



# Abhängigkeit von Staubpartikel- und Luftkeimkonzentrationen in Abfallbehandlungsanlagen

Dr. T. Missel, Hannover und Dr. U. Schies, München

## Einleitung

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt der Tiefbau-Berufsgenossenschaft wurde durch das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene Dr. Missel durchgeführt. Grundlage der vorgestellten Messmethode sowie Aufgabenstellung wurden bereits im Februar 2001 in dieser Zeitschrift veröffentlicht.

Im Laufe der Bearbeitung von Abfällen bei der Abfallaufbereitung und -sortierung kommt es zur Freisetzung größerer Mengen an Mikroorganismen, die an den Abfällen anhaften. Die Mikroorganismen können sich in der Luft in Arbeitsbereichen anreichern und – insbesondere bei längerfristig hoher Exposition – eine Gefährdung für die Gesundheit bedeuten. Beim Schutz der Arbeitnehmer in Abfallbehandlungsanlagen vor luftgetragenen Mikroorganismen stehen meist technische Maßnahmen, wie z.B. Lüftungstechnische Anlagen, im Vordergrund. Die Effektivität technischer Schutzmaßnahmen kann entsprechend der Konzeption und dem betriebenen Aufwand bei der Wartung jedoch sehr unterschiedlich sein und muss daher in vielen Fällen messtechnisch kontrolliert werden. Für den Nachweis von Mikroorganismen im Rahmen der messtechnischen Überprüfung werden derzeit kulturelle Methoden benutzt. Diese Methoden weisen gravierende Nachteile auf. So sind kulturelle Nachweisverfahren teuer, aufwändig und zudem relativ unpräzise. Die Hauptnachteile dieser Verfahren sind jedoch darin zu sehen, dass eine Einschätzung der Höhe der Luftbelastung vor Ort nicht möglich ist. Um zumindest eine grobe Abschätzung der Mikroorganismen-Konzentrationen an einem bemessenen Arbeitsplatz vornehmen zu können, werden bei den derzeit eingesetzten Messverfahren mehrere Tage benötigt.

Die Konzentrationen luftgetragener Mikroorganismen schwanken an vielen Arbeitsplätzen meist innerhalb weniger Minuten um bis zu mehrere Größenordnungen. Neben diesen kurzfristigen, meist von den momentanen Arbeitsabläufen geprägten Konzentrationsschwankungen können in Abfallbehandlungsanlagen im Laufe einer Schicht häufig auch größere Schwankungen des „Basis-Konzentrationsniveaus“ beobachtet werden. Diese Schwankungen der Hintergrundbelastungen können vielfältige Ursachen haben, z.B. die Änderung von Betriebsabläufen bzw. der Betriebsorganisation, eine verminderte Leistung technischer Schutzmaßnahmen oder ein verändertes Raumklima am Arbeitsplatz [1, 2, 3]. An den meisten Arbeitsplätzen, die es im Bereich der Abfallwirtschaft und -entsorgung gibt, ist für eine realistische Einschätzung der längerfristigen Luftbelastung durch Mikroorganismen daher ein Beprobungsumfang, der weit über Stichpunktmessungen hinausgeht, erforderlich. Die großen Schwankungen der Mikroorganismen-Konzentrationen in der Luft an Arbeitsplätzen im Bereich der Abfallwirtschaft verlangen Messverfahren, mit denen die Belastungssituation kontinuierlich gemessen werden kann. Dies trifft insbesondere auf Messungen bei der Funktionsüberprüfung technischer Schutzmaßnahmen bzw. bei der Überprüfung der Einhaltung Technischer Kontrollwerte zu. Die Erstellung von kontinuierlichen Luftkeim-Konzentrationsverläufen auf der Basis der derzeit angewandten kulturellen Methoden ist allerdings extrem materialaufwändig, sehr ungenau und nicht praktikabel.

