

# Gesundheitsrisiken bei der Abfallsammlung und in Kompostierungsanlagen

Ergebnisse der Langzeitbeobachtungen – Erkenntnisse für die Praxis



Jürgen Bünger, Frank Hoffmeyer, Anja Deckert, Monika Raulf, Vera van Kampen

Beschäftigte in der Abfallwirtschaft sind gegenüber sogenannten Bioaerosolen exponiert. In der Vergangenheit wurden bei Messungen im Bereich der Abfallsammlung und in Kompostierungsanlagen teils hohe Belastungen der Luft durch Bakterien und Schimmelpilze nachgewiesen. Die Untersuchung der Beschäftigten zeigte Gesundheitsrisiken vor allem durch Reizungen der Atemwege und allergische Erkrankungen. Die Studien in diesen Betrieben wurden bereits vor über 15 Jahren begonnen, so dass für einen großen Teil der Beschäftigten – aber auch der ausgeschiedenen Mitarbeiter – Langzeitbeobachtungen vorliegen.

Die Entsorgung der in den 1970er und 1980er Jahren stark angewachsenen Mengen kommunaler und industrieller Abfälle war durch Deponierung allein nicht mehr realisierbar und aufgrund des hohen Anteils an wiederverwertbaren Stoffen auch nicht sinnvoll. Durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz von 1994 wurden tiefgreifende Veränderungen in der Entsorgungsstruktur eingeleitet. Neben Deponien und Verbrennungsanlagen entstanden neue Betriebe wie Sortier- und Recyclingbetriebe sowie Kompostwerke.

Je nach Abfallart sind die Materialien schon bei der Sammlung beziehungsweise Anlieferung zur Wiederverwertung mit großen Mengen von Mikroorganismen belastet (Stalder und Bünger 1996). Während die „normale“ Konzentration von Mikroorganismen in der Umgebungsluft weniger als 1.000 koloniebildende Einheiten (KBE)/m<sup>3</sup> beträgt, werden in Anlagen der Abfallwirtschaft bis zu mehrere Millionen KBE/m<sup>3</sup> Luft gefunden (siehe Tabelle 1). Dabei finden sich die höchsten Expositionen durch diese Bioaerosole (siehe Infokasten) in Kompostierungsanlagen (van Kampen et al. 2014).

Die Exposition der Beschäftigten durch diese Bioaerosole kann zu gesundheitlichen Beschwerden - insbesondere der Schleimhäute und der Atemwege - führen. In zwei Langzeitstudien wurden Exposition und Gesundheitsrisiken bei der Abfallsammlung und in Kompostierungsanlagen in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), der Berufsgenossenschaft Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr) und der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW) untersucht und aus den Ergebnissen Schutzmaßnahmen abgeleitet.

## Studiendesign

Für zwei prospektive Kohortenstudien wurden 218 Kompostierer (1996/1997, 42 Betriebe) und 220 Müllwerker (1998, 11 Betriebe) rekrutiert und über einen Zeitraum von 12 bis 14 Jahren auch nach ihrem Ausscheiden nachverfolgt (Bünger et al. 2000, Neumann et al. 2001, Bünger et al. 2007, van Kampen et al. 2012, Schantora et al. 2015). In Tabelle 2 sind Anzahl und Zeiträume der Untersuchungsdurchgänge (Surveys) sowie Teilnehmerzah-

len und -charakteristika zusammengefasst. Die Beschwerden und Erkrankungen der Beschäftigten wurden mittels Fragebogen, körperlicher Untersuchung und Lungenfunktionsprüfung untersucht. Im Blut wurden Parameter der spezifischen Immunität (IgE- und IgG-Antikörper) gegen Schimmelpilze und Aktinomyzeten sowie weitere Umweltallergene bestimmt. In Nasenspülflüssigkeit und induziertem Sputum wurden zelluläre Bestandteile und lösliche Botenstoffe der Entzündung (Inflammation) der oberen und unteren Atemwege gemessen.

