

Aktueller Sachstand VDI-Regelwerk zu Bioaerosolen

Dr. Irene Tesseraux

REFERAT 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel

Fachsymposium „Emissionsminderung in der Tierhaltung“

Hannover, 25. November 2013



Baden-Württemberg

Bioaerosole: Definition

= **Luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft**
(DIN EN 13098) - natürliche Bestandteile der Luft

- **Pollen**
- **Schimmelpilze** - Sporen und Bestandteile, Stoffwechselprodukte (z.B. Mykotoxine)
- **Bakterien** und Bestandteile (z.B. **Endotoxin**)
- **Viren**

Biologische Arbeitsstoffe

- **Gesamtzahl** der **anzüchtbaren** oder **auszählbaren Pilze** oder **Bakterien, Sporen, Zellen**
- **Spezifische Bioaerosole: Leitkeime** für bestimmte Arbeitsbereiche (z.B. *Aspergillus fumigatus* für Kompostieranlagen; *E. coli* als Fäkalanzeiger; *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* und **Endotoxine** bei Tierställen)
- **Infektiöse Agentien** (*Legionella pneumophila*, *Mycobakterium tuberculosis*)
- **Fragmente und Bestandteile von biologischen Partikeln** (**Endotoxine, Glucane, Allergene, Mycotoxine**)
- **Chemische Verbindungen**, die von Mikroorganismen gebildet werden (**MVOCs**)

BIA-Messvorschriften. BIA = BGIA = Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz. Ab Januar 2010 "Institut für Arbeitsschutz der DGUV (Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung) - "IFA"

Risiko-Einstufungen von Mikroorganismen

Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA): geben den Stand der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen wieder.

- **TRBA 460** Einstufung von **Pilzen** in Risikogruppen
- **TRBA 466** Einstufung von **Bakterien** (Bacteria) und Archebakterien (Archaea) in Risikogruppen

Die Einstufungen in Risikogruppen 1 - 4, entsprechen den Legaleinstufungen nach Anhang III der EU-Richtlinie über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (2000/54/EG)

Wo kommen Bioaerosole vermehrt vor?

An Arbeitsplätzen und **Freisetzung** aus

Quellen

- **Landwirtschaftlichen Anlagen**

- Pflanzenproduktion
- Tierhaltung
- ..



- **Abfallwirtschaftlichen Entsorgungsanlagen / Anlagen zur Verwertung von Reststoffen**

- Kompostierung
 - Abfallsortieranlagen
 - Recycling von Kunststoffen, Papier etc.
 - Altholzverwertung
 - Biogasanlagen
 - ..
- **Immission**



VDI-Richtlinien - Bioaerosole in der Außenluft / Emission

Name	Titel	Ausgabe
	Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft	
VDI 4250 Blatt 1 E	Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen - Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen	2011-11
VDI 4251 Blatt 1	Planung von anlagenbezogenen Immissionsmessungen – Fahnenmessung	2007-02
VDI 4252 Blatt 2	Aktive Probenahme von Bioaerosolen - Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern	2004-06
VDI 4252 Blatt 3	Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse	2008-08
VDI 4253 Blatt 2	Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft – Indirektes Verfahren nach Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern	2004-06
VDI 4253 Blatt 3	Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis der Bakterienkonzentration in der Luft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten	2008-08
VDI 4253 Blatt 4 E	Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Bestimmung der Gesamtzellzahl mittels Fluoreszenzanalyse nach Anfärbung mit DAPI	2011-04
VDI 4256 Blatt 1	Ermittlung von Verfahrenskenngrößen - Zählverfahren basierend auf kulturellem Nachweis	2010-10
	Emissionen von Bioaerosolen und biologischen Agenzien	
VDI 4255 Blatt 1	Emissionsquellen und -minderungsmaßnahmen – Übersicht	2005-10
VDI 4255 Blatt 2	Emissionsquellen und -minderungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung – Übersicht	2009-12
VDI 4257 Blatt 1 E	Emissionsmessungen - Planung und Durchführung	2010-12
VDI 4257 Blatt 2	Emissionsmessung von Bioaerosolen und biologischen Agenzien – Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung in Flüssigkeiten	2011-09

Messplanung

VDI 4251, Blatt 1 (2007) „Fahnenmessung“
 VDI 4251, Blatt 2 „*Hintergrundmessung*“
 VDI 4251, Blatt 3-E (2013)
 „*Ausbreitungsmodellierung*“

Probenahme

Immission:

VDI 4252, Blatt 2 (2004) Schimmelpilze
 VDI 4252, Blatt 3 (2008) Bakterien

Emission:

VDI 4257 Blatt 1-E (2010) Übersicht,
 VDI 4257 Blatt 2 (2011) Probenahme

Nachweis

VDI 4253, Blatt 2 (2004) Schimmelpilze
 VDI 4253, Blatt 3 (2008) Bakterien
 VDI 4253, Blatt 4 E (2011) Gesamtzellzahl

Emissionen / Minderung

VDI 4255, Blatt 1 (2010) Übersicht
 VDI 4255, Blatt 2 (2009) Nutztierhaltung

Bewertung

VDI 4250 Blatt 1 (2009E/2011E)
Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen – Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen
 VDI 4250, Blatt 3 „*Messparametertabelle*“

