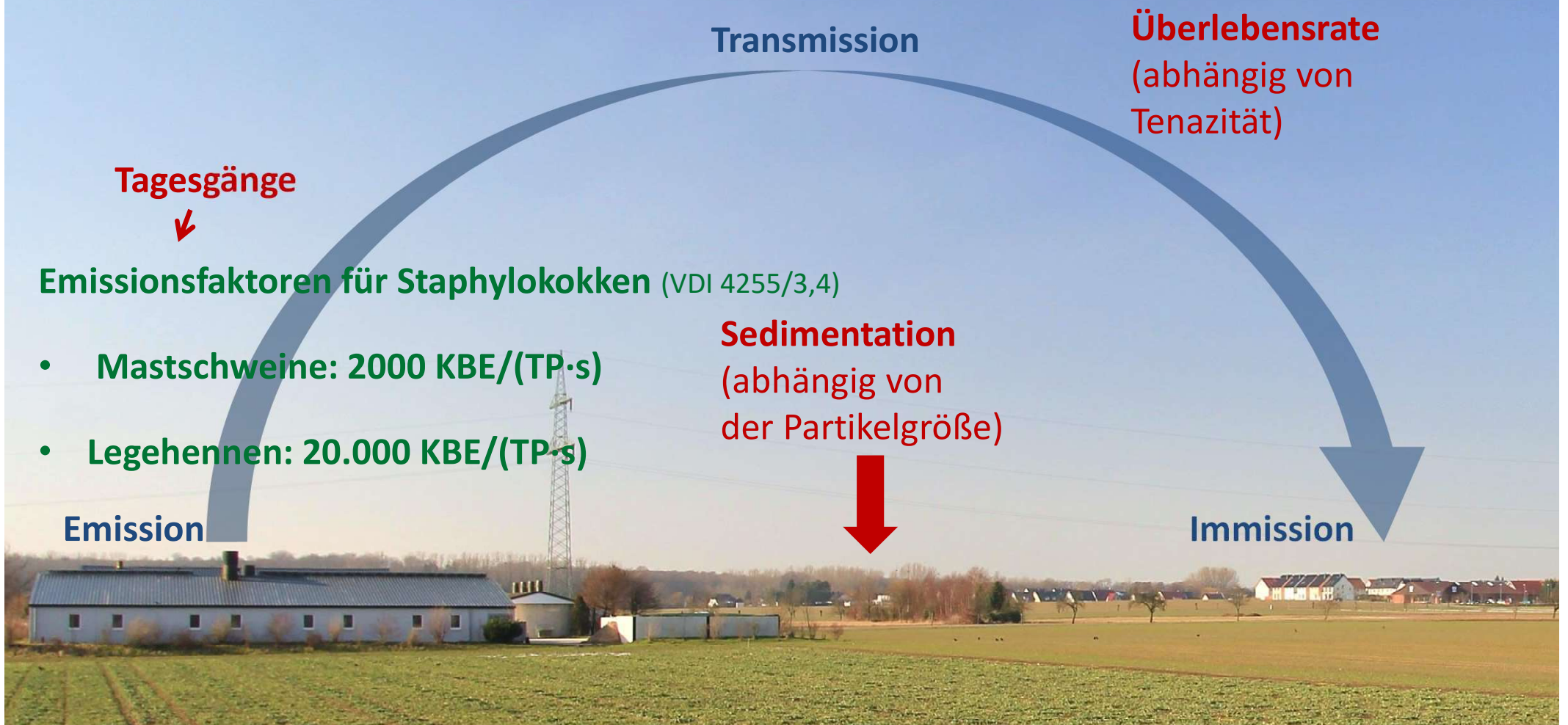
Hinweis auf Umweltmedizinische Bewertung nach VDI 4250 Blatt 1.

Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2023

Parameter	relevante Messparameter
spp. ^{b)} spp. ^{b)}	spezielle Messparameter <ul style="list-style-type: none">• Differenzierung der Pilze^{a)}• Endotoxine
spp. ^{b)} spp. ^{b)}	Differenzierung weiterer Pilze ^{a)}
erante Pilze ^{b)} s <i>fumigatus</i> ^{b)} s spp. ^{b)}	<ul style="list-style-type: none">• thermophile Bakterien (50 ± 2) °C• thermophile Actinomyceten (50 ± 2) °C^{b)}• <i>Penicillium</i> spp.• <i>Aspergillus flavus</i>• <i>Aspergillus niger</i>• <i>Aspergillus/Emericella nidulans</i>• Differenzierung weiterer Pilze^{a)}• Endotoxine