Parallel zu den Untersuchungen der Beschäftigten wurde die Bioaerosolexposition in den Betrieben analysiert. Bei der klassischen, kultivierungsabhängigen Methode wird in den Luftstaubproben die Anzahl der lebenden Mikroorganismen nach Kultivierung (in KBE/m<sup>3</sup>) bestimmt. Dadurch, dass ausschließlich lebende und vermehrungsfähige Organismen erfasst werden und dass zusätzliche Störgrößen wie Sammelstress während der Probenahme sowie selektive Kultivierungsbedingungen wie Nährmedium, Temperatur etc. einen Einfluss haben, kommt es mit der kultivierungsabhängigen Methode meist zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Belastungshöhe. Aus diesem Grunde wurden die Luftbelastungen in Kompostierungsanlagen parallel auch mit verschiedenen kultivierungsunabhängigen Methoden bestimmt (Tabelle 3).

### Hohe Expositionen durch Mikroorganismen

Bei den ersten Surveys in den 1990er Jahren betrug die Exposition in Kompostierungsanlagen durch Schimmelpilze und Bakterien häufig über 10<sup>6</sup> KBE/m<sup>3</sup>, in der Abfallsammlung lag sie ein bis zwei Größenordnungen niedriger. Im Gegensatz zum Gefahrstoffbereich gibt es für Biostoffe bislang keine Grenzwerte. In der Vergangenheit wurde nur für Sortierkabinen und Fahrzeugkabinen - dort halten sich die Mitarbeiter von Kompostwerken besonders lange auf - ein technischer Kontrollwert (TKW) von 50.000 KBE/m<sup>3</sup> für mesophile Schimmelpilze abgeleitet. Dieser wurde in den untersuchten Radladerkabinen und ebenfalls in den Sortierkabinen in vielen Fällen überschritten. Daher wurden nach dem ersten Survey erweiterte Präventionsmaßnahmen vorgeschlagen.

Die Nachmessungen in den Kompostierungsanlagen bei dem letzten Survey im Jahr 2009 ergaben vor allem an diesen zwei wichtigen

Exposition Arbeitsplatz	Bakterien (in KBE/m <sup>3</sup> )	Schimmelpilze (in KBE/m <sup>3</sup> )
Kompostierung	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>
Sortierkabinen	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>
Deponien	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Abfallsammlung	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
Umweltbelastung	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>3</sup>

Tabelle 1: Größenordnungen der Exposition an verschiedenen Arbeitsplätzen der Abfallwirtschaft im Vergleich zur Umweltbelastung.

### Bioaerosole

Bioaerosole (organische Stäube, biologische Arbeitsstoffe) in der Abfallwirtschaft bestehen aus Mikroorganismen, vor allem Bakterien, Schimmelpilzen und - seltener - Viren, sowie deren Zellbestandteilen und Stoffwechselprodukten, die in einigen Fällen eine Infektion, häufiger aber eine allergene oder irritativ-toxische Wirkung auslösen können. Im englischen Sprachraum wird auch von „organic dust“ gesprochen. Art und Zahl der lebenden Mikroorganismen werden üblicherweise nach Anzucht auf Nährböden (Kultivierung) als koloniebildende Einheiten (in KBE/m<sup>3</sup>) bestimmt. Zum Schutz vor Gesundheitsrisiken durch diese „biologischen Arbeitsstoffe“ wurde die Biostoffverordnung (BioStoffV) erlassen. Dort und insbesondere in den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 213 (Abfallsammlung) und 214 (Abfallbehandlung) sind Maßnahmen beschrieben, die vor Infektionen und den sensibilisierenden bzw. toxischen Wirkungen der Biostoffe schützen. Anlässe zur arbeitsmedizinischen Vorsorge finden sich in der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) im Anhang Teil 2.

