



# Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis

Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen  
und biologischen Arbeitsstoffen bei der  
werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen

**baua:**  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz  
und Arbeitsmedizin

  
**Baden-Württemberg**

**HESSEN**  


 **IFA**  
Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

 **BG RCI**  
Berufsgenossenschaft  
Rohstoffe und chemische Industrie

 **bvse**  
das **RECYCLING**netz

# **Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis**

Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen  
und biologischen Arbeitsstoffen bei der  
werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen

## **Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis „Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen“**

Die Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis wurde von der Arbeitsgruppe Kunststoffrecycling auf Basis der LASI/ALMA-Empfehlungen LV 32 erstellt.

Herausgeber: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg  
Griesbachstr. 1  
D-76185 Karlsruhe  
[www.lubw.de](http://www.lubw.de)

Redaktion: Arbeitsgruppe „Kunststoffrecycling“

Dipl.-Ing. Gerhard Ott (Vorsitz)  
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg  
Hertzstraße 173  
76187 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Katja Vossen  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)  
Alte Heerstr. 111  
53757 Sankt Augustin

Dr. Ralph Hebisch  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25  
44149 Dortmund

Dr. Gunter Linsel  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Nöldnerstraße 40-42  
10317 Berlin

Erolf Brucksch  
Regierungspräsidium Kassel  
Fachzentrum für Produktsicherheit und Gefahrstoffe  
Ludwig-Mond-Straße 33  
34121 Kassel

Dipl.-Ing. Sybille Simon  
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie  
Magazinstraße 15-16  
10179 Berlin

Dr. Thomas Probst  
Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. (bvse)  
Hohe Straße 73  
53119 Bonn

Titelbild: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund

Stand: Januar 2010

## Inhalt

	Vorbemerkung	7
1	Allgemeines	8
2	Anwendungsbereich	9
3	Arbeitsverfahren	10
4	Auftretende Stoffe	14
4.1	Gefahrstoffe	14
4.2	Biologische Arbeitsstoffe	15
5	Voraussetzungen für die Anwendung der Handlungsanleitung	17
5.1	Bedingungen für Gefahrstoffe	17
5.2	Hinweise zu biologische Arbeitsstoffe	18
5.3	Brand- und Explosionsschutz	19
5.4	Dermale Exposition	20
6	Expositionsmessungen und Befund	22
6.1	Gefahrstoffbelastungen bei der Kunststoffverwertung	22
6.2	Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe	26
7	Überprüfung	29
8	Anwendungshinweise	30
9	Literatur	31



## Vorbemerkung

Die Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis “Kunststoffverwertung – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen“ ist eine branchenspezifische Hilfestellung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten im Recycling von Kunststoffen.

Sie wurde von den Messstellen der Bundesländer Baden-Württemberg und Hessen, dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (bvse) erarbeitet.

Die Handlungsanleitung kann im Zusammenhang mit Gefährdungen durch freigesetzte Stäube und Schwermetalle als standardisiertes Arbeitsverfahren nach TRGS 400 [1] auf der Grundlage der Gefahrstoffverordnung [2] angewendet werden. Die vorgegebenen Schutzmaßnahmen wurden auf der Grundlage von Arbeitsplatzmessungen nach der TRGS 402 [3] abgeleitet. Bei ihrer Anwendung kann von einer Einhaltung des Allgemeinen Staubgrenzwertes nach TRGS 900 [4] und Anhang III Nr. 2.3 Abs. 2 der Gefahrstoffverordnung und der Arbeitsplatzgrenzwerte aller relevanten Einzelstoffe ausgegangen werden.

Um die dauerhafte Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen sicherzustellen, müssen diese regelmäßig überprüft werden. Dies kann mit Hilfe dieser Handlungsanleitung als geeignetem Beurteilungsverfahren nach § 9 Abs. 4 GefStoffV bzw. geeigneter Beurteilungsmethode nach § 9 Abs. 8 GefStoffV erfolgen [2]. Arbeitsplatzmessungen sind im Regelfall nicht erforderlich.

Kunststoffe, insbesondere biologisch belastete aus der Sammlung über ein duales System, können mit biologischen Arbeitsstoffen, wie Schimmelpilzen, Bakterien oder Endotoxinen kontaminiert sein. Diese Handlungsanleitung enthält daher ergänzende Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen.

## 1 Allgemeines

Gehen Beschäftigte Tätigkeiten mit Gefahrstoffen nach oder werden bei diesen Tätigkeiten Gefahrstoffe freigesetzt, so ist der Arbeitgeber nach der Gefahrstoffverordnung [2] verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz durchzuführen und Maßnahmen zur Sicherheit und zum Schutz der Gesundheit der Beschäftigten zu treffen. Die gleiche Vorgehensweise gilt entsprechend Biostoffverordnung (BiostoffV) [5] auch für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen.

Bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen ist die Rangfolge Substitution (Ersatz durch weniger gefährliche Stoffe oder Verfahren), technische Minimierung der Belastungen, organisatorische Maßnahmen und personengetragene Maßnahmen zu beachten. Für Gefahrstoffe mit Arbeitsplatzgrenzwert ist deren Einhaltung durch Arbeitsplatzmessungen zu ermitteln (TRGS 402 [3]), sofern keine gleichwertigen Beurteilungsverfahren beschrieben sind.

Diese Handlungsanleitung unterstützt den Arbeitgeber bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und Wirksamkeitsprüfung von Schutzmaßnahmen. Zur Erstellung wurde die bisherige LASI-Veröffentlichung LV 32 [6] von den Messstellen der Bundesländer Baden-Württemberg und Hessen, dem BGIA und der BAuA unter Einbeziehung neuer Daten überarbeitet.

Ein Arbeitgeber kann die Ergebnisse der Handlungsanleitung nach Prüfung der Anwendbarkeit auf die betriebliche Situation als standardisiertes Arbeitsverfahren übernehmen. Damit reduziert sich der Aufwand zur Ableitung von Schutzmaßnahmen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung erheblich. Darüber hinaus enthält diese Handlungsanleitung weitere Hinweise für den Arbeitgeber, wie z. B. zusätzliche Gefahrstoffinformationen einschließlich Informationen über Ersatzstoffe oder Ersatzverfahren, technische Minimierungsmaßnahmen und andere Maßnahmen des stoffbezogenen Arbeitsschutzes.

Bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen gilt die Biostoffverordnung. Biologische Arbeitsstoffe nach der Biostoffverordnung sind im weitesten Sinne Mikroorganismen, die beim Menschen Infektionen, sensibilisierende oder toxische Wirkungen hervorrufen können. Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe (TRBA) und Grenzwerte für biologische Belastungen wurden für den Bereich der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen bislang nicht aufgestellt.

Diese Handlungsanleitung gibt auch Hinweise auf das Vorkommen biologischer Arbeitsstoffe in diesem Bereich und auf mögliche Schutzmaßnahmen, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung (LASI-LV 23 [7], TRBA 400 [8]) zu beachten sind. In dieser Handlungsanleitung sind Erfahrungen aus vergleichbaren Tätigkeiten enthalten, die gemäß § 5 Biostoffverordnung bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind.

Für einige Tätigkeiten bzw. Gefahren wird auf weitere einschlägige Schutzvorschriften verwiesen. Dies gilt insbesondere für die gesetzlichen Vorschriften des Brand- und Explosionsschutzes.

Unter [www.baua.de](http://www.baua.de) sind die Handlungsanleitungen zur guten Arbeitspraxis über das Internet zugänglich. Sie werden regelmäßig überprüft und dem Stand der technischen und rechtlichen Entwicklung angepasst. Der Anwender dieser Handlungsanleitung sollte daher immer auf die Verwendung der aktuellen Fassung achten.

## 2 Anwendungsbereich

Diese Handlungsanleitung gilt für Betriebe, die Kunststoffe verwerten, die

- als gewerbliche Abfälle sowie Produktionsabfälle oder
- als Abfälle nach der Verpackungsverordnung und aus der Sammlung über duale Systeme (z. B. DSD, Landbell, ECO-Punkt, Belland, Redual, ...)

anfallen und einer stofflichen Wiederverwertung zugeführt werden.

Die Handlungsanleitung gilt für Arbeitsplätze in Betrieben, die thermoplastische Standardkunststoffe lagern, sortieren, zerkleinern, klassieren, waschen, trocknen, trennen, mischen, compoundieren, granulieren oder umschmelzen/extrudieren (siehe auch Abbildung 1). Dabei können einzelne Verfahrensschritte vereinfacht sein oder ganz entfallen. Diese Handlungsanleitung gilt auch für die Verwertung von technischen Kunststoffen, soweit hierbei die einzelnen Verfahrensschritte des Verwertungsprozesses dieselben sind.

Kunststoffe im Sinne dieser Handlungsanleitung sind thermoplastische Massenkunststoffe wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), die ca. 90 % des verwertbaren Gesamtaufkommens ausmachen. Den restlichen Anteil bilden technische Kunststoffe wie Polyamide (PA), Polycarbonate (PC), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polybutylenterephthalat (PBT) u. a.

