

Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen beim Papierrecycling

K. Klug, U. Weidner, G. Linsel, R. Hebisch, E. Martin, C. Otto, U. Jäckel

Zusammenfassung In zehn Sortierbetrieben, die Abfälle aus Papier, Pappe und Kartonagen werkstofflich verwerten, wurden umfangreiche Arbeitsplatzmessungen vorgenommen. Dabei wurden die Belastungen gegenüber biologischen Arbeitsstoffen ermittelt. Die Messungen erfolgten in den Arbeitsbereichen Anlieferungshalle/Ballenpresse und Sortierkabine im Vergleich zur Außenluft. Als biologische Arbeitsstoffe wurden stationär Schimmelpilze und Bakterien sowie personengetragen die Gesamtzellzahl mittels DAPI-Färbung über die Arbeitsschicht bestimmt. Im Arbeitsbereich Anlieferung wurde eine Gesamtzellzahl bis zu $9,1 \cdot 10^6$ Zellen/m³ Luft, eine Bakterienkonzentration bis zu $2,8 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft und eine Schimmelpilzkonzentration bis zu $1,8 \cdot 10^6$ KBE/m³ Luft ermittelt. In den Sortierkabinen betragen die Konzentrationen für die Gesamtzellzahl bis zu $1,4 \cdot 10^7$ Zellen/m³ Luft, für die Bakterien bis zu $8,9 \cdot 10^4$ KBE/m³ Luft und für die Schimmelpilze bis zu $6,8 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft. Diese Werte sind gegenüber der Außenluft um mindestens eine Größenordnung erhöht. Für Sortierkabinen ist in der TRBA 214 ein Technischer Kontrollwert (TKW) für Schimmelpilze von $5 \cdot 10^4$ KBE/m³ Luft festgelegt. In sechs der zehn untersuchten Papierrecycling-Anlagen wurde dieser TKW überschritten. Es handelte sich vorrangig um Schimmelpilze der Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus* und *Cladosporium*. Die dominierende Bakteriengattung war *Staphylococcus*. Außerdem wurden Bakterienspezies mit einem gesundheitlichen Gefährdungspotenzial für die Beschäftigten (*Aerococcus viridans*, *Pantoea agglomerans*, *Acinetobacter* sp.) identifiziert. Die Untersuchungen in Betrieben des Papierrecyclings zeigen, dass eine Belastung durch biologische Arbeitsstoffe, darunter auch Mikroorganismen der Risikogruppe 2, vorliegt.

Workers' exposure to airborne microorganisms in paper recycling facilities

Abstract In ten facilities in which waste paper and cardboard are sorted and packed prior to further processing, workers' exposure to airborne microorganisms at two permanent workplaces (delivering area and sorting cabin) was investigated. The concentrations of airborne moulds and bacteria were determined using the agar DG-18 and TSA. The total cell counts were quantified in the inhalable dust fraction after DAPI staining using a fluorescence microscope. Depending on the examined facility the concentration of cultivable bacteria in delivering areas extends to $2.8 \cdot 10^5$ CFU per m³ whereas the concentration of airborne moulds extends to $1.8 \cdot 10^6$ CFU per m³. The concentrations of cultivable airborne bacteria and moulds in investigated sorting cabins amounted to $8.9 \cdot 10^4$ CFU and $6.8 \cdot 10^5$ CFU per m³, respectively. The total cell count in the corresponding samples generally exceeded the concentration detected by cultivation approaches. All quantification approaches clearly showed a workplace-related exposure to microorganisms which was at least one magnitude higher than in corresponding outdoor samples. Indeed, in 60% of the examined sorting cabins the technical control value for moulds of $5 \cdot 10^4$ CFU per m³ defined for waste management facilities was exceeded. Based on morphological features the prevalent cultivated moulds were identified as species of the genera *Penicillium*, *Aspergillus* and *Cladosporium*. The predominant bacterial genus was *Staphylococcus*. Additionally analyses indicated bacterial sequences which were most closely related to *Aerococcus viridans*, *Pantoea agglomerans* and *Acinetobacter* spp. which are well known as causatives of different respiratory diseases. These results show the exposure of workers to airborne microorganisms of risk group 2.

