

# Expositionen gegenüber Hydrophthalsäureanhydriden bei Tätigkeiten mit Epoxidharzen in der Elektrotechnik

T. Auth, M. Böckler, D. Fendler, M. Hennig

**Zusammenfassung** In der Elektrotechnik werden epoxidharzhaltige Gießharze u. a. zur Herstellung von Kondensatoren, Spulen und Transformatoranwendungen eingesetzt. Als Härter dienen überwiegend Hydrophthalsäureanhydride. Diese Stoffe können Sensibilisierungen an den Atemwegen auslösen. Um das Ausmaß der Gefährdung zu ermitteln, führte die BG ETEM im Zeitraum von 2004 bis 2009 gezielt Messungen auf Hydrophthalsäureanhydride in der Luft an Arbeitsplätzen durch (Probenahme: XAD-2, Analytik: GC/FID). Für die vier untersuchten Hydrophthalsäureanhydride wurden Konzentrationen im Bereich von 0,01 bis zu 0,60 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Grenzwerte für diese Stoffe existieren zurzeit nicht, allerdings gibt es Hinweise in der Literatur, dass bei Konzentrationen > 0,050 mg/m<sup>3</sup> erhöhte Sensibilisierungsraten bei Beschäftigten auftraten. Zieht man diesen Wert zur Expositionsbeurteilung heran, so findet man Arbeitsbereiche, in denen diese Konzentration überschritten wird. Zum Schutz der Beschäftigten sind Schutzmaßnahmen erforderlich, die im Einzelnen beschrieben werden.

## Exposure to hydrophthalic acid anhydrides during work with epoxy resins in electrical engineering

**Abstract** In electrical engineering, casting resins containing epoxy resin are used among other things in the production of capacitors, coils and transformers. Hydrophthalic acid anhydrides are mainly used as the hardeners. These substances may trigger sensitization of the respiratory organs. To determine the extent of the risk, the BG ETEM (BG for energy, textiles, electrical engineering and media products) conducted controlled measurements of hydrophthalic acid anhydrides in the air at workplaces from 2004 to 2009 (sampling XAD-2, analysis GC/FID). For the four investigated hydrophthalic acid anhydrides, concentrations ranging from 0.01 to 0.60 mg/m<sup>3</sup> were found. Limit values are not currently available for these subjects, although there is evidence in the literature that concentrations exceeding 0.050 mg/m<sup>3</sup> have given rise to elevated sensitization rates among employees. If this value is referred to for an assessment of exposure, work areas can be identified in which this concentration is exceeded. Measures should be taken to protect employees. These are described in detail.

## 1 Einführung

Epoxidharze finden aufgrund hervorragender technischer Eigenschaften weite Verbreitung. Durch ihre ausgezeichneten elektrischen und mechanischen Eigenschaften gelten sie in der Elektronik und in der Elektrotechnik als ein wesentlicher Grundwerkstoff und werden u. a. eingesetzt als

Umhüllungssysteme für Kondensatoren, Trafos, Drosseln, Spulen, zur Herstellung von Leiterplatten, Rotorblättern und Flugzeugteilen, für die Fertigung von Isolatoren, Generatoren und Trockentransformatoren sowie in der Muffenmontage [1]. Die verwendeten Epoxidharzsysteme bestehen in der Regel aus zwei Komponenten, dem Epoxidharz und einem Härter. Je nach Anwendung werden noch Füllstoffe, Pigmente, Weichmacher, Reaktivverdünner oder Beschleuniger hinzugefügt.

Als gebräuchlichste Epoxidharze sind Kondensationsprodukte von 2,2-Bis(p-hydroxyphenyl)-propan (Bisphenol A) und 1-Chlor-2,3-epoxypropan (Epichlorhydrin) im Einsatz. Bei den Härtern muss unterschieden werden zwischen Hydrophthalsäureanhydriden (Heißhärtung), aliphatischen, cycloaliphatischen und aromatischen Di- und Polyaminen (Kalthärtung) und Polymercaptanen. Dicyandiamid wird häufig als Härter für die Herstellung von Leiterplatten verwendet. Generell dominiert in der Elektronik und in der Elektrotechnik die Härtung mit Anhydriden [2].