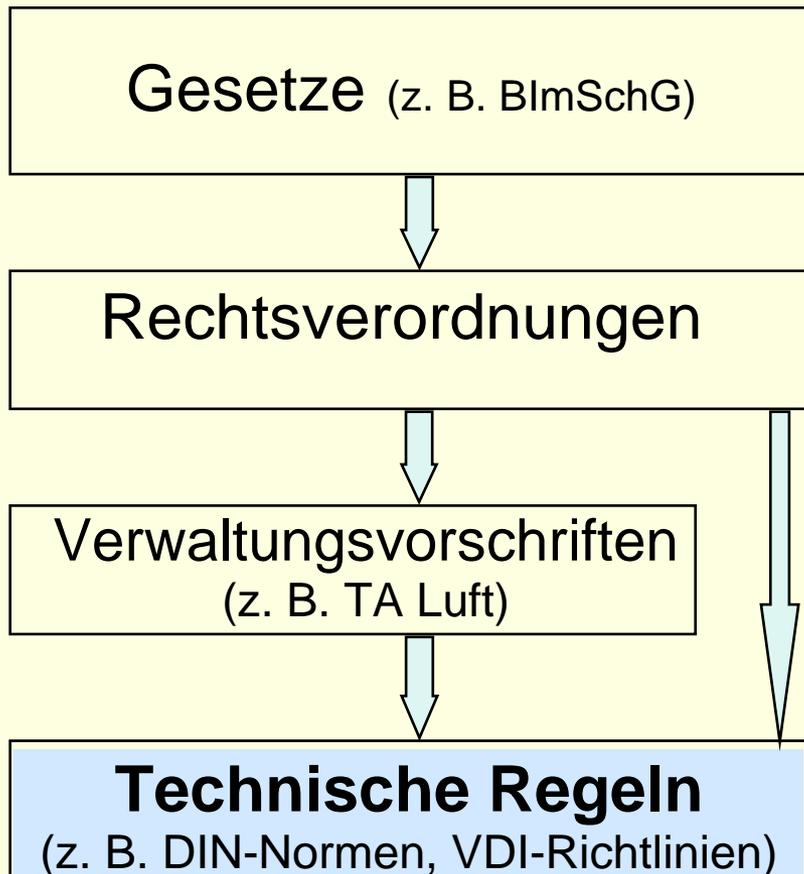
VDI Richtlinienreihen „Bioaerosole und biologische Agenzien“

- **VDI 4250** beschreibt die **Wirkung** mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen
- **VDI 4251** legt die Bedingungen fest, die bei der **Planung von Immissionsmessungen** mikrobieller Luftverunreinigungen berücksichtigt werden müssen
- **VDI 4252** beschreibt die verschiedenen Verfahren zur **Probenahme** von Bioaerosolen und legt die Anforderungen an die Durchführung der Immissionsmessungen fest
- **VDI 4253** legt die Bedingungen für die Anzucht und Detektion von Mikroorganismen sowie für die **Analyse** von Viren fest und baut auf der in VDI 4252 beschriebenen Probenahme auf
- **VDI 4254** beschäftigt sich mit der **Analyse von gasförmigen Luftverunreinigungen** mikrobieller Herkunft wie MVOC Endotoxinen, Mykotoxinen und Glucanen.
- **VDI 4255** stellt die unterschiedlichen **Emissionsquellen** mikrobieller Luftverunreinigungen dar und beschreibt Verfahren zur Minderung dieser Emissionen
- **VDI 4256** legt die **statistischen Kenngrößen**, die für die Beschreibung und Vergleichbarkeit der Verfahren notwendig sind, fest
- **VDI 4257** beschreibt die Planung, die Durchführung und die verschiedenen Verfahren der **Emissionsmessung** von mikrobiellen Luftverunreinigungen
- **VDI 4258** wird die Herstellung von Prüfaerosolen zur Validierung von Messverfahren beschreiben

VDI-Richtlinien

Ausfüllung unbestimmter Rechtsbegriffe

Allgemein



Mikrobielle Luftverunreinigungen in der Außenluft

Rat von Sachverständigen für Umweltfragen:
(Umweltgutachten 2004): Neue gesundheitsbezogene Umweltrisiken ernst nehmen: Biologische Aerosole, die insbesondere von biologischen Abfallbehandlungsanlagen an die Außenluft abgegeben werden. Hier sind größere Mindestabstände zu Siedlungen und eine strengere Emissionsbegrenzung erforderlich.

Technische Regeln

z.B. **VDI 4250, VDI 4251, VDI 4252, VDI 4253, VDI 4254, VDI 4255, VDI 4256, VDI 4257**

Anlagenarten aus VDI 4251 Blatt 1, VDI; 4250 Blatt 1-E 2009 (neue Tabelle als VDI 4250 Blatt 3) **Beispiel „Abfall“**

Ausschnitt aus Tabelle „Übersicht über Anlagenarten und Messparameter“

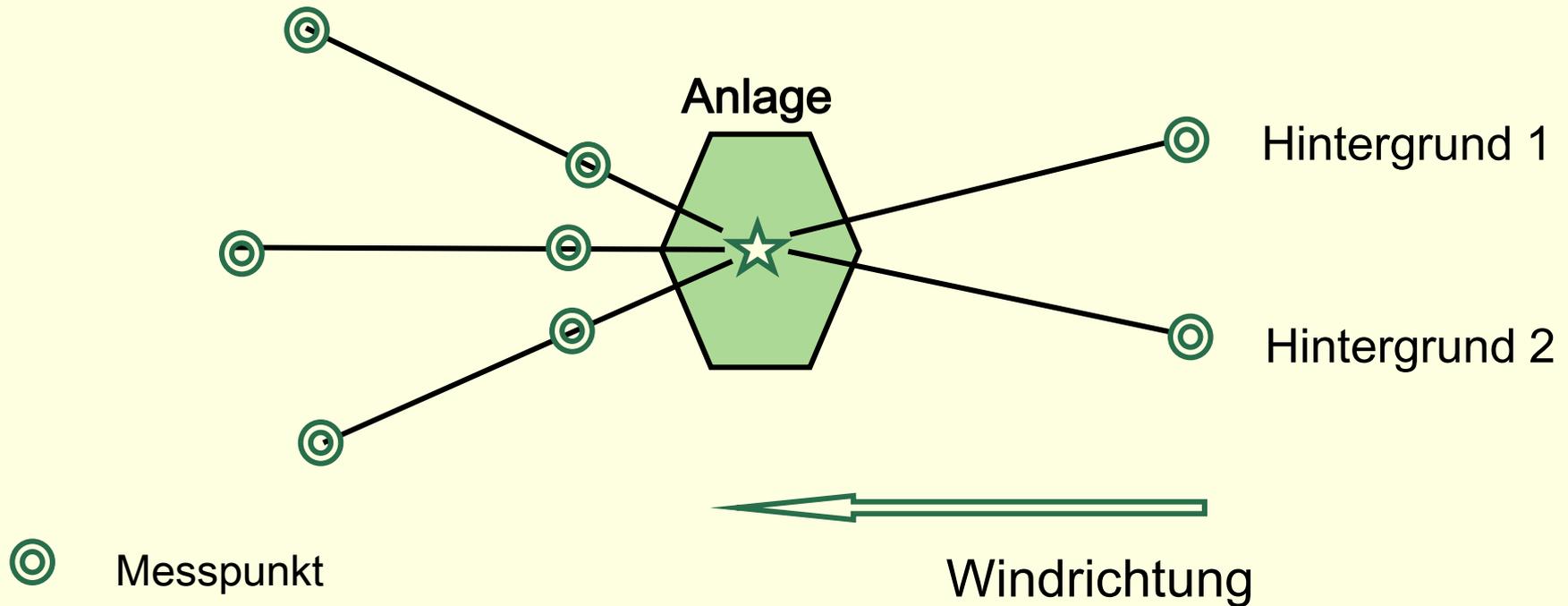
Bereich	Anlagenart	Anlagenbezogene und schutzgutbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter Leitparameter
Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen (Entsorgungsanlagen)	Wertstoffsortieranlagen Gewerbeabfallsortieranlagen	<i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp.
	Verwertung getrennt erfasster/aussortierter Wertstoffe (Metalle, Kunststoffe)	<i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp.
	Altholzaufbereitungsanlagen	<i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp.
	Kompostierungsanlagen Erden- und Humuswerke	<i>Aspergillus</i> spp. <i>Aspergillus fumigatus</i> thermotolerante Pilze