Arbeitsplätzen deutliche Verbesserungen. Der TKW wurde in den untersuchten Radladerkabinen fast immer eingehalten, weil die Radlader mit wenigen Ausnahmen mit Schutzbelüftungen nachgerüstet wurden. Im Sortierbereich wurde der TKW nur noch in zwei Fällen überschritten, da die manuelle Sortierung von Abfällen überwiegend durch maschinelle Sortierverfahren ersetzt wurde. Dort wo noch von Hand sortiert wurde, wurden die Lüftungsanlagen weiter verbessert. In der Abfallsammlung zeigten sich beim letzten Survey im Jahr 2012 dagegen keine wesentlichen Änderungen der Bioaerosolexposition für die Beschäftigten, da Verfahren und Fahrzeugtechnik im Wesentlichen unverändert geblieben waren (Neumann et al. 2014).

Die Messung von KBE/m<sup>3</sup> ist bei Tätigkeiten in der Abfallwirtschaft nach wie vor die gängige Methode, aber wie bereits eingangs erwähnt mit zahlreichen Unzulänglichkeiten behaftet. Daher wurden in der Kompostierstudie des IPA in Zusammenarbeit mit der BAuA andere kultivierungsunabhängige Methoden erprobt. Die Verfahren hierzu wurden im Vorfeld vom IPA teilweise neu entwickelt, wie beispielsweise die Quantifizierungsmethoden verschiedener Schimmelpilz-Antigene mittels Immunoassays. Korrelierend mit der KBE-Bestimmung war die mikrobielle Belastung in Kompostierungsanlagen mit verschiedenen kultivierungsunabhängigen Methoden darstellbar (Tabelle 3). Da die nicht kultivierungsabhängigen Methoden verschiedene Vorteile haben (Wegfall langer Kultivierungszeiten, Erfassung nicht-kultivierbarer Organismen und deren Bruchstücke, leichtere Speziesdifferenzierung), sollten sie weiter als Expositionsmarker evaluiert werden.



Abb. 1: Luftstaubsammlung in der Fahrerkabine eines Radladers. Die drei Probenahmeköpfe, die über jeweils einen Schlauch mit den entsprechenden Probenahmepumpen verbunden sind, wurden in der Atemhöhe des Fahrers positioniert.

**Beschwerden, Befunde, Lungenfunktion, Biomarker**

Etwa ein Drittel sowohl der Kompostierer als auch der Müllwerker gaben in den Surveys Irritationen an Augen und oberen Atemwegen im Sinne eines MMIS (Mucous Membrane Irritation Syndrome) an. Diese Beschwerden wurden auch durch die Befunde der klinischen Untersuchungen bestätigt (van Kampen et al. 2012, Hoffmeyer et al. 2014, Schantora et al. 2015). In der Mehrzahl der Fälle sind diese Befunde nach Ende der Exposition rückläufig, wie die Befragungen und Untersuchungen der aus dem Betrieb ausgeschiedenen Mitarbeiter zeigten (van Kampen et al. 2012).

Ähnlich häufig wurden Hustenbeschwerden angegeben. Dies weist darauf hin, dass auch die tiefen Atemwege betroffen sind, da die Partikel bis in die Bronchien und Lungenbläschen (Alveolen) inhaled werden. Der Husten ist bei einem Teil der - vor allem langjährig Beschäftigten - nach Expositionsende nicht rückläufig, sondern bleibt im Sinne einer chronischen Bronchitis (CB) bestehen. Bei einzelnen Studienteilnehmern wurde eine chronisch obstruktive Bronchitis (COPD) mit Einschränkung der Lungenfunktion diagnostiziert. Auf Gruppenbasis war die Lungenfunktion aber nicht signifikant verschlechtert (van Kampen et al. 2012, Hoffmeyer et al. 2014).

Auffällig ist, dass die Häufigkeit und Stärke der Gesundheitsbeschwerden sich zwischen beiden Kohorten nicht wesentlich unterschied, obwohl die Kompostierer im Durchschnitt deutlich höher exponiert waren als die Müllwerker. Dieser Effekt ist eventuell auf das höhere Alter und die längeren Beschäftigungszeiten der Müllwerker zurückzuführen. Möglich ist aber auch ein „Healthy-worker-effect“, da beim Survey im Jahr 2001 von 84 ausgeschiedenen Kompostierern zwölf angaben, wegen bioaerosolbedingter Gesundheitsbeschwerden die Tätigkeit beendet zu haben (Bünger et al. 2002).

