

Neues Verfahren zur On-line-Messung luftgetragener Keime

Dr. Thomas Missel, Labor für Arbeits- und Umwelthygiene, Hannover und Univ.-Prof. Dr. Jörg Hartung, Institut für Tierhygiene und Tierschutz der Tierärztlichen Hochschule, Hannover

Zusammenfassung

Die mit der Korrelierten Partikelzählung in Abfallbehandlungsanlagen gemessenen Verlaufskurven der Luftkeimkonzentrationen zeigen neben den häufig diskutierten kurzzeitigen Schwankungen auch längerfristige Schwankungen um Größenordnungen. Die Ursachen für die längerfristigen Schwankungen der Luftkeimkonzentrationen sind vielfältig und werden offensichtlich nicht durch eine diskontinuierliche Leistungsfähigkeit technischer Schutzmaßnahmen verursacht. In vielen Fällen können die inhomogenen Keimemissionen und -immissionen an Arbeitsplätzen auf veränderte klimatische oder betriebsorganisatorische Randbedingungen zurückgeführt werden. Die unregelmäßigen Verläufe der Luftbelastungen an Arbeitsplätzen durch Mikroorganismen erschweren eine Einschätzung dessen, ob ein Technischer Kontrollwert (TKW) als sicher eingehalten gilt oder aber eine Nachrüstung bzw. Erweiterung einer technischen Schutzmaßnahme erforderlich ist.

Die in dieser Arbeit gezeigten Ergebnisse machen die Notwendigkeit einer umfassenden Arbeitsbereichsanalyse deutlich, sofern technische Schutzmaßnahmen in bezug auf die Einhaltung eines TKW überprüft werden. Stichpunktmessungen sind in vielen Fällen gänzlich ungeeignet für die Überprüfung der Einhaltung eines TKW. Für eine realistische Einschätzung des Wirkungsgrades einer Schutzmaßnahme ist in den häufigsten Fällen die Kenntnis der Verläufe der Luftbelastung bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen der Anlage während einer Schicht erforderlich. In der Korrelierten Partikelzählung kann ein sehr praktikables Verfahren zur kontinuierlichen Keimmessung gesehen werden. Mit den Verlaufskurven können betriebsorganisatorische oder technische Mängel aufgezeigt und Verbesserungsmöglichkeiten von Schutzmaßnahmen abgeleitet werden.

1 Einleitung

Bakterien und Schimmelpilze kommen als Destruenten organischen Materials ubiquitär in der Natur vor und sind somit immer und überall in mehr oder weniger hohen Konzentrationen in der Luft nachweisbar. Arbeitnehmer, die in der Landwirtschaft oder im Bereich der Abfall- und Recyclingwirtschaft beschäftigt sind, werden häufig mit hohen Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen belastet, wobei das Ausmaß der Belastung um Größenordnungen über dem natürliche Niveau liegen kann. An diesen Arbeitsplätzen können auch von solchen Mikroorganismen Krankheiten ausgelöst werden, die üblicherweise für die Gesundheit als eher ungefährlich einzustufen sind. Zu einer Gefährdung der Gesundheit kann es z.B. kommen, wenn Mikroorganismen, die an den Arbeitsstoffen anhaften, in der Atemluft angereichert und von den Beschäftigten über längere Zeiträume hinweg eingeatmet werden [1]. In der Abfallaufbereitung und -sortierung kann dies der Fall sein, da Keimquellen mit hoher Quellenstärke wie Zerkleinerer und Sortiermaschinen aber auch Transport- und Sortierbänder oder offene Schüttungen meist baulich umfasst sind. Die freigesetzten Mikroorganismen können nur mit großem technischem Aufwand unmittelbar an den Emissionsquellen erfaßt werden, weshalb bei den Schutzmaßnahmen Raumbelüftungsanlagen meist der Vorzug gegenüber einer Kapselung und Absaugung potentieller Emissionsquellen gegeben wird. Ein ausreichender Schutz der Beschäftigten vor luftgetragenen Mikroorganismen kann allerdings nur mit solchen Lüftungstechnischen Einrichtungen erreicht werden, die sich durch einen besonders hohen Wirkungsgrad auszeichnen.

Zum Schutz der Arbeitnehmer vor Biologischen Arbeitsstoffen werden geeignete technische und betriebsorganisatorische Schutzmaßnahmen in Facharbeitskreisen des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) erarbeitet und in Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) veröffentlicht. In der TRBA 211 wurde für Biologische Abfallbehandlungsanlagen im Jahre 2001 erstmals ein Technischer Kontrollwert (TKW) zur Überprüfung der Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen etabliert [2]. Die Überprüfung des TKW (5×10^4 KBE/m³) durch Messungen geschieht auf der Basis kultureller Methoden, mit denen die aus der Luft gesammelten Mikroorganismen nachgewiesen werden. Die kulturellen Verfahren sind jedoch relativ unpräzise, weshalb eine Überschreitung des TKW um 100 % toleriert wird. Aufgrund des Stichprobencharakters der derzeit angewandten Meßverfahren für luftgetragene Mikroorganismen gehen bei den Messungen wichtige Informationen über die Verläufe der Luftbelastungen verloren, was die Aussagekraft

der Meßwerte sehr stark einschränken kann. Schließlich können die Konzentrationen luftgetragener Mikroorganismen an den meisten Arbeitsplätzen innerhalb weniger Minuten um mehrere Größenordnungen schwanken. Neben diesen kurzfristigen, meist von den momentanen Arbeitsabläufen abhängigen Veränderungen der Luftkeimkonzentrationen im Sekunden- bis Minutenbereich können in Abfallbehandlungsanlagen immer wieder größere Schwankungen der „Hintergrund-Konzentrationsniveaus“, die im Bereich von Stunden bis Tagen stattfinden, beobachtet werden. Die Schwankungen der Hintergrundbelastungen können z.B. durch Änderungen der Betriebsabläufe, des Raumklimas am Arbeitsplatz oder durch die „Tagesform“ bzw. die Anzahl der Beschäftigten (z.B. in Sortierkabinen) verursacht werden.