Anlagenarten aus VDI 4251 Blatt 1, VDI; 4250 Blatt 1-E 2009 (neue Tabelle als VDI 4250 Blatt 3) **Beispiel „Landwirtschaft“**

Ausschnitt aus Tabelle „Übersicht über Anlagenarten und Messparameter“

Bereich	Anlagenart	Anlagenbezogene und schutzgutbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter Leitparameter
Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse	Tierhaltung	Staphylokokken <i>Staphylococcus aureus</i> Enterobacteriaceen Intestinale Enterkokken
	Güllelagerung und –verarbeitung, Kottrocknung	Enterobacteriaceen Intestinale Enterkokken
	Schlachtbetriebe	Staphylokokken <i>Staphylococcus aureus</i> Enterobacteriaceen Intestinale Enterkokken
	Tierkörperbeseitigungsanlagen	Staphylokokken <i>Staphylococcus aureus</i> Enterobacteriaceen Intestinale Enterkokken

Planung von anlagenbezogenen Immissionsmessungen - Fahnenmessung nach VDI 4251 Blatt 1, 2007



Mittlere Reichweite: Die Entfernung, in der ein Anlageneinfluss noch nachweisbar ist. Entfernung von der Quelle, an der die mittlere Immissionskonzentration eines Messparameters in den Bereich der Hintergrundkonzentration abgesunken ist.

Standardisierte Bioaerosol-Messverfahren

VDI-Richtlinien

- **VDI 4252, Blatt 2** (2004) „Aktive Probenahme von Bioaerosolen - Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine / Polycarbonat-Filtern“
- **VDI 4253, Blatt 2** (2004) “Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentration in der Luft – indirektes Verfahren nach Probennahme auf Gelatine / Polycarbonat-Filtern“
- **VDI 4252, Blatt 3** (2008) „Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Bakterien nach dem Prinzip der kritischen Düse“
- **VDI 4253, Blatt 3** (2008) „Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten“

Messverfahren – Parameter

Kulturbasierte Verfahren – Nachweis lebender Mikroorganismen [KBE/m ³]	Verfahren ohne Kultivierung – Nachweis von Zellen oder Bestandteilen [GZZ/m ³]
Parameter / Leitparameter	Parameter / Leitparameter
Gesamtbakterienzahl 36±2°C und 22±2°C VDI 4253, Blatt 3	Gesamtzellzahl VDI 4253, Blatt 4
Thermophile Actinomyceten 50±2°C, Staphylokokken, Legionella spp., <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i>	Endotoxine [EU/m ³]
Gesamtpilzzahl 25±2° VDI 4253, Blatt 2	MVOC [µg/m ³]
Thermophile Pilze 36±2°C, Penicillium spp., <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus flavus</i>	