Reinigungs- und Wartungsarbeiten, soweit diese zum täglichen Arbeitsablauf gehören (z. B. Reinigungsarbeiten am Schichtende oder bei Umstellung auf eine andere Charge), fallen ebenfalls in den Geltungsbereich der Handlungsanleitung. Bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten im Rahmen von Betriebsstörungen sind ggf. zusätzliche Schutzmaßnahmen zu treffen.

Nicht in den Geltungsbereich der Handlungsanleitung fallen die rohstoffliche Verwertung durch thermische Zersetzung oder Lösemittelverfahren sowie die energetische Verwertung. Bei der rohstofflichen Verwertung wird der Kunststoff in seine Ausgangsstoffe zerlegt; z. B. zur Methanolgewinnung. Energetische Verwertung tritt z. B. bei der Zement- oder Stahlherstellung auf, wobei die Kunststoffabfälle als Energielieferanten oder Reduktionsmittel genutzt werden.



### 3 Arbeitsverfahren

Gegenstand dieser Handlungsanleitung ist ausschließlich die werkstoffliche Verwertung. Dabei werden aus den Kunststoffabfällen wieder Erzeugnisse und Produkte hergestellt. Dies können z. B. Lärmschutzwände, hochwertige Paneele oder PVC-Fenster sein.

In Abbildung 1 ist eine Übersicht über den Verfahrensablauf dargestellt. Die Verfahrensschritte sind bei Gewerbeabfällen sowie Abfällen aus dem Pflichtpfand und den Sammlungen der Dualen Systeme im Wesentlichen die gleichen wie bei sortenreinen Produktions- und Verarbeitungsabfällen, wobei bei Letzteren in der Regel einzelne Sortier- und Reinigungsschritte entfallen.

In der Praxis muss nach den vorliegenden Ergebnissen bei den Verfahrensschritten nicht danach unterschieden werden, welche Kunststoffe verwertet werden.

#### Materialaufgabe

Je nach Betrieb und Art der angelieferten Kunststoffabfälle werden diese im Freien oder in der Halle gelagert. Mittels Flurförderzeugen werden die Abfälle dann auf ein Band gegeben, das sie zur Sortierung oder direkt zum Mahlen/Schreddern weiter leitet. In einzelnen Betrieben erfolgt die Materialaufgabe zum Teil von Hand.

#### Sortieren

Die Kunststoffe werden entweder von Hand oder durch automatisierte Verfahren sortiert. Ziel der Sortierung sind möglichst sortenreine Kunststofffraktionen. Fremd-Kunststoffe und andere Störstoffe, die nichts in den zu verwertenden Fraktionen zu suchen haben, werden dabei entfernt. Metalle werden in der Regel durch Metallabscheider abgetrennt, die oftmals an verschiedenen Stellen im technologischen Ablauf platziert sind.

Bei der manuellen Sortierung befinden sich die Arbeitsplätze im Allgemeinen in Sortierkabinen mit einer technischen Lüftung. Durch diese Sortierkabinen laufen die Bänder mit den zu sortierenden Kunststoffabfällen. Die Beschäftigten trennen die Kunststoffe manuell nach Fraktionen und entfernen dabei gleichzeitig die unerwünschten Bestandteile.

Bei der automatischen Sortierung erfolgt über optische und/oder spektrometrische Erkennungsverfahren eine Identifizierung der Störkomponenten, die dann gezielt aus dem Stoffstrom ausgeblasen werden.

Die erzielbaren Reinheiten der Kunststofffraktionen sind bei manueller und automatischer Sortierung vergleichbar.

Einige Sortiervorgänge sind dem Mahlen/Schreddern nachgelagert, da die zerkleinerten Kunststoffe durch Ausnutzung ihrer physikalischen Eigenschaften (z. B. Dichte) von noch vorhandenen Störstoffen abgetrennt werden können. Dazu werden teilweise Zusatzstoffe (z. B. Flotationshilfsmittel) zugesetzt.

#### Mahlen/Schreddern

Hierzu werden alle Vorgänge gerechnet, die in Abbildung 1 unter Vorzerkleinerung und Zerkleinerung aufgeführt sind. Es handelt sich hier durchweg um Vorgänge, die von Maschinen verrichtet werden. Die Beschäftigten achten darauf, dass es nicht zu Störungen kommt und warten die Maschinen.

Beim Mahlen und Schreddern werden die zu verwertenden Kunststoffe soweit zerkleinert, dass sie in die nachfolgenden Verfahrensschritte übergehen können.

### **Waschen**

In großen Waschbädern erfolgt die Reinigung der Kunststofffraktionen. An der Oberfläche anhaftende Störkomponenten (z. B. Papier, Leim, Schmutz) werden bei diesem Verfahrensschritt, z. T. unter Zusatz von Waschmitteln, abgelöst und gleichzeitig abgetrennt.

Die Beschäftigten üben beim Waschen im Wesentlichen Kontrollfunktionen aus. In einigen Fällen entfernen sie durch Abschöpfen die Störstoffe aus den Waschbädern.

Die gewaschenen und getrockneten Mahlgüter können bereits das Endprodukt des Verwertungsbetriebes sein und werden dann sofort konfektioniert.

### **Mischen/Compoundieren**

Die gereinigten Kunststofffraktionen werden gezielt mit Zuschlagstoffen gemischt, um eine Verbesserung ihrer Eigenschaften zu erzielen oder aber die Weiterverarbeitung zu erleichtern. So können beispielsweise optische Aufheller oder Farbstoffe zugemischt werden, um einen erwünschten Farbton des späteren Produktes zu erreichen.

Das Mischen erfolgt in der Regel in kontinuierlichen Systemen, wo automatisch die Zuschlagstoffe beigemischt werden. In einigen Fällen werden auch (großtonnagige) Mischer mit den Kunststoffen und Zuschlagstoffen beaufschlagt und die Mischung nach Beendigung des Mischvorganges entnommen.

Die Zugabe von Zuschlagstoffen erfolgt teilweise manuell aus Gebinden (z. B. Papiersäcken).

### **Extrudieren/Granulieren/Umschmelzen/Verpressen**

Durch Schmelzen oder Verpressen entstehen aus den Kunststofffraktionen kompakte Erzeugnisse (z. B. Bakenfüße). Folien werden durch Ziehen oder Blasen aus der Schmelze oder dem Granulat erzeugt.

Beim Extrudieren wird die gemahlene Kunststofffraktion bei erhöhten Temperaturen über eine Extruderschnecke geführt. Am Abschlag entsteht das Granulat mit definierten Eigenschaften, das in der Regel das Endprodukt des Verwertungsbetriebes darstellt und zur Weiterverarbeitung zur Verfügung steht. In Abhängigkeit von der technologischen Gestaltung des Extrusionsvorganges entstehen dabei Granulate unterschiedlicher Form und Größe.

Die Beschäftigten haben hier die Aufgabe, die störungsfreie Funktion der Extruder zu gewährleisten. Dazu sind insbesondere die Siebe zu reinigen und regelmäßig zu wechseln. Beim Extrudieren kann es zu Störungen kommen. Läuft z. B. der Extruder heiß, so kann die plastische Masse „abbrennen“, wodurch es bei der PVC-Verwertung zur Freisetzung chlorhaltiger Verbindungen (z. B. HCl) kommen kann. Im Falle derartiger Störungen muss unter Einsatz persönlicher Schutzausrüstung (insbesondere Atemschutz) der ordnungsgemäße Betrieb wieder hergestellt werden.

