

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fachbereich Ökotoxikologie

-Diplomarbeit-

Gefährdungsbeurteilung des Epoxidharzarbeitsplatzes im Leichtbaulabor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg mit Vorstellung des chemischen Stoffes Epoxidharz und seiner Komponenten

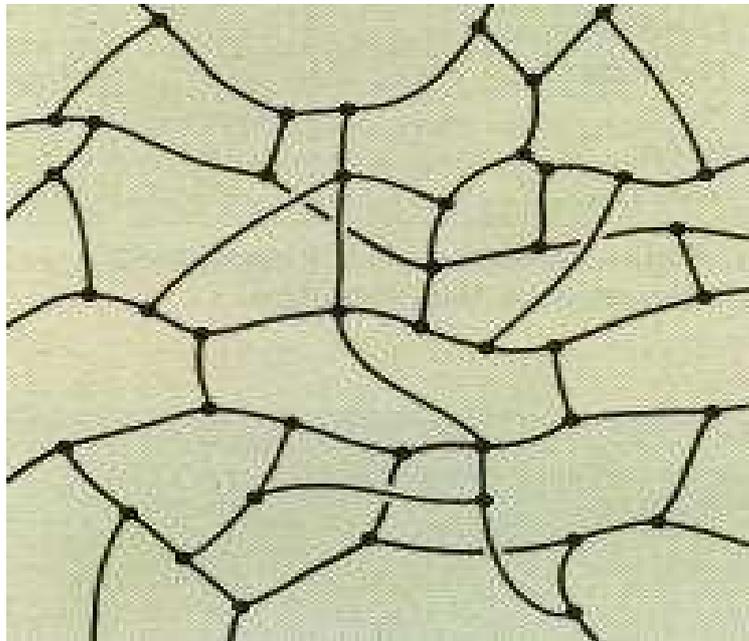


Abbildung1:Struktur eines Duroplast (Quelle:www.chempage.de/theorie/duroplast.jpg)

vorgelegt von

Timo Plath

Erstprüfer:

Zweitprüfer:

Tag der Einreichung:

Prof.Dr. Gabriele Perger

Dipl. -Ing. Irene Theilen

18.01.2012

Hamburg 2012

1. Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit den Gefahren, die beim Umgang mit Epoxidharzen auftreten können, und stellt geeignete Maßnahmen zur Risikoreduzierung vor.

Es werden die chemischen Grundlagen der Epoxidharze erörtert. Von der Synthese über die Formulierung für unterschiedliche Einsatzbereiche bis zum ausgehärteten Formstoff. Darüber hinaus werden Gründe für die zunehmende Verbreitung der Epoxidharze aufgeführt.

Die Vorprodukte für die gängigen Epoxidharze, Bisphenol A und Epichlorhydrin werden beschrieben. Es wird ein Überblick über die sensibilisierenden Eigenschaften der Harze gegeben, sowie über die in der Folge auftretenden pathologischen Morphe. Die Berufskrankheiten- Dokumentation zeigt den Verlauf der anerkannten Fälle, die auf den Umgang mit Epoxidharzen zurückzuführen sind.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine Gefährdungsbeurteilung für das Leichtbaulabor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg angefertigt. Im Labor sind die Studierenden unter Anleitung von Mitarbeitern der HAW tätig. Sie sollen im Rahmen der Labortätigkeit einen Praxisbezug bekommen, zu den in der Vorlesung theoretisch vorgestellten Werkstoffen und Verarbeitungsmethoden. Ebenso soll ein tieferes Verständnis für die Komplexität der vorgestellten Fertigungsmethoden erzielt werden. Die Gefährdungsbeurteilung soll Defizite aufzeigen und Verbesserungsvorschläge unterbreiten, um den Umgang und die Sicherheit im Labor zu verbessern. Daher wird neben den einzelnen Arbeitsschritten beim Umgang mit Epoxidharzen auch auf die Eignung des Labors, seiner Einrichtung und der vorhandenen Apparaturen eingegangen. Des Weiteren wird die persönliche Schutzausrüstung vorgestellt und beurteilt, die zur Vermeidung des Hautkontaktes beim Umgang mit Epoxidharzen notwendig ist. Die Beurteilung erfolgt ausschließlich in Bezug auf die Eignung mit der Arbeit mit Epoxidharzen, insbesondere auch auf die Besonderheiten für den Hochschulbetrieb. Grundlage ist der aktuelle Stand der Wissenschaft.

Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung zeigen für das konkret beurteilte Labor der HAW, dass Handlungsbedarf an den folgenden Stellen vorhanden ist:

Reduktion der Unfallgefahr durch infrastrukturelle Optimierung, zur Verfügung
Stellung von geeigneter persönlicher Schutzausrüstung, Anpassung der
ergonomischen Gegebenheiten an den Arbeitsplätzen.

Die kleinen Stoffmengen und die Hochschulspezifischen Anforderungen relativieren
das Gesamtgefährdungspotential für jeden im Labor Tätigen.

Konkret ableitbar ist mit höchster Priorität die Notwendigkeit, besser geeignete
Handschuhe zur Verfügung zu stellen sowie Augennotduschen zu installieren und
mit hoher Priorität eine infrastrukturelle Anpassung des Labors im Bereich der
elektrischen Versorgung der Arbeitsplätze vorzunehmen. Ebenso muss mit hoher
Priorität die Absaugung wieder in Stand gesetzt werden, Körpernotduschen installiert
und geeignete Persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung gestellt werden.
Darüber hinaus ist die Bereitstellung eines entsprechend gekennzeichneten
Abfallbehälters notwendig.

2. Abstract

This diploma thesis deals with the dangers that can occur when handling with epoxy resins, and provides appropriate measures to reduce risks.

It discusses the basic chemistry of epoxy resins. From the synthesis of the epoxy resin and the formulation process up to the cured material. Furthermore, it discussed the reasons which are responsible for the increase of epoxy resins. The precursors are described for the conventional epoxy resins, which are bisphenol A and epichlorohydrin. It will give an overview of the sensitizing properties of the resins, as well as on the pathological morphology occurring in the sequence. The occupational diseases documentation (BK- Dokumentation) shows the course of accredited cases that are attributable to the use of epoxy resins.

As part of this thesis, a risk assessment for the laboratory of the light weight structure of the University of Applied Sciences Hamburg was made. In the laboratory, the students work under the guidance of the HAW staff. The students should get in the laboratory a practical experience related to the theory presented in the lecture materials. The students should achieve a deeper understanding of the complexity of the proposed manufacturing methods. The aim of the risk assessment is to identify deficiencies and make proposals to improve the handling with the epoxy resins in the laboratory. For this reason the thesis focuses not only the individual steps while handling epoxy resins but also the suitability of the laboratory it's facilities and the existing technical equipment. Furthermore the personal protective equipment is presented and evaluated which is necessary to avoid skin contact during the work with epoxy resins. The assessment is solely made for the ability of work with epoxy resins, especially in reference to the specifics for the University requirements. It is based on the current state of science.

The results of the risk assessment indicate for the analyzed laboratory the necessity for an amelioration of the following issues:

Reduction of dangers of accidents by an infrastructural optimization, make available adequate personal protective equipment, adaption of the ergonomic conditions at the work stations.

The small quantity of material and the specifics of the university requirements put the gross potential of dangers for each individual being into perspective.

In direct consequence and with highest priority for the examined laboratory a need is deducible to place more suitable gloves at disposal as well as an emergency eyewash station and with secondary priority an infrastructural modification of the electric supply of the working stations, capable riot gear, a functional offtake and at an adequate safety shower. More over an appropriate waste container is needed.

Keywords: Epoxy resins, formulation process; risk assessment; infrastructural optimization; infrastructural modification, riot gear, suitable gloves, emergency eyewash station, safety shower, offtake

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Kurzfassung | II |
| 2. Abstract | IV |
| 3. Abbildungsverzeichnis..... | IX |
| 4. Abkürzungsverzeichnis..... | XI |
| 4.1. Chemische Größen | XI |
| 4.2. Physikalische Größen | XI |
| 5. Einleitung..... | 13 |
| 6. Zielsetzung der Arbeit..... | 16 |
| 7. Epoxidharze | 17 |
| 7.1. Chemie der Epoxidharz- Systeme..... | 17 |
| 7.2. Die Vorprodukte Bisphenol A und Epichlorhydrin..... | 22 |
| 7.2.1. Bisphenol A..... | 22 |
| 7.2.2. Epichlorhydrin | 26 |
| 7.3. Härtingsreaktionen von Epoxidharzen | 29 |
| 7.4. Das Formulieren von Epoxidharzen | 30 |
| 7.4.1. Füllstoffe..... | 30 |
| 7.4.2. Additive | 32 |
| 7.4.3. Flexibilisatoren | 33 |
| 8. Einsatzgebiete von Epoxidharzen | 34 |
| 8.1. Bauwirtschaft..... | 34 |
| 8.2. Elektroindustrie..... | 35 |
| 8.3. Metallindustrie | 35 |
| 8.4. Holzindustrie..... | 36 |
| 8.5. Kunststoffindustrie..... | 36 |

| | | |
|---------|--|----|
| 9. | Gesundheitliche Wirkung von Epoxidharzen | 38 |
| 9.1. | Toxisch irritative Auswirkung | 38 |
| 9.2. | Sensibilisierende Auswirkungen | 38 |
| 9.3. | Ätiologische Betrachtung der toxisch- irritativen und sensibilisierenden Wirkung von Epoxidharzen | 39 |
| 9.4. | Kanzerogenität und hormonelle Wirkung | 42 |
| 9.5. | Nachweismethoden | 43 |
| 10. | Berufskrankheiten Dokumentation | 45 |
| 10.1. | Statistische Betrachtung | 45 |
| 10.2. | Bewertung der BK- Zahlen | 47 |
| 11. | Gefährdungsbeurteilung im Leichtbaulabor der HAW | 48 |
| 11.1. | Leichtbaulabor der HAW | 51 |
| 11.2. | Grundlagen der Gefährdungsbeurteilung und Methodenbeschreibung .. | 56 |
| 11.2.1. | Rechtliche Rahmenbedingungen | 57 |
| 11.2.2. | Definition der Tätigkeit mit Epoxidharzen | 58 |
| 11.2.3. | Laborspezifische Regelungen | 60 |
| 11.2.4. | Messgrößen, Messgeräte und Messbedingungen | 69 |
| 11.2.5. | Persönliche Schutzausrüstung | 69 |
| 11.2.6. | Schutzhandschuhe | 71 |
| 11.2.7. | Umwelt | 75 |
| 11.3. | Messung und Erhebung der Arbeitsbedingungen und Bewertung | 77 |
| 11.3.1. | Beleuchtung | 77 |
| 11.3.2. | Klima | 77 |
| 11.3.3. | Lärm | 78 |
| 11.3.4. | Bedien- und Verkehrsflächen | 78 |
| 11.3.5. | Flucht und Rettungswege | 78 |

| | | |
|----------|---|-------|
| 11.3.6. | Türen | 78 |
| 11.3.7. | Fußböden | 78 |
| 11.3.8. | Arbeitstische | 78 |
| 11.3.9. | Schalter und Steckdosen..... | 79 |
| 11.3.10. | Körpernotduschen | 79 |
| 11.3.11. | Augennotduschen..... | 79 |
| 11.3.12. | Absaugung | 80 |
| 11.3.13. | Bindemittel..... | 81 |
| 11.4. | Tätigkeitsbeschreibung des Handlaminierverfahrens | 81 |
| 11.5. | Umwelt..... | 84 |
| 11.6. | Bewertung der Schutzausrüstung..... | 84 |
| 11.7. | Schutzhandschuhe | 85 |
| 12. | Methodenkritik..... | 86 |
| 13. | Ergebnisdarstellung und Handlungsempfehlung | 87 |
| 14. | Diskussion | 91 |
| 15. | Eidesstattliche Erklärung | XCII |
| 16. | Literatur..... | XCIII |
| 17. | Anhang | C |

3. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 2: „The Fall of Icarus“ von Peter Paul Rubens, 1636, Musées royaux des Beaux-Arts, Brüssel (Quelle: Wikipedia) | 15 |
| Abbildung 3: Reaktion von Bisphenol A und Epichlorhydrin zu einem Epoxid (Quelle: http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyadd.htm) | 17 |
| Abbildung 4: E- Modul von Glasfaserverstärktem Kunststoff (GRP= Glas- reinforced plastic) im Vergleich mit Stahl, Aluminium, Titanium und PVC in kN/mm ² (Quelle: http://fibrolux.com/uploads/pics/e-modulus_04.gif) | 20 |
| Abbildung 5: Schematische Darstellung der Polyaddition (Quelle: http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyadd.htm) | 21 |
| Abbildung 6: Schematische Darstellung der Polykondensation (Quelle: http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/pkond.htm) | 21 |
| Abbildung 7: Rekombination zweier Radikale | 22 |
| Abbildung 8: Warn- und Gebotszeichen für Arbeitsplätze, an denen mit Bisphenol A gearbeitet wird (Quelle: ASR 1.3) | 26 |
| Abbildung 9: GHS Piktogramme für Epichlorhydrin (Quelle: GESTIS Stoffdatenbank, Epichlorhydrin) | 28 |
| Abbildung 10: Warn-, Gebots- und Verbotsschilder für den Umgang mit Epichlorhydrin (Quelle: ASR 1.3) | 29 |
| Abbildung 11: Ein Glasfaserrovings besteht aus unverdrehten, gestreckten Fasern (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/7/7e/Glasfaser_Roving_lang.jpg) | 31 |
| Abbildung 12: Kohlefaser (Quelle: Selbstgestaltetes Bild) | 32 |
| Abbildung 13: Epoxidharz- Allergie an den empfindlichen Schleimhäuten möglicherweise eine Airborne contact dermatitis (Quelle: GISBAU Umgang mit Epoxidharzen) | 41 |
| Abbildung 14: Hand die der Exposition eines mittelviskosem DGEBA Epoxidharz ausgesetzt war (Quelle: GISBAU Umgang mit Epoxidharzen) | 41 |
| Abbildung 15: Anerkannte Berufskrankheiten 5101 von 1999- 2009 bezogen auf die am häufigsten vertretenden Arten der Einwirkung (Quelle: Eigene Darstellung) | 45 |
| Abbildung 16: Anerkannte Berufskrankheiten 5101 von 2006- 2009 bezogen auf die am häufigsten vertretenden Arten der Einwirkung. Prozentualer Anteil an allen anerkannten Hauterkrankungen des jeweiligen Jahres (Quelle: Eigene Darstellung) | 46 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 17: Anerkannte Berufskrankheiten 5101. Vergleich der häufigsten BK 5101 nach Art der Einwirkung im Zeitraum 1999 bis 2009 | 46 |
| Abbildung 18: Skizze des HAW Leichtbaulabors | 51 |
| Abbildung 19: Eingeschränkter Arbeitsbereich | 52 |
| Abbildung 20: Eingeschränkter Arbeitsbereich im Labor | 52 |
| Abbildung 21: Tür des Leichtbaulabors | 53 |
| Abbildung 22 Aerodynamische Verkleidung, hergestellt mit dem RTM- Verfahren (Quelle: Versuchsprotokoll Gruppe 5; Herstellung einer aerodynamischen Verkleidung mittels RTM- Verfahren; 05.Juni 2011) | 55 |
| Abbildung 23 Bauteil, welches durch das Schlauchblas- RTM- Verfahren hergestellt wurde (Quelle: Laborbericht RTM Gruppe 7; Resin Transfer Moulding- Harzinjektionsverfahren; 24.06.2011)..... | 55 |
| Abbildung 24: : Wissenschaftliche Mitarbeiterin des HAW Leichtbaulabors in persönlicher Schutzausrüstung (Handschuhe; Schutzbrille; Schutzoverall) (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 59 |
| Abbildung 25: Verlängerungsschnur für den Kompressor (Quelle: Selbsterstelltes Bild)..... | 79 |
| Abbildung 26: Bewegliche Absaugung über dem Arbeitstisch (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 80 |
| Abbildung 27: Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier des Leichtbaulabors der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (Quelle: Selbsterstelltes Bild)..... | 80 |
| Abbildung 28:Abtrennen der Fasermatrix von der Rolle und anschließender Zuschnitt (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 81 |
| Abbildung 29: Mischvorgang von Harz und Härter (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 82 |
| Abbildung 30: Vakuumziehen (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 82 |
| Abbildung 31: Einstreichen der Unterlage mit dem Trennmittel (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 83 |
| Abbildung 32: Fasermatte zwischen Unterlage und Lochfolie abgedeckt mit einem Vlies und einer Folientüte (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 83 |
| Abbildung 33: Fasermatten- Lochfolien- Vlies- Sandwich in einer hermetisch verschlossenen Folie mit Vakuumpumpen Anschluss zur Aushärtung des Epoxidformteils (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 84 |
| Abbildung 34: Metalleimer (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 84 |
| Abbildung 35: Nitrilhandschuhe der Firma HYGO STAR (Quelle: Selbsterstelltes Bild) | 85 |

4. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|--------------------------------|
| BET | Basis Effektivtemperatur |
| EFSA | European Food Safety Authority |
| GHS | Global Harmonisiertes System |
| HIT | Harzinjektionsverfahren |
| NET | Normal Effektivtemperatur |
| RTM | Resin transfer moulding |
| TDI | Tolerable Daily Intake |
| PSA | Persönliche Schutzausrüstung |

4.1. Chemische Größen

| | |
|-------|--|
| DGEBA | Bisphenol A Diglycidylether |
| NaOH | Natriumhydroxid |
| PAK | Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PHA | Phthalsäureanhydrid |
| OH | Hydroxylgruppe |

4.2. Physikalische Größen

| | |
|---------|------------------------------------|
| dB | Dezibel |
| E-Modul | Elastizitätsmodul/ Zugmodul |
| G-Modul | Schubmodul/ Gleitmodul/ Schermodul |
| kD | Kilo Dalton |
| N | Newton |
| kN | Kilo Newton |
| lm | Lumen |
| lx | Lux |

| | |
|---------------|----------------------|
| μg | Mikrogramm |
| mg | Milligramm |
| mPas | Milli Pascal |
| nM | Nanomolar |
| rH | Relative Luftfeuchte |

5. Einleitung

Materialien mit den Eigenschaften von Kunststoff wurden schon zu frühen Zeiten verwendet. Zu ihnen zählen beispielsweise Bernstein, Kopalharz, Schildpatt oder Horn¹. Bernstein ist ein Sammelbegriff für fossile Harze, meist ist damit Succinit gemeint². Bei Kopalharz handelt es sich ebenfalls um einen Sammelbegriff für verschiedene Baumharze. Schildpatt ist ein Produkt aus den Rückenpanzern von Meeresschildkröten³. Hornsubstanz ist das Material, aus dem Hörner, Hufe usw. sind. Die Eigenschaften dieser Werkstoffe sind den synthetischen Kunststoffen deshalb so ähnlich, weil es sich bei ihnen um natürliche Polymere handelt. Bereits die Neandertaler verwendeten vor mehr als 80.000 Jahren Birkenpech als Klebstoff für die Fertigung Ihrer Werkzeuge⁴. Erstmals schriftlich belegt ist die Herstellung eines Kunststoffes im 16. Jahrhundert. Der bayrische Benediktinerpater Wolfgang Seidel beschreibt dort eine, aus heutiger Sicht skurrile, Herstellungsprozedur, die ihm von dem Schweizer Bartholome Schobinger zugänglich gemacht wurde, als diese sich 1570 im Hause der Fugger trafen, ein Auszug ist nachfolgend zitiert:

Nym ein gaiskäß oder sunst ein magernkäß,
den zerschneid zu stüklen,
die thue also in ain(en) kessl,
und thue wasser daran,
laß in schien ein gantzen tag sied(n),
das er zerseiid, thue in dar-nach vom fewer,
laß in erkuelen,
byß sich die dickh materi setz,
als dann geuß das weiß,
welchs ist wie ein milch,
das auch obenschwimt,
dar von, das aber am podn ist,
laß bleiben,
daran geuß wider ein haiß wasser,
laß aber ein mal ein wenig sieden,
und rürß die weil wol,
da mit sich das weiß da von schaid,
das thue so (...) ⁵

¹ W. Kaiser; Kunststoffchemie für Ingenieure; Carl Hanser Verlag München 2007

² http://www.schweizerbart.de/resources/downloads/paper_previews/55438.pdf

³ <http://www.artenschutz->

[online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39&id_beschreibung=23&number=1#1](http://www.artenschutz-online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39&id_beschreibung=23&number=1#1)

⁴ <http://www.ngw.ch/site/files/VomBirkenpechZumSekundenkleberWinterthur2010.pdf>

⁵ <http://www.ngw.ch/site/files/VomBirkenpechZumSekundenkleberWinterthur2010.pdf>

Das Resultat ist ein transparentes Material, das dem Schafshorn sehr ähnlich ist und leicht verformt werden kann solange es warm ist. Schafshorn besteht hauptsächlich aus Keratin. Erkalte das transparente Material, wird es starr. Es wies also exakt die Eigenschaften eines thermoplastischen Kunststoffes auf⁶. Auch im 16. Jahrhundert wurden daraus bereits verschiedene Produkte wie Becher und Tischplatten gefertigt. Die Entwicklung von Kunststoffen begann erst Mitte des 19. Jahrhunderts mit der Entwicklung der Vulkanisation. Bis zu diesem Zeitpunkt war Naturkautschuk zwar bekannt, jedoch nicht lange haltbar und somit nur begrenzt einsetzbar. Mit variierendem Schwefelanteil konnte Weich- oder Hartgummi hergestellt werden. Es konnte in Form gepresst werden⁷. Beim Kautschuk handelte es sich noch um einen natürlichen Stoff, der veredelt wurde. Der erste vollsynthetische Kunststoff, bei dem der Polymerisationsprozess vollständig vom Menschen initiiert wird, war 1907 Phenolharz. Es wurde unter dem Namen Bakelit bekannt. Beim Bakelit wurden die Einsatzbereiche durch Zusatzstoffe stark erweitert, genauso wie es später bei den Epoxidharzen der Fall sein sollte. Die Epoxidharze wurden 1946 auf den Markt gebracht. Ihre Einsatzgebiete sind sehr vielseitig, was an ihren besonderen Eigenschaften liegt. Epoxidharze gehören zu den Duroplasten, können also nach der Formgebung nicht mehr in Ihrer Morphologie verändert werden. Sie werden beispielsweise, wie schon zehntausende Jahre zuvor das Birkenpech, als Klebstoffe eingesetzt. Der Umgang mit Epoxidharzen birgt jedoch ungleich höhere Gefahren für den menschlichen Organismus, obgleich auch der Hautkontakt mit Birkenpech zu Allergien und Hautreizungen führen kann. Ebenso besteht die Gefahr einer Lichtsensibilisierung⁸. Dennoch kann angenommen werden, dass der in der griechischen Mythologie beschriebene Daidalos noch relativ frei von Gefahr war, als er die Flügel für sich und seinen Sohn Ikarus verklebte, um von der Insel Kreta zu fliehen. Informationen über den verwendeten Kleber behält der Überlieferer der Erzählung, Ovid, bedauerlicherweise für sich. Um einen Epoxidklebstoff kann es sich jedoch nicht gehandelt haben, ansonsten wäre die Geschichte weniger dramatisch ausgefallen. Der von Daidalos verwendete Kleber zeigte ein für Thermoplaste typisches Verhalten, als Ikarus trotz der Warnung seines Vaters Daidalos, übermütig die empfohlene Flughöhe überschritt und in der Folge der intensivierten Sonneneinstrahlung Federn lassen musste. Mit einem duroplastischen Kleber wäre

⁶ <http://www.deutsches-kunststoff-museum.de/index.php?id=26>

⁷ <http://www.deutsches-kunststoff-museum.de/index.php?id=544>

⁸ <http://www.feuer-steinzeit.de/programm/pech.php>

ihm das erspart geblieben. Dass die Troposphärentemperatur mit zunehmender Höhe nicht zu, sondern abnimmt und somit nicht ursächlich für das reversible Verhalten des Klebers gewesen sein kann, war offenbar weder Daidalos noch Ovid bekannt.



Abbildung 2: „The Fall of Icarus“ von Peter Paul Rubens, 1636, Musées royaux des Beaux-Arts, Brüssel

Heute werden Epoxidharze für verschiedenste Einsatzgebiete verwendet, auch für den Bau von Fluggeräten. Der Grund hierfür liegt in ihren vielseitigen Eigenschaften. Sie verfügen über elektrische, mechanische und korrosive Schutzwirkung, haben ein ausgesprochen gutes Haftungsvermögen und zeichnen sich durch hohe Härte und Steifigkeit, sowie durch gute Temperatur-, Chemikalien-, Witterungs- und Wärmeformbeständigkeit aus. Da in den Bereichen, in denen Epoxidharze eingesetzt werden, der Bedarf nach ihnen aufgrund der genannten Eigenschaften ständig steigt und Substitute vielfach nicht vorhanden sind, kommt dem verantwortungsbewussten Umgang mit ihnen eine immense Bedeutung zu. Durch den wachsenden Gebrauch der Epoxidharze steigt die Zahl derjenigen, die durch den Umgang mit Epoxidharzen erkranken. Mit den Epoxidharzen, sowie mit den Risiken im Umgang mit ihnen, als auch den präventiven Maßnahmen zur Reduzierung, beschäftigt sich diese Diplomarbeit.

6. Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die chemischen Grundstoffe der Epoxidharze, sowie über die Risiken für den menschlichen Organismus, die beim Umgang mit ihm entstehen können. In diesem Betrachtungswinkel befinden sich die gesundheitlichen Folgeschäden die auf die allergisierenden und toxischen Eigenschaften zurückzuführen sind.

Diese Diplomarbeit leitet aus den vorgenannten eine abgestufte Tauglichkeitsbewertung des Leichtbaulabors der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg ab. Hierfür wurden die gesetzlichen Vorgaben für den Umgang mit den chemischen Stoffen als auch für die Gestaltung des Leichtbau Labors herangezogen.

7. Epoxidharze

7.1. Chemie der Epoxidharz- Systeme

Epoxidverbindungen können über zahlreiche Synthesewege hergestellt werden. In der Technik haben jedoch nur ausgewählte Verfahren Bedeutung erlangt. Zu diesen gehören:

1. Direkte Überführung von Olefinen in 1,2- Epoxide z.B. mit Wasserstoffperoxid
2. Indirekte Methoden, ausgehend von Epoxiden mit funktionellen Gruppen

Zu letzterem gehört die Epoxidharzsynthese in Folge einer Kondensationsreaktion von 2,2-Bis (p-hydroxyphenyl)-propan, auch als Bisphenol A bezeichnet und Epichlorhydrin⁹. Die Reaktion beginnt mit der Aufspaltung des Epoxidrings im Epichlorhydrin. Dabei wird eine Bindung des Sauerstoffatoms frei, an die sich das Wasserstoffatom der phenolischen OH- Gruppe anlagert (Addition). In Folge dessen entsteht eine neue OH- Gruppe. Gleichzeitig lagert sich der Bisphenolrest mit seiner freien Sauerstoffbindung an die freie Kohlenstoffbindung des Epichlorhydrins an¹⁰. Die beiden Komponenten reagieren im Beisein von Alkalien, meist von Natriumhydroxid. Alkalien bilden in Lösungen Hydroxidionen (OH⁻). Durch deren Gegenwart wird aus dem Wasserstoffatom der neu gebildeten OH- Gruppe und dem benachbarten Chloratom Chlorwasserstoff gebildet und in der Folge Natriumchlorid und Wasser abgespalten (Kondensation). Dadurch entsteht ein neuer Epoxidring am Ende des Moleküls^{11 12}.

