

Die Korrelierte Partikelzählung als indirektes Messverfahren für luftgetragene Mikroorganismen in Abfallbehandlungsanlagen

T. Missel¹ und J. Hartung²

¹Labor für Arbeits- und Umwelthygiene Dr. Missel, Hannover und ²Institut für Tierhygiene und Tierschutz der Tierärztlichen Hochschule, Hannover

1 Einleitung

Zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Biologische Arbeitsstoffe wurde in der TRBA 211 „Biologische Abfallbehandlungsanlagen-Schutzmaßnahmen“ im Jahre 2001 ein Technischer Kontrollwert (TKW) zur Überprüfung der Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen festgesetzt (3). Der Messparameter bei der Überprüfung der Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme ist die Konzentration an koloniebildenden Einheiten in der Luft (KBE/m³). Die Effektivität einer Schutzmaßnahme wird also anhand kultureller Nachweisverfahren dokumentiert (TRBA 430). Die Methode der Anzuchtung der aus Luft gesammelten Mikroorganismen auf Nährmedien ist jedoch mit Nachteilen behaftet.

So können Aussagen über die Höhe der Luftbelastung an Arbeitsplätzen frühestens drei bis sieben Tage nach Durchführung der Probenahme getroffen werden, wenn die kultivierten Mikroorganismen zu zählbaren Kolonien ausgewachsen sind. Direktanzeigende Messverfahren würden hier einen großen wirtschaftlichen Vorteil bieten. Beispielsweise könnte die Feineinstellung Lüftungstechnischer Anlagen oder anderer technischer Schutzmaßnahmen mit direktanzeigenden Keimmessverfahren erheblich effektiver gestaltet werden, da mehrere Betriebszustände an einem Untersuchungstag ausgetestet werden können.

Die Messverfahren der TRBA 430 liefern Messbefunde, die über die Dauer der Probenahme (i.d.R. 10-90 Minuten) integriert sind. Die Luftbelastungen sind an den meisten Arbeitsplätzen der Abfallwirtschaft aber großen Schwankungen unterworfen, so dass die Messwerte kurzzeitig hintereinander durchgeführter Keimmessungen nicht selten um Größenordnungen auseinander liegen (6). Die enorme Schwankungsbreite von Messbefunden erklärt sich aus der unregelmäßigen Freisetzung von Keimen, z.B. an diskontinuierlich beschickten Aufbereitungs- und Sortiermaschinen, sowie der ungleichmäßigen Verteilung der freigesetzten Mikroorganismen durch Luftströmungen. Die integrierende Messweise der Kultivierungsverfahren der TRBA 430 wirkt sich bei Arbeitsplatzmessungen im Bereich der Abfallwirtschaft besonders negativ aus. Wichtige Informationen über die Verläufe der Mikroorganismen-Konzentrationen gehen verloren, was gravierende Fehleinschätzungen bei der Überprüfung einer Schutzmaßnahme zur Folge haben kann. Beispielsweise werden die für eine realistische Beurteilung der Effektivität einer Lüftungsanlage bedeutenden Informationen darüber, ob ein Messwert aus kurzzeitigen, hohen Konzentrationsspitzen resultiert oder aber ein gleichbleibendes Konzentrationsniveau wiedergibt, mit den Messmethoden der TRBA nicht gewonnen. Hohe Konzentrationsspitzen sind i.d.R. die Folge von organisatorischen, gleichbleibende Konzentrationsniveaus von technischen Mängeln.

Aussagekräftige Konzentrationsverläufe können mit keinem direkten Nachweisverfahren für Keime mit hinreichender Genauigkeit und vertretbarem Kostenaufwand gemessen werden. Als Alternative zu den traditionellen Verfahren könnte die Messung von Luftkeimen indirekt über die Konzentrationsmessung von Staubpartikeln gesehen werden. Staubkonzentrationen können mit Partikelzählgeräten kontinuierlich aufgezeichnet werden, zusätzliche Vorteile ergeben sich daraus, dass Partikelzählungen mit physikalischen Methoden weniger aufwendig, vergleichsweise kostengünstig und auch schneller sind. Voraussetzung für die Messung von Keimkonzentrationen über Staubpartikelkonzentrationen sind feste Korrelationen zwischen diesen beiden Parametern.

Mit der Korrelierten Partikelzählung (KPZ) nach Missel (4,5) ist ein Verfahren zur kontinuierlichen Messung der Luftkeimkonzentrationen indirekt mit Staubpartikelzählgeräten beschrieben. Die aus Staubpartikelmesswerten errechneten Luftkeimkonzentrationsverläufe lassen Ausmaß und Dauer von Belastungsspitzen in der betrieblichen Praxis erkennen, was eine realistische Beurteilung des Wirkungsgrads emissionsmindernder Maßnahmen ermöglicht. Technische und betriebsorganisatorische Schwachstellen können aufgrund der resultierenden charakteristischen Verlaufsformen erkannt und gezielte Optimierungsmaßnahmen ergriffen werden.

Um die KPZ im Hinblick auf deren Tauglichkeit für die routinemäßige Überprüfung technischer Schutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen zu erforschen, wurde das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene von der BAuA im Jahre 2001 mit der Durchführung entsprechender Untersuchungen beauftragt. Die Kenndaten des Verfahrens wurden durch wiederholte Probenahmen in den Sortierkabinen von Wertstoffsortieranlagen und Kompostierungsanlagen bestimmt. Zunächst wurde untersucht, ob feste statistische Beziehungen zwischen luftgetragenen Mikroorganismen und Staubpartikeln an Arbeitsplätzen bestehen und welchen Veränderungen diese Beziehungen im Laufe eines Jahres unterworfen sind. Die Ursachen für festgestellte Schwankungen in den statistischen Beziehungen wurden ermittelt und eine Messstrategie für die Überprüfung technischer Schutzmaßnahmen mit der KPZ entwickelt. Die vorliegende Arbeit gibt einen ersten Überblick über die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen.

2 Material und Methoden

Die „Korrelierte Partikelzählung“ basiert auf dem festen statistischen Verhältnis zwischen luftgetragenen Mikroorganismen und Staubpartikeln keimrelevanter Größe (4,5). In dem Forschungsvorhaben F 1093 wurde das statistische Verhältnis durch lineare Regression der Befunde von 10 zeitlich und räumlich eng verbunden durchgeführten Staubpartikel- und Schimmelpilz-Messungen ermittelt. Für die Staubmessungen wurden Partikelzählgeräte (Grimm, Ainring) eingesetzt, mit denen die Erfassung der Partikelzahl in 1-minütigen Intervallen in 15 unterschiedlichen Partikelfraktionen zwischen 0,3 und größer 20 µm Teilchendurchmesser möglich ist. Zur Keimzahlmessung wurde die in den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA 430) beschriebene Vorgehensweise zur indirekten Bestimmung der Schimmelpilz-Konzentrationen benutzt (1). Die Keimmessungen erfolgten mit dem PGP-GSP-System. Als Nährmedien für die Schimmelpilze wurde DG 18-

Agar verwendet. Die Bebrütung der Schimmelpilze erfolgte bei 25 °C für eine Dauer von sieben Tagen.