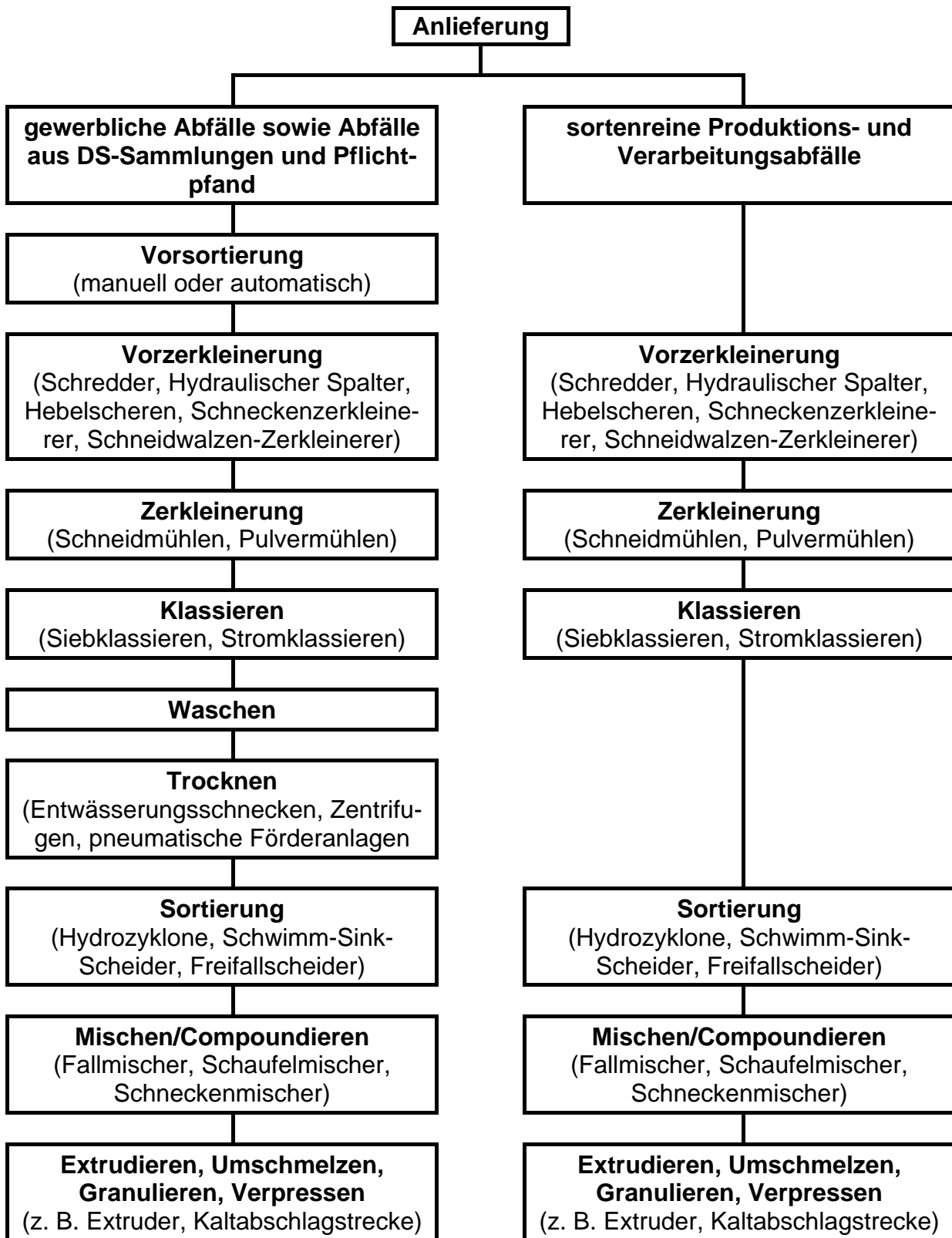


Abbildung 1: Verfahrensschritte bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen [9]

**Konfektionieren**

Die Endprodukte des Verwertungsbetriebes (Granulate oder Flakes) werden mittels Abfüllautomaten in Transportgebände gefüllt (in der Regel Big Bags). Mit Flurförderzeugen werden diese Gebände von den Abfüllvorrichtungen zum Zwischenlager transportiert oder direkt auf Transportfahrzeuge verladen.

Die Beschäftigten prüfen den Füllstand der Gebände, entnehmen teilweise Proben zur Qualitätskontrolle und wechseln volle Gebände gegen leere aus.

## 4 Auftretende Stoffe

Bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen können an den Arbeitsplätzen sowohl chemische Gefahrstoffe als auch biologische Arbeitsstoffe auftreten.

Neben einatembaren und alveolengängigen Stäuben, für welche die Allgemeinen Staubgrenzwerte nach TRGS 900 [4] gelten, ist die Freisetzung von Schwermetallen sowie organischen und anorganischen Gasen und Dämpfen als Zersetzungsprodukten von Kunststoffen möglich. Soweit es für einzelne Stoffe Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) gibt, sind diese in Kap. 6.1 zu finden.

Die Verarbeitung kontaminierter Kunststoffe kann darüber hinaus zu einer Belastung der Luft durch biologische Arbeitsstoffe wie Schimmelpilze, Bakterien und Endotoxine führen. Diese Belastungen sind unabhängig von den Gefahrstoffen zu bewerten.

### 4.1 Gefahrstoffe

- Staub

Bei den in Kapitel 3 dargestellten Verfahrensschritten zur Aufarbeitung von Kunststoffabfällen werden Stäube in unterschiedlichem Maße freigesetzt.

Darüber hinaus kann es infolge defekter, undichter Förderleitungen oder durch nicht abgedeckte Dosier- und Transportvorrichtungen zu Staubbelastungen kommen. Insbesondere Betriebsstörungen sowie Wartungs- und Reinigungsarbeiten können zu einer überdurchschnittlichen Staubexposition führen.

Neben den zu verwertenden Kunststoffen und ihren Zuschlagstoffen enthalten die Stäube insbesondere beim Beschicken der Anlagen und beim Sortieren oft noch Verschmutzungen, die von der ursprünglichen Verwendung des Kunststoffes, aber auch von Transport und Lagerung herrühren.

- Organische Gase und Dämpfe

Bei der thermischen Behandlung von Kunststoffen, z. B. beim Extrudieren, können organische Gase und Dämpfe freigesetzt werden. Je nach Kunststoffart und Temperatur, bei der die Materialien verarbeitet werden, können dies Monomere, flüchtige Additive und eine große Zahl verschiedener Zersetzungsprodukte bis hin zu Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sein [10, 11]. Beim Normalbetrieb der Anlagen, d.h. mit Ausnahme von Störfällen, ist allerdings nicht von der Entstehung einer relevanten Menge an Zersetzungsprodukten auszugehen. Dies wurde auch im Rahmen der dieser Handlungsanleitung zugrunde liegenden Untersuchungen bestätigt.

- Metalle und Metallverbindungen

Bei der Herstellung von Kunststoffen werden teilweise Metallverbindungen z. B. als Bestandteile von Pigmenten, als Flammenschutzmittel und als Stabilisatoren eingesetzt.

Auch wenn die Verwendung von Cadmium eingeschränkt bzw. verboten ist und die Verwendung von Blei (insbesondere in PVC-Produkten) eher rückläufig ist (Ersatz durch Ca/Zn als Stabilisator), kann die Luft am Arbeitsplatz mit Blei und Cadmium belastet sein, wenn Stäube des verarbeiteten Materials oder von Zuschlagstoffen auftreten und diese Materialien entsprechende Metallgehalte aufweisen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die zu den Belastungen beitragenden Metalle und deren Verbindungen.

Belastungen durch andere Metalle oder ihre Verbindungen waren messtechnisch nicht nachweisbar.

**Tabelle 1: In Kunststoffen enthaltene Metalle, die zur Belastung beitragen**

Metall	mögliche Verwendung [12, 13]	Bemerkungen [14, 15, 16]
Cadmium	Stabilisator in PVC, Pigment	Sollte als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden (Krebserzeugend K 2). Kunststoffe mit mehr als 0,01 % Cd dürfen nicht in Verkehr gebracht werden.
Blei	Stabilisator in PVC, Pigment in PE	Beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) (R <sub>E</sub> 1), gibt wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zur Besorgnis Anlass (R <sub>F</sub> 3). Von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe als krebserzeugend Kategorie 2 eingestuft [17].

- Dieselmotoremissionen

In den Arbeitsbereichen erfolgt der Transport angelieferter Ballen und Säcke und der mit z. B. Granulat gefüllten Big Bags häufig mit Flurförderzeugen. Dabei kommen in den Betrieben im Wesentlichen diesel-, gas- und elektrisch betriebene Gabelstapler zum Einsatz. Entsprechend TRGS 554 „Abgase von Dieselmotoren“ [18] müssen dieselbetriebene Gabelstapler in geschlossenen Arbeitsbereichen mit Partikelfiltern ausgerüstet oder die Dieselabgase unmittelbar an der Entstehungsstelle abgesaugt werden.

#### 4.2 Biologische Arbeitsstoffe

Bei der Verwertung von Kunststoffabfällen kann es neben der Belastung durch Gefahrstoffe auch zum unbeabsichtigten Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen, d. h. Mikroorganismen kommen. Diese Mikroorganismen werden mit organischen Verunreinigungen auf dem Kunststoffmaterial in den Verwertungsprozess eingetragen und stellen insbesondere luftgetragen, als Schmierinfektion und in Folge von Schnitt- und Stichverletzungen eine Gefährdung für die Beschäftigten dar.

An den Arbeitsplätzen im Bereich der Verwertung von Kunststoffabfällen (z. B. Wertstoffsortieranlagen, Kunststoffaufbereitungsanlagen u. a.) können grundsätzlich Pilze, Bakterien und Viren auftreten. Die Einstufung der biologischen Arbeitsstoffe in Risikogruppen wird entsprechend dem von ihnen ausgehenden Infektionsrisiko vorgenommen. Erfahrungsgemäß handelt es sich in den Recyclingbetrieben im Wesentlichen um Schimmelpilze und Aktinomyzeten der Risikogruppen 1 und 2, die Erkrankungen beim Menschen verursachen können. Eine wirksame Vorbeugung und Behandlung ist normalerweise möglich. Mögliche toxische und sensibilisierende Wirkungen der biologischen Arbeitsstoffe sind bei der Gefährdungsbeurteilung zusätzlich zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der Belastung durch Mikroorganismen am Arbeitsplatz haben sich in der Vergangenheit geeignete Summen- bzw. Leitparameter herausgebildet. Im Bereich der Verwertung sind das Schimmelpilze und Endotoxine. Endotoxine sind Strukturbestandteile gramnegativer Bakterien und können zu Entzündungen der Atemwege oder grippeähnlichen Symptomen führen [19].