In dem Verfahren der „Korrelierten Partikelzählung“ (KPZ) könnte ein geeignetes Instrument zur kontinuierlichen Messung der Mikroorganismen-Konzentrationen gesehen werden [4]. Das

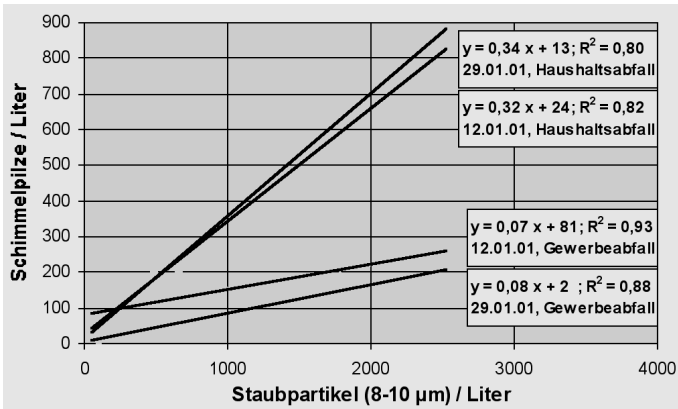
Verfahren beruht auf dem statistischen Verhältnis zwischen den Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen einerseits und Staubpartikeln mit Mikroorganismen-relevanter Größe auf der anderen Seite. Das statistische Verhältnis bleibt nach den Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen in Abfallbehandlungsanlagen meist über längere Zeiträume hinweg gleich. Es wird durch Lineare Regression der Befunde von 6 bis 10 zeitlich und räumlich eng verbundenen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Messungen bestimmt. Damit ein ausreichend großer Untersuchungszeitraum für statistisch abgesicherte Aussagen gegeben ist, müssen die Messzeiten der Einzelmessungen bei der KPZ mindestens 20 bis 30 Minuten betragen. An Hand des statistischen Verhältnisses – ausgedrückt durch die Steigung der Regressionsgeraden – können aus den kontinuierlich gemessenen Staubpartikel-Konzentrationen Mikroorganismen-Konzentrationsverläufe mit 1-minütiger Taktung errechnet werden.

Das Verfahren der „Korrelierten Partikelzählung“ beinhaltet jedoch noch immer mikrobiologische Untersuchungen, so dass die angestrebten Vorteile wie Schnelligkeit und Kostenersparnis gegenüber den bisherigen Stichpunktmessungen auf kultureller Basis noch nicht gegeben sind. Die Keimmessungen bei der KPZ könnten entfallen, sofern die gezielte Forschung mit diesem Messverfahren zeigen sollte, dass das statistische Verhältnis zwischen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Konzentrationen auch über größere Zeiträume konstant ist.

Um dies zu untersuchen, beauftragte die Tiefbau-Berufsgenossenschaft das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene mit der Durchführung von Messungen in ausgewählten Abfall- und Wertstoffsortieranlagen. Zunächst wurde untersucht, ob in definierten



Abb. 1: Sortierkabine einer Wertstoffsortieranlage – starke Verschmutzung durch vom Band gefallene Verpackungsbfälle



**Abb. 2: Lineare Regression der gemessenen Konzentrationen an Staubpartikeln der Größe 8–10 µm und Schimmelpilzen im E-Staub an zwei Messtagen in zwei unterschiedlichen Arbeitsbereichen der Mechanischen Abfallaufbereitungsanlage**

Arbeitsbereichen innerhalb dieser Anlagen feste statistische Abhängigkeiten zwischen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Konzentrationen bestehen. An Hand von Wiederholungsmessungen in unterschiedlichen Zeitabständen wurde anschließend geprüft, in welchem Ausmaß das gefundene statistische Verhältnis zwischen Staubpartikel- und Mikroorganismen-Konzentrationen innerhalb eines Arbeitsbereichs schwankt und was die Ursachen für die Schwankungen sind. Im Zeitraum zwischen Januar und Oktober 2001 wurden 16 Messungen mit der Korrelierten Partikelzählung in vier verschiedenen Abfallbehandlungsanlagen über die Dauer einer Schicht durchgeführt. Beprobt wurden eine Wertstoffsortieranlage, eine Trockenstabilatanlage, eine Mechanische Abfallaufbereitungsanlage mit getrennten Aufbereitungslinien für Haushaltsabfall und Gewerbeabfall sowie eine Gewerbemischabfall-Sortieranlage.

## Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Linearen Regression bei der Korrelierten Partikelzählung in der Mechanischen Abfallaufbereitungsanlage (MA) aufgeführt. Die Messungen in der MA erfolgten an den beiden Grobzerkleinerern bei der Materialaufgabe in den Aufbereitungslinien für Haushaltsabfall (HA) und Gewerbeabfall (GA). Die Hallentore wurden während den Messungen weitgehend geschlossen gehalten, um die raumklimatischen Bedingungen möglichst vergleichbar zu gestalten. Am 12.1. und 29.1.2001 wurden jeweils zwei Messungen mit der Korrelierten Partikelzählung in den beiden verschiedenen Arbeitsbereichen der MA durchgeführt und die statistischen Abhängigkeiten zwischen Staubpartikel- und Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft verglichen.

Bei der Korrelierten Partikelzählung werden die Abhängigkeiten der Luftkeim-Konzentrationen im Einatembaren Staub von den Konzentrationen an Staubpartikeln in 15 verschiedenen Größenklassen zwischen 0,3 und > 20 µm bestimmt. Es müssen somit 15 Lineare Regressionen durchgeführt werden. Diejenige Partikelfraktion, mit der das höchste Bestimmtheitsmaß erhalten wurde, kann als „Leitfraktion“ für Mikroorganismen im einatembaren luftgetragenen Staub angesehen werden. Ein Vergleich der statistischen Verhältnisse zwischen Staubpartikel- und Luftkeimkonzentrationen an verschiedenen Messorten und/oder unterschiedlichen Messtagen über die Steigung der Regressionsgeraden kann nur an Hand ausgewählter Partikel-Größenfraktionen erfolgen. Es müssen daher Partikel-Größenfraktionen gefunden werden, mit denen bei allen durchgeführten Untersuchungen relativ hohe Bestimmtheitsmaße erhalten wurden. Als „Leitfraktion“ für luftgetragene Schimmelpilze wurden in der MA Staubpartikel mit dem Durchmesser 8–10 µm ermittelt. Mit dieser Staubpartikel-Größenfraktion wurden bei allen vier an

zwei Messtagen in der MA durchgeführten Messungen relativ hohe Bestimmtheitsmaße erhalten (Abb. 2).

Die Steigungen der Regressionsgeraden in den beiden unterschiedlichen Arbeitsbereichen zeigten auf Grund der Vergleichbarkeit der technischen und betriebsorganisatorischen Randbedingungen eine sehr gute Übereinstimmung. Die Staubzusammensetzung an den beiden Probenahmetagen im Januar 2001 war somit weitgehend identisch. In der HA waren die Schimmelpilz-Konzentrationen im luftgetragenen Staub um einen Faktor von etwa vier höher als in der GA. Im Laufe der Verarbeitung von Gewerbeabfall kam es häufiger zu zeitlich begrenzten, aber vergleichsweise hohen Emissionen besonderer Stäube (z.B. Zement, Holzstaub), welche sich auf Grund der geschlossenen Hallentore insbesondere in der GA aufkonzentrieren konnten. Die Schwankungen der Partikelverteilung im luftgetragenen Staub waren hier dementsprechend höher, als dies in der HA der Fall war. Dies hatte zur Folge, dass in der GA auch eine höhere Anzahl an Ausreißermessungen bei der Linearen Regression erhalten wurde (2 von 10 Messungen). Nach Eliminierung der Ausreißer ( $\alpha = 0,05$ ) wurden in beiden Anlagenhallen jedoch gleichermaßen hohe Bestimmtheitsmaße von zumindest 0,8 erhalten (Abb. 2).

