# Staubbelastungen an Arbeitsplätzen in Müllverbrennungsanlagen

R. Hebisch, N. Fröhlich, M. Keischgens

Forschung Projekt F 1504



## Forschung Projekt F 1504

R. Hebisch N. Fröhlich M. Keischgens

## Staubbelastungen an Arbeitsplätzen in Müllverbrennungsanlagen

## Inhaltsverzeichnis

		Seite
Kurzreferat	t	5
Abstract		6
1	Einleitung	7
2	Die Verwertung von Abfällen	9
3	Beschreibung der beteiligten Betriebe	11
3.1	Anlieferung und Lagerung	11
3.2	Verbrennungsofen	14
3.3	Dampferzeugung	14
3.4	Rauchgasreinigung	14
4	Durchführung der Arbeitsplatzmessungen	17
4.1	Probenahme	17
4.2	Analytische Bestimmung der Staubbelastungen	18
5	Ergebnisse und Diskussion	19
5.1	Anlieferung	19
5.2	Müllbunker mit Krankabine	21
5.3	Kesselhaus	24
5.4	Rundgänge	26
5.5	Reststoffverladung	27
5.6	Schlackeaufbereitung	29
5.7	Revisionsarbeiten	32
6	Zusammenfassung	36
7	Danksagung	38
8	Literatur	39

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt "Belastungen bei der Verwendung von Stoffen im Zusammenhang mit der Regelsetzung – Teil I: Umsetzung des neuen Allgemeinen Staubgrenzwertes in Müllverbrennungsanlagen (MVA)" – Projekt F 1504 – der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autoren: Dr. Ralph Hebisch

Dipl.-Ing. Norbert Fröhlich

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

B. Sc. Michael Keischgens

PROBIOTEC GmbH

Schillingstr. 329, 52355 Düren

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund

Telefon: 0231 9071-0 Telefax: 0231 9071-2454

E-Mail: poststelle@baua.bund.de

Internet: www.baua.de

Berlin:

Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin

Telefon: 030 51548-0 Telefax: 030 51548-4170

Dresden:

Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden

Telefon: 0351 5639-50 Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und

des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf

Recyclingpapier gedruckt.

ISBN 978-3-88261-088-8

## Staubbelastungen an Arbeitsplätzen in Müllverbrennungsanlagen

#### Kurzreferat

Vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) wurde im Frühjahr 2001 für die alveolengängige Staubfraktion ein Arbeitsplatzgrenzwert von 3 mg/m³ festgelegt; für gesondert benannte Bereiche galten als Ausnahme 6 mg/m³. Zusätzlich trat zum 1.4.2004 ein Arbeitsplatzgrenzwert von 10 mg/m³ für die einatembare Staubfraktion in Kraft.

Eine der Branchen, die als Ausnahmen aufgenommen wurden, waren Kraftwerke. Seitens der Betreiber von Müllverbrennungsanlagen (MVA) bestand von Anfang an großes Interesse an einer Klärung dieser Situation und einer branchenübergreifenden Beschreibung der Staubbelastungen. Von der BAuA wurden daher gemeinsam mit dem Beratungsunternehmen PROBIOTEC GmbH umfangreiche Arbeitsplatzmessungen in den verschiedenen Arbeitsbereichen von Müllverbrennungsanlagen durchgeführt.

Am Untersuchungsprogramm beteiligten sich 12 Müllverbrennungsanlagen. Diese lieferten aufgrund ihrer Verbrennungskapazitäten und ihres Zeitpunktes der Inbetriebnahme ein umfassendes Bild dieser Branche.

Arbeitsplatzmessungen wurden bei der Anlieferung, im Müllbunker, in der Krankabine, im Kesselhaus, bei der Reststoffverladung und der Schlackeaufbereitung sowie bei Rundgängen durchgeführt. Daneben konnten in zwei Unternehmen ergänzende Messungen bei der jährlichen Revision durchgeführt werden.

Die Belastungen der Beschäftigten bei den Tätigkeiten in den verschiedenen Arbeitsbereichen werden im Wesentlichen durch die einatembare Staubfraktion beschrieben. Mit Ausnahme des Müllbunkers und in Einzelfällen der Anlieferung wurden Einhaltungen der Arbeitsplatzgrenzwerte für beide Staubfraktionen ermittelt. Als expositionsintensive Tätigkeiten wurden Arbeiten im Müllbunker, Reinigungsarbeiten und Arbeiten im Rahmen der Revision ermittelt.

#### Schlagwörter:

Müllverbrennungsanlagen, MVA, Arbeitsplatzmessungen, alveolengängige Staubfraktion, einatembare Staubfraktion

## Workplace exposure to particles in municipal solid waste incineration plants

#### **Abstract**

In 2001 the German Hazardous Substances Committee (AGS) established an occupational exposure limit of 3 mg/m³ for respirable particles, with some exceptions of 6 mg/m³ for special tasks and branches, e. g. waste incineration plants. An additional occupational exposure limit for inhalable particles of 10 mg/m³ came into force on 1.4.2004.

One of the branches which was treated as an exception was that of power plants. From the beginning, owners of municipal solid waste incineration (MSWI) plants were interested in getting more information about workers' exposure and in identifying workplaces with higher exposure. Therefore, BAuA and PROBIOTEC GmbH, a consulting company, carried out detailed measurements of workers' exposure to both respirable and inhalable particles in twelve MSWI plants. Due to their waste incineration capacity and the date of their commissioning, these plants provided a comprehensive picture of this branch.

Workplace measurements were performed during delivery of waste, in the waste bunker, in the crane cabin, in the boiler house, and during loading of residues and slag processing. Additionally, personal air sampling was performed during round tours of the workers in the plant. In addition, in two plants measurements were taken during the annual maintenance period.

Workers are predominantly exposed to inhalable particles. With the exception of the waste bunker and some cases of waste delivery, the occupational exposure limits for both particle fractions were adhered to. Working in the waste bunker, cleaning work and maintenance work showed the highest workers' exposure.

#### **Key words:**

Municipal solid waste incineration plants, MSWI, workplace measurements, respirable particle, inhalable particles

## 1 Einleitung

In Deutschland sind mehrere Millionen Beschäftigte an ihren Arbeitsplätzen Staubbelastungen ausgesetzt. Davon sind nahezu alle Branchen und Arbeitsplätze betroffen. Welch hohe Aufmerksamkeit den Staubbelastungen gezollt wird, ist daran zu erkennen, dass mittlerweile sowohl im Umweltschutz als auch im Arbeitsschutz Grenzwerte für Staub aufgestellt wurden.

Im Umweltbereich gilt seit dem 1.1.2005 entsprechend der EU-Richtlinie 1999/30/EG [1] für den als  $PM_{10}$  (PM = particulate matter) definierten Feinstaub ein Grenzwert von 50  $\mu$ g/m³, der höchstens an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf. Zusätzlich ist im Jahresmittel eine Staubkonzentration von 40  $\mu$ g/m³ einzuhalten.

Im Bereich des Arbeitsschutzes wurde vom Ausschuss für Gefahrstoffe im Frühjahr 2001 für die alveolengängige Staubfraktion (A-Staub) ein Grenzwert von 3 mg/m³ beschlossen. Für besonders genannte Bereiche sollte befristet ein Luftgrenzwert der A-Fraktion von 6 mg/m³ gelten. Ergänzend trat ab dem 1.4.2004 für die einatembare Staubfraktion (E-Staub) ein Grenzwert von 10 mg/m³ in Kraft [2]. Als Folge der seit 2005 geltenden neuen Gefahrstoffverordnung [3] wurde mit der Neufassung der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 [4] der Wert von 3 mg/m³ als Arbeitsplatzgrenzwert für die alveolengängige Staubfraktion ohne die bisherigen Ausnahmeregelungen festgelegt.

Bereits zum Zeitpunkt dieser Grenzwertsetzung bemühte sich die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) darum, den anfangs als Ausnahmen genannten Gewerken und Branchen Unterstützung zukommen zu lassen, um die kritischen Bereiche genauer zu identifizieren und wenn möglich durch geeignete Maßnahmen Verringerungen der Belastungen zu erzielen.

Eine der Branchen, die hohe Staubbelastungen an Arbeitsplätzen aufführte, waren die Kraftwerke. Die dazu gehörenden Betreiber von Müllverbrennungsanlagen zeigten von Beginn an großes Interesse, die kritischen Bereiche zu identifizieren und entsprechende Belastungsminderungen zu erzielen. Die BAuA nutzte daher diese Möglichkeit, um gemeinsam mit dem unabhängigen Ingenieur- und Beratungsunternehmen PROBIOTEC GmbH mit einem umfangreichen Untersuchungsprogramm einzusteigen.

Gegenstand der Untersuchungen waren die verschiedenen Arbeitsplätze und Tätigkeiten, die in Müllverbrennungsanlagen vorkommen.

#### Die Müllverbrennung – eine Wachstumsbranche

In Deutschland gibt es mittlerweile mehr als 60 Anlagen, die Abfall zur Strom- und Fernwärmeerzeugung verwerten. Ungeachtet aller Bemühungen, Abfälle zu vermeiden, sind deren Kapazitäten nicht ausreichend, sodass weitere Anlagen in Planung sind. Dies soll sicherstellen, dass eine vollständige Verwertung des Abfallaufkommens möglich ist.

Insbesondere seit dem 1. Juni 2005 hat die Branche einen erheblichen Aufschwung erlebt, da entsprechend der Ablagerungsverordnung [5] und der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi), Siedlungsabfälle [6] nicht mehr ohne thermische oder

mechanisch-biologische Vorbehandlung deponiert werden dürfen. Das soll gewährleisten, dass es auf den Deponien nicht mehr zu biologischen Umsetzungsprozessen kommt. Die Ziele gehen aber noch viel weiter. So hat das Bundesumweltministerium bereits 1990 als ehrgeiziges Ziel formuliert, dass bis 2020 Siedlungsabfälle überhaupt nicht mehr deponiert werden, sondern komplett verwertet werden sollen.

#### • Ziel der Untersuchungen

Unser Ziel war es, die Gefährdung der Arbeitnehmer in den verschiedenen Arbeitsbereichen und bei möglichst allen Tätigkeiten durch die einatembare und die alveolengängige Staubfraktion zu erfassen. Es war von vornherein nicht beabsichtigt, Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe oder durch die Inhaltsstoffe der Stäube zu ermitteln. Dafür gab es zweierlei Gründe. So ist erstens der angelieferte Abfall derart inhomogen, dass wenig Aussicht auf eine repräsentative Charakterisierung der Staubinhaltsstoffe bestand. Andererseits müssen die Müllverbrennungsanlagen entsprechend der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung [7] Emissionsgrenzwerte einhalten. Die Zusammensetzung der freigesetzten Stäube ist daher im Wesentlichen bekannt, sodass anhand der ermittelten Staubkonzentrationen auch näherungsweise Aussagen über die Konzentration der Inhaltsstoffe in der Luft abgeleitet werden können.

