

Werkvertrag "Keime aus Kompostierungsanlagen - Überprüfung des Ausbreitungsverhaltens von Keimen im Vergleich zu dem von Gerüchen"

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG)

Ansprechpartner beim LfUG: Frau Dr. Hausmann (Ref. 42)
Tel.: 0351/8312 632
Fax: 0351/8312 623
e-Mail: Andrea.Hausmann@lfug.smul.sachsen.de

Auftragnehmer: TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH, Niederlassung Sachsen

Bearbeitungszeitraum: 1998

Zusammenfassung der Ergebnisse:

- 1 [Allgemeines zur Umweltrelevanz](#)
- 2 [Charakterisierung der Gerüche](#)
- 3 [Charakterisierung der Mikroorganismen](#)
- 4 [Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von Gerüchen und Mikroorganismen](#)
 - 4.1 [Gemeinsamkeiten](#)
 - 4.2 [Unterschiede](#)
 - 4.2.1 [Mikroorganismen](#)
 - 4.2.2 [Gerüche](#)
 - 4.3 [Zusammenstellung der Modellparameter](#)
 - 4.4 [Ergebnisse](#)
- 5 [Literatur](#)
- 6 [Anhang](#)
 - [Anhang 1: Hintergrundwerte am beabsichtigten Standort der Anlage](#)
 - [Anhang 2: Empfehlungswerte aus dem Bereich Arbeitsschutz](#)
 - [Anhang 3: Literaturangaben zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen](#)

Tabellen:

- Tab. 1: [Modellparameter und -rechnungen](#)
Tab. 2: [Entscheidungshierarchie zur Anwendung von Modelltypen in der Ausbreitungsrechnung](#)
Tab. 3: [Empfohlene Werte im Bereich Arbeitsschutz](#)
Tab. 4: [Literaturübersicht zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen aerogen vermittelter Noxen \(nach Diehl & Hofmann, 1996; TÜV, 1998\)](#)

1 Allgemeines zur Umweltrelevanz

In Anlagen zur Kompostierung wird - wie in allen Abfallbehandlungs- und -entsorgungsanlagen - mit Material umgegangen, das mit Mikroorganismen (Bakterien, Pilzen, Viren), Parasiten, Insekten, deren Stoffwechsel- bzw. Abbauprodukten, Staub und Geruchsstoffen belastet ist. Bei der Kompostierung wirken dann zahlreiche mesophile und auch thermophile Bakterien und Pilze an Ab- und Umbauprozessen zusammen. Bei der mechanischen Behandlung des Materials kann es zur Freisetzung von diesem organischen Staub in die Luft kommen. Dessen Aufnahme kann beim Menschen hauptsächlich über die Atemwege erfolgen. Partikel mit einem Durchmesser unter 2 µm gelangen bis in die Bronchien, unter 1 µm sogar bis in die Alveolen. Außerdem ist eine orale oder dermale Aufnahme möglich. Letztere ist besonders relevant bei vorgeschädigter Haut.

Durch den Anlagenbetrieb selbst werden außerdem Staub- und Lärmemissionen verursacht.

Emissionsquellen bzw. emissionsrelevante Betriebsvorgänge können sein:

- Anlieferung sowie Entladung, Lagerung und Aufbereitung von feuchtem, biologisch bereits aktivem Material
- "Stoßemissionen" beim Umsetzen
- Abluft der Hauptrotte, insbesondere Freisetzung aus frisch umgesetzten Mieten
- Freisetzung aus länger ruhender Hauptrotte und Nachrotte
- Abluft aus belüfteten Rottesystemen
- Restemissionen aus Abgasreinigungseinrichtungen (Biofilter/-wäscher)
- diffuse Quellen (geöffnete Tore, Verschmutzungen im Freien).

Die Menge und stoffliche Zusammensetzung der emittierten Gase ist - außer von der Zusammensetzung des Inputs (Kompostier- und Strukturmaterial) - abhängig von Umsetzintervall, Belüftung, Temperatur, pH-Wert, Feuchte. Bei der Mietenkompostierung spielen auch Mietengröße und -form eine Rolle.