Die Probenahmen wurden ortsfest durchgeführt, die Messzeiten der 10 Einzelprobenahmen betragen jeweils 20 bis 30 Minuten. Lineare Regressionen der Mikroorganismen-Messwerte mit den entsprechenden Partikelmesswerten wurden mit allen 15 differenziell gemessenen Partikel-Größenfraktionen durchgeführt. Diejenige Partikelfraktion, mit der das höchste Bestimmtheitsmaß bei der linearen Regression erhalten wurde, wird als „Leitfraktion“ für die untersuchten Mikroorganismen im luftgetragenen Staub angesehen. Anhand der Steigungsgleichung der Regressionsgeraden werden Mikroorganismen-Konzentrationsverläufe mit 1-minütigen Messintervallen aus den kontinuierlich gemessenen Staubpartikel-Konzentrationen der Leitfraktion errechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

In den beiden Grafiken der Abbildung Nr. 1 sind die Verlaufskurven der Schimmelpilz-Konzentrationen in den Sortierkabinen von zwei Wertstoffsortieranlagen (WSA) gezeigt. Die beiden Anlagen gehören zur älteren Generation von WSA. Das Schutzniveau ist niedrig, eine ausreichende Belüftung der Kabinen ist nicht gewährleistet. Die Zuluft wird in diesen Sortierkabinen über einfache Schlitzauslässe turbulent in die Kabine eingeblasen. Eine Absaugungsanlage ist in beiden Sortierkabinen nicht vorhanden, es wird nur eine geringe Luftwechselrate erzielt. Die offenen Abwurfschächte und Banddurchführungen begünstigten Immissionen aus der hoch belasteten Anlagenhalle.

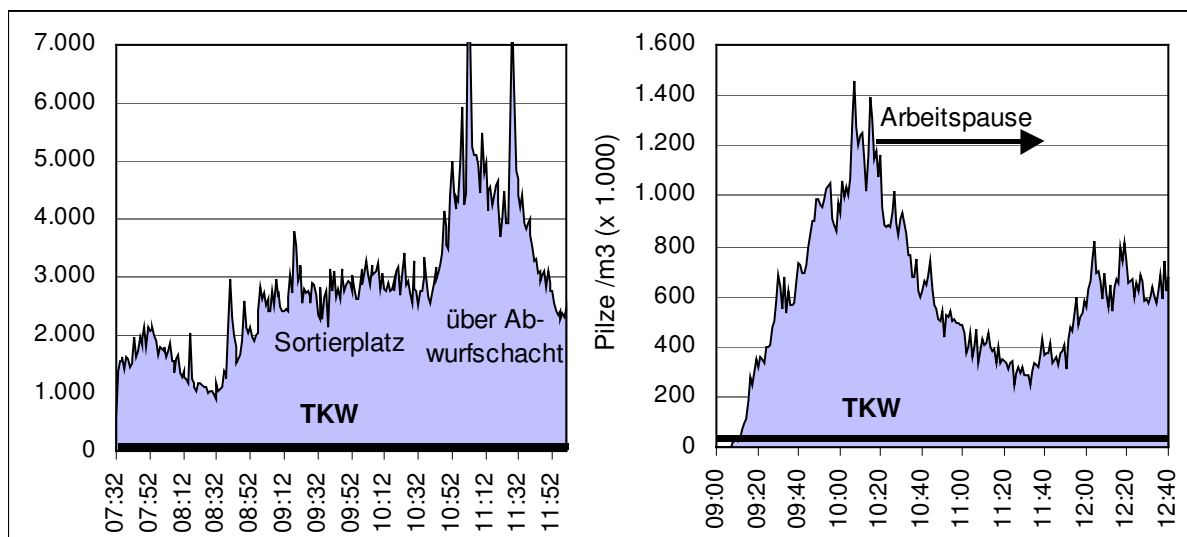


Abb. 1: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in den unzureichend belüfteten Sortierkabinen (Typ III) zweier Wertstoffsortieranlagen (TKW: Technischer Kontrollwert für Arbeitsplätze in Kompostieranlagen: 5×10^4 KBE/m³).

In unzureichend belüfteten Sortierkabinen steigen die Luftbelastungen nach Beginn der Sortierarbeiten innerhalb weniger Minuten auf Werte in der Größenordnung von 10^6 KBE/m³ an. Die Luftbelastung durch Schimmelpilze wird hier vornehmlich durch

Sedimentationsvorgänge limitiert. Dies zeigt sich in der sehr langsamen Abnahme der Luftbelastung bei unterbrochener Sortierung in Arbeitspausen. In der Abb. 1 rechts sind 90 Minuten nach Arbeitsunterbrechung noch 25 % der zu Beginn der Arbeitspause gemessenen Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft nachweisbar. Sortierkabinen mit niedrigem Schutzniveau sind außerdem dadurch gekennzeichnet, dass an Kabinenöffnungen wie z.B. Abwurfschächten und Banddurchführungen z.T. beträchtliche Immissionen aus der hoch belasteten Anlagenhalle messbar sind (Abb. 1 links).

Die Verlaufskurven der Schimmelpilz-Konzentrationen in Abb. 1 sind charakteristisch für Arbeitsplätze mit niedrigem Schutzniveau. Die Verläufe sind vor allem durch die sukzessive Aufkonzentrierung nach Schichtbeginn, die nur allmähliche Verminderung der Belastung in Arbeitspausen sowie relativ langsam vor sich gehende Konzentrationsveränderungen (geringe Zerklüftung) gekennzeichnet. Sie werden als *Typ III* der Verlaufskurven bezeichnet. Die beiden Grafiken in der Abbildung Nr. 2 zeigen den charakteristischen Verlauf der Luftbelastung durch Schimmelpilze in Sortierkabinen, die mit *mäßig wirksamen* Verdünnungslüftungen ausgestattet sind. Das Schutzniveau ist gegenüber den Sortierkabinen mit Verlaufskurven des Typs III deutlich erhöht. So ist die Luftwechselrate deutlich höher und es ist eine unterstützende Staubabsaugungsanlage vorhanden. Zur Verminderung von Immissionen sind die Abwurfschächte mit verschließbaren Abwurfklappen versehen. Das Hygieneniveau ist deutlich höher als in Sortierkabinen mit Verlaufskurven des Typs III.