Berechnung von Immissionen durch Ausbreitungsmodellierungen

Wichtige Faktoren waren bisher unberücksichtigt



Eingabeparameter für Ausbreitungsmodellierungen

In den letzten Jahren mehrere Projekte am Thünen-Institut

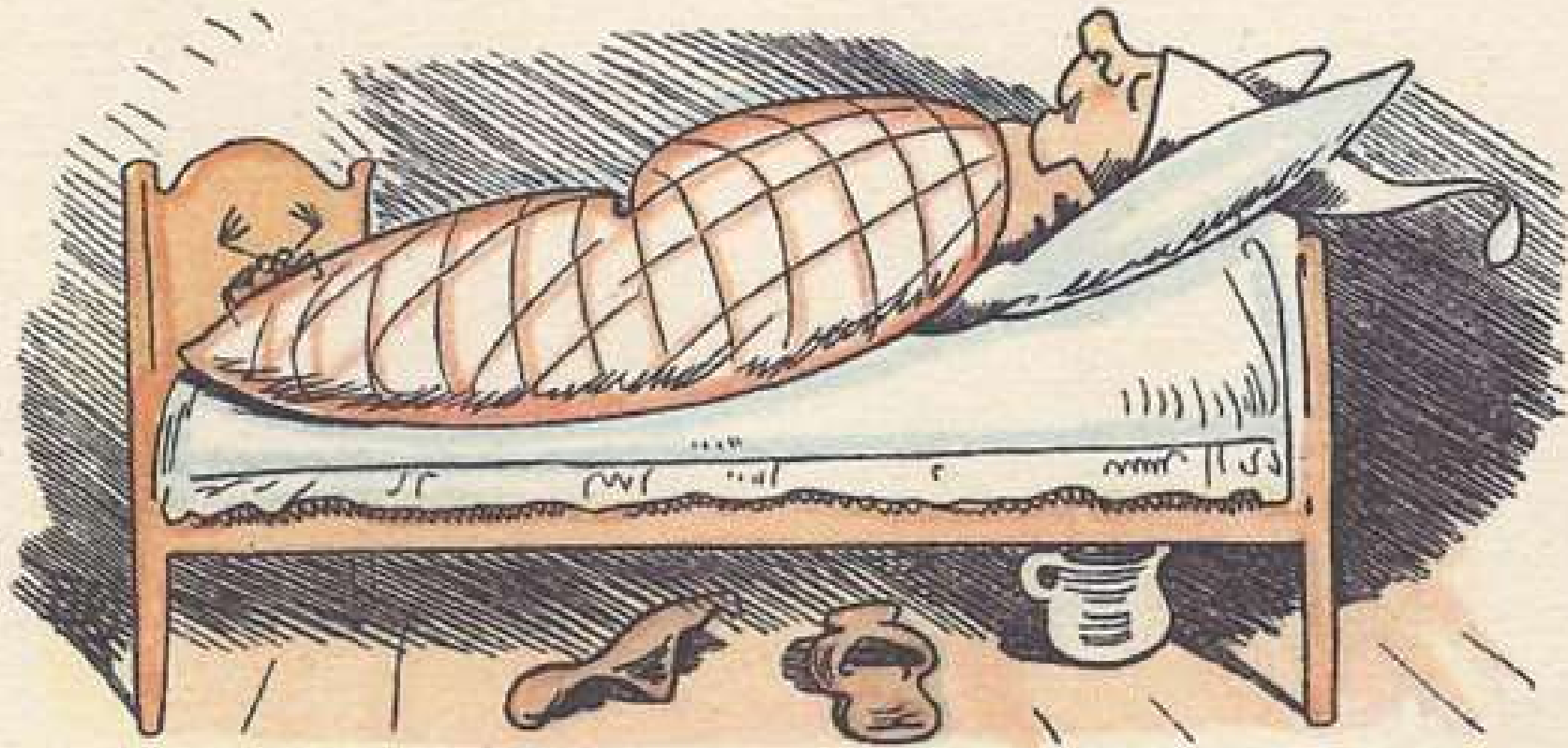
- **DiBiEm** („Differenzierte Bioaerosolmessungen in der Emission“), gefördert vom LfULG Sachsen
- **Telumi** („Tenazität luftgetragener Mikroorganismen“), gefördert vom LfULG Sachsen
- Messungen am Thünen-Institut, Braunschweig zur „Ermittlung der Größe luftgetragener Mikroorganismen in der Emission von Mastschweinställen“ eigenfinanziert

Zusätzlich Messungen am **LANUV, NRW** zur Ermittlung der Größe luftgetragener Mikroorganismen in der Emission von Masthähnchenställen

Die Ergebnisse sind in den VDI-Statusbericht „Grundlagen und Eingangsparameter für die Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen“ eingeflossen



Projekt DiBiEm – Was macht der Messtechniker nachts?



frei nach Wilhelm Busch

Seine Augen macht er zu,
Hüllt sich ein und schläft in Ruh.