Diese Gegebenheiten machen bei der meßtechnischen Überprüfung vorhandener Schutzmaßnahmen die Verfügbarkeit von Meßverfahren, mit denen die Luftkeimkonzentrationen kontinuierlich gemessen werden können und anhand derer eine realistische Einschätzung des Wirkungsgrades ermöglicht wird, erforderlich. In dem Verfahren der „Korrelierten Partikelzählung“ könnte ein geeignetes Instrument zur kontinuierlichen Messung der Mikroorganismen-Konzentrationen gesehen werden. Das Verfahren beruht auf dem statistischen Verhältnis zwischen den Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen einerseits und Staubpartikeln mit Mikroorganismen-relevanter Größe auf der anderen Seite. Bei Kenntnis des statistischen Verhältnisses - es wird durch lineare Regression der Befunde zeitlich und räumlich assoziierter Staubpartikel- und Keimmessungen bestimmt - können die Verläufe der Konzentrationen luftgetragener Mikroorganismen aus kontinuierlich gemessenen Staubpartikel-Konzentrationen errechnet und anschließend grafisch dargestellt werden [3]. In dieser Arbeit werden einige Beispiele aus der Meßpraxis mit der Korrelierten Partikelzählung in Sortierkabinen von Abfallbehandlungsanlagen gezeigt. Die Ergebnisse verdeutlichen die komplexen Randbedingungen bei der messtechnischen Überprüfung der Einhaltung eines TKW in diesen Bereichen.

2 Material und Methoden

Bei dem Verfahren der „Korrelierten Partikelzählung“ werden zunächst mehrere Luftkeim- und Staubpartikelmessungen zeitparallel und räumlich eng verbunden durchgeführt. Die Meßzeiten jeder dieser bis zu 12 Einzelprobenahmen betragen zwischen 20 und 30 Minuten. Für die Staubbmessungen werden Partikelzählgeräte (Grimm, Ainring) eingesetzt, mit denen die Erfassung der Partikelzahl in 1-minütigen Intervallen nach dem Streulichtprinzip in 15 unterschiedlichen Partikelfractionen

zwischen 0,3 und größer 20 µm Teilchendurchmesser möglich ist. Die Keimmessungen erfolgen mit der Filtrationsmethode mit dem PGP-GSP-System (Ströhlein, Kaarst). Die Probenahmen wurden ortsfest an Stativen in etwa 1,5 m Höhe durchgeführt. Die Bestimmung der Schimmelpilz-Konzentrationen erfolgte mit der indirekten Methode der TRBA 430. Als Nährmedien für die Schimmelpilze DG 18-Agar (Oxoid) verwendet, die Kultivierung der Schimmelpilze erfolgte bei 25 °C. Die klimatischen Umgebungsparameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden ebenfalls kontinuierlich in 1-Minuten-Intervallen gemessen. Die Untersuchungen wurden in den Sortierkabinen von zwei Wertstoffsortieranlagen (WSA) und drei Bioabfallkompostierungsanlagen (BAK) durchgeführt.

3 Ergebnisse

In Abb. 1 sind die an zwei Tagen innerhalb eines Zeitraumes von drei Wochen im Jahre 2001 gemessenen Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine der WSA Nr. 1 zusammengefasst. Die Sortierkabine der WSA Nr. 1 ist mit einer schlichten Verdünnungslüftung älteren Bautyps ausgestattet. Verdünnungslüftungen sind i.d.R. nicht in der Lage, am Sortierband emittierte Staubpartikel rasch Absaugvorrichtungen zuzuführen, so daß es an den Arbeitsplätzen im Laufe der Sortierung zu einer Aufkonzentrierung luftgetragener Mikroorganismen kommen kann.

An den beiden Meßtagen wurden in der Sortierkabine der WSA Nr. 1 sehr unterschiedliche Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen erhalten. Während die Luftbelastung durch Schimmelpilze am 15.01.2001 konstant im Bereich 1×10^5 bis 2×10^5 KBE/m³ lag, wurden am 09.02.2001 stark zerklüftete Verläufe mit Konzentrationsspitzen bis 10^6 KBE/m³ beobachtet. Die sehr heterogenen Verlaufsformen resultierten aus einer unterschiedlichen Aktivität der Sortierer an den beiden Meßtagen. Am 09.02.2001 mussten Abfallsäcke, die vom Sackaufreißer nicht zerkleinert worden waren, per Hand aufgerissen werden. Der Inhalt wurde auf das Sortierband geleert, was zu den festgestellten hohen Konzentrationsspitzen bis 10^6 KBE/m³ führte. Die bei diesen Arbeiten emittierten Mikroorganismen konnten aufgrund des niedrigen Wirkungsgrades der vorhandenen Verdünnungslüftung in der gesamten Sortierkabine verteilt und aufkonzentriert werden.

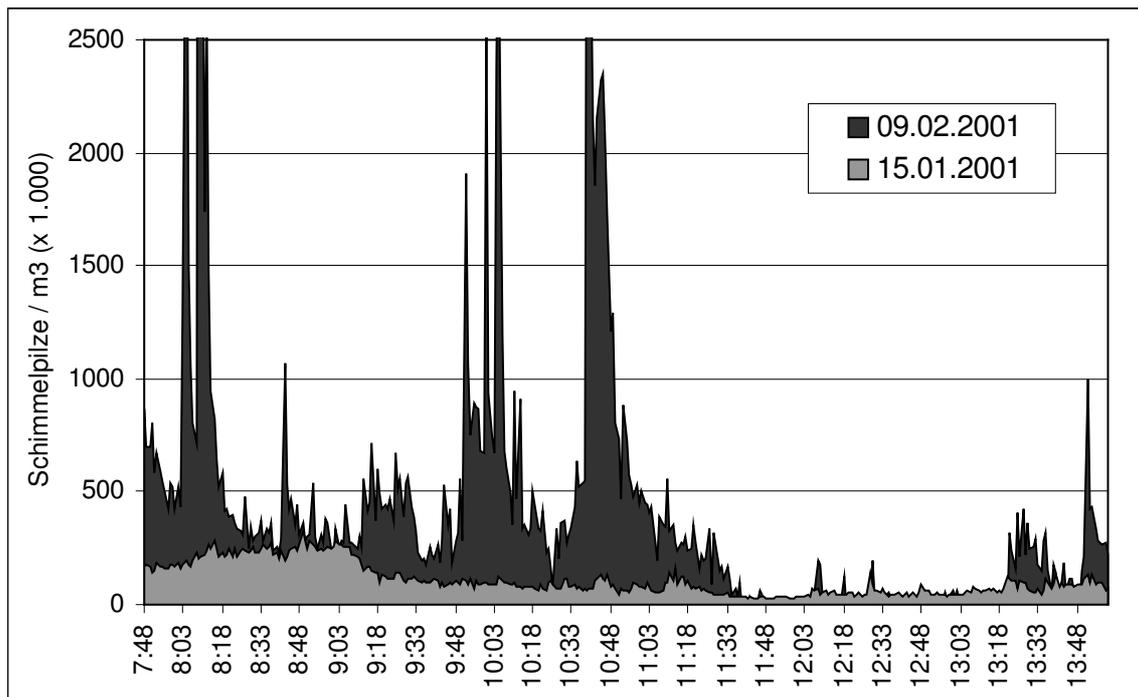


Abb. 1: Verläufe der Konzentrationen luftgetragener Schimmelpilze in der Sortierkabine der WSA Nr. 1 an zwei Tagen im Jahre 2001. Die Schichtmittelwerte lagen am 15.01.2001 bei $1,0 \times 10^5$ KBE/m³ und am 09.02.2001 bei $4,3 \times 10^5$ KBE/m³.