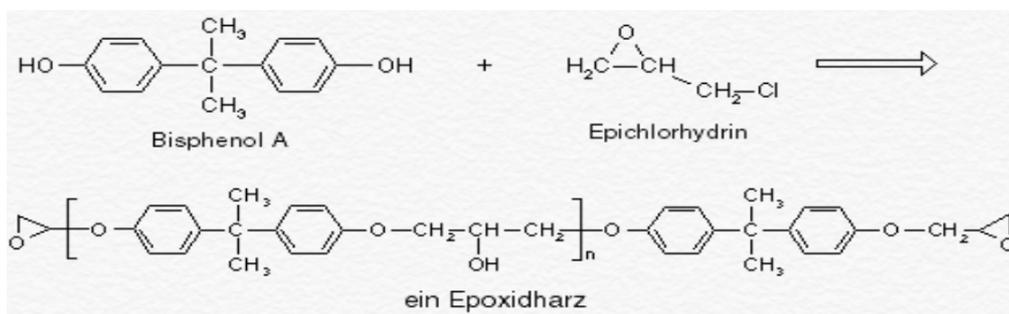


Abbildung 3: Reaktion von Bisphenol A und Epichlorhydrin zu einem Epoxid

⁹ W. Woebcken, W. Adam; Duroplaste; Carl Hanser Verlag München, 1988

¹⁰ W. Kaiser; Kunststoffchemie für Ingenieure; Carl Hanser Verlag München 2007

¹¹ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

¹² W. Kaiser; Kunststoffchemie für Ingenieure; Carl Hanser Verlag München 2007

Das Epichlorhydrin ist demnach die Epoxid tragende Komponente. Einen Stoff mit einem Dreiring mit Sauerstoffatom nennt man Epoxid. Die Länge der Molekülketten, die nach der Kondensationsreaktion entstehen, ist abhängig vom eingesetzten Mengen (Mol)- Verhältnis der Ausgangskomponenten und wird durch den Index „n“ beschrieben. Mit steigender Kettenlänge nehmen das Molekulargewicht und gleichzeitig die Viskosität der Verbindungen zu. Während die unmodifizierten Harze des Typs $0 < n < 1$ flüssig sind, beträgt „n“ bei den Festharzen 2-13 und mehr¹³. Wird ein Überschuss an Epichlorhydrin zur Verfügung gestellt, erhält man niedermolekulare, zähflüssige Epoxidharze, die man „monomere“ Diglycidether nennt. Der Name resultiert aus der chemischen Verknüpfung von Epichlorhydrin und Bisphenol A über Ethergruppen. Wird nur ein geringer Überschuss an Epichlorhydrin zur Verfügung gestellt, entstehen durch mehrfache Reaktionen mit Bisphenol A höhermolekulare, feste, schmelzbare Epoxidharze. Diese tragen nicht nur die Ethergruppen im Molekül, sondern auch noch die Hydroxylgruppen. An ihren Enden sind ebenfalls die stark reaktionsfähigen Epoxidgruppen vorhanden.

Die Epoxidharze, die nach der Kondensationsreaktion entstehen, sind streng genommen lediglich die Epoxidharz- Vorprodukte. Sie werden erst nach der Zugabe von Vernetzungsmitteln bzw. von Härtungsmitteln, mit denen sie reagieren, zu den eigentlichen duroplastischen Formstoffen, die im Allgemeinen als Epoxidharze bezeichnet werden. Beim Vernetzen mit Härtern ist zu beachten, dass die Härter keine Katalysatoren oder Initiatoren sind, sondern als Reaktionspartner in das Epoxidharz eingelagert werden. Es ist daher notwendig, das entsprechende Mischungsverhältnis zu beachten¹⁴. Die Epoxidharz- Vorprodukte können jedoch auch ohne Zugabe von Härtern alleine durch Polyaddition bzw. Polymerisation der Epoxidgruppe aushärten. Findet die Vernetzung durch die Zugabe von Härtern statt, kommen hierfür Stoffe mit aktiven Wasserstoffatomen zum Einsatz. Gängig ist die Verwendung von Aminen oder Anhydriden. Amine kommen in der Regel zum Einsatz, wenn es sich um eine Kalthärtung handelt, Anhydride hingegen kommen zum Einsatz bei Warmhärtungen. Die aktiven Wasserstoffatome von Aminen oder Anhydriden öffnen den Drei- Ring so, dass eine Hydroxygruppe entsteht, diese kann mit einer weiteren Epoxid oder anders aktiven Gruppe weiter reagieren¹⁵. Der Epoxidring ist der Grund für die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Epoxide. Er ist

¹³ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

¹⁴ W. Kaiser; Kunststoffchemie für Ingenieure; Carl Hanser Verlag München 2007

¹⁵ Flemming, M. 1995 S.200

imstande mit einer Vielzahl von Verbindungen zu reagieren, die ein aktives Sauerstoffatom besitzen. Dass der Epoxidring so reaktiv ist, liegt an der hohen Ringspannung. Der normale Bindungswinkel eines vierbindigen Kohlenstoffatoms beträgt $109,5^\circ$; man spricht hier vom Tetraederwinkel. Der Epoxidring hat jedoch nur einen Bindungswinkel von 60° . Im Epoxidring werden die Bindungen also in einen kleineren Winkel gezwungen. Aufgrund dieser hohen Spannung lässt sich der Epoxidring besonders leicht öffnen, er ist also besonders reaktiv, speziell gegenüber einem nucleophilen Atom, wie es das Sauerstoffatom der Hydroxylgruppe ist. Hat das Sauerstoffatom den Epoxidring geöffnet, läuft die Reaktion fort bis alle Reaktionspartner aufgebraucht sind. Am Ende steht das neue Makromolekül. Epoxidharz-Systeme stellen eine bedeutende Klasse duromerer Werkstoffe dar.¹⁶ Duromer bedeutet, dass der Formstoff nach Formbringung nicht mehr verformbar ist. Das fertige Werkstück bezeichnet man auch als Duroplast. Anders als ein Thermoplast, welches weiterhin durch thermomechanische Belastung verformbar ist, bleibt ein Duroplast in seiner Form. Dies ist darin begründet, dass die Schmelztemperatur über der Zersetzungstemperatur liegt¹⁷. Die Klassifizierung der Polymerwerkstoffe erfolgt nach DIN 7724. Auch der E-Modul, welches den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt, ist bei Thermoplasten teilweise stark ausgeprägt, bei Duroplasten ist es praktisch nicht vorhanden. Das Duroplast neigt daher bei starker mechanischer Belastung zum Brechen, Reißen etc., je nachdem welcher Art die mechanische Belastung ist. Insgesamt sind sie wesentlich härter und spröder als Thermoplaste. Aufgrund dieser Eigenschaften sind Duroplaste nur mechanisch verarbeitbar¹⁸. Da bei verschiedenen mechanischen Arbeitsschritten jedoch, speziell wenn es sich um Epoxidharze handelt, eine mechanische Bearbeitung mit dem Freisetzen von feinen Partikeln, auch Aerosole genannt, die allergenes Potential beinhalten können einhergeht, wird die mechanische Verarbeitung dadurch umgangen, dass die Duroplaste bereits in der gewünschten Form hergestellt werden. Die Formgebung geschieht häufig erst beim Anwender.

¹⁶Holst, M.; Reaktionsschwindigkeit von Epoxidharzsystemen, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2001

¹⁷<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/duropl.htm>

¹⁸<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/duropl.htm>

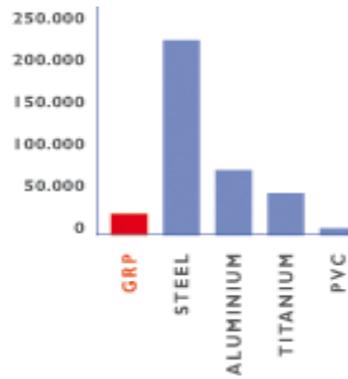


Abbildung 4: E- Modul von Glasfaserverstärktem Kunststoff (GRP= Glas- reinforced plastic) im Vergleich mit Stahl, Aluminium, Titanium und PVC in kN/mm²

Epoxidharze sind polymere Verbindungen. Polymere bestehen aus gleichartigen Einheiten, diese nennt man Monomere. Polymere entstehen durch unterschiedliche chemische Reaktionen:

- Polyaddition,
- Polymerisation oder
- Polykondensation.

Die DIN 16945 „Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmassen“ definiert unter Reaktionsharze, dass diese durch Polyaddition oder Polymerisation härten. Bei der Polyaddition handelt es sich um eine Stufenreaktion, bei der Polymerisation um eine stufenlose Reaktion.

„Die Addition der Monomere, also der Polyaddition bedeutet, dass die einzelnen Monomere miteinander reagieren und an jeweils beiden Enden der Monomere andocken können. Dabei entstehen zunächst kurzkettige Molekülketten, die sogenannten Oligomere, die wiederum miteinander reagieren können als auch mit längeren Molekülketten. Hierbei entstehen anders als bei der Polykondensation, die ebenfalls eine Stufenreaktion ist, keine niedermolekularen Nebenprodukte. Die Monomere reagieren ausschließlich miteinander, indem sich Atome und Elektronenpaare verschieben. Es entstehen Polymere“¹⁹. Diese sind die ausgehärteten Epoxidharze.

¹⁹ <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyadd.htm>

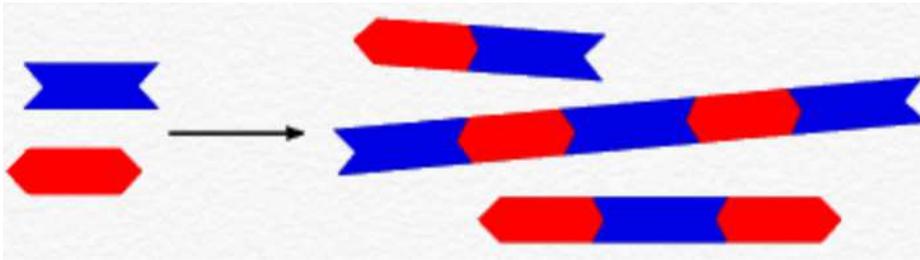


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Polyaddition

Die meisten Epoxidharze sind Kondensationsprodukte aus den Ausgangsstoffen Bisphenol A und Epichlorhydrin. Diese werden durch eine Polykondensationsreaktion hergestellt. „Polykondensationen verlaufen in Stufen und unter Abspaltung von Nebenprodukten“²⁰. Die Nebenprodukte sind niedermolekulare Stoffe, meistens handelt es sich um Wasser. Stufenreaktion bedeutet, dass während der Wachstumsreaktion, der sogenannten Propagation, die Monomere an eine Kette addiert werden, oder verschiedene Ketten miteinander reagieren. Aufgrund der reaktiven Gruppen an den Enden ist ein Weiterreagieren möglich.

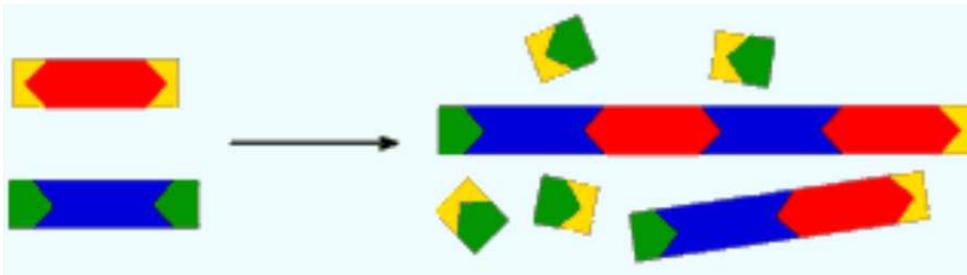


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Polykondensation

Anders verhält es sich bei der Polymerisation, reagieren hier zwei Ketten miteinander ist ein Weiterreagieren nicht mehr möglich, da nur eine reaktive Gruppe vorhanden ist und diese dann bereits zur Addition genutzt wurde. Ursächlich für den Reaktionsstopp ist die Rekombination. Hierbei bilden jeweils zwei Radikale, die an je einer Kette hängen, mit ihrem ungepaarten Elektron ein bindendes Elektronenpaar. Anschließend verbleibt kein Radikal das ein Weiterreagieren ermöglichen würde.

²⁰ <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/pkond.htm>

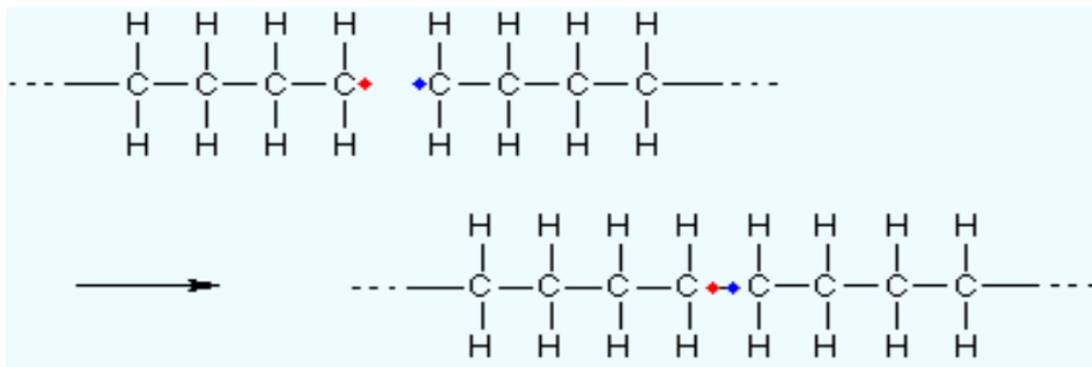


Abbildung 7: Rekombination zweier Radikale

7.2. Die Vorprodukte Bisphenol A und Epichlorhydrin

7.2.1. Bisphenol A

Bisphenol A ist ein zweiwertiger Alkohol, ein sogenanntes Diol. Es wird aus zwei Äquivalenten Phenol und einem Äquivalent Aceton hergestellt. Der chemische Name lautet 2,2- Bis-(4-hydroxyphenol)- propan oder 4,4'- Isopropylidendiphenol. In der Europäischen Union ist die Verwendung von Bisphenol A für die Herstellung von Epoxidharzen im Jahre 2006 bei 192 Tausend Tonnen gewesen und somit der zweit größte Verwendungszweck nach dem Einsatz zur Herstellung von Polycarbonaten. Durch die Verwendung zur Herstellung von Polycarbonaten und Epoxidharzen findet sich Bisphenol A in einer Reihe von Produkten wieder z.B. gehören DVDs, CDs, Plastikschüsseln und Brillengläser, als auch Mobiltelefone und Wasserkocher zu den üblichen Produkten in denen sich Bisphenol A findet. Bisphenol A wird auch unverarbeitet als Chemikalie verwendet, z.B. als Stabilisator und Farbentwicklungskomponente. Ebenso wird Bisphenol A als Additiv eingesetzt. Das Bisphenol A ist als Additiv nicht chemisch gebunden. Es findet sich z.B. in Kabelummantelungen, die Stoffmengenkonzentration ist hier jedoch vergleichsweise gering. Der Weichmacher kann 0,5% Bisphenol A enthalten, die tatsächliche Konzentration im Endprodukt entspricht meist weniger als 0,1%. In der Europäischen Union wurden 2005/2006 1,15 Millionen Tonnen produziert, wovon 70% der Produktion auf die Bundesrepublik Deutschland entfielen. Weltweit lag die Produktion im Jahre 2006 bei 3,8 Millionen Tonnen.²¹

Bei der Herstellung von Epoxidharzen wird das Bisphenol A so umgesetzt, dass sich Polymere bilden. Ist das Polymer gebildet, ist das Bisphenol A fest in der Matrix gebunden. Es ist jedoch möglich, dass während der Herstellung nicht die gesamte

²¹Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

Menge an Bisphenol A chemisch umgewandelt wird und so freie Bisphenol A Reste erhalten bleiben. Ein Beispiel hierfür ist die Abgabe von Bisphenol A in das Trinkwasser. Technische Geräte zum Speichern und Verteilen von Trinkwasser werden zum Schutz vor Korrosion mit Epoxidharzen beschichtet. Es handelt sich meist um polymerisiertes Bisphenol A, welches fest gebunden ist. Dennoch können geringe Mengen, deren Konzentrationen deutlich unter 1 µg/l liegen in das Trinkwasser abgegeben werden. Diese Mengen sind jedoch als unbedenklich zu bezeichnen. Anders ist es bei übermäßig erhitzten Warmwasserleitungen, deren Temperatur über 70°C liegt, hier wurden bei Untersuchungen teilweise Werte über 30 µg/l festgestellt.²² Verschiedene Studien kommen zu dem Ergebnis, dass eine Aufnahmemenge für Kinder und Erwachsene zwischen 0,03 bis 0,07 Mikrogramm pro Kilogramm Körpergewicht und Tag im Median liegt. Der TDI der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit beträgt zurzeit 0,05 mg/kg Körpergewicht.²³ Bisphenol A wird in der GESTIS Stoffdatenbank hinsichtlich seiner toxikologischen Eigenschaften nach dem Global Harmonisierten System (GHS) durch folgende H-Sätze (Hazard Statement) vormals R- Sätze eingestuft:

- H318: Schwere Augenschädigung, Kategorie 1
- H361f: Reproduktionstoxizität, Kategorie 2
- H317: Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1
- H335: Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3
- H412: Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 3

²² Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenschmikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

²³ <http://www.efsa.europa.eu/de/press/news/cef100930.htm>

Beim Umgang mit Bisphenol A sind verschiedene Sicherheitshinweise, die sogenannten P- Sätze (Precautionary Statements) vormals S- Sätze zu beachten:

- P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden
- P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen
- P301+P310: Bei Verschlucken sofort Giftinformationszentrum anrufen
- P305+P351+P338: Bei Kontakt mit den Augen einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen, vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen.
- P315: Sofort ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen

Es gelten außerdem folgende R- Sätze, soweit es sich um Gemische, respektive Zubereitungen handelt, die bis zum 1. Juni 2015 Gültigkeit haben, bevor sie durch das Global Harmonisierte System vollständig ersetzt werden. Für Einzelstoffe besitzt die GHS- Kennung seit dem 1. Dezember 2010 Gültigkeit.²⁴

- R 37: Reizt die Atmungsorgane
- R 41: Gefahr ernster Augenschäden
- R 43: Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich
- R 62: kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen
- R 52 Schädlich für Wasserorganismen

Die Einstufung von Gemischen ergibt sich aus dem Anhang 1 der Verordnung (EG) 1272/2008, dort heißt es:

„Wurde das Gemisch selbst nicht auf seine Gefahreneigenschaften geprüft, liegen jedoch ausreichende Daten über ähnliche geprüfte Gemische und einzelne gefährliche Bestandteile vor, um die Gefahren des Gemisches hinreichend zu beschreiben, dann sind diese Daten gemäß den folgenden in Artikel 9 Absatz 4 genannten Übertragungsvorschriften für jede einzelne Gefahrenklasse der Teile 3

²⁴ http://wko.at/up/enet/chemie/CLP_Leitfaden.pdf

und 4 dieses Anhangs zu verwenden, vorbehaltlich etwaiger Sonderbestimmungen für Gemische in jeder einzelnen Gefahrenklasse.“²⁵

Entsprechend sind Gemische mit hinreichend bekannten Inhaltsstoffen zu kennzeichnen. Der Anhang II der Verordnung (EG) 1272/2008 beschreibt dies:

„Das Kennzeichnungsetikett auf der Verpackung von Gemischen, die mindestens einen als sensibilisierend eingestuften Stoff in einer Konzentration enthalten, die mindestens 0,1 % beträgt oder mindestens ebenso hoch ist wie die in Anhang VI Teil 3 dieser Verordnung in einem besonderen Hinweis für den Stoff genannte Konzentration, muss folgenden Hinweis tragen: EUH208 — ‚Enthält (Name des sensibilisierenden Stoffes)‘. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.“²⁶

Signalwort für die Kennzeichnung von Bisphenol A ist **„Gefahr“**

Die Piktogramme des GHS für Bisphenol A sind folgende:



GHS05Ätzwirkung



GHS08Gesundheitsgefahr



GHS07Ausrufezeichen

Abbildung 6: GHS Piktogramme für Bisphenol A

In der technischen Regel für Gefahrstoffe 900 ist für Bisphenol A ein Arbeitsplatzgrenzwert von 5 mg/m³ E (einatembare Fraktion) angegeben mit einem Überschreitungsfaktor 1 der Kategorie I. „Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei 8-facher Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes, 4-mal pro Schicht über 15 Minuten, darf in einer Schicht keine weitere Exposition mehr erfolgen, da sonst das Produkt aus Schichtlänge und

²⁵ Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 1.1.3. Übertragungsgrundsätze für die Einstufung von Gemischen, wenn keine Prüfdaten für das komplette Gemisch vorliegen („bridging“)

²⁶ Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 2.8. Gemische, die nicht als sensibilisierend eingestuft sind, aber mindestens einen sensibilisierenden Stoff enthalten

Arbeitsplatzgrenzwert überschritten wird.“²⁷ Die Kategorie I umfasst Stoffe, bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder es sich um atemwegssensibilisierende Stoffe handelt. Für diese Stoffe gelten nach TRGS 900 folgende Kriterien:

„Als Basiswert wird ein Überschreitungsfaktor von 1 festgelegt, der stoffspezifisch angepasst werden kann (bis max. 8). Die Kurzzeitwertphase darf 15 Minuten nicht überschreiten. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z.B. durch eine 15 minütige Probenahme“²⁸. Für Arbeitsplätze an denen mit Epoxidharzen bzw. mit Bisphenol A oder Bisphenol A enthaltenden Gemischen gearbeitet wird sind entsprechend der GESTIS Stoffdatenbank mit folgenden Warn- und Gebotszeichen auszustatten.²⁹



W018



M001



M006

Abbildung 8: Warn- und Gebotszeichen für Arbeitsplätze, an denen mit Bisphenol A gearbeitet wird

Ein Warnzeichen ist ein Sicherheitszeichen, das vor einem Risiko oder einer Gefahr warnt.³⁰

Ein Gebotszeichen ist ein Sicherheitszeichen, das ein bestimmtes Verhalten vorschreibt.³¹

7.2.2. Epichlorhydrin

Die Herstellung von Epichlorhydrin erfolgt durch die Umsetzung von Allylchlorid mit hypochloriger Säure und anschließender Behandlung mit Natriumhydroxid (NaOH) zu Epichlorhydrin. Allylchlorid wiederum kann durch Reaktion von Propen mit Chlor bei hohen Temperaturen, etwa 500° C hergestellt werden. Der chemische Name von Epichlorhydrin ist 1-Chlor-2,3-epoxypropan.

²⁷ TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte

²⁸ TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte

²⁹ GESTIS Stoffdatenbank 4,4'-Isopropylidendiphenol, Arbeitsplatzkennzeichnung

³⁰ ASR 1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung Begriffsbestimmungen 3.4

³¹ ASR 1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung Begriffsbestimmungen 3.5

Epichlorhydrin ist Bestandteil von Epoxidharzen und Produkten, die auf Epoxidharzbasis hergestellt werden, z.B. Farben, Lacke und Klebstoffe. Weitere Verwendung findet es als Insektizid. Es entsteht als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Glycerol und verschiedenen Kunststoffen sowie Emulgatoren. Hauptsächlich wird Epichlorhydrin jedoch für die Herstellung von Glycidylethern verwendet, von denen den Bisphenol A Glycidylethern die größte Bedeutung zukommt.³² Epichlorhydrin ist sehr reaktiv, weshalb es sich bei der Verarbeitung von Epoxidharz- Systemen empfiehlt, den Reaktionspartner vorzulegen und das Epichlorhydrin kontrolliert zuzugeben, soweit es das Verfahren zulässt³³. In Westeuropa wurde im Jahre 1999 260.000t Epichlorhydrin produziert.³⁴ Epichlorhydrin wird in der GESTIS Stoffdatenbank bezüglich seiner toxikologischen Eigenschaften nach dem GHS folgendermaßen eingestuft:

- H226: Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 3
- H301: Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken
- H311: Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt
- H331: Akute Toxizität, Kategorie 3, Einatmen
- H331: Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B
- H350: Karzinogenität, Kategorie 1B
- H317: Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1

Beim Umgang mit Epichlorhydrin sind verschiedene Sicherheitshinweise, die sogenannten P- Sätze (Precautionary Statements) vormals S- Sätze zu beachten:

- P206: Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen
- P261: Einatmen von Staub/ Rauch/ Gas/ Nebel/ Dampf/ Aerosol vermeiden
- P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen
- P305+ P 351+ P338: Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen

³² Arpe, Hans- Jürgen; Industrielle Organische Chemie: Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte, Weinheim (Wiley VCH Verlag GmbH&Co KGaA), 2007

³³ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 6.2.1.2.2.1

³⁴ Arpe, Hans- Jürgen; Industrielle Organische Chemie: Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte, Weinheim (Wiley VCH Verlag GmbH&Co KGaA), 2007

- P310: Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen

Signalwort für die Kennzeichnung von Epichlorhydrin ist „**Gefahr**“

Die Piktogramme des GHS für Epichlorhydrin sind folgende:



GHS02 Flamme



GHS06 Totenkopf



GHS05 Ätzwirkung



GHS08 Gesundheitsgefahr

Abbildung 9: GHS Piktogramme für Epichlorhydrin

Die Einstufung für Gemische erfolgt wie bei Bisphenol A. Hier gilt der Anhang 1 der Verordnung (EG) 1272/2008, sowie der Anhang II Nr. 2.8 dieser Verordnung bezüglich der besonderen Kennzeichnungspflicht. Ebenfalls gilt die EUH 208 Etikettierungspflicht für Epichlorhydrin haltige Gemische.

Für den Einzelstoff, als auch für Zubereitungen die Epichlorhydrin enthalten, ist die Kennzeichnung „Nur für den berufsmäßigen Verwender“ laut TRGS 200 Nr. 6.28 vorgeschrieben.³⁵

Für Tätigkeiten mit Epichlorhydrin sind verschiedene Schutzmaßnahmen zu treffen:

- Die Arbeitsplätze sind räumlich voneinander zu trennen.
- Es sind geschlossene Apparaturen zu verwenden.
- Auf Abwesenheit von Polymerisationskatalysatoren im Arbeitsbereich achten.
- Im Bodenbereich ist für eine entsprechende Lüftung zu sorgen, da die Gase und Dämpfe schwerer als Luft sind.
- Abgesaugte Luft darf nicht wieder in Arbeitsbereiche zurückgeführt werden.
- Der Fußboden sollte lösemittelbeständig sein und keinen Bodenabfluss aufweisen.
- Es sind Waschgelegenheiten am Arbeitsplatz vorzusehen.
- Der Kontakt von Epichlorhydrin mit Haut und Schleimhäuten ist unbedingt zu vermeiden. Besteht die Möglichkeit eines Hautkontaktes, muss ausreichend

³⁵ TRGS 200 Nr.6.28 „Krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe und Zubereitungen der Kategorie 1 oder 2“

Schutzkleidung, z.B. Schutzhandschuhe, Stiefel, Schürzen, Schutzanzüge, aus geeignetem Material, wie Polychloropren, getragen werden.

- Lederartikel, die mit Epichlorhydrin in Kontakt gekommen sind, sind zu vernichten, da eine Reinigung nicht möglich ist. Dies gilt z.B. für Gürtel, Schuhe oder Handschuhe³⁶.

Arbeitsplätze an denen mit Epichlorhydrin gearbeitet wird, sind mit folgenden Verbots-, Warn- und Gebotszeichen zu versehen.³⁷



Abbildung 10: Warn-, Gebots- und Verbotsschilder für den Umgang mit Epichlorhydrin

7.3. Härtungsreaktionen von Epoxidharzen

Die Härtungsreaktion startet direkt nach dem Mischen von Harz und Härterkomponente. Sie ist eine exotherme Reaktion, die von einem Viskositätsanstieg begleitet wird. Die Wärmeabgabe ist abhängig von der Menge, den Abmessungen des Mischgefäßes, sowie von der Geometrie des Bauteils. Der Viskositätsanstieg ergibt sich als Folge der Bildung des Makromoleküls, jedoch kommt es zu Beginn der Reaktion zu einer Viskositätserniedrigung als Folge der exothermen Reaktion. Ein isothermer Verlauf ist nur bei sehr geringen Mengen möglich. Der isotherme Viskositätsanstieg ist das Maß, um unterschiedliche

³⁶ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 6.2.1.2.1

³⁷ GESTIS Stoffdatenbank 1-Chlor-2,3-epoxypropan, Arbeitsplatzkennzeichnung

Reaktionsharzmassen miteinander vergleichen zu können. Die Temperatur ist der Faktor, der den Viskositätsanstieg steuert. Der Isotherme Viskositätsanstieg ist auch das Maß für die Definition der Topfzeit, bei ihr handelt es sich um die Zeit, in der die Reaktionsharzmasse verarbeitbar ist. Sie differiert zwischen den verschiedenen Anwendungen. In der DIN 16945 ist als Grenzviskosität für nicht mineralisch gefüllte Reaktionsharzmassen ein Wert von 1500 mPas angegeben, für mineralisch gefüllte ein Wert von 15.000 mPas. Die Hersteller geben in den Verarbeitungsvorschriften die Topfzeit für das entsprechende Harz an. Mit zunehmender Verfestigung der Harzmasse tritt eine Volumenkontraktion und somit eine Dichtezunahme auf³⁸.