Automatischer Bioaerosolsammler schläft nicht

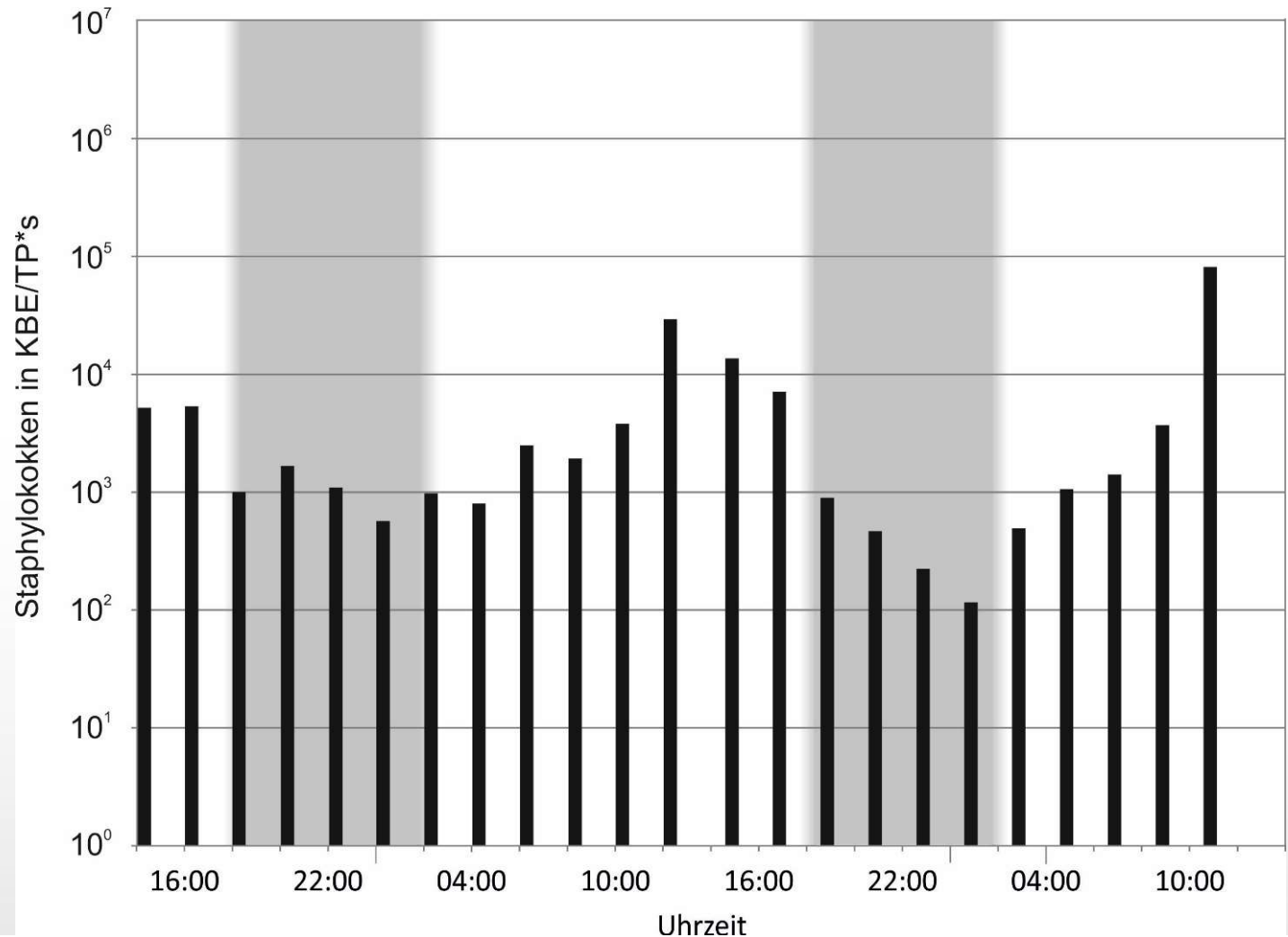


Bioaerosole in der Emission - Exemplarisch

Legehennenstall (40.000 Tiere), **Emissionsfaktoren Staphylokokken:**

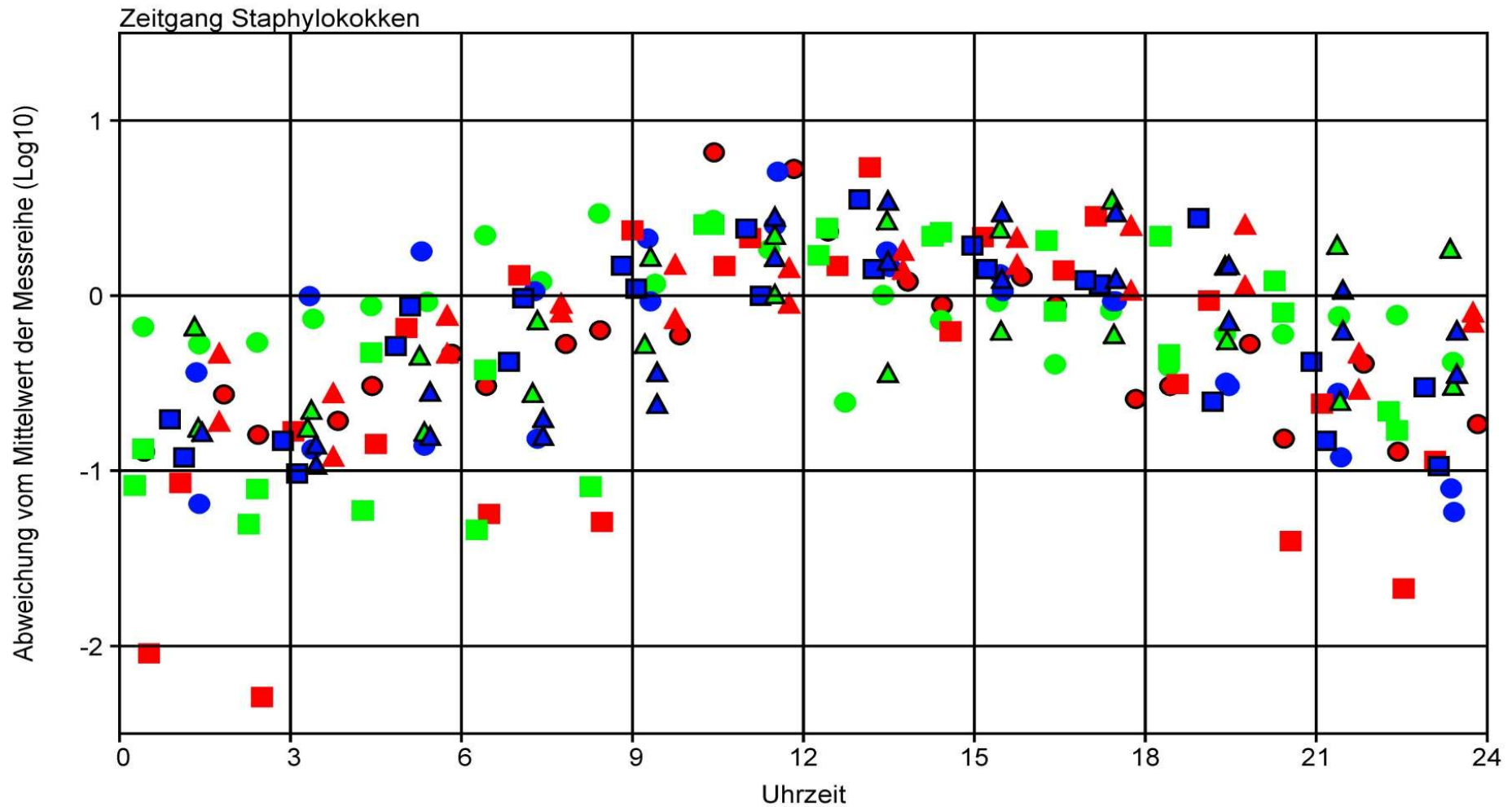
Unterschiede bis zu **3 Zehnerpotenzen** zwischen Hell- und Dunkelphasen