1 Einleitung

Mit dem Gesetzentwurf vom 30. März 2011 zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts ist beabsichtigt, die Wiederverwendung, d. h. die Verwendung des Abfalls für denselben Zweck, für den das Material ursprünglich bestimmt war, zu stärken [1]. Dabei wurde die „Vorbehandlung zur Wiederverwertung“ in der neuen fünfstufigen Abfallhierarchie so platziert, dass sie innerhalb des Recyclings

noch vor der Verwertung des Abfalls für andere Zwecke steht. Bei der Papierherstellung erhält die Vorbehandlung von Altpapier eine entscheidende Rolle. Besonders in Deutschland wird dies deutlich, da hier fast 11 000 Beschäftigte im Bereich des Papierrecyclings tätig sind [2]. So wurden im Jahr 2010 in Deutschland über 16 Mio. t Altpapier in der Papierproduktion eingesetzt [3; 4]. Die Verwertungsquote liegt derzeit bei über 80 % [5]. Bei der Papierherstellung ist und bleibt Altpapier in Deutschland noch vor frischer Cellulose der wichtigste Rohstoff und nimmt einen Anteil von bis zu 70 % ein [6; 7]. Die Anzahl der möglichen Wiederverwertungen wird kontrovers diskutiert. Grundsätzlich wird jedoch davon ausgegangen, dass die Papierfaser bis zu sechsmal wiederverwendbar ist [8; 9]. Eine große Bedeutung für die Papierqualität beim Recycling kommt den 400 bis 500 Sortieranlagen zu, in denen die Papierabfälle zunächst von papierfremden Stoffen befreit und in verschiedene Qualitäten getrennt werden, bevor das Altpapier dann in Papierfabriken aufbereitet und wiederverwertet wird (Bild 1) [10]. Die Trennung erfolgt zumeist per Hand in entsprechenden Sortierkabinen. Der Kontakt zum Papierabfall und dessen Verarbeitung kann dabei mit einer Exposition gegenüber Mikroorganismen einhergehen, da Altpapier grundsätzlich

Kerstin Klug, Dr. Udo Jäckel, Dr. Gunter Linsel,
Elena Martin, Christine Otto,

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,
Berlin.

Ursula Weidner,

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im
Regierungspräsidium Stuttgart.

Dr. Ralph Hebisch,

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,
Dortmund.

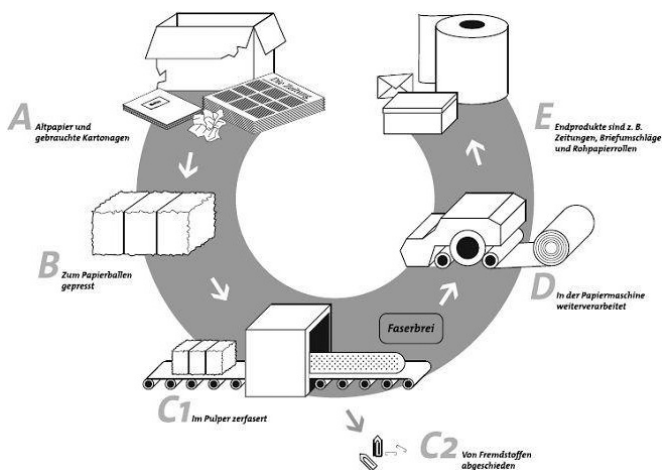


Bild 1. Recycling von Papier – werkstoffliches Recycling [7].



Bild 2. Beispiel einer Ballenpresse.



Bild 3. Beispiel einer Sortierkabine innerhalb einer Altpapiersortieranlage.

mit Mikroorganismen kontaminiert sein kann. Dies kann einerseits auf den Kontakt des Papiers mit kontaminiertem Material (z. B. durch Erdkontakt, Kontakt zu anderen Abfallsorten) oder durch das Wachstum von Mikroorganismen auf feuchtem Papier zurückzuführen sein. Die Datenlage zur Exposition gegenüber den als biologische Arbeitsstoffe bezeichneten Mikroorganismen in der Branche des Papierrecyclings ist bisher unzureichend oder nicht vorhanden. Obwohl 31 502 Expositionsmessungen in der Papierindustrie durchgeführt wurden, erfolgten nur 5 875 Untersuchungen im Bereich Papierrecycling und davon wurden nur in 4 % der Untersuchungen Parameter zur Bioaerosolbelastung erfasst [11; 12]. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Studie in Betrieben der Papiervorbehandlung umfangreiche Arbeitsplatzmessungen zu den Belastungen

der Beschäftigten gegenüber biologischen Arbeitsstoffen durchgeführt, um eine qualifizierte Datengrundlage für eine Gefährdungsbeurteilung nach Biostoffverordnung (BioStoffV) zu schaffen [13].

2 Material and Methoden

Die verwendeten Bioaerosolproben wurden sowohl personengetragen als auch stationär in Sortieranlagen gesammelt, die Papier, Pappe und Kartonagen aus Verbraucherabfällen, Umverpackungen und Produktionsabfällen verwenden. Die Probenahme erfolgte in den Tätigkeitsreichen Anlieferung/Ballenpresse (Bild 2) und Sortierkabine (Bild 3) jeweils im Vergleich zur Außenluft.