7.4. Das Formulieren von Epoxidharzen

Unter dem Formulieren von Epoxidharzen versteht man die Modifikation des Ausgangsharzes durch den Einsatz von Zusatzstoffen. Diese sind Füllstoffe, Additive und Flexibilisatoren. Durch den Einsatz von Zusatzstoffen kann Einfluss auf die späteren produktspezifischen Eigenschaften genommen werden. So lassen sich die Einsatzmöglichkeiten von Epoxidharzsystemen wesentlich ausdehnen. Eine charakteristische Eigenschaft, die den Einsatz von Epoxidharzen begrenzt, ist z.B. die geringe Duktilität der Epoxidharze. Dies führt zu relativ schneller stabiler oder instabiler Rissausbreitung, besonders bei thermischen Wechselbedingungen ist dies der Fall. Durch das Zusammenwirken von Flexibilisatoren und Füllstoffen kann z.B. ein Duktilitätszuwachs des Epoxidformstoffes erzielt werden³⁹.

7.4.1. Füllstoffe

Füllstoffe, die gebräuchlichsten Zusatzstoffe, werden eingesetzt um Folgendes zu erreichen:

- Die Formstoffe zu verstärken,
- den Schwund zu reduzieren,
- das Produkt zu verbilligen und
- um den Verguss großvolumiger Bauteile durch Dämpfung der exothermen Reaktion zu ermöglichen⁴⁰

³⁸ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

³⁹ <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/03/04A370/t7.pdf>

⁴⁰ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

Bei den Füllstoffen handelt es sich um organische oder anorganische Materialien. Die anorganischen Materialien sind meist sehr kostengünstig. Um die gewünschten Resultate zu erzielen werden dem Reaktionsharz bis zu 65 Gew.-% Füllstoff zugesetzt. Die Füllstoffe reduzieren je nach Füllstoffgehalt die Reaktionsschwindigkeit durch ihr Eigenvolumen und die Abkühlungsschwindigkeit, da sie den thermischen Volumenausdehnungskoeffizienten des Systems verringern⁴¹. Günstige anorganische Füllstoffe sind z.B. Feldspat, Dolomit, Talk oder Siliciumdioxid. Geeignet als Verstärkungsmaterial für hohe Belastungen ist ein Füllstoff, wenn sein E-Modul, welches den Zusammenhang zwischen Dehnung und Spannung beschreibt, größer ist als jenes, der ihn umschließenden Matrix. Ebenso muss die Zugfestigkeit größer sein als die der aufnehmenden Matrix. In diesem Fall müssen die Füllstoffe faserförmig sein. Es handelt sich bei den fertigen Materialien um sogenannte Faserverbundstoffe. Glas in textiler Form ist für den Einsatz als Verstärkungsmaterial prädestiniert, obwohl es ein vergleichsweise geringes E-Modul aufweist. Seine Zugfestigkeit ist jedoch im Vergleich mit anderen Fasern sehr hoch. Glasfasern werden in verschiedenen Qualitäten hergestellt. Für den Einsatz als Verstärkungsmaterial in Kunststoffen wird meist der E- Type eingesetzt. Das „E“ steht für den Einsatzzweck, für den die Glasfaser ursprünglich konzipiert wurde, den elektrischen Einsatz. Die Glasfasern aller Qualitäten teilen ein ähnliches E- Modul, die Ausnahme stellt die M- Type Faser mit einem E- Modul von ca. 125kN/mm² dar⁴². Ein unidirektionales Gelege der E- Type Glasfaser hat ein E- Modul von ca.73kN/mm² und eine Zugfestigkeit von ca.2400N/mm² ⁴³. Glasfaser ist relativ kostengünstig im Vergleich zu z.B. Kohlefaser.



Abbildung 11: Ein Glasfaserroving besteht aus unverdrehten, gestreckten Fasern

⁴¹ <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/176/1/Doktor.pdf>

⁴² Fleming, M.; Ziegmann, G.; Roth, S.; Faserverbundbauweisen, Fasern und Matrices, Berlin, Heidelberg (Springer-Verlag), 1995

⁴³ <http://www.akaflieg.uni-karlsruhe.de/pdfs/harzlehrgang.html>

Im extremen Leichtbau finden andere Materialien Verwendung, da der E-Modul von textilem Glas hier nicht ausreichend hoch ist. Die im extremen Leichtbau verwendeten Materialien sind meist Aramid, E-Modul von ca. 127kN/mm^2 ⁴⁴, oder Kohlenstoff, E-Modul von ca. 474kN/mm^2 ⁴⁵. Diese Stoffe sind jedoch recht kostenintensiv, bzw. die Verarbeitung ist kostenintensiv, da spezielle Werkzeuge notwendig sind, um die Materialien zu bearbeiten. Gleiches gilt für Bor-Fasern, die aufgrund ihrer extremen Kostenintensität nur in der Raumfahrt oder für Rüstungsgüter Verwendung finden⁴⁶.



Abbildung 12: Kohlefaser

Der Aspekt der Verbilligung entfällt bei Einsatz von Aramid oder Kohlefasern. Füllstoffe tragen weiterhin dazu bei, die Viskosität der Reaktionsharzmasse zu erhöhen. Die Korngrößenverteilung, die Kornform, als auch die Harzaufnahme und die Benetzbarkeit sind hier die einflussnehmenden Faktoren. Da die Reaktionsmasse über ausreichende Fließeigenschaften verfügen soll, um in die jeweilige Form zu gelangen, die für das Endprodukt gewünscht ist, ist der Zugabe von Füllstoffen dadurch nach oben hin eine Grenze gesetzt. Nach unten wird diese Grenze von der Sedimentation bestimmt⁴⁷.

7.4.2. Additive

Zusatzstoffe die eingesetzt werden, um den Verlauf, die Haftung oder die Stabilität gegen thermischen oder oxidativen Abbau zu erhöhen nennt man Additive. Sie werden in kleinen Mengen zugesetzt⁴⁸. Beispielsweise kann Quarzsand beigemischt werden, um ein Formteil zu erhalten, dessen Abriebfestigkeit sehr hoch ist. Die Klebeeigenschaften können mit der Zugabe von Micro Cellulose verbessert werden.

⁴⁴ <http://www.akaflieg.uni-karlsruhe.de/pdfs/harzlehrgang.html>

⁴⁵ <http://www.akaflieg.uni-karlsruhe.de/pdfs/harzlehrgang.html>

⁴⁶ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

⁴⁷ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

⁴⁸ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

Auch nicht funktionale Additive wie Farbpasten werden eingesetzt⁴⁹. Mit Ruß kann Epoxidharz eingefärbt werden und gleicht dann optisch einem Harz mit Kohlefaser.

7.4.3. Flexibilisatoren

Flexibilisatoren erhöhen den Schubmodul des Formstoffes. Der G- Modul gibt an welchen Widerstand ein Stoff seiner mechanischen Verformung entgegensetzt. Bei Flexibilisatoren handelt sich um thermoplastische Füllstoffe oder flüssige Verbindungen. Nicht reaktive, flüssige Verbindungen wirken als Weichmacher, in dem sie sich in die Zwischenräume des duroplastischen Netzwerks setzen und es so weiten. Chemisch reaktive Flexibilisatoren sind langkettige, unverzweigte Segmente, die in den Formstoff eingebaut werden und so die Vernetzungsdichte herabsetzen. Genauso wie reaktive Verdünner, beeinträchtigen Flexibilisatoren jedoch die thermomechanischen Eigenschaften des Formstoffs⁵⁰.

⁴⁹ <http://www.akaflieg.uni-karlsruhe.de/pdfs/harzlehrgang.html>

⁵⁰ W. Woebcken, W. Adam; Duroplaste; Hanser Verlag, 1988

8. Einsatzgebiete von Epoxidharzen

Epoxidharze sind aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften für verschiedene Einsatzgebiete hervorragend geeignet. Epoxidharze werden eingesetzt, wenn ihr Einsatz technische Vorteile bietet, sowie wenn sich der Einsatz aus ökonomischer Sicht anbietet. Epoxidharze werden als Gießharze (Reaktionsharze), Formmassen (Reaktionsharzmassen) oder Prepregs verarbeitet, Prepregs sind Halbzeuge, die aus Endlosfasern und einer Kunststoffmatrix bestehen. Der Faservolumenanteil erhöht sich durch den Druck, der bei der Verarbeitung durch die Heißpresstechnik oder die Bearbeitung mit der Autoklaventechnik entsteht. Das Sortiment der Epoxidharze reicht von gefüllten und ungefüllten Gießharzen, Träufel-, und Imprägnierharzen bis hin zu kalt- oder warmhärtenden Lackharzen und Beschichtungsharzen. Geliefert werden sie in fester und flüssiger Form. Die flüssigen Harze können unverdünnt oder mit Lösemittel verdünnt geliefert werden. Eine andere Möglichkeit sind die Glasfaser-Prepregs. Die Formmassen gibt es in press-, spritz-, press-, und spritzgießbarer Form. Halbzeug gibt es in Form von Schichtpressstoffen, Rohren oder Profilen im Angebot.

Aus Epoxidharzen werden so vielfältige Produkte hergestellt wie Klebstoffe, Vergussmassen, Beton und Mörtel sowie Spachtelmassen. Des Weiteren kommen Farben und Lacke, Faserverbundstoffe, Composites, Modellwerkstoffe oder auch Immersionsöle hinzu.

Epoxidharze werden in unterschiedlichsten Arbeitsbereichen eingesetzt. In relativ geringen Mengen und fast ausschließlich kalt härtend, werden sie beispielsweise in Museumswerkstätten verwendet, finden Verwendung bei der Herstellung von Nachbildungen oder beim Restaurieren und Versiegeln bzw. Verfestigen von Oberflächen. Schulen und Hochschulen nutzen Epoxidharze für den Modell- und Formenbau und im Rahmen elektronenmikroskopischer Strukturuntersuchungen, bei denen biologische und mineralogische Präparate konserviert und kalt eingebettet werden müssen. All diese Arbeiten werden mit der Hand verrichtet.

8.1. Bauwirtschaft

Im Baubereich werden Epoxidharze im Betonschutz eingesetzt, sowie im Stahl- und Brückenbau, es handelt sich hier ausschließlich um kalt härtende Epoxidharz-

Systeme⁵¹. Verwendet werden hier vor allem Klebstoffe, Farben und Lacke, Bindemittel, Fugenmörtel für Fliesen und Pflasterbeläge sowie Boden-, Parkhaus- und Industriebodenbeschichtungen⁵². Trotz der Tatsache, dass es sich bei den verwendeten Produkten um Gefahrstoffe handelt, die ätzend, reizend und allergisierend sind, werden sie aufgrund ihrer technischen Vorteile verwendet. Die Substitution durch weniger problematische Produkte ist vielfach nicht realisierbar, da keine vergleichbaren Produkte zur Verfügung stehen⁵³. In besonderem Maße sind Beschäftigte aus den Bereichen bzw. Tätigkeitsfeldern Industriebodenbeschichtung, Betonsanierung, Maler- und Lackierer, Fußbodenleger/ Parkettleger, Estrichleger, Fliesenleger, Säurebau und Installateure gefährdet⁵⁴.

8.2. Elektroindustrie

In der Elektroindustrie spielen Epoxidharze als Schlüsselwerkstoffe eine wichtige Rolle, hier kommen in der Regel heiß härtende Systeme auf der Basis von Dicarbonsäureanhydriden zum Einsatz. Sie finden als Tränkeharze oder Vergussmassen Anwendung für Kondensatoren, Drosseln, Spulen und Transformatoren, ebenso in der Fertigung von Generatoren und Motoren sowie von Kabeln, Rotorblättern und Leiterplatten. Des Weiteren werden auf EP- Harz basierende Kleb- und Beschichtungsstoffe eingesetzt⁵⁵. Eine besondere Rolle kommt Epoxidharz- Formstoffen als Umhüllungssystemen zu. Sie schützen Bauteile z.B. gegen Feuchtigkeit, Beschädigung oder mechanischer Beanspruchung und wirken zusätzlich isolierend. Diese Eigenschaften erhöhen die Zuverlässigkeit, die Leistung, die Lebensdauer und die Betriebssicherheit der Bauteile⁵⁶.

8.3. Metallindustrie

Systeme auf Epoxidharz- Basis werden in der Metallindustrie in der Oberflächenbeschichtung bei der Nasslackierung und bei der Pulverbeschichtung z.B. für den Korrosionsschutz von Erdtanks, Behältern und Stahlkonstruktionen sowie beim Kleben eingesetzt. Die Anwendung der flüssigen Beschichtungsstoffe erfolgt durch Spritzlackierung, die bei der Pulverbeschichtung verwendeten Polyester- Beschichtungspulver enthalten auf Epoxidharzbasis aufgebaute

⁵¹ <http://www.bgbau-medien.de/zh/bgr227/3.htm>

⁵² <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EP2004.pdf>

⁵³ BGI 655

⁵⁴ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁵⁵ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 3.5

⁵⁶ J. Möckel, U. Fuhrmann; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; Verlag moderne industrie 1990

Härterkomponenten. In der Regel werden fertig gemischte Pulver unterschiedlicher Pigmentierung eingesetzt, so dass ein Mischvorgang entfällt⁵⁷. Auch im Behälter-, Werkzeug- und Formenbau werden die Harze eingesetzt. So werden z.B. Formteile im Flugzeug- und Fahrzeugbau sowie im Schiffs- und Bootsbau hergestellt.

8.4. Holzindustrie

In der Holzindustrie werden in der Regel kalt härtende Epoxidharz- Systeme eingesetzt und zwar bei der Herstellung von Pinseln und Sportgeräten, wie beispielsweise Skier und Snowboards, sowie im Modell- und Formenbau. In Modell- und Formenbau werden sowohl Modelle und Formen gefertigt. In einigen Betrieben werden z.B. für Kraftfahrzeuge spezielle Kleinserien produziert. Die Fertigung erfolgt fast ausschließlich im Handlaminier- oder Gießverfahren⁵⁸.

Bei der Pinselherstellung werden für die Verklebung der Borsten oder der Haare untereinander und mit der Zwinge zur Aufnahme des Pinselstiels, ausschließlich kalt härtende Epoxidharze verwendet. Der Arbeitsgang erfolgt in der Regel über Misch- und Dosiereinrichtungen. Dabei kann es zu keinem Kontakt zwischen Harz und Haut kommen. Hautkontakt kann hier nur zustande kommen, wenn die Geräte gereinigt werden⁵⁹.

8.5. Kunststoffindustrie

Die Kunststoffindustrie fertigt mit Hilfe der Harze Chemierohre, Möbel oder Formteile. Im Gesundheitswesen werden sie in den Bereichen Zahnheilkunde und Zahntechnik oder auch im Labor eingesetzt. So finden sie beispielsweise in kleinen Mengen Verwendung in der Zahnoberflächenversiegelung oder teilweise auch zur Zahnfüllung. Sie sind auch Werkstoffe bei der Herstellung von Orthopädiehilfsmitteln oder Produkten der Medizintechnik wie Herzschrittmachern⁶⁰.

In sonstigen Arbeitsbereichen werden Epoxidharze eher sporadisch und in geringen Mengen eingesetzt, meist geschieht das von Hand. Zum Einsatz kommen fast ausschließlich kalt härtende Epoxidharzmischungen.

In Museumswerkstätten finden sie Verwendung bei der Herstellung von Nachbildungen oder beim Restaurieren und Versiegeln bzw. Verfestigen von

⁵⁷ <http://www.bgbau-medien.de/zh/bgr227/3.htm>

⁵⁸ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 3.7

⁵⁹ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 3.7

⁶⁰ BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“ 3.8

Oberflächen.

Schulen und Hochschulen nutzen Epoxidharze für den Modell- und Formenbau und im Rahmen elektronenmikroskopischer Strukturuntersuchungen, bei denen biologische und mineralogische Präparate konserviert und kalt eingebettet werden müssen.

9. Gesundheitliche Wirkung von Epoxidharzen

Epoxidharz- Systeme bestehen aus verschiedenen Komponenten, die sowohl toxisch- irritative als auch sensibilisierende Eigenschaften haben.

9.1. Toxisch irritative Auswirkung

Die aliphatischen Polyamine die häufig als Härter zum Einsatz kommen üben wegen ihres basischen Charakters eine starke Reizwirkung auf Haut und Schleimhäute aus⁶¹. Sie sind meist für das irritative Kontaktekzem verantwortlich, hierfür kommen jedoch auch Anhydride in Frage, die ebenfalls Verwendung als Härter finden.⁶² Aromatische Amine verfügen über eine geringe Reizwirkung für die Haut, jedoch besteht bei der Aufnahme über die Haut als auch über die Lunge, die Gefahr einer Schädigung der inneren Organe⁶³. Die geringste Gefährdung für den Organismus geht von den Polyaminoamiden aus. Sie sind als die unbedenklichste Gruppe der Härter anzusehen, da sie nur schwach hautreizend sind und über eine geringe Toxizität verfügen⁶⁴. Die reaktiven Verdünner können ebenso zu der Entstehung des irritativen Kontaktekzems führen wie die aliphatischen Polyamine und die Anhydride. „Sie führen bei Patienten mit Epoxidharzallergie in erstaunlich hohen Prozentsätzen zu positiven Reaktionen“. ⁶⁵ Epoxidharze und Phthalsäureanhydride können darüber hinaus eine Kontakturtikaria verursachen.⁶⁶

9.2. Sensibilisierende Auswirkungen

Epoxidharz- Systeme bestehen aus verschiedenen Komponenten, die sensibilisierende Eigenschaften haben können. Bei 3/4 aller verwendeten Epoxidharz- Systeme kommt als Grundbestandteil Epichlorhydrin / Bisphenol A/F vor. Epoxidharze auf Basis von Epichlorhydrin und Bisphenol A-Diglycidylether(DGEBA) stellen in der Literatur die überwiegende Mehrheit, der für die Entstehung eines allergischen Kontaktekzems verantwortlichen Verbindungen dar. Epoxidharze, die kein DGEBA enthalten, die sogenannten Non- DGEBA Epoxidharze, verfügen jedoch teilweise über ähnlich potente Allergene und sind in der Folge ebenso, bezüglich ihrer sensibilisierenden Eigenschaften zu bewerten wie

⁶¹ BGI 655

⁶² <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁶³ BGI 655

⁶⁴ BGI 655

⁶⁵ <http://www.alles-zur-allergologie.de/Allergologie/Artikel/3706/Epoxidharze/epoxidharz.html>

⁶⁶ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

die DGEBA Epoxidharze.⁶⁷ Die allergene Potenz des Grundbestandteils nimmt mit abnehmendem Molekulargewicht zu. Leitallergen ist ein Oligomer mit 340 kDa Molekulargewicht. Hochmolekulare Epoxidharze, sowie Festharze sind dementsprechend geringer einzuschätzen bezüglich ihrer allergenen Potenz.⁶⁸ Es sind jedoch offensichtlich Spuren von 0,2% Restoligomeren ausreichend, um eine allergische Kontaktdermatitis auszulösen“.⁶⁹ Das Epoxidharz L20 des Herstellers R&G welches im HAW Labor verwendet wird, hat ein Molekulargewicht von ≤ 700 ⁷⁰, selbiges gilt für das Formenharz P⁷¹.

9.3. Ätiologische Betrachtung der toxisch- irritativen und sensibilisierenden Wirkung von Epoxidharzen

Ursächlich für die Entstehung des allergischen Kontaktekzems ist, dass Epoxidharze hautresorptiv sind. Besonders leicht können fettlösliche Substanzen durch die Haut in den Blutkreislauf diffundieren. Ist die Substanz in den Blutkreislauf eingetreten, reagiert der Körper lokal mit einer verzögerten immunologischen Antwort. Im späteren Verlauf kann eine Streuung der pathologischen Morphe auftreten. Die Immunreaktion tritt nicht unmittelbar nach oder bei der Exposition auf. Es kommt nicht beim Erstkontakt zu einer dokumentierbaren Reaktion, vielmehr bedarf es einer wiederholten Exposition gegenüber der sensibilisierenden Substanz. Diese Form der Sensibilisierung wird als Typ IV Sensibilisierung (Spättyp) bezeichnet und wird durch die Epikutantestung verifiziert bzw. falsifiziert. Das klinische Erscheinungsbild des kontaktallergischen Ekzems ist häufig sehr variabel, so dass die Differenzierung zwischen dem allergischen und dem irritativen Ekzem teilweise nicht möglich ist. Generell verläuft das allergische Kontaktekzem jedoch akuter ab. Es stellt sich meist eine Linderung an den expositionsfreien Tagen ein, die bei einem irritativen Ekzem meist nicht eintritt⁷². Typische morphologische Zeichen sind häufig Bläschenbildung, Rötungen, Schuppung, Papeln, Exsudation (Absonderung von eiweißreicher Flüssigkeit) und Exkorationen (Substanzdefekt der Dermis), in chronischen Fällen kann es zu Rhagadenbildung (Hautriss als Folge von herabgesetzter Elastizität), Lichenifikation (Flächenhafte Hautverdickung) und Hyperkeratosen (Verhornung)

⁶⁷ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁶⁸ <http://www.alles-zur-allergologie.de/Allergologie/Artikel/3706/Epoxidharze/epoxidharz.html>

⁶⁹ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁷⁰ EG-Sicherheitsdatenblatt des Epoxydharz L20, Materialnummer: 112113-X; R&G Faserverbundwerkstoff GmbH

⁷¹ EG-Sicherheitsdatenblatt des Formenharz P, Materialnummer: 115160; R&G Faserverbundwerkstoff GmbH

⁷² http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-053.pdf

kommen. Begleitend ist in der Regel das Auftreten von Juckreiz und Brennen.⁷³ Typischerweise treten die allergischen Reaktionen an den Händflächen, Handrücken, Fingerseitenkanten, Fingerkuppen, Interdigitalfalten und Handgelenken auf, ebenso wie an Unterarmen und Unterschenkeln, wenn diese nicht entsprechend geschützt sind. Daher kommt dem Tragen persönlicher Schutzausrüstung besondere Bedeutung zu. Zusätzlich kann es zu einer Kontaktdermatitis im Gesicht durch eine Übertragung der sensibilisierenden Stoffe durch die Luft kommen (Airborne contact dermatitis). Diese Form der Kontaktdermatitis wird häufig von den in Epoxidharz-Systemen vorhandenen Reaktivverdünnern und Härtern hervorgerufen.⁷⁴ Das irritative Kontaktekzem entsteht lokal durch längere Exposition gegenüber den irritierenden Faktoren. Die Morphologie ist dem des allergischen Kontaktekzems sehr ähnlich. Beim irritativen Kontaktekzem besteht jedoch meist nur ein schwacher Juckreiz und es gibt keine Streuung. Das Irritative Kontaktekzem kann in ein allergisches Kontaktekzem übergehen, es handelt sich dann um das sogenannte 2-Phasenekzem⁷⁵. Dieser Umstand macht die Klassifikation schwierig. Die Kontakturtikaria ist eine Reaktion der Haut auf bestimmte Substanzen, die nicht allergischer Natur sein muss. Beispielsweise kann sie durch den Kontakt mit Brennnesseln als nicht allergische Form in Erscheinung treten. Tritt eine Kontakturtikaria als Folge des Umgangs mit Epoxidharz-Systemen auf, handelt es sich um eine Typ I Allergie, bei der die immunologische Reaktion beim Zweitkontakt unmittelbar auftritt⁷⁶.

⁷³ http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-053.pdf

⁷⁴ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁷⁵ http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-053.pdf

⁷⁶ <http://www.dermis.net/dermisroot/de/37139/diagnose.htm>



Abbildung 13: Epoxidharz- Allergie an den empfindlichen Schleimhäuten möglicherweise eine Airborne contact dermatitis



Abbildung 14: Hand die der Exposition eines mittelviskosem DGEBA Epoxidharz ausgesetzt war

In den technischen Regeln für Gefahrstoffe sind die Bestandteile der Epoxidharz-Systeme, aufgeführt, die nachweislich hautresorptiv sind. Bisphenol A ist in der TRGS 900 als hautresorptiv aufgeführt, die Aminkomponenten von Epoxidharzen sind in der Anlage 3 der TRGS 401 als bekannt für die Entstehung eines allergischen Kontaktekzems gelistet.⁷⁷

⁷⁷ TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt Ermittlung – Beurteilung – Maßnahmen“

Die Berufskrankheiten- Dokumentation der gewerblichen Berufsgenossenschaften belegt die Tatsache, dass es sich beim Umgang mit Epoxidharz- Systemen in der Mehrheit der anerkannten Fälle um Hauterkrankungen handelt. Im Jahre 2009 verzeichneten diese insgesamt 58 epoxidharzbedingte Erkrankungsfälle, davon entfielen 51 Fälle auf Hauterkrankungen.⁷⁸ Die Risikominimierung kann mit geeigneten Arbeitsverfahren und geeigneter persönlicher Schutzausrüstung und Unterweisung wesentlich vorangetrieben werden, entsprechend konsequent sollte dies daher umgesetzt werden.

9.4. Kanzerogenität und hormonelle Wirkung

Epoxidharze stehen aufgrund der Einstufung von Epichlorhydrin als Kanzerogen Kategorie 1, im Verdacht krebserregend zu sein.

Aromatische Amine, die als Härter Verwendung finden, stehen im Verdacht Blasenkrebs zu verursachen, dies ist jedoch nicht wissenschaftlich bestätigt⁷⁹.

Für Bisphenol A gilt die tolerierbare Menge von 50µg pro Tag und kg Körpergewicht in der Europäischen Union. Erst ab einer Dosis von 5 mg und mehr, werden nachteilige Effekte erwartet. Dies ist das Ergebnis einer Studie an Nagern, die als sehr relevant eingestuft wird⁸⁰. Bisphenol A wirkt in vivo Östrogen ähnlich, verändert also das Hormonsystem. Solche Stoffe werden als Endokrine Disruptoren bezeichnet. Als solche wirken jedoch nur die nicht metabolisierten Stoffe. Bisphenol A wird jedoch teilweise schon im Darm zu Bisphenol A-Glucuronid und Bisphenol A-Sulfat metabolisiert. In Geweben wie Hoden und der Plazenta wird die wirksame Form jedoch wieder freigesetzt⁸¹. Verschiedene Studien an Tieren unter anderen an Fischen, Kriebtieren und Vögeln zeigen, dass die hormonelle Wirkung des Bisphenol A zu unterschiedlichen Schädigungen bei diesen Tieren führte. Beispielsweise kamen Fehlbildungen der Fortpflanzungsorgane vor, ein frühzeitiges Einsetzen der Pubertät, Veränderung der cerebralen Struktur, Hemmung der Schilddrüsen sowie der männlichen Hormone⁸². Aufgrund unterschiedlicher Kritiken an den vorliegenden Studien wurde die Wirkung auf die einzelnen Organe sowie auf die Fortpflanzungsfähigkeit im Niedrigdosis Bereich nicht für die quantitative Risikobewertung der europäischen Behörden herangezogen. Interessant in diesem Zusammenhang ist eine Studie, deren Ergebnisse zeigen, dass Männer die in

⁷⁸ BK- Doc 2009

⁷⁹ <http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/forschung/toxepid5.php>

⁸⁰ Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

⁸¹ Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

⁸² Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

Betrieben tätig sind, in denen sie häufig mit Bisphenol A Umgang haben, vermehrt unter Erektions- und Ejakulationsproblemen leiden sowie unter einer verminderten Libido. Der Bisphenol A Gehalt im Blut dieser Männer betrug lediglich 5% der von der EFSA als unbedenklich eingestuften Menge⁸³

Die EFSA hat den Grenzwert für Bisphenol A in 2007 von 10µg pro kg Körpergewicht auf 50µg pro kg Körpergewicht angehoben. Die Begründung war eine Studie des amerikanischen Research Triangle Institute⁸⁴.