(Alle Ergebnisse ausführlich in der LfULG Schriftenreihe)



Bioaerosole in der Emission – Ableitung repräsentativer Tagesgang

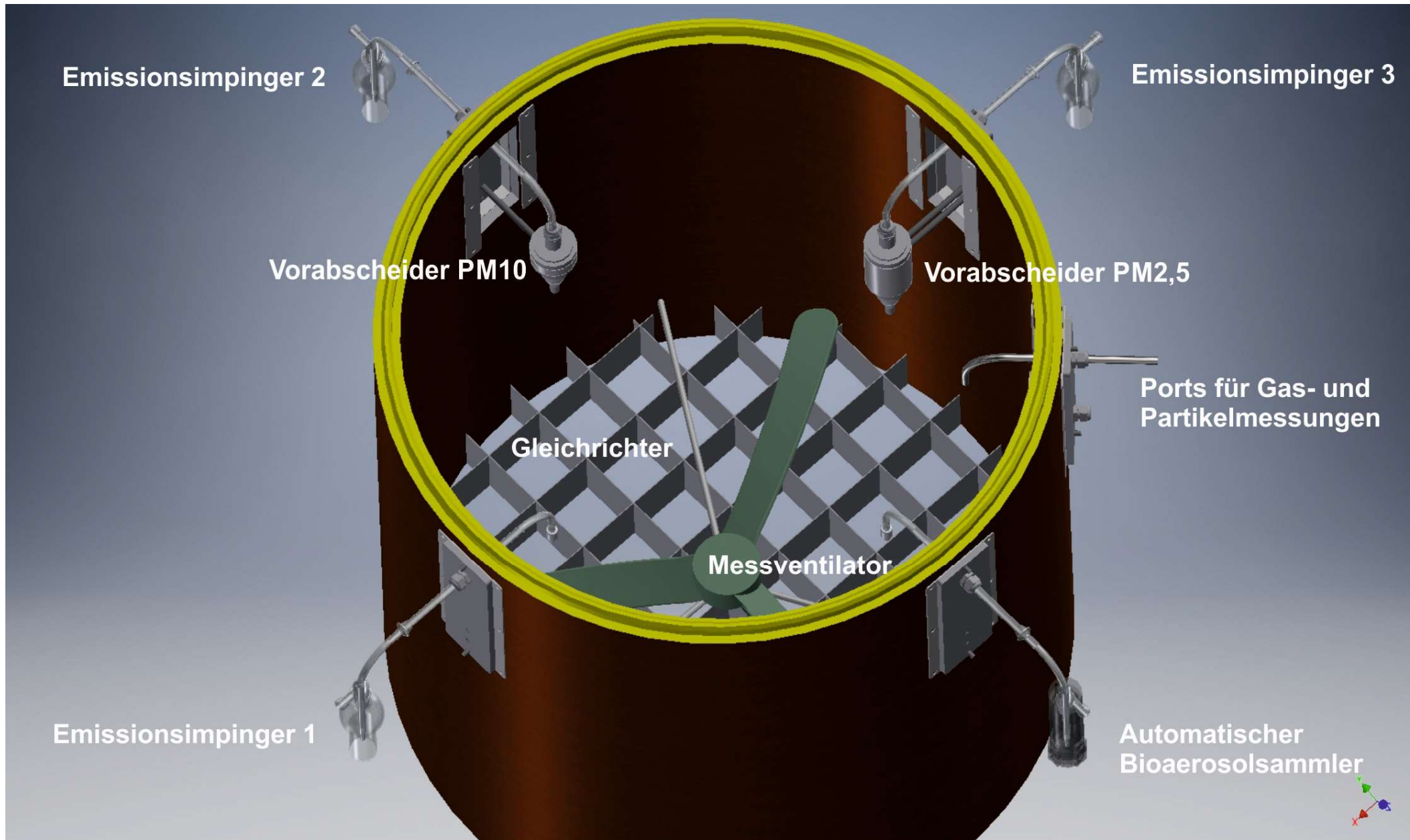
Empfehlung: $0,75 * \text{den Tageswert für Emissionsfaktoren in VDI 4255 Blatt 3}$



