

Exposition am Arbeitsplatz: Gefahrstoffbelastung beim Spritzlackieren von Metalloberflächen



2013

Gefahrstoffbelastung beim Spritzlackieren von Metalloberflächen

Projektbericht

Impressum

Herausgeber:

Regierungspräsidium Kassel
Steinweg 6
34117 Kassel

Autorinnen und Autoren des Berichtes:

Erolf Brucksch, Petra Brohmann, Dr. Anita Csomor
Regierungspräsidium Kassel
Dezernat 35.3 - Fachzentrum für Produktsicherheit und Gefahrstoffe
Ludwig Mond Straße 33
34121 Kassel

Ingrid Krutisch, Sabine Lau
Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz
Amt für Arbeitsschutz - Fachbereich Arbeitsplatzbeurteilungen
Marckmannstraße 129 b
20539 Hamburg

Dr. Heinrich Lauterwald
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Messinstitut, Zentrallabor
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

Bildquellennachweis:

Titelbild und alle übrigen Bilder : Regierungspräsidium Kassel

Stand: September 2013

Inhalt

1	EINLEITUNG	8
2	ZIELSETZUNG	9
3	DARSTELLUNG DER ARBEITSVERFAHREN , ANLAGENTECHNIK UND PRODUKTE.....	10
3.1	TEILEVORBEHANDLUNG	10
3.2	BESCHICHTUNGSVERFAHREN.....	11
3.2.1	Druckluftspritzverfahren.....	11
3.2.2	Luftfreies Spritzverfahren	12
3.2.3	Elektrostatisches Lackieren.....	12
3.3	NEBENTÄTIGKEITEN.....	12
3.4	ABSAUGTECHNIK	13
3.4.1	Spritzkabinen	13
3.4.2	Spritzstände	14
3.4.3	Spritzwände	15
3.4.4	Freie Lüftung.....	15
3.5	EINGESETZTE PRODUKTE	16
4	DURCHFÜHRUNG DER ERMITTLUNGEN.....	18
4.1	PROBENAHMESTRATEGIE	18
4.2	MESSVERFAHREN	18
4.2.1	Messverfahren für Lösemittel und Lackaerosole	19
4.2.2	Messverfahren Isocyanate.....	20
4.3	BEWERTUNGSSTRATEGIE.....	20
4.3.1	Bewertung der Lösemittel	23
4.3.2	Bewertung der Lackaerosole	24
4.3.3	Bewertung der Isocyanate	24
5	ERGEBNISSE DER MESSUNGEN	25
5.1	TEILEVORBEHANDLUNG	27

5.2	<i>LACKIEREN</i>	28
5.2.1	Messergebnisse unterschieden nach Absaugtechnik bei den Lackiertätigkeiten	31
5.2.2	Messergebnisse unterschieden nach den Lackierverfahren	34
5.2.3	Messergebnisse unterschieden nach weiteren Einflussfaktoren	37
5.3	<i>MISCHTÄTIGKEIT MIT LACKIEREN</i>	38
5.4	<i>NEBENTÄTIGKEITEN</i>	39
6	DISKUSSION DER MESSTECHNISCHEN ERGEBNISSE.....	40
6.1	<i>VERGLEICH MIT BISHERIGEN DATENKOLLEKTIVEN</i>	40
6.2	<i>BEURTEILUNG DER EXPOSITION UND DER WIRKSAMKEIT DER SCHUTZMAßNAHMEN</i>	42
7	ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER VORGEFUNDENEN PERSÖNLICHEN SCHUTZAUSRÜSTUNG	46
8	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	49
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	51

1 EINLEITUNG

In fast jedem Betrieb aus den Bereichen Maschinenbau, Anlagenbau sowie Stahlbau werden die hergestellten Produkte am Ende der Fabrikation lackiert. Die Lackierung erfolgt dabei zum Schutz der Produkte vor äußeren Einflüssen (Schutzanstriche, Schutzlacke) aber auch aus optischen Gründen beispielsweise zur Erzielung bestimmter Farbeffekte. Beim Lackieren unterscheidet man zwischen zerstäubenden Verfahren wie bei der Spritzapplikation von Lacken (Spritzlackieren) und nicht zerstäubenden Verfahren, wie beispielsweise Streichen, Walzen, Tauchen. Spritzlackieren ist das in der Branche am häufigsten angewendete Verfahren.

Beim Spritzlackieren besteht neben der inhalativen Belastung durch Lösemitteldämpfe auch eine Belastung durch Lackaerosole, die neben den festen Inhaltstoffen des Lacks wie Pigmente, Füllstoffe usw. auch Lösemittel enthalten können. Bei der Applikation von Polyurethanlacken, die häufig zur Beschichtung von Metalloberflächen verwendet werden, kommt es zusätzlich zur Belastung durch Isocyanate.

Wie bei allen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ist auch für diese Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Dabei müssen u.a. die Höhe der Gefahrstoffexposition ermittelt und anschließend geeignete Schutzmaßnahmen festgelegt und angewendet werden. Technische und organisatorische Maßnahmen sind vor Anwendung individueller Schutzmaßnahmen, wie die Verwendung persönlicher Schutzausrüstung, umzusetzen.

Eine „Expositionsbeschreibung“ zur Höhe der Gefahrstoffbelastung gibt es für diese Branche bisher nicht. Die LASI Veröffentlichung LV 43 - Handlungsanleitung „ Spritzlackieren von Hand bei der Holzbe- und -verarbeitung“ [1] beschreibt die Höhe der Gefahrstoffexposition bei der Verwendung üblicher Lacksysteme und Farben an den Spritzarbeitsplätzen des Holzgewerbes. Die BGR 231 „Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten – Lackaerosole“ [2] aus dem Jahr 2006 enthält darüber hinausgehend Expositionswerte für Lackaerosole aus unterschiedlichen Branchen, nicht jedoch Daten zur Lösemittel- und Isocyanatbelastung. Eine Übertragung dieser Expositionsszenarien auf das Metallgewerbe ist nicht oder nur bedingt möglich, da im Gegensatz zum Holzgewerbe hier andere Anforderungen an die Oberfläche gestellt werden und z.T. andere Lacke verwendet werden, andere Spritzverfahren zur Anwendung kommen und aufgrund der z.T. deutlich größeren Produkte andere Absaugtechniken eingesetzt werden können. Auch werden metallische Teile, im Gegensatz zu Holzoberflächen, mit lösemittelhaltigen Reinigern gereinigt oder entfettet.

2 ZIELSETZUNG

Die Messstellen für den chemischen Arbeitsschutz der Bundesländer Hessen, Hamburg und Rheinland-Pfalz haben in den Jahren 2011 und 2012 an einem Untersuchungsprojekt gearbeitet.

Ziel der Untersuchungen an den Arbeitsplätzen war die Erstellung einer Expositionsbeschreibung auf der Grundlage neuer und aktueller Expositionsdaten, verbunden mit einer Handlungshilfe zur Minimierung der Gefahrstoffbelastung bei Spritzlackierarbeiten von Metalloberflächen und somit eine branchen- und/oder tätigkeitsspezifische Hilfestellung für die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen. Die Handlungshilfe soll damit ein Schritt sein, den Stand der Technik¹, wie er in der TRGS 500 [3] beschrieben ist in der Branche umzusetzen.

Im Rahmen der Projektplanung haben die beteiligten Kooperationspartner gemeinsam festgelegt, dass Betriebe, die folgende Kriterien erfüllen, in die Untersuchungen einbezogen werden sollten:

- Vorzugsweise kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) aus den Bereichen Maschinen-, Anlagen- sowie Stahlbau oder Industrielackierer für metallische Oberflächen,
- die lösemittelhaltige Lacke in Spritzapplikation auftragen und
- mindestens 2-4 Stunden pro Tag lackieren.

In den Betrieben wurden Gefahrstoffmessungen beim Spritzlackieren und, soweit diese als eigenständige Tätigkeit zur Vorbehandlung der zu lackierenden Teile zu gelten haben, bei Reinigungsarbeiten durchgeführt.

Im Rahmen der Länderkooperation wurden dazu in den Jahren 2011 und 2012 Arbeitsplatzmessungen in insgesamt 42 Betrieben durchgeführt.

Der Explosionsschutz sowie weitere für die Gefährdungsbeurteilung relevante Faktoren gehören nicht zum Projektumfang. Hinweise dazu gibt die BGI 740 „Lackierräume und –einrichtungen für flüssige Beschichtungsstoffe“ [4].

¹ „Der **Stand der Technik** ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. Gleiches gilt für die Anforderungen an die Arbeitsmedizin und die Arbeitsplatzhygiene.“ s. GefStoffV §2 Abs.11

3 DARSTELLUNG DER ARBEITSVERFAHREN , ANLAGENTECHNIK UND PRODUKTE

Grundsätzlich kann man beim Spritzlackieren in der Metallbe- und –verarbeitung drei Bereiche mit Gefahrstoffbelastung unterscheiden:

- **Teilevorbereitung**
händische Reinigung mit lösemittelhaltigen Produkten
- **Beschichtung**
manuelles Lackieren mit flüssigen Beschichtungsstoffen
- **Nebentätigkeiten** (mit möglicher Gefahrstoffexposition)
Lackansatz, Spachteln, Reinigung von Arbeitsgeräten usw.

3.1 TEILEVORBEHANDLUNG

Die Metalloberflächen müssen z.T., je nach Anforderung an die Oberflächenqualität, vor dem Lackieren gereinigt werden. Ziel der Reinigung ist es die notwendige Haftung des Lackes an der Oberfläche sicherzustellen, Farbübertragungen zu vermeiden und Verunreinigungen durch vorhergehende Arbeitsprozesse zu entfernen.

In vielen Fällen reicht das Sandstrahlen oder trockene Abwischen der Metalloberfläche mit Tüchern aus Papier und Baumwolle aus. Einige Oberflächen müssen für die Beschichtung jedoch entfettet werden. Dies erfolgt überwiegend mit einem lösemittelhaltigen Reiniger und einem Putztuch. Es besteht aber auch die Möglichkeit des Abstrahlens oder Abwischens mit einer wässrigen tensid- und korrosionsschutzmittelhaltigen Lösung bzw. der Oberflächenentfettung in einer automatischen Waschanlage.



ABBILDUNG 1: ABWISCHEN VON WERKTEILEN MIT LÖSEMITTELHALTIGEM REINIGER

3.2 BESCHICHTUNGSVERFAHREN

Bei der Beschichtung unterscheidet man zwischen zerstäubenden und nicht zerstäubenden Applikationsverfahren (wie Streichen, Rollen, Pulverbeschichten oder Tauchverfahren). Die letzteren Verfahren kommen jedoch deutlich weniger zum Einsatz und setzen z.T. andere Anlagentechnologien voraus. Sie sind deshalb nicht Teil dieser Erhebung.

Im Rahmen des Projektes werden ausschließlich zerstäubende Beschichtungsverfahren betrachtet, da hier mit einer deutlich höheren Lösemittebelastung gerechnet werden muss, und zusätzlich Gefahrstoffexpositionen durch Lackaerosole und je nach verwendeter Lackart auch durch Isocyanate auftreten.

Welche zerstäubenden Beschichtungsverfahren im Einzelfall angewandt werden, hängt u.a. von Form und Größe der zu lackierenden Teile ab. Ferner sind die erwünschte Oberflächenqualität, Trocknungszeit, Wirtschaftlichkeit von Beschichtungsstoff- und -verfahren und die Umweltbelastung Auswahlkriterien.