Der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen betrug am 15.01.2001 in der Sortierkabine der WSA $1,0 \times 10^5$ KBE/m³. Dieser Wert liegt noch innerhalb des Toleranzbereichs des Technischen Kontrollwerts (TKW) für Kompostierungsanlagen, so daß die Lüftung als ausreichend wirksam eingestuft werden könnte. Am 09.02.2001 betrug die durchschnittliche Luftbelastung mit $4,3 \times 10^5$ KBE/m³ jedoch das 4-fache dessen, was am 15.01.2001 gemessen wurde, so daß der TKW für Kompostierungsanlagen deutlich überschritten wurde. Die Anzahl der Sortierer, insbesondere jedoch die Aktivität des Personals führten an den beiden Tagen zu den so heterogenen Messbefunden in der Sortierkabine. Die Einhaltung eines TKW wurde in dieser Anlage also maßgeblich von der momentanen Betriebsorganisation beeinflusst.

In Abb. 2 auf der folgenden Seite sind die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine einer anderen Wertstoffsortieranlage an zwei Tagen im Jahre 2001 gezeigt. Die Sortierkabine der WSA Nr. 2 ist ebenfalls nur mit einer vergleichsweise einfach konzipierten Verdünnungslüftung ausgestattet, die

Luftwechselrate jedoch deutlich höher als in der WSA Nr. 1. Die Abwurfschächte sind in dieser WSA nicht mit Klappen verschließbar, außerdem fehlen dicht schließende Lamellenvorhänge an den Banddurchführungen. Dies führt dazu, daß keimbelastete Luft aus der umgebenden Anlagenhalle in die Sortierkabine eindringen kann, sofern hierfür die klimatischen Bedingungen innerhalb der Anlage gegeben sind.

Die am 05.03. und 07.06. im Jahre 2001 gemessenen schichtmittleren Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine der WSA Nr. 2 lagen bei 5×10^3 KBE/m³ bzw. $3,7 \times 10^5$ KBE/m³. Die Schichtmittelwerte unterschieden sich an den beiden Meßtagen somit um annähernd zwei Größenordnungen. Während die erste Bemessung der Sortierkabine gemäß den Kriterien der TRBA für Kompostierungsanlagen eine sehr gute Wirksamkeit der Lüftung ergab, wurde der TKW bei der zweiten Beprobung der Sortierkabine deutlich überschritten.

Die heterogenen Messbefunde in der Sortierkabine der WSA Nr. 2 wurden durch die unterschiedlichen Außentemperaturen an den beiden Untersuchungstagen verursacht. Am 05.03.2001 herrschten winterliche Außentemperaturen von 0 bis 5 °C vor, so daß der Verpackungsmüll aufgrund der verminderten Wachstumsrate der Mikroorganismen geringer belastet war, als dies im Juni des Jahres der Fall war. Es ist daher verständlich, daß am 05.03.2001 niedrigere Keimemissionen in der Sortierkabine gemessen wurden als bei sommerlichen Temperaturen. Als alleinige Ursache für die Schwankung der Meßwerte in der Sortierkabine um zwei Größenordnungen und die sehr unterschiedlichen Verlaufsformen der Luftkeimkonzentrationen an den beiden Tagen kann eine weniger stark ausgeprägte Kontamination des Sortierguts mit Mikroorganismen jedoch nicht angesehen werden.

Die niedrigen Außentemperaturen wirkten sich offensichtlich günstig auf den Wirkungsgrad der vorhandenen Verdünnungslüftung aus. Der stark zerklüftete Verlauf der Messwerte am 05.03. in Abb. 2 (oben) macht deutlich, daß die in der Sortierkabine emittierten Schimmelpilze innerhalb kürzester Zeit über die Abwurfschächte aus der Kabine verdrängt bzw. der Absaugvorrichtung zugeführt werden. Die in der oberen Bildhälfte in Abb. 2 gezeigte Verlaufskurve ist eher typisch für die wesentlich effizienteren Verdrängungslüftungen. Bei hohen Lufttemperaturen in der Anlagenhalle hingegen ist der Wirkungsgrad der Kabinenlüftung offensichtlich deutlich vermindert. Dies führte am 07.06.2001 zur Ausbildung eines relativ

beständigen Konzentrationsniveaus von etwa 2×10^5 KBE/m³. Konstante Belastungsniveaus im Bereich von 1×10^5 bis 5×10^5 KBE/m³ sind nach den Erfahrungen charakteristisch für nur mäßig wirksame Verdünnungslüftungen.