Die Wertstoffsortieranlage (WSA) wurde sowohl in der Anlagenhalle – vorzugsweise am Sackaufreißer – als auch in der Sortierkabine bemessen. Die Belüftung der Anlagenhalle über die Hallentore war an den vier Messtagen sehr unregelmäßig. Bei zwei Beprobungen waren die Hallentore geöffnet, was auf Grund der baulichen Gegebenheiten zu einer sehr guten Durchlüftung führte. An zwei Probenahmetagen wurden die Hallentore die überwiegende Zeit geschlossen gehalten. Dies führte zur Aufkonzentrierung der in der Halle emittierten Staubpartikel. Auf Grund der vergleichsweise hohen Dieselmotor-Emissionen aus nicht entsprechend gefilterten Fahrzeugen (Radlader, Gabel-

**Anzeige  
ESV**

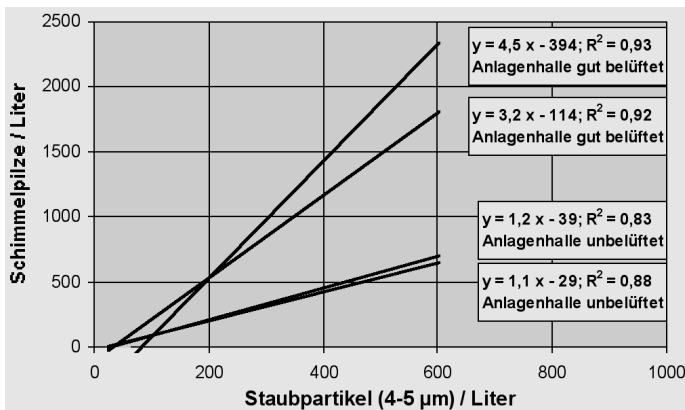


Abb. 3: Lineare Regression der gemessenen Konzentrationen an Staubpartikeln der Größe 4–5 µm und Schimmelpilzen im E-Staub an vier Messtagen zwischen März und Oktober 2001 in der Anlagenhalle einer Wertstoffsortieranlage

stapler, Anlieferung) kam es in der WSA an diesen Tagen zu einer verhältnismäßig starken Anreicherung von Dieselruß-Partikeln in der Hallenluft. Die Ergebnisse der Korrelierten Partikelzählung in der Anlagenhalle der WSA an vier Messtagen sind in Abbildung 3 gezeigt.

In der Anlagenhalle der WSA wurden unterschiedlich steile Regressionsgeraden erhalten. Die flachste und steilste Steigung der Regressionsgeraden unterschieden sich um einen Faktor von etwa vier. Die Steigungen der Regressionsgeraden erwiesen sich als stark abhängig von der Effektivität der Belüftung der Anlagenhalle über die Hallentore. Bei geschlossenen Hallentoren lag auf Grund der Anreicherung von Dieselmotor-Emissionen in der Hallenluft ein deutlich niedrigerer Schimmelpilzgehalt im luftgetragenen Staub vor, als dies bei geöffneten Hallentoren und guter Durchlüftung der Fall war. Unter der Voraussetzung von identischen raumklimatischen Randbedingungen wurden in der Anlagenhalle der WSA jedoch sehr gut vergleichbare Schimmelpilz-Konzentrationen im luftgetragenen Staub gefunden (Abb. 3).