[\[Top\]](#)

2 Charakterisierung der Gerüche

Hinsichtlich der Entstehung und Charakterisierung der Geruchsstoffe gilt:

- Zuerst treten die Geruchsstoffe auf, die bereits im Ausgangsmaterial der Kompostierung enthalten sind. Sie sind insbesondere auf Faul- und Gärstoffwechselprodukte zurückzuführen und weisen den typischen "Müllgeruch" auf.
- In Abhängigkeit von der Rottephase entstehen Geruchsstoffe unterschiedlicher Zusammensetzung. In der ersten Phase treten insbesondere organische Säuren (z. B. Butter- und Valeriansäure) auf. Während der anschließenden thermophilen Phase sind Ammoniak, Aminosäuren, Eiweiße und Kohlenhydrate für die Entstehung von Gerüchen verantwortlich. Es wurden bereits zahlreiche einzelne Geruchsstoffe identifiziert, die mit der Kompostierung in Verbindung zu bringen sind (z. B. durch Krauß et al., 1992).
- Bei unbefriedigender Rotteführung können anaerobe Zonen im Rottematerial entstehen, die zur Freisetzung besonders geruchsintensiver Fäulnis- und Gärstoffwechselprodukte (z. B. Schwefelwasserstoff, Merkaptane) führen.
- Im weiteren Verlauf der Kompostierung gehen die organischen Geruchsstoffanteile zurück, da ein weiterer Abbau der Zwischenprodukte zu CO₂ und H₂O erfolgt. Vom fertigen

Kompost geht ein erdiger und allgemein als angenehm empfundener Geruch aus.

Geruchsemissionswerte liegen nur für einzelne Anlagen und Betriebszustände vor. Die Übertragung auf andere Anlagen ist nicht ohne weiteres möglich. Die Geruchsstoffkonzentration im Reingas von funktionstüchtigen Biofiltern liegen etwa zwischen 100-500 GE/m³. Nach den vorliegenden Erfahrungen sind - vor allem in ländlich strukturierten Gebieten - diese Gerüche in einem Abstand von 100-150 m von der Emissionsquelle nicht mehr wahrnehmbar bzw. unterscheidbar. Dagegen wurden für Umsetzungsvorgänge im Freien 14.000 GE/m³ und mehr genannt. Für die Geruchsemission aus ruhenden Mieten liegen Messwerte - in Abhängigkeit von Rottezeit, Mietenform, und Materialzusammenstellung - von 100-7.000 GE/m³ vor.

[\[Top\]](#)

3 Charakterisierung der Mikroorganismen

Bei der Bewertung der gesundheitlichen Risikos ist zwischen obligat und fakultativ pathogenen Mikroorganismen zu unterscheiden. Bei sachgemäßer Kompostierung spielt hauptsächlich der ständige oder länger andauernde oder periodisch wiederkehrende Kontakt mit einer hohen Konzentration fakultativ pathogener Mikroorganismen eine Rolle.

Emissionswerte für Mikroorganismen aus Anlagen zur Kompostierung sind für die jeweilige Anlage, den Betriebszustand und das Messverfahren spezifisch und können nicht ohne weiteres auf andere Anlagen übertragen werden. Trotzdem können, z. B. aus den Untersuchungen des TÜV für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Mittelwerte aus Messungen innerhalb eines Jahres als Beispiele für die zu erwartenden Emissionen angegeben werden:

- nach Biofilter: 1,5*10⁴ KBE/m³ (dominiert durch Bakterien, Anzucht 37 °C; Schimmelpilze und Actinomyceten)
- ruhende Miete: keine relevante Emission
- freisetzungrelevante Tätigkeit im Freien: 1,8*10⁶ KBE/m³ (dominiert durch Actinomyceten).

Für diese Untersuchungen wurden insgesamt 15 mikrobiologisch unterscheidbare Vertreter von verfahrens- und umgebungstypischen sowie hygienerelevanten Mikroorganismen berücksichtigt:

- Schimmelpilze (Anzucht bei 22 °C, 30 °C mit jeweils 2 verschiedenen Nährmedien)
- Asperillus spp. (Anzucht bei 45 °C)
- Schwärzepilze (Anzucht bei 22 °C, 30 °C mit jeweils 2 verschiedenen Nährmedien)
- Gesamtbakterienzahl (Anzucht bei 22 °C, 37 °C)
- gramnegative Bakterien (Anzucht bei 37 °C)
- Pseudomonas aeruginosa (Anzucht bei 37 °C)
- Actinomyceten (Anzucht bei 30 °C, 50 °C).