Um vergleichbare und damit aussagefähige Messergebnisse zu erhalten, ist die Einhaltung der in der TRBA 405 [20] festgelegten Messstrategie einschließlich der darin benannten Messverfahren aus der BGI A-Arbeitsmappe [21] zwingend erforderlich.

## **5 Voraussetzungen für die Anwendung der Handlungsanleitung**

Nachfolgend sind Bedingungen aufgeführt, die bei den verschiedenen Tätigkeiten im Bereich der Kunststoffverwertung zu erfüllen sind, um die in dieser Handlungsanleitung aufgeführten Ergebnisse für die Belastungen durch die relevanten Gefahrstoffe als standardisiertes Arbeitsverfahren nach TRGS 400 [1] für die Gefährdungsbeurteilung übernehmen zu können.

Ergänzende Ausführungen unterstützen bei der Beurteilung der Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe und geben Hinweise, wie diese ebenso verringert werden können.

### **5.1 Bedingungen für Gefahrstoffe**

Für die Anwendung dieser Handlungsanleitung sind die nachfolgenden Bedingungen einzuhalten. Bei ihrer Umsetzung kann davon ausgegangen werden, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden. Es ist nicht erforderlich, nach der chemischen Zusammensetzung des verwerteten Kunststoffes zu unterscheiden. Ebenso muss hinsichtlich der Gefahrstoffbelastungen nicht zwischen der Verwertung von gewerblichen Abfällen, Abfällen von DS-Sammlungen und des Pflichtpfandes sowie von Produktions- und Verarbeitungsabfällen unterschieden werden.

Die Maschinen und Anlagen zur Kunststoffverwertung müssen den vom Hersteller vorgegebenen Installations- und Betriebsbedingungen entsprechen. Bei bestimmungsgemäßer Nutzung muss die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Beschäftigten gewährleistet sein. Bei der Aufstellung und dem Betrieb von Maschinen und Anlagen sind auch die Gefährdungen, die durch Wechselwirkungen mit anderen Arbeitsmitteln, Arbeitsstoffen oder mit der Arbeitsumgebung auftreten können, zu berücksichtigen. Arbeiten an Maschinen und Anlagen dürfen nur von Beschäftigten ausgeführt werden, die dazu befugt sind und diese Arbeiten selbständig sicher durchführen können oder bei diesen Arbeiten beaufsichtigt werden.

An den Maschinen und Anlagen angebrachte Abdeckungen und sonstige Schutzeinrichtungen, welche die Freisetzung von Gefahrstoffen verhindern sollen, dürfen während des Betriebs nicht geöffnet, entfernt oder anderweitig umgangen werden.

An vorhandenen Transport-, Einfüll- und Abfüllvorrichtungen sind die Fallhöhen zu minimieren. Ggf. sind flexible Abdeckungen oder Umhüllungen anzubringen.

An offenen Mischern und Anlagen, in denen pulverförmige Zuschlagstoffe zugemischt werden, muss eine wirksame Absaugung installiert sein, um eine Staubentwicklung und Ausbreitung in den Arbeitsbereich hinein zu verhindern.

Extrusions-, Blas-, Tiefzieh- und Kaltabschlagsanlagen müssen an den Stellen abgesaugt werden, an denen gefährliche Gase und Dämpfe in die Arbeitsplatzluft entweichen können. Für Arbeitsbereiche mit Extrudern, die heiß laufen bzw. „Abbrennen“ können, ist für die Beschäftigten persönliche Schutzausrüstung bereit zu halten. An Extrusionsanlagen für PVC müssen entsprechende Gasfiltermasken (Filter der Typklasse B2P3 (P2) in Kombination mit einer geeigneten Halb-/Vollmaske) zum Schutz vor chlorhaltigen Gasen zur Verfügung gestellt werden.

Für Transportarbeiten in den Arbeitsbereichen sind bevorzugt gas- oder elektrobetriebene Flurförderzeuge einzusetzen. Gasbetriebene Flurförderzeuge sind zur Minimierung der Belastung durch Kohlenmonoxid regelmäßig zu warten und entsprechend den Herstellerangaben einzustellen.



Der Betrieb dieselbetriebener Flurförderzeuge ohne Abgasnachbehandlungssystem oder Partikelfilter ist in ganz oder teilweise geschlossenen Arbeitsbereichen nicht zulässig. Werden dieselbetriebene Flurförderzeuge benutzt, so müssen diese über eine Abgasnachbehandlung oder über einen Partikelfilter verfügen, welcher der BAFU-Filterliste<sup>1</sup> entspricht. Die Abgasemissionen der Motoren sind entsprechend den Festlegungen der TRGS 554, Anlage 3 zu überwachen. Bei der Neubeschaffung von Flurförderzeugen ist eine Prüfung nach TRGS 554, Anlage 4 [18] zur Entscheidung über die Antriebsart durchzuführen.

Für den Straßenverkehr zugelassene Fahrzeuge mit Dieselmotor, die in ganz oder teilweise geschlossene Arbeitsbereiche fahren, sind mit einem aufsteckbaren Partikelfilter auszurüsten oder die Fahrzeugabgase sind unmittelbar am Auspuff zu erfassen und aus dem Arbeitsbereich abzuleiten (z. B. durch aufsteckbare Abgasabsaugungen).

Reinigungsarbeiten, insbesondere zur Entfernung von Staubablagerungen, sind regelmäßig durchzuführen. Zur weitestgehenden Vermeidung von Staubaufwirbelungen sind dazu Industriestaubsauger (Staubklasse L) einzusetzen.

Die Verwendung von Druckluft zum Abblasen ist nur zulässig, wenn die zu reinigenden Stellen für einen Industriestaubsauger nicht zugänglich sind. In diesen Fällen hat vorher immer eine Grundreinigung mittels Industriestaubsauger zu erfolgen. Ein Abblasen des Fußbodens ist nicht zulässig.

Bei der Reinigung von Misch- und Mahlvorrichtungen und bei Betriebsstörungen, bei denen verstopfte Anlagen auseinander gebaut und frei geräumt werden müssen, sind partikelfiltrierende Halbmasken der Schutzklasse P2 zu tragen. Dabei sind die berufsgenossenschaftlichen Regeln zu beachten [22]. Das Tragen belastender persönlicher Schutzausrüstung als ständige Maßnahme anstelle technischer oder organisatorischer Schutzmaßnahmen ist nicht zulässig.

Es ist nach Möglichkeit zu verhindern, dass belastete Luft in angrenzende unbelastete Arbeitsbereiche gelangt.

Die Beschäftigten sind mit Sicherheitsschuhen der Schutzkategorie S2 nach DIN EN 345 [23] und geeigneter Arbeitskleidung als körperbedeckender Arbeitsanzug gemäß DIN EN 340 [24] auszustatten.

Beim Öffnen von Ballen sind geeignete Handschuhe - z. B. Lederhandschuhe - und Schutzschilde für das Gesicht zu tragen. Die verwendeten Handschuhe müssen nach DIN EN 388 [25] geprüft sein.

Für alle Arbeitsbereiche sind Betriebsanweisungen zu erstellen. Die Beschäftigten sind regelmäßig zu unterweisen.

Essen, Trinken, Rauchen und Schnupfen ist an den Arbeitsplätzen nicht zulässig.

An allen Arbeitsplätzen sind die Grundsätze für die Verhütung von Gefährdungen nach den §§ 8 - 11 GefStoffV einzuhalten, siehe auch TRGS 500 [26].

## 5.2 Hinweise zu biologischen Arbeitsstoffen

An ständigen Arbeitsplätzen (mehr als 2 Stunden Tätigkeitsdauer in der Schicht) sind die Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe zu minimieren. Alle unter 5.1 genannten

<sup>1</sup> [http://www.bafu.admin.ch/luft/00632/00639/00644/index.html#sprungmarke0\\_2](http://www.bafu.admin.ch/luft/00632/00639/00644/index.html#sprungmarke0_2)

Maßnahmen zur Gefahrstoffreduzierung tragen auch zu einer Verringerung der Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe bei.

Je mehr das biologisch belastete Material mechanisch bewegt und vereinzelt wird, desto größer ist die Freisetzung der Keime und somit die Luftbelastung. Ist die manuelle Sortierung von sortiertem oder unsortiertem biologisch kontaminiertem Kunststoffmaterial nicht zu vermeiden, müssen folgende Maßnahmen realisiert werden:

- Sortierung in einer speziellen Sortierkabine, räumlich getrennt vom sonstigen Hallenbereich,
- Nutzung einer wirksamen Lüftungstechnischen Anlage.

Wird an Arbeitsplätzen mit biologischen Arbeitsstoffen umgegangen, sind die Mindeststandards der TRBA 500 [27] einzuhalten.