Eine Studie an der Cincinnati University kam zu dem Ergebnis, dass Bisphenol A Tumorzellen bei einem Mammakarzinom vor der Wirkung eines Zytostatikums schützt. Zytostatika hemmen die Zellteilung, sind daher Bestandteil der Chemotherapie, die über die Apoptose, den Zelltod, bewirkt. Die Zytostatika Hemmung erfolgte bereits bei einer Konzentration von 1nM. Die im Blutplasma eines Erwachsenen befindliche Menge an Bisphenol A beträgt zwischen 0,5 und 40 nM⁸⁵.

9.5. Nachweismethoden

Der Epikutantest ist ein Allergietest an der Haut, der vor allem zur Klärung einer sogenannten Spättyp oder Typ IV- Allergiereaktion verwendet wird. Er ist der wichtigste Allergietest zur Diagnostik, vor allem des allergischen Kontaktekzems.⁸⁶ Er wird daher insbesondere auch zur Klärung des Verdachts auf eine allergisch bedingte Berufsdermatose genutzt, bei der eine versicherungsrechtliche Begutachtung stattfindet. Zum Zeitpunkt der Testung muss die akute Phase der allergischen Reaktion abgeklungen sein. Der Epikutantest ist nicht geeignet, um die Entwicklung des allergischen Kontaktekzems vorherzusagen. Beim Epikutantest werden die zur Testung verwendeten Allergene, Anamnese geleitet, ausgewählt. Die Standardreihe wird jedoch fast ausnahmslos getestet. Dies ist der Beobachtung geschuldet, dass die Standardreihe auch bei „leerer“ Anamnese meist Sensibilisierungen anzeigt.⁸⁷ Die Empfehlung zur Auswahl geht dahin, dass nur pharmazeutisch geprüfte und als Arzneimittel zugelassene Allergenzubereitungen benutzt werden. Bei Epoxidharzen ist die Verfügbarkeit dieser Testzubereitungen vom Jahre 2000 von 13 Testsubstanzen⁸⁸ auf bis zum Jahre 2008 auf 20

⁸³ Umwelt Bundesamt, Bisphenol A, Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen, 2010

⁸⁴ <http://www.ngo-online.de/2007/07/2/gutachten-von-unternehmen-gesponsort/>

⁸⁵ <http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/34009>

⁸⁶ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁸⁷ http://dkg.ivdk.org/dok/Pub_315_deutsch.pdf

⁸⁸ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

Testsubstanzen⁸⁹ angewachsen. Es besteht die Möglichkeit, Substanzen zu testen, die nicht kommerziell angeboten werden, die jedoch im Verdacht stehen, Allergien auszulösen. Dennoch ist die Testung mit Substanzen abzulehnen, wenn deren chemische Identität als auch die biologische Wirkung nicht bekannt ist.

Bei der Durchführung des Epikutantests werden Allergene in standardisierter Form in kleinen Testkammern auf die Haut des oberen Rückens aufgebracht. Nach einer 24- oder 48- stündigen Exposition werden die Testpflaster entfernt⁹⁰. Welche Expositionszeit gewählt wird, ist individuell von Arzt zu Arzt verschieden. Für die generelle Überlegenheit einer dieser Expositionszeiten gibt es keinen Beleg. Die Reaktionen werden 30 Minuten nach Entfernung der Testpflaster allergologisch untersucht. Weiterhin findet eine Beurteilung nach 72 Stunden bei der 24 Stunden Applikation, sowie nach 72 Stunden respektive nach 96 Stunden nach der 48 stündigen Applikation statt. Ablesungen zu einem noch späteren Zeitpunkt sind zusätzlich zu empfehlen, insbesondere wenn die auftretende Morphe nicht sicher zu klassifizieren ist. Selbiges gilt für Testsubstanzen, mit deren allergischer Wirksamkeit erst nach 72 Stunden zu rechnen ist.⁹¹

Der Epikutantest wird schriftlich dokumentiert. Das gilt für die Anamnese sowie für die klinischen Befunde. Darüber hinaus sind Testmodalitäten, einschließlich Art der Aufbringung der Testsubstanzen, ausführlich zu dokumentieren, gegebenenfalls sind weitere Befunde beizulegen⁹².

Zusammenfassung der Nachweismethoden

Zurzeit ist es möglich eine Sensibilisierung gegenüber einigen Epoxidharzkomponenten nachzuweisen. Gemessen an den auf dem Markt befindlichen Epoxidharzen und Härtern ist die Zahl der Epoxidharzkomponenten die nachgewiesen werden können jedoch verschwindend gering. Ein Zusammenhang zwischen einer Epoxidharzkomponente und einer aus dem Kontakt mit ihr resultierenden Sensibilisierung ist daher in vielen Fällen nicht möglich.

⁸⁹ <http://dkg.ivdk.org/dkgblo.html#a017>

⁹⁰ <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf>

⁹¹ http://dkg.ivdk.org/dok/Pub_315_deutsch.pdf

⁹² Bamberger Merkblatt 2.2.5

10. Berufskrankheiten Dokumentation

„Die Schriftenreihe "BK-DOK - Dokumentation des Berufskrankheiten-Geschehens in Deutschland" beruht auf der von den gewerblichen Berufsgenossenschaften eingeführten Berufskrankheiten-Dokumentation. Diese Statistik verfolgt das Berufskrankheiten-Geschehen beginnend mit dem Eingang der Verdachtsanzeige bis zu den zum Fall getroffenen versicherungsrechtlichen Entscheidungen.“⁹³

10.1. Statistische Betrachtung

Anerkannte Berufskrankheiten (Hautkrankheiten 5101) von 1999 bis 2009 die ursächlich auf Epoxidharze z.B. Bisphenol A und Epichlorhydrin zurückzuführen sind (Blauer Graph) sind in der Abbildung 15 dargestellt.

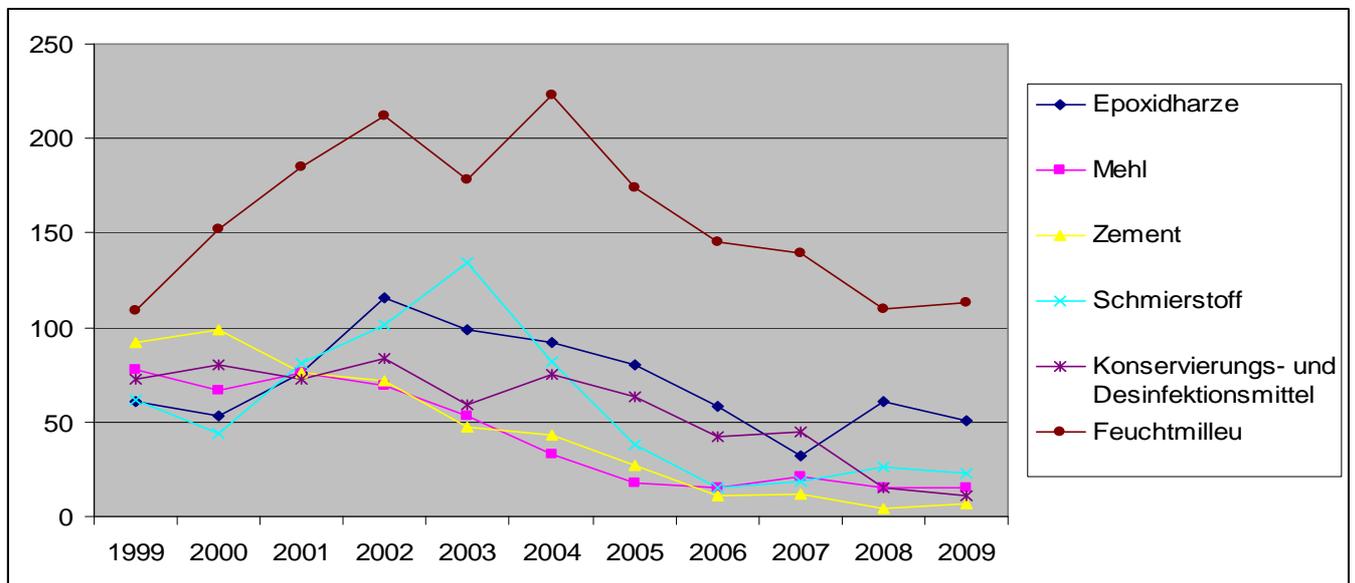


Abbildung 15: Anerkannte Berufskrankheiten 5101 von 1999- 2009 bezogen auf die am häufigsten vertretenden Arten der Einwirkung

⁹³ <http://www.gbe-bund.de>

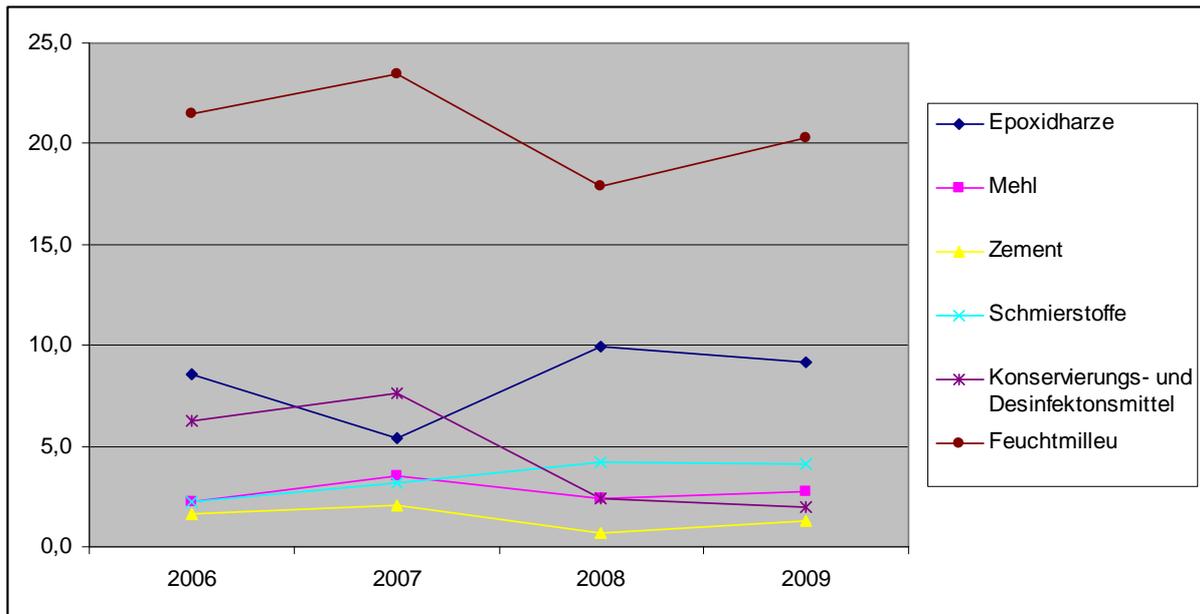


Abbildung 16: Anerkannte Berufskrankheiten 5101 von 2006- 2009 bezogen auf die am häufigsten vertretenen Arten der Einwirkung. Prozentualer Anteil an allen anerkannten Hauterkrankungen des jeweiligen Jahres

Rang 1 Rang 2 Rang 3

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Epoxidharze | 61 | 53 | 76 | 116 | 99 | 92 | 80 | 58 | 32 | 61 | 51 |
| Mehl | 78 | 67 | 76 | 69 | 53 | 33 | 18 | 15 | 21 | 15 | 15 |
| Zement | 92 | 99 | 76 | 72 | 47 | 43 | 27 | 11 | 12 | 4 | 7 |
| Schmierstoff | 62 | 44 | 81 | 101 | 134 | 82 | 38 | 15 | 19 | 26 | 23 |
| Konservierungs- und Desinfektionsmittel | 73 | 80 | 73 | 84 | 59 | 75 | 63 | 42 | 45 | 15 | 11 |
| Feuchtmilieu | 109 | 152 | 185 | 212 | 178 | 223 | 174 | 145 | 139 | 110 | 113 |

Abbildung 17: Anerkannte Berufskrankheiten 5101. Vergleich der häufigsten BK 5101 nach Art der Einwirkung im Zeitraum 1999 bis 2009

Abbildung 15 zeigt für die Epoxidharze ab 2000 eine progressive Entwicklung, erreicht 2002 die Spitze und ist dann kontinuierlich degressiv. 2007 kann entweder als statistischer Ausreißer betrachtet oder als Erfolg der Einführung der

Handlungsanleitung BGR 227 angesehen werden. Die Anzahl der Erkrankten scheint sich zwischen 50 und 60 Fällen pro Jahr einzupendeln.

Die Abbildung 17 zeigt, dass die Epoxidharze sich in den letzten Jahren auf dem 2. Rang manifestiert haben. War die Differenz zum 3. Rang in den Jahren 2004, 2005 und 2006 noch relativ gering, so ist sie in 2008 und 2009 vergleichsweise gewachsen.

10.2. Bewertung der BK- Zahlen

Verschiedene Maßnahmen zur Risikominimierung zeigen teilweise Wirkung auf die Anzahl der aufgetretenen statistisch erfassten Fälle in der BK- Dokumentation. Die Umstellung auf Chromatarmen Zement, der seit dem Jahre 2000 flächendeckend in der Bundesrepublik zum Einsatz kommt⁹⁴, zeigt sich in der BK- Statistik seit dem Einführungsdatum als ein kontinuierlicher Rückgang der dokumentierten Erkrankungen.

Die Kampagne „die wichtigsten 2m² deines Lebens“ die 2007/08 durchgeführt wurde hinterlässt keinen eindeutigen Abdruck in den Zahlen der BK- Dokumentation. Der degressive Kurvenverlauf schreibt sich fort, wobei von 2007 an eine verstärkte Abnahme feststellbar ist diese jedoch von 2008 bis 2009 ins Gegenteil umschlägt. Die Handlungsanleitung BGR 227 „Epoxidharze“, von September 2006 zeigt in der BK- Dokumentation eine kurzfristige Verbesserung der Situation. Die Abnahme der Krankheitsfälle ist geringfügig besser als in den Vorjahren. Die absoluten Zahlen von 2008 und 2009 sind auf niedrigem Niveau jedoch höher als im Jahre 2007.

Zur Verringerung der Mehlstaubexposition wurde 1998 die BG/BIA Empfehlung zur Überwachung von Arbeitsbereichen veröffentlicht⁹⁵. Diese enthält verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Mehlstaubexposition. Seit dem Jahr 1999 kann ein anhaltender Abwärtstrend in der BK- Dokumentation beobachtet werden.

⁹⁴ http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/chromat/CHR_ARM.pdf

⁹⁵ http://www.dguv.de/ifa/de/praxis/bg_bgia_empfehlungen/bg_bia_1025.pdf

11. Gefährdungsbeurteilung im Leichtbaulabor der HAW

Die Gefährdungsbeurteilung bildet die Grundlage für einen wirksamen betrieblichen Arbeitsschutz zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit, dies impliziert die menschengerechte Gestaltung der Arbeit. Die Gefährdungsbeurteilung ist die Voraussetzung für die Gestaltung des Arbeitsplatzes, sowie für die Wahl von Arbeitsstoffen, Arbeitsmitteln und Arbeitsabläufen. Die gesetzliche Basis für die Gefährdungsbeurteilung bildet das Arbeitsschutzgesetz §§ 5 und 6. Des Weiteren besteht eine Reihe weiterer Vorschriften im Arbeitsschutzrecht die bestimmte Festlegungen zur Gefährdungsbeurteilung und deren Dokumentation enthalten. Hierzu gehören beispielsweise die:

- Betriebssicherheitsverordnung
- Biostoffverordnung
- Gefahrstoffverordnung
- Mutterschutzrichtlinienverordnung
- Unfallverhütungsvorschrift

Die Gefährdungsbeurteilung soll alles erfassen, was zu Unfällen oder Gesundheitsbeeinträchtigungen führen kann. Gefährdungen können sich ergeben durch die:

- Gestaltung und Einrichtung der Arbeitsstätte
- Auswahl von Arbeitsmitteln und Arbeitsstoffen
- Arbeits- und Fertigungsverfahren, sowie die Arbeitsorganisation
- Arbeitsumgebungsbedingungen
- persönliche Schutzausrüstung
- Qualifikation, Fähigkeit und Fertigkeit sowie die Unterweisungen

Hinweise auf Gefährdungen können Auswertungen verschiedener Quellen sein, z.B. die der Krankenkassen. Die Ergebnisse solcher Auswertungen weisen innerhalb der beobachteten Branche Belastungsschwerpunkte aus.

Gefährdungsbeurteilungen können mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden, beispielsweise durch Betriebsbegehungen, Mitarbeiterbefragungen,

sicherheitstechnische Überprüfungen etc. Die Wahl der zur Anwendung kommenden Methode wird aufgrund der vorhandenen Vorinformationen getroffen. Hierzu zählen das zu erwartende Gefährdungspotential, die angewendeten Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel, als auch die personellen und organisatorischen Voraussetzungen im Betrieb.

Zur Ermittlung der Gefährdungen in Laboratorien gibt die Gefahrstoffverordnung einen Hinweis. §8 Gefahrstoffverordnung lautet: „Ungünstig gestaltete Arbeitsplätze in Laboratorien erhöhen die Unfallgefahr und tragen zum unbeabsichtigten Freiwerden von Gefahrstoffen bei.“⁹⁶ Hierauf Bezug nehmend gilt ein besonderes Interesse bei der Gefährdungsbeurteilung der Gestaltung der Arbeitsplätze. In welcherweise Arbeitsplätze in Laboratorien gestaltet sein müssen, um das Gefährdungspotenzial so gering wie möglich zu halten, wird die „BGI 850-0 Sicheres Arbeiten“ im Labor herangezogen. Unter Punkt 6.2 Arbeitsplatzgestaltung finden sich alle relevanten Aspekte für die Gefährdungsbeurteilung bezüglich der Arbeitsplatzgestaltung. Dies lässt sich für den Umgang mit Epoxidharzen für das Labor der HAW relativieren, da bei meist gleichen Gefahrstoffen Schutzmaßnahmen sinnvoll sind, die auf diese zugeschnitten sind. Die Hochschule als Arbeitgeber hat die Verantwortung gegenüber den Beschäftigten, die Risiken so gering wie möglich zu halten. Entsprechende Maßnahmen zur Risikoreduktion finden sich in der Gefahrstoffverordnung unter §8. Es handelt sich um die folgenden sieben Punkte:

1. Gestaltung des Arbeitsplatzes und Arbeitsorganisation,
2. Bereitstellung geeigneter Arbeitsmittel für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und entsprechende Wartungsverfahren zur Gewährleistung der Gesundheit und Sicherheit der Versicherten bei der Arbeit,
3. Begrenzung der Anzahl der Versicherten, die Gefahrstoffen ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können,
4. Begrenzung der Dauer und des Ausmaßes der Exposition,
5. angemessene Hygienemaßnahmen, insbesondere die regelmäßige Reinigung des Arbeitsplatzes,
6. Begrenzung der am Arbeitsplatz vorhandenen Gefahrstoffe auf die für die betreffende Tätigkeit erforderliche Menge,

⁹⁶ §8 Gefahrstoffverordnung

7. geeignete Arbeitsmethoden und Verfahren, welche die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigen, einschließlich Vorkehrungen für die sichere Handhabung, Lagerung und Beförderung von Gefahrstoffen und Abfällen, die Gefahrstoffe enthalten, am Arbeitsplatz.

Sind diese nicht ausreichend, um die Gefährdungen zu beseitigen, muss durch die in §9 Gefahrstoffverordnung aufgeführten Maßnahmen das Gefährdungsrisiko auf ein Mindestmaß verringert werden.

11.1. Leichtbaulabor der HAW

Das Leichtbaulabor befindet sich auf dem Gelände der HAW im Gebäude 9. Es ist ursprünglich ein Raum gewesen, der nicht als Labor vorgesehen war. Daher finden sich die für Laboratorien typischen Elemente wie beispielsweise Wasserhähne, Gasanschlüsse, fließend Wasser, besondere Fußbodenbeschichtungen und andere Kernbestandteile von Laboratorien nicht.

Darstellung des Labors

Das Labor ist 4,30m lang, 4,45m breit und hat eine Höhe von 3,65m. Der Arbeitstisch der in der Mitte des Raumes steht misst 2,00m x 1,20m. Zu den seitlichen Begrenzungen der Arbeitsbereiche messen die Abstände vom Tisch aus 1,33m, 1,00m, 0,75m und 0,70m.

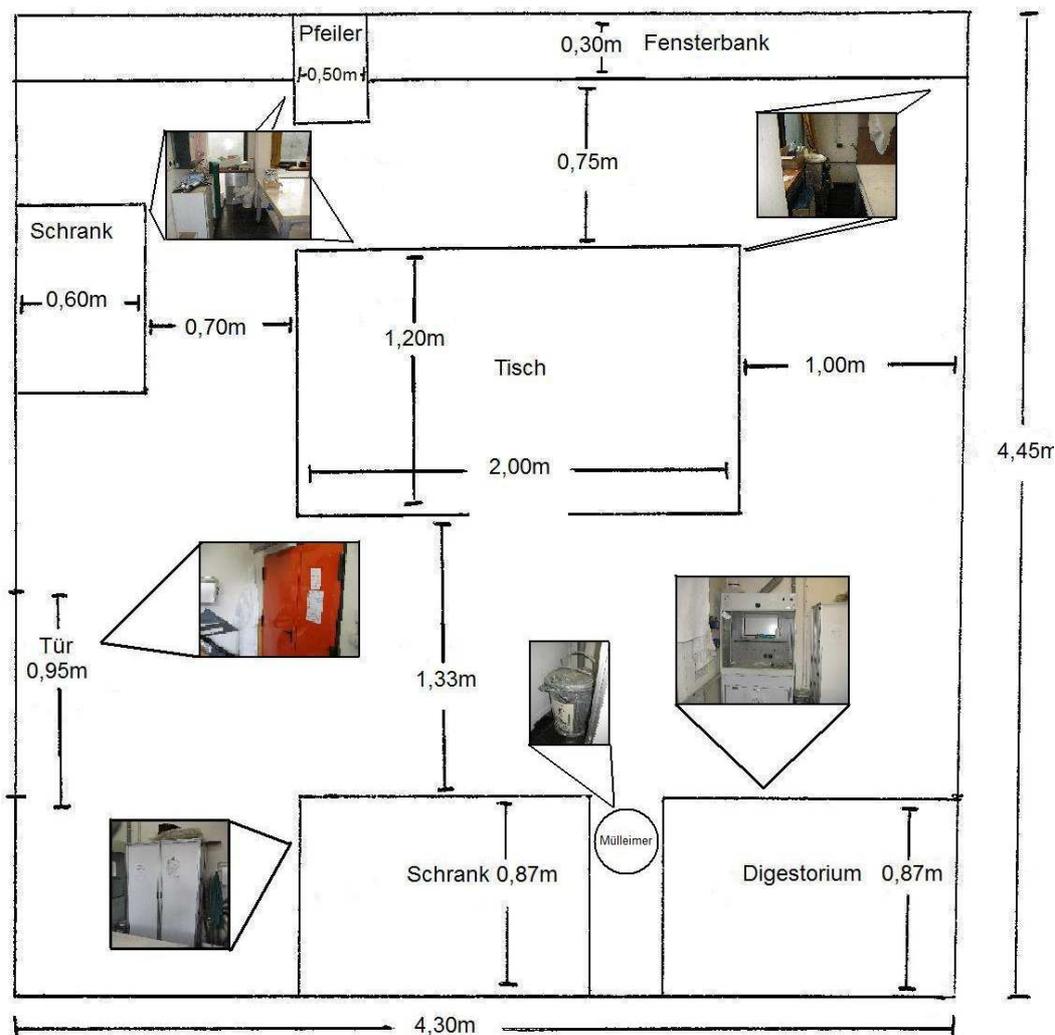


Abbildung 18: Skizze des HAW Leichtbaulabors

Die tatsächlich nutzbare Fläche ist jedoch geringer, als es die Abbildung 18 darstellt. An der Rückwand befinden sich Leitungen, während der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung stand dort die mobile Faserstoff- Rolle und bei einer zweiten Besichtigung fanden sich dort Holzwände deponiert. An der Fensterfront werden diverse Gegenstände in Fußboden Höhe gelagert, was die nutzbare Fläche ebenfalls begrenzt.



Abbildung 19: Eingeschränkter Arbeitsbereich im Labor

Abbildung 19 zeigt den vom Eingangsbereich aus hinteren Teil des Labors. Hier standen zum Zeitpunkt der Bilderstellung am 05.01.2012 eine Holzplatte und ein Metallgerüst.

Die Abbildung 20 zeigt denselben Bereich wie Abbildung 19, hier wird deutlich, wie der Gang durch die herumstehenden Arbeitsgeräte an der Fensterfront Seite verengt wird.



Abbildung 20: Eingeschränkter Arbeitsbereich im Labor



Abbildung 21: Tür des Leichtbaulabors

Die nach innen öffnende Tür des Leichtbaulabors der HAW. Sie ist 0,95m breit und hat eine Höhe von 2,05m. Durch die rechte Türseite lässt sich die Durchgangsbreite um 0,50m erweitern. Sie öffnet ebenfalls nach innen.

Die Nutzung des Labors durch die Studenten erfolgt im Rahmen verschiedener Vorlesungen, in denen es um den Werkstoff Epoxidharz geht, beispielsweise in der Vorlesung von Prof. Dr.- Ing. Michael Seibel „Composite Materials Technology“. Die Studenten sollen im Rahmen der Labortätigkeit einen Praxisbezug bekommen, zu den in der Vorlesung theoretisch vorgestellten Werkstoffen und Verarbeitungsmethoden. Ebenso soll ein tieferes Verständnis für die Komplexität der vorgestellten Fertigungsmethoden erzielt werden. Epoxidharze werden durch die Studenten auch als Prepregs verwendet, wobei das Harz durch laminieren auf das Prepreg aufgebracht wird, diese heißhärtenden Halbzeuge werden durch katalytische Härtung im Autoklaven zu fertigen Epoxidharzformteilen. Dieser Form der Verwendung wird in der Gefährdungsbeurteilung keinerlei Aufmerksamkeit zuteil, wohl aber dem Handlaminieren welches jenes Verfahren darstellt, das am häufigsten von den Studenten angewendet wird. Der Prozess der Formteilherstellung ist bis zum Einsatz des Autoklaven identisch mit dem vorgeführten Verfahrens des Handlaminierens. Es werden jedoch unterschiedliche Harze und Härter benutzt, anstelle des Halbzeugs kommen verschiedene Fasern zum Einsatz. Die Gefährdung ist bezüglich der angewandten Methode bei diesem Verfahren gleich. Das unterschiedliche Gefährdungspotential rührt von den unterschiedlichen Harzen und Härtern her. Gegenstand der Dokumentation für die Gefährdungsbeurteilung ist hier das Handlaminieren ohne anschließende Härtung im Autoklaven. Dieses Verfahren ist am wenigsten automatisiert und beinhaltet somit das höchste Gefährdungspotential.