Die Bestimmung der Mikroorganismen in der Luft ist immer noch mit größeren Unsicherheiten verbunden. Sie wurden/werden mit unterschiedlichen Messverfahren vorgenommen, da es kein optimales Verfahren zur Bestimmung der realen Belastungssituation der Luft gibt. Außerdem ist das Ausbreitungsverhalten von Mikroorganismen in der Umgebung entsprechender Emittenten von vielen Faktoren (Meteorologie, Topographie, Quellstärke, Bebauungsparameter, Größe und Masse der Partikel, Überlebensfähigkeit von pathogenen Organismen im luftgetragenen Zustand ...) abhängig.

Weiter fehlen bzw. sind nicht gesichert (Hofmann, 1996; Diehl & Hofmann 1996): Dosis-Wirkungsbeziehungen von pathogenen Mikroorganismen und Toxinen beim Menschen; Grenz-, Empfehlungs- oder Schwellenwerte einer aerogenen Belastung mit pathogenen Organismen oder Toxinen; epidemiologische Studien zu gesundheitlichen Risiken und Problemen im Umfeld von Kompostierungsanlagen; geeignete Parameter zur Beurteilung des Einflusses von Organismen und Toxinen auf den Gesundheitszustand von Personen; geeignete Indikatororganismen zur Erfassung von relevanten pathogenen Organismengruppen, Erkenntnisse zu möglichen additiven und synergistischen Effekten der Belastung durch die einzelnen Keimgruppen.

Wegen grundsätzlicher und methodischer Probleme bei der Aerosolerfassung ist folglich die Festsetzung von gesicherten Grenz- und/oder Richtwerten für luftgetragene Mikroorganismen gegenwärtig nicht möglich.

Zur Beurteilung kann deshalb nur der Vergleich der prognostizierten oder an vergleichbaren Anlagen/Standorten gemessenen Immissionswerte mit:

- (lokal und saisonal schwankenden) Hintergrundwerten am beabsichtigten Standort der Anlage
- einzelnen Literaturangaben zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen
- Empfehlungswerten aus dem Bereich Arbeitsschutz

herangezogen werden.

Dabei ist zunächst der Anlageneinfluss am Immissionsort durch Vergleich mit den (lokal und saisonal schwankenden) Hintergrundwerten (Anhang 1) am beabsichtigten Standort der Anlage zu prüfen. Ist Anlageneinfluss anzunehmen, muss dieser nach dem derzeitigen Wissensstand hinsichtlich möglicher negativer Auswirkungen auf die Bevölkerung bewertet werden:

- Werden Infektionsdosen oder allergieauslösende Schwellenwerte (Anhang 3) erreicht ?
- Werden Empfehlungswerte aus dem Bereich Arbeitsschutz (Anhang 2) überschritten ?
- Werden Vergleichsdaten aus der Literatur überschritten ?
- Werden maximale (standortspezifische) Referenzwerte überschritten ?
- Werden möglicherweise besonders sensible Nutzungen (z. B. Krankenhäuser, Kindereinrichtungen, Altenheime, Lebensmittelbetriebe) beeinflusst ?

[\[Top\]](#)

4 Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von Gerüchen und Mikroorganismen

4.1 Gemeinsamkeiten

Welche Aspekte des Ausbreitungsverhaltens von Mikroorganismen und Gerüchen in der Atmosphäre in die Beurteilung einzubeziehen sind, ist abhängig von:

- ihren chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften
- den räumlichen und zeitlichen Randbedingungen beim Emissionsvorgang
- dem erforderlichen "Verdichtungsgrad" der berechneten Konzentrationswerte (Einzelwerte für die konkrete meteorologische Situation, Dosiswerte, Berücksichtigung aller meteorologischen Situationen und nachfolgende Verdichtung auf Kenngrößen, wie z. B. Maximal- und Minimalwerte, Perzentile, Überschreitungshäufigkeiten.

Es können zwei grundsätzlich verschiedene Freisetzungsbedingungen unterschieden werden:

- geschlossene Anlage:
 - * Absaugung und Behandlung der Abluft erfolgt über einen Biofilter.
 - * Die Abluft wird in der Regel über die Filterfläche in einer Höhe von ca. 1,5-2 m über Erdgleiche abgeleitet (bodennahe Flächenquelle). In Einzelfällen erfolgt die Ableitung über einen Schornstein in die von Strömungshindernissen unbeeinflusste Atmosphäre (Punktquelle).
 - * Bei einer bodennahen Flächenquelle ist die bebauungsbedingte Luftströmung zu berücksichtigen.
 - * Diffuse Emissionen (z. B. zeitweise geöffnete Hallentore) können unberücksichtigt bleiben, wenn der Zeitanteil vernachlässigbar gering ist.
- offene Anlage:
 - * Abluft aus ruhenden Mieten und aus freisetzungrelevanten Tätigkeiten wird in Bodennähe emittiert.
 - * Die bebauungsbedingte Luftströmung ist zu berücksichtigen.