	Kompostierer			Müllwerker	
Jahr	1996/7	2001	2009	1998	2012
Zahl der Betriebe	42	41	36	11	7
Probanden (n)	218	195	190	220	71
Davon auch 1. Survey (n)	-	123	76	-	43
Alter (MW +/- STABW)	38 ± 9,8	42	45 ± 9,3	40 ± 8,1	47 ± 7,0
Beschäftigungsdauer (MW +/- STABW)	4 ± 4,8	9 ± 6,3	12 ± 7,8	11 ± 7,0	20 ± 8,3
Drop outs (n)	-	95	59	-	28
Alter (MW +/- STABW)			52 ± 10,6		59 ± 9,5
Beschäftigungsdauer (MW +/- STABW)			9,4 ± 6,5		24,3 ± 7,4
Beschäftigungsaufgabe (MW +/- STABW)			6,5 ± 3,6		5,4 ± 3,0

Tabelle 2: Zahl und Charakterisierung der Studienteilnehmer und der ausgeschiedenen Personen (Drop-outs) in den einzelnen Untersuchungsdurchgängen (Surveys) der Abfallstudien.



Im Sinne einer Entzündungsreaktion der Atemwege wurden in der Nasallavage beziehungsweise im induzierten Sputum erhöhte inflammatorische Marker wie Interleukin 8 (Neumann et al. 2001, Raulf et al. 2015) oder MMP(Matrix-Metalloprotease)-9 bestimmt (Raulf et al. 2015). Während im ersten Survey der Kompostierer erhöhte spezifische IgG-Antikörper gegen Aktinomyzeten (im Kompost vermehrt auftretende Bakterien) und Schimmelpilze gemessen wurden (Bünger et al. 2000), konnten diese Ergebnisse im weiteren Verlauf der Untersuchungen nicht bestätigt werden, so dass die IgG-Konzentrationen sich nicht als geeigneter Expositionsmarker erwiesen (van Kampen et al. 2012). Allerdings kann die Bestimmung der IgG-Antikörper im Fall des Verdachts einer exogen allergischen Alveolitis (EAA, BK 4201) ein sehr sinnvoller und wegweisender Parameter sein. Tatsächlich wurden in den letzten Jahren im IPA einige EAA-Fälle bei Beschäftigten in der Abfallwirtschaft diagnostiziert (Hagemeyer et al. 2013). Erhöhte IgE-Antikörper gegen Schimmelpilze, die auf eine Sensibilisierung beziehungsweise in Verbindung mit entsprechenden Symptomen auf eine Allergie hinweisen, wurden in beiden Studien nur selten nachgewiesen. Auch gegen übliche Umweltallergene waren die Studienteilnehmer seltener sensibilisiert als die Allgemeinbevölkerung. Dies spricht für einen sogenannten Healthy-worker-Effekt. Das bedeutet, dass Personen mit IgE-vermittelten Allergien (Heuschnupfen, allergisches Asthma) eine Beschäftigung in der Abfallwirtschaft gar nicht erst aufnehmen oder rasch wieder beenden, weil sie allergische Beschwerden erwarten oder nach kurzer Zeit bekommen.

Kultivierungsunabhängige Methode	Mesophile Schimmelpilze [KBE/m <sup>3</sup> ] (n=36)	Mesophile Aktinomyzeten [KBE/m <sup>3</sup> ] (n=20)
Einatembare Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	0,48	0,73
<i>Aspergillus fumigatus</i> -Antigengehalt [ng/m <sup>3</sup> ]	0,67	0,77
<i>Penicillium chrysogenum</i> -Antigengehalt [ng/m <sup>3</sup> ]	0,73	0,80
<i>Cladosporium spp.</i> - Antigengehalt [ng/m <sup>3</sup> ]	0,73	0,77
<i>Aspergillus versicolor</i> -Antigengehalt [ng/m <sup>3</sup> ]	0,59	0,74
β-(1-3)-Glukan [ng/m <sup>3</sup> ]	0,56	0,49
Endotoxin-Aktivität [EU/m <sup>3</sup> ]	0,65	0,81
Pyrogene Aktivität [PU/m <sup>3</sup> ]	0,60	0,77