Projekt „DiBiEm“ – Partikelgrößenverteilung luftgetragener Mikroorganismen



Untersuchung der Partikelgrößenverteilung - Messmodul



Emissionsmessung



Größenverteilung von Bioaerosolen

Prozentuale Anzahlverteilung von Gesamtbakterien und Staphylokokken auf die PM-Fractionen ist bei Legehennen und Mastputen annähernd gleich

Legehennen

Gesamtbakterien und Staphylokokken

- PM₁₀ 37 %
- PM_{2,5} 16 %

Mastputen

Staphylokokken

- PM₁₀ 37 %
- PM_{2,5} 16 %

Gesamtbakterien

- PM₁₀ 28 %
- PM_{2,5} 12 %

Masthähnchen (Gärtner et al. 2017)

- PM₁₀ 39 %
- PM_{2,5} 14 %

Staubverteilung jeweils

ca. 85 % PM₁₀ und 45 % PM_{2,5}

Projekt TeluMi – Überleben von Mikroorganismen im luftgetragenen Zustand

In Sommermonaten oder heißen Regionen in der Luft hauptsächlich wenige robuste Spezies (Gram-positiv, Sporen-bildend, pigmentiert)



Projekt TeluMi – Überleben von Mikroorganismen im luftgetragenen Zustand

Faktoren, welche die Tenazität und damit die Überlebensrate in der Luft beeinflussen:

- Temperatur und relative Luftfeuchte
- Globalstrahlung (hauptsächlich der UV-Anteil)
- Ozon
- Freie Radikale (z. B. OH^-)
- Ozon-Olefin-Reaktionsprodukte



‘open air factor’ (OAF) instabil, baut sich durch Reaktion mit Partikeln oder an Oberflächen innerhalb weniger Minuten in geschlossenen Räumen ab
“90 % loss of OAF occurs in about 12 min” (Hood 1974)