Die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung im Labor der HAW unterliegt einigen Besonderheiten im Gegensatz zu einer Gefährdungsbeurteilung eines Labors, welches nicht primär der Wissensvermittlung dient. Gründe dafür sind, dass für den Umgang mit Gefahrenstoffen in den naturwissenschaftlichen, technischen oder medizinischen, insbesondere aber den chemischen Ausbildungs- und Forschungseinrichtungen der Hochschulen, Fachhochschulen und Fachschulen sowie bestimmten beruflichen Schulen besondere Regeln für den Umgang mit Gefahrstoffen bestehen. Diese Regeln beziehen sich auf den dritten Abschnitt der Gefahrstoffverordnung und werden in der Technischen Regel für Gefahrstoffe 451, unter Berücksichtigung der Besonderheiten im Hochschulbetrieb, für diese wiedergegeben. Zu den Besonderheiten zählen unter anderen die folgend aufgeführten:

- „Die Vielfalt an Gefahrstoffen, mit denen umgegangen wird, ist groß; ihre Einzelmengen sind meistens klein.
- Typisch sind ständig wechselnde Betriebsbedingungen; die mögliche Exposition der Beschäftigten ist sowohl hinsichtlich Dauer als auch Wiederkehr sehr unterschiedlich.
- Bei einem beträchtlichen Teil der Stoffe und Zubereitungen, mit denen im Ausbildungs- und Forschungsbereich umgegangen wird, sind die gefährlichen Eigenschaften nicht untersucht und daher nicht bekannt“⁹⁷

Die Auswertung der durch die HAW zur Verfügung gestellten Materialien bestätigten die in der GUV-SR 2005 aufgeführten Besonderheiten. Im Departement Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau wurde im Juni 2011 in Rahmen der Lehrveranstaltung „Fertigung Faserverbundtechnologie“ eine aerodynamische Verkleidung mittels des Resin Transfer Moulding (RTM) Verfahrens hergestellt. Harzinjektionstechniken (HIT) werden häufig eingesetzt, um Faserverbundstoffe herzustellen. Zur Herstellung dieser Verkleidung wurden 200g Epoxidharz verwendet sowie 60g Härter⁹⁸. Dieser wurde zur Verbesserung der Topfzeit aus zwei unterschiedlichen Härtern hergestellt.

⁹⁷ GUV-SR 2005

⁹⁸ Versuchsprotokoll „Herstellung einer aerodynamischen Verkleidung mittels RTM- Verfahren“

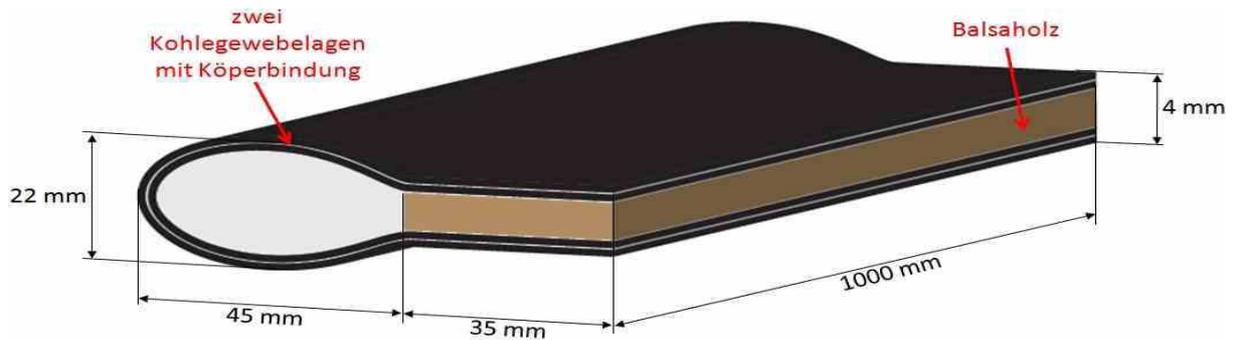


Abbildung 22 Aerodynamische Verkleidung, hergestellt mit dem RTM- Verfahren

In einem weiteren Versuch wurde für die Herstellung eines Bauteils, das mittels des „Schlauchblas- RTM- Verfahren“ gefertigt wurde, die Menge von „300g Epoxidharz verwendet sowie insgesamt 90g Härter⁹⁹, der ebenfalls durch Mischung zweier Härter Typen entstand.



Abbildung 23 Bauteil, welches durch das Schlauchblas- RTM- Verfahren hergestellt wurde

Zum Vergleich, in der Bauwirtschaft werden Großgebäude von mehreren Litern verwendet, wenn z.B. eine Bodenversiegelung stattfindet.

Die Exposition ist ebenfalls wie in der GUV-SR 2005 sehr unterschiedlich. Die Studenten, die im Rahmen einer Lehrveranstaltung im Labor arbeiten, sind meist nur an wenigen Tagen mit Arbeiten im Labor befasst. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter hingegen sind regelmäßig im Labor tätig.

Die Gefährlichkeit der Einzelkomponenten bei den Epoxidharzen ist prinzipiell gut dokumentiert. Jedoch fehlen Erkenntnisse über Gemische, hier wird die Toxizität der

⁹⁹ Laborbericht „Resin Transfer Moulding – Harzinjektionsverfahren“

Einzelkomponenten zugrunde gelegt, um einen sicheren Umgang mit den Gemischen zu gewährleisten¹⁰⁰.

Das Leichtbaulabor der HAW wird jedoch nicht nur von Studenten im Rahmen von Lehrveranstaltungen genutzt, sondern auch vom HAWKS- Team der Hochschule. Dieses Team besteht aus Studenten verschiedener Fachrichtungen, die gemeinsam einen Rennwagen planen, herstellen und betreiben. Für diesen Rennwagen werden Komponenten im Labor hergestellt. Die Studenten arbeiten meist selbständig und in nicht dokumentierten Zeiten, die stark variieren. Die Gefährdung durch die Gefahrstoffexposition ist hier höher als bei jenen Studenten, die im Rahmen einer Lehrveranstaltung und in Gegenwart eines wissenschaftlichen Mitarbeiters im Labor tätig sind. Diese Annahme kann getroffen werden, da sich die Studenten des HAWKS- Teams zeitweise über Stunden im Labor aufhalten. Dies führt zu einer längeren Expositionszeit, die ein höheres Gefährdungspotential birgt. Das HAWKS- Team ist auch die Gruppe, die im Labor die meiste Zeit verbringt und die größte Menge an Materialien verbraucht.

11.2. Grundlagen der Gefährdungsbeurteilung und Methodenbeschreibung

Im Vorwege der Gefährdungsbeurteilung wurde eine Gefährdungscheckliste erstellt. Dieser Checkliste wurde die BGR 120, die BGR 227 sowie die Broschüre „Epoxidharz- Systeme – Ein Leitfaden zur Gefährdungsbeurteilung mit Hinweisen auf Schutzmaßnahmen“ als auch die Arbeitsstättenverordnung zugrunde gelegt. Die Checkliste ist aufgeteilt in eine Soll- Spalte, in der der Zustand so beschrieben ist, wie er von den zugrunde gelegten Verordnungen und berufsgenossenschaftlichen Regeln gefordert wird. Des Weiteren findet sich eine Ist- Spalte, in der zum Beurteilungszeitpunkt, dem 08.09.2011, dokumentierte Zustand beschrieben ist, sofern er von dem in der „Soll- Spalte“ abweicht, weiter findet sich eine Spalte, in der die notwendigen Maßnahmen eingetragen werden, sofern eine Abweichung vom „Soll- Zustand“ festgestellt wurde. Eine weitere Spalte ist für den Risikobewertungsfaktor nach Nohl vorgesehen. Die letzte Spalte bleibt frei von Eintragungen, hier sollten die Verantwortlichen benannt werden, sowie die Handlungszeitspanne definiert werden.

¹⁰⁰Anhang 1 der Verordnung (EG) 1272/2008 1.3. Übertragungsgrundsätze für die Einstufung von Gemischen, wenn keine Prüfdaten für das komplette Gemisch vorliegen („bridging“)

Als Dokumentationsnachweis kommt eine Bewertungstabelle mit der folgenden Struktur zum Einsatz.

| Gefährdungs/ Belastungsfaktor | Soll- Zustand | Ist- Zustand | Maßnahmen und Priorität | Bewertungsfaktor gemäß Risikomatrix nach Nohl | Verantwortliche/ Umzusetzen bis |
|----------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--|------------------------------------|
|----------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--|------------------------------------|

| | | | |
|--|---|-----------------------------------|------------------------|
| Maßnahmen haben Höchste Priorität | Maßnahmen haben Hohe Priorität | Maßnahmen erforderlich | Nicht Anwendbar |
|--|---|-----------------------------------|------------------------|

Die Gefährdungsbeurteilung fand am 08.09.2011 in der Zeit von 10:00 Uhr bis 12:30 Uhr statt. Sie wurde unter Berücksichtigung der gesetzlichen Bestimmungen durchgeführt.

11.2.1. Rechtliche Rahmenbedingungen

Diese sind in Gesetzen, Verordnungen, berufsgenossenschaftlichen Vorschriften, Regeln und Informationen niedergeschrieben. Zur Gefährdungsbeurteilung des Leichtbaulabors der Hochschule für Angewandte Wissenschaften wurden folgende herangezogen:

Gesetze

- Arbeitsschutzgesetz (ArbschG)
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Biostoffverordnung (BiostoffV)
- Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV)
- EG Verordnung 1272/2008 Anhang 1

Berufsgenossenschaftliche Regelwerke

- ASR 1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“
- ASR 3.5 „Raumtemperatur“
- ASR 6 „Raumtemperatur“
- ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung
- ASR 10/1 „Türen und Tore“
- ASR A2.3 „Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan“
- BGI 850-0 „Sicheres Arbeiten im Labor“
- BGR 120 „Richtlinien für Laboratorien“
- BGR 121 „Arbeitsplatzlüftung- Lufttechnische Maßnahmen“

- BGR 131-1 (Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsystemen)
- BGR 227 „Tätigkeiten mit Epoxidharzen“
- BGV A1 „Berufsgenossenschaftliche Information“
- GUV-SR 2005 Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich
- TRBA 100 (Schutzmaßnahmen für gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien)
- TRGS 200 „Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen“
- TRGS 201 „Einstufung und Kennzeichnung von Abfällen zur Beseitigung beim Umgang“
- TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
- TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt; Ermittlung – Beurteilung - Maßnahmen“
- TRGS 526 „Laboratorien“
- TRGS 540 „Sensibilisierende Stoffe“
- TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“

Normen

- DIN EN 12464 (Licht und Beleuchtung)
- DIN 374 „Schutzhandschuhe gegen Chemikalien und Mikroorganismen“
- DIN 388 „Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken“
- DIN 420 „Schutzhandschuhe – Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren“
- DIN 33 403 (Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung)
- DIN 14056 (Laboreinrichtungen – Empfehlungen für die Anordnung und Montage)

11.2.2. Definition der Tätigkeit mit Epoxidharzen

„Eine Tätigkeit ist jede Arbeit, bei der Stoffe, Zubereitungen oder Erzeugnisse im Rahmen eines Prozesses einschließlich Produktion, Handhabung, Lagerung, Beförderung, Entsorgung und Behandlung verwendet werden oder verwendet werden sollen oder bei der Stoffe oder Zubereitungen entstehen oder auftreten.“

Hierzu gehören insbesondere das Verwenden im Sinne des § 3 Nr. 10 Chemikaliengesetz sowie das Herstellen.(...)¹⁰¹

Beim Dosieren, Mischen und Vergießen von Epoxidharzen ist, wenn möglich, das automatische dem manuellen Verfahren vorzuziehen. Werden diese Tätigkeiten manuell durchgeführt, ist eine Absaugung erforderlich, vorausgesetzt, es handelt sich um Mengen die größer als 0,5L sind. Für manuelle Mischarbeiten mit Epoxidharzen sollte ein fester Arbeitsplatz vorhanden sein. Es muss eine geeignete Schutzausrüstung wie Schutzbrille/ Gesichtsschutz, Schutzhandschuhe und Schürze zur Verfügung gestellt werden¹⁰².



Abbildung 24: : Wissenschaftliche Mitarbeiterin des HAW Leichtbaulabors in persönlicher Schutzausrüstung (Handschuhe; Schutzbrille; Schutzoverall)

Der Umgang mit Epoxidharzen birgt verschiedene Gefahren für den Organismus. Die meisten Harze sowie die Härter, die in kalt härtenden Verfahren genutzt werden, können zu einer Sensibilisierung führen. Die Gefährdungen werden durch die R-Sätze bzw. durch die H- Sätze gekennzeichnet. Die mit einem „*“ gekennzeichneten R- Sätze finden im GHS keine exakte wörtliche Entsprechung.

¹⁰¹ BGR 227

¹⁰² BGR 227 6.2.3

- H332 (R20) Gesundheitsschädlich beim Einatmen,
- H312 (R21) Gesundheitsschädlich bei Berührung,
- H301 (R22) Gesundheitsschädlich beim Verschlucken,
- R34 Verursacht Verätzungen*,
- R38 Reizt die Haut*,
- R40 Verdacht auf krebserzeugende Wirkung*
- R42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich*,
- R43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich*,

Die Bedingungen unter denen es zu einer Sensibilisierung kommen kann sind nach §9 der Gefahrstoffverordnung auf ein Mindestmaß zu reduzieren, wobei es gilt zunächst die technischen und organisatorischen Maßnahmen zu optimieren und erst dann die personenbezogenen Maßnahmen zu veranlassen, wenn eine Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann. Zu den organisatorischen Maßnahmen gehört vor allem die Verpflichtung, die Gefährdung durch Substitution zu verringern¹⁰³. Im Leichtbaulabor steht der didaktische Aspekt im Vordergrund. Eine Substitution ist nur dann möglich, wenn mit einem Ersatzstoff ein gleichwertiger didaktischer, inhaltlicher oder methodischer Zweck erfüllt wird.¹⁰⁴ Eine Ersatzstoffprüfung wurde im Labor durchgeführt.

11.2.3. Laborspezifische Regelungen

„Gefährdungen in Laboratorien werden ganz wesentlich dadurch vermieden, dass die Arbeitsplätze in geeigneter Weise gestaltet und ausgerüstet sind. Hierzu zählen die baulichen Maßnahmen, die Gebäudeinfrastruktur, die Laboreinrichtung und die Beschaffenheit der Geräte, Apparate und sonstigen Arbeitsmittel“¹⁰⁵

„Ungünstig gestaltete Arbeitsplätze in Laboratorien erhöhen die Unfallgefahr und tragen zum unbeabsichtigten Freiwerden von Gefahrstoffen bei“¹⁰⁶

Die gesetzlichen Regelungen zur Gestaltung von Laborarbeitsplätzen finden sich zusammengefasst in der BGI 850-0.

¹⁰³ §6 Absatz1 Satz4 Gefahrstoffverordnung

¹⁰⁴ GUV-SR 2005 4.4.1

¹⁰⁵ BGI 850-0

¹⁰⁶ §8 Gefahrstoffverordnung

11.2.3.1. Beleuchtung

„Die Beleuchtung von Laborarbeitsplätzen muss so bemessen sein, dass ein sicheres Arbeiten und ein rechtzeitiges Erkennen von Gefahren jederzeit möglich ist. Als Mindestbeleuchtungsstärke im Labor sind 300 Lux, für die Arbeitsplätze 500 Lux vorzusehen. In jedem Fall ist auf eine gleichmäßige, schlagschattenfreie Beleuchtung zu achten.(...)“¹⁰⁷

„Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten (...)“¹⁰⁸.
Bei den empfohlenen Beleuchtungsstärken handelt es sich um Durchschnittswerte¹⁰⁹. Die Beleuchtungsstärke gibt den Lichtstrom an, der von einer Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft. Diese wird in Lux gemessen. Ein Lux entspricht einem Lumen pro Quadratmeter (lm/m²). Die Beleuchtungsstärke ist von verschiedenen Faktoren abhängig, beispielsweise von der Anzahl der installierten Leuchten oder auch der Farbgestaltung des Raumes.

11.2.3.2. Klima

Klima bezeichnet verschiedene Einzelfaktoren, sogenannte Grundparameter des Raumklimas, die auf den menschlichen Organismus einwirken. Dazu gehören die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit und die Wärmestrahlung¹¹⁰. Ergänzend zu diesen Grundparametern stehen sogenannte Klimasummenmaße zur Verfügung, um die thermische Beanspruchung des Menschen in einem Zahlenwert darzustellen. Hierzu gehören beispielsweise die Normal- Effektivtemperatur (NET) und die Basis- Effektivtemperatur (BET). Die unterschiedlichen Klimasummenmaße sind auf definierte Umgebungsbedingungen zugeschnitten und liefern daher nur für das entsprechende Szenario zuverlässige Orientierungswerte¹¹¹.

Der Mensch ist besonders sensitiv für die Änderung der Umgebungstemperatur, bereits ein Absinken der Temperatur um 0,004°C/s wird von den Kälterezeptoren auf der Haut registriert¹¹². Die Klimasituation am Arbeitsplatz ist für das Wohlbefinden und die dauerhafte Gesunderhaltung des Menschen unerlässlich. Die Klimasituation muss daher ein Erhalten der Körperkerntemperatur durch den inneren Regelmechanismus von ca. 37°C ermöglichen. In der Arbeitsstättenverordnung und den Arbeitsstättenrichtlinien A3.5 und 6, ist an verschiedenen Stellen der Begriff

¹⁰⁷ BGI 850-0 4.20.2

¹⁰⁸ ArbStattV 3.4 (1)

¹⁰⁹ ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung

¹¹⁰ ASR 6 Raumtemperatur

¹¹¹ <http://www.gefaehrungsbeurteilung.de/de/gefaehrungsfaktoren/arbeitsumgebungsbedingungen/klima/hitze/grenzwerte>

¹¹² LV 16 Endfassung Oktober 2011

Raumtemperatur zu finden. „Der Begriff Raumtemperatur ist eine zusammenfassende Temperaturgröße aus der örtlichen Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur der einzelnen Umgebungsflächen“¹¹³. Der menschliche Organismus ist nicht fähig zu unterscheiden, ob die empfundene Raumtemperatur durch temperierte Raumluft zustande gekommen ist oder ob die empfundene Raumtemperatur zusätzlichen Anteilen an Wärmestrahlungselementen geschuldet ist. Diese empfundene Raumtemperatur bezeichnet man auch als operative Temperatur¹¹⁴. Sie ist das Ergebnis der mittleren Wärmestrahlung und der Lufttemperatur. Sie ist vergleichbar mit der Raumtemperatur. So gelten die Grenzwerte der Lufttemperatur ebenso für die operative Temperatur¹¹⁵.

„Gesundheitlich zuträgliches Klima liegt vor, wenn die Wärmebilanz, die das Verhältnis zwischen Wärmeezeugung und Wärmeabgabe bezeichnet, des menschlichen Körpers ausgeglichen ist. Die Thermogenese ist abhängig von der Arbeitsschwere. Die Wärmeabgabe ist abhängig von der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, der Luftgeschwindigkeit und der Wärmestrahlung. Sie wird wesentlich durch die Bekleidungssituation beeinflusst.“¹¹⁶ Diese Parameter bezeichnet man als personenbezogene Größen. Die Luftfeuchte kann nicht exakt vom menschlichen Körper bestimmt werden. Sie ist das Verhältnis des aktuellen Wasserdampfdruckes zum maximal möglichen sogenannten Sättigungsdampfdruck bei einer bestimmten Lufttemperatur¹¹⁷. Die relative Luftfeuchte führt, wenn sie erhöht ist, zu einer intensiveren Wahrnehmung der Temperatur, sowohl bei Kälte als auch bei Wärme. Der Bereich zwischen 30% und 70% relativer Luftfeuchte wird als Behaglichkeitsbereich bezeichnet. Das Behaglichkeitsempfinden wird durch die relative Luftfeuchte erst dann beeinträchtigt, wenn die Wärmeabgabe des Körpers durch Schweißverdunstung auf der Haut behindert wird. Tritt dies ein, reagiert der Körper mit erhöhter Kreislaufaktivität. In diesem Bereich kann es notwendig sein, Entwärmungszeiten in die Arbeitsintervalle zu integrieren. Um den absoluten Wassergehalt bestimmen zu können, muss zusätzlich die Lufttemperatur bekannt sein. Mit Hilfe des h,x- Diagramms (siehe Anhang) kann der Wassergehalt und andere Feuchtegrößen bestimmt werden.

¹¹³ LV 16 Endfassung Oktober 2011

¹¹⁴ LV 16 Endfassung Oktober 2011

¹¹⁵ LV 16 Endfassung Oktober 2011

¹¹⁶ ASR 6 Raumtemperatur

¹¹⁷ LV 16 Endfassung Oktober 2011

In Arbeitsräumen muss die Lufttemperatur respektive die operative Temperatur in Abhängigkeit von der Arbeitsschwere und Körperhaltung mindestens den Werten der Tabelle 2 entsprechen, wobei diese Temperatur während der gesamten Arbeitszeit zu gewährleisten ist. Die Obergrenze beträgt 26°C. Diese darf nur in Ausnahmefällen überschritten werden¹¹⁸.

Tabelle 1: Mindestwerte der Lufttemperatur in Arbeitsräumen¹¹⁹

| Überwiegende Körperhaltung | Arbeitsschwere leicht | Arbeitsschwere mittel | Arbeitsschwere schwer |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sitzen | + 20°C | + 19°C | - |
| Stehen, Gehen | + 19°C | + 17°C | + 12°C |

Die Klassifizierung der Arbeitsschwere wird in der ASR 6 „Raumtemperatur“ folgendermaßen vorgenommen:

Tabelle 2: Arbeitsschwere¹²⁰

| Arbeitsschwere | Beispiel |
|----------------|---|
| Leicht | Leichte Hand-/Armarbeit bei ruhigem Sitzen bzw. Stehen verbunden mit gelegentlichem Gehen |
| Mittel | Mittelschwere Hand-/Arm- oder Beinarbeit im Sitzen, Gehen oder Stehen |
| Schwer | Schwere Hand-/Arm-, Bein- und Rumpfarbeit im Gehen oder Stehen |

Die Tabelle 2 stellt das Verhältnis von Arbeitsschwere und Körperhaltung dar. Ist die Arbeitsschwere „leicht“ und wird die Arbeit bei entsprechender Lufttemperatur ausgeführt, befindet sich der Arbeiter im Behaglichkeitsbereich. In diesem Bereich sind alle auf das Temperaturempfinden einwirkenden Parameter ausgeglichen. Dazu gehören neben den Grundparametern des Raumklimas auch der Bekleidungsisolationswert, der körperliche Aktivitätsgrad, die Akklimatisation und die körperliche Konstitution. Ist einer dieser Parameter bei „leichter“ Arbeitsschwere

¹¹⁸ ASR 6 Raumtemperatur

¹¹⁹ ASR 6 Raumtemperatur

¹²⁰ ASR 6 Raumtemperatur

verändert, so dass der Körper mit erhöhter Kreislaufaktivität reagiert, spricht man bereits von Arbeit im Erträglichkeitsbereich. Liegt die Arbeit in diesem Bereich kann es notwendig sein, Erholungs- bzw. Entwärmung- oder Aufheizzeiten in die Arbeitsintervalle zu integrieren. Ist die Arbeitsschwere als „mittel“ oder „schwer“ eingestuft, besteht bereits eine erhöhte Beanspruchung des Herzkreislaufsystems, die die Integration von Erholungs- bzw. Entwärmung- oder Aufheizzeiten notwendig macht.

Auf das Raumklima haben auch gestalterische Faktoren Einfluss, so sollten „Fenster, Oberlichter und Glaswände je nach Art der Arbeit und der Arbeitsstätte eine Abschirmung der Arbeitsstätten gegen übermäßige Sonneneinstrahlung ermöglichen.“¹²¹ Hierfür ist ein Flächenvorhang ausreichend, soweit er durch Verarbeitung und Materialwahl geeignet ist.

11.2.3.3. Lärm

Lärm ist hörbarer Schall, der den menschlichen Organismus schädigen kann. Bereits bei relativ geringen Schallpegeln kann Lärm als unangenehm empfunden werden. Er kann sich negativ auf die Konzentrationsfähigkeit und die Leistung auswirken.

Ebenso kann er den Organismus in Stress versetzen. In Folge von Lärmeinwirkung kann die Aufmerksamkeit reduziert werden, was zu Fehlreaktionen und verminderter Signalwahrnehmung führen kann. Bei einer längeren Lärmexposition kann es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Die Schädigung des Hörvermögens ist möglich.¹²² Akustische Reize hoher Intensität mit Pegeln über 130 dB(A) können sofort zu Schäden im Innenohr führen.

Schallpegel von über 85 dB(A) über 8 Stunden täglich führen zu einem irreversiblen Verlust der Hörfähigkeit¹²³. Die Messung in Dezibel (A) ist eine Messung mit einem Messgerät, das einen Filter trägt, der den anatomischen Eigenschaften des menschlichen Ohres nachempfunden ist. Das bedeutet, dass die mittleren Frequenzen stärker berücksichtigt werden¹²⁴. Für Werte über 90dB nimmt man normalerweise die C- Kurve¹²⁵.

¹²¹ ArbStattV 3.5 (2)

¹²² <http://www.dguv.de/ifa/de/fac/laerm/index.jsp>

¹²³ <http://www3.imw.tu-clausthal.de/forschung/projekte/EQUIP/studiarbeit/schad.html>

¹²⁴ <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/39547/>

¹²⁵ <http://www.sengpielaudio.com/BerechnungDerBewertungsfilter.pdf>

Für die Beurteilung eines lärmexponierten Arbeitsplatzes gelten folgende Auslösewerte in Bezug auf den Tages- Lärmexpositionspegel und den Spitzenschalldruckpegel:

1. Obere Auslösewerte: $L(\text{tief})EX,8h = 85 \text{ dB(A)}$ bzw. $L(\text{tief}) pC,peak = 137 \text{ dB(C)}$
2. Untere Auslösewerte: $L(\text{tief})EX,8h = 80 \text{ dB(A)}$ bzw. $L(\text{tief}) pC,peak = 135 \text{ dB(C)}$

Keine Berücksichtigung findet der persönliche Gehörschutz bei der Anwendung der Auslösewerte. Der untere Auslösewert ist jener, bei dem Gehörschutz bereitgestellt werden muss. Der obere Auslösewert ist derjenige Wert, bei dessen Erreichen die Pflicht besteht, einen geeigneten Gehörschutz zu tragen¹²⁶.

Die Auslösewerte: $L(\text{tief})EX, 8h = 80/85 \text{ dB}$ sind die gemittelten gemessenen Werte über 8 Stunden. Sie umfassen alle Schallereignisse, die am Arbeitsplatz auftreten. Die Spitzenschalldrücke $L(\text{tief}) pC,peak = 135/137 \text{ dB}$ sind die Höchstwerte des momentanen Schalldruckpegels.

11.2.3.4. Bedien- und Verkehrsflächen

„Bedien- und Verkehrsflächen müssen ausreichend bemessen sein“¹²⁷. Diese Forderung aus der BGI 850-0 wird in der DIN 14056 konkretisiert. Steharbeitsplätze müssen mindestens 1,45m aufweisen, um ein sicheres und behinderungsfreies Arbeiten zu gewährleisten. Die Abstände sind zu vergrößern, wenn beispielsweise sich zwei Abzüge gegenüberstehen oder besondere Arbeitsbedingungen vorliegen z.B. erhöhte Brand oder Explosionsgefahr. „Reine Verkehrswege ohne Bedienflächen müssen mindestens 0,90m breit sein“¹²⁸.

11.2.3.5. Flucht und Rettungswege

Flucht- und Rettungswege haben nach BGR 120 den örtlichen Gegebenheiten entsprechend beschaffen zu sein, sowie den im Labor zur Anwendung kommenden Arbeitsverfahren angemessen gestaltet zu sein. In der Arbeitsstättenrichtlinie A2.3 heißt es „Den ersten Fluchtweg bilden die für die Flucht und Rettung erforderlichen Verkehrswege und Türen, die nach dem Bauordnungsrecht notwendigen Flure und Treppenträume für notwendige Treppen sowie die Notausgänge“.¹²⁹ Des Weiteren sind in der ASR A2.3 die maximal erlaubten Längen für Fluchtwege angegeben.