Tabelle 3: Korrelation der Messergebnisse verschiedener kultivierungsunabhängiger Methoden mit der kultivierungsabhängigen Quantifizierung von Schimmelpilzen und Aktinomyzeten (Bakterien) in Luftstaubproben aus Kompostierungsanlagen. Angegeben ist der Korrelationsfaktor (r). Für alle Korrelationen galt: p < 0,005 (Spearman).



Abb. 2: Manuelle Sortierung von Biomüll.

In skandinavischen Studien (Ivens et al. 1999, Sigsgaard et al. 1994) wurde über gehäufte Beschwerden der Beschäftigten in Abfallwirtschaftsbetrieben seitens des Magen-Darm-Trakts wie Übelkeit, Erbrechen oder Durchfall berichtet. Bei den Untersuchungen des IPA traten diese Beschwerden bei keinem der Studienteilnehmer aus dem Bereich der Abfallsammlung auf. Die Kompostierer klagten in einigen Fällen über den unangenehmen Geruch in den Anlagen. Häufig scheint jedoch der Geruchssinn einem Adaptationsmechanismus unterworfen zu sein. Übelkeit, Erbrechen oder Durchfall wurden nicht angegeben. Allerdings fand sich in der untersuchten Kohorte von Kompostierern eine im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höhere Zahl von nicht geimpften Personen mit positiver Hepatitis A-Serologie (anti-HAV) sowie sechs Serokonversionen ohne Impfung im Nachbeobachtungszeitraum von fünf Jahren (Bünger et al. 2004). Da bei der Biomüllsortierung häufig fäkal kontaminierte Materialien (z. B. benutzte Windeln, siehe Foto) auftreten, kann hier die Ursache dieser Befunde liegen.

**Schutzmaßnahmen und arbeitsmedizinische Vorsorge**

An besonders exponierten Arbeitsplätzen konnte die Exposition der Kompostierer durch bessere technische Lüftung beziehungsweise Wegfall der Sortierkabinen und durch Schutzbelüftungen in den Radladern reduziert werden. Hingegen sind Müllwerker weiterhin ähnlich hohen Bioaerosolexpositionen wie Ende der 90er Jahre ausgesetzt. Hier sind neue technische Lösungen zur Reduktion der Exposition notwendig.

Durch die Bioaerosole werden vermehrt Irritationen der Schleimhäute der oberen und unteren Atemwege ausgelöst, die auch zu Chronischer Bronchitis und COPD führen können. Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge muss vermehrt auf die akute Irritation im Sinne des MMIS geachtet werden, da diese einen Hinweis

auf spätere chronische Beschwerden im Sinne der CB oder COPD geben kann. Eine Impfung gegen Hepatitis A sollte angeboten werden. In beiden Kohorten gibt es eine hohe Quote von Personen, die ihre Tätigkeit vorzeitig aufgegeben haben, so dass die Gesundheitsrisiken eventuell unterschätzt werden.

Beitrag als PDF



Die Autoren  
**Prof. Dr. Jürgen Büniger, Dr. Frank Hoffmeyer,  
 Anja Deckert, Prof. Dr. Monika Raulf,  
 Dr. Vera van Kampen**  
 IPA

Für die langjährige Zusammenarbeit bedanken wir uns bei Herrn Dr. Schappler-Scheele (früher gewerbeärztlicher Dienst Niedersachsen), Herrn Dir. und Prof. Rüdiger Schöneich, Herrn Dr. Jäckel (beide BAuA), Herrn Dr. Felten, Herrn Willer (beide BG Verkehr) und Herrn Dr. Neumann, Herrn Buxtrup (beide UK NRW).

Förderung durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Kompostierung: F 2063, F5058, F5184. Abfallsammlung: F1510.