#### Vorgehensweise

Die Konzeption des Untersuchungsprogramms war so, dass alle Arbeitsbereiche und Tätigkeiten von der Anlieferung des Mülls bis zur Abgabe der bei der Müllverbrennung anfallenden Reststoffe erfasst wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass bei den Müllverbrennungsanlagen die verschiedenen Technologien, unterschiedliche Bauausführungen und deren Alter und Kapazitäten berücksichtigt wurden.

Die inhalativen Belastungen durch die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion wurden durch ortsfeste und personengetragene Arbeitsplatzmessungen ermittelt. Es erfolgten auch in solchen Arbeitsbereichen ortsfeste Messungen, die eigentlich keine ständigen Arbeitsplätze darstellen. Auf diese Weise sollte auch die mögliche Belastungssituation für den Fall erfasst werden, dass sich Beschäftigte dort bei kurzzeitigen Kontrollen u. ä. gelegentlich aufhalten. Ebenso wurde darauf geachtet, dass in den einzelnen Betrieben Wiederholungsmessungen erfolgten und vergleichbare Tätigkeiten in möglichst vielen der beteiligten Müllverbrennungsanlagen erfasst wurden.

## 2 Die Verwertung von Abfällen

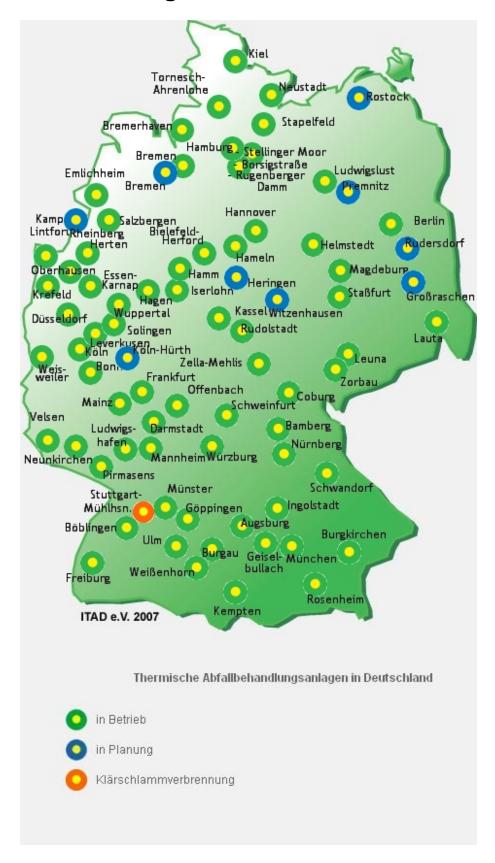


Abb. 2.1 Die Standorte von Müllverbrennungsanlagen in Deutschland [8]

In Abbildung 2.1 ist eine Übersicht mit den Standorten der Müllverbrennungsanlagen in Deutschland dargestellt. Die aufgeführten Anlagen sind Mitglieder der Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e. V. (ITAD) [8].

Das Aufkommen an Siedlungs- und Gewerbeabfällen betrug in Deutschland im Jahre 2004 etwa 48,4 Millionen t bzw. 45 Millionen t. Dies sind z. B. Haus- und Gewerbemüll, Sperrmüll, Bauschutt, Glas und Papier. Dazu kamen etwa 2,17 Millionen t Klärschlamm [9]. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin befasst sich schon seit mehreren Jahren systematisch mit der Abfallwirtschaft und untersucht die Belastungen der Beschäftigten in deren verschiedenen Branchen bei den dort ausgeführten Tätigkeiten [10]. Die bisherigen Untersuchungen befassten sich vorrangig mit der werkstofflichen Verwertung. Betrachtet man die hier aufgeführten Mengen, die der Verbrennung zugeführt werden können, so wird damit die große volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Branche deutlich.

## 3 Beschreibung der beteiligten Betriebe

An dem Untersuchungsprogramm beteiligten sich 12 Müllverbrennungsanlagen. In Tabelle 3.1 sind diese kurz beschrieben.

In den untersuchten Anlagen werden zumeist Hausmüll, Sperrmüll und Gewerbeabfälle energetisch verwertet. In einigen Anlagen werden neben den oben erwähnten Abfallarten noch zusätzlich krankenhausspezifische Abfälle und/oder entwässerte Klärschlämme verwertet. Die meisten der teilnehmenden Anlagen wurden in den Neunzehnhundertachtziger- und Neunzehnhundertneunzigerjahren in Betrieb genommen; bei drei Anlagen erfolgte die Inbetriebnahme bereits in den Neunzehnhundertsechzigerjahren. Alle Anlagen verfügen über eine bis max. drei Kessellinien. Die in den Betrieben verwerteten jährlichen Abfallmengen lagen zwischen etwa 20.000 t und max. 525.000 t.

Der Verfahrensweg der Abfälle durch die Anlagen kann bei allen zwölf beteiligten Betrieben als nahezu identisch betrachtet werden. Jedoch gibt es im Hinblick auf die Bauweise (z. B. offene oder geschlossene Annahme) und die Technik (z. B. Rauchgasreinigung) Unterschiede. Nachfolgend werden der Weg der Abfälle durch die Anlage und die unterschiedlichen Ausführungsmöglichkeiten kurz beschrieben.

#### 3.1 Anlieferung und Lagerung

Der zur Verwertung anstehende Abfall wird meist in speziellen Fahrzeugen der Entsorgungsbetriebe angeliefert. Darüber hinaus können in einigen Anlagen auch Privatpersonen und Gewerbebetriebe ihren Müll entsorgen. Über eine Eingangswaage wird das Fahrzeug mit dem Abfall gewogen, bevor es über den Anlieferungsbereich die Entladehalle anfährt. Die Entladehalle kann geschlossen oder offen ausgeführt sein. Im ersten Falle ist die Halle allseits umbaut und besitzt zur Einfahrt Anlieferungstore. Bei offenen Entladungshallen handelt es sich um ein nicht allseits geschlossenes Gebäude oder es wird komplett im Freien angeliefert.

Der angelieferte Abfall wird in der Entladehalle über die Abkippstellen in den Brennstoffbunker (Müllbunker) abgekippt. In den Brennstoffbunker sind üblicherweise Zerkleinerungsanlagen, wie z. B. hydraulische Rotorscheren, Guillotine-Scheren, Sperrmüllscheren, Zerreißmaschinen etc. integriert. Mit diesen Zerkleinerungsanlagen werden sperrige Abfälle (Sperrmüll) konditioniert. Die Beschickung dieser Anlagen erfolgt durch den Kranfahrer, der auch die Verbrennungslinien beschickt. Der konditionierte Abfall wird wieder direkt dem Brennstoffbunker zugeführt.

Aus dem Brennstoffbunker wird der Abfall mit Hilfe eines Brückenkrans mit Greifer in den Müllaufgabetrichter gefördert und fällt durch die Schwerkraft in die Müllschurren. Die Beschickung des Ofens erfolgt dann mittels Dosierstößel, welcher die Abfälle in die Feuerung schiebt.

 Tab. 3.1
 Übersicht über die untersuchten Betriebe

Betrieb	Anzahl der Verbren- nungsöfen	Jahreskapazität [t]	Anzahl der gewerb- lichen Mitarbeiter	Verwertete Abfälle
А	2	150.000 – 180.000	73	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall
В	1	60.000	44	Haus- und Sperrmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
С	3	120.000	58	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall
D	3	525.000	44	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall
Е	2 Drehrohröfen	26.000	39	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall, Klärschlamm
F	3	360.000	64	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall, Klärschlamm, Klinikmüll
G	3	122.000	65	Haus- und Sperrmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, entwässerter Klärschlamm

Tab. 3.1(Fortsetzung)

Betrieb	Anzahl der Verbren- nungsöfen	Jahreskapazität [t]	Anzahl der gewerb- lichen Mitarbeiter	Verwertete Abfälle
Н	3	150.000	60	Haus- und Sperrmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, entwässerter Klärschlamm
I	3	198.000	53	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall, krankenhausspezifische Abfälle (gesondert)
J	2	320.000	85	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall
K	2	90.000 – 100.000	60	Haus- und Sperrmüll, Gewerbeabfall
L	2 + 1 Reserve	90.000	44	Haus- und Sperrmüll Gewerbeabfall

#### 3.2 Verbrennungsofen

Die Hauptkomponente des Ofens ist der sog. Verbrennungsrost, der den Abfall in und durch den Verbrennungsofen transportiert. Mit Ausnahme einer Anlage wurde in allen untersuchten Betrieben ein sogenannter "Rostofen" eingesetzt. Dieses Rostsystem lässt sich – je nach dem Förderprinzip – in zwei Gruppen unterteilen:

- kontinuierlich f\u00f6rdernde Roste, wie z. B. der Walzenroste und
- diskontinuierlich fördernde Roste, wie z. B. der Vorschub- oder Rückschubroste.

Das Brennbett des Walzenrosts liegt auf mehreren hintereinander angeordneten Walzen. Bei dieser Rostart erfolgen der Transport und die Schürung des Abfalls durch das Zusammenwirken von Schwerkraft und Drehbewegung der Walzen.

Der Vorschubrost führt den Transport und die Schürung des Abfalls mit Hilfe von alternierenden Bewegungen der Roststäbe durch. Dadurch ist bei dieser Rostart keine Neigung der Rostebene in Fließrichtung des Abfalls nötig.

Der Rückschubrost hingegen benötigt eine Neigung der Rostebene, da der Transport des Abfalls mittels Schwerkraft erfolgt. Die Schürung wird mit Hilfe der gegenläufigen Bewegung der Roststäbe zur Transportrichtung erzeugt.

Um einen vollständigen Ausbrand der Abfälle sowie der bei der Verbrennung erzeugten Gase zu erzielen, wird eine Verweilzeit der Abfälle von ca. 45 Minuten beachtet. Des Weiteren liegt die Verbrennungstemperatur bei ca. 850 – 1.050°C. Für eine vollständige Verbrennung von unverbrannten Gasrückständen ist sicher zu stellen, dass Turbulenzen durch die Zuführung von Sekundärluft erzeugt werden.

Ein Betrieb setzte die Pyrolysetechnologie, also die Niedertemperaturverschwelung unter Sauerstoffentzug ein.