2.1 Bestimmung der luftgetragenen Schimmelpilze, Bakterien, Actinobacteria

Zur Ermittlung der Exposition gegenüber kultivierbaren luftgetragenen Bakterien- und Schimmelpilzen wurden drei Messungen mit einer Probenahmedauer von 10 min stationär in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4252 Blatt 2 [14] mit einem Filtrationsverfahren (MD8 aluminium stacks, Sartorius) und einer Membranpumpe (MP 2-39, 30 l/min, Umweltanalytik Holbach) auf Gelatinefilter (Durchmesser 78 mm, 3,0 µm Porengröße, Whatman) durchgeführt. Für die Quantifizierung wurden die Bakterien nach VDI 4253 Blatt 3 [15] auf Tryptone Soy Agar (Oxoid, UK) und Difco Actinomyceete Isolation Agar (BD, USA) und die Schimmelpilze nach VDI 4253 Blatt 2 [16] auf Dichloran-18%-Glycerol-Agar (DG18, Oxoid, UK) und Malzextraktagar (Oxoid, UK) kultiviert. Die Schimmelpilze wurden nach der Kultivierung morphologisch identifiziert.

2.2 Bestimmung der Gesamtzellzahl nach DAPI-Anfärbung

Die Probenahme zur Erfassung der Gesamtzellzahl nach Anfärben mit 4',6-Diamidino-2-phenylindol (DAPI) erfolgte mit Filtration unter Verwendung des Gesamtstaub-Probenahmesystems GSP und personengetragener Pumpen (Universalpumpe 224-PCTX8, SKC, USA). Bei einem Volumenstrom von 3,5 l/min wurde die einatembare Staubfraktion in Anlehnung an DIN EN 481 [17] auf Polycarbonatfilter (Durchmesser 37 mm, 0,2 µm Porengröße, Whatman) über die gesamte Arbeitsschicht gesammelt. Die weitere Aufarbeitung und fluoreszenzmikroskopische Auswertung erfolgte nach VDI 4253 Blatt 3 [18] und der von Klug et al. beschriebenen Methode [19].

2.3 Identifizierung der Bakteriengemeinschaft

Für die Charakterisierung der Bakteriengemeinschaft wurden in drei Sortierkabinen verschiedener Anlagen Polycarbonatfilter (Durchmesser 76 mm, 0,8 µm Porengröße, Whatman) mit einer Membranpumpe (MP 2-39, Umweltanalytik Holbach) bei einem Volumenstrom von 30 l/min in Anlehnung an VDI 4252 Blatt 2 [14] stationär über die gesamte Arbeitsschicht beaufschlagt. Danach wurde die genomische DNS aus den Bioaerosolproben extrahiert (GenElute™ Plant Genomic DNA Miniprep Kit, Sigma-Aldrich), die 16S rRNS-Gene unter Verwendung der Primer 27F und 1492R, wie bei Weisburg et al. beschrieben [20], amplifiziert und mittels DNS-Aufreinigungs-kit (QIAquick PCR Purification Kit, QIAGEN) behandelt. Unter Verwendung des pCRII-TOPO-Vectors (Invitrogen, USA) und des Stamms *E. scherichia coli* DH 5 α wurden durch die Fa. Functional and Applied

Genomics Fraunhofer IME 16S rRNS-Gen-Klonbibliotheken (r RNS: ribosomale Ribonucleinsäure) erstellt. Für jede Klonbibliothek wurden je 48 Klone für die Analyse ausgewählt und die Plasmidinserts sequenziert. Die Zuordnung der erhaltenen Sequenzen (~1 400 Basenpaare) erfolgte zunächst mittels BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) auf Gattungsebene. Für eine detaillierte phylogenetische Zuordnung wurden die Sequenzen mithilfe des Softwarepakets MEGA Version 4 mit den Sequenzen aller beschriebenen Typstämme der Gattung verglichen [21]. Hierfür wurden die Sequenzen, die zum Zeitpunkt der Analyse auf den Internetseiten www.bacterio.cict.fr angegeben waren, verwendet.

3 Ergebnisse

In Abhängigkeit von den untersuchten Anlagen wurde in den Arbeitsbereichen Anlieferung/Presse eine Gesamtzellzahl von $1,6 \cdot 10^5$ bis $9,1 \cdot 10^6$ Zellen/m³ Luft, eine Bakterienkonzentration von $1,6 \cdot 10^5$ bis $2,8 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft, eine Konzentration der Actinobacteria von $4,6 \cdot 10^2$ bis $1,5 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft und eine Schimmelpilzkonzentration von $4,0 \cdot 10^5$ bis $1,8 \cdot 10^6$ KBE/m³ Luft ermittelt.