¹²⁶ LärmVibrationsArbSchV §8 Abs. (1), (3)

¹²⁷ BGI 850-0

¹²⁸ TRGS 526

¹²⁹ ASR A2.3

„Diese beziehen sich auf die Luftlinie, die tatsächliche Länge darf jedoch das 1,5-fache der Luftlinie nicht überschreiten“ (ASR A2.3 S.3 und S.6). Die zulässige Fluchtweglänge darf 25m nicht überschreiten wenn es sich um einen brandgefährdeten Raum handelt der über keine selbsttätige Feuerlöscheinrichtung verfügt¹³⁰. Die für Fluchtwege erlaubte Lichte Höhe beträgt 2,00m abzüglich 0,05m an den Türen¹³¹.

11.2.3.6. Türen

In der BGR 120 ist nachfolgendes formuliert: „Türen von Laboratorien müssen nach außen aufschlagen und aus Gründen des Personenschutzes mit einem Sichtfenster ausgerüstet sein“.¹³² Des Weiteren formuliert die Arbeitsstättenrichtlinie 10/1 Türen, Tore in Punkt 4.2 das „Türen und Tore von Räumen, bei denen die Gefahr besteht, das gesundheitsgefährliche Gase, Dämpfe, Nebel, Stäube entstehen oder gesundheitsgefährliche Flüssigkeiten austreten können, müssen dicht schließen.“¹³³ Die ASR A2,3 verlangt das „Türen im Verlauf von Fluchtwegen und Notausstiege müssen sich leicht und ohne besondere Hilfsmittel öffnen lassen(...)“¹³⁴.

11.2.3.7. Fußböden

„Fußböden oder deren Beläge sowie hindurchgehende Leitungsdurchführungen müssen wasserdicht sein.“¹³⁵. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, damit verschüttete Substanzen nicht vor der Beseitigung unbemerkt im Fußboden versickern können“. Es wird empfohlen für den Umgang mit Chemikalien keramische Fliesenböden zu verwenden, da diese die höchste Beständigkeit gegenüber Chemikalien aufweisen. Bei Umgang mit Epoxidharz- Systemen ist die Lösemittelbeständigkeit relevant, dies gewährleisten keramische Fliesenböden. Die Fußböden sollten keinen Bodenabfluss aufweisen Die Arbeitsstättenverordnung verlangt in §3 Absatz 1, 1.5 „Die Fußböden der Räume dürfen keine Unebenheiten, Löcher, Stolperstellen oder gefährlichen Schrägen aufweisen. Sie müssen gegen Verrutschen gesichert, tragfähig, trittsicher und rutschhemmend sein.“¹³⁶

¹³⁰ ASR A2.3 5 Anordnung, Abmessungen (2)

¹³¹ ASR A2.3

¹³² BGR 120 3.1.3 Türen

¹³³ ASR 10/1, 4.2

¹³⁴ ASR A2,3 S.7

¹³⁵ BGR 120 6.2.4 Fußböden

¹³⁶ ArbStättV §3 Abs.1, 1.5

11.2.3.8. Arbeitstische

„Arbeitstische müssen hinsichtlich Werkstoff und Konstruktion so beschaffen sein, dass sie den vorgesehenen betrieblichen Beanspruchungen standhalten.

Insbesondere sollen Arbeitsflächen von Labortischen und Abzügen mit einem flüssigkeitsdichten Belag und mit einem Randwulst versehen sein.(...)“¹³⁷.

11.2.3.9. Schalter und Steckdosen

Schalter und Steckdosen an Labortischen sollen oberhalb der Arbeitsfläche installiert sein, oder, falls sie unterhalb der Tischplatte angebracht sind, so weit zurückgesetzt sein, dass sie bei auslaufenden oder verspritzenden Flüssigkeiten keine Gefahrenquelle darstellen¹³⁸.

11.2.3.10. Körpernotduschen

Generell müssen in Laboratorien mit Wasser (...)gespeiste Körpernotduschen am Ausgang installiert sein. Sie sollen alle Körperzonen sofort mit ausreichenden Wassermengen überfluten können. Hierfür sind mindestens 30L Wasser pro Minute erforderlich“¹³⁹. Dies ist notwendig, um bei der Entzündung von leicht entzündlichen Chemikalien ausreichend Sicherheit zu gewährleisten. Mit Brandgefahr ist insbesondere zu rechnen, wenn bei Tätigkeiten mit Epoxidharzen am Arbeitsplatz brennbare Lösemittel verwendet werden¹⁴⁰

Speziell für den Umgang mit Epoxidharzen gilt, dass beim Arbeiten mit Epoxidharz-Systemen Einrichtungen vorhanden sein müssen, die es ermöglichen, bei Hautkontakt die kontaminierten Körperstellen umgehend ca. 5 Minuten intensiv mit fließendem Wasser zu spülen¹⁴¹. Werden nur geringe Mengen Epoxidharz verwendet, ist es ausreichend einen Waschplatz zur Verfügung zu stellen¹⁴².

11.2.3.11. Augennotduschen

Beim Umgang mit Epoxidharzen an stationären Arbeitsplätzen müssen fest installierte Augennotduschen mit Trinkwasseranschluss in ausreichender Zahl, leicht erreichbar und gekennzeichnet vorhanden sein¹⁴³. Die BGR 120 formuliert die Forderung nach Augennotduschen wie folgt:

„In Laboratorien müssen – möglichst im Bereich der Körperdusche oder am Ausgussbecken – mit Wasser von Trinkwasserqualität gespeiste Augennotduschen

¹³⁷ BGR 120 6.4.1 Arbeitstische

¹³⁸ BGI 850-0 6.7.3.1

¹³⁹ BGR 120 6.6.1

¹⁴⁰ BGR 227 5.3.2.2.1

¹⁴¹ BGR 227 5.7.2

¹⁴² BGR 227 5.3.1.9

¹⁴³ BGR 227 5.3.1.9

so installiert sein, dass diese von jedem Arbeitsplatz aus unverzüglich erreichbar sind. Sie sollen beide Augen sofort mit ausreichenden Wassermengen spülen können.“¹⁴⁴ Ist es nicht möglich fest installierte Augennotduschen im Labor zu installieren, sind Augenspülflaschen bereitzuhalten. Diese sind jedoch lediglich als Notbehelf anzusehen und daher nur in Ausnahmefällen zu verwenden¹⁴⁵.

11.2.3.12. Absaugung

Arbeitsverfahren bei denen gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe frei werden, sind dem Stand der Technik entsprechend so zu gestalten, dass dies vermieden wird¹⁴⁶. Hierfür ist maschinelle Lüftung notwendig. Hierunter versteht man die Förderung der Luft durch Strömungsmaschinen. Es bestehen verschiedene Arten der maschinellen Lüftung.

Näher betrachtet werden die „örtlichen maschinellen Luftabführungen“ die üblicherweise über den Gefahren- Arbeitsplätzen montiert sind. Diese Formen der Luftabführung nennt man „Erfassung der Luftverunreinigung“, dabei werden die Luftverunreinigenden Schwebeteilchen direkt an der Emissionsquelle mit Hilfe von Erfassungseinrichtungen und einem Luftstrom abgesaugt¹⁴⁷. Hinzu kommt die Absaugung in den Digestorien mittels laminarer Strömung. Besonders bei Arbeiten von mehreren Personen mit Epoxiden ist eine Absaugung mit aufgesetztem Flansch durch seine größere Erfassungsfläche und die geringe Empfindlichkeit gegen Querströmungen geeignet. Es gilt aber zu berücksichtigen, dass die in Laboratorien verwendeten Mengen an Epoxidharzen häufig gering sind. Kleine Mengen bis zu 0,5L Epoxidharz machen Absaugungen und andere technische Schutzmaßnahmen nicht erforderlich. Die gelegentliche Verwendung von so geringen Mengen ist als unbedenklich einzustufen.¹⁴⁸

11.2.3.13. Bindemittel

Bei Kontamination durch Epoxidharz sollten die ausgelaufenen oder verschütteten Harze mit geeigneten Bindemitteln z.B. Blähglimmer, Kieselgur oder Sand aufgenommen werden. Hautkontakt ist hierbei zu vermeiden .

¹⁴⁴ BGR 120 6.6.2

¹⁴⁵ BGR 227 5.3.1.9

¹⁴⁶ GefStoffV §19

¹⁴⁷ BGR 121 Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen

¹⁴⁸ BGR 227 6.2.2.4

11.2.4. Messgrößen, Messgeräte und Messbedingungen

Um das Klima im Labor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften bestimmen zu können, wurden folgende Messungen vorgenommen:

- Temperatur in °C
- Relative Luftfeuchte in %
- Beleuchtungsstärke in Lux
- Windgeschwindigkeit unter dem Abzug in m/s
- Schallpegel bei eingeschaltetem Kompressor in db (A)

Die zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ordnungsgemäß eingesetzten Messgeräte sind nachfolgend aufgeführt.

- Testo 610 Feuchte/Temperatur- Messgerät
- Testo 540 Beleuchtungsstärke- Messgerät
- Testo 405 V1 Aneometer
- Voltcraft SL- 200 Schallpegelmesser
- Canon A 710 IS PowerShot Digitalkamera

Es sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisdarstellung den Charakter einer Momentaufnahme hat, dem nur das zweistündige Zeitfenster der Gefährdungsbeurteilungsdauer zugrunde liegt. Um repräsentativere Aussagen treffen zu können, müssten Langzeitmessungen durchgeführt werden, speziell im Bezug auf die Raumtemperatur und die Beleuchtungsstärke.

Der Arbeitsvorgang des Handlaminiertens der eigens zum Zwecke der Gefährdungsbeurteilung von der wissenschaftlichen Mitarbeiterin Frau Bohnert durchgeführt wurde, wurde fotografisch dokumentiert. Die Chemikalien, die zum Einsatz kamen, wurden dokumentiert, und die Sicherheitsdatenblätter der Chemikalien für die Auswertung herangezogen.

11.2.5. Persönliche Schutzausrüstung

Die persönliche Schutzausrüstung findet generell nur Anwendung, wenn sich die Gefährdung am Arbeitsplatz nicht durch organisatorische und technische Schutzmaßnahmen ausschließen lässt. Kann die Gefährdung nicht ausgeschlossen werden, muss der Arbeitgeber die persönliche Schutzausrüstung unverzüglich

bereitstellen.¹⁴⁹ Als ständige Maßnahmen zur Prävention ist die Nutzung von persönlicher Schutzausrüstung jedoch nicht zulässig.¹⁵⁰

§ 2 Bereitstellung und Benutzung der PSA- BV lautet: „(1) Unbeschadet seiner Pflichten nach den §§ 3, 4 und 5 des Arbeitsschutzgesetzes darf der Arbeitgeber nur persönliche Schutzausrüstungen auswählen und den Beschäftigten bereitstellen, die

1. den Anforderungen der Verordnung über das Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen entsprechen,
2. Schutz gegenüber der zu verhütenden Gefährdung bieten, ohne selbst eine größere Gefährdung mit sich zu bringen,
3. für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sind und
4. den ergonomischen Anforderungen und den gesundheitlichen Erfordernissen der Beschäftigten entsprechen.“¹⁵¹

Besondere Bedeutung beim Umgang mit Epoxidharz- Härter- Systemen kommt der Vermeidung des Hautkontaktes zu. Dieser ist auch zu vermeiden im Umgang mit verschmutzten und kontaminierten Oberflächen und Werkzeuggriffen.¹⁵² In Folge dessen ist bei Tätigkeiten mit Epoxidharzen langärmelige Kleidung zu tragen¹⁵³. Ebenso langbeinige Hosen, die über die Schuhe gehen. Je nach Arbeitsverfahren ist zusätzlich Schutzkleidung, wie ein Overall, Ärmelschoner, Überzieher, Schürzen, Stulpen oder Gamaschen zu tragen¹⁵⁴. Bei dem exemplarisch untersuchten Handlaminierverfahren ist von einer Spritzgefährdung auszugehen, der beispielsweise durch das Tragen von nach EN 13034, Typ 6¹⁵⁵ spezifizierter Schutzkleidung begegnet werden kann. Diese Schutzkleidung ist vor jeder Verwendung auf Beschädigung, Materialversprödung und Kontamination zu prüfen¹⁵⁶.

Ein Augen- und Gesichtschutz ist bei Tätigkeiten mit Epoxidharzen zu tragen, wenn die Gefahr des Verspritzens besteht¹⁵⁷. Dies kann der Fall sein, wenn mit Druckbehältern gearbeitet wird, wie es beim Handlaminiert- Verfahren der Fall ist. An

¹⁴⁹ GefStoffV §9 Abs.2 Satz 4

¹⁵⁰ GefStoffV §9 Abs.3 Satz 2

¹⁵¹ http://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/___2.html

¹⁵² BGR 227 5.5.1

¹⁵³ BGR 227 5.5.3.1

¹⁵⁴ BGR 227 5.5.3.2

¹⁵⁵ EN 13034

¹⁵⁶ BGR 227 5.5.3.3

¹⁵⁷ BGR 227 5.5.4

der Entlüftung wird ein Vakuum erzeugt, um die Gefahr von Lufteinschlüssen zu reduzieren, dabei wird zwischen Kompressor und dem laminierten Werkstoff ein Behälter zur Harzevakuierung geschaltet. Für Arbeiten mit diesem Risiko eignen sich Korbbrillen bzw. Gesichtsschutzschilde. Zum Schutz vor Aerosolen, Dämpfen und Gasen sollten Vollmasken getragen werden¹⁵⁸. Hierfür besteht jedoch bei den geringen Mengen, die in Laboratorien gewöhnlich verwendet werden, kein Bedarf. Ebenso besteht aufgrund der zu erwartenden geringen Mengen nicht die Notwendigkeit des Einsatzes von Atemschutzgeräten. Diese müssten jedoch verwendet werden, wenn an den ausgehärteten Epoxidharz- Formteilen eine mechanische Nachbearbeitung z.B. durch schleifen stattfinden würde. In diesem Fall käme der zu bearbeitenden Menge keine Bedeutung zu, da schon sehr geringe Mengen zu einer Schädigung des Organismus führen können. Schutzhandschuhe werden nachfolgend aufgrund der komplexen Thematik detailliert behandelt.

11.2.6. Schutzhandschuhe

Das Gefahrstoff- Informationssystem der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (GISBAU) empfiehlt keine dünnen Einweghandschuhe zu benutzen, weder aus Latex, aus PVC oder aus Nitril. Auch sind Handschuhe aus Leder oder Textilfasern grundsätzlich nicht geeignet. Nitrilgetränkte Baumwollhandschuhe sind wegen der Dochtwirkung, der durch die Nitrilbeschichtung dringenden Baumwollfasern nur eingeschränkt nutzbar¹⁵⁹. Bei der Benutzung von ungeeigneten Schutzhandschuhen besteht die Gefahr, dass die Permeationsrate von $1\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \times \text{min})$ erreicht wird, die laut DIN EN 374-3 den Durchbruch markiert.¹⁶⁰

Ein Handschuh, der nach DIN EN 374-3 geeignet ist, muss mindestens für 3 von 12 Chemikalien, die in der DIN EN 374 festgelegt sind, eine Durchbruchzeit von 30min aufweisen. Dieses entspricht der Kategorie 2. Die Sicherheitshandschuhe aus dem HAW Labor sind Sicherheitshandschuhe der Kategorie 1. Diese Sicherheitshandschuhe erfüllen die Mindestanforderungen, die an Sicherheitshandschuhe gestellt werden und eignen sich daher z.B. zum Schutz vor Schmutz und/oder um einen Produktschutz gegenüber dem Menschen zu gewährleisten.¹⁶¹ Für den Kontakt mit Epoxiden sind diese Handschuhe jedoch nicht

¹⁵⁸ BGR 227 5.5.4

¹⁵⁹ BGR 227 5.5.2.1

¹⁶⁰ DIN EN 374-3

¹⁶¹ <http://www.machmit-hautfit.de>

geeignet. Sehr wohl ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei der Verwendung von geringen Mengen und bei Arbeiten, die einen direkten Kontakt mit den Epoxiden nicht zwingend erforderlich machen, der Einsatz von Einmalhandschuhen aus Nitrilkautschuk oder nitrilgetränkter Baumwolle durchaus als eine Alternative zu betrachten ist. Insbesondere ist dies als Alternative in Betracht zu ziehen, wenn es sich um Arbeiten handelt, die feinmotorische Fähigkeiten erfordern, die durch dickwandige Nitrilhandschuhe nicht in zufriedenstellender Weise verrichtet werden können¹⁶².

Die DIN EN 374 gilt in Verbindung mit der DIN 420. Die DIN 420 ist eine Grundnorm, die sich nicht explizit mit den schützenden Eigenschaften von Handschuhen befasst, sondern nur zusammen mit den spezifischen Normen für Schutzhandschuhe anzuwenden ist. Sie legt allgemeine Anforderungen an Handschuhe fest, wie z.B. die Größen oder den Widerstand des Handschuhmaterials gegen Wasserdurchdringung¹⁶³. Die DIN EN 374 wiederum legt die Anforderungen fest, die den Benutzer gegen Chemikalien und/ oder Mikroorganismen schützen. Gefährdungen durch mechanische Beanspruchung sind in der DIN EN 388 festgelegt. Die DIN EN 374-1 legt die Terminologie und Leistungsanforderungen für Chemikalien und/ oder Mikroorganismen beständigen Schutzhandschuhs fest. Die DIN EN 374- 2 legt die Bestimmung des Widerstandes gegen Penetration von Chemikalien fest. Der Widerstand gegen Permeation von Chemikalien wird durch die DIN EN 374-3 festgelegt. Bei der Permeationsprüfung wird ein Schutzhandschuh für beständig gegen Chemikalien eingestuft, wenn ein Schutzindex von mindestens Klasse 2 erreicht wird, bei 3 der Prüfchemikalien nach Anhang A der DIN EN 374-3 (siehe Anhang). Der Schutzindex beruht auf der Durchbruchzeit, die die DIN EN 374- 3 vorschreibt. Die tatsächliche Dauer darf jedoch erheblich von diesem Schutzindex abweichen.

Die 3 Kategorien der DIN EN 374 sind:

- Kategorie 1: Handschuhe für anspruchslöse Tätigkeiten mit geringer Gefährdung bei der, der Benutzer den allmählich eintretenden Schaden rechtzeitig wahrnehmen kann.¹⁶⁴

¹⁶² BGR 227 6.2.7

¹⁶³ http://www.vdsi.de/files/60/HP_Normen_fuer_Schutzhandschuhe.pdf

¹⁶⁴ EWG- Richtlinie für persönliche Schutzausrüstung (89/686/EWG)

- Kategorie 2: Handschuhe gegen mechanische, mikroorganische und/oder chemische Gefährdung. Zu dieser Kategorie gehören somit die meisten Handschuhe für den industriellen Gebrauch. Sie unterliegen einer Baumusterprüfung durch ein autorisiertes Prüfinstitut.
- Kategorie 3: Umfasst Handschuhe, die gegen komplexe und irreversible Gefährdung Schutz bieten sollen. Dazu gehören Handschuhe für die Handhabung heißer Teile mit Temperaturen von über 50°C oder für Arbeiten in warmer bzw. kalter Umgebung mit Temperaturen von über 100 °C bzw. unter -50°C, ferner Handschuhe, die gegen Flammen, Flüssigmetallspritzer, aggressive Chemikalien, Mikroorganismen, elektrische Stromstöße oder ionisierende Strahlung schützen sollen. Sie unterliegen einer komplexen Baumusterprüfung und die Herstellung der Handschuhe muss nachweislich aufgrund eines Qualitätssicherungssystems erfolgen.

Einen sicheren Schutz vor der Überschreitung der Permeationsgrenze von $1\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \times \text{min})$ bieten jedoch auch Sicherheitshandschuhe, die der DIN EN 374-3 entsprechen, nicht. Der Grund ist die Prüfmethode, die der DIN EN 374-3 zugrunde liegt. Bei dieser Prüfung werden die permeierten Substanzen mit destilliertem Wasser oder mit synthetischer Luft, die als Trägermedium fungieren, aufgenommen. Dies funktioniert zuverlässig mit Lösemittel bzw. Säuren und Laugen, nicht jedoch mit schwerflüchtigen und hochmolekularen Substanzen, wie es die lösemittelfreien Epoxidharze sind, die nicht ausreichend in Luft und Wasser löslich sind.

Für die zuverlässige Prüfung von Schutzhandschuhen, die bei der Verarbeitung von lösemittelfreien Epoxidharzen verwendet werden sollen, ist ein anderes Prüfverfahren anzuwenden. Die schwerflüchtigen Epoxidharze werden auf einer Sammelscheibe angereichert und anschließend wird die Konzentration, die auf der Scheibe gesammelten Komponenten bestimmt. Als Ergebnis dieser diskontinuierlichen Prüfung erhält man die Stoffmenge, die den Handschuh während der gewählten Prüfdauer durchwandert, diese ist nicht identisch mit der Durchbruchzeit. Sie kann nicht mit einer diskontinuierlichen Prüfung bestimmt werden, sondern nur mit einer kontinuierlichen Prüfung. Diese Prüfmethode ist abgeleitet von der „Prüfmethode für Handschuhe zum Schutz gegen PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) bei Sanierungsarbeiten“, die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erstellt wurde. Bei dieser

Prüfmethode wird auf dem Handschuh eine dünne Schicht Epoxidharz aufgetragen (0,1 bis 0,2g/cm²). Im Inneren des Schutzhandschuhs befindet sich die Sammelscheibe, die alle permeierten Stoffe aufnimmt. Die Testzeit beträgt dabei 8 Stunden. Anschließend wird die Konzentration auf der Sammelscheibe bestimmt. Für diese Prüfmethode liegt der Schwellenwert bei 0,25 µg/cm².

Für Epoxidharze die lösemittelhaltig sind, ist die Prüfmethode nach DIN EN 374-3 anzuwenden, da hier das Lösemittel als Leitsubstanz fungiert. Aufgrund der nicht detektierbaren Substanzen, die sensibilisierende Eigenschaften besitzen, wurde von dem Arbeitskreis für „Schutzhandschuhe für Epoxidharzprodukte“ vom Ausschuss für Gefahrstoffe die Permeationsmenge über 8 Stunden entsprechend der amerikanischen Prüfnorm ASTM F739 von 0,1 µg/(cm² x min) herangezogen. Nach diesen Prüfmethoden wurden verschiedene Schutzhandschuhe von verschiedenen Herstellern getestet. Generelle Empfehlungen, die nach diesem Test für die Auswahl von geeigneten Schutzhandschuhen für den Umgang mit Epoxidharz Produkten getroffen wurden sind folgende:

- Butylhandschuhe sind geeignet, wenn die Schichtdicke mindestens 0,5 mm beträgt
- Nitrilhandschuhe sind geeignet, wenn bei Untersuchungen entsprechend DIN EN 374-3 mit einem lösemittelarmen Produkt die Permeationsrate von 0,1 µg / (cm² x min) gemäß US- Prüfnorm ASTM F739 bei einer Dauerbelastung von 8 Stunden nicht überschritten wird.

Diese Empfehlungen gelten für handelsübliche Epoxidharz- Produkte auf Basis von Bisphenol A/F. Kommen höher konzentrierte Produkte zum Einsatz und/oder größere Produktmengen auf den Handschuh, so dass sich die Quellmenge erhöht, kann die Eignung der Handschuhe nicht mit Sicherheit gewährleistet werden. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass bei warmhärtenden Systemen die Permeation durch die Temperaturerhöhung beschleunigt werden kann.¹⁶⁵

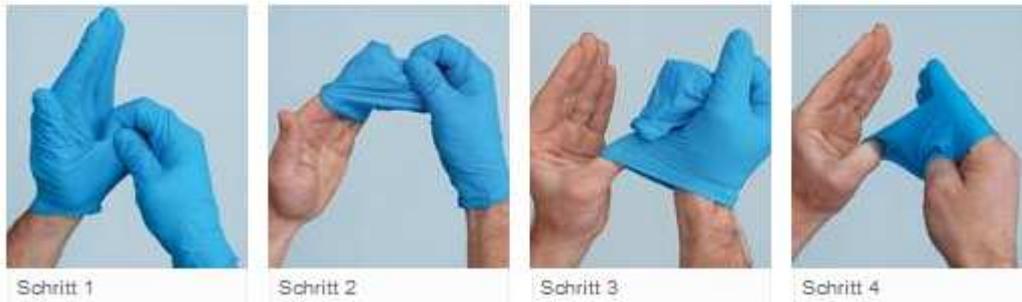
Häufig kommt es zu einem Hautkontakt mit Epoxidharzen, wenn der Handschuh ausgezogen wird. Eine Schulung zum Erlernen des richtigen Handschuhwechsels ist daher durchzuführen. Verunreinigte Handschuhe sollten vor dem Ausziehen

¹⁶⁵http://www.baumaschine.de/fachzeitschriften/baumaschinen/bauportal_dateien/2004/heft9/a592_595.pdf/view

gründlich gereinigt werden. Anschließend wird der erste Handschuh von der Außenseite her angefasst und von der Hand abgezogen. Der zweite Handschuh wird mit der sauberen Hand von der Innenseite her angefasst und anschließend abgezogen¹⁶⁶.

Folgendes Vorgehen ist beim Ausziehen der Schutzhandschuhe zu empfehlen:

1. Zunächst greift eine Hand in die Innenfläche der anderen Hand und hebt den Handschuh an.
2. Die Hand zieht den Handschuh ganz ab und hält ihn fest.
3. Die nicht behandschuhte Hand fasst nun unter die Stulpe der behandschuhten Hand und zieht den Handschuh ebenfalls ab.
4. Am Ende ist der Handschuh umgekrempelt und hält den anderen Handschuh in sich.



11.2.7. Umwelt

Abfälle sind so gering wie möglich zu halten, das bedeutet, dass die Reihenfolge der Zielsetzung „Vermeiden, Verringern, Verwerten“ einzuhalten ist. Um den Abfallanfall so gering wie möglich zu halten, ist auf Mehrweggebinde zurückzugreifen, die restentleert werden sollten. Restentleert ist ein Mehrweggebinde, wenn es tropffrei bzw. rieselfrei ist. Um bei Mehrkomponenten-Produkten auch die Härter, die meist als ätzend eingestuft sind, unschädlich zu machen, kann ein Teil des Harzes in die Härterverpackung gegeben werden. Sobald die Reaktionsharzmasse ausgehärtet ist, verfügt sie über kein Gefährdungspotenzial mehr¹⁶⁷. Die Abfälle sind auch deshalb unschädlich zu machen, da Abfälle die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften nicht von Dritten entsorgt werden, in eine entsorgungsfähige Form zu überführen sind¹⁶⁸. Entstehen Abfälle, die nicht unschädlich gemacht werden können, gilt generell, dass alle Abfälle, die gefährliche Eigenschaften aufweisen entsprechend zu kennzeichnen sind¹⁶⁹. Für die Einstufung wird von der höchsten anzunehmenden Gefahr ausgegangen. Die Kennzeichnungen werden in drei Gruppen eingeteilt:

¹⁶⁶ BGR 227 5.5.2.1

¹⁶⁷ BGI 655

¹⁶⁸ GUV-SR 2005

¹⁶⁹ TRGS 201 3 (1)

- Physikalisch- Chemische Gefahren
- Gesundheitsgefahren
- Umweltgefahren

Aus jeder Gruppe ist in der Regel nicht mehr als eine Gefahrenbezeichnung auszuwählen. Es ist darauf zu achten, dass sich keine Stoffe zusammen in Abfällen befinden, die eine Gefährdung darstellen, wenn sie sich miteinander mischen¹⁷⁰. Bei der Kennzeichnung sind Hinweise auf besondere Gefahren (R- Sätze) anzugeben. Gehen diese Hinweise bereits aus den Gefahrenbezeichnungen hervor, ist es nicht notwendig, diese zusätzlich anzubringen¹⁷¹. Es bestehen zur Kennzeichnung sogenannte Schlüsselnummern, die auf den Abfallbehältern vorhanden sein müssen. Die Schlüsselnummer für Epoxidharze ist 57123, die für Aliphatische Amine 55352¹⁷².