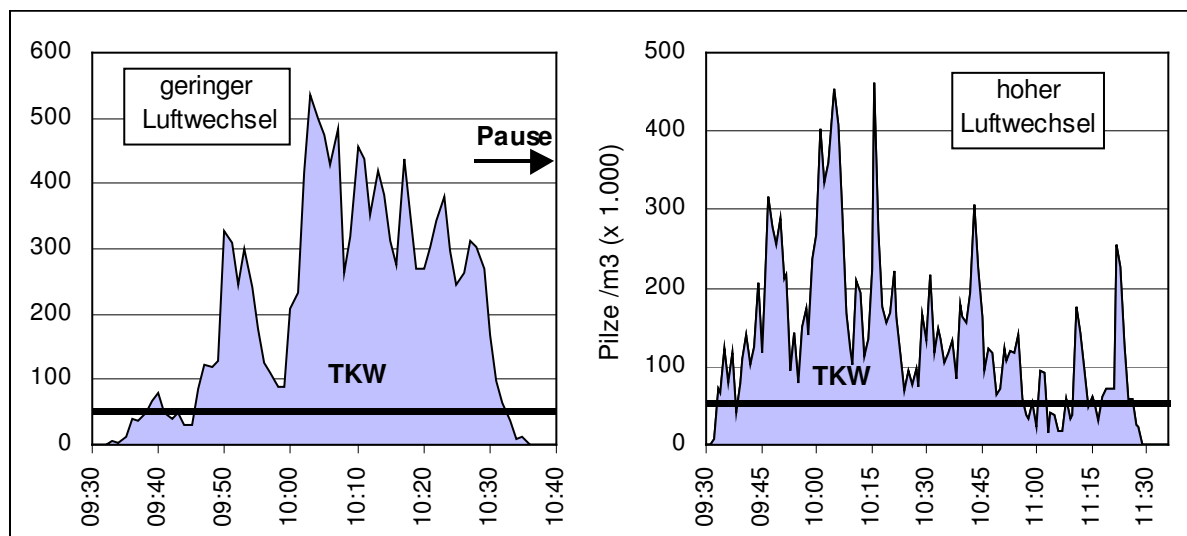


Abb. 2: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in den mäßig gut belüfteten Sortierkabinen (Typ II) zweier Kompostierungsanlagen. Die technische Ausstattung der Sortierkabinen und das Materialinput waren identisch. Die Luftwechselrate war in der Sortierkabine des rechten Diagramms deutlich höher als in der Kabine der Abbildung links.

Verdünnungslüftungen sind verfahrensbedingt nicht in der Lage, emittierte Staubpartikel rasch Absaugvorrichtungen zuzuführen, so dass es an den Arbeitsplätzen im Laufe der Sortierung zu einer Aufkonzentrierung luftgetragener Mikroorganismen kommt. Entsprechend der Luftwechselrate und der Luftführung der Verdünnungslüftung stellt sich ein

Gleichgewicht zwischen Emission und Verdünnung ein. Das Gleichgewicht liegt an diesen Arbeitsplätzen i.d.R. bei 1×10^5 bis 3×10^5 KBE/m³. Die verhältnismäßig hohe Leistung der Lüftung wird bei Messungen in Arbeitspausen deutlich, wo es innerhalb weniger Minuten zu einer Abnahme der Luftkeimkonzentrationen auf Außenluftwerte kommt (10^3 KBE/m³). Die Verlaufsformen der Luftbelastung an Arbeitsplätzen mit mäßig wirksamen Lüftungsanlagen werden als *Typ II* bezeichnet.

Die Zerklüftung der Verlaufskurven des Typs II ist deutlich stärker ausgeprägt als bei den Verlaufskurven des Typs III. Dies liegt darin begründet, dass es bereits bei den mäßig wirksamen Verdünnungslüftungen zur Ausbildung beträchtlicher Konzentrationsgradienten innerhalb der Sortierkabine kommt. Durch die immer wieder auftretenden Querströmungen wird höher belastete Totraumluft mit vergleichsweise gering belasteter Kabinenluft aus den von der Lüftung unmittelbar erfassten Bereichen verwirbelt. Diese Verwirbelung führt zur Ausbildung von Konzentrationsspitzen, die deutlich stärker ausgeprägt sind als die Spitzen, die in Sortierkabinen des Typs III gemessen werden können. Die bei regelmäßig auftretenden Messwert-Spitzen erreichten Konzentrationen liegen i.d.R. jedoch nicht mehr als eine Größenordnung über dem Schichtmittelwert.

Das Gleichgewicht zwischen Emission und Verdünnung lag in den gezeigten Verlaufskurven bei 3×10^5 KBE/m³ (Abb. 2, linke Bildhälfte) und 1×10^5 KBE/m³ (Abb. 2, rechte Bildhälfte). Durch Steigerung der Luftwechselrate konnte eine Verminderung der Luftbelastung um etwa 60 % bewirkt werden. Die Einhaltung des TKW war mit der Steigerung der Luftwechselrate jedoch nicht möglich.

Die Sortierkabinen, in denen die Verläufe der Abb. 3 (folgende Seite) gemessen wurden, sind mit einer gut wirksamen Verdrängungslüftung gemäß den Empfehlungen der TRBA 211 ausgestattet. In der Sortierkabine mit Verdrängungslüftung wird keimbelastete Kabinenluft durch die günstige Anordnung der Zuluftelemente aufgrund der resultierenden stabilen Luftströmung permanent aus dem Atembereich der Beschäftigten verdrängt, so dass es nicht zu einer Aufkonzentrierung luftgetragener Mikroorganismen kommen kann. Erhöhte Luftbelastungen sind nur kurzzeitig messbar, die Verlaufskurven sind sehr stark zerklüftet. Diese werden als *Typ I* - Verlaufskurven bezeichnet. Bei Konzentrationsspitzen werden Werte erreicht, die bis zu zwei Größenordnungen über dem Schichtmittelwert liegen können. Häufigkeit und Höhe der Konzentrationsspitzen sind von der momentanen Aktivität der Sortierer und vom Materialdurchsatz an den Sortierbändern, aber auch von der Keimbelastung des Sortierguts abhängig.

Bei ungünstigen Bedingungen kann es auch bei Lüftungsanlagen, die dem Stand der Technik entsprechen, zu einer Überschreitung des TKW kommen. Eine Überschreitung des TKW kann jedoch toleriert werden, sofern anhand der Verlaufskurven ein schneller Abtransport der emittierten Mikroorganismen nachgewiesen wird. In der rechten Bildhälfte in Abb. 3 wurde die Phase mit besonders hohen Konzentrationsspitzen zwischen 10:00 und 11:00 Uhr durch die zeitweise Verarbeitung von selbsterhitztem Biomüll verursacht. Aufgrund der durch das erwärmte Material verursachten Thermik auf dem Sortierband war die Leistungsfähigkeit der

Verdrängungslüftung in der Zeit, als sich dieses Material auf dem Sortierband befand, überfordert, wie eindeutig durch die rechte Verlaufskurve in der Abb. 3 wiedergegeben wird. Man sieht deutlich, wie sich dies auf den in diesem Zeitfenster bestimmten Durchschnittswert auswirkt, der bei knapp 1×10^5 KBE/m³ lag. Im Zeitraum bis 10:00 Uhr betrug die durchschnittliche Luftbelastung hingegen weniger als 3×10^4 KBE/m³.