Der gebrauchsfertige Lack wird in den Spritzbecher oder das Vorratsgefäß des Lackiersystems gefüllt. Anschließend wird das Werkstück im dafür vorgesehenen Bereich lackiert. Der Lack wird in der Spritzpistole mit Hilfe des Druckunterschiedes zu kleinen Tropfen zerstäubt. Die Tröpfchen lagern sich auf dem besprühten Gegenstand ab und bilden auf diesem eine Oberflächenbeschichtung. Die Erzeugung des Druckunterschiedes und auch die Zuführung des zu zerstäubenden Stoffes können auf verschiedenen Wegen erfolgen. Entsprechend dem Druckaufbau und der Lackzuführung werden die einzelnen Spritzverfahren unterschieden und je nach Anforderung angewendet.

Hinsichtlich der Lackzerstäubungstechnik unterscheidet man

- Druckluftspritzverfahren: Hochdruck (HP, Becher), optimierter Hochdruck (RP), Niederdruck (HVLP)
- Luftfreie Spritzverfahren: Airless (Druck über Pumpe)
- Kombinierte Verfahren: Airmix, Aircombi, Aircoat (Luft nur zur Verbesserung des Spritzstrahles).
- Elektrostatisches Spritzen

die nachfolgend kurz erläutert werden.

3.2.1 DRUCKLUFTSPRITZVERFAHREN

Beim Lackieren mit Druckluft wird der Lack mit einem Luftdruck von 2,5 bis 4 bar in der Spritzpistole auf das Werkstück getragen. Zugeführt wird der Lack entweder nur mit Schwerkraft aus einem Becher, der über der Pistole angebracht ist (Becherpistole), oder über ein Farbdruckbehälter bzw. eine Pumpe, die den Lack aus einem großen Vorratsgefäß zuführt.

Die Becherpistole muss oft nachgefüllt werden und kann nicht stark geneigt werden. Durch diese Spritztechnik werden die feinste Zerstäubung und das beste Spritzergebnis erzielt. Je höher die Geschwindigkeitsdifferenz desto kleiner sind die Tröpfchen. Bei kleineren Tröpfchen entsteht jedoch mehr Spritznebel, der nicht auf das Werkstück gelangt (Overspray).

3.2.2 LUFTFREIES SPRITZVERFAHREN

Beim Airless-Spritzverfahren erfolgt die Zerstäubung des Lackes ohne Druckluft mit hydraulischem Druck von 50 bis 250 bar. Der Lack wird mittels einer Pumpe unter Druck durch die Düse gepresst, so dass er ebenfalls fein zerstäubt wird. Dabei kommt es zu einer geringeren Spritznebelbildung. Folglich erreicht man einen geringeren Lackverbrauch, sowie eine schnellere effizientere Lackierung großer Flächen.

Beim Air-Mix wird die Spritzpistole der Airless-Anlage mit zusätzlichen Luftdüsen ausgestattet, wie bei der Hochdruck- Spritzpistole. Dies ermöglicht ein feineres Zerstäuben.

3.2.3 ELEKTROSTATISCHES LACKIEREN

Das elektrostatische Lackieren ist ein Spritzverfahren mit besonderen Lacken. In der Lackieranlage wird mit Gleichstrom ein elektrisches Feld zwischen der lackabgebenden Sprüheinrichtung und dem Werkstück erzeugt. Die Lackteilchen sind elektrisch aufgeladen und folgen deshalb den elektrischen Feldlinien auf die Werkstückoberfläche. Die Feldlinien verlaufen gekrümmt bis auf die Rückseite des Lackiergutes, so dass auch diese Seite lackiert werden kann. Die Lackverluste sind beim elektrostatischen Lackieren gering, weil die Lackteilchen zwangsläufig auf der Bahn der Feldlinien fliegen. Mit diesem Verfahren werden besonders Rohrkonstruktionen, Rahmen und Gestelle aus Metall lackiert.

3.3 NEBENTÄTIGKEITEN

Bei folgenden Tätigkeiten, die im direkten Zusammenhang mit der Lackiertätigkeit stehen, treten ebenfalls Gefahrstoffbelastungen auf.

- **Lackansatz**

Der Spritzlackierer mischt vor dem Lackieren seinen Lack an, d.h. er vermischt die zwei Komponenten oder mischt nur Verdünner zum Lack. Der Lackansatz ist zeitlich und tätigkeitsbezogen von der Art des Lackes und der eingesetzten Menge abhängig. Bei 2K-Lacken werden die beiden Komponenten gemäß den Verarbeitungsvorschriften durch direktes Zusammengießen gemischt und anschließend gerührt. Diese Tätigkeit erfolgt an speziellen Arbeitstischen in der Kabine, oder an nicht abgesaugten Arbeitsplätzen im Arbeitsbereich Spritzlackieren. Der Lackansatz dauert zwischen 2 und 5 Minuten (pro Becherbefüllung) und 20 Minuten (Fassanschluß).

- **Reinigung von Lackierzubehör**

Lackierzubehör wie Spritzpistole, Becher, Mischstäbe usw. werden nach Bedarf händisch oder automatisch in abgesaugten Reinigungsautomaten gereinigt. Die Reinigung erfolgt mit Lösemittel durch Abwischen oder Abpinseln. Verwendete Putztücher werden in geschlossenen Behältern entsorgt, das verwendete Reinigungsmittel befindet sich in abgedeckten Behältern. Die Häufigkeit der Reinigungen ist dabei von der Art des Spritzverfahrens, der verwendeten Lackmenge, der Häufigkeit des Lackwechsels u.a. abhängig. Die händische Reinigung dauert je nach zu reinigendem Zubehör zwischen 10 und 20 Minuten.

- **Spachteln**

Zur optischen Glättung von Oberflächen werden, insbesondere bei größeren Gußteilen, Spachtelarbeiten mit styrolhaltigen Produkten durchgeführt. Diese Spachtelarbeiten dauerten bei den messtechnisch betrachteten Betrieben zwischen 2 und 6 Stunden je Arbeitstag.

3.4 ABSAUGTECHNIK

Das manuelle Spritzen mit Spritzpistolen geschieht in der Regel in abgesaugten Spritzkabinen, an Spritzständen oder vor Spritzwänden. Diese befinden sich in abgetrennten Spritzräumen oder Bereichen von Arbeitsräumen. Die Anforderungen an diese sind u.a. in der BGI 740 „Lackierräume und – Einrichtungen für flüssige Beschichtungsstoffe“ [4] und BGR 231 „Schutzmaßnahmenkonzept für Lackierarbeiten – Lackaerosole [2] präzisiert.

Lackiertätigkeiten ohne Absaugung werden nur in wenigen Fällen im Bereich Stahlbau, bei sehr großen Teilen, vorgenommen.

3.4.1 SPRITZKABINEN

Die Spritzkabine ist der geschlossene Raum mit technischer Lüftung (Zuluft, Abluft, meist mind. 10 facher Luftwechsel), in dem sich der Lackierer während der Spritzarbeiten mit dem zu beschichtenden Werkstück befindet. Die Luftführung ist vertikal, horizontal oder als Kombination von beidem möglich. Kabinen mit Zuluftdecke und Unterflurabsaugung werden für hohen Lackverbrauch und das Erzielen hochwertiger Oberflächen sowie für die Oberflächenbehandlung von großflächigen Werkstücken eingesetzt. Sie lassen Spritzlackierarbeiten um das Werkstück herum zu. Bei vertikaler Luftführung wird der Bodenbereich der Kabine, mit begehbaren Gitterrosten ausgelegt, fast ganzflächig abgesaugt; die Zuluftdecke (verwirbelungsfreie Zufuhr von temperierter Frischluft) unterstützt die senkrechte Strömungsrichtung. Unterhalb der Gitterroste befinden sich Filtermatten (in der Regel Kombination aus Faltkarton und Glasfaservlies), welche die Partikel aus der Abluft herausfiltern.

Wegen der Anforderungen an Spritzstände, Spritzkabinen und kombinierten Spritz- und Trocknungskabinen siehe EN 12215 [5] und EN 13355 [6].

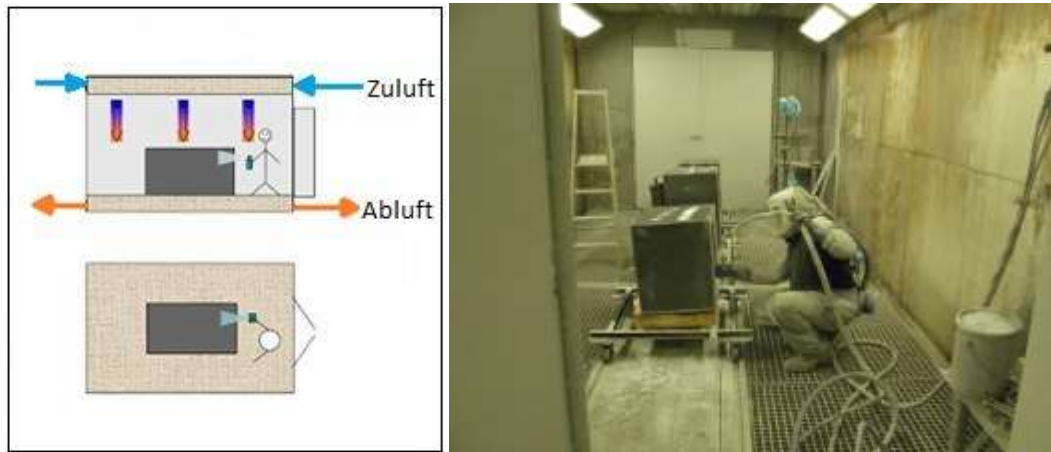


ABBILDUNG 2: SPRITZKABINE (GRAFIK NACH BGR 231 ANHANG 1 [2])

3.4.2 SPRITZSTÄNDE

Der Spritzstand ist der umschlossene Bereich, in dem sich das zu beschichtende Werkstück während der Spritzarbeiten befindet. Der Stand ist hinten mit einer Absaugwand ausgestattet und bis auf die offene Zugangsseite, über die die Zuluft nachströmt, geschlossen.

Das Werkstück ragt idealerweise nicht über den Spritzstand hinaus, ist also kleiner. Der Lackierer steht während der Spritzarbeiten vor der offenen Zugangsseite. Das zu beschichtende Werkstück befindet sich zwischen Lackierer und Absaugwand und es wird in Richtung zur Absaugwand lackiert. Die Absaugwand im Spritzstand ist meist als Trockenwand, manchmal auch als Wasserwand ausgeführt.