Abfälle, z.B. mit Epoxidharz verunreinigte Tücher, sind in separaten verschließbaren Behältnissen zu sammeln¹⁷³. Enthalten diese kontaminierten Gegenstände eine stoffspezifische Konzentration von über 0,1% ist das Behältnis wie folgt zu kennzeichnen: „Enthält sensibilisierende Stoffe, kann allergische Reaktionen hervorrufen“¹⁷⁴. Durch den Bestandteil Epichlorhydrin besteht die Gefahr der kanzerogenen Wirkung bei nicht vollständig umgesetzten Epoxidharzen. Daher sind die Behälter eindeutig und sichtbar, mindestens mit der Bezeichnung des Stoffes, der Zubereitung und dem Handelsnamen, der chemischen Bezeichnung der krebserzeugenden Stoffe und dem Gefahrensymbol zu kennzeichnen¹⁷⁵. Für die Entsorgung von Epoxidharzen ist es empfehlenswert, die Restmengen an Harz durch Umsetzung in einen unkritischen Feststoff umzuwandeln¹⁷⁶. Sind die Epoxidharz-Produkte ausgehärtet, sind sie keine besonders überwachungsbedürftigen Abfälle mehr und in der Regel wie hausmüllähnlicher Gewerbeabfall zu entsorgen¹⁷⁷. Entscheidend ist, dass Personen die mit den Abfällen in Kontakt kommen können, in geeigneter Weise geschützt werden. Hierfür kann persönliche Schutzausrüstung notwendig sein¹⁷⁸. Des Weiteren ist eine Unterweisung für diese Personen

¹⁷⁰ TRGS 201 4.2

¹⁷¹ TRGS 201 5 (2) 3

¹⁷² BGI 655

¹⁷³ BGR 227 5.3.4.1

¹⁷⁴ TRGS 201 5 7.

¹⁷⁵ TRGS 201 5 4.

¹⁷⁶ BGR 227 5.3.4.1

¹⁷⁷ BGR 227 5.3.4.3

¹⁷⁸ BGR 227 5.3.4.4

vorgeschrieben, diese muss in schriftlicher Form vorliegen¹⁷⁹. „Die Entsorgung gefährlicher Abfälle ist in solchen Zeitabständen vorzunehmen, dass das Aufbewahren, der Transport und das Vernichten dieser Stoffe nicht zu einer Gefährdung führen kann. Die Arbeitsplätze sind mindestens einmal jährlich auf gefährliche Abfälle hin zu überprüfen“¹⁸⁰.

11.3. Messung und Erhebung der Arbeitsbedingungen und Bewertung

Die Begehung des Leichtbaulabors führte zu folgenden Ergebnissen:

11.3.1. Beleuchtung

Die Messung der Lichtstärke wurde an verschiedenen Punkten im Labor gemessen. Bei der Messung der Lichtstärke am Arbeitsplatz wurde das arithmetische Mittel aus 5 Messungen genommen die auf der Arbeitsplatte abgelesen wurden.

Tabelle 3: Lichtmessungen im Leichtbaulabor der HAW am 08.09.2011 an 5 unterschiedlichen Punkten, bei eingeschaltetem Oberlicht und vom Tageslicht gefluteten Raum

| Lichtmessung 1 | Lichtmessung 2 | Lichtmessung 3 | Lichtmessung 4 | Lichtmessung 5 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 382 lx | 384 lx | 381 lx | 378 lx | 375 lx |

Die Messungen im Eingangsbereich wurden in einer Höhe von 0,85m¹⁸¹ gemacht. Tageslicht kann in ausreichendem Maße durch die Fensterfront in den Raum eindringen. Durch den Flächenvorhang kann Blendung durch Tageslicht verhindert werden. Im Leichtbaulabor der Hochschule ist das Beleuchtungsniveau grenzwertig, am Arbeitsplatz wurde ein durchschnittlicher Wert von 380 Lux gemessen. Dies ist ungenügend. Für Laborarbeitsplätze ist ein Wert von 500 Lux empfohlen. Im Eingangsbereich wurde mit 320 Lux ein akzeptabler Wert gemessen.

11.3.2. Klima

Die Temperatur wurde in 0,75m* Höhe¹⁸² mit dem Messgerät Testo 610 gemessen. Die gemessene Temperatur betrug 23,5°C. Dieser Wert ist geeignet, um stehende oder gehende Arbeiten mit leichter Arbeitsschwere zu verrichten. Die

¹⁷⁹ GefStoffV §14 (1)

¹⁸⁰ GUV-SR 2005

¹⁸¹ ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung

¹⁸² ASR 6 Raumtemperatur

Arbeitsstättenrichtlinie 6 definiert für diese Art von Arbeit einen Temperaturbereich von 19°C bis 26°C.

11.3.3. Lärm

Im Labor der HAW waren zum Beobachtungszeitpunkt keine Lärmquellen außerhalb des Labors zu messen. Im Labor selbst kann nur der Kompressor als Lärm emittierende Einheit identifiziert werden. Bei eingeschaltetem Kompressor wurde ein Wert von 67 dB(A) gemessen.

11.3.4. Bedien- und Verkehrsflächen

Im HAW Labor wird im Stehen gearbeitet, daher sind alle Arbeitsplätze als solche zu bewerten. Die 1,45m werden an keinem der Arbeitsplätze eingehalten. Den größten Platz mit 1,33m Abstand zwischen Arbeitstisch und Schrank/ Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier bietet der Arbeitsplatz der gegenüber der Fensterfront liegt. Jedoch bietet auch dieser nicht die notwendigen 1,45m. Für den Umgang mit Epoxidharzen ist keiner der Arbeitsplätze im Labor geeignet.

11.3.5. Flucht und Rettungswege

Das HAW Leichtbaulabor ist direkt an einen Fluchtweg angeschlossen, genügt also den Anforderungen für die zulässige Fluchtweglänge als auch für die für Fluchtwege erlaubte Lichte Höhe von 2,00m abzüglich 0,05m an Türen auf Fluchtwegen.

11.3.6. Türen

Die Tür des Leichtbaulabors ist nicht mit einem Sichtfenster ausgestattet, Darüber hinaus ist die Tür nicht geeignet, um den Raum adäquat gegen Gase, Dämpfe und Stäube abzudichten. Die Leichtgängigkeit der Tür ist gewährleistet.

11.3.7. Fußböden

Der Fußboden im Leichtbau Labor der HAW besteht aus Steinfliesen mit Zementfugen. Es ist kein Abfluss vorhanden. Der Fußboden weist keine Unebenheiten, Löcher, Stolperstellen oder gefährliche Schrägen auf. Die Dichtigkeit ist gewährleistet.

11.3.8. Arbeitstische

Der Arbeitstisch im Leichtbaulabor der HAW hat keinen Randwulst. Er hat jedoch eine beschichtete Oberfläche die flüssigkeitsabweisend ist. Im Falle einer Kontamination ist der Arbeitstisch leicht zu reinigen.

11.3.9. Schalter und Steckdosen

Die zur Verfügung stehenden Steckdosen sind in Bodennähe installiert und machen so die Verwendung einer Verlängerungsschnur notwendig. Im Falle der Arbeit mit Epoxidharzen, speziell dem vorgestellten Verfahren des Handlaminierens, wird ein Kompressor benutzt, der die Verwendung einer Verlängerungsschnur notwendig macht. Dies birgt das Risiko, das während der Arbeit im Labor über die Verlängerungsschnur gestolpert werden kann. Somit wird der Arbeitsstättenverordnung nicht genügt, auch wenn die Verlängerungsschnur nicht als fester Bestandteil des Fußbodens gelten kann.



Abbildung 25: Verlängerungsschnur für den Kompressor

11.3.10. Körpernotduschen

Im Labor sind keine Körpernotduschen installiert. Auch ist kein Wasseranschluss im Labor vorhanden. Der dem Labor am dichtesten gelegene Wasseranschluss befindet sich im Nebenraum. Bei den Tätigkeiten im Umgang mit Epoxidharzen wird Epichlorhydrin benutzt. Dieses ist entsprechend der Einstufung des GHS eine entzündbare Chemikalie der Kategorie 3. Daher besteht Bedarf nach Körpernotduschen im Leichtbaulabor der HAW.

11.3.11. Augennotduschen

Im Labor befinden sich keine Augennotduschen. Bei den Arbeiten im Labor kommt Bisphenol A zum Einsatz. Bisphenol A ist nach der Einstufung des GHS eine Chemikalie, die schwere Augenschädigungen der Kategorie 1¹⁸³ hervorrufen kann. Die Notwendigkeit für Augennotduschen besteht daher unabhängig von der eingesetzten Stoffmenge, da auch geringe Mengen von Bisphenol A zu irreversiblen Schäden an den Augen führen können.

¹⁸³ GESTIS Stoffdatenbank Bisphenol A

11.3.12. Absaugung

Im HAW Labor befinden sich „örtliche maschinelle Luftabführungen“, zum einen über dem Arbeitstisch, zum anderen am Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier. Die Luftabsaugung über dem Arbeitstisch ist ein Saugrohr mit Flansch. Die Absaugung ist an einem beweglichen Arm befestigt, so dass die Absaugung exakt über die Quelle gebracht werden kann.



Abbildung 26 zeigt die bewegliche Absaugung über dem Arbeitstisch. Mit Hilfe der Gelenke kann die Absaugung direkt über die Quelle gebracht werden.

Abbildung 26: Bewegliche Absaugung über dem Arbeitstisch



Abbildung 27: Der Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier des Leichtbaulabors der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Die Absaugung über dem Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier ist eine laminare Strömung. Die Messungen im Labor der HAW haben ergeben, dass die Absaugvorrichtungen keine mit dem Testgerät „Testo 405 V1 Aneometer“ messbaren Luftströme generieren können. Die Ursache hierfür ist unklar und wäre rein

spekulativ. Für die Beurteilung des konkreten Labors ist diese Situation jedoch ohne Folgewirkung, da die im Labor verwendeten Mengen an Epoxidharzen gemäß der zur Verfügung stehenden Unterlagen maximal 0,33L betragen und somit unterhalb von 0,5L, die die Grenzmenge für die Notwendigkeit von Absaugungseinrichtungen laut BGR 227 6.2.2.4 markiert. Werden im Rahmen von Projektaktivitäten die Mengen über 0,5L erhöht, müssen die Absaugungseinrichtungen unverzüglich wieder instandgesetzt werden, da ansonsten der folgenfreie Umgang mit den Epoxiden nicht mehr gewährleistet ist.

11.3.13. Bindemittel

Ein geeignetes Bindemittel für Epoxidharzkontamination ist im Leichtbaulabor nicht vorhanden.

11.4. Tätigkeitsbeschreibung des Handlaminierverfahrens

Für die Herstellung eines Epoxidharzwerkstücks wird eine Fasermatrix benötigt, Epoxidharz sowie der Härter. Des Weiteren benötigt man ein Trennmittel. Die Komponenten sind in einem Sicherheitsschrank verwahrt, der im Nebenraum steht. Harz und Härter sind in Kanistern verpackt, die je 5kg enthalten. Diese müssen für die Anfertigung eines Formteils aus Epoxidharz in das Labor gebracht werden. Der erste Schritt ist der Zuschnitt der Fasermatrix. Hierbei trägt der Beschäftigte einen Handschuh der vor Schnittverletzungen schützt. Als Werkzeug dient ein handelsübliches Teppichmesser. Ein Geodreieck findet Verwendung um einen geraden Schnitt zu ermöglichen.



Abbildung 28: Abtrennen der Fasermatrix von der Rolle und anschließender Zuschnitt

Im zweiten Schritt wird das Harz mit dem Härter vermischt. Es ist notwendig genau zu messen und entsprechend sorgfältig beim Mischen vorzugehen, zum Messen wird eine Waage verwendet. Im Anschluss wird mit einem Spatel umgerührt. Bei nicht Einhaltung des Mischungsverhältnisses wird das Epoxidharz nicht die gewünschten Eigenschaften aufweisen.



Abbildung 29: Mischvorgang von Harz und Härter

Der dritte Schritt ist das Vakuumziehen, dazu wird der Becher mit dem Harz in einen Vakuumbehälter gestellt und ca. 10- 15 Minuten einem Unterdruck ausgesetzt. Dieses Verfahren dient dazu, die beim Rühren entstandenen Luftbläschen aus der Reaktionsharzmasse zu entfernen. Zwischen dem zweiten und dem dritten Schritt müssen die Handschuhe gewechselt werden um Kontaminationen zu vermeiden.

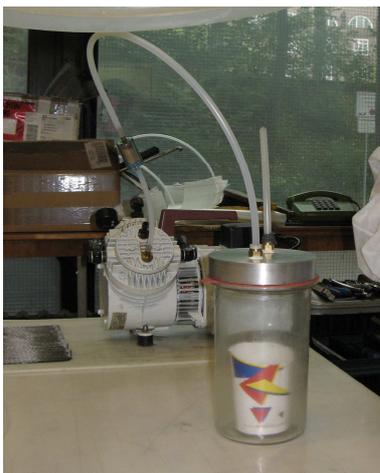


Abbildung 30: Vakuumziehen

Im vierten Schritt wird die Fasermatrix mit der Reaktionsharzmasse mit Hilfe einer Rolle eingestrichen. Die Unterlage wird mit einem Trennmittel bestrichen, um die Fasermatrix nach dem Aushärten problemlos von der Unterlage trennen zu können. Die Unterlage dient hier auch der Formgebung.



Abbildung 31: Einstreichen der Unterlage mit dem Trennmittel

Der fünfte Schritt ist das Abdecken der mit Reaktionsharzmasse eingestrichenen Fasermatrix mit einer perforierten Folie, der sogenannten Lochfolie. Diese ermöglicht ein Abfließen der überschüssigen Reaktionsharzmasse. Die Lochfolie wird mit einem Vlies abgedeckt, die die überschüssige Reaktionsharzmasse aufnimmt und später ein „Atmen“ bei der Vakuumherzeugung ermöglicht. Der gesamte Aufbau wird in eine Folientüte gesteckt.

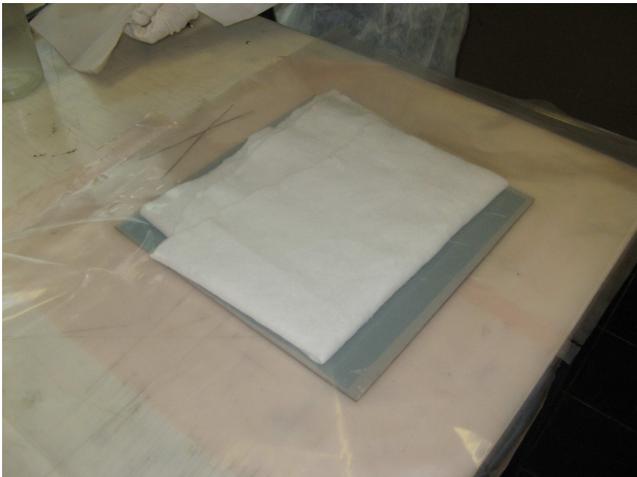


Abbildung 32: Fasermatte zwischen Unterlage und Lochfolie abgedeckt mit einem Vlies und einer Folientüte

Beim sechsten Schritt wird die Folientüte mit Acrylpaste hermetisch verschlossen. Der Luftschlauch des Kompressors wird mit eingestrichen, er generiert nun ein stetiges Druckgefälle in der Folie. Der Aufbau muss nun 12 Stunden lang kontinuierlich das Vakuum aufrechterhalten, um ein vollständiges Härten des Formteils zu gewährleisten.



Abbildung 33: Fasermatten- Lochfolien- Vlies- Sandwich in einer hermetisch verschlossenen Folie mit Vakuumpumpen Anschluss zur Aushärtung des Epoxidformteils

11.5. Umwelt

Im Labor der HAW ist ein Metalleimer für die Entsorgung von Öl- und lösemittelhaltigen Lappen vorhanden. Ein Behältnis mit den für Epoxidharzrückstände höher 0,1% stoffspezifische Konzentration, nötigen Beschriftungen ist nicht existent. Ebenso wenig ist ein Behältnis für Epoxidharzrückstände geringerer Stoffspezifischer Konzentration ohne Beschriftung vorhanden.



Der Metalleimer im Labor der HAW. Er steht zwischen dem Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier und dem Schrank.

Abbildung 34: Metalleimer

11.6. Bewertung der Schutzausrüstung

Die zur Verfügung gestellten persönlichen Schutzausrüstungsartikel sind im Bezug auf die potenziellen Gefährdungen teilweise ungeeignet. Dieses betrifft den Polypropylen Overall, der nicht die nötige Gefahrstoffresistenz verfügt. Die

Schutzbrillen sind unter der Annahme, dass es nur um die einmalige Abwehr von Spritzern geht, akzeptabel.

Auf Handschuhe wird aufgrund der besonderen Relevanz im folgenden Gliederungspunkt separat eingegangen.

11.7. **Schutzhandschuhe**

Im Leichtbaulabor der HAW kommen beim Umgang mit Epoxidharzen, sowie mit den Härtern, Handschuhe des Herstellers HYGO STAR aus Nitril zum Einsatz.

Nitrilkautschuk- Handschuhe sind nicht uneingeschränkt verwendbar, da ihre Qualität stark mit dem verwendeten Nitrilkautschuk verbunden ist.



Abbildung 35: Nitrilhandschuhe der Firma HYGO STAR

Die im Labor der HAW verwendeten Schutzhandschuhe der Firma HYGO STAR tragen den Hinweis auf die DIN EN 374-3 nicht.

Dem Sicherheitsdatenblatt des Epoxidharz L20 der Firma R&G, welches im Labor regelmäßig zum Einsatz kommt, ist zu entnehmen, dass

Chemikalienschutzhandschuhe benützt werden sollten, die der DIN EN 374-3 entsprechen. Die Schutzhandschuhe der Firma HYGO STAR erfüllen lediglich die Anforderungen der DIN 420.

12. Methodenkritik

Generell ist festzustellen, dass die Datenlage zum konkret betrachteten Labor auf einer Momentaufnahme beruht, die ausschließlich das Handlaminierverfahren zu studentischen Übungszwecken abbildet. Es ist zwar davon auszugehen, dass dieses Verarbeitungsverfahren diejenige Tätigkeit mit Epoxidharzen im Labor ist, die das größte Gefährdungspotenzial birgt. Jedoch ist bekannt, dass darüber hinaus Projektarbeiten im Labor stattfinden, bei denen insbesondere die eingesetzten Stoffmengen und die Verweildauer der dort Beschäftigten im Hinblick auf die Gesundheitsgefährdung ungünstigere Werte annehmen können. Aus diesem Grund werden die entsprechenden Parameter mit Bezugnahme auf ihre mögliche Abweichung mit Korrekturfaktoren in der Gefährdungs- Belastungstabelle belegt. Dieses erfolgt immer dann, wenn aus dem Kausalzusammenhang bei der bekannten Labornutzung durch Projektteams der plausible Eindruck entsteht, dass ein größeres Risiko vorliegen kann als in der Momentaufnahme beobachtet. In der Ergebnisbetrachtung wird diese Überlegung berücksichtigt sowie für jeden Einzelfall erläutert. Die Kategorisierung erfolgt immer aufgrund anzunehmender Wahrscheinlichkeiten und Folgeschweren.

Das im Labor beobachtete Handlaminierverfahren wurde von erfahrenen Fachkräften durchgeführt. Somit ist kein direkter Rückschluss auf das in der Praxis vorhandene Verhalten der Studenten im Labor möglich. Die vorliegende Arbeit setzt daher in der Gefährdungsbeurteilung voraus, dass alle im Labor tätigen Personen die angebotene Sicherheitsausrüstung und Schutzkleidung ordnungsgemäß einsetzen.

Bei der Auswertung der zur Verfügung gestellten Versuchsprotokolle aus dem HAW Labor war anhand der von den Studenten angefertigten Bilder ersichtlich, dass dort mehrfach die Unterarme nackt waren während mit Epoxidharzen hantiert wurde. Ein Bild zeigt eine Hand, die keine Schutzhandschuhe trägt und mit einem Vakuumbehälter hantiert. Es bestehen daher berechnete Zweifel an der konsequenten Umsetzung der Sicherheitsbelehrung, die laut Aussage der Wissenschaftlichen Mitarbeiter jedem Studenten vor der Praktischen Tätigkeit im Labor zuteil wird.

13. Ergebnisdarstellung und Handlungsempfehlung

Das Labor der HAW weist an verschiedenen Punkten Mängel bezüglich der Tätigkeiten mit Epoxidharzen auf. Die nachfolgende tabellarische Darstellung nennt und charakterisiert die einzelnen Gefährdungs- und Belastungsfaktoren ausgehend vom Handlaminierverfahren. Eine Gewichtung wird mittels der Risikomatrix nach Nohl vorgenommen. Ausgehend von dieser wird eine Handlungsempfehlung bestimmt.

| Gefährdungs/ Belastungsfaktor | Soll- Zustand | Ist- Zustand | Maßnahmen und Priorität | Bewertungsfaktor gemäß Risikomatrix nach Nohl | Verantwortliche/ Umzusetzen bis |
|-------------------------------|--|--|--|---|---------------------------------|
| Bedien- und Verkehrsflächen | Bedien- und Verkehrsflächen müssen ausreichend bemessen sein. | Genügen nicht den Anforderungen. | Kleinerer Arbeitstisch | 2 Geringe Wahrscheinlichkeit, leichte Auswirkung | |
| Flucht- und Rettungswege | In Laboratorien müssen unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, der verwendeten Stoffe und Arbeitsverfahren Rettungswege und Ausgänge in ausreichender Zahl vorhanden sein. | Genügen den Anforderungen. | Keine. | Nicht anwendbar | |
| Türen | Türen von Laboratorien müssen in Fluchrichtung aufschlagen und mit einem Sichtfenster ausgerüstet sein. | Die Tür öffnet nicht in Fluchrichtung. Es ist kein Sichtfenster vorhanden. | Neue Tür einbauen, oder vorhandene Tür modifizieren Maßnahme erforderlich | 3 Geringe Wahrscheinlichkeit, mittelschwere Auswirkungen. | |
| Fußböden | Fußböden oder deren Beläge sowie hindurchgehende Leitungsdurchführungen müssen wasserdicht sein. | Genügen den Anforderungen. | keine | Nicht anwendbar | |
| Absaugung | Laboratorien müssen mit ausreichenden, jederzeit wirksamen technischen Lüftungseinrichtungen ausgerüstet sein. | Genügen nicht den Anforderungen | Wieder- Instandsetzung der Absaugungen, Hohe Priorität | 4 Mittlere Wahrscheinlichkeit, mittelschwere Folgewirkung | |
| Arbeitstische | Arbeitstische müssen hinsichtlich Werkstoff und Konstruktion so beschaffen sein, dass sie den vorgesehenen betrieblichen Beanspruchungen standhalten. | Genügen den Anforderungen | Keine | Nicht anwendbar | |
| Augennotduschen | Augennotduschen mit Wasser in Trinkwasserqualität müssen in Laboratorien vorhanden sein | Genügen nicht den Anforderungen | Augennotduschen installieren, höchste Priorität. | 5 Mittlere Wahrscheinlichkeit, schwere Auswirkungen | |
| Körpernoteuschen | In Laboratorien müssen mit Wasser- möglichst von Trinkwasserqualität gespeiste Körpernotduschen am Ausgang installiert sein. | Genügen nicht den Anforderungen | Körpernoteuschen installieren hohe Priorität | 4 Sehr geringe Wahrscheinlichkeit, katastrophale Auswirkung | |
| Schalter und Steckdosen | Schalter und Steckdosen an Labortischen sollen oberhalb der Arbeitsfläche installiert sein, oder, falls sie unterhalb der Tischplatte angebracht | Genügen nicht den Anforderungen | Müssen gegen möglichst oberhalb liegende Steckdosen ausgetauscht werden. Hohe | 4 Mittlere Wahrscheinlichkeit, mittelschwere Folgewirkung | |

| | | | | | |
|------------------------------|--|---|--|---|--|
| | sind, so weit zurückgesetzt sein, dass sie bei auslaufenden oder verspritzenden Flüssigkeiten keine Gefahrenquelle darstellen. | | Priorität | | |
| Persönliche Schutzausrüstung | Schutzkleidung, wie ein Overall, Ärmelschoner, Überzieher, Schürzen, Stulpen oder Gamaschen sind zu tragen, gleiches gilt für Schutzbrillen | Der zur Verfügung gestellte Overall ist ungeeignet. Die Schutzbrille ist geeignet | Geeigneter Overall ist zur Verfügung zu stellen. Hohe Priorität | 4 Geringe Wahrscheinlichkeit, schwere Auswirkung | |
| Schutzhandschuhe | Für den Umgang mit Epoxidharzen ist geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen. | Die zur Verfügung gestellten Handschuhe genügen den Anforderungen nicht | Geeignete Handschuhe müssen zur Verfügung gestellt werden. Höchste Priorität | 6 Hohe Wahrscheinlichkeit, schwere Auswirkung | |
| Beleuchtung | Mindest-Beleuchtungsstärke im Labor sind 300lx, für Laborarbeitsplätze sind 500lx vorzusehen | Genügen nur teilweise den Anforderungen. Die Beleuchtung am Arbeitsplatz ist zu verbessern. | Geeignete Leuchtmittel zur Verfügung stellen. | 2 Geringe Wahrscheinlichkeit, leichte Auswirkung | |
| Klima | Für die Tätigkeiten im Labor muss die Temperatur zwischen 19°C und 26°C liegen. Der Behaglichkeitsbereich für die relative Luftfeuchte liegt zwischen 30% und 70% | Genügt den Anforderungen | Keine | Nicht anwendbar | |
| Lärm | Die Untere Auslöseschwelle beträgt 135 dB(A), die Obere 137 dB(A) für den Spitzenschalldruck. Die Unter Auslöseschwelle beträgt 80 dB(A), die Obere 85 dB(A) für die EX 8h | Genügt den Anforderungen | keine | Nicht anwendbar | |
| Umwelt | Epoxidharze sind in separaten verschließbaren Behältnissen zu sammeln. Ist die stoffspezifische Konzentration höher als 0,1% ist das Behältnis entsprechend zu kennzeichnen. | Genügt nicht den Anforderungen | Bereitstellung von entsprechend gekennzeichneten Abfallbehältern Hohe Priorität | 4 Mittlere Wahrscheinlichkeit, mittelschwere Auswirkung | |

Ausgehend von dieser Analyse ergeben sich unterschiedlich zu gewichtende Prioritäten. Für die identifizierten Prioritätsklassen werden folgende Maßnahmen konkret dargestellt:

Höchste Priorität

Mit höchster Priorität sind die Schutzhandschuhe zu betrachten. Diese stellen die erste Schnittstelle zwischen Gefahrstoff und beschäftigter Person dar. Bei dem Handlaminierverfahren ist die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination mit dem Gefahrstoff als höchstwahrscheinlich anzunehmen, da mannigfaltige Kontaktquellen bestehen, in Form von kontaminierten Arbeitsflächen, Arbeitsmaterialien und dem Arbeitsverfahren selbst. Eine detaillierte Handlungsempfehlung zur Auswahl eines geeigneten Produktes folgt unter Punkt 13.4.

Ebenfalls mit höchster Priorität zu betrachten sind die Augennotduschen. Da Druckapparaturen wie Vakuumpumpen verwendet werden, kann von einer mittleren Wahrscheinlichkeit ausgegangen werden, dass es zu einer unkontrollierten Emission von Gefahrstoffen kommt. Diese kann unmittelbar auch nicht direkt am Prozess Beteiligten in die Augen geraten. Die geringen Mengen, die im Labor verarbeitet werden, reduzieren die Folgeschwere nicht, da selbst Kleinstmengen ausreichen, um schweren Schaden zu verursachen. Die Installation von Augennotduschen ist daher unbedingt notwendig.