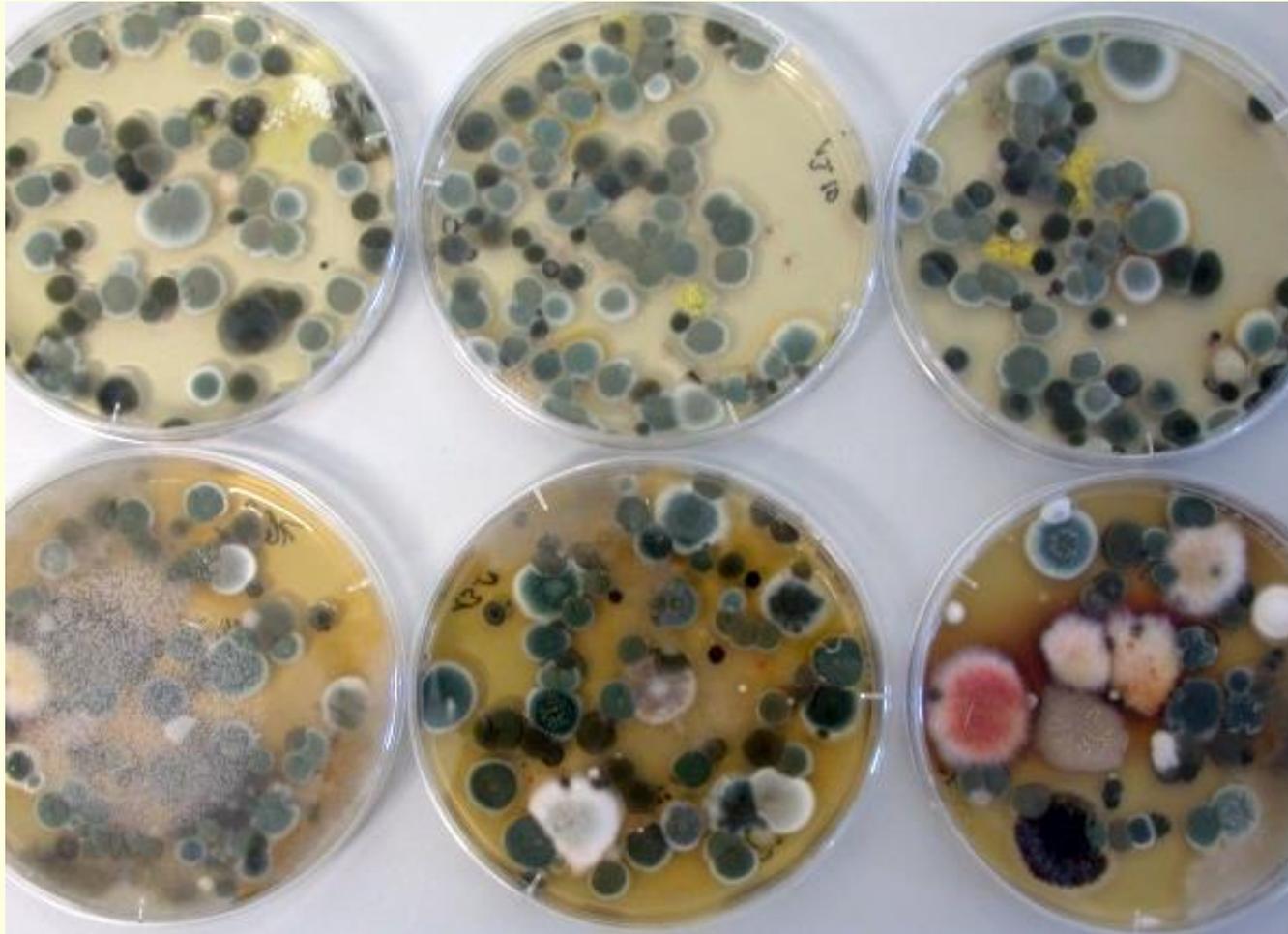
Probenahme – Schimmelpilze

VDI 4252, Blatt 2 (2004)



Kulturbasierter Nachweis – Schimmelpilze

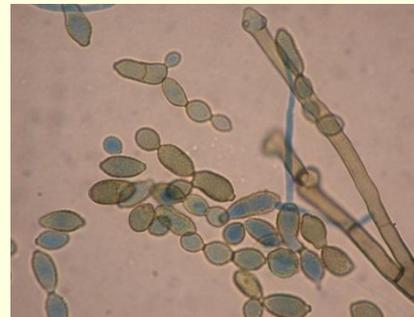
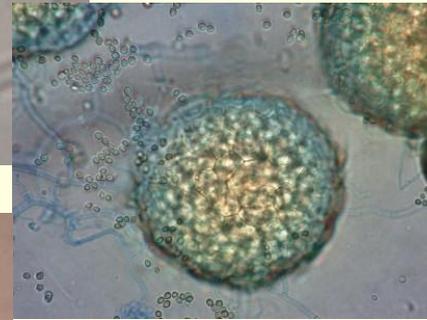
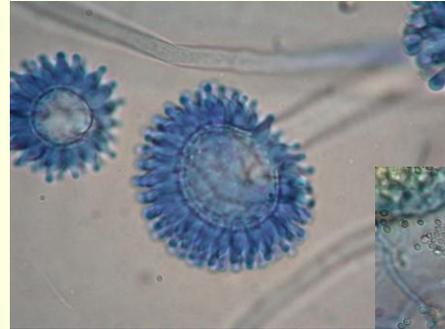
VDI 4253, Blatt 2 (2004)



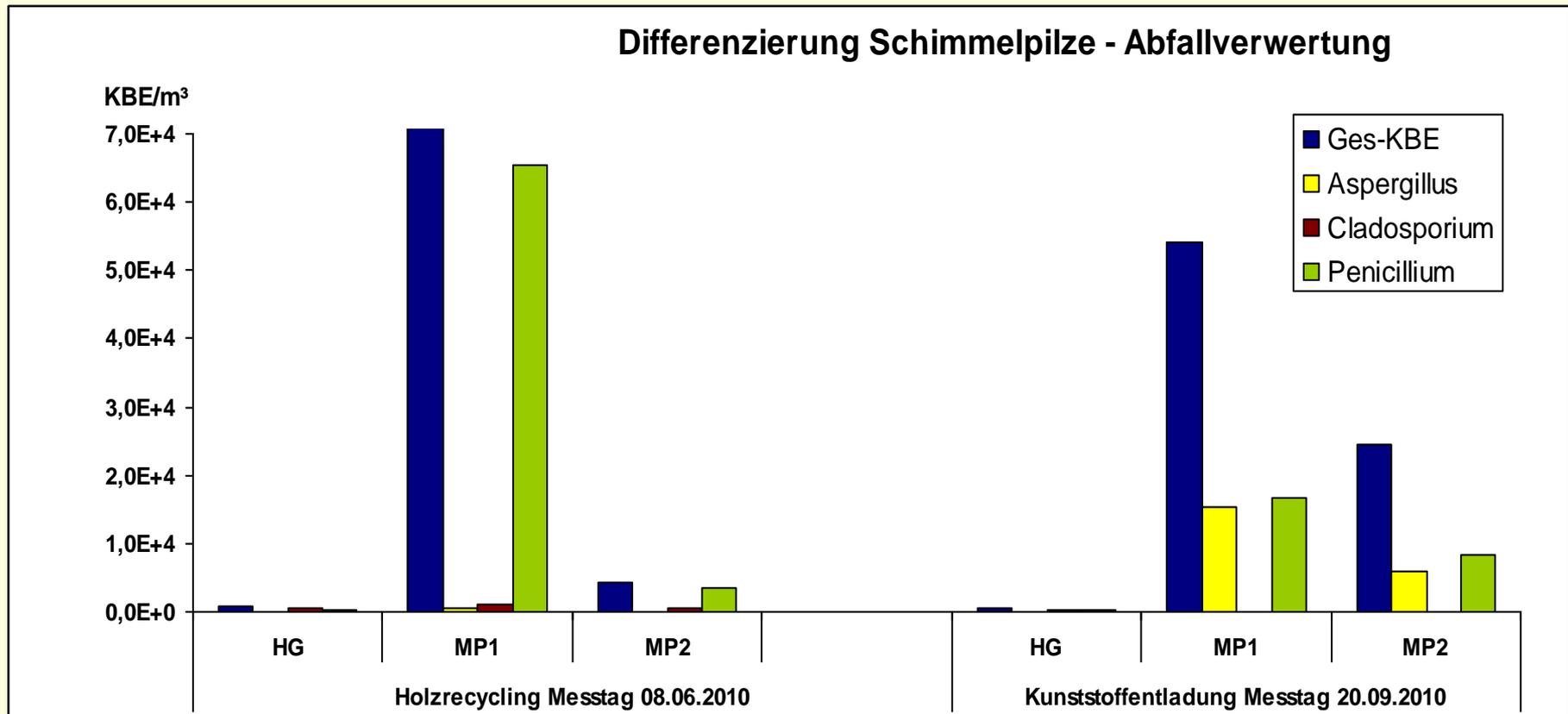
Probe 768, 12.10.2005 nach 6 Tagen bei 25°C, Verdünnung 1:10, oben DG18, unten MEA