### Arbeitsmedizinische Vorsorge

Schimmelpilzhaltige Stäube sind in der TRGS 907 [28] als sensibilisierend eingestuft. Die sensibilisierende Wirkung ist im Rahmen der arbeitsmedizinischen Beratung der Beschäftigten, die Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen ausüben, gemäß § 12, Abs. 2a BioStoffV [5] unter Beteiligung eines Arztes nach § 7, Abs. 1 der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedV) [29] besonders zu beachten. Bei der Beratung sind die Beschäftigten über Angebotsuntersuchungen nach ArbMedV zu informieren.

## **5.3 Brand- und Explosionsschutz**

Aufgrund der zu verarbeitenden, überwiegend brennbaren Kunststoffe besteht in Betrieben, die unter den Geltungsbereich dieser Handlungsanleitung fallen, eine hohe Brandgefährdung. Die während der Verarbeitung frei werdenden Stäube sind meist brennbar und als Staub-Luft-Gemisch unter bestimmten Verhältnissen explosionsfähig.

Nach § 5 Arbeitsschutzgesetz in Verbindung mit § 7 Gefahrstoffverordnung ist vom Arbeitgeber auch die Gefährdung der Beschäftigten durch Brände und Explosionen zu ermitteln und betriebliche Mindestmaßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz sind zu treffen. Im Zweifelsfall ist ein Brandschutzgutachten eines externen Sachverständigen einzuholen. Zur Minimierung der Risiken sind grundlegende Maßnahmen zu treffen.

Grundsätzlich sind die Vorgaben der jeweiligen Landesbauordnung und Industriebau-richtlinie [30] im Hinblick auf den Brand- und Explosionsschutz zu erfüllen. Weitergehende Maßnahmen hinsichtlich baulichem, technischem, betrieblichem und organisatorischem Brand- und Explosionsschutz können als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung erforderlich sein. Sind bei erhöhter oder hoher Brandgefährdung zusätzlich zu den baurechtlichen und arbeitsstättenrechtlichen Anforderungen weitere Brandschutzmaßnahmen erforderlich, müssen diese vom Arbeitgeber im Rahmen eines in sich widerspruchsfreien Schutzkonzeptes ausgewählt und festgelegt werden und mit den betrieblichen Gegebenheiten abgestimmt sein.

### Technische Brandschutzmaßnahmen

Brandabschnitte entsprechend den baurechtlichen Mindestanforderungen (mindestens feuerbeständige Wände), strikte Trennung von Maschinen (Produktion) und Brandlast (Lagerung), Brandmeldeanlage mit Brandmeldern in ausreichender Anzahl (fachgerecht installiert, gegen Beschädigungen geschützt und regelmäßig überprüft); Feuerlöschanlage (Wasserlöscher mit Zusatzstoffen, sauerstoffverdrängende Gase).

Vermeidung von wirksamen Zündquellen durch Einhaltung von DIN/VDE-Normen/Bestimmungen bei elektrischen Anlagen, Beschaffung neuer Maschinen/Anlagen nach den Maßgaben der §§ 4, 7 und 12 der BetrSichV [31].

Brandursachen sind oft technische und elektrische Anlagen, die nicht sach- und fachgerecht betrieben und gewartet wurden, sowie Fahrlässigkeit. Brände entstehen beispielsweise durch Überhitzen des Kunststoffmaterials als Folge des Heißlaufens von Maschinen (heiße Oberflächen, Reibungswärme), des Austretens von Hydraulikölen oder Kunststoffschmelzen, durch Schaltfunken, Kurzschlüsse in elektrischen Anlagen bzw. elektrostatische Aufladung.

#### Organisatorische Brandschutzmaßnahmen

Minimierung und räumliche Trennung der Brandlast, grundsätzliches Verbot von Rauchen und offenem Feuer, regelmäßige Reinigung der Arbeitsbereiche mit Feucht- oder Nassverfahren bzw. mit geeigneten Industriesaugern, Regelungen für das Verhalten im Brandfall: Alarmplan, Flucht und Rettungsplan, Sammelpunkte. Weitere Beispiele für geeignete Maßnahmen sind in der VdS Broschüre 2516 [32] zu finden [<http://www.vds.de/fileadmin/pdf/2516.pdf>].

#### Maßnahmen zum Explosionsschutz

Ausgangspunkt einer Explosionsgefährdung ist die Bildung eines explosionsfähigen Staub-Luft-Gemisches.

Wenn Staubablagerungen in den Arbeitsräumen vermieden, in angemessenen Zeitabständen mit Feucht- oder Nassverfahren bzw. mit geeigneten Industriesaugern beseitigt (keine Druckluft) und Entstaubungsanlagen regelmäßig gereinigt und sachgerecht gewartet werden, ist die Bildung einer explosionsgefährlichen Atmosphäre nicht zu erwarten.

### **5.4 Dermale Exposition**

Gemäß der Gefahrstoffverordnung hat der Arbeitgeber im Rahmen seiner Gefährdungsbeurteilung auch die Pflicht, Art, Ausmaß und Dauer der dermalen Gefährdung zu ermitteln und zu beurteilen, sowie die erforderlichen Schutzmaßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung der Gefährdung durch Hautkontakt festzulegen. Er hat die für die Beurteilung der Gefährdung und die Festlegung der Maßnahmen erforderlichen Informationen für alle Tätigkeiten, Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen im Hinblick auf den Hautkontakt gegenüber Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen zu ermitteln.

Die TRGS 401 [33] enthält Hilfen zur Einschätzung der Gefährdung und zur Auswahl und Bewertung von persönlichen Schutzausrüstungen und Hautschutzmitteln. Für die Arbeitnehmer besteht auch bei längerfristigem Hautkontakt mit Stäuben nur eine geringe Gefährdung. Betroffen sind vor allem die Hände durch Kontakt mit kontaminierten Oberflächen.

Während der Sortierung besteht darüber hinaus eine mechanische Gefährdung durch Schnitt- und Stichverletzungen. Beim Umgang mit biologisch belastetem Material ist von einer zusätzlichen Hautbelastung durch Bakterien und Schimmelpilze auszugehen.

Es sind geeignete Schutzhandschuhe nach DIN EN 388 [25] mit einer wirksamen Feuchteregulierung für die Hautoberfläche bereit zu stellen. Zum Schutz gegen Gefahrstoffe kommen insbesondere Schutzhandschuhe für schmutzige oder hautgefährdende Tätigkeiten in Frage (siehe auch BGR 195, 223 [34, 35]). Leder ist in der Mehrzahl aller Fälle als Handschuhmaterial geeignet. Damit wird einerseits eine Schutzfunktion ge-

genüber mechanischen Beanspruchungen (z. B. Vermeidung von Schnitt- und Stichverletzungen bei Sortierarbeiten) und andererseits gegenüber thermischen Beanspruchungen (z. B. Arbeiten am Extruder) erreicht.

## 6 Expositionsmessungen und Befund

Arbeitsplatzmessungen beim werkstofflichen Verwerten von Kunststoffen wurden von den Messstellen der Bundesländer Baden-Württemberg und Hessen [36], der Berufsgenossenschaft Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie sowie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) [9, 37] von 1996 bis 2003 in 42 Betrieben durchgeführt. Im Rahmen der Neufassung dieser Handlungsanleitung wurden die Daten um Ergebnisse weiterer Messungen in 28 Betrieben aus den Jahren 2002 bis 2008 durch die Messstelle aus Baden-Württemberg und aus der Expositionsdatenbank MEGA des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) erweitert.

Die Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe wurden von 1997 bis 2003 in 51 Betrieben ermittelt. Dazu kommen neuere Daten aus 23 Betrieben aus den Jahren 2002 bis 2008.

In den untersuchten Betrieben wurden gewerbliche Abfälle, Produktionsabfälle sowie Abfälle nach der Verpackungsverordnung und aus Sammlungen des Dualen Systems werkstofflich verwertet. Die Mehrzahl der Betriebe lieferte nach Extrusion als Produkt ein Granulat; andere stellten Folien oder Formteile her. Einige Betriebe produzierten Mahlgut oder Flakes als Endprodukt.

### 6.1 Gefahrstoffbelastungen bei der Kunststoffverwertung

Bei den Arbeitsplatzmessungen in den Betrieben wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Gefahrstoffe ortsfest oder personengetragen gemessen. Es wurden Schichtmittelwerte und auch Kurzzeitwerte gemessen. Eine Unterscheidung nach der Art der verwerteten Kunststoffe erfolgte bei der Zusammenfassung der Messergebnisse nicht.

Bei der einatembaren Staubfraktion wurden die Messergebnisse noch weiter nach den verschiedenen Verfahrensschritten aufgeschlüsselt. Dies war erforderlich, da im Datenkollektiv einige Grenzwertüberschreitungen auftraten.