### 3.3 Dampferzeugung

Alle untersuchten Anlagen sind als Heizkraftwerke (HKW) errichtet und besitzen eine Dampferzeugung. Dazu wird Wasser (Deionat) bzw. Wasserdampf über Rohre durch den Kessel geleitet und dabei extrem erhitzt. Mit dem erzeugten und unter großem Druck stehenden Dampf wird anschließend eine Dampfturbine beschickt, welche mittels eines Generators elektrische Energie erzeugt. Bei diesem Vorgang verliert der Dampf an Hitze und Druck und kondensiert. Anschließend wird das Kondensat in einem Behälter gesammelt und von hier aus wieder durch den Kessel geleitet.

## 3.4 Rauchgasreinigung

Bei der Abfallverwertung entstehen Rauchgase, die mit Stäuben und diversen Schadstoffen, wie z. B. Schwermetallen, Säuren, Stickoxiden etc. belastet sind. Art und Menge der enthaltenen Schadstoffe richtet sich nach Art und Zusammensetzung der eingebrachten Abfälle. Dadurch ist die nachgeschaltete Rauchgasreinigung von Müllverbrennungsanlagen sehr komplex.

In allen untersuchten Betrieben wird zur Rauchgasbehandlung, d. h. zur Abscheidung von Feststoffen (Stäube, Flugasche etc.), die sogenannte Rauchgasentstaubung eingesetzt. Zur Abscheidung von gasförmigen Schadstoffen (NO<sub>X</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl usw.) kommen die folgenden technologischen Verfahren zum Einsatz:

- Quasitrockenverfahren
- Nassverfahren
- Quasitrockenverfahren mit nachgeschaltetem Nasswäscher

Des Weiteren sind einige der Anlagen mit sogenannten Rauchgasentstickungssystemen ausgestattet. Die derzeit gebräuchlichsten Verfahren sind das SNCR-Verfahren (Selective Non-Catalytic Reduction) und das SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction). Diese Verfahren dienen zur Senkung der Konzentration an-Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) im Rauchgas.

Der Aufbau der Rauchgasbehandlung und damit verbunden die Reihenfolge, in welcher Schadstoffe abgeschieden, adsorbiert oder umgewandelt werden, ist jedoch bei allen untersuchten Anlagen unterschiedlich. Aus diesem Grund beschränkt sich die nachfolgende Beschreibung der einzelnen Verfahren auf die wesentlichen Bestandteile und spiegelt nicht die tatsächliche Anordnung der Behandlungsstufen wieder.

#### Rauchgasentstaubung

Die Rauchgasentstaubung steht meist am Anfang oder am Ende der Rauchgasreinigung.

Mit Hilfe des Staubabscheiders werden die im Rauchgas mitgeführten Flugaschen zum größten Teil erfasst und abgeschieden. Dazu werden entweder Schlauchfilter oder elektrostatische Filter eingesetzt.

Beim Einsatz eines elektrostatischen Filters strömen die Rauchgase in den Filter, der ein elektrisches Feld unter hoher Spannung erzeugt. Darin werden die Staubpartikel elektrisch aufgeladen, setzten sich auf den sogenanntem Abscheidungsplatten ab und fallen von dort in den darunter liegenden Staubtrichter. Die elektrostatischen Staubabscheider bestehen meistens aus zwei bis drei elektrischen Feldern. Der elektrostatische Staubabscheider dient, wie beschrieben zur, Abscheidung von Feststoffen. Gasförmige Schadstoffe, wie z. B. Schwefeldioxid, Stickoxide, Chlorwasserstoff, werden durch den Abscheider nicht erfasst.

#### Quasitrockenverfahren

Bei diesem Verfahren wird Kalk in gelöster Form in einem Reaktor zerstäubt. Durch diese Zugabe wird das Rauchgas abgekühlt. Das nicht an Partikeln gebundene Wasser verdampft bis zur Sättigungsgrenze. Dadurch werden die Partikel eingeengt. Anschließend erfolgt der Übergang von der Dampfphase zum flüssigen Medium. Das am/im Kalk gebundene Restwasser wird weiter verdampft, bis zum Schluss völlig trockene und mit Schadstoffen befrachtete Kalkpartikel zurückbleiben. Die im Rauchgas enthaltenen Schwermetalle lagern sich an den Staubteilchen und am Neutralisationsmittel an.

#### Nassverfahren

Bei diesem Verfahren kommen Rauchgaswäscher zum Einsatz, die die im Rauchgas enthaltenden Schadstoffe abscheiden. Meist wird durch das Einspritzen einer großen Menge Wasser das Rauchgas zunächst gesättigt. In einem sogenannten mehrstufigen Waschturm werden dann dem Rauchgas die Schadstoffe entzogen. Die in Aerosolform vorliegenden Schwermetalle sind im Wasser gebunden und werden mit dem Waschwasser ausgeschleust. Das bei diesem Verfahren entstandene Abwasser darf weder an die Umwelt abgegeben noch in die Kanalisation eingeleitet werden. Aus diesem Grund ist bei der Anwendung des Nassverfahrens immer auch eine nachgeschaltete Abwasserbehandlung nötig. Dort werden die im Waschwasser enthaltenen Säuren neutralisiert und Schwermetalle ausgeflockt.

#### Quasitrockenverfahren mit nachgeschaltetem Nasswäscher

Bei diesem System wird zunächst Wasser in das Rauchgas eingedüst. Das Wasser verdampft, was zu einer Temperaturabsenkung des Rauchgases führt. Anschließend wird Kalk in den Rauchgasstrom eingeblasen, der die Schadstoffe und Schwermetalle - wie beim Quasitrockenverfahren bereits beschrieben - aufnimmt und bindet. Über nachgeschaltete Schlauchfilter werden die mit Schadstoffen und Schwermetallen behafteten Partikel abgeschieden. Die Restabscheidung von Schadstoffen erfolgt dann im nachgeschaltetem Nasswäscher. Wie beim Nassverfahren, werden die Rauchgase durch das Einspritzen einer großen Menge Wasser zunächst gesättigt und anschließend gewaschen.

## 4 Durchführung der Arbeitsplatzmessungen

#### 4.1 Probenahme

Die Arbeitsplatzmessungen in den Müllverbrennungsanlagen dienten ausschließlich zur Ermittlung der Belastungen durch die alveolengängige (A-Staub) und die einatembare (E-Staub) Staubfraktion. Dazu wurden sowohl personengetragene als auch ortsfeste Messungen durchgeführt. Den personengetragenen Messungen wurde dabei immer der Vorzug gegeben. Es gab jedoch auch eine Reihe von Arbeitsbereichen und Tätigkeiten, wo ausschließlich die ortsfesten Messungen zum Einsatz kamen. Dies war dann der Fall, wenn sich in den betreffenden Arbeitsbereichen keine ständigen Arbeitsplätze befanden, wie z. B. im Müllbunker oder im Kesselhaus. Eine weitere Entscheidung zugunsten der ortsfesten Messungen wurde dann getroffen, wenn die von den Beschäftigten durchgeführten Tätigkeiten mit großen körperlichen Belastungen verbunden waren und somit die zusätzliche Belastung durch das personengetragene Messgerät nicht zumutbar war. Dies traf insbesondere für die in zwei Müllverbrennungsanlagen während der Revisionsphase durchgeführten Arbeitsplatzmessungen zu.

Als Probenahmesysteme kamen bei ortsfesten Messungen für die einatembare Staubfraktion das Gravikon VC 25 (Ströhlein Instruments, Kaarst) und für die alveolengängige Staubfraktion die Staubsammelgeräte MPG II und MPG III (Dr. Ing. Georg Wazau, Berlin) zum Einsatz.

Personengetragene Messungen erfolgten mit den batteriebetriebenen Sammelpumpen Buck VSS-5 (Ravebo Supply, Brielle, NL), PP5-ex (GSM, Neuss) und SG 10 (GSM, Neuss). In Kombination mit diesen Pumpen wurden folgende Sammelköpfe für die alveolengängige Staubfraktion verwendet: Casella-Zyklon (Casella Ltd., London, UK) und FSP 10 (GSM, Neuss). Zur Erfassung der einatembaren Staubfraktion wurden die Sammelköpfe STASA (BAuA, Dortmund) und GSP (GSM, Neuss) eingesetzt.

In begründeten Fällen wurden üblicherweise personengetragene Sammelsysteme auch ortsfest eingesetzt. Das war vor allem dann der Fall, wenn das Raumvolumen des Arbeitsbereiches klein (z. B. Krankabine) war oder die zu erwartenden Staubbelastungen so hoch waren (z. B. Brennstoffbunker), dass das Leistungsvermögen eines personengetragenen Systems vollauf ausreichte.

Die Sammlung der Staubfraktionen erfolgte stets auf Glasfaserfiltern (Schleicher & Schuell, Dasseln, Whatmann, Dasseln und Macherey & Nagel, Düren). Die Filter wurden vom Labor zum Betrieb und nach Ihrem Einsatz von der Probenahme zurück ins Labor in staubgeschützten Filterkassetten transportiert.

Als Probenahmedauer wurden nach Möglichkeit mindestens zwei Stunden angestrebt. Ortsfeste Messungen in Arbeitsbereichen, die keine ständigen Arbeitsplätze beinhalteten, erfolgten üblicherweise über eine Gesamtdauer von vier Stunden. Nach Möglichkeit wurde versucht, an diesen Messpunkten zweimal vier Stunden Proben zu sammeln, um dann einen zeitgewichteten Mittelwert abzuleiten.

Bei den personengetragenen Probenahmen während der Rundgänge wurde nachfolgende Vereinbarung getroffen und fast durchgängig auch angewendet: Mehrere Rundgänge in einer Schicht wurden zu einer Probenahme zusammengefasst, indem die Staubsammlung auf einem Filter erfolgte. Dies war erforderlich, da nie vorher bekannt war, wie lange ein Rundgang tatsächlich dauern würde, und bedingt durch das geringe Leistungsvermögen (gesammeltes Luftvolumen) der verwendeten Probenahmesysteme eine Mindestprobenahmedauer von etwa zwei Stunden erforderlich war, um Aussagen zur Belastungshöhe zu treffen.

Bei allen Arbeitsplatzmessungen wurden die klimatischen Bedingungen festgehalten. Temperatur und Luftfeuchte wurden mit einem Messgerät BAPPU (ELK GmbH, Krefeld) gemessen, der Luftdruck mit dem DVR 2 (Vacuubrand GmbH, Wertheim).

#### 4.2 Analytische Bestimmung der Staubbelastungen

Die Filter zur Staubsammlung wurden vor den Probenahmen im Exsikkator über Trockenmittel aufbewahrt. Nach Beendigung der Probenahme erfolgte die Lagerung der belegten Filter unter den gleichen Bedingungen wie zuvor. Die gravimetrische Auswertung zur Bestimmung der Staubbelastungen erfolgte mittels einer Analysenwaage Mettler AT 250 (Mettler Instrumenten GmbH, Greifensee, Zürich, CH). Dabei wurde in allen Fällen sichergestellt, dass zur Ermittlung der Blindwerte mindestens jeweils fünf Blindfilter für die verschieden Filtergrößen mitgeführt wurden. Diese Blindfilter unterlagen den gleichen Bedingungen hinsichtlich Konditionierung und Transport wie die für die Arbeitsplatzmessungen verwendeten Filter.