Differenzierung nach Schimmelpilz- Gattungen

- *Aspergillus*
- *Eurotium*
- *Penicillium*
- *Cladosporium*
- *Alternaria*
- *Fusarium*
- Hefen

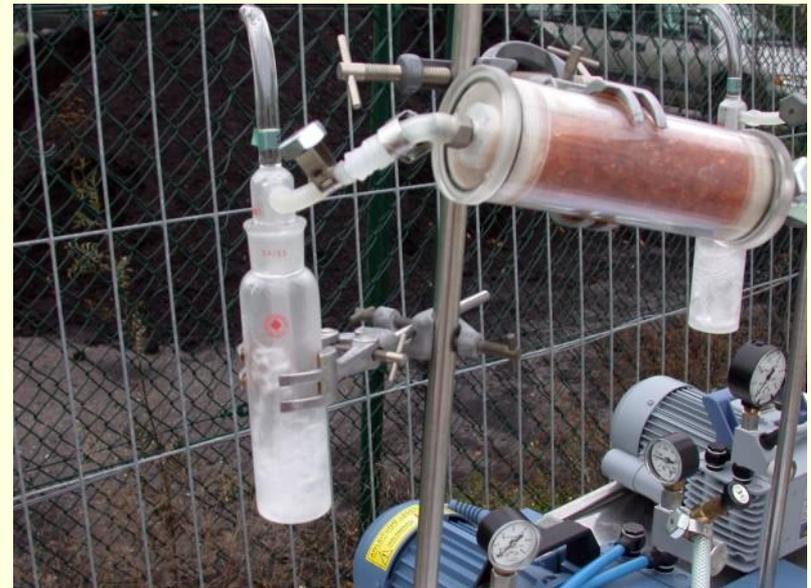


Immissionskonzentrationen an zwei Abfallverwertungsanlagen Differenzierung nach Schimmelpilz-Gattungen



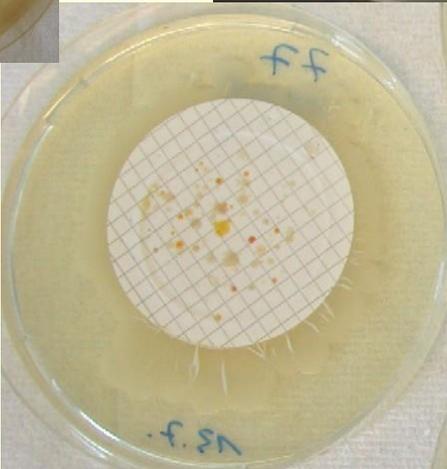
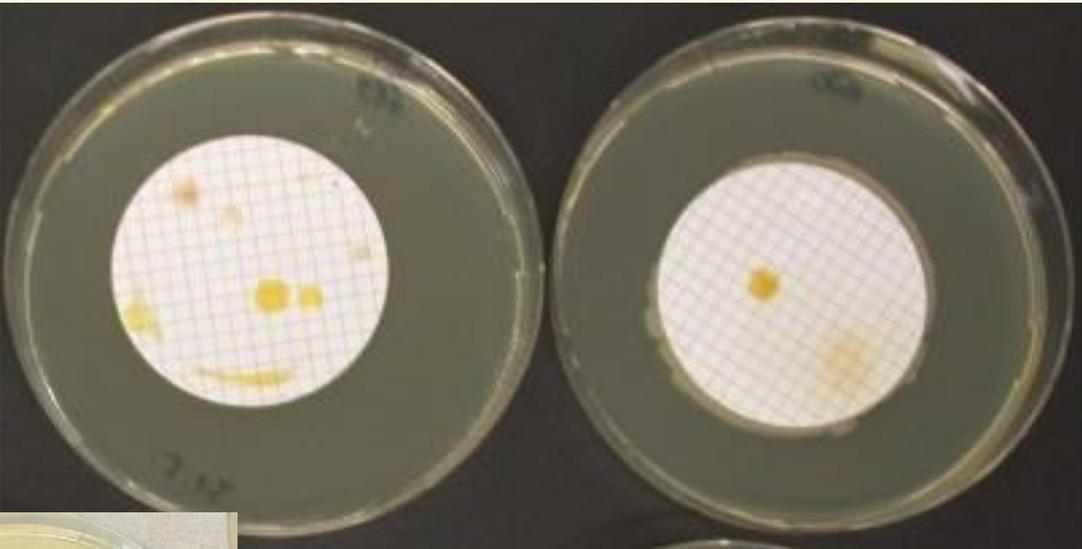
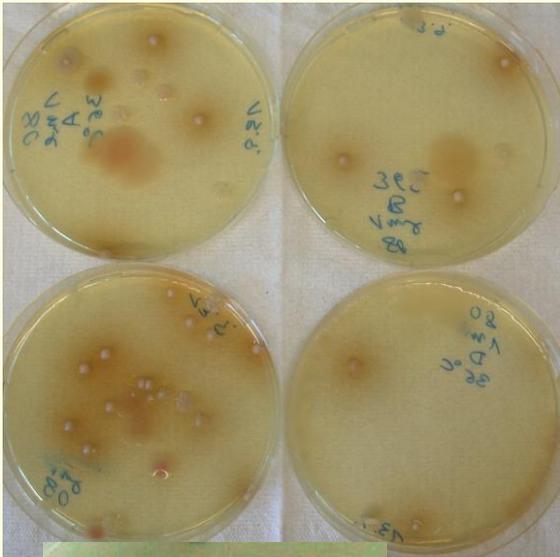
Probenahme Bakterien - Impinger