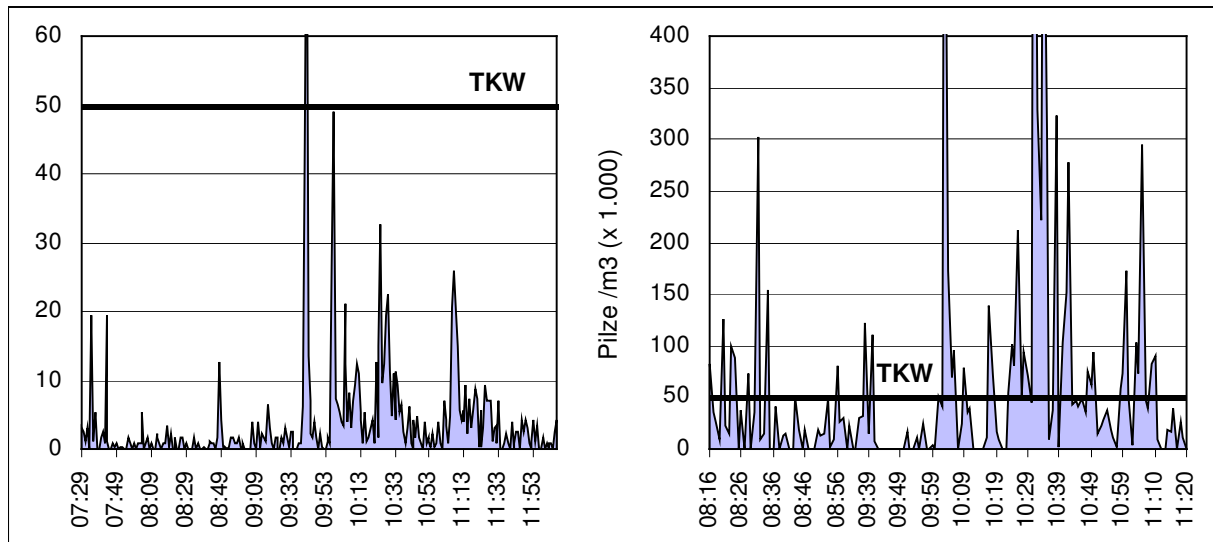


Abb. 3: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in den gut belüfteten Sortierkabinen (Typ I) zweier Kompostierungsanlagen.

Die Abbildungen 1-3 zeigen, dass die Verlaufsform der Luftbelastung durch Schimmelpilze an Arbeitsplätzen maßgeblich durch das vorherrschende Schutzniveau bestimmt wird. Technische und betriebsorganisatorische Mängel können die Verläufe der Luftbelastung an Arbeitsplätzen in charakteristischer Weise beeinflussen. Dies wird in den folgenden Grafiken in Abb. 4 und Abb. 5 gezeigt. Die untersuchten Sortierkabinen sind mit mäßig wirksamen Verdünnungslüftungen, die durch Verlaufskurven des Typs II gekennzeichnet sind, ausgestattet. Die linke Bildhälfte in Abb. 4 zeigt, dass die Messwerte an der Bandeingführung deutlich höher als am Sortierplatz sind. Offensichtlich kommt es an der Bandübergabestelle zwischen Steigförderer und Leseband aufgrund der Fallhöhe zu hohen Emissionen und in der Folge zu Immissionen über die Lamellenvorhänge. Als wirksame und vergleichsweise kostengünstige Maßnahme zur Verminderung der Luftbelastung an den Arbeitsplätzen in der Sortierkabine wurde eine Kapselung und Absaugung der Bandeingführung empfohlen.

Die Auswirkung einer mangelhaften Betriebsorganisation auf die Luftbelastung durch Schimmelpilze an Arbeitsplätzen zeigt die rechte Bildhälfte in Abb. 4. Hohe Keimemissionen wurden nach Bandstillständen in der Sortierkabine festgestellt. Bei unterbrochener Sortierung kam es zur Materialansammlung am Steigförderer und in Folge zu einer starken Überbelegung des Sortierbands. Die hohen Konzentrationsspitzen wurden dann durch das Arbeiten an dem überbelegten Band verursacht. Alleine durch das Abschalten der gesamten Fördereinrichtung

bei Betriebsunterbrechungen konnte eine deutliche Verminderung der Schimmelpilz-Emissionen in der Sortierkabine erzielt werden.

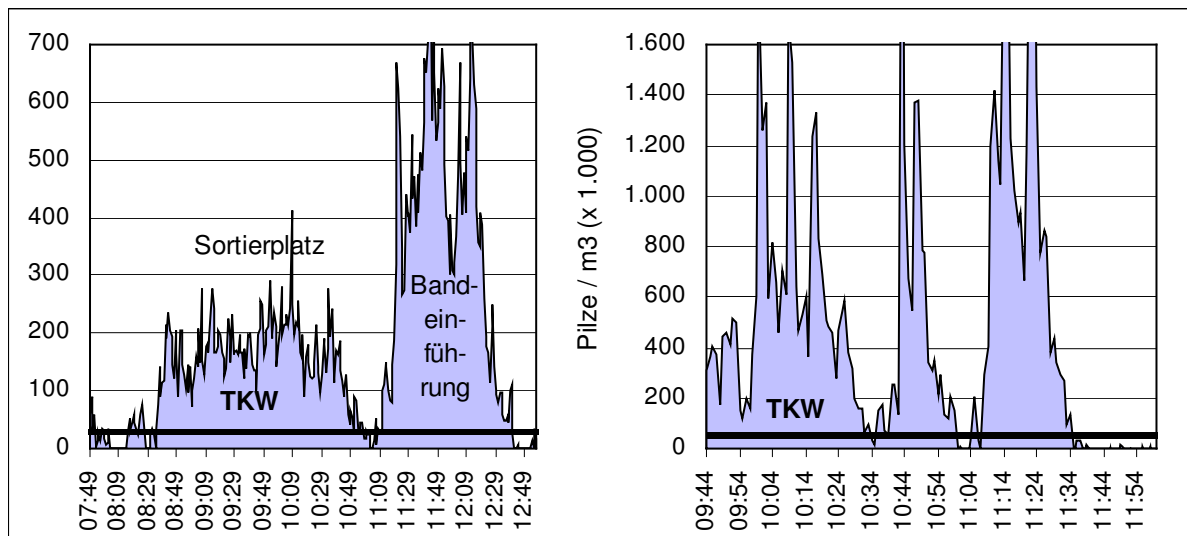


Abb. 4: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in zwei Sortierkabinen mit mäßig wirksamen Verdünnungslüftungen (Typ II) in Wertstoffsortieranlagen.