In den Sortierkabinen reichten die Konzentrationen für die Gesamtzellzahl von $2,7 \cdot 10^5$ bis $1,4 \cdot 10^7$ Zellen/m³ Luft, für die Bakterien von $1,9 \cdot 10^5$ bis $8,9 \cdot 10^4$ KBE/m³ Luft, Actinobacteria $6,5 \cdot 10^2$ bis $3,5 \cdot 10^4$ KBE/m³ Luft und für die Schimmelpilze von $1,8 \cdot 10^5$ bis $6,8 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft. Diese Konzentrationen waren gegenüber den Konzentrationen in der Außenluft (Gesamtzellzahl von $5,7 \cdot 10^5$ bis $1,6 \cdot 10^5$ Zellen pro m³ Luft, Bakterien von $7,4 \cdot 10^1$ bis $5,6 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft, Actinobacteria von 0 bis $7,7 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft und Schimmelpilze von $4,5 \cdot 10^2$ bis $8,7 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft) deutlich erhöht. Die Gesamtzellzahl, die als Expositionsparameter die mittlere Arbeitsschichtdosis darstellt, war in den entsprechenden Proben gegenüber der mit kultivierungsabhängigen Methoden ermittelten Konzentration (Kurzzeitmessungen) durchschnittlich um das Zehn- bis 100-fache höher (Bild 4).

Bei den über morphologische Merkmale identifizierten Schimmelpilzen handelte es sich in den Anlagen überwiegend um Spezies der Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus*, dagegen dominierte in der Außenluft die Gattung *Cladosporium*. In allen Anlagen wurde *Aspergillus fumigatus* und in > 60 % der Anlagen *Aspergillus flavus*, beides Schimmelpilzspezies der Risikogruppe 2 (TRBA 460), detektiert [25]. Die Konzentrationen betragen hier zum Teil bis zu $6,6 \cdot 10^4$ bzw. $1,9 \cdot 10^5$ KBE/m³ Luft, während die maximalen Konzentrationen für beide Spezies in den Außenluftproben mit $2 \cdot 10^2$ KBE/m³ Luft deutlich niedriger waren (Daten nicht gezeigt). Die Gattungen *Chaetomium*, *Scopulariopsis*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Syncephalstrum*, *Phialophora*, *Botrytis*, *Chrysosporium* und *Emericella* wurden nur in den Bioaerosolproben nachgewiesen, die in den Anlagen gesammelt wurden (Bild 5).

Bei der Charakterisierung der Bakteriengemeinschaft in den Sortierkabinen von drei Anlagen konnten die dominierenden Sequenzen den beiden Phyla Firmicutes und Proteo-

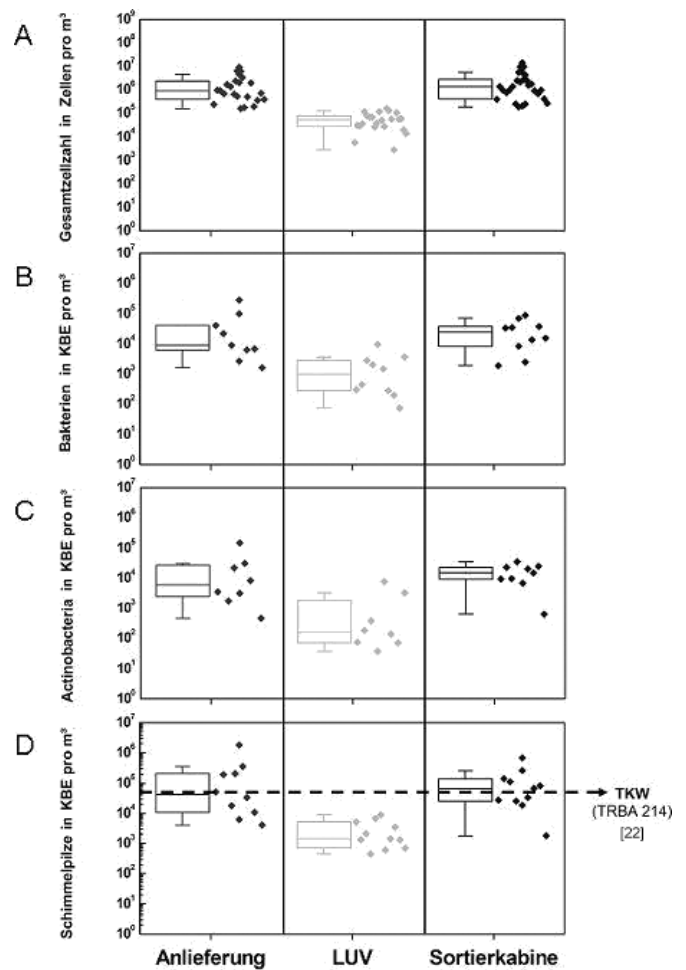


Bild 4. Konzentrationen der A) in der Luft vorhandenen Gesamtzellzahl, B) luftgetragenen Bakterien, C) luftgetragenen Actinobacteria und D) luftgetragenen Schimmelpilze in Abhängigkeit vom untersuchten Arbeitsplatz im Vergleich zur Außenluft (LUV) in zehn Anlagen.