VDI 4252, Blatt 3 (2008)



Kulturbasierter Nachweis – Bakterien

VDI 4253, Blatt 3 (2008)



Folie 19, 25.11.2013Hannover

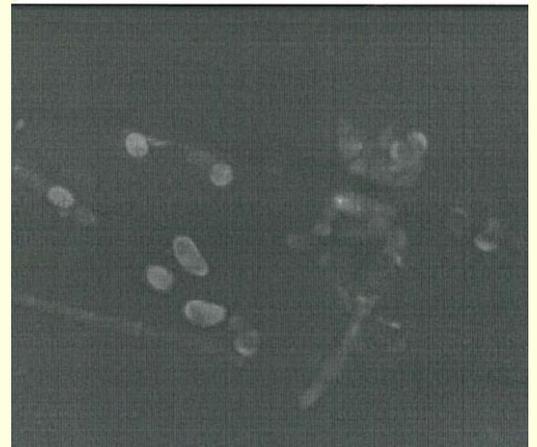
Gesamtzellzahl

- VDI 4253, Blatt 4 (2010-E) „Bestimmung der Gesamtzellzahl nach Anfärbung mit DAPI“

Quantifizierung von Mikroorganismen durch mikroskopische Zählung von Partikeln nach Färbung DNA-haltiger Strukturen

DAPI = 4´6-Diamidino-2-phenylindol-dihydrochlorid (DNA-interkalierender Fluoreszenzfarbstoff)

Cladosporium herbarum nach Fluoreszenzfärbung mit AC



Bewertung von Bioaerosol-Immissionen –

VDI 4250 Blatt 1 (2011-E)

„Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen -
Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen“

Bewertung von Immissionskonzentrationen im Vergleich zur Hintergrundkonzentration

- Da wirkungsbezogene Schwellenwerte für Bioaerosole bisher nicht ableitbar sind und Expositions-Wirkungs-Beziehungen nicht vorliegen, wird – wie im Innenraumbereich und am Arbeitsplatz – eine Orientierung am jeweiligen Hintergrundvorkommen empfohlen
- Eine gegenüber der Hintergrundkonzentration erhöhte Bioaerosolkonzentration wird dabei als eine zusätzliche Exposition gewertet. Diese kann nach allgemeinem Kenntnisstand – insbesondere für Risikogruppen – mit einem zusätzlichen Gesundheitsrisiko verbunden sein. Eine Quantifizierung dieses zusätzlichen gesundheitlichen Risikos kann bislang nicht vorgenommen werden

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Bioaerosole und biologische Agenzien Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol- Immissionen Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen	VDI 4250 Blatt 1 <i>Aktuelle Version 07-2013</i> <i>zum Weißdruck ?</i>
-----------------------------------	---	---

Aufmerksamkeitswert

Für Messparameter, deren **Hintergrundkonzentration** nach vorliegenden Erkenntnissen **jahreszeitlich kaum variiert**, kann die **Hintergrundkonzentration** als „**Aufmerksamkeitswert**“ definiert werden.

„**Der Aufmerksamkeitswert wird aus dem 95.-Perzentilwert von gemessenen Hintergrundkonzentrationen abgeleitet und in der Richtlinienreihe 4250 festgelegt**“

z.B.: Schimmelpilz-Gattung *Aspergillus* $1 \cdot 10^2$ KBE/m³

„Für **Summenparameter** (Gesamtpilze, Gesamtbakterien) wird die gemessene Hintergrundkonzentration als **90.-Perzentilwert** empfohlen“

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Bioaerosole und biologische Agenzien Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol- Immissionen Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen	VDI 4250 Blatt 1 <i>Aktuelle Version 07-2013</i> <i>zum Weißdruck ?</i>
-----------------------------------	---	---

Bestimmungsgrenze

Für anlagenbezogene Leitparameter, die im natürlichen Hintergrund mit standardisierten Verfahren nicht nachweisbar sind und deren Hintergrundkonzentrationen erfahrungsgemäß unterhalb der Bestimmungsgrenzen der bisher standardisierten Verfahren liegen, kann diese „**Bestimmungsgrenze**“ als Bewertungskriterium herangezogen werden.