Sollen Gesundheitsgefahren durch Epoxidharzsysteme beurteilt werden, müssen zwangsläufig die Gefahren der jeweiligen Einzelkomponenten betrachtet und in der Gefährdungsbeurteilung zusammengeführt werden. In den folgenden Ausführungen werden Tätigkeiten mit diesen Gießharzen näher betrachtet und es wird aufgezeigt, mit welchen Expositionen gegenüber Hydrophthalsäureanhydriden dabei zu rechnen ist.

## 2 Erkrankungen durch Epoxidharze

In Arbeitsbereichen der Elektronik und Elektrotechnik, in denen offen Tätigkeiten mit Epoxidharzsystemen verrichtet werden, treten bei Beschäftigten sowohl Haut- als auch Atemwegserkrankungen auf. Seit 1999 dokumentieren die Berufsgenossenschaften Epoxidharze als Auslöser beruflich verursachter Erkrankungen. Hauterkrankungen stehen im Vordergrund, wenn nicht ausgehärtetes Material auf die Haut gelangt. So trat in der Rotorblattfertigung in den vergangenen Jahren eine größere Anzahl an Hauterkrankungen bei Beschäftigten auf, da in dieser Branche großflächige Laminierarbeiten durchgeführt wurden [3]. Durch Umstellung der Produktion auf das Vakuuminjektions- bzw. Vakuuminfusions-Verfahren sowie durch gezielte Anwendung persönlicher Schutzmaßnahmen konnte die Anzahl an Hauterkrankungen deutlich reduziert werden.

Zahlreiche Stoffe können nach wiederholtem Kontakt bei einem Teil exponierter Beschäftigter zu einer Überempfindlichkeit (Sensibilisierung) an den Atemwegen führen. Der Anhang 1 der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 406 „Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege“ nennt solche Stoffe, die besonders häufig und/oder besonders schnell an den Atemwegen zu Sensibilisierung und allergischen Erkrankungen führen [4]. Als auslösende Stoffe werden dort u. a. Hexahydrophthalsäureanhydrid, Maleinsäureanhydrid, Phthalsäureanhydrid, Pyromellitsäureanhydrid und

Thomas Auth, Dipl.-Ing.-Chem. Margret Böckler,

Dipl.-Ing. Dirk Fendler,

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse,  
Köln.

Dipl.-Ing. Martin Hennig,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Tetrachlorphthalsäureanhydrid explizit genannt, wobei als Anwendungsbereich die Verarbeitung anhydridhaltiger (heiß härtender) Epoxidharzsysteme in der Elektro- und Elektronikindustrie angegeben wird.

Die genannten Stoffe werden u. a. als Härter in Gießharzen eingesetzt. Nach Angaben der Hersteller in den Sicherheitsdatenblättern enthalten diese Härter (Komponente B) einen Anteil zwischen 5 und 100 % an Hydrophthalsäureanhydriden. Bei den Gießharzen handelt es sich meist um flüssige Systeme, bei deren Verarbeitung, einschließlich der Härtung in Trockenöfen, Gase und Dämpfe freigesetzt werden können. Die beiden Komponenten werden in der Regel von Hand oder in einer automatischen Anlage nach Vorgaben der Hersteller gemischt und in die Bauteile vergossen. Nach dem Vergießen werden die Teile abgelegt und in Trockenöfen bei der erforderlichen Temperatur ausgehärtet.

Für den Arbeitsschutz stellen atemwegssensibilisierende Stoffe eine besondere Herausforderung dar. Es stellt sich die Frage, ob für diese Stoffe Grenzwerte für die Bewertung einer Exposition abgeleitet werden können, bei denen keine Effekte an den Atemwegen der Beschäftigten auftreten.

### 3 Grenzwerte für Hydrophthalsäureanhydride

Die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ enthält für Bisphenol A einen Arbeitsplatzgrenzwert von 5 mg/m<sup>3</sup>, ermittelt in der einatembaren Fraktion [5]. Für unausgehärtete Epoxidharze sowie für Hydrophthalsäureanhydride existieren zurzeit keine Arbeitsplatzgrenzwerte. Ferner existierte bis zum 31. Dezember 2004 eine Technische Richtkonzentration von 12 mg/m<sup>3</sup> bzw. 3 ppm für 1-Chlor-2,3-epoxypropan (Epichlorhydrin).