[\[Top\]](#)

4.2 Unterschiede

4.2.1 Mikroorganismen

Mikroorganismen treten in der Emission von Anlagen zur Kompostierung meist partikelgebunden oder auch als Aggregate auf. Für die Bewertung der Konzentrationen an den relevanten Aufpunkten ist zu berücksichtigen, dass die verfahrenstypischen Mikroorganismen (das sind die bei 30 °C und mehr angezüchteten) nach Inhalation wirksam werden können.

Daten zur **Größenverteilung** von Mikroorganismen bei unterschiedlichen freisetzungrelevanten Tätigkeiten, insbesondere in Abhängigkeit von Rottezeit und -material sowie Substratfeuchte, und unterschiedlichen Betriebszuständen und Betriebsweisen von Biofiltern fehlen jedoch. Beispielhaft und konservativ kann auf der Grundlage verschiedener Messungen und Daten zur Größe einzelner Mikroorganismen angenommen werden, dass 25 % der Partikel größer als 5 µm und 75 % kleiner oder gleich 5 µm (und damit lungen- bzw. alveolengängig) sind.

Luftgetragene Mikroorganismen werden entsprechend ihrer Größe und Dichte während der Ausbreitung über den Luftpfad abgelagert. Das Ausmaß der **Ablagerung** wird außerdem auch von den meteorologischen Bedingungen bestimmt. Die vorliegenden Messergebnisse deuten darauf hin, dass gewisse Fraktionen der Mikroorganismen einer Ablagerung unterliegen. Es kann beispielhaft angenommen werden, dass die Partikel kleiner bzw. gleich 5 µm keiner Ablagerung unterliegen. Für die größeren Partikel kann eine Absinkgeschwindigkeit von $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s angesetzt werden.

Das **Auswaschen** von luftgetragenen Mikroorganismen ist ein immissionsmindernder Vorgang, der von den am konkreten Standort auftretenden Regenhäufigkeiten abhängt. Es kann davon ausgegangen werden, dass nach anhaltendem Regen keine nennenswerten Konzentrationen von Mikroorganismen in der Luft vorliegen. Dieser Effekt kann berücksichtigt werden, wenn zeitlich ausgedehnte Mittelwerte (z. B. Jahresmittelwerte) berechnet werden sollen.

Eine **Inaktivierung** während der luftgetragenen Ausbreitung der Mikroorganismen kann nach den vorliegenden Messungen nicht zugrundegelegt werden, da die dominierenden Spezies Sporenbildner sind oder widerstandsfähige Zellwandstrukturen besitzen. Allerdings findet wegen fehlender Nährstoffe und ungünstiger Wachstumsbedingungen während der Ausbreitung über den Luftpfad auch keine relevante Vermehrung der Mikroorganismen statt.

4.2.2 Gerüche

Gerüche stellen eigentlich keine Stoffe, sondern die Wirkung von Stoffen auf die Sinnesorgane des Menschen dar. Diese Sinneswirkung ist im Fall der Abluft aus Anlagen zur Kompostierung auf ein Gemisch verschiedenartiger Stoffe zurückzuführen. Diese Einzelstoffe mit ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften sind nicht genau genug bekannt. So lassen sich keine Aussagen darüber machen, ob die Einzelstoffe:

- chemisch stabil (inert) sind oder in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen eine Umwandlung erfahren.
- gasförmig oder an Partikel gebunden sind und dadurch eine Sedimentation erfolgt.
- durch Absorption oder Adsorption an Hindernissen (Erdboden, Gebäude, Bewuchs) beeinflusst werden.

Für die Berechnung der Ausbreitung von Gerüchen kann gegenwärtig - im Sinne eines konservativen Ansatzes - nur von einem inerten Gas ausgegangen werden.