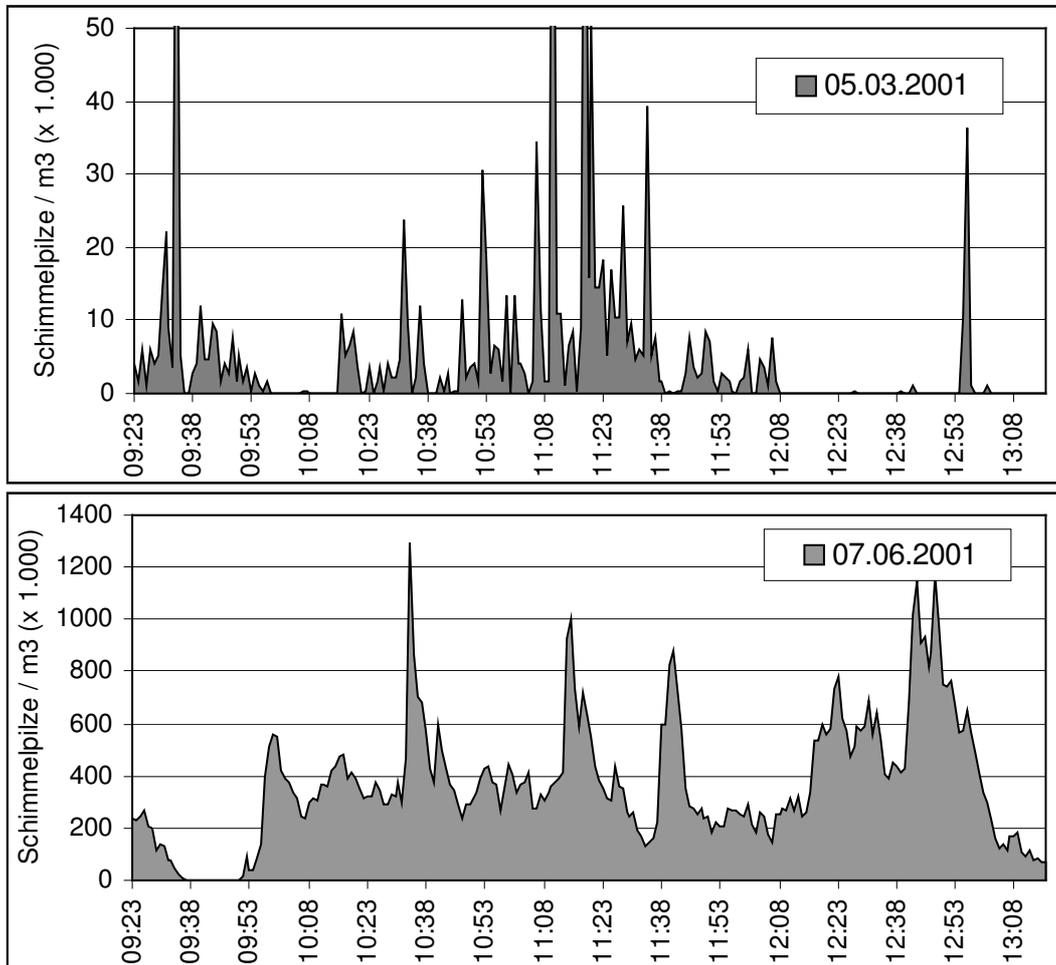


Abb. 2: Verläufe der Konzentrationen luftgetragener Schimmelpilze in der Sortierkabine der WSA Nr. 2 am 05.03. und 07.06.2001. Die Schichtmittelwerte lagen bei 5×10^3 KBE/m³ (oben) und $3,7 \times 10^5$ KBE/m³ (unten).

Erhöhte Lufttemperaturen in der Anlagenhalle in wärmeren Jahreszeiten scheinen das Entweichen staubbelasteter Abluft aus der Sortierkabine zu erschweren bzw. das Aufsteigen keimbelasteter Hallenluft über die offenen Abwurfschächte zu fördern. In der WSA Nr. 2 wurden die Messbefunde und somit die Einschätzung dessen, ob eine Schutzmaßnahme als ausreichend wirksam anzusehen ist oder

nicht, ausschließlich von den momentan vorherrschenden klimatischen Bedingungen beeinflusst.

Daß keimbelastete Hallenluft in die Sortierkabine einzudringen vermag, zeigen die am 20.08.2001 zeitparallel in der Sortierkabine und der Anlagenhalle derselben WSA Nr. 2 gemessenen Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in Abb. 3.

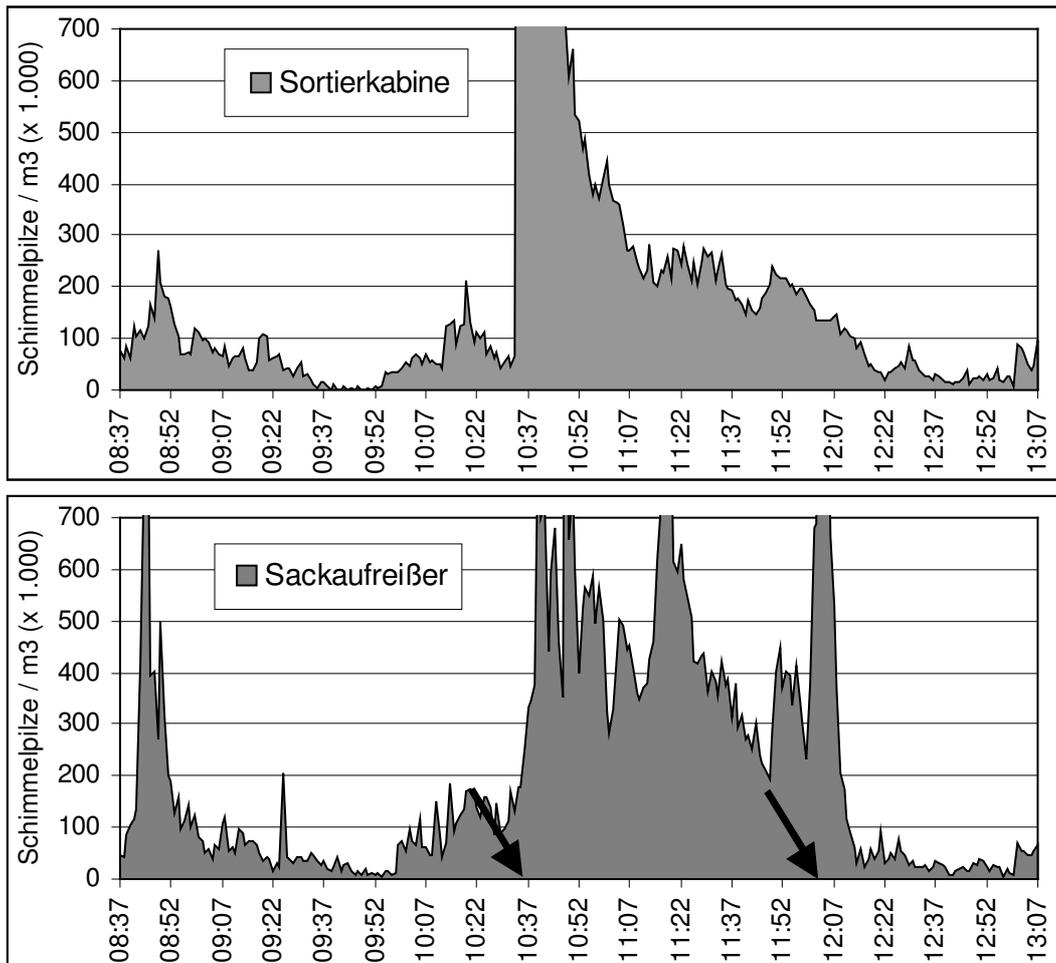


Abb. 3: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Anlagenhalle (unten) und der Sortierkabine (oben) der Wertstoffsortieranlage Nr. 2 am 20.08.2001. Die Hallentore wurden um 10:30 Uhr geschlossen und um 12:00 Uhr wieder geöffnet (Pfeile).