Arbeitsplatzmessungen der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) bei der Verwendung von Epoxidharzen – einschließlich Gießharze – haben gezeigt, dass bei 67 Messungen in 45 Mitgliedsbetrieben Phenol als Leitkomponente für Bisphenol A nicht nachgewiesen werden konnte (Bestimmungsgrenze 0,5 mg/m<sup>3</sup>). Epichlorhydrin konnte ebenfalls nicht ermittelt werden (75 Messungen in 45 Mitgliedsbetrieben). Die Bestimmungsgrenze liegt bei 1 mg/m<sup>3</sup>. Hinzu kommt, dass der Gehalt an Epichlorhydrin in anwendungsfertig formulierten Epoxidharzen nach einer Selbstverpflichtung der Mitglieder der zuständigen Fachverbände „Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel e.V.“ (ibh) und „Industrieverband Klebstoffe e.V.“ (IVK) bei maximal 0,002 % liegt.

Neben der Ermittlung der Hydrophthalsäureanhydrid-Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz ist es auch möglich, Hydrophthalsäureanhydride als Addukte im Blut und als Stoffwechselprodukte im Urin nachzuweisen. Somit können Belastungen durch diese Stoffe objektiviert werden. Außerdem können im Fall einer Sensibilisierung spezifische IgE-Antikörper gegen Hydrophthalsäureanhydride im Blut nachgewiesen werden [6].

In der internationalen Literatur werden Prävalenzen einer Sensibilisierung bzw. Erkrankungen bei Exponierten gegenüber Hydrophthalsäureanhydriden von bis zu 35 % bei Luftkonzentrationen > 0,050 mg/m<sup>3</sup> beschrieben [7].

Zu diesem Ergebnis kommt auch die Studie von Göen et al., die eine höhere Sensibilisierungsrate bei Beschäftigten in der Großspulenfertigung mit einem Epoxidharzhärter auf Dicarbonsäureanhydrid-Basis aufzeigte [8]. Die Luftbelas-

Tabelle 1. Berücksichtigte Hydrophthalsäureanhydride mit Kurzbezeichnung.

| Hydrophthalsäureanhydrid              | Kurzbezeichnung |
|---------------------------------------|-----------------|
| Tetrahydrophthalsäureanhydrid         | THPA            |
| Hexahydrophthalsäureanhydrid          | HHPA            |
| 4-Methyltetrahydrophthalsäureanhydrid | MTHPA           |
| 4-Methylhexahydrophthalsäureanhydrid  | MHHPA           |

tung an 4-Methyltetrahydrophthalsäureanhydrid lag hier bei 0,02 bis 0,05 mg/m<sup>3</sup>.

### 4 Methodik

Um eine Aussage zur Gefahrstoffexposition bei Tätigkeiten mit Gießharzen zu treffen, hat die BG ETEM im Zeitraum von 2004 bis 2009 gezielte Untersuchungen beim Einsatz von Gießharzen mit heiß härtenden Verfahren durchgeführt. Im Vorfeld gab es bereits in mehreren Mitgliedsbetrieben Messungen auf Hydrophthalsäureanhydride, da Beschäftigte über gesundheitliche Beeinträchtigungen klagten. Als Härter werden dazu heute bevorzugt Anhydride der vollständig oder teilweise hydrierten Phthalsäurestruktur eingesetzt. Die jeweiligen Verbindungen sind mit den gebräuchlichen Abkürzungen in **Tabelle 1** aufgeführt.

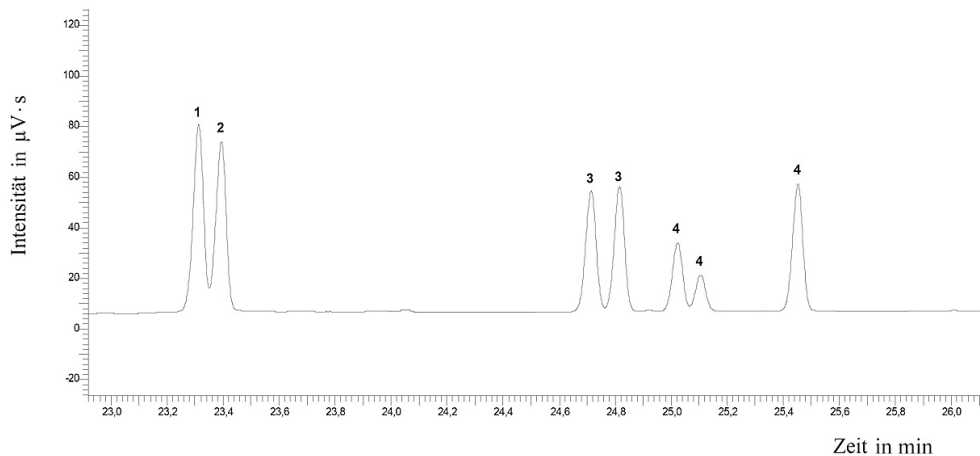
#### 4.1 Messung der Hydrophthalsäureanhydride