Die jeweilige Zusammensetzung des luftgetragenen Staubes in der Anlagenhalle wirkte sich auch auf die am gleichen Tag in der Sortierkabine gefundenen statistischen Verhältnisse zwischen Staubpartikel- und Schimmelpilz-Konzentrationen aus. Die untersuchte Sortierkabine wird mit einer sehr einfach konzipierten Verdünnungslüftung belüftet, so dass Hallenluft über die offenen Abwurfschächte und Banddurchführungen eindringen kann. In Abhängigkeit von den Dieselmotor-Emissionen in der Anlagenhalle wurden auf Grund des Eindringens von Hallenluft in die Sortierkabine daher ebenfalls unterschiedlich hohe Schimmelpilzgehalte im luftgetragenen Staub gefunden (Abb. 4). Ein vergleichsweise niedriger Schimmelpilzgehalt im Staub trotz guter Belüftung der Anlagenhalle wurde nach Inbetriebnahme einer Bedüsungsanlage, die in der vor der Sortierkabine befindlichen Siebtrommel installiert wurde, nachgewiesen. Durch die Befuchtung des Sortierguts mit Wasser konnten insbesondere Emissionen an Grobstaub-Partikeln in der Sortierkabine vermindert werden. Da bei der Korrelierten Partikelzählung die Abhängigkeiten von Staubpartikeln bestimmter Größe zu Mikroorganismen im gesamten Einatembaren Staub bestimmt werden, sind die Steigungen der Regressionsgeraden bei Reduzierung des Keimgehalts in der Grobstaubfraktion abgeflacht.

Das Eindringen von Hallenluft über die Abwurfschächte und die Banddurchführungen in die Sortierkabine wird in den Verlaufskurven in Abbildung 5 deutlich. Bei Schließen der Hallentore kommt es sowohl in der Anlagenhalle als auch in der Sortierkabine zu einem starken Anstieg der Luftbelastung durch Schimmelpilze. Bei Öffnen der Tore nehmen die Schimmelpilz-Konzentrationen innerhalb kurzer Zeit wieder ab.

Die Trockenstabilatanlage (TSA) wurde an drei Tagen an verschiedenen Messorten probiert. An allen drei Messtagen wurden

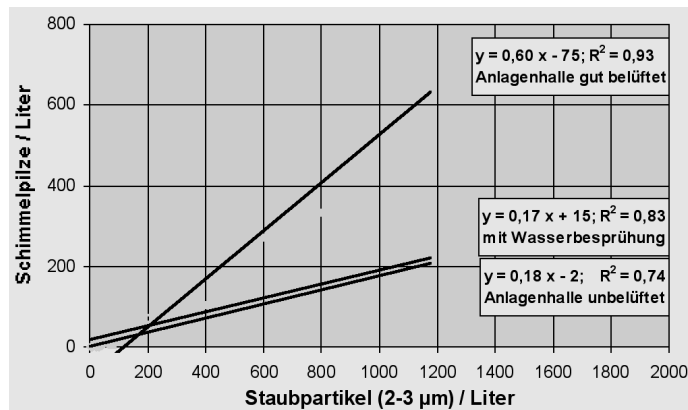


Abb. 4: Lineare Regression der gemessenen Konzentrationen an Staubpartikeln der Größe 2–3 µm und Schimmelpilzen im E-Staub an drei Messtagen zwischen März und Juli 2001 in der Sortierkabine einer Wertstoffsortieranlage

deutlich ausgeprägte Abhängigkeiten zwischen Staubpartikel- und Schimmelpilz- bzw. Bakterien-Konzentrationen mit  $R^2 > 0,8$  gefunden. Die Anlagenhalle mit den Aggregaten zur Aufbereitung und Siebung des Trockenstabilats wurde an zwei Tagen bemessen, wobei an einem Tag erhebliche Staubimmissionen aus dem Anlieferbereich, in dem zum Zeitpunkt der Messungen Sperrabfälle geschreddert wurden, beobachtet wurden. Auf Grund der sehr stark variierenden Randbedingungen, die bei den beiden Messungen in der Aufbereitungshalle vorgefunden wurden, waren die Keimgehalte im luftgetragenen Staub und somit die Steigungen der Regressionsgeraden nicht vergleichbar. Eine dritte Messung in der TSA wurde am Grobzerkleinerer im Bereich der Materialaufgabe durchgeführt. Das hier gefundene statistische Verhältnis zwischen luftgetragenen Schimmelpilzen und Staubpartikeln war auf Grund des von Trockenstabilat und Sperrabfällen sehr stark abweichenden Keimspektrums mit den in der Aufbereitungshalle gefundenen Verhältnissen nicht vergleichbar (Daten nicht gezeigt).