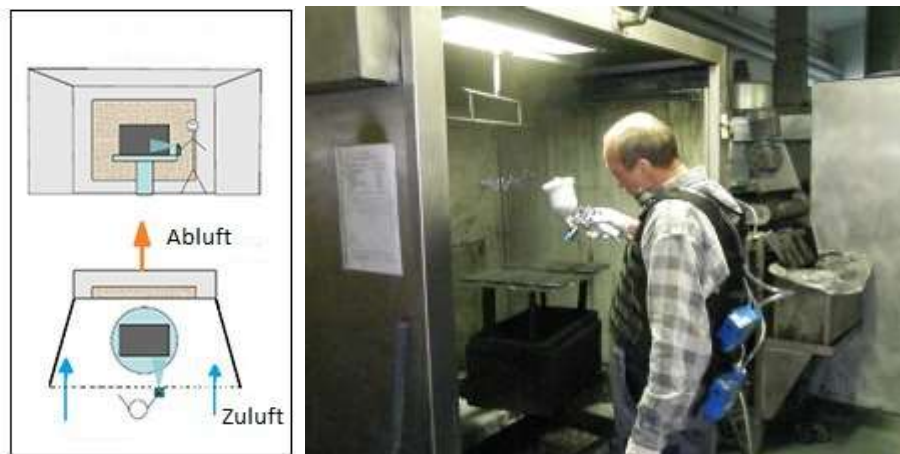


ABBILDUNG 3: SPRITZSTAND (GRAFIK NACH BGR 231 ANHANG1 [2])

3.4.3 SPRITZWÄNDE

Die Spritzwand ist eine Absaugwand ohne seitliche und obere Luftleitbleche, vor der das Werkstück während der Spritzarbeiten positioniert wird. Die Position des Spritzlackierers zur Absaugwand und Strömungsrichtung und auch die Richtung des Spritzstrahls zur Strömungsrichtung sind nicht festgelegt. Wegen der größeren freien Fläche ist der Erfassungsgrad gegenüber dem Spritzstand prinzipiell geringer.



ABBILDUNG 4: SPRITZWAND (GRAFIK NACH BGR 231 ANHANG 1 [2])

Die Abscheidung der Aerosole erfolgt meist trocken über auswechselbare Staubfiltermatten oder über eine Wasserwand. Bei einer Wasserwand gelangen die Farbnebel durch den Absaugluftstrom in einen Wasserschleier, der von oben nach unten an der Wand hinunter läuft, und werden durch ein Koagulieremittel gebunden.

Zu den Anforderungen an Spritzwände siehe VDMA 24381 "Oberflächentechnik; Richtlinien für Spritzkabinen und kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen" [7].

3.4.4 FREIE LÜFTUNG

Lackierarbeiten ohne Absaugung sind zuweilen bei Großbauteilen wie sie im Bereich Stahlbau vorkommen unvermeidlich. Dabei werden Teile von mehr als 20 m Länge i.d.R. mittels Airless-Spritzverfahren lackiert. Die im Rahmen der Aktion angetroffenen Hallen, in denen die Lackiertätigkeiten vorgenommen werden, sind mehr als 300 m² groß und werden über offene Tore (freie Lüftung) belüftet.

Es finden in diesen Arbeitsbereichen keine anderen Tätigkeiten statt.



ABBILDUNG 5: FREIE LÜFTUNG BEIM SPRITZEN VON GROßBAUTEILEN

3.5 EINGESETZTE PRODUKTE

Reiniger

Je nach Verunreinigung und gewünschter Qualität der Lackierung werden die Oberflächen der Teile gereinigt. Neben wässrigen Reinigern werden häufig zum Entfernen von ölhaltigen Rückständen auch lösemittelhaltige Reiniger eingesetzt.

Beschichtungsstoffe

Beim Spritzlackieren von Metallwerkstücken kommt eine breite Palette von Lacksystemen zum Einsatz. Das Lacksystem wird je nach Vorbehandlung, Untergrund, späterer Beanspruchung oder Vorgabe des Auftraggebers ausgewählt.

Die stoffliche Belastung der Arbeitnehmer verursachen vorrangig die Lösemittel und die Lackpartikel (Lackaerosole) in der Atemluft. In den Lackaerosolen können auch reaktive Komponenten enthalten sein, u.a. die monomeren und polymeren Isocyanate beim Spritzlackieren mit PUR-Lacken.

Folgende Lacksysteme wurden bei den Untersuchungen angetroffen:

- **Industrielacke**

Der Begriff Industrielacke umfasst alle Lacksysteme, die eingesetzt werden. In diesem Projekt bezeichnen wir als Industrielacke alle lösemittelhaltigen Lacksysteme, außer den Epoxidharz- und Polyurethan-Lacken.

- **Polyurethan-Lacke (PUR-Lacke)**

PUR-Lacke gibt es überwiegend als Zweikomponentenlacke. Die Aushärtung erfolgt durch die Einwirkungen der Luftfeuchtigkeit oder durch Erwärmung. Beim Zweikomponentenlack werden Härter und Lack (Polyole und Polyisocyanate) vor dem Auftrag angemischt. PUR-Lacke sind besonders hart, abriebfest und beständig gegen Wasser, Öle und Chemikalien. Deshalb eignen sie sich zum Grundieren und zum

Lackieren. Der Anteil an monomeren Isocyanaten in den Härtern liegt in der Regel unterhalb von 0,1 %. Auf die Haut gelangt können die monomeren und polymeren Isocyanate sehr schnell in die Haut penetrieren [8]. Sowohl monomere als auch polymere Isocyanate können Allergien auslösen, die sich meist in Form von Isocyanat-Asthma oder in allergischer Kontaktdermatitis äußern [9].

- **Epoxidharz-Lacke**

Epoxidharzlacke bestehen aus den zwei Komponenten Epoxidharz und Härter, die kurz vor dem Lackieren in einem festen Verhältnis angemischt werden. Epoxidharzlacke sind elastisch und sehr widerstandsfähig gegen Chemikalien und Wasser. Sie werden hauptsächlich für Unterwasseranstriche, als Korrosionsschutz oder Grundierung auf besonders stark belasteten Untergründen eingesetzt. Epoxidharze können allergische Hautreaktionen auslösen.

Sonstige Produkte (z.B. Spachtelmasse, Verdünnung, Reinigungsmittel usw.)

Insbesondere im Maschinenbau werden oft styrolhaltige Spachtelmassen zur Aufbesserung (Glättung) der Oberflächen eingesetzt. Weiterhin werden verschiedene Lösemittelgemische zur Lackverdünnung und Reinigung von Lackierzubehör (Spritzpistole, Becher, usw.) verwendet, die u.a. in geschlossenen Reinigungsautomaten eingesetzt werden.

4 DURCHFÜHRUNG DER ERMITTLUNGEN

4.1 PROBENAHMESTRATEGIE

Belastungsparameter beim Spritzlackieren sind typischerweise Lackaerosole sowie Lösemitteldämpfe. Die Aerosole enthalten naturgemäß Bindemittel, Lösemittel und feste Rezepturanteile (Pigmente, Füllstoffe etc.), also die Lackinhaltsstoffe. Bei den Messungen waren daher die dampfförmig vorliegenden Lösemittelkomponenten wie auch die Lösemittelbestandteile aus dem Aerosol und die Aerosole in der Luft zu bestimmen. Sofern PUR-Lacksysteme verwendet wurden, spielten weiterhin noch Polyisocyanate eine entscheidende Rolle für die gesundheitliche Gefährdung der Arbeitnehmer. In der Regel waren daher mehrere Probenahmeverfahren parallel einzusetzen.

Die Probenahmen erfolgten ausschließlich personengetragen. Die eingesetzten Messverfahren sind in Abschnitt 4.2 zusammengefasst. Beim Spitzlackieren wurden die Probenahmen auf Lackaerosole, Lösemittel und soweit erforderlich auf Isocyanate zeitgleich an derselben Person durchgeführt. Die Teilverbehandlung (Reinigung), das Lackieren sowie die sonstigen Tätigkeiten wurden, separat gemessen. In einzelnen Fällen war dies nicht möglich. Diese Proben wurden bei der Auswertung unter dem Begriff „Mischtätigkeiten mit Lackieren“ zusammengefasst.

In den Pausen wurden die Probenahmen unterbrochen. Kurzzeitige Rüst- und Transportzeiten, sowie kurzzeitig Reinigungen (Reinigung der Spritzpistole) wurden in die Messung einbezogen.

4.2 MESSVERFAHREN

Nachfolgende Messverfahren wurden eingesetzt.

TABELLE 1: MESSVERFAHREN FÜR LÖSEMITTEL UND ISOCYANATE

Methoden	Dämpfe aus Lösemitteln (nur Vor- und Nacharbeiten ohne Aerosolanteil)			Isocyanate
Referenz	In Anlehnung an DFG-Methode Lösemittelgemische Nr. 1 [10]	In Anlehnung an DFG-Methode Lösemittelgemische Nr. 5 [11]	DFG-Methode Lösemittelgemische Nr. 5 [11]	In Anlehnung an IFA-Kennzahl 7670 Isocyanate (Bestimmung des NCO-Gehaltes nach DIN EN ISO 14896 Verfahren B) [14,15]
Probeluftvolumen	30 L	30 mL	200 mL	210 L
Probenahmesystem	Adsorptionsröhrchen	Adsorptionsröhrchen	ATD-Adsorptionsröhrchen	GSP-Probenahmekopf für 3,5 L/min
Probenträger	Aktivkohle	Tenax	Chromosorb 106	Glasfaserfilter, d=37mm, imprägniert
Probenvorbereitung	Elution mit CS ₂	Thermodesorption	Thermodesorption	Desorption mit Desorptionslösung
Analyse	GC	GC	GC	HPLC
Detektor	FID	FID	FID/MS	DAD

TABELLE 2: MESSVERFAHREN FÜR LACKAEROSOLE SOWIE DÄMPFE AUS LÖSEMITTELN

Methoden	Lackaerosole und Dämpfe aus Lösemitteln		
Referenz	DFG-Methode Lackaerosole Nr. 1 [12]	IFA-Kennzahl 3010 [13] DFG-Methode Lackaerosole Nr. 2 [12]	Lösemittel: In Anlehnung an DFG-Methode Lösemittelgemische Nr. 5 [11] Aerosole: DFG-Methode Lackaerosole Nr. 1 [12], Teil Lackaerosole
Probeluftvolumen	120 L	210 L	Lösemittel: 30 mL (2x) Aerosole: 150 L
Probenahmesystem	SILPP (= simultane Lösemittel-/ Partikel-Probenahme)	GGP Probenahmekopf für 3,5 L/min	Lösemittel: Adsorptionsröhrchen mit vorgeschaltetem Glasfaserfilter, d=25mm Aerosole: BAuA-Probenahmekopf, herstellerseitig modifiziert für 2,5 L/min
Probenträger	Quarzfaserfilter und Chromosorb 106	Glasfaserfilter d=37 mm und Aktivkohle-kartuschen	Lösemittel: Tenax Aerosole: Glasfaserfilter, d=25mm
Probenvorbereitung	Lösemittel: Thermodesorption	Lösemittel: Elution der Kartusche mit CS ₂	Lösemittel: Thermodesorption -
Analyse	Lösemittel: GC Aerosole: gravimetrisch	Lösemittel: GC Aerosole: gravimetrisch	Lösemittel: GC Aerosole: gravimetrisch
Detektor	FID/MS	FID	FID

4.2.1 MESSVERFAHREN FÜR LÖSEMittel UND LACKAEROSOLE

Die Messstellen von Hamburg und Rheinland-Pfalz erfassten die Lösemittel und Aerosole in kombinierten Probenahmen (DFG-Verfahren „Lackaerosole“ Methode Nr. 2 bzw. 1). Bei dem von Hessen angewendeten Messverfahren wurden beide Parameter zeitgleich an derselben Person vermessen, aber apparativ getrennt (Abbildung 6). Dabei entspricht die Probenahme der Lackaerosole dem DFG-Verfahren „Lackaerosole“ Methode Nr. 1 (identische Probenahmeköpfe und Volumenströme). Die Lösemittel wurden an derselben Person in direkter Nähe zu der Aerosolprobenahme auf einem Tenax-Röhrchen gesammelt. Um sicherzustellen, dass keine Lackpartikel auf das Probenahmeröhrchen gelangen, wurde ein 25 mm Glasfaserfilter vorgeschaltet. Die Probenahmezeit betrug für Aerosole 60 min, für die Lösemittel 30 min, danach wurde das Probenahmeröhrchen gewechselt. Ein Vergleich dieser Methode mit der Lackaerosolmethode Nr. 2 der DFG ergab keine signifikanten Unterschiede bei Vergleichsmessungen in 3 Betrieben.