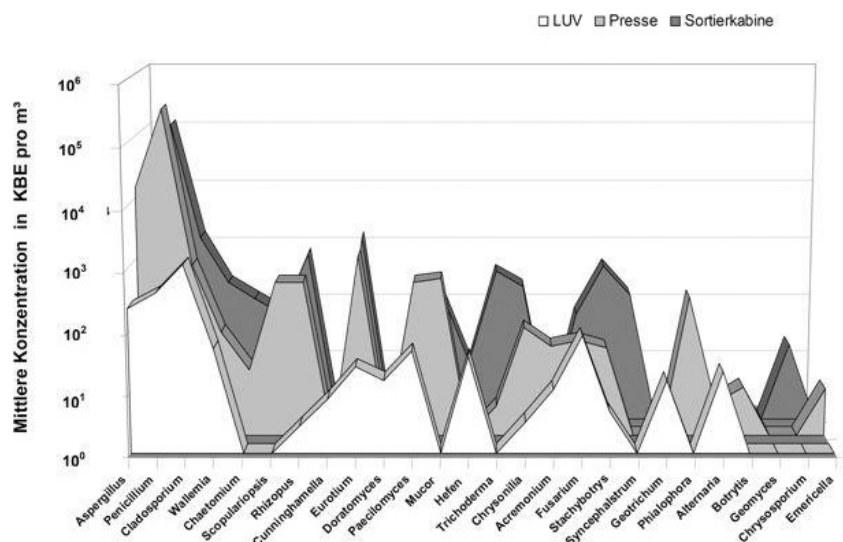


Bild 5. Mittlere Konzentrationen der detektierten Schimmelpilzgattungen in Abhängigkeit vom untersuchten Arbeitsplatz. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert über die zehn Anlagen.

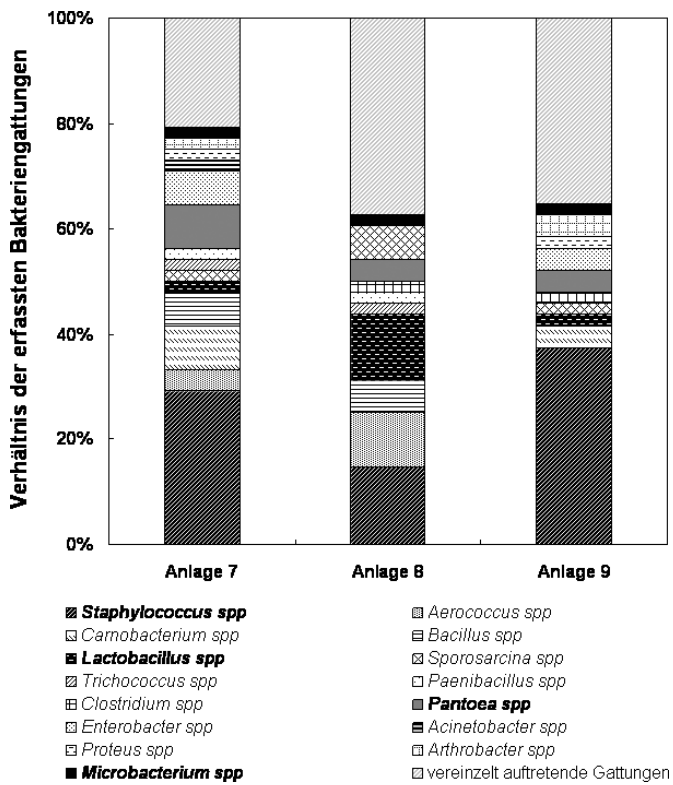


Bild 6. Verhältnis der Bakteriengattungen in Bioaerosolproben aus Sortierkabinen von drei Anlagen. Die Verhältnisse basieren auf der Anzahl der Sequenzen in den 16S rRNS-Klonbibliotheken. Die fett markierten Gattungen wurden in allen drei Anlagen nachgewiesen.

bacteria zugeordnet werden. Die Analyse der isolierten bakteriellen DNS aus den Bioaerosolproben, die in den Sortierkabinen gesammelt wurden, zeigte weiterhin, dass an diesem Arbeitsplatz die 16S rRNS-Gensequenzen der Gattung *Staphylococcus* mit einem Anteil von bis zu 38 % in den erzeugten Klonbibliotheken dominierten. Außerdem wurden in allen drei Sortierkabinen 16S rRNS-Gensequenzen, die den Bakteriengattungen *Lactobacillus*, *Pantoea* und *Microbacterium* zugeordnet wurden, nachgewiesen. Ein Großteil der Sequenzen wurde nur einmal gefunden oder konnte keiner bisher kultivierten Bakterienspezies zugeordnet werden (Bild 6).