Unmittelbar nach Schließen der Hallentore setzt eine Aufkonzentrierung der an den Aggregaten, Transportbändern und Schüttungen in der Anlagenhalle emittierten

Schimmelpilze ein. (10:30 Uhr). Mit der Aufkonzentrierung der Schimmelpilze in der Halle ist ein Anstieg der Luftbelastung in der Sortierkabine verbunden, da Hallenluft über die Abwurfschächte und Banddurchführungen in die Kabine eindringen kann. Bei Öffnen der Hallentore kommt es aufgrund der guten Durchlüftung zu einer raschen Abnahme der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Anlagenhalle und - zeitlich verzögert - auch in der Sortierkabine.

Die bisher gezeigten Ergebnisse verdeutlichen, daß die Überprüfung technischer Schutzmaßnahmen wie z.B. die Lüftungstechnik einer Sortierkabine in bezug auf die Einhaltung eines Technischen Kontrollwerts nicht ausschließlich auf der Basis von Stichpunkt Übersichtsmessungen geschehen sollte. Anhand kontinuierlich gemessener Luftkeim-Konzentrationsverläufe kann der Untersucher zu einer sehr viel realistischeren Einschätzung der Belastungssituation am Probenahmetag gelangen. Charakteristische Verlaufsformen können hierbei Hinweise auf bestimmte technische oder betriebsorganisatorische Mängel an Arbeitsplätzen geben. Stichpunktmessungen haben i.d.R. eine sehr viel geringere Aussagekraft. Eine prospektive Einschätzung der Belastungssituation an dem begutachteten Arbeitsplatz über längere Zeiträume hinweg gelingt jedoch selbst bei der Analyse eines Luftkeim-Konzentrationsverlaufs nicht immer. Damit die Einhaltung eines TKW während den Arbeiten auch bei variierenden klimatischen und betriebsorganisatorischen Randbedingungen gewährleistet ist, muß im Zusammenhang mit einer meßtechnischen Überprüfung daher eine umfassende Arbeitsbereichsanalyse vorgenommen werden. Hierbei kann die Erhebung zusätzlicher Messdaten an Emissionsquellen von großer Bedeutung sein (vgl. Abb. 3).

Die Überprüfung eines Arbeitsplatzes mittels Luftkeimmessungen auf Einhaltung eines TKW kann ergeben, daß das Ergreifen weiterer Minderungsmaßnahmen bzw. eine Nachrüstung erforderlich ist. Dies kann selbst dann der Fall sein, wenn der TKW am Probenahmetag eingehalten wurde. Im folgenden Abschnitt werden einige Beispiele aus der Praxis gezeigt, als trotz Einhaltung des TKW eine Optimierung der Schutzmaßnahmen vorgenommen werden mußte, damit eine dauerhafte Einhaltung des TKW am Arbeitsplatz gewährleistet war.

In Abb. 4 sind die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen und der Raumluftfeuchtigkeit in der Sortierkabine der Bioabfallkompostierungsanlage (BAK)

Nr. 1 gezeigt. Die in der Sortierkabine installierte Lüftungstechnische Einrichtung arbeitet nach dem Verdünnungsprinzip, wobei die Frischluftzufuhr über zwei runde Quellauslässe, die an der Kabinendecke unmittelbar über dem Sortierband angebracht sind, erfolgt. Die Abwurfschächte in der Sortierkabine sind mit Klappen verschließbar, die über ein Fußpedal bedient werden. Die Bandeinführung in die Sortierkabine wurde gekapselt und mit einer leistungsstarken Absaugung versehen, so daß der Keimeintrag aus der Anlagenhalle über den vorderen Lamellenvorhang gering gehalten wurde.

Die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine zeigen eine sehr stark ausgeprägte Abhängigkeit von der momentanen Raumlufftfeuchte. Eine Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit war mit einem starken Anstieg der Luftbelastung durch Schimmelpilze auf Werte bis 4×10^5 KBE/m³ verbunden. Umgekehrt nahmen die Schimmelpilz-Konzentrationen bei Verminderung der Luftfeuchte rasch auf vergleichsweise niedrige Meßwerte von 10^4 KBE/m³ ab. Die rhythmischen Verlaufskurven erklären sich aus dem Regelkreis der Temperaturregulierung in der Sortierkabine. Bei Erreichen der Soll-Temperatur wird das Heizaggregat der Lüftung abgeschaltet und kalte Außenluft in die Sortierkabine eingeblasen. Die kalte Luft sank über dem Sortierband rasch auf den Boden der Kabine ab, so daß eine effektive Verdünnung der Kabinenluft im Atembereich der Beschäftigten nicht mehr erfolgte. Eine eingeschränkte Wirkung von Verdünnungslüftungen in kälteren Jahreszeiten kann sehr häufig beobachtet werden, wobei der Effekt im gezeigten Fall aufgrund der konzeptionellen Schwächen der Lüftung (Zuluftauslässe über dem Sortierband) vergleichsweise stark ausgeprägt war.

Der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen lag mit 9×10^4 KBE/m³ noch innerhalb des Toleranzbereichs des TKW. Aufgrund der nachgewiesenen technischen Mängel in bezug auf die Regulation der Zulufttemperatur wurde dennoch eine Optimierung der Lüftungstechnik als notwendig erachtet. Schließlich konnten deutlich höhere Luftbelastungen bei Vorliegen ungünstigerer klimatischer Bedingungen oder bei Hinzukommen anderer Ungunstfaktoren, wie z.B. eine stärkere Kontamination des Inputmaterials mit Keimen, nicht ausgeschlossen werden. Durch Einbau eines Regelelements zur Konstanthaltung der Raumluffttemperatur konnte der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen

mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand auf Werte deutlich unter 5×10^4 KBE/m³ vermindert werden.