Synergistische Effekte zwischen den Faktoren

Bestimmung der Überlebensraten in neuartiger Bioaerosolkammer

Kammerdurchlauf

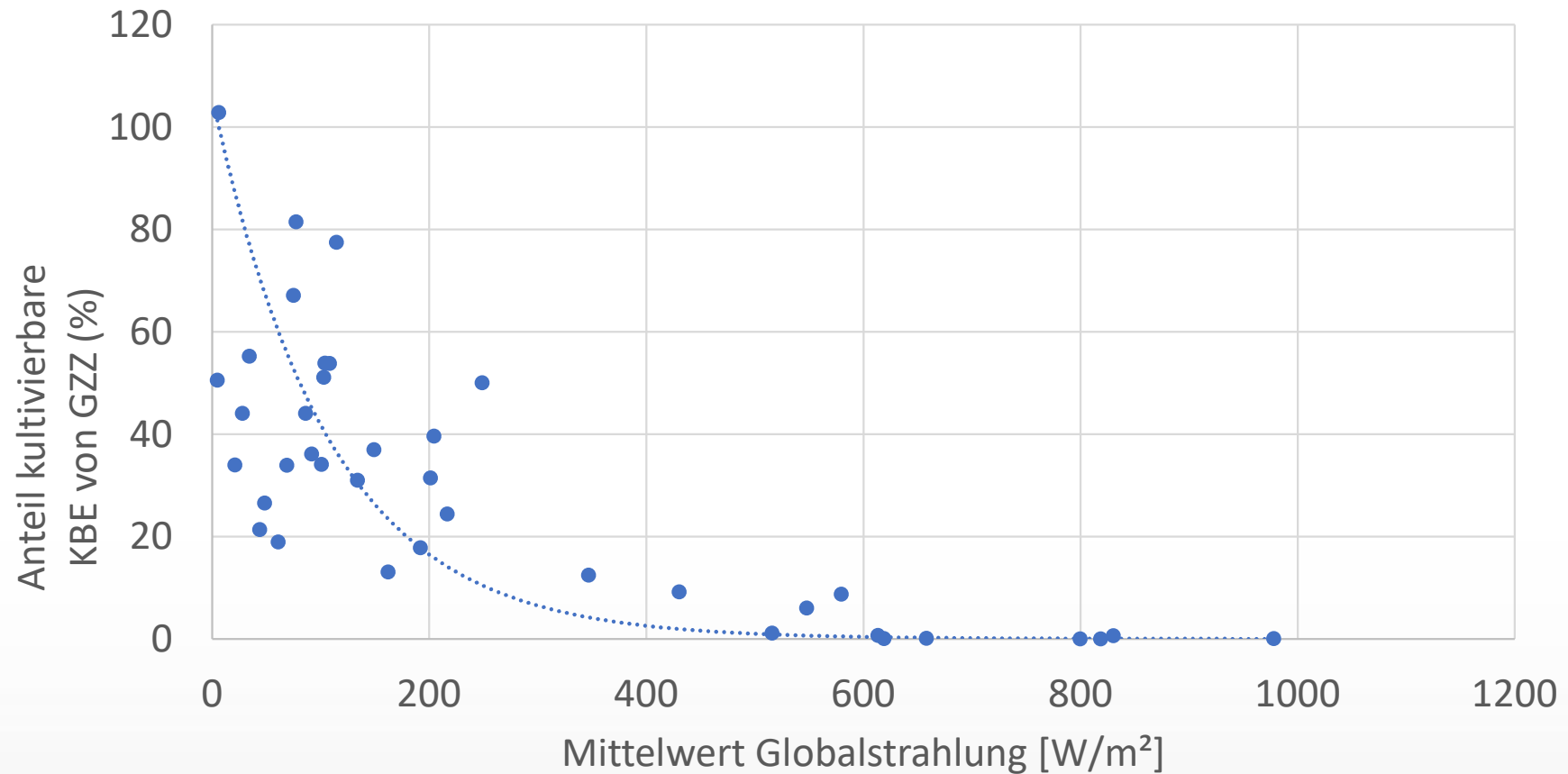
$t = 0 \text{ min}, V = 0 \text{ m}^3$



Kammerdurchlauf
t = 14 min, V ≈ 7.9 m³

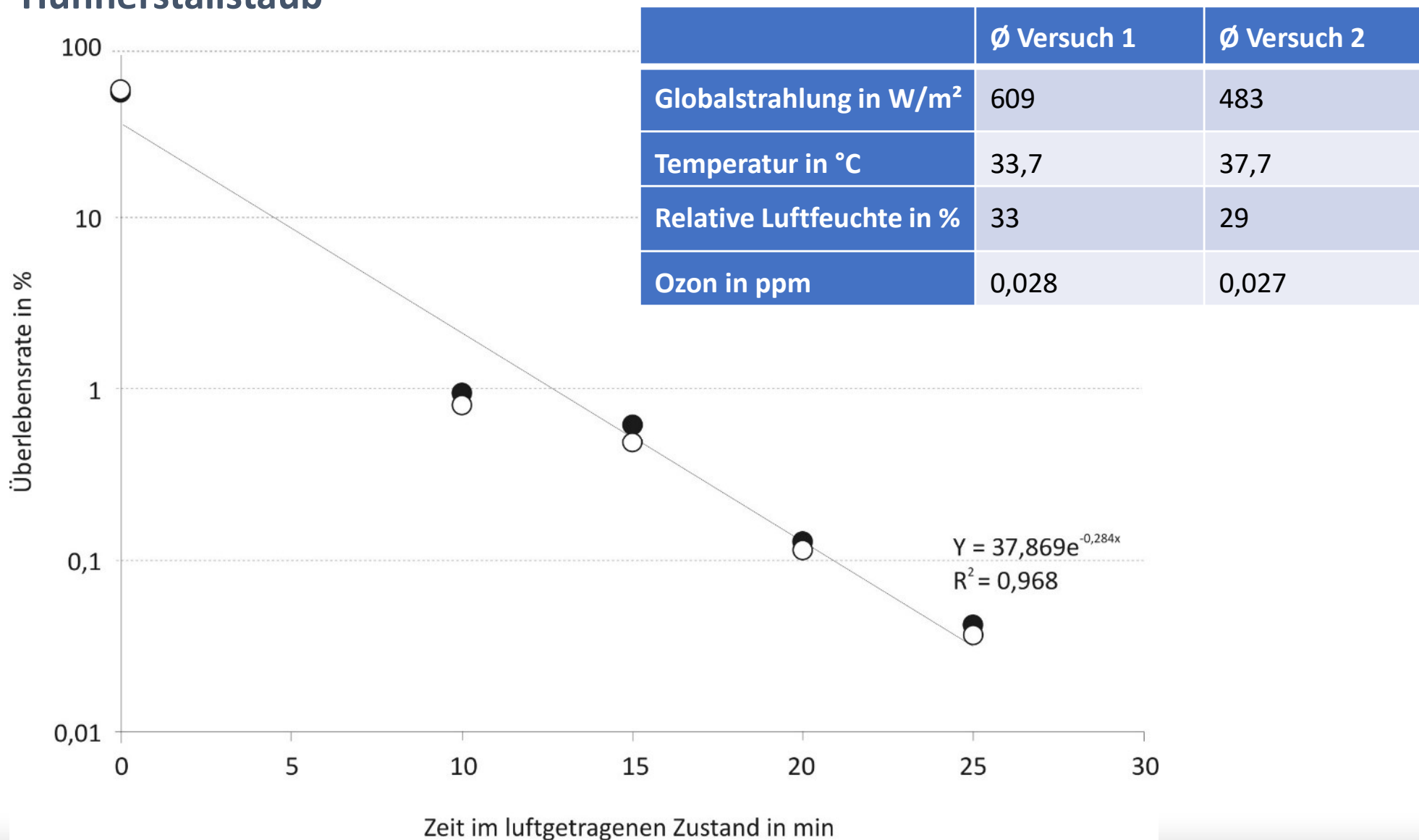