In den Sortierkabinen wurden teilweise DNS-Sequenzen detektiert, die am ähnlichsten zu Bakterienspezies der Risikogruppe 2 (gemäß TRBA 466) waren [24]. Dabei wurden die höchsten Übereinstimmungen zu *Acinetobacter calcoaceticus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Acinetobacter johnsonii*, *Acinetobacter ursingii*, *Aerococcus viridans*, *Alcaligenes faecalis* sub. *faecalis*, *Citrobacter youngae*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter amnigenus*, *Enterobacter hormaechei* und *Proteus mirabilis* gefunden. Weiterhin wurden Sequenzen der Gattungen *Klebsiella*, *Pantoea*, *Shigella* und *Staphylococcus*, denen Bakterien mit krankmachendem Potenzial angehören, erfasst.

4 Diskussion

Die in den unterschiedlichen Bereichen (Anlieferung/ Presse und Sortierkabine) der Sortieranlagen ermittelten Konzentrationen von luftgetragenen Bakterien und Schimmelpilzen zeigen, dass die Werte in den Anlagen deutlich über denen liegen, die in der Außenluft als Hintergrundwert

ermittelt wurden (Bild 4, A bis D). Insbesondere die personenbezogene Gesamtzellzahlbestimmung über die gesamte Arbeitsschicht offenbarte dabei die deutlichsten Unterschiede zwischen Arbeitsplatz- und Außenluftproben (Bild 4 A). Diese Beobachtung ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass es sich bei den Probenahmen für die kultivierungsabhängigen Analysen um Kurzeitsammlungen und somit um Momentaufnahmen handelt, bei denen grundsätzlich mit stärkeren Konzentrationsschwankungen zu rechnen ist. Insgesamt ist eine Belastung mit biologischen Arbeitsstoffen innerhalb dieser Anlagen gegenüber der Außenluft mit zehn- bis 100-fach höheren Konzentrationen deutlich vorhanden. Vor allem der Vergleich der detektierten Schimmelpilzgemeinschaften zwischen Arbeitsplatz- und Außenluft verdeutlichte, dass die erfassten Expositionen in den Anlagen grundsätzlich arbeitsplatzbedingt bzw. auf die Tätigkeiten zurückzuführen sind. So konnten eindeutige Unterschiede zwischen Arbeitsplatz und Außenluft festgestellt werden. Die Schimmelpilzgattungen *Chaetomium*, *Scopulariopsis*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Syncephalstrum*, *Phialophora*, *Botrytis*, *Chrysosporium* und *Emericella*, darunter Spezies, die Cellulose verwerten und Indikatoren für Feuchteschäden sind [25], wurden u. a. nur innerhalb der Anlagen detektiert. Die dominante Schimmelpilzgattung in den Außenluftproben war *Cladosporium*, während innerhalb der Anlagen die dominanten Spezies den Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus* zugeordnet wurden (Bild 5). Aufgrund der kultivierungsabhängigen Ergebnisse könnte davon ausgegangen werden, dass an diesen Arbeitsplätzen vor allem die Belastungen durch Schimmelpilze relevant ist, da die Konzentrationen von Schimmelpilzen überwiegend oberhalb der Konzentrationen luftgetragener Bakterien lagen. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass insbesondere das angewandte Sammelverfahren (Filtration) zu einer deutlichen Unterschätzung der Bakterienkonzentration durch entstehenden Sammelstress geführt hat. Ähnliches vermuteten Würtz et al., die über mikroskopische Analysen ein Verhältnis von 1 : 1 zwischen Bakterien und Schimmelpilzen ermittelten, während die Konzentration kultivierbarer Bakterien deutlich unter der Konzentration kultivierbarer Schimmelpilze lag [26].

Allein aufgrund der ermittelten Belastungshöhe kann noch keine Aussage zu potenziellen gesundheitlichen Risiken in den untersuchten Anlagen gemacht werden. Vielmehr ist es notwendig, die vorhandenen biologischen Arbeitsstoffe zu identifizieren, um die von ihnen ausgehenden potenziellen Gefahren abzuschätzen. In diesem Zusammenhang sind die unterschiedlichen Risikogruppen der Mikroorganismen und das von ihnen ausgehende Infektionspotenzial von Bedeutung. Der überwiegende Teil der identifizierten Schimmelpilze bzw. Bakterien konnte hier der Risikogruppe 1, d. h. „biologische Arbeitsstoffe, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit verursachen“ (BioStoffV) zugeordnet werden. Teilweise wurden allerdings auch biologische Arbeitsstoffe der Risikogruppe 2 nachgewiesen, also solche, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen können (BioStoffV) [13]. Neben der infektiösen Wirkung biologischer Arbeitsstoffe ist bei der Gefährdungsbeurteilung aber auch deren allergene und toxische Wirkung zu beachten. Bei den detektierten Arten traten vor allem die beiden Schimmelpilzspezies *Aspergillus fumigatus* und *Aspergillus flavus* in den Vordergrund, da sie in fast allen