In Abb. 5 sind die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen und der Raumluftfeuchtigkeit in der Sortierkabine einer Kompostierungsanlage gezeigt. Die in der Sortierkabine installierte Lüftungstechnische Einrichtung arbeitet nach dem Verdünnungsprinzip, wobei die Frischluftzufuhr über Quellluftauslässe an der Kabinendecke über dem Leseband erfolgt.

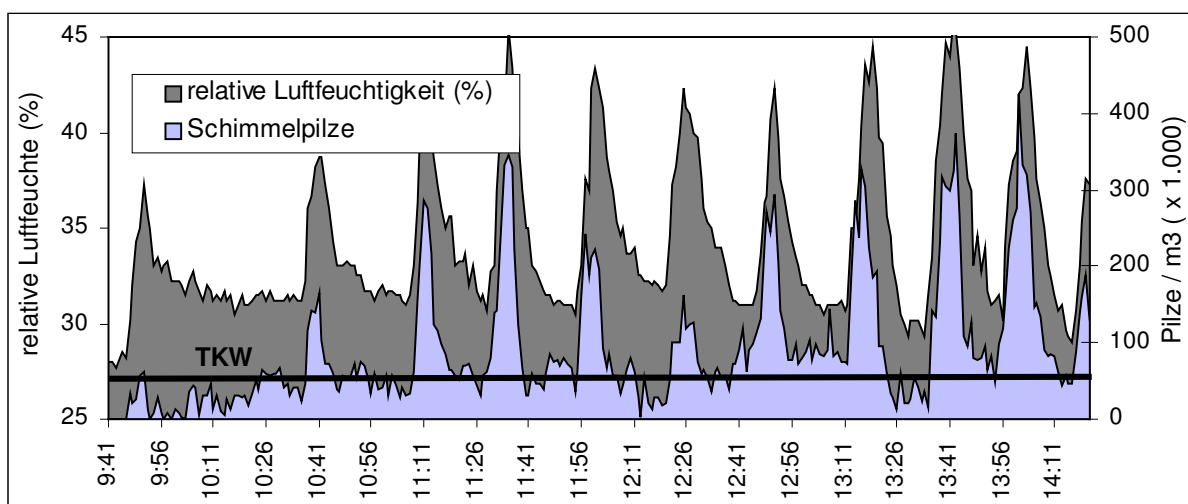


Abb. 5: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen (hell) und der relativen Luftfeuchtigkeit (dunkel) in der Sortierkabine einer Kompostierungsanlage.

Die Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen 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. Die rhythmischen Verlaufskurven erklären sich aus dem Regelkreis der Temperaturregulierung in der Sortierkabine. Gekühlte Zuluft (hohe relative Feuchte) sinkt bereits über dem Sortierband ab, so dass eine effektive Verdünnung der Kabinenluft im Atembereich der Beschäftigten nicht mehr erfolgte. Obwohl der Schichtmittelwert der Schimmelpilz-Konzentrationen noch innerhalb des Toleranzbereichs des TKW (1×10^5 KBE/m³) lag, war eine Optimierung der Lüftungstechnik notwendig. 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.

Ein simultan-binärer Einsatz zweier oder mehrerer Messgeräte kann hilfreich bei der Detektion von Kontaminationsquellen wirken und wichtige Hinweise auf die Ursachen von Immissionen liefern. In Abb. 6 sind die parallel in Sortierkabine und Anlagenhalle einer Kompostierungsanlage gemessenen Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen grafisch dargestellt.

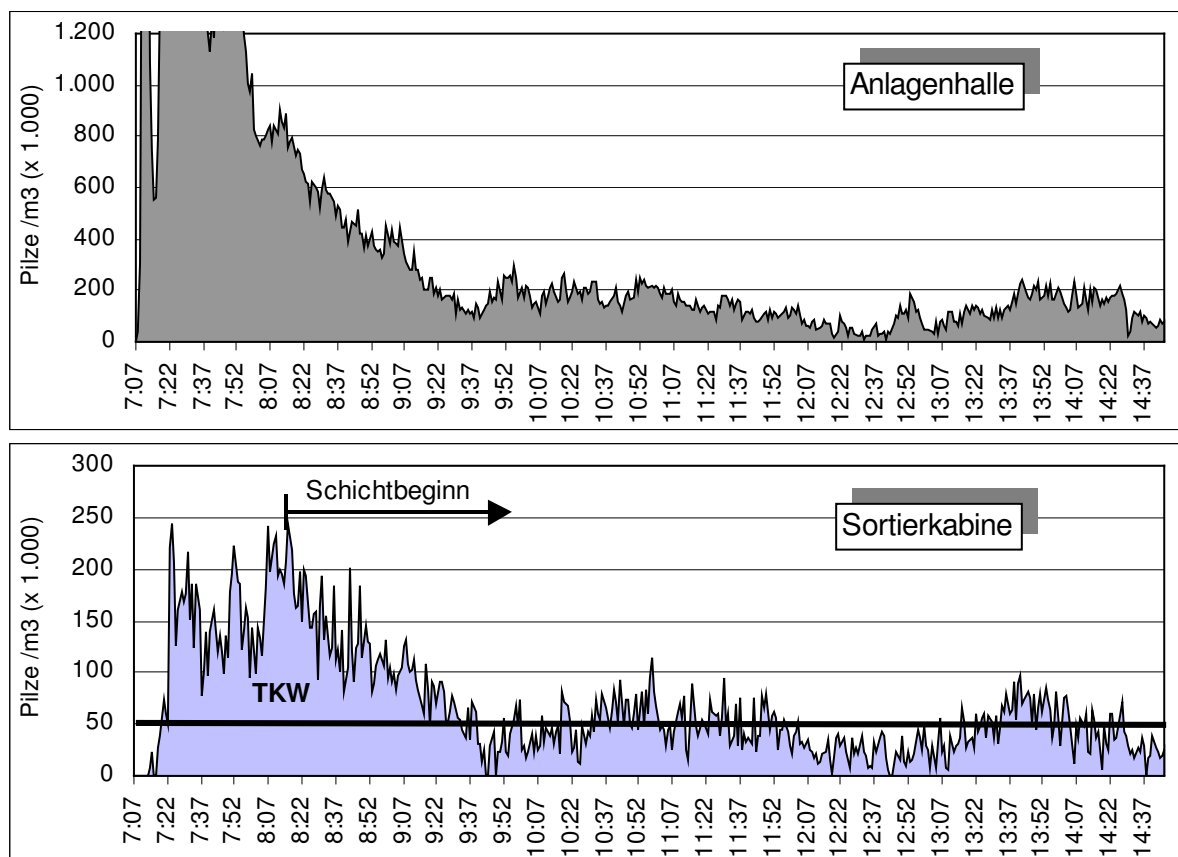


Abb. 6: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Anlagenhalle (oben) und der Sortierkabine (unten) einer Kompostierungsanlage.