[\[Top\]](#)

4.3 Zusammenstellung der Modellparameter

Für die Vergleiche zum Ausbreitungsverhalten von Mikroorganismen und Gerüchen wurden eine kontinuierliche (Biofilter) und eine nichtkontinuierliche (Umsetzungsarbeiten an einer offenen Miete) Emissionsquelle berücksichtigt (vgl. Tab. 1). Da nicht alle Emissionsquellen (ruhende Miete, diffuse Quellen) enthalten sind und die übrigen Parameter von verschiedenen Standorten stammen, können die Ergebnisse nicht mit einer Immissionsprognose gleichgesetzt werden. Sie dienen ausschließlich zu Vergleichszwecken.

Tab. 1: Modellparameter und -rechnungen

Parameter	Gerüche				Mikroorganismen			
	Biofilter		Tätigkeit		Biofilter		Tätigkeit	
	Konzentration	250	GE/m ³	10.000	GE/m ³	1,48*10 ⁴	KBE/m ³	1,80*10 ⁶
Emissionsrate	4.166	GE/s	1,8*10 ⁴	GE/s	2,56*10 ⁵	KBE/s	4,80*10 ⁷	KBE/s
Volumenstrom	2x30.000	m ³ /h	-	-	2x30.000	m ³ /h	-	-
Quellhöhe	1,5	m	1,5	m	1,5	m	1,5	m
Temperatur	20	°C	25	°C	20	°C	25	°C
Dimension d. Quelle	2x 12m*	42 m	17,5	m ²	2x 12m*	42 m	150	m ³
			150	m ³				
Inaktivierung	keine		keine		keine		keine	
Partikeleigenschaften	-		-		75 %:	5 µm	75 %:	5 µm
					25 %:	2 µm	25 %:	2 µm
Ablagerungsgeschwindigkeit	-		-		1,5*10 ⁻³	m/s	1,5*10 ⁻³	m/s
Emissionsdauer	kontinuierlich		1	h	kontinuierlich		1	h

Wetterdaten	Leipzig		Leipzig		Leipzig		Leipzig	
Orographie	Ebene		Ebene		Ebene		Ebene, Strömungshind.	
Rechnungen								
Jahresbetrachtung (Gauß, Lagrange)	x				x			
Einzelfall, mittl. Ausbreitungsbed. ^{a)} (Gauß, Lagrange)			x				x	
Einzelfall, ungünstigste Ausbr.bed. ^{b)} (Gauß, Lagrange)			x				x	
Einzelfall, ungünstigste Ausbr.bed. ^{b)} mit Ström.hindernis (Lagrange)							x	

a) Windgeschwindigkeit 4,5 m/s, Ausbreitungskategorie D

b) Windgeschwindigkeit 1,0 m/s, Ausbreitungskategorie E

[\[Top\]](#)

4.4 Ergebnisse

Für die **Jahresbetrachtung** sind die Unterschiede zwischen den Berechnungen mit dem Gauß- und mit dem Lagrange-Modell abgesehen von den Werten in unmittelbarer Quellnähe erwartungsgemäß gering. Geruchshäufigkeiten über 10 % wurden bis zu einer maximalen Entfernung von 300 m von der Emissionsquelle ermittelt. Die Konzentration der Mikroorganismen nimmt in einer Entfernung von ca. 300 m von der Quelle auf etwa 1 % ab.

Die Einzelfallbetrachtung für **emissionsrelevante Tätigkeit im Freien** ergab für die beiden Modelle nach Gauß und Lagrange nur geringe Unterschiede. Die Geruchseinwirkung der Anlage ist im berechneten Fall bis zu einer Entfernung von ca. 1 km deutlich wahrnehmbar. Der zusätzliche Keimeintrag fiel dagegen bei dem häufigsten bereits ab 400 m, im ungünstigsten Ausbreitungsfall erst ca. um 1 km in den Größenordnungsbereich des natürlichen Hintergrundes.

In der Einzelfallbetrachtung unter Berücksichtigung eines großen Gebäudes als Strömungshindernis ergibt das Lagrange-Modell an der angeströmten Gebäudeseite eine deutlich Erhöhung der Immissionskonzentration. An relevanten Aufpunkten - seitlich versetzt zur Zentralachse - können außerdem Werte im oberen und mittleren Bereich von 10^3 KBE/m³ Luft auftreten.