Aus den gravimetrisch ermittelten Filterbelegungen wurden dann unter Einbeziehung der jeweiligen Probenahmedauer die Luftkonzentrationen ermittelt. Schichtmittelwerte wurden entsprechend TRGS 402 für eine Probenahmedauer größer zwei Stunden aus einem Messwert oder ansonsten entsprechend den Anforderungen an Mittelungsdauer und Mindestanzahl der Messungen berechnet.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Arbeitsplatzmessungen umfassten 12 Müllverbrennungsanlagen. Die Betriebe waren so ausgewählt worden, dass sich ein möglichst umfassendes Bild dieser Branche hinsichtlich Betriebsgröße, Alter der Anlage und durchgesetzter Menge an Abfällen ergab. Im Gegensatz zu den Untersuchungen in vielen anderen Branchen waren hier rund 20 % aller in Deutschland bestehenden Müllverbrennungsanlagen eingebunden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die verschiedenen Arbeitsbereiche vorgestellt und erläutert. Für die einzelnen Arbeitsbereiche wird dabei auf die ausgeführten Tätigkeiten und auf besondere Beobachtungen eingegangen.

Bei den hier diskutierten Ergebnissen der Arbeitsplatzmessungen sind zwei wesentliche Gruppen zu unterscheiden. Bei Tätigkeiten über den gesamten Schichtverlauf (z. B. bei der Anlieferung) oder bei ortsfesten Arbeitsplatzmessungen in Bereichen mit einem kontinuierlichen Betrieb (z. B. im Kesselhaus) wurden die Messergebnisse als Schichtmittelwerte dargestellt. Wenn dagegen Tätigkeiten mit einer Zeitdauer kürzer als die Schichtlänge ausgeführt wurden (z. B. Rundgänge oder Reststoffverladung), handelt es sich bei den dargestellten Belastungen um Messwerte, die nicht auf die gesamte Schichtlänge umgerechnet wurden. Diese Messwerte stellen dementsprechend die Belastungen der Beschäftigten während der konkreten Tätigkeitsdauer dar.

## 5.1 Anlieferung

Die untersuchten Betriebe verfügten über drei bis zwölf Kippstellen, an denen der Müll in den Müllbunker abgeworfen wurde. Üblicherweise sind diese Kippstellen direkt nebeneinander ohne bauliche Trennung angeordnet; nur in einem Betrieb waren die Abkippstellen durch Trennwände räumlich voneinander getrennt. In einigen Betrieben lag der Anlieferungsbereich im Freien mit einer teilweisen Überdachung. Die meisten Betriebe hatten jedoch die Anlieferung in einer vollständig umbauten Halle mit Zu- und Ausfahrt.

Die Arbeitsplatzmessungen der alveolengängigen und der einatembaren Staubfraktion erfolgten durchweg ortsfest und personengetragen. Für die ortsfesten Messungen wurden bevorzugt Messpunkte nahe der Abkippstelle am Müllbunker zwischen den am intensivsten genutzten Fahrspuren ausgewählt. Dadurch wurden auch die aus dem Müllbunker in den Anlieferungsbereich gelangenden Staubbelastungen mit erfasst. Diese resultierten aus Umschichtungs- und Beschickungsarbeiten sowie aus dem Einsatz von Schreddern oder Scherern. Die ortsfesten Messungen nahe dem Abwurfschacht beschreiben dementsprechend den ungünstigen Fall (worst case).



**Abb. 5.1** Anlieferung von Haus- und Gewerbemüll

Die personengetragen durchgeführten Messungen beschränkten sich durchweg auf die einatembare Staubfraktion. Sie erfolgten nur an Mitarbeitern der Müllverbrennungsanlagen. Deren Tätigkeit umfasste im Wesentlichen die Einweisung der Fahrzeuge und erforderliche Reinigungsarbeiten. Diese Reinigungsarbeiten wurden zum Schichtende und – wenn erforderlich – nach der Abfahrt der Anlieferfahrzeuge durchgeführt. In der Regel mussten die Fahrer der Anlieferfahrzeuge ihren beim Abkippen daneben geworfenen Abfall selbst aufnehmen und in den Müllbunker befördern. An diesen Fahrern erfolgten keine Messungen, da ihre Aufenthaltsdauer im Arbeitsbereich Anlieferung zu gering war.

**Tab. 5.1** Messergebnisse (Schichtmittelwerte) für den Arbeitsbereich Anlieferung

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Messungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]	95-Perzentil [mg/m³]
ortsfest				
alveolengängig	46	< 0,01 – 1,02	0,08	0,77
einatembar	48	< 0,02 – 20,5	0,90	12,6
personengetragen				
einatembar	45	0,10 – 1,90	0,43	1,61

In Tabelle 5.1 sind die bei der Anlieferung erhaltenen Messergebnisse zusammengefasst dargestellt. Die Messungen an den in der Anlieferung beschäftigten Mitarbeitern zeigten für die einatembare Staubfraktion durchweg eine Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes von 10 mg/m³. Dass diese Messergebnisse deutlich niedriger liegen als die ortsfest gemessenen Staubbelastungen liegt in erster Linie daran, dass sich die Mitarbeiter nur einen Bruchteil ihrer Arbeitszeit in der Nähe der Abkippstellen aufhielten. Die unter worst case-Bedingungen ortsfest ermittelten Belastungen durch die einatembare Staubfraktion waren deutlich höher. Die Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes traten bis auf eine Ausnahme in Betrieb B auf, der alle Abwurfschächte mit den zugehörigen Fahrspuren durch eingezogene Wände voneinander abgetrennt hatte. Wenn ein Fahrzeug eingefahren war, um den Abfall abzuwerfen, wurde das Tor geschlossen. Der durch den Abwurf aufgewirbelte Staub staute sich und wurde durch den Unterdruck im Müllbunker nicht schnell genug abgesaugt. In einem Fall wurde auch in Betrieb J der Arbeitsplatzgrenzwert für die einatembare Staubfraktion überschritten, da der Kran im Müllbunker sehr große Staubaufwirbelungen verursachte, die in den Bereich der Anlieferung hineindrückten.

Für die alveolengängige Staubfraktion lagen die ermittelten Belastungen in allen Fällen unterhalb eines Viertels (0,77 mg/m³) des Arbeitsplatzgrenzwertes von 3 mg/m³ – wohlgemerkt unter worst case-Bedingungen. Es kann daher zu Recht davon ausgegangen werden, dass die personengetragen messbaren Belastungen durch diese Staubfraktion noch deutlich niedriger liegen würden.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte für beide Staubfraktionen bei den von den Beschäftigten ausgeführten Tätigkeiten bei der Anlieferung eingehalten werden. Es sollte jedoch sichergestellt werden, dass die Tätigkeiten unmittelbar an den Abwurfstellen möglichst gering gehalten werden.

Eine räumliche Abtrennung der Abwurfschächte voneinander sollte nicht erfolgen, da hier von erhöhten Staubbelastungen auszugehen ist. Wenn eine derartige Bauweise besteht, sollte sich während des Abwurfs des Abfalls kein Beschäftigter in diesem Bereich aufhalten. Gleiches gilt natürlich auch für die Fahrer der Anlieferfahrzeuge. Diese sollten sich aus der Nähe der Abwurfstelle entfernen oder aber in der Fahrerkabine aufhalten – insbesondere wenn diese über eine entsprechende Frischluftzuführung mit Filter verfügt.

#### 5.2 Müllbunker mit Krankabine

Der in den Müllbunker abgekippte Abfall wurde mit dem Greifer eines Brückenkrans in die Müllaufgabetrichter der Verbrennungsöfen befördert. Neben diesen Müllaufgabetrichtern befanden sich in einigen Müllverbrennungsanlagen auch noch Scherer oder Schredder zur Müllzerkleinerung im Bunker. Diese wurden ebenfalls durch diesen Kran beschickt; der Auswurf der zerkleinerten Abfälle erfolgte direkt in den Müllbunker.

Im Müllbunker befand sich in allen Betrieben eine klimatisierte Krankabine mit üblicherweise zwei Arbeitsplätzen zur Bedienung von zwei Brückenkränen. Überwiegend war nur einer dieser Arbeitsplätze besetzt. Der Zugang zu dieser Krankabine erfolgte nicht über den Müllbunker, sondern über einen gesonderten Zugang.

Der Müllbunker wurde in der Mehrzahl der Betriebe abgeschlossen. Ein Zugang war dann nur für berechtigte Personen möglich. Diese mussten sich beim Kranführer anmelden und den Schlüssel aushändigen lassen. In den meisten Fällen erfolgte

dann der Zutritt über eine Schleuse, in der die entsprechende persönliche Schutzausrüstung (Einmal-Schutzanzug, Atemschutz) anzulegen war. Nach Verlassen des Bunkers wurde diese Schutzausrüstung in einen zur Verfügung gestellten Behälter entsorgt. Es gab allerdings auch Betriebe, in denen der Zugang zum Müllbunker ohne derartige Sicherheitsmaßnahmen erfolgen konnte.

Während des Betriebs des Brückenkranes durften sich keine Mitarbeiter im Müllbunker aufhalten. Erforderliche Reinigungs- oder Reparaturarbeiten wurden bevorzugt zu den Zeiten durchgeführt, in denen noch keine Anlieferungen erfolgten und Umschichtungen mittels Kran nicht durchgeführt werden mussten.

Im Müllbunker erfolgten ausschließlich ortsfeste Messungen der einatembaren und der alveolengängigen Staubfraktion, da sich hier keine dauerhaften Arbeitsplätze befanden. Die Messungen in den Krankabinen erfolgten ebenso ortsfest.

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse dieser Arbeitsplatzmessungen zusammengefasst dargestellt. Für den Müllbunker wird deutlich, dass für die einatembare Staubfraktion Belastungen oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes von 10 mg/m³ zu erwarten sind. Niedrigere Konzentrationen sind eher die Ausnahme. Ein Zusammenhang zwischen gemessenen Staubkonzentrationen und Art oder Menge der angelieferten Abfälle oder der Zahl der zu beschickenden Öfen war nicht erkennbar. Auch der Betrieb der Schredder oder Scherer machte sich nicht auffällig bemerkbar.



**Abb. 5.2** Impressionen aus dem Müllbunker

Für die alveolengängige Staubfraktion lag die überwiegende Anzahl der Messergebnisse zwar unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes von 3 mg/m³, jedoch muss auch hier von nicht vorhersehbaren Staubkonzentrationen oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes ausgegangen werden.