ABBILDUNG 6: PARALLELE PROBENAHME VON LACKAEROSOLEN (PROBENAHMEKOPF; 1) UND LÖSEMITLEN (TENAXRÖHRCHEN MIT VORGESCHALTETEM GLASFASERFILTER; 2) BEIM SPRITZLACKIEREN

Zur Bestimmung der Lösemittel-Einzelsubstanzen wurde stoffspezifisch kalibriert. Abweichend davon wurden für die Quantifizierung der Kohlenwasserstoffgemische die im Begründungspapier „Begründung zu Kohlenwasserstoffgemische in TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei (RCP-Methode)“ beschriebenen Methoden angewandt.

4.2.2 MESSVERFAHREN ISOCYANATE

Beim Spritzlackieren mit isocyanathaltigen Lacksystemen stehen die polymeren Isocyanate als Messparameter im Vordergrund. Diese sind Prepolymerengemische und keine definierten Verbindungen. Sie können daher nicht stoffspezifisch kalibriert werden. Die Verbindungen sind sehr reaktiv, daher muss bei der Probenahme die Expositionssituation vor Ort mittels Chemisorption „eingefroren“ werden. Die Probenahme erfolgt auf imprägnierten Glasfaser-Filtern, auf denen die Isocyanate als Harnstoffderivate gebunden werden. Die Diisocyanate werden stoffspezifisch kalibriert. Zur Kalibrierung der Polyisocyanate werden die Flächen der isocyanatstämmigen Peaks der jeweils korrespondierenden Materialproben herangezogen. Dazu wurden vor Ort Materialproben von den Härtern entnommen.

4.3 BEWERTUNGSSTRATEGIE

Gemäß der Zielsetzung wurden die Messungen sowie die Auswertung der Messergebnisse tätigkeitsbezogen durchgeführt. Die aus den Messwerten für jeden Einzelstoff berechneten zeitgewichteten arithmetischen Mittelwerte sind gemäß der Definition der TRGS 402 insofern nicht immer Schichtmittelwerte eines Beschäftigten. Zum Beispiel erfolgen die Teilverbehandlung und das Lackieren in einigen Betrieben durch denselben Beschäftigten. Die für diesen Beschäftigten ermittelten Messwerte wurden bei der Projektauswertung tätigkeitsbezogen zusammengefasst und beurteilt. Auch sind in kleineren Betrieben die Beschäftigten neben den Lackiertätigkeiten auch mit anderen Aufgaben betraut, die im Rahmen des Projektes

nicht betrachtet wurden. In diesen Fällen muss für die Berechnung der Schichtmittelwerte die zeitlich mögliche Gefahrstoffexposition zusätzlich betrachtet und vom Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Wenn die in der Luft am Arbeitsplatz gemessenen Gefahrstoffkonzentrationen als repräsentativ für die Arbeitsschicht gelten dürfen, so ist der Summenindex mit dem Bewertungsindex nach den Technischen Regeln TRGS 402 gleichzusetzen.

Im Rahmen des Projektes wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Inhaltsstoffe in den Reinigern, Lacken, Verdünnungen, Härtern und Hilfsstoffen vorgefunden und mit den aufgeführten Grenzwerten beurteilt.

Die Bewertung der Lösemittel, der Aerosole und der Isocyanate erfolgte getrennt.

Die Beurteilung erfolgt anhand der Liste der Arbeitsplatzgrenzwerte in den Technischen Regeln TRGS 900 [16] oder, soweit keine bekanntgegeben wurden, anhand des niedrigsten internationalen Grenzwertes [17].

TABELLE 3: UNTERSUCHTE GEFÄHRSTOFFE

Lösemittel	CAS-Nr.	Art des Grenzwertes	Grenzwert [mg/m ³]	Spitzenbegrenzung
Propan-1-ol	71-23-8	IGW ²	500	
Propan-2-ol	67-63-0	AGW ¹	500	2(II)
Butan-1-ol	71-36-3	AGW ¹	310	1(I)
2-Methylpropanol-1, Iso-Butanol	78-83-1	AGW ¹	310	1(I)
Aceton	67-64-1	AGW ¹	1200	2(I)
Butan-2-on	78-93-3	AGW	600	1(I)
4-Methyl-pentan-2-on / MIBK	108-10-1	AGW ¹	83	2(I)
5-Methyl-2-Hexanon	110-12-3	AGW	95	-
Cyclohexanon	108-94-1	AGW ¹	80	1(I)
4-Hydroxy-4-Methylpentan-2-on	123-42-2	AGW ¹	96	2(I)
1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	AGW ¹	370	2(I)
2-Methoxy-1-methylethylacetat / 1-Methoxypropylacetat-2	108-65-6	AGW ¹	270	1(I)
2-Butoxyethanol	111-76-2	AGW ¹	49	4(II)
2-Butoxyethylacetat	112-07-2	AGW ¹	130	4(II)
Ethylacetat	141-78-6	AGW ¹	1500	2(I)
n-Butylacetat	123-86-4	AGW ¹	300	2(I)
Iso-Butylacetat/ 2-Methyl-1-propylacetat	110-19-0	AGW	300	2(I)
Toluol*)	108-88-3	AGW ¹	190	4(II)
Xylol (alle Isomeren)*)	330-20-7	AGW ¹	440	2(II)
Ethylbenzol*)	100-41-4	AGW ¹	88	2(I)
1,2,4-Trimethylbenzol*)	95-63-6	AGW	100	2(II)
Mesitylen/ 1,3,5-Trimethylbenzol*)	108-67-8	AGW	100	2(II)
Styrol	100-42-5	AGW ¹	86	2(II)
Kohlenwasserstoffgemische		AGW ¹	RCP Gruppen- grenzwerte	2(II)
C5-C8 Aliphaten			1500	

Lösemittel	CAS-Nr.	Art des Grenzwertes	Grenzwert [mg/m ³]	Spitzenbegrenzung
C9-C15 Aliphaten			600	
C7-C8 Aromaten			200	
C9-C15 Aromaten			100	
Hexamethylen-1,6-diisocyanat (HDI)	822-06-0	AGW ¹	0,035	1;=2=(I)
2,4-Diisocyanattoluol (2,4-TDI)	584-84-9	AGW ¹	0,035	1;=4=(I)
2,6-Diisocyanattoluol (2,6-TDI)	91-08-7	AGW ¹	0,035	1;=4=(I)
3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcylohexylisocyanat Isophorondiisocyanat (IPDI)	4098-71-9	AGW ¹	0,046	1;=2=(I)
Hexamethylen-1,6-diisocyanat, oligomer (auch bezeichnet als Hexamethylen-1,6-diisocyanat, homopolymer; Aliphatisches Polyisocyanat)	500-060-2 28182-81-2	EBW ³	EBW oder AGW (HDI) ³	
Isophorondiisocyanat, polymer	9046-01-9 (z.T. auch keine Angaben)	EBW ³	EBW oder AGW (IPDI) ³	
Tolyldendiisocyanat, oligomer	53317-61-6 (z.T. auch keine Angaben)	EBW ³	EBW oder AGW (TDI) ³	

1) Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) gemäß TRGS 900 [16]

2) Internationaler Grenzwert (IGW) u.a. Frankreich, England, USA [17]

3) Expositionsbeurteilungswert (EBW) wie im Sicherheitsdatenblatt angegeben, bei fehlenden Angaben wird der AGW des entsprechenden Monomers eingesetzt

*) Bei Vorliegen eines Kohlenwasserstoffgemisches (KW-Gemisch) werden die Komponenten als Bestandteil des KW-Gemisches in die Berechnung des RCP-Wertes einbezogen

4.3.1 BEWERTUNG DER LÖSEMITTEL

Der Summenindex SI_{LM} für die Bewertung der Gesamtexposition (einzelne flüchtige Stoffe und Beitrag des Kohlenwasserstoffgemisches) wird berechnet durch Aufsummieren der Stoffindizes für die Parameter:

$$SI_{LM} = \sum I_i = \frac{c_1}{GW_1} + \frac{c_2}{GW_2} + \dots + \frac{c_n}{GW_n}$$

Dämpfe aus Kohlenwasserstoffgemischen werden entsprechend den TRGS 900, Abschnitt 2.9, bewertet. Unter den Anwendungsregeln ist hervorzuheben, dass für die Bewertung der jeweils

niedrigste Grenzwert herangezogen werden muss, falls mehrere Kohlenwasserstoffgemische parallel oder direkt nacheinander eingesetzt werden. Das kann beispielsweise der Fall sein, wenn die Reinigung der Spritzpistole mit Waschverdünnung in dem Betriebsbereich erfolgt, wo frisch mit Lösemittellack beschichtete Teile zum Trocknen abgelegt sind.

4.3.2 BEWERTUNG DER LACKAEROSOLE

Die Expositionshöhen für die Aerosole können nicht abschließend beurteilt werden, da derzeit kein Grenzwert bekannt gegeben ist. Nach den Technischen Regeln TRGS 900 darf der Allgemeine Staubgrenzwert auf Lackaerosole nicht angewendet werden, er gilt jedoch als allgemeine Obergrenze. In Abschnitt 2.4 der TRGS 900 wird bei Lackaerosolen auf das in den BG-Regeln BGR 231 behandelte Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten [2] Bezug genommen: Wenn es darum geht, ob persönlicher Atemschutz notwendig ist oder nicht, kann demzufolge die analytische Bestimmungsgrenze des Messverfahrens (1,45 mg/m³ nach der DFG-Methode „Lackaerosole Nr. 2“) als Maßstab herangezogen werden.

4.3.3 BEWERTUNG DER ISOCYANATE

Diisocyanate und Polyisocyanate aus Lacksystemen, welche applikationsbedingt Aerosole bilden, werden als Gefahrstoffe nach Maßgabe der Technischen Regeln TRGS 430 „Isocyanate – Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen [18]“ bewertet:

$$SI_{NCO} = \sum \frac{c_i}{AGW_i} + c_{Poly} * \frac{APF}{EBW}$$

c_i	=	Konzentration der monomeren Diisocyanate
AGW	=	Arbeitsplatzgrenzwert der monomeren Diisocyanate
c_{Poly}	=	Konzentration der polymeren Isocyanate
APF	=	Aerosolpenetrationsfaktor
EBW	=	Expositionsbeurteilungswert
SI_{NCO}	=	Summenindex nach den TRGS 430

Der Expositionsbeurteilungswert (EBW) berücksichtigt die geringere Wirkung von Polyisocyanat-Aerosolen im Vergleich zu den monomeren Diisocyanaten im akuten Inhalationsversuch. Fehlen Angaben zum EBW wird gemäß TRGS 430 der Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 für das entsprechende Monomer angewendet. Der Aerosolpenetrationsfaktor stellt das durch Untersuchungen ermittelte Verhältnis der Penetrationsfähigkeit des Polyisocyanat-Aerosols in der Atemluft zum tatsächlichen lungengängigen Anteil der polymeren Isocyanat-Aerosole bei Verspritzen der Lacke dar. Bei der Berechnung des SI wurden in Abhängigkeit von den vorgefundenen Spritzverfahren und den Einsatzmaterialien die in den TRGS 430 veröffentlichten APF-Werte verwendet.