Anlagen detektiert wurden bzw. im Vergleich zur Außenluft in deutlich höheren Konzentrationen vorkamen. *Aspergillus fumigatus* besitzt neben seinem infektiösen auch ein allergenes Potenzial und *Aspergillus flavus* produziert das stärkste natürlich vorkommende Kanzerogen Aflatoxin B1. Besondere Aufmerksamkeit sollte den 16S rRNS-Sequenzen zukommen, die am ähnlichsten zu Sequenzen der Spezies *Acinetobacter calcoaceticus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Acinetobacter johnsonii*, *Acinetobacter ursingii* sind, da diese Spezies beispielsweise mit Atemwegserkrankungen in Verbindung gebracht werden [27 bis 35]. Aber auch 16S rRNS-Sequenzen, die die höchste Ähnlichkeit zu *Aerococcus viridans*, *Alcaligenes faecalis* sub. *faecalis*, *Citrobacter youngae*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter amnigenus*, *Enterobacter hormaechei* und *Proteus mirabilis* hatten, deuten darauf hin, dass in der einatembaren Staubfraktion aus den Sortierkabinen z. T. Bakterien der Risikogruppe 2 vorhanden sein können. *Würtz* et al. isolierten in Sortierkabinen auch gesundheitsrelevante Bakterien, wobei grampositive Kokken ebenfalls dominierten [26]. Auch *Prazmo* et al. identifizierten Bakterien mit allergischen, immunotoxischen und/oder infektiösen Eigenschaften in Papierfabriken [36], sodass insgesamt bei

auf tretenden Atemwegserkrankungen, Wundinfektionen und gastrointestinalen Erkrankungen der Beschäftigten bei der Anamnese durch den untersuchenden Arzt die Arbeitsplatzbelastung berücksichtigt werden sollte.

Obwohl *Rylander* et al. bereits 1999 Atemwegserkrankungen bei Beschäftigten der Papierindustrie beschrieb [37], kann allein durch die im Rahmen dieser Studie erzielten Ergebnisse nicht abgeschätzt werden, ob die Bedingungen an den untersuchten Arbeitsplätzen das Risiko der Beschäftigten erhöht, gesundheitlich beeinträchtigt zu werden. Trotz Einhaltung des allgemeinen Staubgrenzwerts im Papierrecycling [2] wird grundsätzlich festgestellt, dass eine deutliche arbeitsplatzbedingte Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppe 1 und 2 vorhanden ist. Grenzwerte gibt es bislang für biologische Arbeitsstoffe nicht, allerdings ist in 60 % der Anlagen der für Abfallbehandlungsanlagen existierende Technische Kontrollwert (TRBA 214 [22]), der in keinem Zusammenhang zu einem gesundheitsadversen Effekt zu sehen ist, überschritten. Durch technische und organisatorische Maßnahmen und entsprechender Wartung der Lüftungstechnik kann die Belastung gesenkt werden.

Literatur

- [1] Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 30. März 2011. www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/doc/47201.php
- [2] *Hebisch, R.; Fröhlich, N.; Karmann, J.; Linsel, G.; Klug, K.*: Stoffbelastungen in Sortierbetrieben. Sicherheitsingenieur (2011) Nr. 4, S. 20-25.
- [3] 14. Internationaler Altpapieritag mit rund 600 Teilnehmern. Pressemeldung Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. <http://old.bvse.de/printbase.php?pid=4038&cid=2>
- [4] Kennzahlen deutscher Zellstoff- und Papierfabriken. Pressemeldung Verband deutscher Papierfabriken e. V. www.vdp-online.de/pdf/PressekonferenzZahlen2010_deutsch.pdf
- [5] www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallarten_abfallstroeme/altpapier/doc/41158.php
- [6] Papierkompass 2011. Hrsg.: Verband deutscher Papierfabriken e.V. www.vdp-online.de/pdf/Kompassdeutsch.pdf
- [7] Infoservice Trenntstadt Berlin. www.trenntstadt-berlin.de/index.php/papier-und-pappe.html
- [8] *Schabel, S.* TU Darmstadt, persönliche Mitteilung.
- [9] Vorurteil 5: Wir könnten doch nur noch recyceln. www.vdp-online.de/fua5.html
- [10] Umwelt Abfallentsorgung 2008. Destatis Fachserie 19, Reihe 1. Hrsg.: Statistisches Bundesamt. Wiesbaden 2010.
- [11] *Kauppinen, T.; Teschke, K.; Savela, A.; Kogevinas, M.; Boffetta, P.*: International data base of exposure measurements in the pulp, paper and paper product industries. Int. Arch. Occup. Environ. Health 70 (1997), S. 119-127.
- [12] *Korhonen, K.; Liukkonen, T.; Ahrens, W.; Astrakianakis, G.; Boffetta, P.; Burdorf, A.; Heederik, D.; Kauppinen, T.; Kogevinas, M.; Osvall, P.; Rix, B.A.; Saalo, A.; Sunyer, J.; Szadkowska-Stanczyk, I.; Teschke, K.; Westberg, H.; Widerkiewicz, K.*: Occupational exposure to chemical agents in the paper industry. Int. Arch. Occup. Environ. Health 77 (2004), S. 451-460.
- [13] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 27. Januar 1999. BGBl. I, S. 50, zul. geänd. durch Art. 3 vom 18. Dezember 2008. BGBl. I, S. 2768.
- [14] VDI 4252 Blatt 2: Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern. Berlin: Beuth 2004.
- [15] VDI 4253 Blatt 3: Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten. Berlin: Beuth 2008.
- [16] VDI 4253 Blatt 2: Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft – Indirektes Verfahren nach Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern. Berlin: Beuth 2004.
- [17] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Berlin: Beuth 1993.
- [18] VDI 4253 Blatt 4 (Entwurf): Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Bestimmung der Gesamtzellzahl mittels Fluoreszenzanalyse nach Anfärbung mit DAPI. Berlin: Beuth 2011.
- [19] *Klug, K.; Martin, E.; Ernst, S.; Jäckel, U.*: Laborinterne Verfahrenskenngrößen der DAPI (4',6-Diamidino-2-phenylindol)-Gesamtzellzahlbestimmung in Bioaerosolproben von Arbeitsplätzen, Teil I: Zählung und Aufarbeitung nach Fixierung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 10, S. 399-403.
- [20] *Weisburg, W.; Barns, S.; Pelletier, D.*: 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. J. Bact. 173 (1991) Nr. 2, S. 697-704.
- [21] *Tamura, K.; Dudley, J.; Nei, M.; Kumar, S.*: 2007; MEGA 4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. Mol. Biol. Evol. 24 (2007) Nr. 8, S. 1596-1599.
- [22] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirt-