Die Berechnung unter den dargestellten Randbedingungen lässt vermuten, dass die **Geruchswahrnehmungen tendenziell weitreichender** sind als relevante Anlageneinflüsse durch Keime. Die berechneten Werte für Mikroorganismen und Gerüche stehen nicht im Widerspruch zu *an anderen Standorten und Anlagen* gemessenen Werten, z. B.:

- Biofiltereigengeruch in ca. 100-150 m Entfernung nicht mehr wahrnehmbar bzw. unterscheidbar
- Anlageneinfluss bzgl. Mikroorganismen bei Emission über Biofilter nach 100-200 m nicht mehr nachweisbar
- Umsetzungsvorgänge bei offenen Mieten können Riechweiten bis 1 km und mehr erreichen
- Anlageneinfluss bzgl. Mikroorganismen durch Umsetzungsvorgänge bei offenen Mieten konnte bis 500 m nachgewiesen werden.

Grundsätzlich können ungünstige meteorologische Ausbreitungssituationen im Vergleich zu den häufigen meteorologischen Bedingungen zu erheblichen Schwankungen an relevanten Aufpunkten führen. Für genehmigungsrelevante Entscheidungen im Zusammenhang mit Mikroorganismenemissionen (hohe Immissionen können mit gesundheitlichen Auswirkungen in Verbindung stehen) sind deshalb in jedem Fall für jeden Standort ungünstige und häufige meteorologische Ausbreitungssituationen zu berücksichtigen.

Auf der Grundlage der Bedingungen am konkreten Standort ist zu entscheiden, welches Ausbreitungsmodell dem Problem am besten gerecht werden kann. Dabei sollte auch die Verhältnismäßigkeit der Aufwendungen gewahrt werden. Ein Schema zur Entscheidungsfindung bei Geruchs- und Keimimmissionsprognosen wurde vom TÜV erarbeitet (geringfügig modifiziert durch das LfUG; vgl. Tab.2). Grundsätzlich zeichnet sich zunehmend ab, dass für kompliziertere Standorte Partikelmodelle zukünftig bevorzugt empfohlen werden.

Tab. 2: Entscheidungshierarchie zur Anwendung von Modelltypen in der Ausbreitungsrechnung (modifiziert nach TÜV, 1998)

Nr.	Frage, Entscheidung	wenn ja, gehe zu	wenn nein, gehe zu
1	Entfernungsbereich <200 m für Beurteilung relevant ?	4	2
2	"Screening" mit Gauß-Modell nach TA Luft: Emissionsrelevanz gegeben ?	3	4
3	Bodennahe Freisetzung (Mietenoberfläche, Biofilter) und Kaltluftentstehungsgebiete im Quellbereich und/oder Luv ?	5	6
4	Bodennahe Freisetzung (Mietenoberfläche, Biofilter) und Kaltluftentstehungsgebiete im Quellbereich und/oder Luv ?	7	8
5	Berechnung mit Gauß-Modell nach TA Luft für Stabilität V, IV, III/2, III/1, II, Berechnung mit Kaltluftmodell (z. B. CALM) und Zuordnung zu Stabilität I		
6	Berechnung mit Gauß-Modell nach TA Luft für alle Stabilitätsklassen		
7	Berechnung mit Modellpaket Strömungsmodell/Partikelmodell (z. B. LASAT) für Stabilität V, IV, III/2, III/1, Berechnung mit Kaltluftmodell (z. B. CALM) und Zuordnung zu Stabilität I		
8	Berechnung mit Modellpaket Strömungsmodell/Partikelmodell (z. B. LASAT) für alle Stabilitätsklassen		

[\[Top\]](#)

5 Literatur

DEININGER, CH. (1998): Vorschlag eines Richtwertes für Endotoxin. - In: Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft 58 (1998), S. 23

DIEHL, K & HAGENDORF, U. (1998): Datensammlung Biotexte - Erhebungen, Bewertung, Empfehlungen. - UBA Texte 9/98, Berlin.

DIEHL, K. & HOFMANN, R. (1996): Literaturstudie zu Hygieneproblemen von Kompostieranlagen unter Berücksichtigung der möglichen Gesundheitsgefahren in der Nähe lebender Anwohner. - Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Heft 11/96, Berlin.

GERBL-RIEGER, S.; FANTA, D.; DANNEBERG, D.; THELEN, R. & SIMON, R. (1998): Messungen zur Ausbreitung luftgetragener Keime aus Kompostwerken und Anaerobanlagen. - In: Fachtagung "Gesundheitliche Risiken durch Keimemissionen bei Einsammeln, Transport und Verarbeitung häuslicher Abfälle", DVG-Workshop "Methoden der Sammlung und des Nachweises luftgetragener Bakterien und Pilze sowie deren Endo- und Exotoxine", 25. und 26. März 1998, Tagungsband, S. 115-148, Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V., Gießen.