**Tab. 5.2** Ortsfeste Messergebnisse (Schichtmittelwerte) für den Arbeitsbereich Müllbunker mit Krankabine

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Messungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]	95-Perzentil [mg/m³]
Müllbunker				
alveolengängig	24	0,23 – 5,30	0,92	2,38
einatembar	25	2,50 – 28,0	11,8	22,3
Krankabine				
alveolengängig	20	< 0,02 – 0,45	0,12	0,26
einatembar	22	< 0,06 – 1,48	0,11	0,72

Für beide Staubfraktionen ist von Überschreitungen der Kurzzeitwerte auszugehen. Diese sind zwar nicht unbedingt vorhersagbar, jedoch müssen sie insbesondere dann angenommen werden, wenn Schredder oder Scherer in Betrieb sind sowie besonders staubender Abfall angeliefert oder mit dem Kran bewegt wird. Dies lässt sich auch durch entsprechende Beobachtungen während der Arbeitsplatzmessungen untermauern. So wurde z. B. in einem Betrieb eine größere Menge Lackschleifstaub angeliefert, obwohl dies nach den Anlieferbedingungen nicht zulässig war. Die erhöhte Staubbelastung war bei diesem – rot gefärbten – Staub sofort überall ersichtlich.

In der Krankabine mit ihren ständigen Arbeitsplätzen lagen die Belastungen durch beide Staubfraktionen bis auf einen Fall durchweg unterhalb von 10 % der jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwerte. Der höchste gemessene Schichtmittelwert von 1,48 mg/m³ für die einatembare Staubfraktion war darauf zurückzuführen, dass die Klimaanlage der Krankabine in diesem Betrieb nicht ordnungsgemäß lief; allerdings war auch bereits eine entsprechende Wartung veranlasst.



**Abb. 5.3** Reinigungsarbeiten am Scherer

Reinigungsarbeiten im Müllbunker finden üblicherweise am Wochenende statt, wenn keine Anlieferungen erfolgen. Diese Arbeiten werden dann vom Kranführer ausgeführt. In zwei Betrieben (B und L) wurden diese Arbeiten für das Untersuchungsprogramm werktags in die Tagschicht verlagert. Die Beschäftigten trugen während der Reinigungsarbeiten Schutzanzüge und Atemschutz. Die dabei durchgeführten ortsfesten und personengetragenen Arbeitsplatzmessungen ergaben massive Überschreitungen der Kurzzeitwerte für beide Staubfraktionen. Bei insgesamt fünf Messungen betrugen die Belastungen für die einatembare und die alveolengängige Staubfraktion bis zu 400 mg/m³ bzw. 17 mg/m³ bei einer Probenahmedauer von bis zu 20 min. Bei den planmäßigen Reinigungsarbeiten am Wochenende ist nach Auskunft der Beschäftigten von einer typischen Tätigkeitsdauer von etwa einer bis eineinhalb Stunden auszugehen. Kritisch ist zu diesen Tätigkeiten anzumerken, dass im Wesentlichen mittels Abblasen oder trockenem Fegen gearbeitet wird.

#### 5.3 Kesselhaus

Als Kesselhaus werden in diesem Bericht alle Gebäude und Gebäudeteile zusammengefasst, in denen sich die Anlagen zur Verbrennung, Energieerzeugung und -wandlung, Schalt- und Messwarten, der Schlackenaustrag sowie die Reinigungsanlagen für die Rauchgase befinden. Dies hat zum Hintergrund, dass einerseits beim Bau der verschiedenen Müllverbrennungsanlagen eine unterschiedliche bauliche Zusammenfassung dieser Bereiche erfolgte und andererseits keine erkennbaren Unterschiede bei den Messergebnissen feststellbar waren.

Wenn man von den Schalt- und Messwarten absieht, befanden sich im Kesselhaus mit den darin installierten Anlagen in allen untersuchten Betrieben keine dauerhaften Arbeitsplätze. Die Beschäftigten waren hier nur tätig, wenn Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten durchgeführt wurden. In einigen Fällen erfolgten diese Arbeiten auch durch Fremdfirmen. Weiterhin hielten sich Beschäftigte während der sogenannten Rundgänge (siehe dazu Kapitel 5.4) zu Kontrollzwecken im Kesselhaus auf. Es wurden daher im Kesselhaus ausschließlich ortsfeste Arbeitsplatzmessungen durchgeführt. Die Messpunkte wurden dazu in allen Betrieben unter etwa gleichen Bedingungen ausgewählt.



**Abb. 5.4** Arbeitsplatzmessungen im Kesselhaus

Auf der untersten Ebene (üblicherweise in den Betrieben als Ebene 0 m bezeichnet) erfolgten die Arbeitsplatzmessungen bevorzugt in der Nähe des Schlackenaustrags. Die Ebene 2 (je nach Betrieb etwa sechs bis acht Meter über der Ebene 0 m) wurde ausgewählt, da diese Ebene meistens mit einem Betonfußboden ausgestattet war. Es war daher davon auszugehen, dass sich hier auch die größten Staubablagerungen befinden, die aufgewirbelt werden können. Die Arbeitsplatzmessungen auf dieser Ebene erfolgten in der Regel in der Nähe der Verbrennungsöfen. Alle anderen Ebenen verfügten über einen Gitterrostfußboden. Als dritte Ebene für die Messungen wurde meistens die oberste Ebene ausgewählt, die je nach Betrieb bis über 40 Meter oberhalb der Ebene 0 m lag.

Die zusammengefassten Messergebnisse für das Kesselhaus sind in Tabelle 5.3 dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass die Belastungen für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion mit maximal 10 % bzw. 16 % des jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwertes deutlich unterhalb der höchstzulässigen Belastungen liegen. Anhand der Messergebnisse ließen sich keine signifikanten Unterschiede für die oben beschriebenen verschiedenen Ebenen im Kesselhaus erkennen.

**Tab. 5.3** Ortsfeste Messergebnisse für den Arbeitsbereich Kesselhaus

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Messungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]	95-Perzentil [mg/m³]
alveolengängig	25	0,02 - 0,31	0,06	0,18
einatembar	34	< 0,02 – 1,56	0,16	0,83

Höhere Belastungen sind im Kesselhaus dann zu erwarten, wenn Reparaturen oder die planmäßigen Revisionen (siehe dazu Kapitel 5.8) durchgeführt werden oder aber Betriebsstörungen eintreten.

In einem Betrieb wurde auch eine Messung in der Schaltwarte durchgeführt. Die dabei ermittelte Belastung durch die einatembare Staubfraktion betrug 0,47 mg/m³. Die Schaltwarte war durchgängig mit einem oder zwei Mitarbeitern besetzt. Außerdem fanden hier regelmäßig die Besprechungen der einzelnen Schichten sowie die Aufgabenzuteilungen statt. Da in einigen Betrieben die Mitarbeiter in der Schaltwarte rauchten, war hier keine Beurteilung der Staubbelastungen möglich.

#### 5.4 Rundgänge

In allen Müllverbrennungsanlagen wurden regelmäßig mehrere Rundgänge während einer Schicht durchgeführt. Diese Rundgänge starteten und endeten in der Schaltwarte, wo dann auch sofort eine Information des Schichtführers erfolgte, wenn Wartungs- oder Reparaturbedarf festgestellt wurde. Die Beschäftigten führten bei den Rundgängen Kontrolltätigkeiten sowie ggf. Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten aus. Während der Rundgänge führten die Beschäftigten Atemschutz mit sich, der ggf. zum Einsatz kam.

Üblich waren zwei bis fünf Rundgänge in einer Schicht. Diese wurde von einem oder zwei Beschäftigten durchgeführt. Die Dauer eines Rundganges betrug zwischen 30 min und etwa 120 min. Im Allgemeinen gab es zwei verschiedene Streckenführungen innerhalb der Anlagen. Zeitweise hielten sich die Beschäftigten während eines Rundganges auch im Freien auf.

Die Ermittlung der Belastungen durch die einatembare Staubfraktion erfolgte in allen Fällen durch Messungen am Beschäftigten. Aufgrund der großen Variation in der Dauer dieser Rundgänge und um das Leistungsvermögen der personengetragenen Probenahmesysteme zu verbessern, wurden in vielen Fällen mehrere Rundgänge durch Verwendung des gleichen Filters messtechnisch zusammengefasst. Tabelle 5.4 liefert eine Übersicht über die Messwerte. In einem Fall war ein Beschäftigter etwa siebeneinhalb Stunden aufgrund von Rundgängen im Betrieb unterwegs. Ansonsten betrug die Gesamtdauer der Rundgänge weniger als 50 % der Schichtdauer.

**Tab. 5.4** Personengetragene Messwerte für die einatembare Staubfraktion bei Rundgängen

gemessene	Anzahl der	Von – bis	Median	95-Perzentil
Staubfraktion	Messungen	[mg/m³]	[mg/m³]	[mg/m³]
einatembar	51	< 0,08 - 4,93	1,07	3,37

Alle Messwerte für die einatembare Staubfraktion liegen numerisch deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes von 10 mg/m³. Da sich die Beschäftigten während des Rundganges überwiegend im Bereich des Kesselhauses, d. h. in den unter diesem Oberbegriff zusammengefassten Arbeitsbereichen, aufhalten, kann unter Einbeziehung der in Tabelle 5.3 dargestellten Messergebnisse für das Kesselhaus für die alveolengängige Staubfraktion ebenso von einer Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes von 3 mg/m³ ausgegangen werden.

Unter der Annahme, dass keine weiteren Tätigkeiten mit Staubexposition durchgeführt werden, ergibt sich auf der Grundlage der in Tabelle 5.4 dargestellten Messwer-

te ein maximaler Schichtmittelwert von 2,5 mg/m³ E-Staub. Für die Gefährdungsbeurteilung wird empfohlen, die tatsächlichen Belastungen während der Rundgänge zu verwenden und einen entsprechenden zeitgewichteten Schichtmittelwert unter Berücksichtigung weiterer Tätigkeiten mit Staubexposition zu ermitteln.

#### 5.5 Reststoffverladung

In den Müllverbrennungsanlagen fielen als Reststoffe Schlacken und Stäube (Elektrofilter- und Kesselstaub) an. Diese wurden in entsprechenden Anlagen gesammelt und regelmäßig entsorgt. Alle Betriebe verfügten dazu über entsprechende Reststoffverladestationen. In Abhängigkeit von der Größe der Müllverbrennungsanlage erfolgten unterschiedlich viele Verladungen in der Woche. Verladung von Stäuben

In einem Betrieb erfolgte die Verladung der gesammelten Stäube in Bahnwaggons; in allen anderen Betrieben in Silofahrzeuge. Die Verladestation für die Stäube befand sich entweder in einer geschlossenen Halle oder in einer Durchfahrt. Ein Betrieb verfüllte die Filterstäube in Big bags, die täglich mehrmals gewechselt werden mussten.