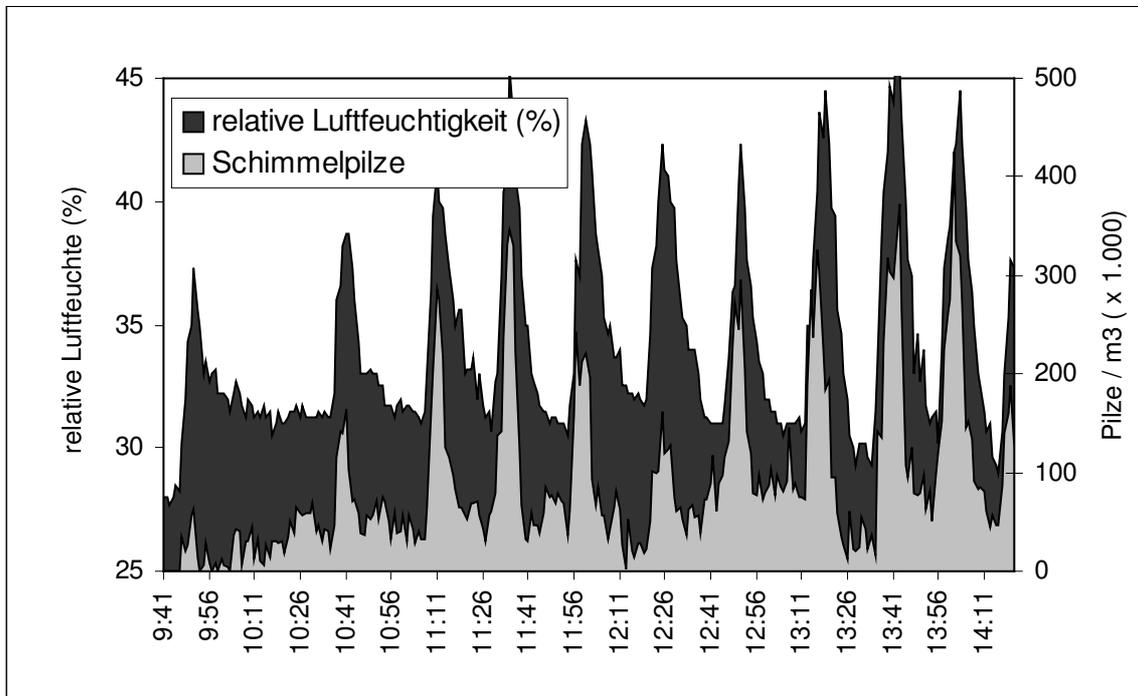


Abb. 4: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen (hell) und der relativen Luftfeuchtigkeit (dunkel) in der Sortierkabine der BAK Nr. 1. Der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen beträgt 9×10^4 KBE/m³.

Daß im umgekehrten Fall lüftungstechnische Einrichtungen trotz TKW-Überschreitung als ausreichend wirksam angesehen werden können, zeigen die Ergebnisse der Messungen in der Sortierkabine einer zweiten Bioabfallkompostierungsanlage. Die Sortierkabine der BAK Nr. 2 ist mit einer Verdrängungslüftung ausgestattet. Bei diesem Lüftungsprinzip wird die Frischluft aus flächigen Zuluftelementen, die unmittelbar über den Sortierplätzen angebracht sind, turbulenzarm in die Sortierkabine eingetragen (so genannte Kolbenströmung). Über dem Sortierband ist zusätzlich eine unterstützende Absaugvorrichtung zur Erfassung der staubbelasteten Luft installiert. Die staub- und keimbelastete Kabinenluft an den Sortierplätzen wird durch diese Anordnung der Zuluftelemente und der Absaugung aufgrund der resultierenden stabilen Luftströmung permanent aus dem Atembereich der Beschäftigten verdrängt. Mit dem beschriebenen System kann eine

Aufkonzentrierung emittierter Mikroorganismen vermieden werden, so daß hohe Luftbelastungen nur kurzzeitig bestehen (Abb. 5).

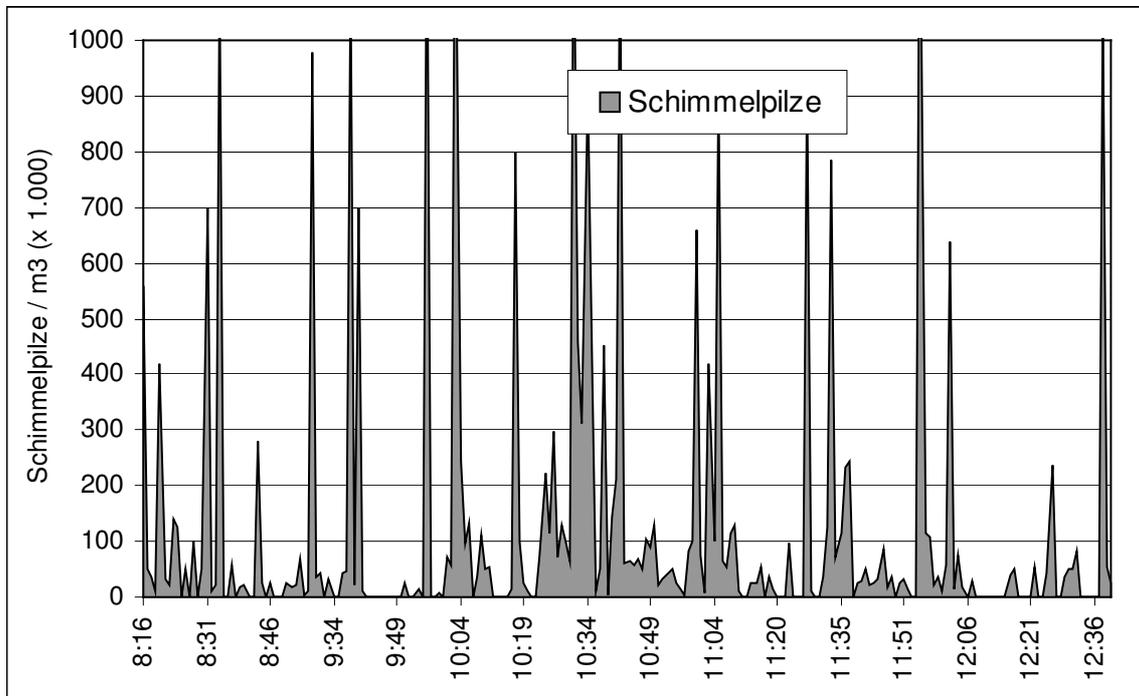


Abb. 5: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine der Bioabfallkompostierungsanlage Nr. 2. Der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen beträgt $1,3 \times 10^5$ KBE/m³.