In der Anlagenhalle und der Sortierkabine der Aufbereitungsanlage für Gewerbemischabfall wurden ebenfalls deutlich ausgeprägte lineare Abhängigkeiten zwischen luftgetragenen Schimmelpilzen und Staubpartikeln mit Bestimmtheitsmaßen von bis zu 0,9 gefunden.

Die Steigungen der Regressionsgeraden waren bei der Partikelfraktion 8–10 µm mit den in Abbildung 2 gezeigten Ergebnissen in der GA der MA sehr gut vergleichbar. In der Sortierkabine wurde auf Grund der deutlich niedrigeren Dieselruß- und Inertstaub-Emissionen ein geringerer Schimmelpilzgehalt im luftgetragenen Staub gefunden, als dies in der hoch mit Fahrzeugen frequentierten Anlieferung dieser Anlage der Fall war (Daten nicht gezeigt).

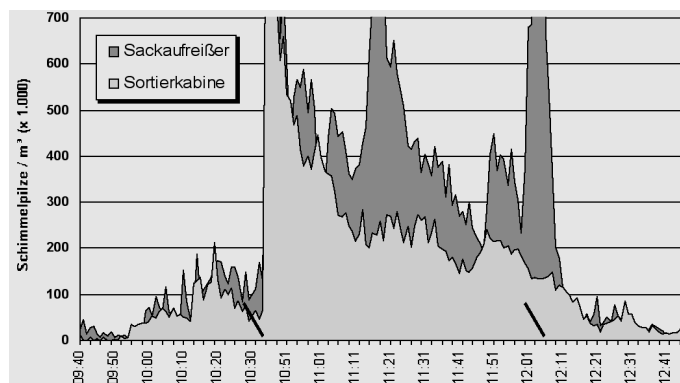


Abb. 5: Verläufe der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Sortierkabine (hell) und der Anlagenhalle (dunkel) der untersuchten Wertstoffsortieranlage. Die Hallentore wurden um 10:40 Uhr geschlossen und um 12:04 Uhr wieder geöffnet (Pfeile)



## Zusammenfassung

Das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene führte im Zeitraum von Januar bis Oktober 2001 im Auftrag der TBG 16 Messungen in vier unterschiedlichen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Verfahren der Korrelierten Partikelzählung jeweils über die Dauer einer gesamten Schicht durch. Ziel der Untersuchungen war es, festzustellen, ob in den untersuchten Anlagen feste lineare Beziehungen zwischen den Konzentrationen an luftgetragenen Mikroorganismen und Staubpartikeln nachweisbar sind. An Hand von Kontrollmessungen in unterschiedlichen Zeitabständen wurde anschließend überprüft, ob die Abhängigkeiten dieser beiden Parameter reproduzierbar sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass in Abfallbehandlungsanlagen sehr häufig lineare Abhängigkeiten zwischen luftgetragenen Mikroorganismen und Staubpartikeln bestimmter Größenfraktionen bestehen und diese Abhängigkeiten mit dem Verfahren der Korrelierten Partikelzählung sehr gut nachgewiesen werden können. Die vorliegenden Ergebnisse wiederholter Anlagenbeprobungen deuten darauf hin, dass die linearen Beziehungen zwischen luftgetragenen Mikroorganismen und Staubpartikeln über längere Zeiträume konstant sind.

Bei vergleichbarem Materialinput wurden in unterschiedlichen Abfallbehandlungsanlagen sehr gut vergleichbare Keimgehalte im luftgetragenen Staub nachgewiesen, was auf eine in weiten Bereichen einheitliche Zusammensetzung der Bioaerosole hindeutet. Diese Befunde lassen es denkbar erscheinen, dass Stichpunktmessungen auf luftgetragene Mikroorganismen bei Kenntnis der statistischen Abhängigkeiten von Luftkeim- und Staubpartikel-Konzentrationen durch kontinuierliche Staubpartikelmessungen ersetzt werden könnten. Dies könnte auf Grund der erheblichen Steigerung des Informationsgehalts der Messergebnisse und der Möglichkeit zur Kostenersparnis, z.B. bei Funktionsüberprüfungen von technischen Schutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen, von großer Bedeutung sein. Voraussetzung für das Ersetzen von Keimmessungen durch Staubpartikelmessungen ist nach den Ergebnissen der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen lediglich die Vergleichbarkeit der Randbedingungen bei den Messungen, wie z.B. im Bereich des Raumklimas, der Qualität des bearbeiteten Input-Materials und der Betriebsorganisation.