Zur Verladung wurde ein Rüssel aus der Verladestation direkt auf den Silotank des Silofahrzeugs aufgesetzt und abgeschlossen. Zur vollständigen Füllung des Silofahrzeuges wurde der Verladevorgang unterbrochen und der Rüssel der Verladestation an die anderen Einfüllstutzen des Silofahrzeuges angeschlossen. Das Fahrzeug wurde dazu bewegt. In ein Silofahrzeug konnten etwa 25 t Staub verladen werden. Die Dauer dieser Verladung betrug zwischen einer und zwei Stunden. In einigen Betrieben wurden die Silofahrzeuge nach der Staubverladung zur Beseitigung von Staubablagerungen mit Wasser abgesprüht. Die Stäube wurden zur Endlagerung unter Tage abtransportiert.

Die Verladung erfolgte entweder durch Mitarbeiter der Müllverbrennungsanlage oder durch den Lkw-Fahrer der Spedition. Die Anzahl der Staubverladungen lag dabei zwischen weniger als einer Verladung bis zu zwei Verladungen an einem Tag.

Erfolgte die Verladung der Filterstäube durch den Lkw-Fahrer, so trug dieser im Gegensatz zur Verladung durch Betriebsangehörige in der Regel keinen Atemschutz. Insgesamt wurde die Verladung durch Betriebsfremde deutlich leichtfertiger vorgenommen: In einem Fall nahm der Lkw-Fahrer unmittelbar neben der Verladung sein Frühstück zu sich.

Bei der Staubverladung erfolgten sowohl ortsfeste als auch personengetragene Arbeitsplatzmessungen. Die Messwerte sind zusammengefasst mit denen der Schlackeverladung in Tabelle 5.5 dargestellt.



**Abb. 5.5** Arbeitsplatzmessungen bei der Verladung von Stäuben

#### Schlackeverladung

Die aus den Verbrennungsöfen ausgetragene Schlacke wird in einem Schlackebunker oder auf einem dafür vorgesehenen Lagerplatz gelagert. Die Verladung in Lkw erfolgte mit einem Kran. Der mit Schlacke gefüllte Auflieger des Lkw wurde nach der Beladung mit einer Plane verschlossen. Ein Betrieb hatte die Lagerung und den Abtransport der Schlacke an einen Subunternehmer ausgelagert. In drei Betrieben erfolgte eine weitere Aufbereitung der Schlacke (siehe 5.6). Die anfallende Schlacke war entweder für die Endlagerung unter Tage vorgesehen oder wurde beim Straßenbau eingesetzt.

Die Probenahmedauer betrug in Abhängigkeit von der Anzahl der Verladungen üblicherweise zwischen einer Stunde und der gesamten Schichtdauer. Darin eingeschlossen waren dann z. T. auch Reinigungsarbeiten am Schlackenlager. Die Beladung eines Lkw dauerte typischerweise etwa 15 bis 30 Minuten. Bei der Schlackeverladung wurden in einigen Fällen mehrere Fahrzeuge nacheinander beladen und in einer Arbeitsplatzmessung zusammengefasst.

Tabelle 5.5 zeigt die Messwerte für die ortsfesten und personengetragenen Arbeitsplatzmessungen während der Verladung von Schlacken und Filterstäuben. Diese Messwerte stellen die (im Regelfall potenziellen) Belastungen der Beschäftigten während der dabei ausgeführten Tätigkeiten dar. Wie bereits oben angeführt trugen Mitarbeiter der Müllverbrennungsanlage bei den Verladearbeiten Atemschutz. Mitarbeiter von Speditionen, die selbst die Verladung durchführten, trugen meistens keinen

Atemschutz. Während der bei der Verladung durchgeführten Tätigkeiten sind die Mitarbeiter den in Tabelle 5.5 dargestellten Belastungen ausgesetzt.

Aufgrund der in den Filterstäuben vorhandenen Gefahrstoffe, z. B. diverse Schwermetalle, ist bei diesen Verladungen immer partikelfiltrierender Atemschutz zu tragen. Die möglichen Belastungen infolge dieser Staubinhaltstoffe lassen sich aus den ermittelten Staubbelastungen und den in den Betrieben regelmäßig durchgeführten Ermittlungen der Filterstaubzusammensetzung abschätzen.

**Tab. 5.5** Messwerte für die Staubbelastungen bei der Reststoffverladung

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Messungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]	95-Perzentil [mg/m³]
einatembar				
ortsfest	15	< 0,05 – 2,83	0,14	1,46
personengetragen	5	0,29 – 1,85	-	-
alveolengängig				
ortsfest	4	< 0,02 - 0,34	-	-

Eine Unterscheidung der Messwerte hinsichtlich Verladung von Schlacke oder Stäuben war nicht erforderlich, da alle Werte deutlich unterhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte für die einatembare und die alveolengängige Staubfraktion lagen. Die höchste ortsfest gemessene Belastung durch die einatembare Staubfraktion (2,83 mg/m³) war auf Undichtigkeiten der Förderschnecke zurückzuführen.

Werden die in Tabelle 5.5 dargestellten Messwerte als Schichtmittelwerte auf die gesamte Schicht bezogen, so liegen diese niedriger. In allen Fällen würden die aus diesen Messwerten und der zugehörigen Tätigkeitsdauer für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion abgeleiteten Schichtmittelwerte weniger als 0,07 mg/m³ bzw. 0,9 mg/m³ betragen.

### 5.6 Schlackeaufbereitung

In drei Betrieben (D, I, J) wurde die anfallende Schlacke aufbereitet. Dies geschah in gesonderten Gebäuden oder Hallen. Die aus den Verbrennungsöfen ausgetragene Schlacke wurde mittels Förderbändern in die Schlackeaufbereitung transportiert.

Bei der Schlackeaufbereitung wurde diese im Wesentlichen mit verschiedenen Mühlen und Brechern zerkleinert. Anschließend erfolgte eine Klassierung in verschiedene Fraktionen. Aus den Schlacken wurden Störstoffe, vor allem aber Metalle (insbesondere Eisen und Kupfer) abgetrennt. Ein Betrieb verfügte dazu sogar über eine Sortierkabine, in der zwei Beschäftigte die Sortierarbeiten manuell ausführten.

Die Steuerung der bei der Schlackeaufbereitung erforderlichen Verfahrenstechnik erfolgte durch einen Mitarbeiter an einem Leitstand. Auch im Arbeitsbereich Schlackeaufbereitung wurden regelmäßig Rundgänge durchgeführt. Dabei erfolgten

schwerpunktmäßig Kontroll- und Wartungstätigkeiten sowie Reinigungsarbeiten. Für Transportarbeiten wurden Radlader eingesetzt.

In zwei Betrieben waren bei der Schlackeaufbereitung überwiegend Mitarbeiter von Fremdfirmen tätig. Diese führten vor allem Reinigungsarbeiten aus.

Die aufbereitete Schlacke wurde – wie unter 5.5. beschrieben – abtransportiert. In einem der Betriebe wurde die Schlacke zur Alterung mehrere Monate gelagert. Anschließend konnte diese aufbereitete Schlacke an Kunden weitergegeben werden, die im Straßenbau tätig waren.



Abb. 5.6 Reinigungsarbeiten beim Rundgang in der Schlackeaufbereitung

Die ortsfesten Arbeitsplatzmessungen wurden an den Stellen durchgeführt, an denen höhere Belastungen zu erwarten waren. Dies war insbesondere in der Nähe von Aufgabe- und Abwurfstellen sowie nahe den Mühlen der Fall. Die personengetragenen Messungen erfolgten bei Reinigungsarbeiten und Rundgängen. Außerdem wurden in dem Betrieb mit der Sortierkabine personengetragene Messungen an den Beschäftigten bei der Sortierung durchgeführt. Tabelle 5.6 gibt eine Übersicht über die Messergebnisse bei der Schlackeaufbereitung.

Die ortsfesten Messergebnisse liegen für beide Staubfraktionen durchweg unterhalb von 10 % der jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwerte. Für die einatembare Staubfraktion zeigen die ortsfest und personengetragen gemessenen Staubbelastungen ebenfalls eine gute Übereinstimmung. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass beim Normalbetrieb in der Schlackeaufbereitung keine erhöhten Belastungen zu erwarten sind. Es zeigt sich, dass die Belastungen durch beide Staubfraktionen ziemlich gleichförmig über den gesamten Bereich der Schlackeaufbereitung verteilt sind. Auch

für die Sortierarbeiten in der Sortierkabine konnte keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

**Tab. 5.6** Messergebnisse (Schichtmittelwerte) für die Staubbelastungen bei der Schlackeaufbereitung

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Messungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]	95-Perzentil [mg/m³]
einatembar				
ortsfest	13	< 0,05 - 0,89	0,20	0,83
personengetragen	7	0,29 – 1,35	-	-
alveolengängig				
ortsfest	13	< 0,02 - 0,28	0,05	0,22



**Abb. 5.7** Sortierarbeitsplätze bei der Schlackeaufbereitung

#### Problembereich: Reinigungsarbeiten in der Aufbereitungsanlage

Eine personengetragene Arbeitsplatzmessung bei Reinigungsarbeiten bedarf hier einer gesonderten Betrachtung. Diese Tätigkeiten wurden von einem Beschäftigten einer Fremdfirma über den ganzen Tag ausgeführt. Während der gut zwei Stunden dauernden Probenahme wurde für die einatembare Staubfraktion eine Konzentration von 27,1 mg/m³ am Beschäftigten gemessen. Es kann davon ausgegangen werden,

dass in diesem Fall im Schichtmittel eine Belastung in dieser Größenordnung zu erwarten ist.

Der Beschäftigte trug während der Arbeiten eine Atemschutzmaske (FFP3), einen Einweg-Schutzanzug und Lederhandschuhe. Bei dieser körperlich anstrengenden, schmutzigen und äußerst unbequemen Tätigkeit konnte jedoch beobachtet werden, dass sich die Atemschutzmaske mehrfach deutlich verschob. Im verschwitzten nassen Gesicht zeigten sich auch klar erkennbare (schwarze) Schmutzablagerungen unterhalb der Atemschutzmaske bis hin zur Nase. Die Tätigkeiten erfolgten oftmals über Kopf und auch liegend, um z. B. Ablagerungen an Förderbändern durch mechanisches Abkratzen zu entfernen. Diese Ablagerungen fielen dem Beschäftigten dann teilweise ins Gesicht und rutschten auch unter die Schutzmaske.