GRONAUER, A.; HELM, M. & SCHÖN, H. (1997): Verfahren und Konzepte der Bioabfallkompostierung, Vergleich - Bewertung - Empfehlungen. - In: Bioabfallkompostierung, Verfahren und Verwertung; Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, Heft 139, München.

HOFMANN, R. (1996): Hygiene bei der Kompostierung. - In: Neue Techniken der Kompostierung - Dokumentation des 2. BMBF-Statusseminars "Neue Techniken der Kompostierung" in Hamburg vom 6.-8. November 1996, Hamburger Berichte 11, Abfallwirtschaft, Technische Universität Hamburg-Harburg, S. 151-165, Economica Verlag, Stegmann, R. (Hrsg.), Bonn.

KRAUB, P.; KRAUB, TH.; MAYER, J. & WALLENHORST, TH. (1992): Untersuchung zur Entstehung und Verminderung von Gerüchen bei der Kompostierung. - In: Staub - Reinhaltung der Luft, 52 (1992), S. 245-250.

LINSEL, G. & KUMMER, E. (1998): Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz, Preprint für Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 1998

ZESCHMAR-LAHL, B. & LAHL, U. (1997): Arbeitsschutz und Umwelthygiene bei der Planung, Genehmigung und Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen. - In: Wasser & Boden, 49. Jahrg., 10/1997, S. 5-15.

[\[Top\]](#)

7 Anhang

Anhang 1: Hintergrundwerte am beabsichtigten Standort der Anlage

Die Hintergrundbelastung am vorgesehenen Standort der Anlage stellt einen wichtigen Vergleichsmaßstab dar. Sie ist deshalb *sehr sorgfältig* zu bestimmen. Literaturwerte können mit herangezogen werden. Das angewandte Messverfahren sollte dafür bekannt sein. Lokale und saisonale Schwankungen, auch der Einfluss weiterer Nutzungen (z. B. landwirtschaftliche Anlagen, Kläranlagen) sind zu berücksichtigen.

Es hat sich gezeigt, dass in Abhängigkeit von den gewählten mikrobiologischen Parametern in unterschiedlichen Entfernungen Anlageneinfluss nachgewiesen werden kann. Die Schimmelpilzgehalte in der Luft liefern im Allgemeinen weniger deutliche Unterscheidungsmöglichkeiten. Actinomyceten und die GKZ Bakterien 37 °C sind sensitive Parameter, mit denen an relevanten Aufpunkten der Umgebung

Anlageneinfluss nachgewiesen oder ausgeschlossen werden kann (Gerbl-Rieger et al., 1998).

Neben der quantitativen Abweichung eines Parameters vom Referenzwert kann auch das Verhältnis zweier Parameter zum Nachweis des Anlageneinflusses herangezogen werden. Als besonders gut geeignet haben sich die folgenden Quotienten erwiesen (Gerbl-Rieger et al., 1998):

- Schimmelpilze (30 °C, Malz)/Actinomyceten 50 °C
- Schimmelpilze (22 °C, Malz)/Actinomyceten 50 °C
- Schwärzepilze (22 °C, Malz)/Actinomyceten 50 °C;

gut geeignet sind:

- Schimmelpilze (30 °C, Malz)/Actinomyceten 30 °C
- Schimmelpilze (22 °C, Malz)/Actinomyceten 30 °C
- Schwärzepilze (22 °C, Malz)/Actinomyceten 30 °C
- Schimmelpilze (30 °C, Malz)/GKZ Bakterien 37 °C
- Schimmelpilze (22 °C, Malz)/ GKZ Bakterien 37 °C
- Schwärzepilze (22 °C, Malz)/ GKZ Bakterien 37 °C.

[\[Top\]](#)

Anhang 2: Empfehlungswerte aus dem Bereich Arbeitsschutz

Für den Bereich Arbeitsschutz vorliegende Werte können als Anhaltspunkte zur Beurteilung von Keimimmissionen dienen. Dies sind die von den Bundesländern Niedersachsen und Thüringen unter dem Vorsorgegedanken für Gesamtkeimzahl und Endotoxine festgelegten technischen Überwachungswerte für die Wirksamkeit lüftungstechnischer Maßnahmen für Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen, die vom Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik übernommen wurden. Weitere Werte liegen auch aus anderen Ländern vor (vgl. [Tab. 3](#)).