Für Hydrophthalsäureanhydride steht zurzeit im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) kein Standardmessverfahren nach der BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen zur Verfügung [9]. Die Hydrophthalsäureanhydride wurden deshalb in Anlehnung an die Arbeiten von *Welinder* et al. bestimmt [10]. Das Verfahren basiert auf der Abscheidung der Hydrophthalsäureanhydride auf einer XAD-2-Sammelphase (z. B. SKC, 100/50 mg). Hierzu wird ein definiertes Luftvolumen mit einer durchflussgeregelten Probenahmepumpe durch die Probenträger gesaugt. Die Probenträger erlauben eine maximale Probenahmedauer von 4 h bei einem Volumenstrom von 2 l/min. Dies entspricht einem Probeluftvolumen von 480 l. Die Analyse erfolgt nach Extraktion mit Toluol mit Gaschromatographie (GC) und Flammenionisationsdetektor (FID). Das Messverfahren eignet sich zur Bestimmung von THPA, HHPA, MTHPA und MHHPA in der Luft in Arbeitsbereichen.

Zur Analyse werden die beiden Schichten der Sammelphase gemeinsam mit 1 ml Toluol eine Stunde extrahiert. Die Extrakte werden filtriert und 1 µl wird in den Gaschromatographen eingespritzt. Die anschließende gaschromatographische Analyse (PerkinElmer, Autosystem) wird unter Verwendung einer 60-m-Trennsäule (Rtx-5 MS, 0,25 mm Innendurchmesser, 0,25 µm Filmdicke) durchgeführt. Als Detektor dient ein FID. Im Chromatogramm der Hydrophthalsäureanhydride (**Bild 1**) entsprechen ca. 55 µg/ml einer Konzentration von 0,1 mg/m<sup>3</sup> bei 480 l Probeluft.

Mit diesem Verfahren können Konzentrationen zwischen 10 und 400 µg/m<sup>3</sup> für jede Komponente in der Luft bestimmt werden. Der Variationskoeffizient wurde für eine Konzentration von 20 µg/m<sup>3</sup> für alle Komponenten zu 11 bis 14 % bestimmt. Die Desorptionsrate für ca. 20 µg/m<sup>3</sup> je Komponente beträgt für alle untersuchten Hydrophthalsäureanhydride 70 bis 79 %.

Bei einer relativen Luftfeuchte bis zu 40 % sind die Wiederfindungen akzeptabel. Bei hohen Luftfeuchten von etwa



**Bild 1. Chromatographische Trennung der Hydrophthalsäureanhydride.**  
 1: Hexahydrophthalsäureanhydrid, 2: Tetrahydrophthalsäureanhydrid, 3: Methylhexahydrophthalsäureanhydrid (Isomere), 4: Methyltetrahydrophthalsäureanhydrid (Isomere)

80 % werden sie deutlich schlechter. Die Probenträger können bei - 20 °C maximal eine Woche gelagert werden, ohne Kühlung sind sie umgehend zu analysieren.

**4.2 Ergebnisse und Diskussion**

Insgesamt wurden in zehn Mitgliedsbetrieben beim Vergießen von Epoxidharzen 56 Messungen auf THPA, HHPA und MHHPA sowie 80 Messungen auf MTHPA in typischen Arbeitsbereichen durchgeführt. Die Probenahmen erfolgten sowohl an der Person als auch stationär in den Arbeitsbereichen mit den in Abschn. 4.1 beschriebenen Messverfahren. **Bild 2** zeigt das Vergießen elektronischer Bauteile von Hand. Für THPA wurden Konzentrationen zwischen 0,01 und 0,05 mg/m<sup>3</sup>, für HHPA zwischen 0,01 und 0,20 mg/m<sup>3</sup>, für MTHPA zwischen < 0,02 und 0,60 mg/m<sup>3</sup> und für MHHPA Konzentrationen zwischen < 0,02 und 0,07 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. **Tabelle 2** zeigt die Anzahl der Messungen, den kleinsten und

größten Messwert sowie die 50-, 90- und 95-Perzentile. Zur Bewertung der Exposition diene der Empfehlungswert aus der Literatur von 0,050 mg/m<sup>3</sup> für Hydrophthalsäureanhydride [7].