Einfluss von Globalstrahlung auf Überleben luftgetragener *Staph. xylosus*



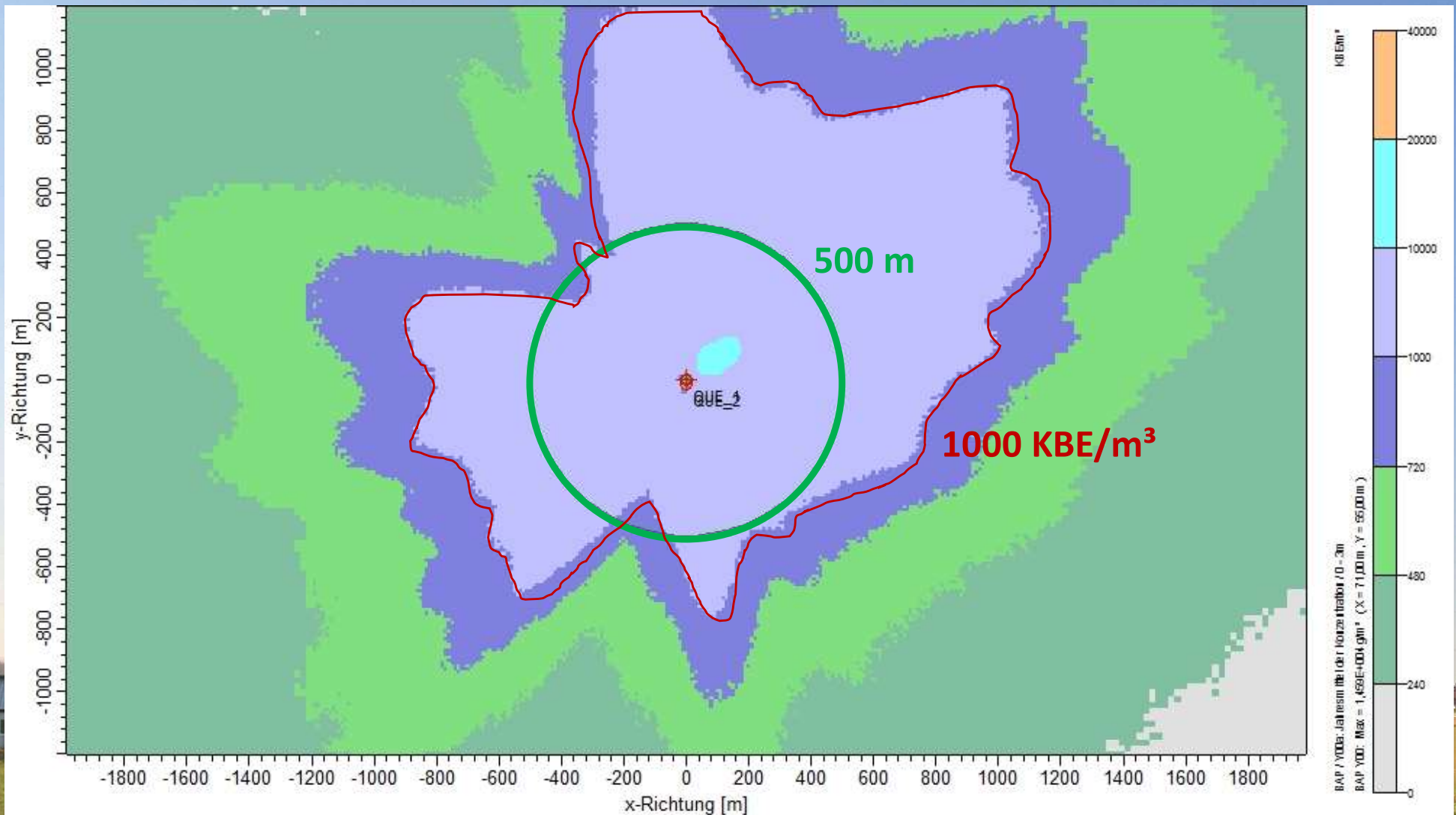
An sonnigen Sommertagen in Deutschland bis 1000 W/m², bei trübem Wetter <100 W/m²

Einfluss der Zeit auf die Überlebensrate von Staphylokokken in nativem Hühnerstallstaub