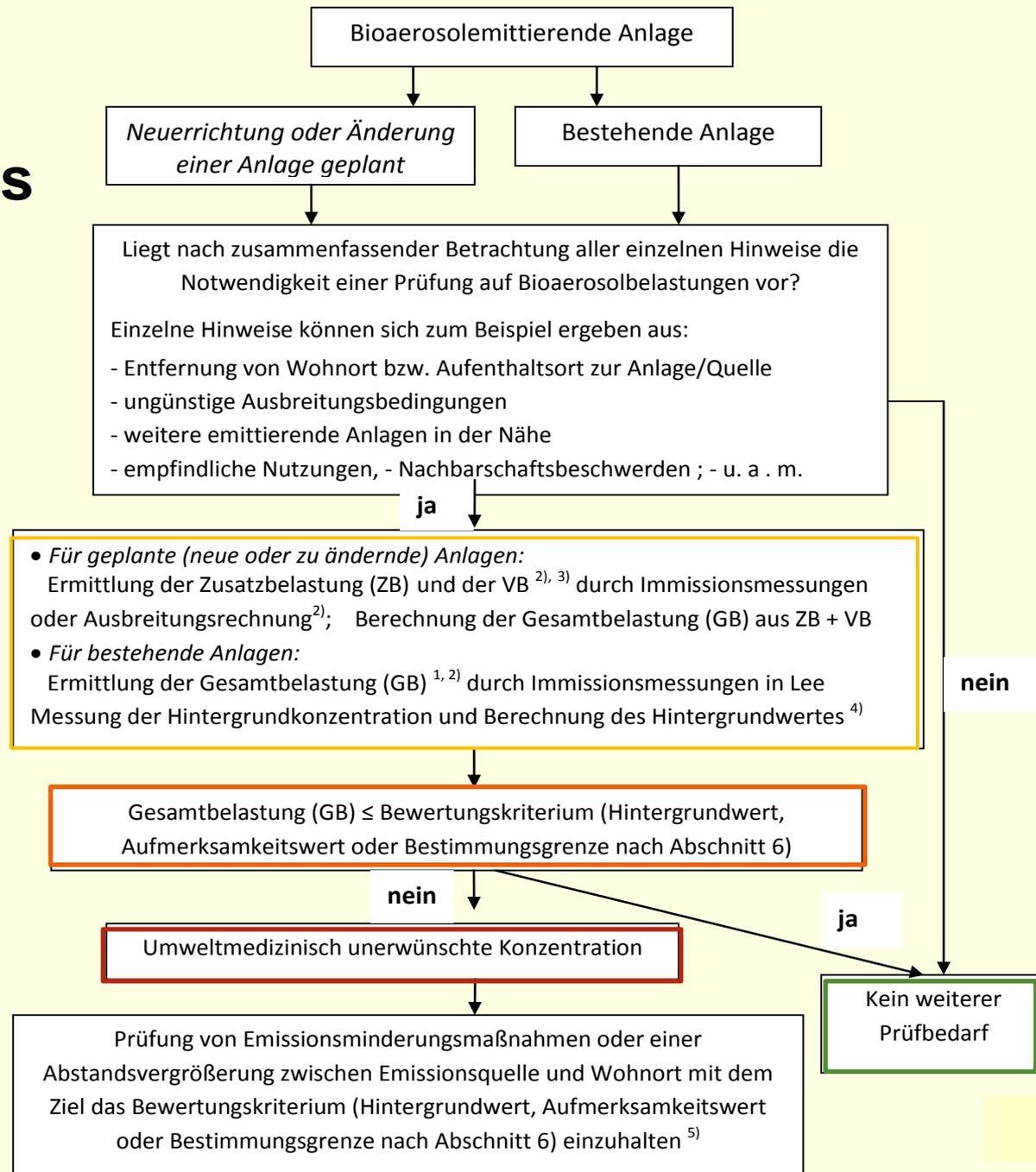
z.B.:

Einzelpezies von Schimmelpilzen (*Aspergillus fumigatus*): $5 \cdot 10^1$ KBE/m³
 (VDI 4252 Blatt 2 und VDI 4253 Blatt 2; Probenahmedauer 6 h)

Einzelpezies von Bakterien (*Staphylococcus aureus*): $8 \cdot 10^1$ KBE/m³
 (VDI 4252 Blatt 3 und VDI 4253 Blatt 3; Probenahmedauer 30 min)

Umwelt- medizinisches Prüfschema

VDI 4250-1-E Anhang A



VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen	VDI 4251 Blatt 3 Gründruck Juli 2013
-----------------------------------	---	--

Verfahren zur Immissionsprognose von Bioaerosolen

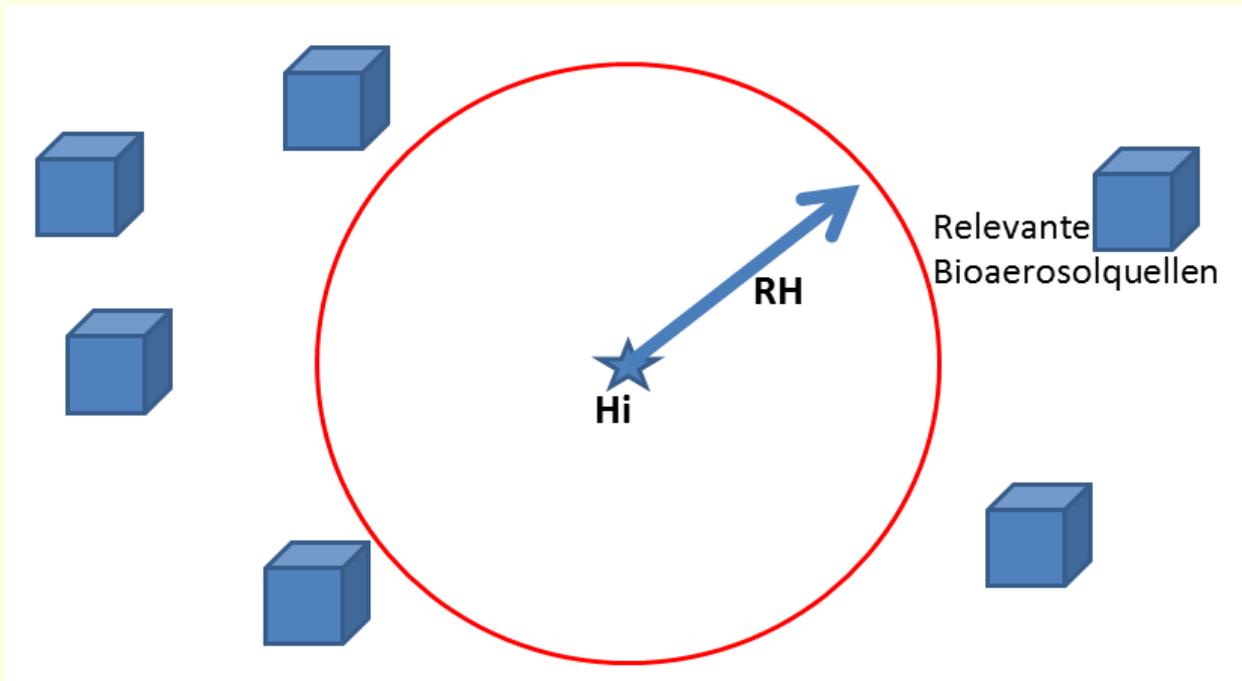
In Bezug auf die atmosphärischen Transporteigenschaften sind Bioaerosole Stäube. Das beschriebene Verfahren zur Immissionsprognose von Bioaerosolen stützt sich auf die Verfahren und Vorgaben des Anhang 3 der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) und die Empfehlungen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 13. (**AUSTAL2000, 2002** ist frei verfügbar).