**Tabelle 2 Zusammenstellung der untersuchten Stoffe**

Stoff	Arbeitsplatzgrenzwert [4] [mg/m <sup>3</sup> ]	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen
alveolengängige Staubfraktion (A)	3	2 (II)	
einatembare Staubfraktion (E)	10	2 (II)	
Dieselmotor-emissionen	-	-	TRGS 906 [38], krebserzeugend Kategorie 2
Blei	0,15	-	Grenzwert nach EG-RL 98/24/EG [39], gemessen in der einatembaren Staubfraktion
Cadmium	-	-	TRGS 905 [15], krebserzeugend Kategorie 2, gemessen in der einatembaren Staubfraktion

**Tabelle 3a Zusammenstellung der Messergebnisse für die einatembare Staubfraktion aus den Jahren 1996 bis 2003**

	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]	Maximalwert [mg/m <sup>3</sup> ]
Alle Messergebnisse	31	330	0,51	3,62	31,8
<u>davon</u>					
- personengetragen	29	204	0,54	3,68	31,8
- ortsfest	30	126	0,41	3,76	30,6
<u>davon bei(m)</u>					
- Materialaufgabe	16	87	0,53	2,05	3,90
- Sortieren	13	70	0,44	1,48	2,78
- Mahlen / Schreddern	13	49	0,59	6,63	7,21
- Waschen	4	20	0,33	0,52	0,61
- Mischen / Compoundieren	2	11	0,59	31,2	31,8
- Granulieren / Extrudieren	12	44	0,49	1,36	3,16
- Konfektionieren	8	20	0,37	1,43	1,90
- Sonstige <sup>2</sup>	14	27	1,18	3,47	4,20

**Tabelle 3b Zusammenstellung der Messergebnisse für die einatembare Staubfraktion aus den Jahren 2002 bis 2008**

	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]	Maximalwert [mg/m <sup>3</sup> ]
Alle Messergebnisse	28	53	0,58	4,54	10,7
<u>davon</u>					
- personengetragen	13	22	1,35	4,76	6,5
- ortsfest	19	31	0,36	3,26	10,7
<u>davon bei(m)</u>					
- Materialaufgabe	7	10	0,52	3,15	4,80
- Sortieren	9	13	0,58	3,06	3,51
- Mahlen / Schreddern	7	11	1,70	5,34	6,50
- Granulieren / Extrudieren	3	3	1,10	1,87	2,00
- Sonstige	11	16	0,36	5,36	10,7

<sup>2</sup> In einigen Fällen konnten insbesondere personengetragene Messungen nicht einzelnen Arbeitsschritten zugeordnet werden. Dies war vor allem der Fall bei den Schichtleitern und den Betreuern der Messwarte, die sich oftmals zwischen den verschiedenen Arbeitsplätzen bewegten. Auch mussten Beschäftigte als Aushilfe kurzfristig an andere Arbeitsplätze wechseln, weil die dort tätigen Mitarbeiter Unterstützung benötigten. Ebenso gehören dazu Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten in den Betrieben.

Bei der detaillierten Betrachtung der Messergebnisse für einzelne Tätigkeiten bzw. Arbeitsbereiche wurden zwei Werte nicht weiter berücksichtigt. In einem Fall wurde in offene Behälter mit einer Fallhöhe von mehr als einem Meter abgefüllt, wobei weder abgesaugt wurde, noch die Fallstrecke durch einen Schlauch umhüllt war. Bei diesen worst case-Bedingungen betrug der ermittelte Schichtmittelwert bei einer personengetragenen Messung  $11,5 \text{ mg/m}^3$ . Bei den sonstigen Tätigkeiten wurde eine personengetragene Messung mit  $29,5 \text{ mg/m}^3$  nicht berücksichtigt, da hier Reinigungsarbeiten nicht ordnungsgemäß durchgeführt wurden (Abblasen und Fegen mit massiver Staubaufwirbelung).

Mit Ausnahme der Tätigkeit Mischen und Compoundieren wird der Arbeitsplatzgrenzwert für die einatembare Staubfraktion durchweg eingehalten. Die Grenzwertüberschreitungen beim Mischen wurden an einem großtonnagigen offenen Mischer festgestellt, der über keine Absaugung verfügte. Von insgesamt 11 Messungen beim Mischen wurde bei vier eine Grenzwertüberschreitung festgestellt. Hier waren die verfahrensspezifischen Bedingungen nach Abschnitt 5.1 nicht eingehalten.

Die Messergebnisse aus den Jahren 2002 bis 2008 bestätigen die Messergebnisse aus den Jahren 1996 bis 2003. Bei sonstigen Tätigkeiten wurde der Arbeitsplatzgrenzwert für die einatembare Staubfraktion mit  $10,7 \text{ mg/m}^3$  einmal überschritten. Für die Tätigkeiten Mischen und Compoundieren wurden keine neuen Daten erhoben.

In der einatembaren Staubfraktion wurden Blei und Cadmium bestimmt. Die Belastungen betragen maximal  $0,04 \text{ mg/m}^3$  bzw.  $0,003 \text{ mg/m}^3$  (siehe Tabelle 4). Kurzzeitig höhere Belastungen wurden für beide Stoffe nicht festgestellt.

**Tabelle 4 Ermittelte Belastungen bei der Kunststoffverwertung (ohne einatembare Staubfraktion) aus den Jahren 1996 bis 2003**

Stoff	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [ $\text{mg/m}^3$ ]	95-Perzentil [ $\text{mg/m}^3$ ]	Maximalwert [ $\text{mg/m}^3$ ]
Blei	15	125	0,001	0,013	0,037
Cadmium	13	99	< 0,000006	0,0004	0,003
alveolengängige Staubfraktion	37	204	0,19	0,88	2,09
Dieselmotoremissionen					
- Schichtmittelwerte	7	11	0,027	0,045	0,046
- Kurzzeitwerte	5	12	0,14	0,75	0,76

Belastungen durch die alveolengängige Staubfraktion lagen unter 70% des Allgemeinen Staubgrenzwertes von  $3 \text{ mg/m}^3$  (siehe Tabelle 4). Bezogen auf den jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwert lagen die Belastungen durch die einatembare Staubfraktion bei gleichen Tätigkeiten höher als die durch die alveolengängige Staubfraktion.

In einigen Betrieben wurden dieselbetriebene Flurförderzeuge ohne Partikelfilter in geschlossenen Arbeitsbereichen eingesetzt. Wenn dieses beobachtet wurde, erfolgten Messungen der krebserzeugenden Dieselmotoremissionen. Dabei wurden Kurzzeitwerte und Schichtmittelwerte gemessen. Im Schichtmittel betragen die höchsten Belastun-

gen etwa  $0,05 \text{ mg/m}^3$  für elementaren Kohlenstoff (EC). Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, kam es kurzzeitig zu Belastungen bis zu  $0,8 \text{ mg/m}^3$ .

Die Belastungen der Beschäftigten bei der Verwertung von Kunststoffen sind in erster Linie auf die Staubfraktionen und deren Inhaltsstoffe zurück zu führen. Mit Ausnahme einiger Schichtmittelwerte für die einatembare Staubfraktion lagen die Messergebnisse durchweg unterhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte.

Belastungen durch Gase und Dämpfe sind von untergeordneter Bedeutung. So wurden für alle Lösemittel Belastungen unter 2 % ihrer jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwerte ermittelt. In einem Betrieb, der ölbeaufschlagte Kunststoffbehälter recycelte, wurden unmittelbar an der Anlage Belastungen bis zu etwa  $90 \text{ mg/m}^3$  für die Summe der Kohlenwasserstoffe ermittelt. Diese Messungen stellen den worst case dar. In der Praxis hielten sich die Beschäftigten dort nie länger als eine bis zwei Minuten auf (Summe der Aufenthaltsdauer während der Schicht kleiner 10 Minuten). Bei allen anderen Tätigkeiten und in allen anderen Betrieben lagen die Belastungen um mindestens eine Größenordnung niedriger.

Bei der Verwertung von PVC wurden an den Extrusionsmaschinen auch die HCl-Belastungen gemessen. Alle Belastungen lagen unterhalb von  $0,08 \text{ mg/m}^3$ . Bei kurzzeitigen Reinigungsarbeiten (< 15 min) wurden an den Extrusionsmaschinen für Chlorwasserstoff Konzentrationen bis zu  $0,13 \text{ mg/m}^3$  gemessen.

In den Tabellen 5a und 5b sind die ermittelten Belastungen durch Gefahrstoffe für die beiden Zeiträume zusammengefasst. Dabei sind nur die Stoffe aufgeführt, die einen signifikanten Beitrag zur Gesamtbelastung beisteuern.