Die Sortierkabine ist mit einer mäßig wirksamen Verdünnungslüftung des Typs II ausgestattet. Die zeitparallele Bemessung von Sortierkabine und Anlagenhalle macht deutlich, dass Immissionen von innerhalb der Anlage verdrifteten Mikroorganismen bestehen. Beim Entladen von Müllsammelfahrzeugen kam es in der Anlagenhalle zu hohen Emissionen, die sich auf die Luftbelastung in der Sortierkabine auswirkten (07:00 bis 08:00 Uhr). Offensichtlich konnte es zu Immissionen kommen, obwohl die Abwurfschächte verschlossen und die Bänderführung gekapselt und abgesaugt wurde. Ursache für die Immissionen waren Undichtigkeiten im Kabinenaufbau.

Der Technische Kontrollwert für Kompostierungsanlagen kann auch mit mäßig wirksamen Verdünnungslüftungen des Typs II eingehalten werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine Minimierung der Emissionen und Immissionen innerhalb der Sortierkabine. Dies wird in den Verlaufskurven aus der Sortierkabine einer Wertstoffsortieranlage in Abb. 7 deutlich.

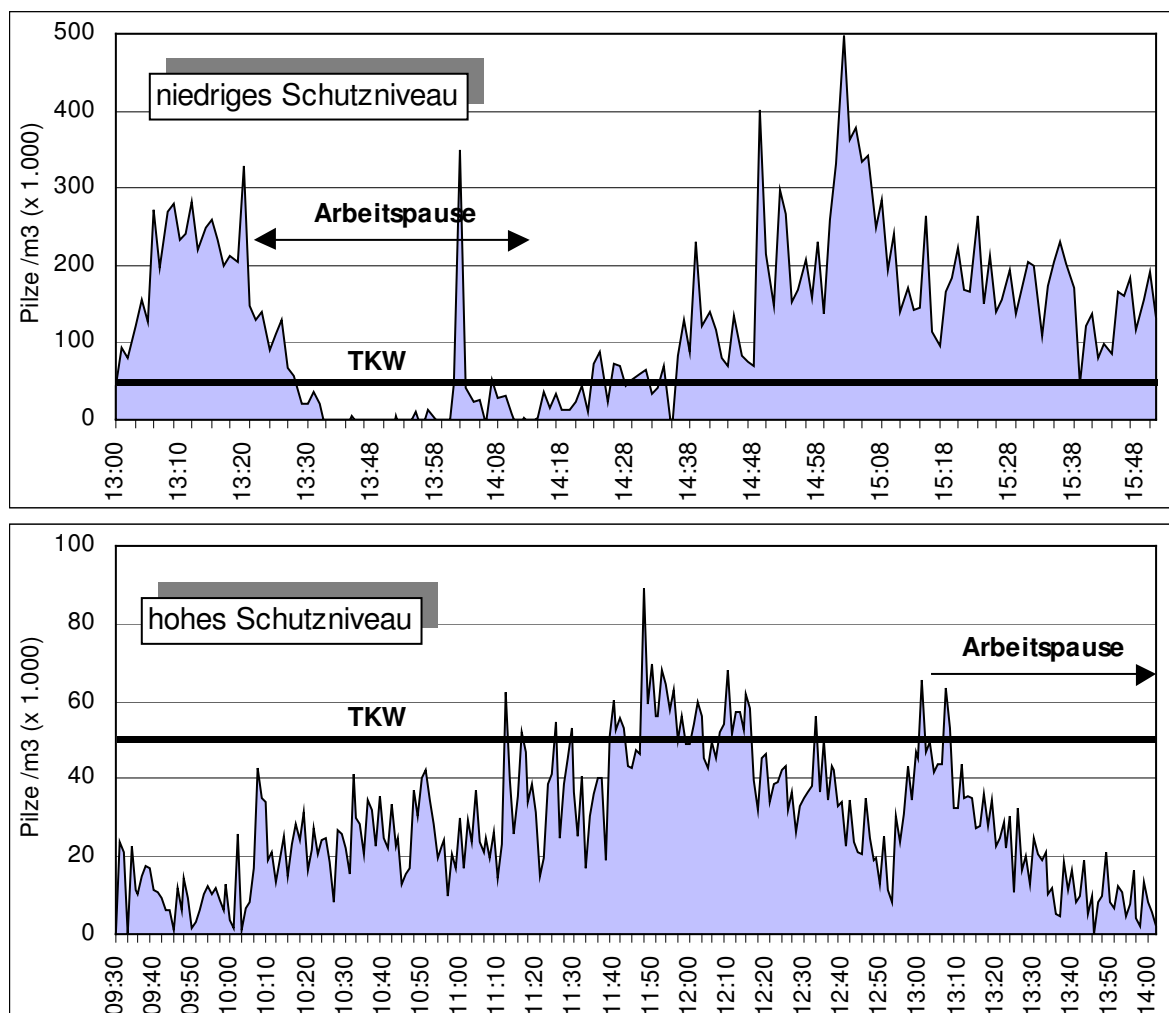


Abb. 7: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine einer Wertstoffsortieranlage bei niedrigem (oben) und erhöhtem Schutzniveau. Die Sortierkabine ist mit einer mäßig wirksamen Lüftungsanlage des Typs II ausgestattet. Die Messungen erfolgten im Auftrag der BG für Fahrzeughaltungen.

Die Luftwechselrate in der untersuchten Sortierkabine ist relativ gering, was sich in der langsamen Abnahme der Luftbelastung in Arbeitspausen bemerkbar macht (Abb. 7, unten). Aufgrund des hohen Mechanisierungsgrades wird nur noch an zwei der 10 vorhandenen Sortierplätze gearbeitet. Die Abwurfgeschächte der nicht benutzten Sortierplätze wurden mit Holzplatten abgedeckt. Bei der ersten Beprobung der Sortierkabine wurde eine mäßig gute Wirksamkeit der vorhandenen Schutzmaßnahmen nachgewiesen. Die Hygiene war mangelhaft. Die Kabinentüren wurden regelmäßig für längere Zeit offen gehalten, was z.T. beträchtliche Immissionen aus der hoch belasteten Anlagenhalle zur Folge hatte. Der TKW wurde in diesem Zustand der Anlage deutlich überschritten (Abb. 7, obere Bildhälfte).

Zur Verminderung der Emissionen wurden die nicht benutzten Abschnitte des Sortierbandes mit einer Blechhaube abgedeckt. Die Haube wurde abgesaugt. Fenster und Türen der Kabine wurden konsequent geschlossen gehalten und das Reinigungsregime verbessert. Bei der anschließenden Kontrollmessung wurde der TKW deutlich unterschritten (Abb. 7, untere Bildhälfte).