Diese sich regelmäßig wiederholenden Reinigungsarbeiten zeigten ein Grundproblem der messtechnischen Überwachung von Staubbelastungen in Müllverbrennungsanlagen auf: Reinigungsarbeiten werden fast ausschließlich am Wochenende oder während der Nacht durchgeführt. Dies ist bei den in der Regel langfristig geplanten Arbeitsplatzmessungen zu berücksichtigen, um die Gefährdungsbeurteilung auch für diese Tätigkeiten durchführen zu können.

#### 5.7 Revisionsarbeiten

In allen untersuchten Betrieben werden sämtliche Verbrennungsöfen mit den zugehörigen Anlagen jährlich einer geplanten Revision unterzogen. Diese dauert je Verbrennungsofen etwa 2 Wochen. Bei Betrieben mit mehreren Verbrennungsöfen erfolgten die Revisionsarbeiten zeitversetzt, um so einen durchgehenden Betrieb der Anlage mit verminderter Kapazität zu gewährleisten. Während der Revisionsarbeiten wird weiter Abfall angeliefert, was zu einer deutlichen Füllung des Müllbunkers führt.

In zwei Betrieben (A, J) wurden die Arbeitsplatzmessungen während dieser Revisionsarbeiten durchgeführt. In einem dieser beiden Betriebe kam es dabei zu einem Störfall. In dem weiter betriebenen Ofen platzte ein Überhitzerrohr, was zum Einströmen großer Wassermassen in den Verbrennungsraum führte. Der Verbrennungsprozess kam dadurch zum Erliegen. Gleichzeitig wurden dabei große Staubmengen freigesetzt. Dies führte dazu, dass sich die neben dem in der Revision befindlichen Verbrennungsofen aufgestellten Probenahmevorrichtungen wegen Überladung abschalteten. Die Probenahmen waren nicht auswertbar, jedoch zeigte sich anhand der bereits gesammelten Staubmengen, dass von massiven Überschreitungen der Arbeitsplatzgrenzwerte ausgegangen werden kann. Auch hierbei war erkennbar, dass die Belastungen durch die einatembare Staubfraktion dominierend sind.

Die Revision wird in Müllverbrennungsanlagen üblicherweise von darauf spezialisierten (Fremd-)Firmen durchgeführt. Dabei war in den beiden untersuchten Betrieben eine Firma darauf spezialisiert, die Arbeiten in den Anlagen durchzuführen; eine zweite Firma war bevorzugt mit den entsprechenden vorbereitenden Tätigkeiten und der Reinigung befasst. Alle Arbeiten wurden unter Verwendung von Einweg-Schutzkleidung und Atemschutz durchgeführt. In einem der beiden Betriebe war diese Regelung so eingeprägt, dass Mitarbeiter andere Beschäftigte darauf hinwiesen,

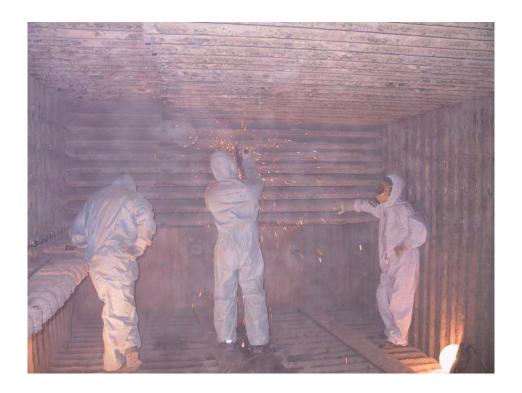
wenn diese Maßnahmen nicht eingehalten wurden. Ebenso waren in diesem Unternehmen die Revisionsbereiche kenntlich gemacht und Zugang wurde nur speziell dafür unterwiesenen Beschäftigten gewährt. Auch hinsichtlich des zu verwendenden Atemschutzes war hier eine pauschale Regelung getroffen worden. Unabhängig von den zu verrichtenden Tätigkeiten und den dabei zu betretenden Arbeitsbereichen wurde immer eine Vollmaske mit einem Kombinationsfilter der Filterklasse B1E1-P3 verwendet. Das war ein über alle anderen Betriebe deutlich hinausgehender Standard.

Arbeitsplatzmessungen wurden bei folgenden Tätigkeiten ausgeführt:

- Revisionsarbeiten am Überhitzer des Verbrennungsofens
- Reinigung der Gewebefilter
- Reinigung der Aktivkohlefilter

#### Revisionsarbeiten im Überhitzer

Im Überhitzer wurden die Überhitzerrohre auf Schäden und Korrosion geprüft. Wenn eine vorgegebene Wandstärke der Rohre unterschritten war, wurden diese Rohre – teilweise als vollständige Rohrbündel mit einer handgeführten Trennschleifmaschine herausgeschnitten und anschließend neue Rohre oder Rohrbündel eingesetzt und verschweißt (WIG-Schweißen unter Schutzgas). Vor der Prüfung wurden die Überhitzerrohre gereinigt. Dies erfolgte teilweise durch Sandstrahlen. Dazu war der Beschäftigte mit Vollschutz ausgerüstet und wurde von außen mit Frischluft versorgt.



**Abb. 5.8** Revisionsarbeiten im Überhitzer

Bei den Arbeiten im Überhitzer waren üblicherweise zwei bis vier Beschäftigte gleichzeitig innerhalb des Verbrennungsofens tätig. In Abhängigkeit von den zu verrichtenden Tätigkeiten war innerhalb des Ofens ein Gerüst mit mehreren Etagen aufgebaut, sodass die Beschäftigten ihre Arbeiten auf verschiedenen Ebenen durchführen konnten.

Arbeitsplatzmessungen erfolgten bevorzugt ortsfest. In zwei Fällen konnte auch eine personengetragene Messung der einatembaren Staubfraktion bei den Arbeiten im Ofen durchgeführt werden. Eine dieser Messungen musste aufgrund der oben beschriebenen Havarie nach kurzer Zeit beendet werden, da der Ofen und auch das Kesselhaus von allen Beschäftigten umgehend verlassen werden musste. Die Probenahmevorrichtung hatte sich dabei wegen Überladung abgeschaltet. Die ermittelte Konzentration für die einatembare Staubfraktion lag weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes. Von den Beschäftigten wurden die personengetragenen Arbeitsplatzmessungen als zusätzliche Belastung beschrieben, da die Arbeiten im Ofen an sich bereits körperlich sehr belastend waren. Bei weiteren Arbeiten im Ofen wurde deshalb auf personengetragene Messungen verzichtet. Da bei den Arbeiten im Ofen stets Atemschutz getragen wurde, stellen die ermittelten Konzentrationen die potenzielle Belastung für die jeweilige Tätigkeitsdauer dar. In Tabelle 5.7 sind die Messergebnisse gemeinsam mit denen für die Arbeiten in Ofennähe sowie die Reinigung der Aktivkohle- und Gewebefilter dargestellt.

#### Arbeiten außerhalb des Ofens

Im Gegensatz zu den in 5.3 (Kesselhaus) und 5.4 (Rundgänge) beschriebenen Arbeitsplatzmessungen befanden sich im Kesselhaus während der Revision ständige Arbeitsplätze. Hier waren im Wesentlichen Beschäftigte des mit der Revision beauftragten Unternehmens tätig; jedoch wurden hier auch wiederholt Beschäftigte der Müllverbrennungsanlage tätig.

Ortsfeste Arbeitsplatzmessungen erfolgten auf der Ebene des Kesselhauses, auf der der Einstieg in den geöffneten Verbrennungsofen erfolgte. Neben den im Ofen tätigen Beschäftigten sorgten weitere Beschäftigte außerhalb des Ofens für den Abtransport der ausgebauten Teile, die Materialversorgung und versahen Aufsichtsarbeiten.

#### Reinigung von Aktivkohle- und Gewebefiltern

Die Aktivkohle- und Gewebefilter befinden sich in der Abgasreinigung. Die Reinigung dieser Filter erfolgte durch jeweils zwei bis drei Beschäftigte, die ebenso wie die Beschäftigten bei Arbeiten im Verbrennungsofen mit Einweg-Schutzanzügen und Atemschutz ausgerüstet waren. Zur Reinigung wurden die entsprechenden Kammern geöffnet. Ein Beschäftigter musste dann in diese Kammern einsteigen. Ein weiterer Beschäftigter saugte den Filterstaub ab.

Die Arbeitsplatzmessungen erfolgten ausschließlich ortsfest außerhalb der Kammern mit den zu reinigenden Filtern. Da die Beschäftigten auch hier Atemschutz trugen, kann auch in diesem Fall nur die potenzielle Belastung beurteilt werden. Es war jedoch deutlich erkennbar, dass von einer viel höheren Staubbelastung innerhalb der Kammern ausgegangen werden kann.

Die in Tabelle 5.7 aufgeführten Messwerte zeigen für beide Staubfraktionen bei den Arbeiten im Überhitzer und bei der Reinigung der Aktivkohle- und Gewebefilter deutlich erhöhte Belastungen, die bis zum Mehrfachen des Arbeitsplatzgrenzwertes betragen. Diese Messwerte entsprechen im Allgemeinen der Tätigkeitsdauer dieser Tätigkeiten. In einigen Fällen war es möglich aus den in Tabelle 5.7 dargestellten Messwerten zeitgewichtete Schichtmittelwerte abzuleiten. Die höchsten Schichtmittelwerte betrugen bei Arbeiten am Überhitzer für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion 3,46 mg/m³ bzw. 64,3 mg/m³. Bei diesen Arbeiten muss also sowohl von Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes im Schichtmittel als auch der zugehörigen Kurzzeitwerte für beide Staubfraktionen ausgegangen werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Hinweis, dass sehr starke Schwankungen bei den Messwerten auftraten. So betrug an einem Arbeitstag der Unterschied zwischen zwei Messwerten mehr als das Zehnfache, obwohl gleiche Tätigkeiten ausgeführt wurden und keine Unterschiede in der Arbeitsweise erkennbar waren.

**Tab. 5.7** Ortsfeste Messwerte für die Staubbelastungen bei Revisionstätigkeiten in zwei Müllverbrennungsanlagen

gemessene Staubfraktion	Anzahl der Mes- sungen	Von – bis [mg/m³]	Median [mg/m³]
Arbeiten am Überl	nitzer		l
einatembar	7	1,57 – 64,3	8,09
alveolengängig	7	0,62 - 7,02	0,91
Arbeiten im Kesse	lhaus beim in der Re	vision befindlichen C	)fen
einatembar	6	0,24 - 0,70	-
alveolengängig	5	0,09 - 0,20	-
Reinigung der Akt	ivkohle- und Gewebe	efilter	
einatembar	4	1,85 – 10,1	-
alveolengängig	4	0,28 – 1,91	-

Auch bei der Reinigung der Gewebe- und Aktivkohlefilter sind Überschreitungen der Arbeitsplatzgrenzwerte für beide Staubfraktionen möglich. Für die einatembare Staubfraktion ist dies anhand der in Tabelle 5.7 dargestellten Messwerte belegt. Es handelt sich hier wohlgemerkt um außerhalb der Kammern mit den zu reinigenden Filtern gemessene Konzentrationen. Innerhalb der Kammern, in denen jeweils immer ein Beschäftigter tätig war, ist von noch deutlich höheren Belastungen auszugehen. Eine Messung war dort wegen des beengten Volumens und der körperlich stark beanspruchenden Tätigkeiten nicht möglich.