Tab. 3: Empfohlene Werte im Bereich Arbeitsschutz

Kategorie	Grenzwert	Quelle	Bemerkungen
Endotoxine	50 EU/m ³ (entspricht 4-5 ng/m ³)	Deininger (1998), Linsel & Kummer (1998)	vom ABAS vorgeschlagener 8h- Mittelwert der Luft am Arbeitsplatz, EU = Endotoxin Units; Messung nach Messverfahren für Gefahrstoffe, BIA- Arbeitsmappe Nr. 9450, 19. Lfg. XI/97, S. 1-7, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
	0,1 µg/m ³	zit. in Zeschmar-Lahl & Lahl (1997)	empfohlener Wert für zulässige Belastung der Atemluft am Arbeitsplatz: Dänemark
	0,1-0,2 µg/m ³		technischer Überwachungswert für die Wirksamkeit lüftungstechnischer Maßnahmen für Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen: Niedersachsen, Thüringen, Rheinland-Pfalz, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik

Gesamtkeimzahl	10.000 KBE/m ³	zit. in Zeschmar-Lahl & Lahl (1997)	technischer Überwachungswert für die Wirksamkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen für Arbeitsplätze in Wertstoffsortieranlagen: Niedersachsen, Thüringen, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
Bakterien	10.000 KBE/m ³	zit. in Zeschmar-Lahl & Lahl (1997)	empfohlener Wert für zulässige Belastung der Atemluft am Arbeitsplatz: Dänemark, Schweden
Gramnegative Bakt.	1.000 KBE/m ³	zit. in Zeschmar-Lahl & Lahl (1997)	empfohlener Wert für zulässige Belastung der Atemluft am Arbeitsplatz: Dänemark

[\[Top\]](#)

Anhang 3: Literaturangaben zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen

Als Hinweis auf die gesundheitliche Relevanz der Exposition gegenüber Keimen und Toxinen können Beispiele aus der Literatur zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen aerogen vermittelter Noxen dienen (vgl. Tab. 4). Bei diesen Werten handelt es sich jeweils um einzelne Krankheitsbefunde, die nicht verallgemeinert werden können.

Tab. 4: Literaturübersicht zu krankheitsauslösungsrelevanten Dosen aerogen vermittelter Noxen (nach Diehl & Hofmann, 1996; TÜV, 1998)

Autor(en)	Noxe	Konzentration	Krankheitsbefunde
Rylander nach Malmros & Petersen, 1988	Endotoxin	500-1.000 ng/m ³	Fieber
		300- 500 ng/m ³	Brustbeklemmung
		100- 200 ng/m ³	Verminderung des 1 s- Ausatemvolumens
		ng/m ³	Bronchitis (unklar)
		50 ng/m ³	
Castellan et al., 1987	Endotoxin	50 ng/m ³	Verminderung des 1 s- Ausatemvolumens
Millner et al., 1994	Endotoxin	20-50 ng/m ³	Schleimhautirritation
		100- 200 ng/m ³	chronische Bronchitis
zit. n. Miller, 1994	Endotoxin	1*10 ³ - 2*10 ³ ng/m ³	Organic Dust Toxic Syndrom
Eduard et al., 1993	Schimmelpilzsporen	1*10 ⁶ KBE/m ³	Schleimhautirritation, Organic Dust Toxic Syndrom
Malmberg et al., 1988	Schimmelpilzsporen	1*10 ⁶ - 1*10 ⁹ KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis
Rylander, 1986	Schimmelpilzsporen	>10 ⁸ KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis

Lacey, 1981	Schimmelpilzsporen	$>10^6$	KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis
Fogelmark et al., 1991	Aspergillus fumigatus	$1*10^7$ - $1*10^8$	KBE/m ³	Organic Dust Toxic Syndrom
Land et al., 1987	Aspergillus fumigatus	$>1*10^8$	KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis
Göttlich et al., 1994	Aspergillus fumigatus	10^6	KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis
LEA Advisory, 1993	Alternaria spec.	100	KBE/m ³	allergische Symptome
LEA Advisory, 1993	Cladosporium spec.	$3*10^3$	KBE/m ³	allergische Symptome
Malmberg, 1991	Schimmelpilzsporen/ Actinomyceten	$>10^9$ $>10^{10}$	KBE/m ³ KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis akute Symptome
Rylander et al., 1982	Actinomyceten	$>10^8$	KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis
Lacey, 1981	Actinomyceten	10^6 - 10^{10}	KBE/m ³	Exogen allergische Alveolitis

[\[Top\]](#)