Wie die Abbildungen Nr. 1 bis 7 zeigen, bietet die Korrelierte Partikelzählung bei der Arbeitsplatzanalyse den unschätzbaren Vorteil, dass sie technische und betriebsorganisatorische Mängel erkennen hilft. Durch die Möglichkeit der Darstellung der Luftkeimkonzentrationen in Verlaufsform bieten sich dem Untersucher sehr viel bessere Möglichkeiten zur Einschätzung der längerfristigen Belastungen an einem Arbeitsplatz, als dies bei Stichpunktprobenahmen auf der Basis der TRBA 430 und 405 der Fall ist. Darüber hinaus ist das Verfahren sehr gut zur Überprüfung der Einhaltung Technischer Kontrollwerte geeignet. Die KPZ beinhaltet allerdings noch immer Luftkeimmessungen mit entsprechend aufwendigen und z.T. langwierigen mikrobiologischen Untersuchungen. In dieser Hinsicht bietet es keinen Vorteil gegenüber den traditionellen Keimmessverfahren. Wenn das statistische Verhältnis zwischen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Konzentrationen in der Luft an dem jeweiligen Probenahmeort gleichbleibend ist, können die üblichen Keimmessungen durch Staubpartikelmessungen der KPZ ersetzt werden. Das Messergebnis ist dann bereits noch vor Ort verfügbar. Diese Möglichkeit an verschiedenen Arbeitsplätzen zu untersuchen, war Ziel des Forschungsvorhabens F1093 der BAuA.

In der Abbildung 8 sind die Regressionsgeraden von neun Messungen, die mit der KPZ in der Sortierkabine einer Wertstoffsortieranlage über die Dauer einer gesamten Arbeitsschicht durchgeführt wurden, zusammengestellt. Die untersuchte Sortierkabine ist mit einer einfachen Verdünnungslüftung des Typs II ausgestattet. Die Messungen wurden bei zwei unterschiedlichen Betriebszuständen der Sortierkabine durchgeführt. In der unteren Bildhälfte in Abb. 8 sind die Ergebnisse der Messungen bei vergleichsweise niedrigen Staubemissionen und -immissionen nach dem Umbau der Sortierkabine gezeigt. Die obere Bildhälfte in Abb. 8 zeigt die Ergebnisse der Messungen bei deutlich höheren Staub- und Keimemissionen in der Sortierkabine. Als „Leitfraktion“ für luftgetragene Schimmelpilze wurden in der Sortierkabine dieser WSA Staubpartikel mit 2-3 µm Durchmesser ermittelt. Mit dieser Staubpartikel-Größenfraktion wurden an allen neun Messtagen hohe Bestimmtheitsmaße mit $R^2 > 0,8$ erhalten. Die fünf bzw. vier Steigungen der Regressionsgeraden in Abb. 8 zeigen eine sehr

gute Übereinstimmung, so dass die jeweilige Staubzusammensetzung bei den beiden Betriebszuständen als weitgehend identisch angesehen werden kann. Bei niedrigem Schutzniveau vor dem Umbau der Kabine (Abb. 8, oben) waren die Schimmelpilz-Konzentrationen im Einatembaren Staub um einen Faktor von etwa drei höher, als bei geschlossenen Kabinentüren und gekapseltem Sortierband (unten).

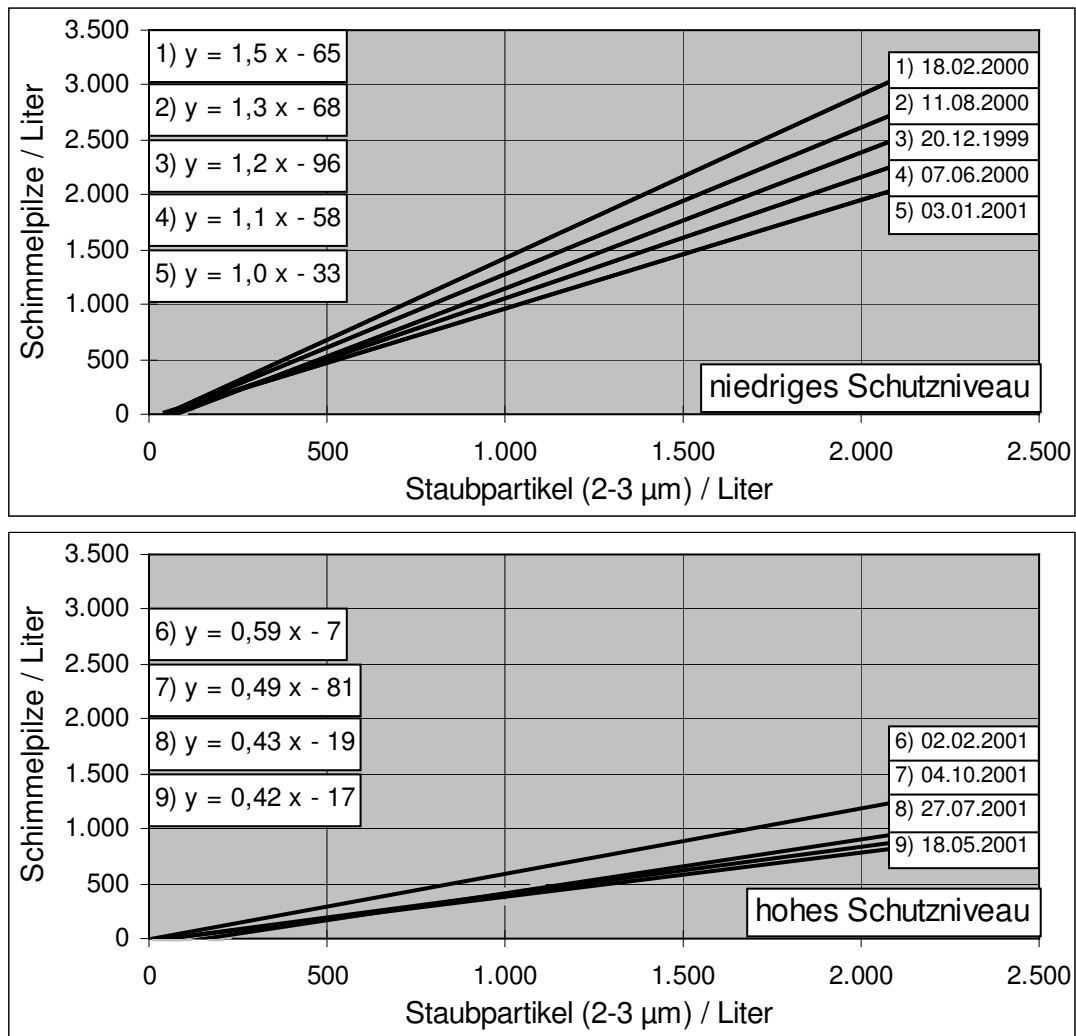


Abb. 8: Befunde der KPZ an neun Messtagen in der Sortierkabine einer WSA. Die Messungen Nr. 1-4 erfolgten im Auftrag der BG für Fahrzeughaltungen.