Als Expositionsbegrenzung gilt der Summenindex $SI_{NCO} = 1$.

5 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN

Im Ermittlungszeitraum wurden durch die Ländermessstellen von Hessen, Hamburg, und Rheinland-Pfalz in 42 Betrieben Messungen durchgeführt. Den Schwerpunkt bildeten dabei Betriebe aus dem Bereich Anlagen- und Maschinenbau (31). Darüber hinaus wurden 7 Industrielackier- und 4 Stahlbaubetriebe beprobt. Die Verteilung der Betriebsgrößen ist in Abbildung 7 dargestellt.

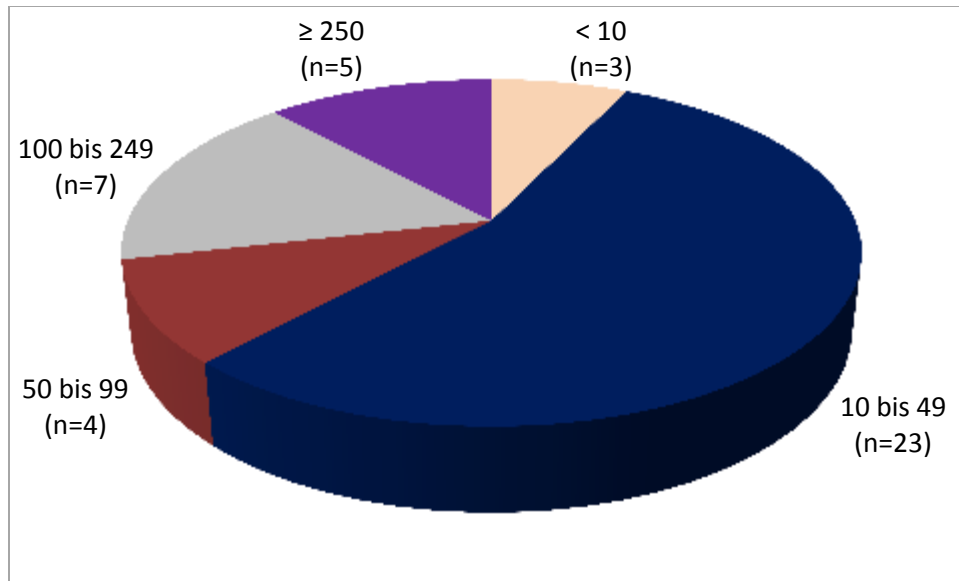


ABBILDUNG 7: GRÖÖE DER UNTERSUCHTEN BETRIEBE UNTERSCHIEDEN ANHAND DER ANZAHL DER ARBEITNEHMER
(n = ANZAHL DER BETRIEBE)

In die Auswertung wurden insgesamt 126 tätigkeits- oder arbeitnehmerbezogene Mittelwerte für Lösemittel, 97 für Aerosole und 57 für Isocyanate einbezogen, ermittelt aus 497 Lösemittel-, 184 Aerosol- und 112 Isocyanat-Einzelmessungen.

Tabelle 4 bis Tabelle 6 geben einen Gesamtüberblick über die Gefahrstoffbelastung bei den relevanten Arbeitsschritten bei der Oberflächenbeschichtung. An den untersuchten Arbeitsplätzen wurden Einzelmessungen bei den dort üblichen Tätigkeiten durchgeführt. Anschließend wurde ein tätigkeitsbezogener zeitgewichteter Mittelwert (analog der Schichtmittelwert) errechnet, der Auskunft über die Belastung an dem untersuchten Arbeitsplatz gab. Für die Beurteilung der Lösemittel und der Isocyanate werden Messergebnisse als Summenindizes dargestellt.

TABELLE 4: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE LÖSEMITTEL (SI) UNTERSCHIEDEN NACH DEN TÄTIGKEITEN

Arbeitsbereiche	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Arbeitsbereiche	126					
Teilevorbehandlung	20	0,092	2,6	0,51	1,8	25
Lackieren	87	0,022	4,5	0,36	1,8	22
Mischtätigkeit mit Lackieren	10	0,13	2,8	0,23	1,8	10
Nebentätigkeiten	9	0,18	3,3	*	*	44

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

TABELLE 5: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE AEROSOLE [mg/m³] UNTERSCHIEDEN NACH DEN TÄTIGKEITEN

Arbeitsbereiche	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Konzentration [mg/m ³]				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	> 1,45 mg/m ³ [%]
Alle Arbeitsbereiche	97					
Lackieren	87	0,41	45	3,5	32	80
Mischtätigkeit mit Lackieren	10	0,91	11	2,1	8,7	70

TABELLE 6: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE ISOCYANATE UNTERSCHIEDEN NACH DEN TÄTIGKEITEN

Arbeitsbereiche	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Arbeitsbereiche	57					
Lackieren	48	0,017	134	4,1	59	73
Mischtätigkeit mit Lackieren	9	0,034	31	*	*	60

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

5.1 TEILEVORBEHANDLUNG

Die Teilverbehandlung erfolgt je nach räumlicher Gegebenheit und eingesetzten Reinigungsmitteln und -verfahren

- direkt vor der technischen Absaugung
- in der Lackierkabine
oder
- frei in den Produktionsräumen (z.T. ohne Lüftungstechnische Anlagen).

Die messtechnischen Erhebungen erfolgten nur beim händischen Reinigen mit lösemittelhaltigen Produkten. Die Reinigungsmittel werden mittels Annetzsystemen oder direkt mit Sprühflaschen auf die zu reinigenden Produkte aufgebracht und mit Papier oder Baumwoll-Putztüchern abgewischt. Benutzte, lösemittelhaltige Reinigungstücher werden in verschleißbaren Behältern gesammelt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 sowie Abbildung 8 dargestellt.

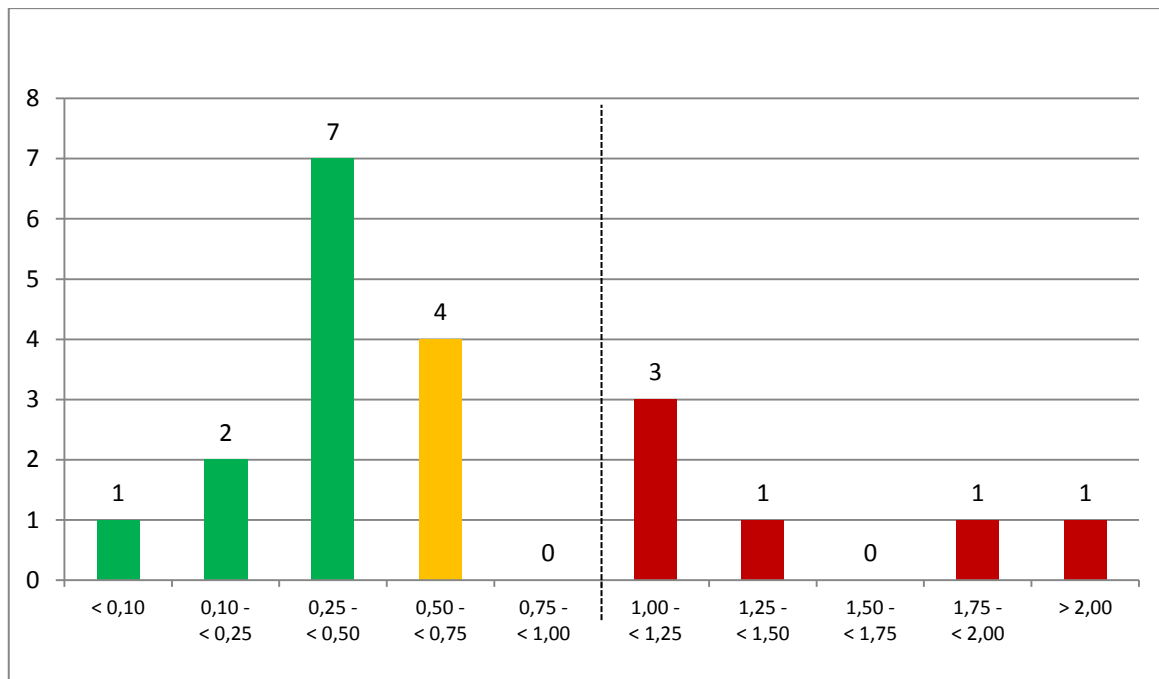


ABBILDUNG 8: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER SUMMENINDIZES FÜR DIE LÖSEMITTEL BEI DER TEILEVORBEHANDLUNG AUFGEGLIEDERT NACH DER GRÖÖE DER SUMMENINDIZES

In 25 % der Messungen wurden die Grenzwerte für die in den Reinigungsmitteln enthaltenen Lösemittel überschritten.

5.2 LACKIEREN

Beim Lackieren wurden tätigkeitsbezogene Messungen auf Lösemittel, Aerosole und, bei Verwendung entsprechender 2K-Lacke, auf Isocyanate durchgeführt. Lackiertätigkeiten werden in speziellen räumlich oder organisatorisch getrennten Arbeitsbereichen durchgeführt. Mit Ausnahme von 2 Betrieben (Stahlbau) verfügen diese Bereiche über eine Lackierkabine, einen Lackierstand oder eine Lackierwand.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 bis Tabelle 6 und Abbildung 9 bis Abbildung 10 dargestellt. Die Daten wurden außerdem auf den Einfluss verschiedener Parameter abgeprüft.

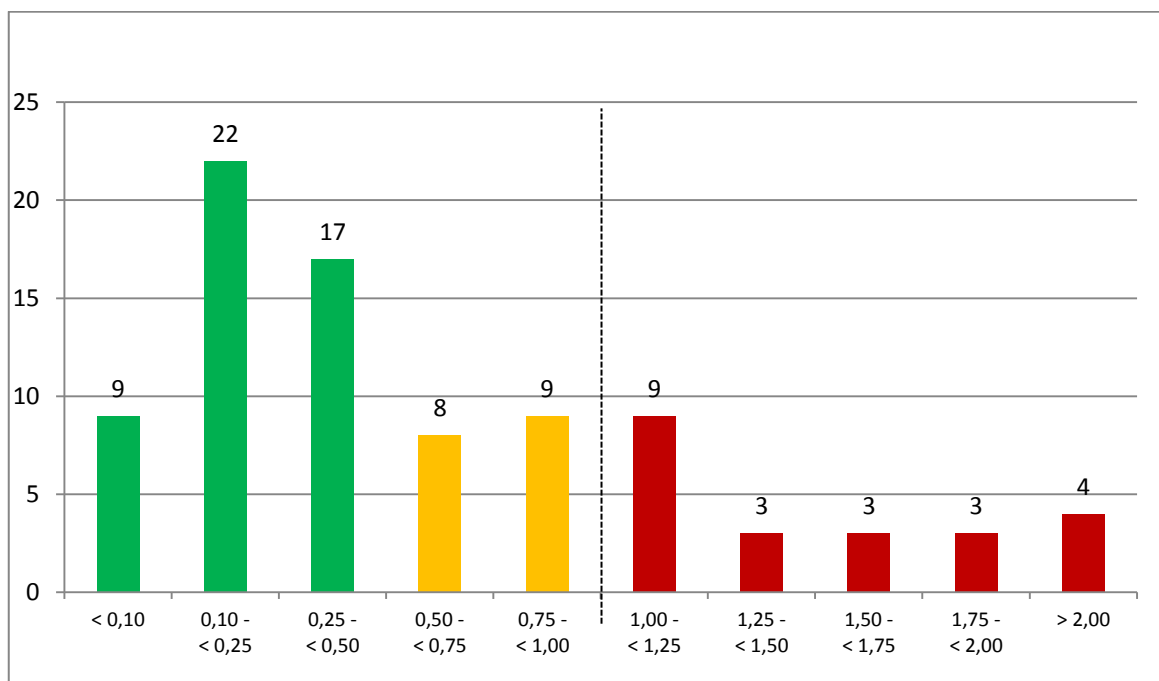


ABBILDUNG 9: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER SUMMENINDIZES FÜR DIE LÖSEMITTEL BEIM LACKIEREN AUFGEGLIEDERT NACH DER GRÖÖE DER SUMMENINDIZES

Bei ca. 22 % der Messungen wurden die Grenzwerte für die Lösemittel überschritten.