**Tabelle 5a Übersicht über die ermittelten Schichtmittelwerte bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen aus den Jahren 1996 bis 2003**

Stoff	Median [ $\text{mg/m}^3$ ]	95-Perzentil [ $\text{mg/m}^3$ ]	Maximalwert [ $\text{mg/m}^3$ ]
<u>einatembare Staubfraktion</u>			
alle Arbeitsbereiche	0,51	3,62	31,8
davon: Materialaufgabe	0,53	2,05	3,90
Sortieren	0,44	1,48	2,78
Mahlen / Schreddern	0,59	6,63	7,21
Waschen	0,33	0,52	0,61
Mischen /Compoundieren	0,59	31,2	31,8
Granulieren / Extrudieren	0,49	1,36	3,16
Konfektionieren	0,37	1,43	1,90
Sonstige	1,18	3,47	4,20
alveolengängige Staubfraktion	0,19	0,88	2,09
Blei	0,001	0,013	0,037
Cadmium	< 0,000006	0,0004	0,003
Dieselmotoremissionen	0,027	0,045	0,046



**Tabelle 5b Übersicht über die ermittelten Schichtmittelwerte bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen aus den Jahren 2002 bis 2008**

Stoff	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]	Maximalwert [mg/m <sup>3</sup> ]
<u>einatembare Staubfraktion</u>			
alle Arbeitsbereiche	0,58	4,54	10,7
davon: Materialaufgabe	0,52	3,15	4,80
Sortieren	0,58	3,06	3,51
Mahlen / Schreddern	1,70	5,34	6,50
Granulieren / Extrudieren	1,1	1,87	2,00
Sonstige	0,36	5,36	10,7

## 6.2 Belastungen durch biologische Arbeitsstoffe

Die Belastung durch luftgetragene biologische Arbeitsstoffe wurde mittels Filtersammlung und anschließender Analyse dieser Filter ermittelt. Die Schimmelpilzmessungen erfolgten nach dem Verfahren zur „Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz“, BGIA-Arbeitsmappe, Kennzahl 9420 [21]. Bei Messungen in Arbeitsbereichen können sowohl die Direkte Methode (kürzere Probenahmedauer und direktes Auflegen der beaufschlagten Filter auf Nährböden) als auch die Indirekte Methode (längere Probenahmedauer mit anschließendem Anlegen einer Verdünnungsreihe und Ausplattieren der Verdünnungsstufen auf Nährböden) angewandt werden. Für die Bewertung der Schimmelpilzbelastungen in den untersuchten Bereichen hat sich die Indirekte Methode als die geeignete Methode erwiesen.

Zur Bestimmung der luftgetragenen Endotoxine wurden die Filter in endotoxinfreiem Wasser extrahiert und in diesem Extrakt mit dem Limulus-Amöbozyten-Lysat-(LAL) Test die endotoxische Aktivität bestimmt (BGIA-Arbeitsmappe, Kennzahl 9450 [21]).

Für den Nachweis der Belastung durch luftgetragene Bakterien wurden die allgemeinen Vorgaben der BGIA-Arbeitsmappe, Kennzahl 9430 „Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz“ [21] herangezogen.

Zum einen erfolgte die Bebrütung bei 30 °C, die erste Auszählung erfolgt nach 24 h, danach in 24 h-Abständen bis 72 h, ausschlaggebend ist die höchste Koloniezahl. Zum anderen erfolgte der Nachweis der Gesamtbakterien nach VDI-Richtlinie 4253, Blatt 3 (Entwurf Juni 2006) [40]. Die dabei beimpften Platten werden nach 48 h (Bebrütung bei 36 °C) und nach sieben Tagen (Bebrütung bei 22 °C) visuell ausgezählt.

Da die vorhandene Datenbasis eine Auswertung nach Technologieschritten nicht zuließ, wurde folgende Unterteilung nach den verwerteten Kunststoffen gewählt:

1. Unsortiert, biologisch kontaminiert (z. B. normale DSD-Abfälle)
2. Sortiert, biologisch kontaminiert (z. B. vorsortierte PET-Getränkeflaschen, Verbundmaterialien, DSD-Folien)
3. Sortenrein, biologisch nicht kontaminiert (z. B. Fensterprofile, Angüsse)

Die ermittelten Ergebnisse sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengefasst.

**Tabelle 6a Übersicht über Messergebnisse von Schimmelpilzen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen aus den Jahren 1997 bis 2003**

Stoffgruppe	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [KBE/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [KBE/m <sup>3</sup> ]	max. Wert [KBE/m <sup>3</sup> ]
Unsortiert, biologisch kontaminiert	19	43	$6,9 \times 10^5$	$3,2 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$
Sortiert, biologisch kontaminiert	17	85	$8,9 \times 10^4$	$1,3 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$
sortenrein, biologisch nicht kontaminiert	6	20	$8,8 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$
unbelastete Außenluft	5	11	$2 \times 10^2$	$1,9 \times 10^3$	$2,9 \times 10^3$

**Tabelle 6b Übersicht über Messergebnisse von Schimmelpilzen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen aus den Jahren 2002 bis 2008 (unbelastete Außenluft 200 bis 700 KBE/m<sup>3</sup>)**

Stoffgruppe	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [KBE/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [KBE/m <sup>3</sup> ]	max. Wert [KBE/m <sup>3</sup> ]
biologisch kontaminiert, sortiert und unsortiert	21	144	$9,7 \times 10^4$	$9,9 \times 10^5$	$2,1 \times 10^6$

Erwartungsgemäß ist bei unsortiertem, biologisch kontaminiertem Material die Belastung mit durchschnittlich  $6,9 \times 10^5$  KBE/m<sup>3</sup> am höchsten. Insgesamt weichen die in diesen Betrieben ermittelten Werte stark voneinander ab. Es wurde eine Spannbreite von  $0,05 \times 10^6$  bis  $3,6 \times 10^6$  KBE/m<sup>3</sup> ermittelt. Die auftretenden Keimbelastungen werden im Wesentlichen durch die Materialdurchsatzmengen, das Staubungsverhalten des Materials (trocken, feucht, nass), die technischen, speziell die lufttechnischen und räumlichen Bedingungen sowie den Reinigungszustand der Räume und Anlagen bestimmt.

Liegt sortiertes, biologisch kontaminiertes Material vor, so reduziert sich die Schimmelpilzkonzentration durchschnittlich um eine Zehnerpotenz. Es ist von einer mittleren Keimbelastung auszugehen.

Bei sortenreinem, biologisch nicht kontaminiertem Material, wie z. B. bei Kunststoffprofilen, Kunststofffenstern und -folien wurden Schimmelpilze in der Luft nachgewiesen, jedoch ist bei einer durchschnittlichen Belastung von  $8,8 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup> verglichen mit einer Außenluftbelastung von  $10^2$  bis  $10^3$  KBE/m<sup>3</sup> von einer Gefährdung kaum auszugehen.

Die neueren Ergebnisse von 2002 bis 2008 liegen im Bereich der Ergebnisse für sortiertes Material aus den Jahren 1996 bis 2003.

**Tabelle 7 Übersicht über Messergebnisse zu Endotoxinen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen**

Stoffgruppe	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Messergebnisse	Median [EU/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [EU/m <sup>3</sup> ]	max. Wert [EU/m <sup>3</sup> ]
Unsortiert, biologisch kontaminiert	1	8	26,5	82	83
Sortiert, biologisch kontaminiert	5	44	32,6	395	928
sortenrein, biologisch nicht kontaminiert	4	22	1,7	10,8	16,7
unbelastete Außenluft	8	12	0,1	0,4	0,5

Endotoxine widerspiegeln eine Belastung mit gramnegativen Bakterien und zeigten eine maximale Konzentration von 1000 EU/m<sup>3</sup>. Sie sind beim Verarbeiten biologisch kontaminierten Materials im Vergleich zur Referenz-Außenluft signifikant erhöht. Ein Effekt der Vorsortierung des Verwertungsguts konnte mit dem Datenmaterial nicht nachgewiesen werden. Es ist insgesamt von einem eher geringen Risiko durch Endotoxine in den untersuchten Verwertungsbetrieben auszugehen.

Die Bakterienkonzentration wurde über zehn Messungen in fünf verschiedenen Betrieben ermittelt. Bei einer Bebrütungstemperatur von 30 °C lagen die Messergebnisse zwischen  $1,4 \times 10^3$  und  $1,8 \times 10^4$  KBE/m<sup>3</sup>. Bei 22 °C wurden  $1,0 \times 10^2$  bis  $1,0 \times 10^4$  KBE/m<sup>3</sup> gemessen, bei 36 °C  $1,5 \times 10^2$  bis  $6,0 \times 10^3$  KBE/m<sup>3</sup>. In der Außenluft lagen die Messergebnisse zwischen  $1,0 \times 10^2$  und  $3,0 \times 10^2$  KBE/m<sup>3</sup> (Hinweis: Aufgrund der niedrigen Bakterienkonzentrationen werden derartige Messungen in den Betrieben nur bei begründetem Verdacht durchgeführt).

Insgesamt sind aus den vorliegenden Messergebnissen aufgrund unterschiedlicher Technologien und Anlagen detaillierte Aussagen für einzelne Technologieschritte nicht ableitbar.

Bei der Verarbeitung von biologisch belasteten Kunststoffen ist unabhängig von der Vorsortierung mit einer biologischen Belastung zu rechnen. Biologische Belastungen sind zu erwarten, wenn

- feucht gelagertes Gut verwertet wird, das als Nährboden dienen kann (z. B. Papier- und Pappe-Verbundmaterial),
- Lebensmittelreste, Fäkalien oder wässrige gebrauchte Kühlschmierstoffe auftreten.