Festlegung der Emissionen

Die Richtlinien VDI 4255 Blatt 1 und Blatt 2 geben einen Überblick zu Emittenten, Messparametern und Emissionsbedingungen. Ist weder die Verteilung auf die Korngrößenklassen noch ein mittlerer aerodynamischer Durchmesser bekannt, sind die Bioaerosole wie Staub der **Korngrößenklasse 1** zu behandeln. **Dies entspricht einer konservativen Abschätzung der luftseitigen Konzentration, da die Deposition hiermit eher unterschätzt wird.**

Atmosphärischer Transport

Die Bioaerosole werden mit der Luftströmung ausgebreitet. **Während des Transportes können sich die biologischen Eigenschaften eines Bioaerosols ändern (Anhang A „Absterberaten von Bioaerosolen“).** Im Gegensatz zur Änderung physikalischer Eigenschaften hat dies keine Auswirkung auf den Transportvorgang, sondern auf potenzielle **Wirkungen.**



Schematisches Beispiel für die Anforderung im Allgemeinen Fall an den Ort der Hintergrundmessung (H_i); es gilt $R_H \geq 3 \text{ km}$. H_i = Messort ; R_H = Radius für Hintergrundmessung ohne relevante Bioaerosolquelle im Messgebiet

VDI 4251 Blatt 2 „Ermittlung gebietstypischer Hintergrundkonzentrationen“

Messparameter, Messzeitraum, Häufigkeit der Messungen und Probenahmedauer

Für die Messplanung müssen der Messzeitraum und die Häufigkeit der Messungen, das heißt die Anzahl der Messtage und die Anzahl der Einzelmessungen, festgelegt werden. **Die aus-gewählten Messtage müssen die repräsentative Erfassung der jahreszeitlichen Schwankungen der Bioaerosolkonzentration während des Messzeitraums gewährleisten.**

In Anbetracht der gegebenenfalls starken Streuung der Außenluftkonzentration insbesondere von Gesamtpilzen und Gesamtbakterien führt eine höhere Anzahl von Messtagen zu Ergebnissen mit größerer Aussagesicherheit.

- **Am Messort Hi werden Probenahmen an mindestens zwölf Tagen im Zeitraum Mai bis Oktober durchgeführt.**
- **Probenahmedauer**
 - für Schimmelpilze: Probenahmedauer je Tag: 6 Stunden
 - für Bakterien: mindestens 5 Probenahmen je Tag, Probenahmedauer: 30 Minuten
 - mindestens 8 Tage Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Messtagen
- Die **Messparameter** sind nach VDI 4250 Blatt 3 auszuwählen (bis zum Erscheinen dieser Richtlinie gilt die Tabelle 1 in VDI 4255 Blatt 1)

Zusammenfassung

- **Bioaerosole** sind luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft, sie kommen natürlicherweise in der Luft vor.
- **Bestimmte Bioaerosole** können aus **Quellen** vermehrt emittiert werden: „landwirtschaftliche Anlagen, Anlagen der Abfallwirtschaft und zur Verwertung von Reststoffen“. Diese Bioaerosole können in der Nachbarschaft von Anlagen zu **gesundheitlichen Beeinträchtigungen** führen.
- Für die Außenluft ist im **VDI eine Reihe von Richtlinien zur Messplanung, Probenahme, Nachweis, zu Emissionen und Emissionsminderung, zur Ausbreitungsmodellierung und Bewertung** von Bioaerosol-Immissionen erstellt worden mit dem Ziel schädlichen Umwelteinwirkungen vorzubeugen und die Anwohner vor gesundheitlichen Wirkungen zu schützen.
- Aktuell sind weitere Richtlinienblätter zur **Erfassung der Hintergrundkonzentration** und eine **Tabelle mit anlagenspezifischen Leitparametern** kurz vor der Fertigstellung.
- Weitere VDI-Richtlinien sind in Vorbereitung. Sie befassen sich mit der Ermittlung der Vorbelastung, Emissionen (Emissionsfaktoren) und zu nicht-kulturbasierten Nachweisverfahren für Bioaerosole

Aktuelle neue Aktivitäten im VDI zu Bioaerosolen

- **VDI-AG „Bewertung von Legionellen-haltigen Aerosolen“** (VDI 4250 Blatt 2)
- **VDI-AG zur „Einschätzung der Vorbelastung** (VDI 4251 Blatt 4)
- **VDI-AG zu Emissionen (-faktoren) aus Geflügelställen** (VDI 4255 Blatt 3)
- **VDI-AG zu Quantifizierung von Bakterien in Bioaerosolen mittels quantitativer real time PCR** (VDI 4553 Blatt 6)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