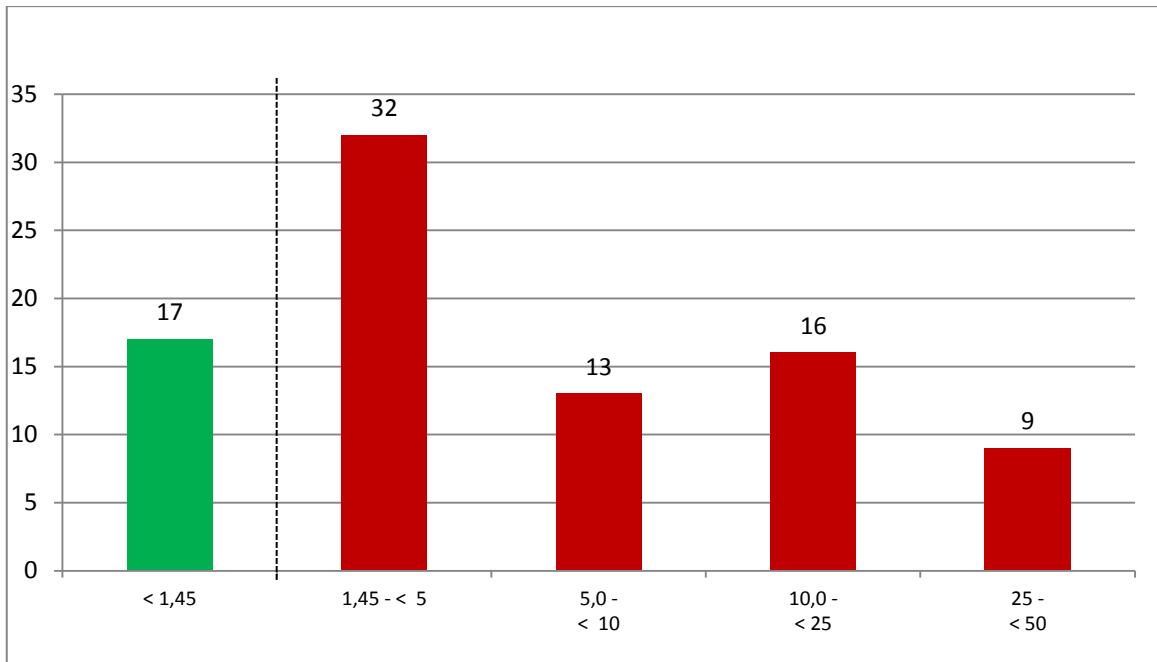


ABBILDUNG 10: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER AEROSOLKONZENTRATIONEN BEIM LACKIEREN AUFGEGLIEDERT NACH DER KONZENTRATION [mg/m³]

Bei 80 % der Messungen liegt die Aerosolkonzentration oberhalb von 1,45 mg/m³. Nach den Vorgaben der BGR 231 „Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten“ muss ab dieser Konzentration Atemschutz getragen werden.

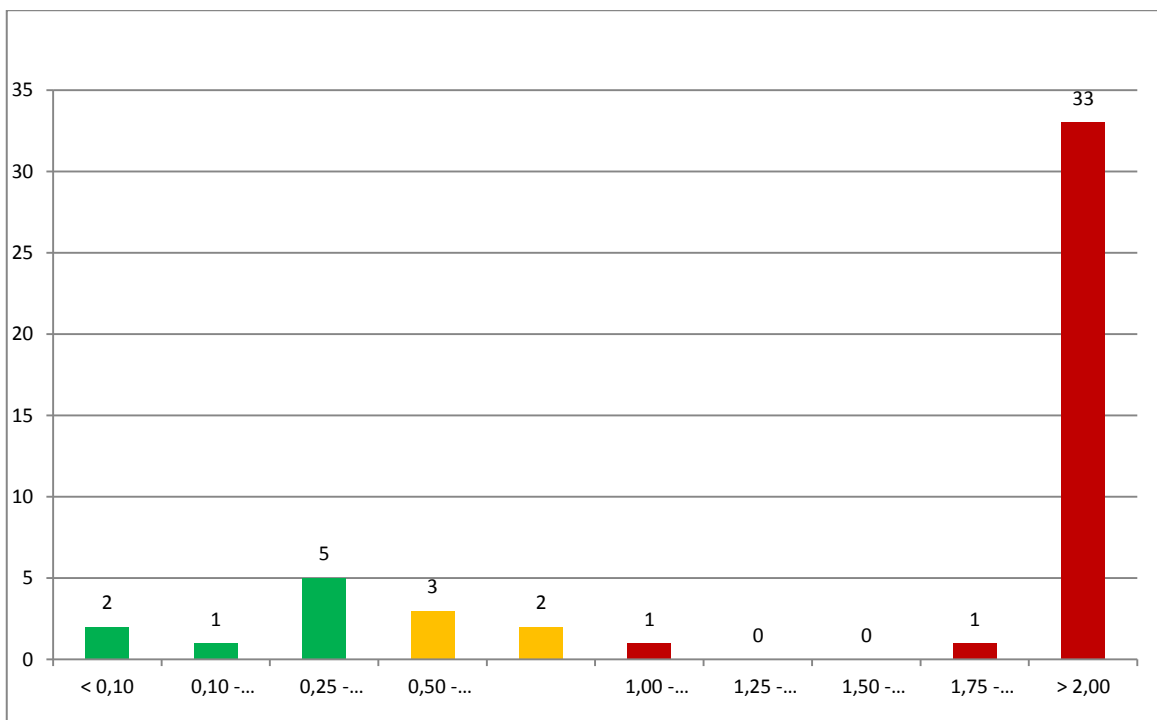


ABBILDUNG 11: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER SUMMENINDIZES FÜR DIE ISO-CYANATE BEIM LACKIEREN AUFGEGLIEDERT NACH DER GRÖÖE DER SUMMENINDIZES

Bei 73 % der Messungen sind die Grenzwerte für die polymeren Isocyanate überschritten. Die Grenzwerte für die monomeren Isocyanate werden eingehalten und die Messergebnisse liegen zum größten Teil unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Einen wesentlichen Anteil an diesem Ergebnis mag die Tatsache haben, dass der Expositionsbeurteilungswert für die polymeren Isocyanate im Sicherheitsdatenblatt nicht angegeben wurde. In diesem Fall ist lt. Vorgaben der TRGS 430 der Arbeitsplatzgrenzwert für das monomere Isocyanat auch für die Beurteilung der Polymere heranzuziehen. Daraus errechnen sich in vielen Fällen zwangsläufig Indizes > 1 .

5.2.1 MESSERGEBNISSE UNTERSCHIEDEN NACH ABSAUGTECHNIK BEI DEN LACKIERTÄTIGKEITEN

In den 42 untersuchten Betrieben kamen unterschiedliche Absaugtechniken zum Einsatz. In einigen der Betriebe waren verschiedene Arten von Absauganlagen anzutreffen. Daher ist in der Übersicht die Anzahl der untersuchten Anlagen größer als die Betriebsanzahl.

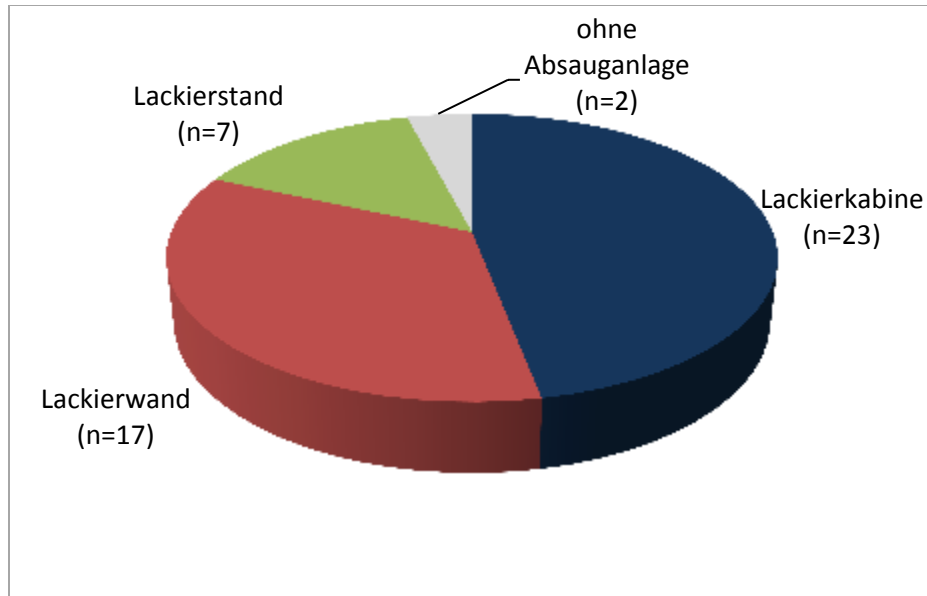


ABBILDUNG 12: ANZAHL DER UNTERSUCHTEN BETRIEBE (n) UNTERSCHIEDEN NACH DER EINGESETZTEN ABSAUGTECHNIK

TABELLE 7: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE LÖSEMITTEL (SI) BEI DEN LACKIARBEITEN UNTERSCHIEDEN NACH ABSAUGTECHNIK

Absaugtechnik	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Anlagenarten	87	0,022	4,5	0,36	1,8	22
Lackierstand	9	0,032	0,60	0,13	0,42	0
Lackierwand	28	0,15	3,4	0,47	1,9	25
Lackierkabine	48	0,022	4,5	0,37	1,8	27
Freie Lüftung	2	0,60	1,2		*	

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

TABELLE 8: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE AEROSOLE [mg/m^3] BEI DEN LACKIARBEITEN UNTERSCHIEDEN NACH ABSAUGTECHNIK

Absaugtechnik	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Konzentration [mg/m^3]				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	> 1,45 mg/m^3 [%]
Alle Anlagen	87	0,41	45	3,5	32	80
Lackierstand	9	0,63	14	0,7	9,2	44
Lackierwand	28	1,0	33	4,7	26	93
Lackierkabine	48	0,41	45	4,6	41	77
Freie Lüftung	2	1,5	7,6		*	

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

TABELLE 9: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE ISOCYANATE (SI) BEI DEN LACKIARBEITEN UNTERSCHIEDEN NACH ABSAUGTECHNIK

Absaugtechnik	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Anlagen	48	0,017	134	4,1	59	73
Lackierstand	7	0,017	47	0,35	35	57
Lackierwand	9	0,57	63	4,8	51	89
Lackierkabine	31	0,13	134	4,1	75	74
Freie Lüftung	1			*		

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

Es wurde keine Absaugtechnik vorgefunden, bei der alle Beurteilungswerte eingehalten wurden. Im Vergleich zu anderen Anlagenarten wurden bei den Lackierständen niedrigere Werte gefunden, dort wurden aber auch nachweislich die kleineren Teile lackiert. Lackierwände und Lackierkabinen zeigen vergleichbare Anteile bei den Grenzwertüberschreitungen.