## **7 Überprüfung**

Bei der Anwendung dieser Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis sind die in Kapitel 5 festgelegten Maßnahmen und Anforderungen einzuhalten.

In regelmäßigen Abständen oder nach Änderungen von Verfahren und Anlagen ist die Funktion und Wirksamkeit der vorhandenen technischen Schutzmaßnahmen zu überprüfen. Dabei sind insbesondere die von Herstellern vorgeschriebenen Intervalle für Prüfungen und Wartungen einzuhalten.

Alle Prüfungen und Instandsetzungsmaßnahmen an den Anlagen sind zu dokumentieren.

Werden in Betrieben Kunststoffe entsprechend dieser Handlungsanleitung werkstofflich verwertet, so sind keine weiteren Gefahrstoffmessungen an Arbeitsplätzen durchzuführen. Die Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen [41] kann mit dem Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ abgeschlossen werden.

## **8 Anwendungshinweise**

Der Anwender dieser Handlungsanleitung muss bei Verfahrensänderungen und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen überprüfen und das Ergebnis dokumentieren. Hierzu zählt u. a. die Prüfung der unveränderten Gültigkeit dieser Handlungsanleitung. Die Überprüfung kann im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 Arbeitsschutzgesetz erfolgen.

Bei Anwendung dieser Handlungsanleitung bleiben andere Anforderungen der Gefahrstoffverordnung und Biostoffverordnung, insbesondere zur Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung für hier nicht erfasste Arbeitsbereiche des Betriebes, in denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen erfolgen und für die diese Handlungsanleitung nicht gilt, bestehen.

## 9 Literatur

- [1] TRGS 400: „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“, Ausgabe Januar 2008, GMBI. Nr. 11/12 vom 13.3.2008, S. 210
- [2] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV – Gefahrstoffverordnung), Fassung vom 23. Dezember 2004; BGBl. I Nr. 74 vom 29.12.2004 S 3758, zuletzt geändert am 18.12.2008, BGBl. I Nr. 62 vom 23.12.2008 S 2768
- [3] TRGS 402: „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“, Ausgabe Juni 2008, GMBI. Nr. 28 vom 14.07.2008, S. 558
- [4] TRGS 900: „Luftgrenzwerte“, Ausgabe Januar 2006 (BArbBl. Heft 1/2006 S. 41-55), zuletzt geändert und ergänzt im Juli 2009: GMBI 2009, Nr. 76, S. 1799
- [5] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (BioStoffV – Biostoffverordnung), vom 27. Januar 1999, (BGBl. I S. 50), zuletzt geändert am 18. 12. 2008; BGBl. I Nr. 62 vom 23.12.2008 S. 2768
- [6] Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), „Umgang mit Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen“, LASI-Veröffentlichung LV 32, 2004
- [7] Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): „Leitlinien zur Biostoffverordnung“, LASI-Veröffentlichung LV 23, 3. überarbeitete Auflage, September 2008
- [8] TRBA 400: „Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unter- richtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen“, Aus- gabe: April 2006, BArbBl. 6/2006, S. 62
- [9] R. Hebisch, A. Johnen, G. Linsel: Stoffbelastungen beim Recycling von Kunst- stoffen. Sicherheitsingenieur 34 (2003), Heft 5, S. 16-21
- [10] J. Auffarth, E. Lehmann, J. Gmehling, V. Wölfel, K.-H. Rentel: Stoffbelastungen bei der Kunststoffverarbeitung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeits- schutz und Arbeitsmedizin, Gefährliche Arbeitsstoffe (GA 43), Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1994
- [11] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz: Flüchtige Zersetzungspro- dukte von Kunststoffen; BIA-Info 3/99, Sankt Augustin, 1999
- [12] Umweltstiftung WWF Deutschland: Kunststoffe – Umwelt und Gesundheitsfra- gen, 1995
- [13] J. Brandrup (Hrsg.): Die Wiederverwendung von Kunststoffen. Carl Hauser Ver- lag, München, 1995
- [14] EU-Richtlinie 67/548/EWG, Anhang I: Einstufung/Verpackung und Kennzeich- nung gefährlicher Stoffe. EG-Amtsblatt Nr. L 196 S.1, zuletzt geändert durch Richtlinie 2009/2/EG der Kommission vom 15. Januar 2009; ABl. Nr. L 11 vom 16.01.2009 S. 6

- [15] TRGS 905: „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“, Ausgabe Juli 2005, BAnz. Nr. 59a vom 24.3.2006 S. 3; GMBI. Nr. 26 vom 4.7.2008 S. 528
- [16] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (ChemVerbotsV - Chemikalien-Verbotsverordnung) vom 13. Juni 2003; BGBl. I Nr. vom 25.6.2003 S. 867, zuletzt geändert 21.07.2008, BGBl. Nr.30 vom 25.07.2008 S. 1328
- [17] Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-Liste 2009, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, 45. Mitteilung, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2009
- [18] TRGS 554: „Abgase von Dieselmotoren“, Ausgabe Oktober 2008, GMBI. Nr. 56/58/2008 vom 08.12.2008 S. 1179, ber. GMBL Nr. 28 vom 12.5.2009 S. 604
- [19] Linsel, G.; Kummer, B. 1998. Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 58, Nr. 7/8, 281-287
- [20] TRBA 405: „Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe“, Ausgabe: Mai 2001, BArbBl. 5/2001 S. 58, zuletzt geändert BArbBl. 7/2006 S. 32
- [21] Messung von Gefahrstoffen – BGIA Arbeitsmappe, Expositionsermittlung bei chemischen und biologischen Einwirkungen, Ergänzbare Sammlung, Hrsg: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – BGIA, Erich Schmidt Verlag, ISBN 978 3 503 02085 0: Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentrationen (Kennzahl 9450), der Schimmelpilzkonzentration (Kennzahl 9420), der Bakterienkonzentration (Kennzahl 9430) in der Luft am Arbeitsplatz.
- [22] BGR 190: „Benutzung von Atemschutzgeräten“, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag KG, Köln, Stand: April 2004
- [23] DIN EN 345: Spezifikation der Sicherheitsschuhe für den gewerblichen Gebrauch
- [24] DIN EN 340: „Schutzkleidung; Allgemeine Anforderungen“, Ausgabe März 2004
- [25] DIN EN 388 „Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken“. Beuth-Verlag, Dezember 2003
- [26] TRGS 500: „Schutzmaßnahmen“, Ausgabe Januar 2008, GMBI. Nr. 11/12 vom 13.3.2008 S. 224; zuletzt geändert GMBI. Nr. 26 vom 4.7.2008 S. 528
- [27] TRBA 500: „Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen“, Ausgabe Juni 1999, BArbBl. 6/99 S. 81
- [28] TRGS 907 „Verzeichnis sensibilisierender Stoffe“ (Bekanntmachung des BMA nach § 52 Abs. 3 Gefahrstoffverordnung), BArbBl 10/2002, S 74-76
- [29] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedV) vom 18. Dezember 2008, BGBl. I S 2768

- 
- [30] MIndBauRL - Muster-Industriebaurichtlinie, Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau; Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU, Fassung vom März 2000
- [31] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (BetrSichV - Betriebssicherheitsverordnung) vom 27. 9. 2002; BGBl. I Nr. 70 vom 2.10.2002 S. 3777; zuletzt geändert 18.12.2008 S. 2768
- [32] VdS Publikation 2516: „Kunststoffe“, 2000-12 (01), VdS Schadenverhütung Verlag, Köln
- [33] TRGS 401: „Gefährdung durch Hautkontakt für Ermittlung - Beurteilung - Maßnahmen“, Ausgabe: Juni 2008; GMBI. Nr. 40/41 vom 19.8.2008 S. 818; ber. 15.12.2009 / 2010 S. 111
- [34] BGR 195: „Benutzung von Schutzhandschuhen“, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag KG, Köln; Aktualisierte Nachdruckfassung Oktober 2007
- [35] BGR 223: „Sicheres Arbeiten in der Kunststoffindustrie“, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag KG, Köln; Stand: Januar 2007
- [36] Staubbelastung bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen in hessischen Betrieben. Regierungspräsidium Kassel – Fachzentrum für stoffliche und andere Arbeitsplatzfaktoren, Oktober 2003
- [37] J. Auffarth, R. Hebisch, A. Johnen, G. Linsel: Stoffbelastungen bei der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Gefährliche Arbeitsstoffe (GA 64), Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2004
- [38] TRGS 906: „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV“, Ausgabe Juli 2005 (BAnz. Nr. 59a vom 24.3.2006 S. 31; geändert GMBI. Nr. 24 vom 27.4.2007 S. 499)
- [39] EG-RL 98/24/EG - (ABl. Nr. L 131 vom 5.5.1998 S. 20) Richtlinie 98/24/EG des Rates vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (vierzehnte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), Änderungen der RL 83/477/EWG und 86/188/EWG eingearbeitet
- [40] Richtlinie 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, Entwurf 6/2006
- [41] ArbSchG – Arbeitsschutzgesetz: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996; BGBl. I 1996 S. 1246, zuletzt geändert am 05.02.2009, S. 160