Hohe Priorität

Obwohl die stark unzureichende Absaugung in der Gefährdungsbeurteilung nicht als Risiko identifiziert wird, ist hier trotzdem eine eindeutige Empfehlung zur Wiederinstandsetzung der Absaugungen auszusprechen. Grund hierfür ist die mindestens als mittel zu bewertende Wahrscheinlichkeit, dass zum Beispiel im Rahmen von Projektarbeiten wie dem HAWKS- Projekt außerhalb der Vorlesungen größere Mengen an Epoxidharz zum Einsatz kommen. Anschließend können dann auch noch verschiedene Visualisierungshilfen verwendet werden, um die Funktionalität während des Betriebes zu prüfen. Beispielsweise können kleine Windräder im Windkanal des Gefahrstoffarbeitsplatz mit Frischluftschleier angebracht werden.

Die Schutzkleidung ist inkomplett und damit ein Risiko für die Beschäftigten im Labor. Es besteht die Gefahr einer Kontamination von unzureichend geschützten Hautpartien. Es muss für adäquaten persönlichen Körperschutz gesorgt werden. Beispielsweise kommt dafür Schutzkleidung nach EN 13034, Typ 6 in Frage. Es besteht Bedarf nach einem weiteren Abfallbehälter mit entsprechender Kennzeichnung für die Epoxidharzreste sowie für die mit Epoxidharz kontaminierten Arbeitsmittel. Gefährdet sind hier besonders die Reinigungskräfte, die entsprechend unterwiesen und mit geeigneter PSA ausgerüstet werden müssen.

Maßnahmen erforderlich

Das nicht vorhandene Sichtfenster in der Labortür birgt in Verbindung mit der Schwenkrichtung der Tür ein Risiko für die Beschäftigten. Wird die Tür von außen geöffnet, wenn eine hinter der Tür befindliche Person Gefahrstoffe mit sich führt,

kann dies zu einem Kontrollverlust über die mitgeführten Gefahrstoffe führen. Daher ist zumindest eine Modifikation der Tür erforderlich.

Schutzhandschuh Empfehlungen

Für den Umgang mit lösemittelfreien Epoxidharzen kommen verschiedene Handschuhe in Frage, die anhand von durchgeführten Prüfungen als geeignet bestimmt wurden. Die folgende Auflistung stellt einige dieser Handschuhe vor.

Ansell: Sol-Vex 37-900/ 37-675/ 37-695

COMASEC: Comatril S/ Butyl Plus R

KCL: Camatril 730/ Butoject 897/ 898

MAPA: Ultranitril 480/ 492/ 493

Marigold: Green Nitril G25G/ G26G

Blue Nitril G25B 7/ G26B

Long Nitrosolve Z51

14. Diskussion

Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung zeigen, dass die Arbeit im Leichtbaulabor verschiedene Quellen der Gefährdung aufweist. Diese sind teilweise infrastrukturell bedingt, oder sie haben organisatorische Ursachen. Die identifizierten Gefahrenquellen sind als typische Gefahrenquellen zu betrachten und stellen daher keine überraschenden Ergebnisse dar. Als unerwartete Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung kann allerdings die unzureichende Leistung der Absaugvorrichtungen betrachtet werden. Alle ermittelten Gefährdungsquellen können jedoch als signifikant angesehen werden. Es ist notwendig an den entsprechenden Stellen Modifikationen vorzunehmen um die Arbeitsbedingungen in befriedigendem Maße zu verbessern.

Die Identifikation der Gefährdungen, die sich aus dem Umgang mit den Epoxidharzen ergeben, war Ziel der Gefährdungsbeurteilung, welche Teil dieser Diplomarbeit ist. Bei adäquater Umsetzung der unter Punkt 13 genannten Empfehlungen sollte in Zukunft eine verbesserte Arbeitssicherheit gewährleistet sein. Dies wird die Arbeitssicherheit beim untersuchten Handlaminierverfahren ebenso verbessern wie auch die Arbeitssicherheit bei der Durchführung anderer Arbeitsverfahren, die bei der Verarbeitung von Epoxidharzen Anwendung finden. Dies resultiert aus der Tatsache, dass es verschiedene Überschneidungen bei den verschiedenen Arbeitsverfahren gibt. Allen gemein ist jedoch die Notwendigkeit geeignete Schutzhandschuhe zu tragen. Die Auswahl an für die Arbeit mit Epoxidharzen geeigneten Sicherheitshandschuhen ist relativ groß. Modelle, die in Frage kommen sind unter Punkt 13 vorgestellt.

Es ist zu empfehlen, auch für die anderen zum Einsatz kommenden Verarbeitungsverfahren jeweils eine vollständige Gefährdungsbeurteilung durchzuführen um etwaige Gefährdungen, die sich aus den speziellen Verfahren ergeben zu ermitteln. Ebenso ist eine Gefährdungsbeurteilung empfehlenswert, die unter praxisnäheren Bedingungen durchgeführt wird als die hier vorliegende. Dazu würden auch Langzeitmessungen der Klimafaktoren gehören. Somit könnten die vorliegenden Ergebnisse, die auf einer Momentaufnahme beruhen verifiziert und generalisiert werden.

15. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.



16. Literatur

ASR Technische Regeln für Arbeitsstätten

ASR 6 Raumtemperatur, 2001-04

ASR 1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung Begriffsbestimmungen 3.4, 2007-04

ASR A2.3 Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan, 2007-08

ASR 3.5 Raumtemperatur

ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung, 1993-11

ASR 10/1 Türen und Tore, 1985-09

BGR Berufsgenossenschaftliche Regeln

BGR 120 Richtlinien für Laboratorien, 2008-08

BGR 121 Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen, 2004-01

BGR 131-1 Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsystemen

BGR 227 Tätigkeiten mit Epoxidharzen, 2006-09

BGI Berufsgenossenschaftliche Information

BGI 655 Epoxidharze in der Bauwirtschaft Handlungsanleitung, 1994-10

BGI 850-0 Sicheres Arbeiten im Labor, 2008-12

BGV Berufsgenossenschaftliche Vorschriften

BGV A1 Berufsgenossenschaftliche Information

Bücher

Arpe, Hans- Jürgen: Industrielle Organische Chemie: Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte, Weinheim (Wiley VCH Verlag GmbH&Co KGaA), 2007

Fleming, M.; Ziegmann, G.; Roth, S.; Faserverbundbauweisen, Fasern und Matrices, Berlin, Heidelberg (Springer- Verlag), 1995

Kaiser,W.; Kunststoffchemie für Ingenieure; München (Carl Hanser Verlag), 2007

Möckel, J.; Fuhrmann, U.; Epoxidharze Schlüsselwerkstoffe für moderne Technik; (Verlag moderne industrie), 1990

Wobcken,W; Adam, W.; Duroplaste; München (Carl Hanser Verlag), 1988

Berufskrankheiten- Dokumentation

BK- Doc HH 2006, DGUV Referat BK-Statistik/ZIGUV D-53757 Sankt Augustin; erstellt am 22 Aug 07

BK- Doc HH 2007, DGUV Referat BK-Statistik/ZIGUV D-53757 Sankt Augustin; erstellt am 28 Aug 08

BK- Doc HH 2008, DGUV Referat BK-Statistik/ZIGUV D-53757 Sankt Augustin; erstellt am 19 Aug 09

BK- Doc HH 2009, DGUV Referat BK-Statistik/ZIGUV D-53757 Sankt Augustin; erstellt am 25 Aug 10

Europäische Union- Richtlinien

EWG- Richtlinie für persönliche Schutzausrüstung (89/686/EWG), 1996-09

GUV Gesetzliche Unfallversicherung

GUV- SR 2005 Umgang mit Gefahrstoffen in Hochschulen, 1998-11

LASI Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik-

Veröffentlichungen

LV 16 Endfassung Oktober 2011

Merkblätter

Bamberger Merkblatt, DGUV 2003

Normen

DIN 14056 Laboreinrichtung – Empfehlung für die Anordnung und Montage

DIN 33403 Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung

DIN 388 Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken

DIN 420 Schutzhandschuhe – Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren

DIN EN 12464 Licht und Beleuchtung

DIN EN 13034 Chemikalienschutzkleidung mit eingeschränkter Schutzleistung gegen flüssige Chemikalien, 2009-08

DIN EN 374 Schutzhandschuhe gegen Chemikalien und Mikroorganismen, 2003-12

EN 13034 Schutzkleidung gegen flüssige Chemikalien Leistungsanforderungen an

Sicherheitsdatenblätter

EG-Sicherheitsdatenblatt des Epoxydharz L20, Materialnummer: 112113-X; R&G

Faserverbundwerkstoff GmbH, 2009-05

EG-Sicherheitsdatenblatt des Formenharz P, Materialnummer: 115160; R&G

Faserverbundwerkstoff GmbH, 2009-06

TRBA Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe

TRBA 100 Schutzmaßnahmen für gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien

TRGS Technische Regeln für Gefahrstoffe

TRGS 200 6.28 Krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe und Zubereitungen der Kategorie 1 oder 2

TRGS 201 3 (1) Einstufung und Kennzeichnung von Abfällen zur Beseitigung beim Umgang, 2002-07

TRGS 400 Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

TRGS 401 Gefährdung durch Hautkontakt Ermittlung – Beurteilung – Maßnahmen, 2008-06 zuletzt berichtigt 2011

TRGS 526 Laboratorien, 2008-02

TRGS 540 Sensibilisierende Stoffe

TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte, 2006-01

Verordnung

Arbeitsstättenverordnung ArbStattV, 2004-08

Gefahrstoffverordnung GefStoffV, 2010-11

Arbeitsschutzverordnung ArbSchV, LärmVibrationsArbSchV, 2007-03-06

EG Verordnung Nr. 1272/2008, 2008-12

Versuchsprotokolle

Versuchsprotokoll „Resin Transfer Moulding – Harzinjektionsverfahren“

Versuchsprotokoll „Herstellung einer aerodynamischen Verkleidung mittels RTM- Verfahren

World Wide Web- Dokumente

Berechnung der Bewertungsfilter- Kurven. In: www.sengpielaudio.com URL:

<http://www.sengpielaudio.com/BerechnungDerBewertungsfilter.pdf> (letzter Abruf am 2012-01-11)

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe. Mach mit- Haut fit. In: [www.machmit-](http://www.machmit-hautfit.de)

[hautfit.de](http://www.machmit-hautfit.de) URL: <http://www.machmit-hautfit.de> (letzter Abruf am 2012-01-11)

BG/BIA- Empfehlung zur Überwachung von Arbeitsbereichen. Mehlstaub in Backbetrieben.

Stand: 1998-11 URL: http://www.dguv.de/ifa/de/prax/bg_bgia_empfehlungen/bg_bia_1025.pdf /letzter
Abruf am 2012-01-11)

Birkenpech, So ein Pech. In: www.Feuer-Steinzeit.de URL: [\[steinzeit.de/programm/pech.php\]\(http://www.feuer-steinzeit.de/programm/pech.php\) \(letzter Abruf 2012-01-11\)](http://www.feuer-</p></div><div data-bbox=)

Bisphenol A aus Plastik und Lacken macht Krebszellen chemoresistent. In: www.aerzteblatt.de

URL: <http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/34009> (letzter Abruf am 2012-01-12)

Bisphenol A Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen. In: www.umweltdaten.de

URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3782.pdf> (letzter Abruf am 2012-01-31)

Bundesministerium der Justiz, §2 Bereitstellung und Benutzung. In: www.Gesetze-im-internet.de

URL: http://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/_2.html (letzter Abruf am 2012-01-11)

Das Deutsche Kunststoff Museum, Kunststoffe. In: www.Deutsches-Kunststoff-Museum.de URL:

<http://www.deutsches-kunststoff-museum.de/index.php?id=26> (letzter Zugriff am 2012-01-11)

Das GHS- System in der Praxis. In: www.wko.at URL:

http://wko.at/up/enet/chemie/CLP_Leitfaden.pdf (letzter Abruf am 2012-01-11)

EFSA aktualisiert wissenschaftliche Empfehlung zu Bisphenol A. In: www.efsa.europa.eu Stand:

2010-09-30 URL: <http://www.efsa.europa.eu/de/press/news/cef100930.htm> (letzter Abruf 2012-01-11)

Eigenschaften von Kunststoffen: Duroplaste. In: www.Chemie.FU-Berlin.de URL: <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/duropl.htm> (letzter Zugriff am 2012-01-11)

Epikuntantestreihen der DKG, Stand 2011-10. URL: <http://dkg.ivdk.org/dkgblo.html#a017>, (letzter Abruf am 2012-01-11)

Fachinfos, Lärm. In: www.dguv.de URL: <http://www.dguv.de/ifa/de/fac/laerm/index.jsp> (letzter Zugriff am 2012-01-11)

Fritz Süchting Institut für Maschinenwesen, Schädigung des Gehörs. In: www3.imw.tu-clausthal.de URL: <http://www3.imw.tu-clausthal.de/forschung/projekte/EQUIP/studiarbeit/schad.html> (letzter Abruf am 2012.01.11)

Fuhrmann, R. Die Bernsteinlagerstätte Bitterfeld, nur ein Höhepunkt des Vorkommens von Berstein (Succinit) im Tertiär Mitteleuropas. In: www.schweizerbart.de URL: http://www.schweizerbart.de/resources/downloads/paper_previews/55438.pdf (letzter Abruf am 2012.01.11)

GESTIS Stoffdatenbank URL: <http://www.dguv.de/ifa/de/gestis/stoffdb/index.jsp> (letzter Abruf am 2012-01-11)

GFB Portal, Grenzwerte, Beurteilungskriterien. In: www.Gefaehrdungsbeurteilung.de URL: <http://www.gefaehrdungsbeurteilung.de/de/gefaehrdungsfaktoren/arbeitsumgebungsbedingungen/klima/hitze/grenzwerte> (letzter Abruf am 2012-01-11)

Goergens, Ulrich; Kersting, Klaus: Epoxidharze in der Bauwirtschaft. In: www.Gisbau.de URL: <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EP2004.pdf> (letzter Abruf am 2012-01-11)

Holst, Marco: Reaktionsschwindigkeit von Epoxidharz- Systemen. In www.TU-Darmstadt.de URL: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/176/1/Doktor.pdf> (letzter Abruf 2012-01-11)
<http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/03/04A370/t7.pdf>, (zugegriffen am 2012-01-11)
<http://www.gbe-bund.de> (letzter Abruf am 2012-01-11)

IPA der DGUV, Uro Screen: Molekularepidemiologische Untersuchungen von Harnblasenkarzinomen bei Chemiearbeitern. In: www.ipa.ruhr-uni-bochum.de URL: <http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/forschung/toxepid5.php> (letzter Abruf am 2012-01-11)

Irion, Roland: Epoxidharze Typ IV- Kontaktallergene. In: www.Alles-zur-Allergologie.de URL: <http://www.alles-zur-allergologie.de/Allergologie/Artikel/3706/Epoxidharze/epoxidharz.html> (letzter Zugriff 2012-01-11)

Kersting, Klaus: Schutzhandschuhe für den Umgang mit Epoxidharzen in der Bauwirtschaft. In:

[www.Baumaschine.de](http://www.baumaschine.de) URL:

http://www.baumaschine.de/fachzeitschriften/baumaschinen/bauportal_dateien/2004/heft9/a592_595.pdf/view (letzter Abruf am 2012-01-11)

Kontakturtikaria. In: Dermatology Information System, www.dermis.net URL:

<http://www.dermis.net/dermisroot/de/37139/diagnose.htm> (letzter Zugriff am 2012-01-11)

Korting, Hans- Christian: Durchführung des Epikutantestes mit Kontaktallergenen, Deutsche Kontaktallergie- Gruppe e.V. der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft in der JDDG Band 6, 2008-09 URL: http://dkg.ivdk.org/dok/Pub_315_deutsch.pdf (letzter Abruf am 2012-01-11)

Leuschner, Karina: Zoll online, Artenschutz im Urlaub. In: [www.Artenschutz-online.de](http://www.artenschutz-online.de) Stand 2011-08-09 URL: [http://www.artenschutz-](http://www.artenschutz-online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39)

[online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39](http://www.artenschutz-online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39) [&id_beschreibung=23&number=1#1](http://www.artenschutz-online.de/artenschutz_im_urlaub/anzeige_geschuetzter_arten.php?id_region=10&p_sammelname=39) (Letzter Abruf 2012-01-11)

Lockerung der Grenzwerte für Bisphenol A in Lebensmitteln. In: www.ngo-online.de URL:

<http://www.ngo-online.de/2007/07/2/gutachten-von-unternehmen-gesponsort/>, (letzter Abruf am 2012-01-12)

Management von Handekzemen. In: [www.AWMF.org](http://www.awmf.org) Stand 2008-11 URL:

http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-053.pdf (letzter Zugriff am 2012-01-11)

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden- Württemberg. Infos Lärm, Was heißt Dezibel dB(A). In: www.um.baden-wuerttemberg.de URL: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/39547/> (letzter Abruf am 2012-01-11)

Suter, Ulrich W. Vom Birkenpech bis zum Sekundenkleber. In: www.ngw.ch URL:

<http://www.ngw.ch/site/files/VomBirkenpechZumSekundenkleberWinterthur2010.pdf> (letzter Abruf am 2012-01-11)

VDSI, Normen für Schutzhandschuhe. In: www.vdsi.de URL:

http://www.vdsi.de/files/60/HP_Normen_fuer_Schutzhandschuhe.pdf (letzter Abruf am 2012-01-11)

Verein Deutscher Zementwerke e.V. Chromatarme Zemente und zementhaltige Produkte. In:

www.vdz-online.de URL: [http://www.vdz-](http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/chromat/CHR_ARM.pdf)

[online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/chromat/CHR_ARM.pdf](http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/chromat/CHR_ARM.pdf)

(letzter Abruf am 2012-01-11)

Wissenswertes über Faserverbundwerkstoffe. In: Akademische Fliegergruppe an der Universität Karlsruhe e.V. www.akaflieg.uni-karlsruhe.de URL: <http://www.akaflieg.uni-karlsruhe.de/pdfs/harzlehrgang.html> (letzter Zugriff am 2012-01-11)

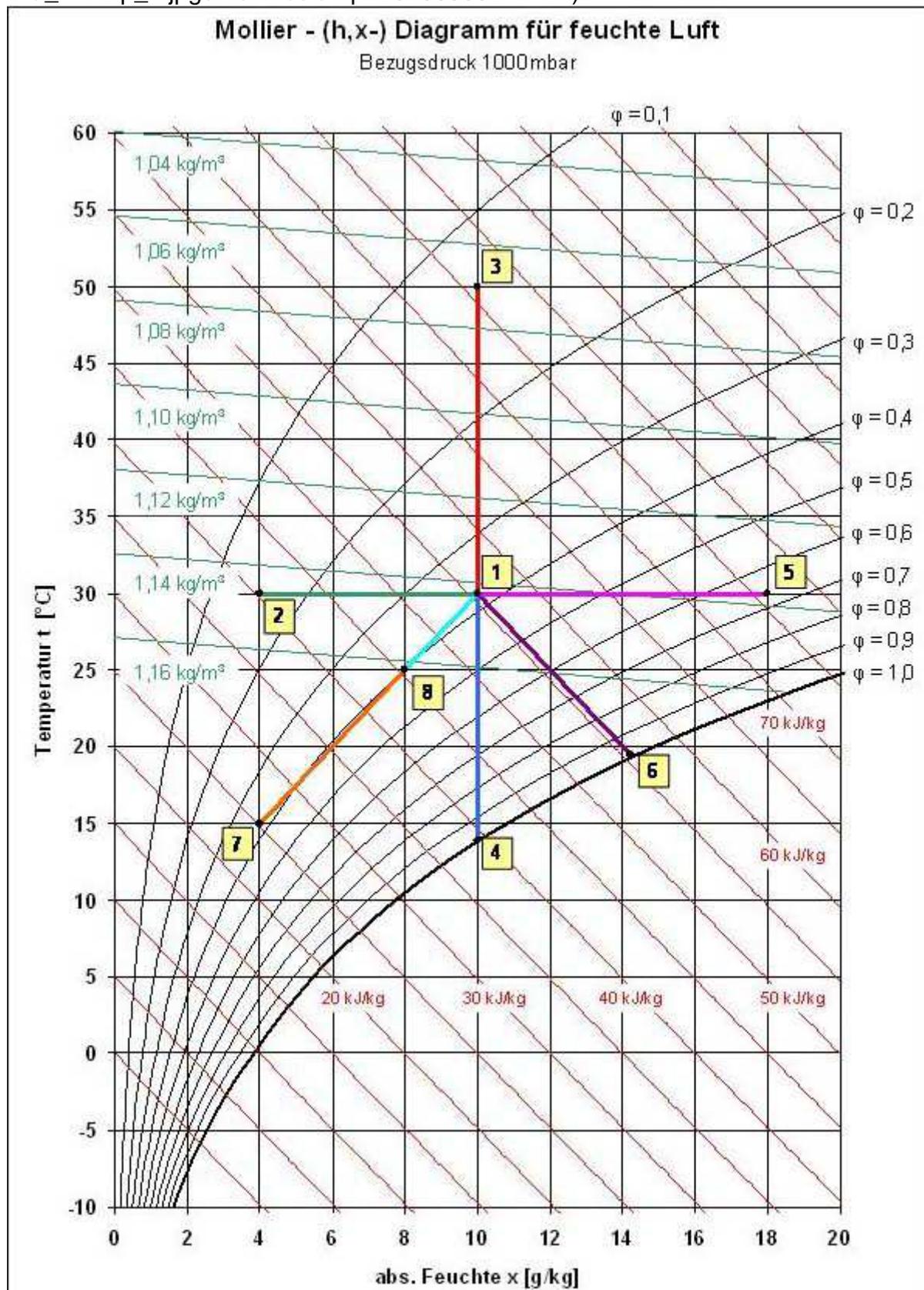
Workshop des Unterausschuss IV Arbeitsplatzbewertung- 25. Juni 2001 Bau- Berufsgenossenschaft Frankfurt am Main, Umgang mit Epoxidharzen. In: www.Gisbau.de URL: <http://www.gisbau.de/service/epoxi/EpoxidharzWorkshop.pdf> (letzter Abruf am 2012-01-11)

17. Anhang

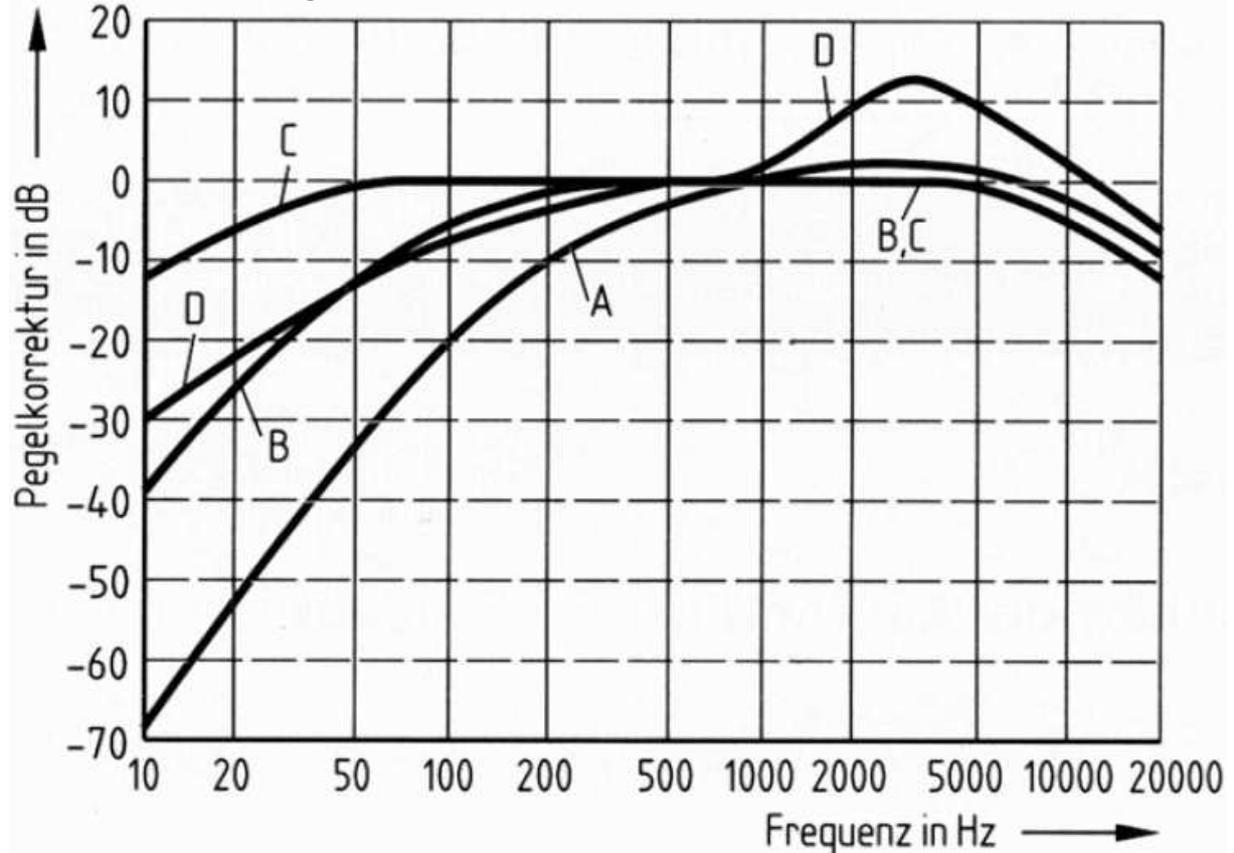
Prüfchemikalien für die Prüfung nach DIN 374-3

| Kennbuchstabe | Prüfchemikalie | CAS- RN | Klasse |
|---------------|---------------------|-----------|---------------------------------------|
| A | Methanol | 67-56-1 | Primärer Alkohol |
| B | Aceton | 67-64-1 | Keton |
| C | Acetonitril | 75-05-8 | Nitril |
| D | Dichloromethan | 75-09-2 | Chloriertes Paraffin |
| E | Kohlenstoffdisulfid | 75-15-0 | Schwefelhaltige organische Verbindung |
| F | Toluol | 108-88-3 | Aromatischer Kohlenwasserstoff |
| G | Diethylamin | 109-89-7 | Armin |
| H | Tetrahydrofuran | 109-99-9 | Heterozyklische und Etherverbindungen |
| I | Ethylacetat | 141-78-6 | Ester |
| J | n- Heptan | 142-82-5 | Aliphatischer Kohlenwasserstoff |
| K | Natriumhydroxid 40% | 1310-73-2 | Anorganische Base |
| L | Schwefelsäure 96% | 7664-93-9 | Anorganische Säure |

H,x- Diagramm (Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hx-Dia_Prinzip_1.jpg&filetimestamp=20100503214127)



A,B und C Bewertungskurven nach DIN EN 61672-1 2003- 10



Risikomatrix nach Nohl

Risikomatrix nach Nohl (4x4 Risikomatrix)

| Mögliche Schadensschwere | | Leichte Verletzungen oder Erkrankungen | Mittelschwere Verletzungen oder Erkrankungen | Schwere Verletzungen oder Erkrankungen | Möglicher Tod, Katastrophe |
|--|-------------|---|--|--|----------------------------|
| Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens der Gefährdung | | | | | |
| Sehr gering | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Gering | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mittel | | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Hoch | | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Maßzahl | Risiko | Beschreibung | | | |
| 1 - 2 | gering | Der Eintritt einer Verletzung oder Erkrankung ist nur wenig wahrscheinlich. Handlungsbedarf zur Risikoreduzierung ist nicht erforderlich. | | | |
| 3 - 4 | signifikant | Der Eintritt einer Verletzung oder Erkrankung ist wahrscheinlich. Handlungsbedarf zur Risikoreduzierung ist angezeigt. | | | |
| 5 - 7 | hoch | Der Eintritt einer Verletzung oder Erkrankung ist sehr wahrscheinlich. Handlungsbedarf zur Risikoreduzierung ist dringend erforderlich. | | | |

● Maßnahmen erforderlich

● Maßnahmen haben hohe Priorität

● Maßnahmen haben höchste Priorität