Bei den Lackierständen lagen alle Summenindizes für die Lösemittel unterhalb von $\text{SI} = 1$. In 44 % der Fälle wurde die Aerosol-Konzentration von $1,45 \text{ mg}/\text{m}^3$ überschritten und bei 57 % der Messwerte für die Isocyanate lag der $\text{SI} > 1$.

Lackierwände erbrachten die am wenigsten zufriedenstellenden Ergebnisse bei den Messungen der luftgetragenen Partikel. Bei den Aerosolen lagen 93% der Messwerte oberhalb der Konzentration von $1,45 \text{ mg}/\text{m}^3$ und bei 89 % der Messwerte lagen die Summenindizes für die Isocyanate bei $\text{SI} > 1$. Die ermittelten Summenindizes für die Lösemittel lagen bei einem Viertel der Messungen bei $\text{SI} > 1$.

Bei den Lackierkabinen lag der ermittelte Summenindex für die Lösemittel in 27 % der untersuchten Arbeitsplätze > 1 . Bei den Aerosolen lagen 77 % der Messwerte oberhalb der Konzentration von $1,45 \text{ mg}/\text{m}^3$. 74 % der Summenindizes für die Isocyanate lagen bei $\text{SI} > 1$.

Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass bei den Untersuchungen isocyanathaltige Lacke am häufigsten in Lackierkabinen eingesetzt wurden (an 31 der 48 Arbeitsplätze mit entsprechenden Lacksystemen). Für Lackierstände und Lackierwände liegen demgegenüber nur wenige Messergebnisse vor.

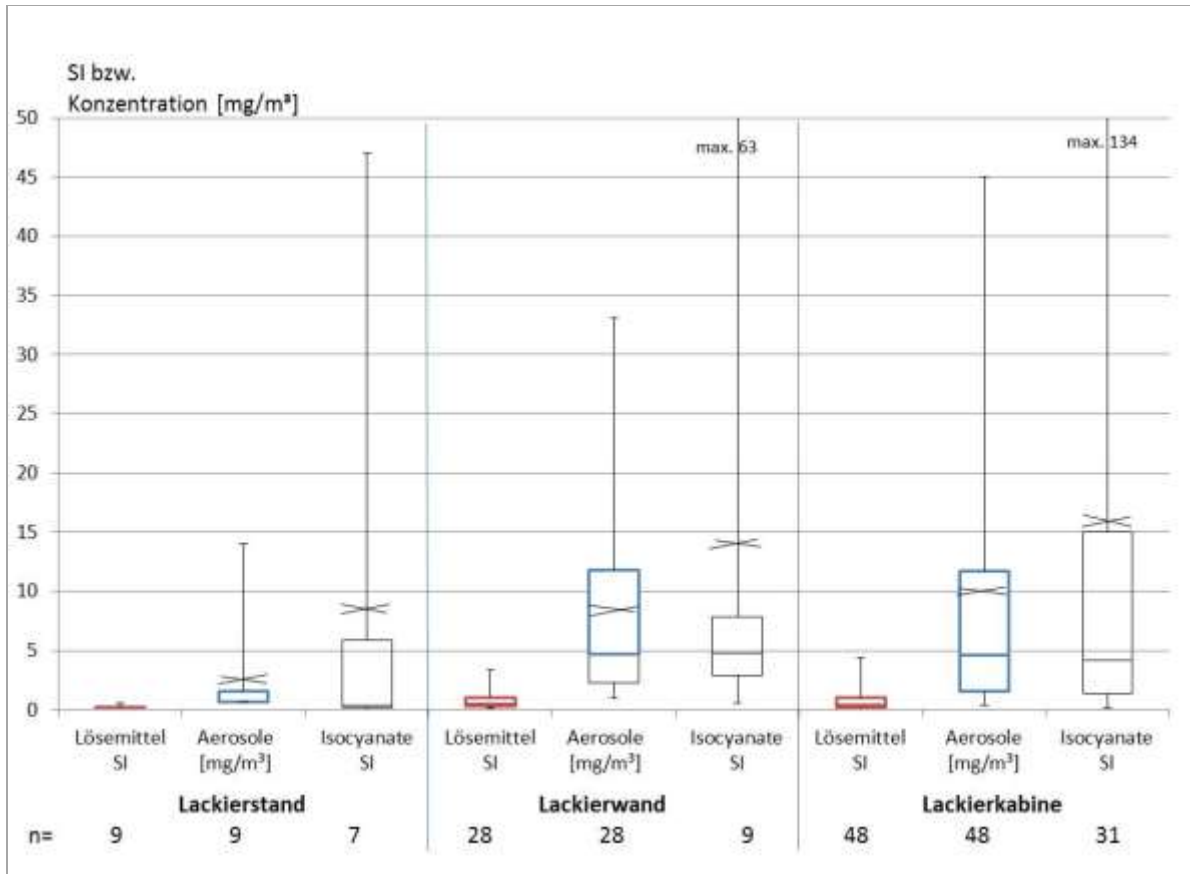


ABBILDUNG 13: GEFÄHRSTOFFBELASTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ABSAUGTECHNIK DARGESTELLT ALS BOX-WHISKER-
PLOT².

² Der Box-Whisker-Plot besteht aus einer Box, einem Rechteck, dessen Unterkante das 25-Perzentil und dessen Oberkante das 75-Perzentil anzeigt. Das Kreuz legt den arithmetischen Mittelwert fest, der Querstrich in der Box den Median. Die Whisker, enden beim letzten erreichten Datenpunkt, dem Minimum bzw. dem Maximum. Bei Arbeitsplatzmessungen liegen im Regelfall schiefe Verteilungen vor, d. h. der Median liegt tiefer als der arithmetische Mittelwert, der durch Extremwerte stark beeinflusst wird.

5.2.2 MESSERGEBNISSE UNTERSCHIEDEN NACH DEN LACKIERVERFAHREN

In den untersuchten 42 Betrieben kamen unterschiedliche Spritzlackierverfahren zum Einsatz. In einem der Betriebe wurden verschiedene Lackierverfahren angetroffen. Daher kommt es in nachfolgender Graphik zu Doppelnennungen.

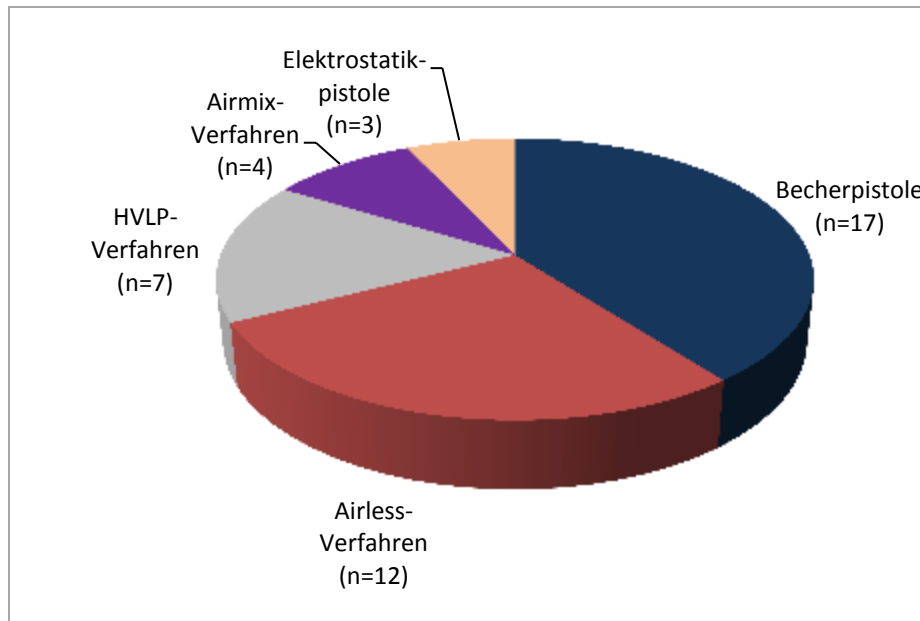


ABBILDUNG 14: ANZAHL DER UNTERSUCHTEN BETRIEBE (n) UNTERSCHIEDEN NACH LACKIERVERFAHREN

TABELLE 10: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE LÖSEMittel (SI) UNTERSCHIEDEN NACH LACKIERVERFAHREN

Lackierverfahren	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Lackierverfahren	88	0,022	4,5	0,36	1,8	22
Becherpistole	36	0,022	4,5	0,27	0,92	3
Airless-Verfahren	24	0,048	2,0	0,57	1,8	42
HVLP-Verfahren	16	0,10	1,7	0,72	1,7	25
Airmix-Verfahren	8	0,062	2,5	*	*	28
Elektrostatisch	4	0,037	3,4	*	*	75

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

TABELLE 11: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE AEROSOLE [mg/m³] UNTERSCHIEDEN NACH LACKIERVERFAHREN

Lackierverfahren	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Konzentration [mg/m ³]				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	> 1,45 mg/m ³ [%]
Alle Lackierverfahren	88	0,41	45	3,6	32	80
Becherpistole	36	0,65	34	31	17	81
Airless-Verfahren	24	0,65	33	3,1	17	83
HVLP-Verfahren	16	0,63	45	23	45	94
Airmix-Verfahren	8	0,46	6,6	*	*	75
Elektrostatisch	4	0,41	30	*	*	75

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

TABELLE 12: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE ISOCYANATE (SI) UNTERSCHIEDEN NACH LACKIERVERFAHREN

Lackierverfahren	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
		Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
Alle Lackierverfahren	48	0,017	134	4,1	59	73
Becherpistole	20	0,37	134	5,3	66	80
Airless-Verfahren	14	0,017	7,2	1,6	6,0	57
HVLP-Verfahren	11	0,32	53	14	47	91
Airmix-Verfahren	3	0,13	97	*	*	33
Elektrostatisch	0					

*: auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze ist eine statistische Auswertung nicht möglich

Bei Lackierarbeiten mit Becherpistolen ist der Summenindex SI für Lösemittel nur in 3 % der Messungen > 1. Dagegen ist bei diesen Arbeiten die Aerosol-Konzentration von 1,45 mg/m³ in 81 % der Messungen überschritten. Auch die Summenindizes für Isocyanate lagen in 80 % der Messungen bei SI > 1.

Wird mit Airless-Pistolen lackiert, lagen die Summenindizes SI für die Lösemittel in 42 % der Fälle oberhalb von 1. Die Aerosolkonzentration von 1,45 mg/m³ wird bei 83 % der Messungen überschritten. Bei den Messungen auf Isocyanate war in 57 % der Fälle der SI > 1.

Bei Verwendung des HVLP-Verfahrens ergab sich für die Lösemittel bei einem Viertel der Messungen ein SI > 1. Die Aerosol-Konzentration von 1,45 mg/m³ war bei 15 von 16 Messungen (94 %) überschritten. Auch bei den Isocyanaten war in 10 von 11 Messungen (91 %) der SI > 1.