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass mit zunehmender Ausgangskonzentration von Hydrophthalsäureanhydriden in den Härtern eine höhere Konzentration dieser Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz auftritt. Weiterhin wurden auch Luftkonzentrationen > 0,05 mg/m<sup>3</sup> beim thermischen Aushärten in unmittelbarer Nähe der Öfen ermittelt. Die höchste Konzentration von 0,6 mg/m<sup>3</sup> wurde in einem Vergießbereich mit ungünstigen Lüftungsverhältnissen nachgewiesen.

Die Ergebnisse sind repräsentativ für die beschriebenen Tätigkeiten und liefern wichtige Anhaltspunkte für zu treffende Maßnahmen. Vergleicht man die ermittelten Konzentrationen beim Vergießen von elektronischen Bauteilen mit dem in der Literatur beschriebenen Wert von 0,050 mg/m<sup>3</sup>, ab dem Sensibilisierungen möglich sind, dann ergibt sich in einigen Arbeitsbereichen eine Gefährdung der Beschäftigten.

**5 Schutzmaßnahmen**

In Arbeitsbereichen, in denen Gießharze Anwendung finden, kann insbesondere beim Dosieren, Mischen, Verteilen und Verarbeiten eine Exposition gegenüber Hydrophthalsäureanhydriden nicht ausgeschlossen werden. Den Schutzmaßnahmen kommt somit eine entscheidende Rolle zu.

Zur Verarbeitung fertiger Reaktionsharzmischungen stehen unterschiedliche Methoden u. a. konventionelles Gießen von Hand oder das Vergießen in automatischen Gießanlagen zur Verfügung. Hier muss der Anwender prüfen, welches Verfahren zu den geringsten Emissionen führt. Zur Verringerung der Exposition sollten möglichst automatische Anlagen genutzt werden.

Lässt sich durch Substitution oder Verfahrensänderung die Tätigkeit mit Hydrophthalsäureanhydriden nicht vermei-



**Bild 2. Vergießen elektronischer Bauteile von Hand.**

| Stoffbezeichnung | Anzahl der Messungen | Minimal- und Maximalwert in mg/m <sup>3</sup> | 50-Perzentil in mg/m <sup>3</sup> | 90-Perzentil in mg/m <sup>3</sup> | 95-Perzentil in mg/m <sup>3</sup> |
|------------------|----------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| THPA             | 56                   | 0,01 bis < 0,05                               | < 0,01                            | 0,02                              | 0,02                              |
| HHPA             | 56                   | 0,01 bis 0,20                                 | 0,015                             | 0,04                              | 0,06                              |
| MTHPA            | 80                   | < 0,02 bis 0,60                               | < 0,02                            | 0,10                              | 0,20                              |
| MHHPA            | 56                   | < 0,02 bis 0,07                               | < 0,02                            | 0,025                             | 0,03                              |

**Tabelle 2. Stoffbezeichnung, Anzahl der Messungen und Messwerte beim Vergießen elektronischer Bauteile.**

den, sind die entstehenden Gefahrstoffe durch wirksame Lüftungstechnische Maßnahmen aus dem Arbeitsbereich zu entfernen. Dies geschieht in der Regel durch Absaugung an der Vergießstelle sowie durch Absaugung der Trockenöfen. Organisatorische Schutzmaßnahmen (u. a. Verbot von Essen, Trinken und Rauchen, Betriebsanweisung, arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung) sind zu beachten. Die Beschäftigten sind durch regelmäßige Unterweisungen auf die Einhaltung der Schutzmaßnahmen hinzuweisen. Dabei sind sie über Angebotsuntersuchungen nach § 5 der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) zu unterrichten sowie über besondere Gesundheitsgefahren bei Tätigkeiten mit Epoxidharzen, d. h. über die sensibilisierende Wirkung der Inhaltsstoffe von Gießharzen, zu informieren.