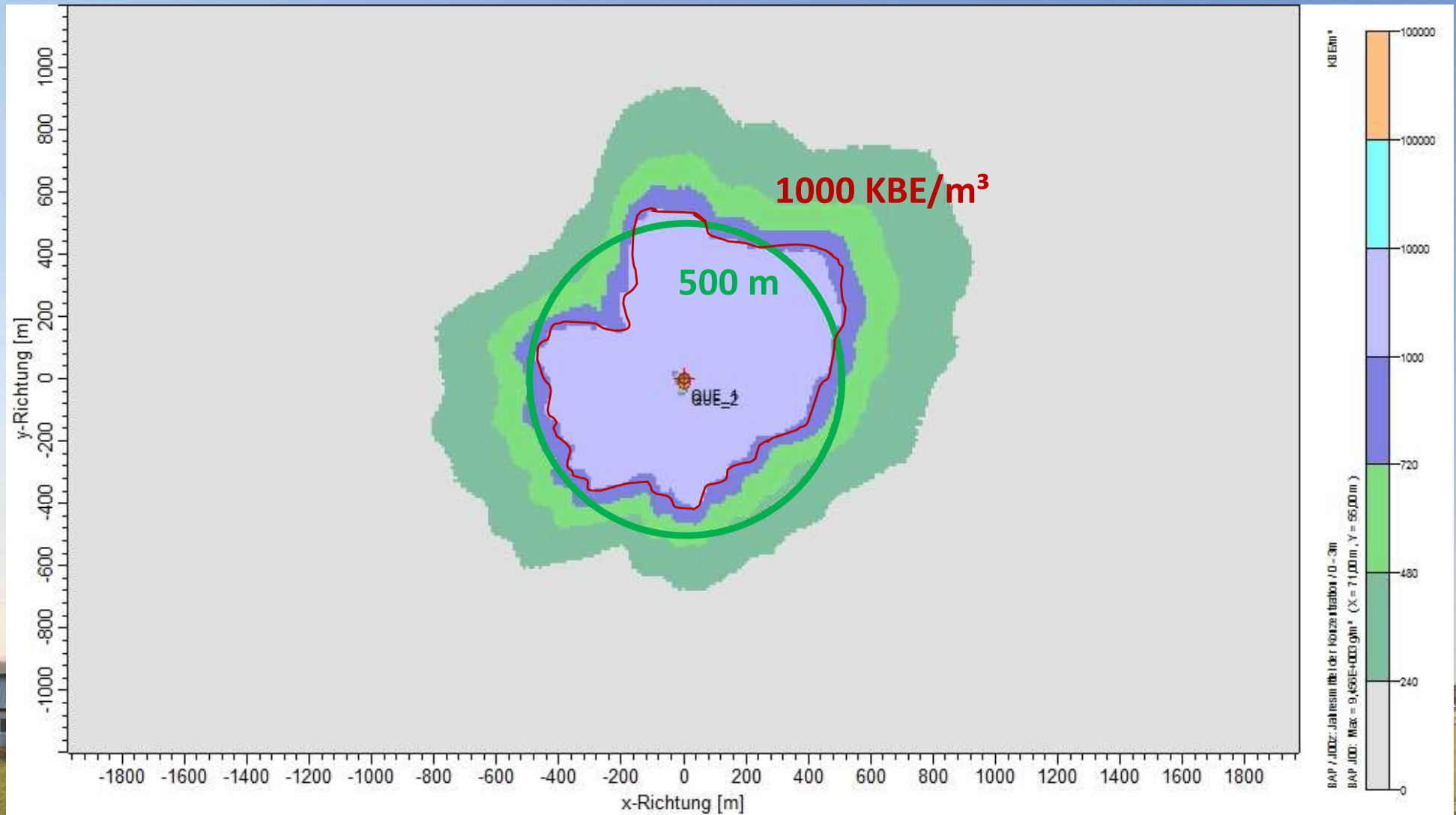
Konservativer Ansatz für einen Hähnchenmaststall (40.000 TP) (Clauß et al. 2016)

deutliche Diskrepanz zwischen Messung und Ausbreitungsrechnung



Realitätsnaher Ansatz für einen Hähnchenmaststall (40.000 TP)

Berücksichtigung von Körngrößenverteilung, Tagesgängen und Tenazität



Minderungsmaßnahme Abluftreinigung – auch geeignet für Bioaerosole



Abluftreinigung

- Für zwangsbelüftete Haltungssysteme
- In Deutschland mehr als 2.000 Anlagen in der Schweinehaltung, ca. 200 in der Geflügelhaltung
- Zertifizierte Anlagen reduzieren Ammoniak, Staub und Bioaerosole bis zu über 90 % in der Schweinehaltung **bei ordnungsgemäßigem Betrieb**

Aktuelle Daten aus Projekt LiLA (Messungen nach VERA-Protokoll, jeweils n = 6)

Reduktion in %	Gesamtbakterien	Staphylokokken
Uniqfill1	94,3	54,9
Uniqfill2	84,6	58,5
IUS	87,3	69,6

Zusammenfassung

- Derzeitige Datengrundlage zu Staub und vor allem $PM_{2,5}$ vergleichsweise dürftig
- Bioaerosole können in der Immission die Gesundheit empfindlicher Personengruppen negativ beeinträchtigen, keine Dosis-Wirkungsbeziehung, Bewertung schwierig
- Staphylokokken sind geeigneter Leitparameter für Nutztierhaltung
- Neue Erkenntnisse für die Ausbreitungsrechnung von luftgetragenen Bakterien
- Starke Schwankungen der Konzentrationen und Emissionsfaktoren im Tagesverlauf
=> **Emissionsfaktoren in VDI 4255 Blatt 3 *0,75**
- **65 % der luftgetragenen Bakterien in Partikelfraktion >PM10, 35 % in PM10, 15 % in PM2,5**
Staubfraktionen sind anders aufgeteilt
- ab 500 W/m^2 Globalstrahlung und Temperaturen $>25 \text{ °C}$ 90 % Reduktion nach 12 min, aufgrund der großen Schwankungsbreite weitere Untersuchungen notwendig
- Abluftreinigung kann die Emission von luftgetragenen Bakterien um über 90 % reduzieren

Kurzer Ausblick

- Projekt „EmiMod“ gestartet, Staub und Bioaerosole sind ebenfalls Bestandteil
- Abschlussbericht zum Projekt LiLA „Legionellen in landwirtschaftlichen ARA“ Anfang 2024



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit**