Bei den außerhalb der Verbrennungsöfen während der Revision durchgeführten Arbeitsplatzmessungen im Kesselhaus ergaben sich Staubbelastungen, die vergleichbar mit den im Kesselhaus gemessenen Konzentrationen während des Normalbetriebs waren. Dies ist plausibel, da der Ofen infolge der geöffneten Einstiegsöffnung einen sehr starken Sog infolge der Kaminwirkung entwickelte. Dieser Effekt war außerhalb des Ofens in der Nähe der Einstiegsöffnung deutlich wahrnehmbar. Dadurch konnte fast kein Staub, der während der Arbeiten im Ofen freigesetzt wurde, in das Kesselhaus austreten.

## 6 Zusammenfassung

In zwölf Müllverbrennungsanlagen wurden Arbeitsplatzmessungen durchgeführt. Ziel dieser Messungen war die Ermittlung der Belastungen durch die einatembare und die alveolengängige Staubfraktion. Die Messungen erfolgten in allen Arbeitsbereichen der Müllverbrennung und betrafen im Einzelnen die Anlieferung, den Müllbunker mit der Krankabine, das Kesselhaus, die Reststoffverladung und – wenn vorhanden – die Schlackeaufbereitung. Weiterhin wurden übergreifend personengetragene Messungen bei den Rundgängen durchgeführt, bei denen die Beschäftigten sich in verschiedenen der oben aufgeführten Arbeitsbereiche aufhielten. In zwei Betrieben erfolgten auch Arbeitsplatzmessungen bei der jährlichen Revision eines Verbrennungsofens mit seinen dazugehörigen Anlagen.

Die umfangreichen Arbeitsplatzmessungen in den Müllverbrennungsanlagen zeigten, dass sowohl Arbeitsbereiche und Tätigkeiten mit Staubbelastungen unterhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte als auch Problembereiche mit deutlichen Grenzwertüberschreitungen existieren. Bei allen Messungen zeigte sich, dass die Belastungen der Beschäftigten in erster Linie durch die einatembare Staubfraktion charakterisiert werden. Die für diese Staubfraktion ableitbaren Schlussfolgerungen lassen sich dementsprechend auf die alveolengängige Staubfraktion übertragen, wobei hier die Anzahl und das Ausmaß der Grenzwertüberschreitungen geringer waren.

Wird der Arbeitsplatzgrenzwert von 10 mg/m³ für die einatembare Staubfraktion eingehalten, so kann auch von einer Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes von 3 mg/m³ für die alveolengängige Staubfraktion ausgegangen werden. Eine umgekehrte Schlussfolgerung von der alveolengängigen auf die einatembare Staubfraktion ist nicht möglich. Werden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung in den Arbeitsbereichen einer Müllverbrennungsanlage Arbeitsplatzmessungen durchgeführt, so sollten diese sich immer auf die einatembare Staubfraktion erstrecken.

Als unkritische Bereiche hinsichtlich der auftretenden Staubbelastungen können die Krankabinen und Kesselhäuser im Normalbetrieb angesehen werden. Die ermittelten Staubbelastungen lagen in allen Fällen weit unterhalb der jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwerte.

Auch für die durchweg personengetragen gemessenen Belastungen durch die einatembare Staubfraktion während der Rundgänge im Normalbetrieb der Anlage lagen alle Messergebnisse durchweg unter einem Viertel des Arbeitsplatzgrenzwertes. Dies lässt den Schluss zu, dass auch der Arbeitsplatzgrenzwert für die alveolengängige Staubfraktion bei Rundgängen eingehalten wird.

Bei der Anlieferung ergibt sich ein stark schwankendes Bild. So lagen bei personengetragener Messung alle Belastungen deutlich niedriger als die Arbeitsplatzgrenzwerte. Ortsfeste Messungen unter worst case-Bedingungen nahe der Abwurfschächte zeigten jedoch, dass hier Grenzwertüberschreitungen möglich sein können. Aus diesem Grund ist darauf zu achten, dass sich während des Abwurfs des angelieferten Abfalls kein Beschäftigter und auch nicht die Fahrer der Anlieferfahrzeuge an den Abwurfschächten aufhalten. Wenn keine Anlieferungen erfolgen, sollte dieses auf notwendige Reinigungsarbeiten und Kontrolltätigkeiten beschränkt bleiben, da durch Umschichtarbeiten im Müllbunker und durch den Auswurf zeitweilig betriebener

Schredder immer Staub freigesetzt wird. Dieser kann trotz des leichten Unterdrucks im Müllbunker auch in die unmittelbar angrenzenden Bereiche der Anlieferung gelangen.

Der Müllbunker selbst ist ein Bereich, in dem ständig von Überschreitungen der Arbeitsplatzgrenzwerte ausgegangen werden muss – sowohl für die einatembare als auch die alveolengängige Staubfraktion. Für den Müllbunker wurden in den einzelnen Betrieben unterschiedliche Verfahrensweisen des Zugangs für die Beschäftigten festgestellt. Aufgrund der deutlichen Grenzwertüberschreitungen sollten für Arbeiten im Müllbunker folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Der Zugang zum Müllbunker ist ständig verschlossen zu halten, um unbefugten Zutritt zu verhindern.
- Arbeiten im Müllbunker sind dem Kranführer anzuzeigen, damit die Staubaufwirbelungen durch Umschichten des Abfalls und Beschickung der Verbrennungsöfen minimiert werden können. Die Arbeiten im Müllbunker dürfen nur auf Anweisung des Schichtführers durchgeführt werden.
- Das Betreten des Müllbunkers sollte durch eine Schleuse erfolgen, in der für die Arbeiten Einweg-Schutzkleidung und Atemschutz angelegt werden kann. Beim Verlassen des Bunkers nach den Arbeiten sind diese Schutzkleidung und der Atemschutz hier zu entsorgen. Der Kranführer muss über die Beendigung der Tätigkeit im Müllbunker informiert werden.
- Eine direkte Zutrittsmöglichkeit zum Müllbunker von der Krankabine sollte nicht bestehen.
- Der Aufenthalt im Müllbunker ist so kurz wie möglich zu gestalten.

Die Reststoffverladung weist zwar keine Probleme hinsichtlich der Belastungen durch die beiden Staubfraktionen als solche auf, wegen der gefährlichen Eigenschaften der in den zu verladenden Stäuben (Elektrofilter- und Kesselstaub) vorhandenen Stoffe (insbesondere Schwermetalle) ist hier jedoch Atemschutz zu tragen. Dabei ist seitens der Betriebe dafür zu sorgen, dass dies auch für Mitarbeiter der mit der Entsorgung beauftragten Speditionen gilt.

Bei der Schlackeaufbereitung stellen Reinigungsarbeiten an den Anlagen die Tätigkeiten größter Belastung dar. Hierbei ist auch von Grenzwertüberschreitungen für die Staubbelastungen auszugehen.

Ein gesondertes Problem stellt die Revision in Müllverbrennungsanlagen dar. Dieses wird üblicherweise jährlich für jeden Verbrennungsofen durchgeführt. Zur Revision wird die jeweilige Verbrennungslinie heruntergefahren und anschließend geöffnet. Da sie geplant ist, lassen sich auch alle entsprechenden Schutzmaßnahmen planen. Charakteristikum der Revisionsarbeiten ist, dass diese im Regelfall von Fremdfirmen durchgeführt werden und hohe Staubbelastungen deutlich oberhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte für beide Staubfraktionen zu erwarten sind. Da die Revisionsarbeiten nicht als Gegenstand des Untersuchungsprogramms vorgesehen waren, die wenigen durchgeführten Messungen diese jedoch als besonderen Problembereich identifizierten, sind die Staubbelastungen bei Revisionsarbeiten in Müllverbrennungsanlagen Gegenstand eines gegenwärtig laufenden Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [12].

## 7 Danksagung

Die Autoren danken den am Untersuchungsprogramm beteiligten Betrieben und ihren Mitarbeitern für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeitsplatzmessungen.

Ein besonderer Dank gilt Frau Maren Opitz, ehemals PROBIOTEC GmbH, für Ihre Unterstützung bei der Auswahl der Betriebe und die anregenden Diskussionen während der Durchführung der Arbeitsplatzmessungen.

#### 8 Literatur

- [1] RICHTLINIE 1999/30/EG DES RATES vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 163 vom 29.6.1999, S. 41
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begründungen und Erläuterungen zu den Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 901). Nr.96 "Allgemeiner Staubgrenzwert". BArbBl. Heft 9/2001, S. 89-96
- [3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung GefStoffV). Vom 23. Dezember 2004 (BGBI. I S 3758), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBI. I S 3855), durch Artikel 2 der Verordnung vom 11. Juli 2006 (BGBI. I S 1577), durch Artikel 442 der Neunten Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBI. I S 2407), durch Artikel 4 der Verordnung zur Umsetzung der EGRichtlinien 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen vom 6. März 2007 (BGBI. I S 261) und durch Artikel 2 der Verordnung vom 12. Oktober 2007 (BGBI. I S 2382)
- [4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. Heft 1/2006 S. 41-55, zuletzt geändert und ergänzt: GMBl Nr. 55 S. 1094 (27.12.2007)
- [5] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung AbfAbIV). Vom 20. Februar 2001 (BGBI. I S. 305), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Dezember 2006. BGBI. I S. 2860
- .[6] TA Siedlungsabfall Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993. BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993
- [7] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen 17. BImSchV vom 23.11.1990. Neugefasst durch Bekanntmachung vom 14.8.2003. BGBI. I S. 1633
- [8] Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e. V. (ITAD), Würzburg. www.itad.de
- [9] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Abfallwirtschaft in Deutschland Motor für Jobs und Innovationen. Berlin, Juli 2006
- [10] Hebisch, R. Schöneich, R.: Aus den Augen, aus dem Sinn? Arbeitsschutz in der Entsorgungswirtschaft. in: Sicherheit Gesundheit Wettbewerbsfähigkeit: Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 1996 2006, NW Verlag Bremerhaven, Dortmund, 2006, 161-167
- [11] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). www.baua.de

[12] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsdatenbank Arbeitsschutz. F2044 - Stoffbelastungen bei expositionsintensiven Tätigkeiten – Teil 4, Belastungen der Mitarbeiter von Servicefirmen bei Reinigungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten. www.baua.de