- schaft (TRBA 214). GMBL. Nr. 35 vom 27. Juli 2007, S. 709-720.
- [23] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460). B ArbBl. (2002) Nr. 10, S. 78-84.
- [24] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Prokaryonten (*Bacteria* und *Archaea*) in Risikogruppen (TRBA 466). GMBL. Nr. 68-80 vom 6. Dezember 2010, S. 1428-1667.
- [25] VDI 4300 Blatt 10: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum. Berlin: Beuth 2008.
- [26] Würtz, H.; Breum, N. O.: Exposure to microorganisms during manual sorting of recyclable paper of different quality. *Ann. Agric. Environ. Med.* 4 (1997), S. 129-135.
- [27] Buxton, A. E.; Anderson, R. L.; Werdegar, D.; Atlas, E.: Nosocomial respiratory tract infection and colonization with *Acinetobacter calcoaceticus*: Epidemiologic characteristics. *Am. J. Med.* 65 (1978), S. 507-513.
- [28] Stone, J. W.; Das, B. C.: Investigation of an outbreak of infection with *Acinetobacter calcoaceticus* in a special care baby unit. *J. Hosp. Inf.* 7 (1986) Nr. 1, S. 42-48.
- [29] Bergogne-Bérézin, E.; Joly-Guillou, M. L.; Vieu, J. F.: Epidemiology of nosocomial infections due to *Acinetobacter calcoaceticus*. *J. Hosp. Inf.* 10 (1987) Nr. 2, S. 105-113.
- [30] Barnes, D. J.; Naraq, S.; Igo, J. D.: Community-acquired *Acinetobacter* pneumonia in adults in Papua New Guinea. *Rev. Inf. Dis.* 10 (1988), S. 636-639.
- [31] Brandis, H.; Pulverer, G.: Lehrbuch der Medizinische Mikrobiologie. 6. Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer 1988.
- [32] Forster, D. H.; Daschner, F. D.: *Acinetobacter* species as nosocomial pathogens. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.* 17 (1998), S. 73-77.
- [33] Köhler, W.; Eggers, H.-J.; Fleischer, B.; Marre, R.; Pfister, H.; Pulverer, G.: Medizinische Mikrobiologie. 8. Aufl. Stuttgart: Urban & Fischer 2001.
- [34] Marre, R.; Mertens, Th.; Trautmann, M.; Zimmerli, W.: Klinische Infektiologie, 2. Aufl. Stuttgart: Urban & Fischer 2008.
- [35] Toyoshima, M.; Chida, K.; Suda, T.: Fulminant community-acquired pneumonia probably caused by *Acinetobacter lwoffii*. *Respirology* 15 (2010) Nr. 5, S. 867-868.
- [36] Prazmo, Z.; Dutkiewicz, J.; Skórska, C.; Sitkowska, J.; Cholewa, G.: Exposure to airborne gram-negative bacteria, dust and endotoxin in paper factories. *Ann. Agric. Environ. Med.* 10 (2003), S. 93-100.
- [37] Rylander, R.; Thorn, J.; Attefors, R.: Airways inflammation among workers in a paper industry. *Eur. Respir. J.* 13 (1999) Nr. 5, S. 1151-1157.