## Literatur

- [1] Schappler-Scheele, B., Hartung, J., Schürmann, 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
- [2] Missel, T. (1999): Biologische und physikalische Charakterisierung luftgetragener Partikel an Arbeitsplätzen in der Abfallwirtschaft. Diss. Fachbereich Biologie der Universität Hannover
- [3] Missel, T. (2000): Keim- und Staubbelastung von Müllwerkern bei der Abfallsammlung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 60, Springer-VDI Verlag 4/2000, S. 150–157
- [4] Missel, T. und Schies, U. (2001): Abhängigkeiten zwischen Staub- und Luftkeimkonzentrationen in Raum- und Außenluft. TIEFBAU, Erich Schmidt Verlag, Heft 2, 2/2001, S. 91–97

Autoren:

Dr. T. Missel, Labor für Arbeits- und Umwelthygiene

Dr. U. Schies, Fachreferat „Mikrobiologische Gefährdungen“

im Technischen Aufsichtsdienst der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

**Aktuelle Informationen zur  
Recyclingtechnik auf Seite 110**

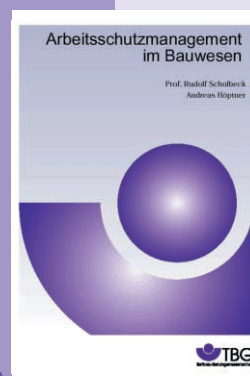
# Arbeitsschutz- management im Bauwesen

## Hintergrundinformationen, Tipps und Hilfen Praxisbeispiele

Hintergrundinformationen, Tipps und Hilfen stehen im Vordergrund dieses neuen Buches der Tiefbau-Berufsgenossenschaft. Nach einer kurzen Einführung in aktuelle Systemkonzepte werden häufig gestellte Fragen zu SCC (Sicherheitszertifikat Kontraktoren) beantwortet und Wege zur innerbetrieblichen Einführung eines Arbeitsschutzmanagementsystems (AMS) aufgezeigt. Untermauert werden die Empfehlungen der TBG durch zahlreiche Beiträge aus der Praxis, wie z.B. aus Bauunternehmen, die bereits ein AMS eingeführt haben. Die beschriebenen Vorgehensweisen und die zur Verfügung gestellten Originaldokumente sind innerbetrieblich erprobt und haben sich im täglichen Einsatz bewährt.

Die TBG folgt mit der vorliegenden Veröffentlichung dem Wunsch vieler Unternehmen, die ein AMS einführen wollen oder sich aus Wettbewerbsgründen dazu veranlasst sehen. Getragen von der Kompetenz und Erfahrung der beteiligten Autoren ist ein Werk entstanden, das sowohl Einsteigern als auch Profis Unterstützung und zahlreiche Anregungen für die praktische Arbeit liefert.

Das Buch ist über den Jedermann-Verlag (Postfach 10 31 40 in 69021 Heidelberg, Tel.: 0 62 21 / 14 51 - 0, Fax: 0 62 21 / 2 78 70) oder im Buchhandel zum Preis von 17,90 € zu beziehen.



**Arbeitsschutzmanagement  
im Bauwesen**  
Herausgeber:  
Tiefbau-Berufsgenossenschaft  
Prof. R. Scholbeck, A. Höpftner  
ISBN 3-920 506-75-8  
2001, ca. 200 Seiten, DIN A-4,  
Broschüre, 17,90 €  
Jedermann-Verlag, Heidelberg



**TBG**  
Tiefbau-Berufsgenossenschaft