Die Erhöhung des Schutzniveaus in der Sortierkabine durch Reinigung der Oberflächen, Kapselung des Sortierbandes und Schließen der Kabinentüren bewirkte eine Verminderung insbesondere der Emissionen größerer Partikel in der Sortierkabine. Da in der Sortierkabine die Abhängigkeit von Feinstaubpartikeln (2-3 µm) zu den im Einatembaren Staub enthaltenen Mikroorganismen bestimmt wurden, sind die Steigungen der Regressionsgeraden bei Reduzierung des Keimgehalts in der Grobstaubfraktion abgeflacht. Die Unterschiede zwischen der flachsten Steigung in Abb. 8 (unten) und der steilsten Steigung (oben) überschreiten den Faktor von drei nur knapp. Die statistischen Verhältnisse zwischen den Konzentrationen an Staubpartikeln der Größe 2-3 µm und Schimmelpilzen in Abb. 8 waren

somit über die Dauer von annähernd zwei Jahren und selbst bei zwischenzeitlich deutlich verbessertem Schutzniveau noch gut vergleichbar. Nach den Ergebnissen von Ringversuchen können die Abweichungen der Schimmelpilzmessungen mit Methoden der TRBA 430 bei Parallelmessungen zwischen 300 und 500 % betragen (7).

Ähnlich geringe Schwankungen des statistischen Verhältnisses zwischen Staubpartikel- und Schimmelpilz-Konzentrationen wurden auch in den Sortierkabinen und Anlagenhallen anderer Wertstoffsortieranlagen erhalten. Schimmelpilz-Messungen in WSA können nach den vorliegenden Ergebnissen bei Kenntnis der statistischen Beziehungen der beiden Parameter durch Staubpartikel-Messungen ersetzt werden. In den Sortierkabinen der untersuchten Kompostierungsanlagen konnten in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Input-Materials deutlich unterschiedliche statistische Verhältnisse zwischen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Konzentrationen gefunden werden. Hier sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

4 Zusammenfassung

Die gezeigten Ergebnisse der Luftmessungen in Sortierkabinen und Anlagenhallen von Abfallbehandlungsanlagen verdeutlichen die guten Einsatzmöglichkeiten der Korrelierten Partikelzählung bei der Arbeitsplatzanalyse im Hinblick auf betriebsorganisatorische und technische Mängel. Aufgrund des hohen Informationsgehalts bezüglich Ausmaß, Dauer und Häufigkeit der Konzentrationsspitzen ist eine realistische Einschätzung der Belastungssituation und der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen möglich. Bei Kenntnis der Verlaufskurven kann eine zielgerichtete Optimierung technischer Schutzmaßnahmen vorgenommen werden, da die Verläufe häufig Art und Wirkung der Mängel aufzeigen.

Die Schwankungen der Keimbelastungen in Sortierkabinen sind grundsätzlich um so stärker ausgeprägt, je höher die Effektivität der vorhandenen Schutzmaßnahmen ist. An Arbeitsplätzen mit sehr gut wirksamen Lüftungen sind die Luftkeimkonzentrationsverläufe sehr stark zerklüftet. Es kommt 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 Peaks laufen nahezu ohne Tailing aus, was für die hohe Kapazität der Lüftungstechnischen Anlage spricht, prozessbedingt temporäre Konzentrationen von Schimmelpilzen in der Luft rasch zu beseitigen. Es leuchtet ein, dass die Leistungsfähigkeit wirksamer Lüftungen im Falle stichpunkthafter Beprobungen aufgrund der häufig stark vom Zufall abhängigen Messbefunde leicht falsch eingeschätzt werden kann. Die KPZ erwies sich zudem sehr gut geeignet für die Untersuchung der Mikroorganismen-Immissionen in Abfallbehandlungsanlagen. Emissionsquellen mit besonders ungünstiger Wirkung auf die Lufthygiene in entfernter gelegenen Anlagenbereichen

können lokalisiert und Strategien zur nachhaltigen Verbesserung der Belastungssituation in Abfallbehandlungsanlagen abgeleitet werden.

Für die Überprüfung technischer Schutzmaßnahmen auf Einhaltung eines Kontrollwerts werden Messverfahren benötigt, mit denen die Belastungssituation an Arbeitsplätzen schnell, zuverlässig und möglichst kostengünstig gemessen werden kann. Um gegebenenfalls notwendige Optimierungen an Schutzmaßnahmen wirtschaftlich gestalten zu können, sollten diese Verfahren in der Lage sein, die Mikroorganismen-Konzentrationen direkt anzeigen zu können. Die systematischen Untersuchungen, die im Forschungsvorhaben F1093 der BAuA durchgeführt wurden, zeigen, dass die Korrelierte Partikelzählung sehr gut zur indirekten Keimzahlbestimmung an Arbeitsplätzen geeignet sein kann. Die Abweichungen im statistischen Verhältnis zwischen Staubpartikel- und Schimmelpilz-Konzentrationen betragen bei Wiederholungsmessungen, die innerhalb eines Zeitraums von 15 bis 22 Monaten erfolgten, lediglich einen Faktor von zwei bis vier. Die statistischen Verhältnisse waren im Bereich der Wertstoffsortierung von einer Anlage auf die andere übertragbar, wenn das Materialinput vergleichbar und die Immission aus der umgebenden Anlagenhalle minimiert war. Der resultierende Fehler bei der Abschätzung von Schimmelpilz-Konzentrationen aus Staubpartikelmesswerten überschreitet die verfahrensbedingten Ungenauigkeiten der derzeit verwendeten kulturellen Keimmessverfahren der TRBA 430 nicht.

5 Literatur

- (1) ANONYM: Bek. des BMA vom November 1997: Die neue TRBA 430. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz. In: Bundesarbeitsblatt 11/ 1997
- (2) ANONYM: Bek. des BMA 1996: Technische Regeln Biologische Arbeitsstoffe TRBA 405, Anwendung von Messverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe. In: Bundesarbeitsblatt Nr. 1/ 1996
- (3) ANONYM: Bek. des BMA vom August 2001: Die TRBA 211. Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen. In: Bundesarbeitsblatt 08 / 2001
- (4) MISSEL, T. (1999): Biologische und physikalische Charakterisierung luftgetragener Partikel an Arbeitsplätzen in der Abfallwirtschaft. Diss. Fachbereich Biologie der Universität Hannover
- (5) 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
- (6) SCHAPPLER-SCHEELE, B., HARTUNG, J., SCHÜRSMANN, W., MISSEL, T., BENNING, C. UND WEBER, J. (1998). Untersuchung der gesundheitlichen Gefährdung von Arbeitnehmern der Abfallwirtschaft in Kompostieranlagen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, FB 844, 1999, ISBN 3-89701-357-6, ISSN 1433-2086
- (7) Averdiek, B., Deininger, Ch., Engelhart, S., Missel, Th., Philipp, W., Riege, F.G., Schicht, B. und Simon, R. (1997). Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz - Erster Ringversuch "Schimmelpilze". Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 57, Springer - VDI Verlag 1997: S. 129 – 136