### Literatur

- Büniger J, Antlauf-Lammers M, Schulz TG, Westphal GA, Müller MM, Ruhnau P, Hallier E. Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among biowaste collectors and compost workers. *Occup Environ Med* 2000; 57: 458-464
- Büniger J, Schappler-Scheele B, Hallier E. Gesundheitsrisiken von Beschäftigten in Kompostierungsanlagen durch organische Stäube: Drop-out-Analyse der Kohorte nach fünf Jahren Follow-up. In: Nowak D, Praml G (Hrsg.), Dokumentation der 42. Jahrestagung der DGAUM, ISSN 1861-6577, 216-219, 2002
- Büniger J, Schappler-Scheele B, Hallier E. Auffällige Befunde in der Hepatitis-Serologie bei Kompostwerkern. In: Baumgartner E, Stork J (Hrsg.), Dokumentation der 44. Jahrestagung der DGAUM, ISSN 1861-6577, 74-77, 2004
- Büniger J, Schappler-Scheele B, Hilgers R, Hallier E. A 5-year follow-up study on respiratory disorders and lung function in workers exposed to organic dust from composting plants. *Int Arch Occup Environ Health* 2007; 80: 306-312
- Hagemeyer O, Büniger J, van Kampen V, Raulf-Heimsoth M, Drath C, Merget R, Brüning T, Broding HC. Occupational allergic respiratory diseases in garbage workers: relevance of molds and actinomycetes. *Adv Exp Med Biol* 2013;788: 313-320
- Hoffmeyer F, van Kampen V, Taeger D, Deckert A, Rosenkranz N, Kaßen M, Schantora AL, Brüning T, Raulf M, Büniger J. Prevalence of and relationship between rhinoconjunctivitis and lower airway diseases in compost workers with current or former exposure to organic dust. *Ann Agric Environ Med* 2014; 21: 705-711
- Ivens UI, Breum NO, Ebbenhøj N, Nielsen BH, Poulsen OM, Würtz H. Exposure-response relationship between gastrointestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. *Scand J Work Environ Health* 1999; 25: 238-245
- Neumann HD, Buxtrup M, Klus K. Schimmelpilzbelastungen bei der Abfallsammlung. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 2014; 74: 483-491
- Neumann HD, Mathys W, Raulf-Heimsoth M, Becker G, Balfanz J. Gefährdung von Beschäftigten bei der Abfallsammlung und -abfuhr durch Keimexpositionen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht 920, 2001
- Raulf M, Hoffmeyer F, van Kampen V, Deckert A, Brüning T, Büniger J. Cellular and Soluble Inflammatory Markers in Induced Sputum of Composting Plant Workers. *Adv Exp Med Biol* 2015; 858: 19-29
- Schantora AL, Casjens S, Deckert A, van Kampen V, Neumann HD, Brüning T, Raulf M, Büniger J, Hoffmeyer F. Prevalence of work-related rhino-conjunctivitis and respiratory symptoms among domestic waste collectors. *Adv Exp Med Biol* 2015; 834: 53-61
- Sigsgaard T, Malmros P, Nersting L, Petersen C. Respiratory disorders and atopy in Danish refuse workers. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 149: 1407-1412
- Stalder K, Büniger J. Gesundheitliche Risiken durch fakultativ-pathogene Mikroorganismen bei der Abfallentsorgung: umwelt- und arbeitsmedizinische Aspekte. *Forum Städtehyg* 1996; 47: 142-146
- van Kampen V, Deckert A, Hoffmeyer F, Taeger D, Brinkmann E, Brüning T, Raulf-Heimsoth M, Büniger J. Symptoms, spirometry, and serum antibody concentrations among compost workers exposed to organic dust. *J Toxicol Environ Health A* 2012; 75: 492-500
- van Kampen V, Sander I, Liebers V, Deckert A, Neumann HD, Buxtrup M, Willer E, Felten C, Jäckel U, Klug K, Brüning T, Raulf M, Büniger J. Concentration of bioaerosols in composting plants using different quantification methods. *Ann Occup Hyg* 2014; 58: 693-706