Es wurde bereits beschrieben, daß sich in unzureichend belüfteten Sortierkabinen ein Gleichgewicht zwischen Emission von Staubpartikeln auf der einen Seite und Sedimentation und Verdünnung staubbelasteter Luft auf der anderen Seite einstellt. In Sortierkabinen mit effektiver Lüftungstechnik kommt es statt dessen zu kurzzeitigen, mehr oder weniger ausgeprägten Emissionsspitzen. Diese können wegen der grundsätzlich instabilen Luftströmung in Sortierkabinen (Bandlauf; Bewegung des Sortierpersonals; Materialbewegung; Durchzug über Lamellenvorhänge, Türen und Abwurfschächte) auch beim gegenwärtigen Stand der Technik lüftungstechnischer Anlagen nicht vollständig vermieden werden. Beim Sortierprozeß emittierte Staubpartikel können im Falle einer gerichteten Luftströmung effektiver lüftungstechnischer Einrichtungen jedoch rasch Absaugvorrichtungen zugeführt und so wieder aus der Atemluft des Sortierpersonals entfernt werden. Die Schwankungen der Keimbelastungen in Sortierkabinen sind

daher generell um so stärker ausgeprägt, je höher die Effektivität der vorhandenen Lüftungstechnischen Einrichtung ist. Bei der messtechnischen Überprüfung können zufallsbedingt hohe Messwerte hier leicht zu gravierenden Fehleinschätzungen der längerfristigen Belastungssituation führen.

In Abb. 6 sind die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine einer dritten Bioabfallkompostierungsanlage grafisch dargestellt. Die Messungen mit der Korrelierten Partikelzählung erfolgten zeitparallel an zwei Meßpunkten. Gemessen wurde an einem Sortierplatz in der Kabinenmitte und unmittelbar an der Einführung des Sortierbandes im vorderen Bereich der Sortierkabine. Die Sortierkabine ist mit einer Verdünnungslüftung älteren Typs ausgestattet, bei der die Zuluft über Schlitzauslässe, die sich an der Decke befinden, eingeblasen wird. Über dem Sortierband befindet sich eine Absaugvorrichtung.

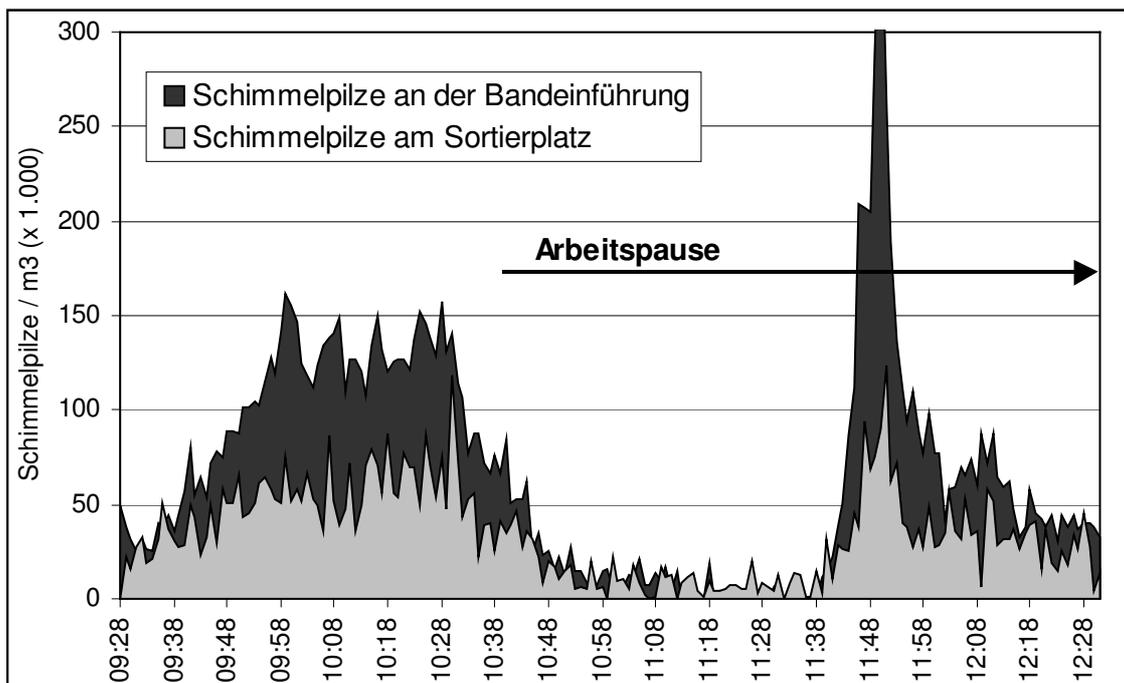


Abb. 6: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine der BAK Nr. 3. Gemessen wurde an einem Sortierplatz in der Kabinenmitte (hell) und an der Einführung des Sortierbandes (dunkel). Die Sortierarbeiten wurden um 09:30 Uhr begonnen und um 10:30 Uhr beendet (Messergebnisse aus dem Forschungsvorhaben F 1093 der BAuA).

Die Abbildung zeigt den typischen Verlauf der Luftbelastung durch Mikroorganismen in einer Sortierkabine, die mit einer mäßig wirksamen Verdünnungslüftung ausgestattet ist. Nach Beginn der Sortierarbeiten (hier 09:30 Uhr) setzt eine kontinuierliche Aufkonzentrierung der am Sortierband emittierten Mikroorganismen ein. Die Anreicherung von Luftkeimen setzt sich so lange fort, bis das Gleichgewicht zwischen Emission und Verdünnung kontaminierter Raumluft durch Frischluft erreicht ist.

Das Gleichgewicht lag in der gezeigten Verlaufskurve bei 5×10^4 KBE/m³ (Sortierplatz) und 1×10^5 KBE/m³ (Bandeinführung). Offensichtlich kam es zu einem Keimeintrag aus der hoch belasteten Anlagenhalle in die Sortierkabine, obwohl die Abwurfschächte mit Klappen verschließbar sind. Die Feststellung, daß die Meßwerte an der Bandeinführung deutlich höher waren als die Luftbelastungen, die in der Kabinenmitte gemessen wurden, läßt Rückschlüsse auf die Ursache der hohen Keimimmissionen zu: Aufgrund der klimatischen Gegebenheiten in der Anlagenhalle des Kompostwerks kam es zu einem Durchzug in der Sortierkabine über die Lamellenvorhänge. Dies wurde durch Fortführung der Messung in die Zeit einer Arbeitspause deutlich, wo geschlossener Kabinentüren und Abwurfschächte zum Trotz ein sehr starker Anstieg der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine festgestellt wurde (11:40 Uhr). Obwohl der TKW von 5×10^4 KBE/m³ am Probenahmetag eingehalten war, wurde von unserer Seite empfohlen, die Sortierkabine mit einer Absaugung an der Bandeinführung technisch nachzurüsten, damit eine dauerhafte Einhaltung des TKW gewährleistet ist.