Zur Vermeidung dermalen Expositionen sind Arbeitstechniken zu verwenden, die einen Hautkontakt möglichst ausschließen. Um Hautkontakt sowie Spritzer durch die Gießharze zu vermeiden, sind bei den Tätigkeiten geeignete Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzhandschuhe aus Nitril- und Butylkautschuk sind ausreichend beständig, wenn die Schichtdicke für Nitril > 0,4 mm und für Butyl mindestens 0,5 mm beträgt. Weiterhin ist für angemessene Hygiene zu sorgen, insbesondere ist die regelmäßige Reinigung des Arbeitsplatzes sicherzustellen. Generell sind die Mindestschutzmaßnahmen nach der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ zu beachten [11].

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (Pflichtuntersuchungen) sind nach ArbMedVV zu veranlassen bei Tätigkeiten mit Belastung durch unausgehärtete Epoxidharze und Kontakt über die Haut oder die Atemwege. Es wird empfohlen, bei diesen Vorsorgeuntersuchungen sowohl ein Biomonitoring der Anhydridbelastung als auch die Bestimmung des anhydridspezifischen IgE-Status durchzuführen. In der BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ werden für die jeweiligen Branchen umfassende Schutzmaßnahmen praxisorientiert beschrieben [12].

## 6 Fazit

Beim Einsatz von Gießharz-Systemen in der Elektrotechnik wurden Expositionen von Hydrophthalsäureanhydriden in der Luft an Arbeitsplätzen nachgewiesen. Je nach Höhe der Exposition können Sensibilisierungen an den Atemwegen von Beschäftigten auftreten. Auf der Grundlage der in der Literatur beschriebenen Werte können die Gefährdungen bewertet und Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten getroffen werden.

Die Festlegung verbindlicher Arbeitsplatzgrenzwerte und biologischer Grenzwerte für diese Stoffgruppe wäre für die betriebliche Praxis hilfreich. Ferner wird das Messverfahren als Standardverfahren in die BGIA-Arbeitsmappe aufgenommen.

## Danksagung

Für die Unterstützung und Hilfestellung danken die Verfasser den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der beteiligten Firmen, dem IFA und der BG ETEM.

## Literatur

- [1] Möckel, J.; Fuhrmann, U.: Die Bibliothek der Technik. Bd. 51. Epoxidharze. Landsberg am Lech: Moderne Industrie 1990.
- [2] Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik, Polymere. Hrsg.: Schaumburg, H. Stuttgart: Teubner 1997.
- [3] Umgang mit Epoxidharzen. Workshop des Unterausschuss IV „Arbeitsplatzbewertung“ – 25. Juni 2001. Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt am Main. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. [www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf](http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf)
- [4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege (TRGS 406). Ausg. 6/2008. GMBI. (2008) Nr. 40/41, S. 845-855; zul. geänd. GMBI. (2009) Nr. 12-14, S. 254.
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBI. (2009) Nr. 28, S. 605.
- [6] Tagungsdokumentation Biomonitoring in der Praxis 2004. Workshop vom 12. Mai 2004 in Berlin. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2006. [www.baua.de/nn\\_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd54,xv=vt.pdf](http://www.baua.de/nn_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd54,xv=vt.pdf)
- [7] Drexler H.; Göen, T.: Der Beitrag des biologischen Monitorings zur Risikoerfassung beim Umgang mit sensibilisierenden Arbeitsstoffen am Beispiel der Dicarbonsäureanhydride. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 35 (2000) Nr. 4, S. 146-150.
- [8] Göen, T.; Müller-Lux, A.; Böckler, M.; Zschiesche, W.; Kraus, T.: Biologisches Belastungsmonitoring und Effektmonitoring von Dicarbonsäureanhydrid-Expositionen bei der Großspulenfertigung. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 39 (2004) Nr. 4, S. 182-183.
- [9] BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. [www.bgia-arbeitsmappedigital.de](http://www.bgia-arbeitsmappedigital.de)
- [10] Welinder, H.; Gustavsson, C.: Methyltetrahydrophthalic acid in air sampling and analysis. Ann. Occup. Hyg. 36 (1992) Nr. 2, S. 189-197.
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausg. 1/2008. GMBI. (2008) Nr. 11/12, S. 225–258; zul. geänd. GMBI. (2008) Nr. 26, S. 528.
- [12] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Tätigkeiten mit Epoxidharzen (BGR 227). Ausg. 9/2006. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2006. Köln: Carl Heymanns 2006.