4 Diskussion

Die gezeigten Verlaufskurven der Luftkeimkonzentrationen an verschiedenen Arbeitsplätzen im Bereich der Abfallwirtschaft verdeutlichen, daß die Luftbelastungen nicht nur kurzfristig, d.h. im Minuten- bis Stundenbereich, sondern auch längerfristig, also innerhalb weniger Tage bis Wochen großen Schwankungen um Größenordnungen unterworfen sein können. Die längerfristigen Schwankungen werden sehr häufig nicht durch eine diskontinuierliche Leistungsfähigkeit einer technischen Schutzmaßnahme verursacht, sondern liegen in den vorherrschenden klimatischen oder betriebsorganisatorischen Randbedingungen begründet. Diese Gegebenheit erschwert die Einschätzung des Verlaufs der längerfristigen Belastungssituation an einem Arbeitsplatz und somit eine Beurteilung, ob ein Technischer Kontrollwert als eingehalten gilt oder aber eine Nachrüstung bzw. Erweiterung der technischen Schutzmaßnahmen notwendig ist.

Die gezeigten Fallbeispiele für Luftuntersuchungen an Arbeitsplätzen in Abfallbehandlungsanlagen durch unser Labor heben die Notwendigkeit der Durchführung umfassender Arbeitsbereichsanalysen hervor, sofern technische Schutzmaßnahmen in bezug auf die Einhaltung eines Technischen Kontrollwerts überprüft werden. In der Korrelierten Partikelzählung ist hierfür ein praktikables Messinstrument gegeben. Aufgrund der äußerst inhomogenen Verläufe der Luftbelastungen und den vielfältigen Ursachen für die großen Schwankungen muß die Meßstrategie der im Rahmen der Überprüfungen durchgeführten Messungen alle emissionsrelevanten Faktoren berücksichtigen. Nur dann ist eine dauerhafte Einhaltung eines TKW gewährleistet. Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen mit der Korrelierten Partikelzählung verdeutlichen, daß Stichpunktmessungen in vielen Fällen gänzlich ungeeignet für die Überprüfung der Einhaltung Technischer Kontrollwerte sind. Beispielhaft wurden die Ergebnisse von Messungen in der Sortierkabine eines Kompostwerks gezeigt, bei der die mangelhafte Temperaturregelung der Zuluft nur über die kontinuierliche Messung der Schimmelpilz-Konzentrationen und der raumklimatischen Parameter nachgewiesen werden konnte. Hier wurde eine Nachrüstung im Bereich der Temperaturregelung als notwendig erachtet, obwohl der TKW eingehalten wurde. Demgegenüber wurde die in der Sortierkabine eines anderen Kompostwerks installierte Verdrängungslüftung als ausreichend wirksam eingestuft, obwohl der TKW überschritten wurde. Zu dieser Einschätzung kam der Untersucher nur aufgrund der Kenntnis der Verlaufskurven der Luftkeimkonzentrationen. Diese offenbarten den raschen und effektiven Abtransport der beim Sortierprozeß emittierten Mikroorganismen.

Mit den derzeit angewandten Kultivierungsmethoden ist eine realistische Einschätzung des Wirkungsgrades technischer Schutzmaßnahmen vielfach nicht möglich. Nach den Erfahrungen können durch Verlängerung der Meßzeiten auf 30 bis 60 Minuten zwar relativ verlässliche Messdaten erhalten werden. Wichtige Informationen über die Verläufe der Luftkeimkonzentrationen gehen hierbei allerdings verloren. Eine Zuordnung momentan vorherrschender betriebsorganisatorischer oder klimatischer Randbedingungen zu Einzelmeßwerten wird aufgrund der häufigen Überlagerung verschiedener Einflußfaktoren in der Meßpraxis erheblich erschwert. Im Falle einer Verkürzung der Meßzeiten der Einzelprobenahmen auf Minutenbereiche resultiert i.d.R. eine große Streuung der Einzelbefunde, so daß eine hohe Probenanzahl zum Erhalt statistisch abgesicherter

Meßdaten benötigt wird. Hierdurch werden i.d.R. unvertretbar hohe Kosten bei der Probenahme und Analyse verursacht.

Die anhand von Stichpunktmessungen nachgewiesene Einhaltung eines TKW an einem Probenahmetag läßt nach den gezeigten Ergebnisse vielfach keine Rückschlüsse darauf zu, ob eine ausreichende Wirksamkeit der Schutzmaßnahme auch bei veränderten raumklimatischen und betriebsorganisatorischen Probenahmebedingungen gegeben ist. Bei einer meßtechnischen Überprüfung sollten daher zumindest zeitweise ungünstige Randbedingungen gegeben sein. Technische Schutzmaßnahmen können aber auch als ausreichend wirksam erachtet werden, obwohl eine Überschreitung des TKW nachgewiesen wurde. Dies kann der Fall sein, wenn eine Erhöhung des Wirkungsgrades beim gegenwärtigen Stand der Technik nicht bzw. nur mit unvertretbar hohem Kostenaufwand erreicht werden kann. So können in Sortierkabinen von Abfallbehandlungsanlagen, die mit wirksamen Verdrängungslüftungen ausgestattet sind, sehr häufig Meßwerte oberhalb des TKW erhalten werden. Aufgrund der komplizierten strömungstechnischen Gegebenheiten ist ein unmittelbarer Abtransport emittierter Mikroorganismen selbst in gut belüfteten Sortierkabinen nicht immer vollständig möglich, beispielsweise wenn größere Mengen an flächigen Störstoffen aussortiert werden müssen.

5 Literatur

[1] BÖHM, R., MARTENS, W. UND PHILIPP, (1998). Hygienische Relevanz von Keimemissionen bei Sammlung und Behandlung von Bioabfällen. In: Wiemer und Kern, Witzenhausen-Institut (1998): Bio- und Restabfallbehandlung II, 311 – 344

[2] ANONYM: Bek. des BMA vom August 2001: Die TRBA 211. Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen. In: Bundesarbeitsblatt 08 / 2001

[3] MISSEL, T. UND SCHIES, U. (2001). Abhängigkeiten zwischen Staub- und Luftkeimkonzentrationen in Raum- und Außenluft. Tiefbau, Erich Schmidt Verlag, Heft 2, 02/2001, S. 91 – 97

[4] FELTEN, C., KÜPPERS, M. UND MISSEL, T. (2001). Measures to assess and reduce microbiological pollution in waste sorting plants. In: Stäube, Rauche und Nebel am Arbeitsplatz. Bericht des Internationalen Kolloquiums Toulouse (Frankreich), Edition INRS ED4086, Juni 2001, S. 174 - 178