Lackierarbeiten mit Airmix- und elektrostatischen Pistolen fanden bei den untersuchten Betrieben weitaus seltener Anwendung.

Beim Airmix-Verfahren lagen die Messwerte für die Lösemittel in 28 % der Messungen bei Summenindizes SI > 1. Die Aerosolkonzentration von 1,45 mg/m³ wurde in 75 % der Messungen

überschritten. Die Summenindizes für die Isocyanate lagen bei einem Drittel der Messungen bei $SI > 1$.

Arbeiten mit Elektrostatikpistolen fanden in den Betrieben des Projektes nur bei der Verwendung von 1K-Lacken statt. Ergebnisse einer möglichen Isocyanatexposition für diesen Pistolentyp liegen daher nicht vor. Für die Lösemittel wurde bei 3 von 4 Arbeitsplätzen ein Summenindex $SI > 1$ ermittelt. Die Aerosol-Konzentration von $1,45 \text{ mg/m}^3$ war ebenfalls bei 3 von 4 Arbeitsplätzen überschritten.

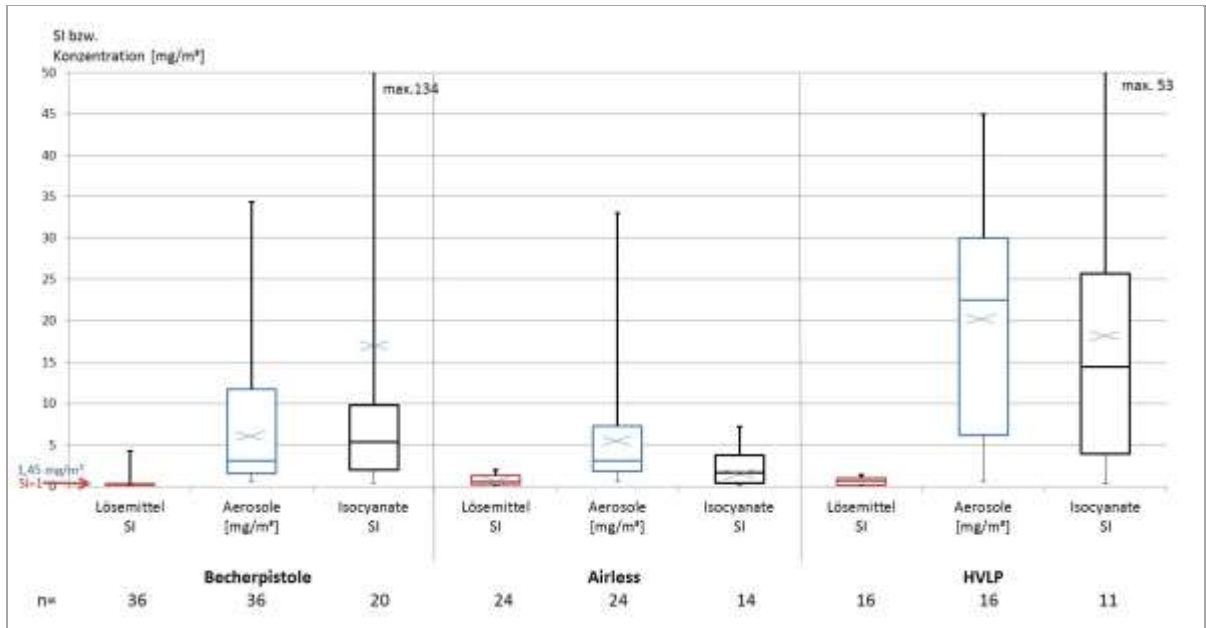


ABBILDUNG 15: GEFÄHRSTOFFBELASTUNG IN ABHÄNGIGKEIT DES LACKIERVERFAHRENS DARGESTELLT ALS BOX-WHISKER-PLOT² (BEI DEN VERFAHREN AIRMIX UND ELEKTROSTATISCH WAR AUF GRUND DER GERINGEN ANZAHL DER UNTERSUCHTEN ARBEITSPLÄTZE DIE DARSTELLUNG NICHT MÖGLICH)

5.2.3 MESSERGEBNISSE UNTERSCHIEDEN NACH WEITEREN EINFLUSSFAKTOREN

Betrachtet werden in diesem Kapitel die Einflussfaktoren

- Lackart
- Größe und Geometrie der Teile
- Lackverbrauch

5.2.3.1 EINFLUSSFAKTOR LACKART

TABELLE 13: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE LÖSEMittel (SI) UND AEROSOLE [mg/m³] UNTERSCHIEDEN NACH LACKART

Verwendete Lackart	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Lösemittel (SI)		Aerosolkonzentration [mg/m ³]	
		Median	95 Perzentil	Median	95 Perzentil
Industrielacke	21	0,29	2,5	2,6	14
2K-Lacke (Polyurethan)	41	0,30	1,7	3,5	30
2K-Lacke (Epoxid-/Alkydharz)	19	0,61	2,0	12	45
Industrielacke + 2K-Lacke	6	0,16	0,16	3,0	6,5

Bei dem Vergleich der unterschiedlichen Lackarten, unabhängig von den Spritzverfahren konnte zwischen Industrielacken und isocyanathaltigen 2K-Polyurethan-Lacken kein Unterschied hinsichtlich der durchschnittlichen Lösemittelbelastung (Median des Tätigkeitsindex in beiden Fällen = 0,2) festgestellt werden. Lediglich der Aerosolanteil ist höher (Median des Tätigkeitsindex 2,6 mg/m³ für Industrielack gegenüber 3,5 mg/m³ für 2K-PUR-Lack).

Bei Verwendung von 2K-Lacken auf Epoxid-/Alkydharzbasis wurden allerdings im Vergleich zu Industrielacken im Median doppelt so hohe Indizes für die Lösemittel (SI = 0,6) und vierfach höhere Aerosolkonzentrationen (12 mg/m³) ermittelt.

5.2.3.2 EINFLUSSFAKTOREN TEILEGRÖÖE UND TEILEGEOMETRIE

Es ist festzustellen, dass je größer die zu lackierenden Teile sind, desto höher ist die Gefahrstoffbelastung. Das Problem hierbei stellt nicht nur die Menge des aufzutragenden Lackes dar, sondern auch die Notwendigkeit, Lackierarbeiten in Innenräumen von Konstruktionsteile durchzuführen. Ferner wurden die Teile bedingt durch ihr Gewicht nicht optimal zu den Erfassungselementen der Absaugvorrichtungen (hauptsächlich Spritzwände oder Lackierkabinen) ausgerichtet. Dabei ist aufgefallen, dass häufig Lackierarbeiten über Kopf vorgenommen wurden, oder der Lackierer zwischen Absaugvorrichtung und Lackiergut stand.

5.2.3.3 EINFLUSSFAKTOR LACKVERBRAUCH

TABELLE 14: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE UNTERSCHIEDEN NACH LACKVERBRAUCH (n= ANZAHL UNTERSUCHTE ARBEITSPLÄTZE)

Verwendete Lackmenge/Tag	Summenindex SI Lösemittel (SI)		Aerosolkonzentration [mg/m ³]		Summenindex SI Isocyanate	
	Median	95 Perzentil	Median	95 Perzentil	Median	95 Perzentil
bis 20 kg	0,2 (n=49)	1,0 (n=49)	2,5 (n=49)	27 (n=49)	4 (n=36)	51 (n=36)
20-50 kg	1,1 (n=18)	2,4 (n=18)	11 (n=18)	45 (n=18)	4 (n=9)	102 (n=9)
> 50 kg	0,6 (n=12)	2,5 (n=12)	3,1 (n=12)	31 (n=12)	5,5* (n=3)	16** (n=3)

*: Minimum **: Maximum, da auf Grund der Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze die Angabe von Median und 95%til nicht möglich ist

Hinsichtlich des Lackverbrauches wurde Folgendes festgestellt:

- Bei einem Lackverbrauch von 20 – 50 kg pro Tag wurden die höchsten Gefahrstoffbelastungen ermittelt. In diesem Bereich sind Spritzverfahren und Anlagentechnik oft nicht optimal aufeinander abgestimmt und führen zu hohen Gefahrstoffbelastungen.
- Bei einem Lackverbrauch von bis zu 20 kg/Tag wird zu ca. 75 % mit Druckluftverfahren lackiert (Becherpistole, HVLP). Bei einem Lackverbrauch von mehr als 50 kg/Tag wird zu ca. 80 % mittels Airless-Verfahren lackiert.

5.3 MISCHTÄTIGKEIT MIT LACKIEREN

Bei den Mischttätigkeiten mit Lackieren handelt es sich um Arbeitsplätze bei denen die Arbeitnehmer sowohl die Teilverarbeitung (Teilerreinigung, Abkleben und Materialtransport) als auch Lackiertätigkeiten in einem Arbeitsgang durchführen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-6 dargestellt.

Bei 10 % der Messwerte wurden die Grenzwerte für Lösemittel überschritten.

Bei 60 % der Messungen sind die Grenzwerte für die Isocyanate überschritten. Einen wesentlichen Anteil an diesem Ergebnis hat wohl die Tatsache, dass der Expositionsbeurteilungswert für die polymeren Isocyanate im Sicherheitsdatenblatt nicht angegeben wurde. In diesem Fall ist lt. Vorgaben der TRGS 430 der Arbeitsplatzgrenzwert für das monomere Isocyanat auch für die Beurteilung der Polymere heranzuziehen. Daraus errechnen sich in vielen Fällen zwangsläufig Indizes > 1.

Bei 70 % der Messungen liegt die Aerosolkonzentration oberhalb 1,45 mg/m³. Nach den Vorgaben der BGR 231 „Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten“ muss ab dieser Konzentration Atemschutz getragen werden.

5.4 NEBENTÄTIGKEITEN

In dieser Auswertung werden Einzelergebnisse für die Tätigkeiten Lackansatz, manuelle Reinigung von Lackierzubehör und Spachteln von Oberflächen zusammengefasst.

Da für diese Nebentätigkeiten entsprechend der Tabelle 4 nur insgesamt 9 Bewertungsindizes vorliegen, wird auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Im Einzelnen stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

Beim Lackansatz wurden zwei Tätigkeitsindizes von jeweils ca. 0,65 ermittelt. Der hier ermittelte Wert hat nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtbelastung der Lackierer, da der zeitliche Anteil des Lackansatzes unter 30 min pro Schicht liegt.

Bei der manuellen Reinigung von Lackierzubehör (Lackierpistole, Becher usw.) wurden in insgesamt vier Betrieben Tätigkeitsindizes von jeweils über 2 ermittelt. Ursache für die hohe Belastung ist, dass diese Tätigkeit i.d.R. an nicht abgesaugten Arbeitsplätzen mit offenen Gefäßen erfolgt. Da der zeitliche Anteil der Reinigungsarbeiten (z.B. durch mehrmaliges Reinigen bei Lackwechseln) bis zu einer Stunde pro Schicht betragen kann, trägt diese Exposition wesentlich zu der Gesamtbelastung bei. Die Kurzzeitwertanforderungen werden aber eingehalten.

6 DISKUSSION DER MESSTECHNISCHEN ERGEBNISSE

6.1 VERGLEICH MIT BISHERIGEN DATENKOLLEKTIVEN

Messdaten aus dem Arbeitsbereich Spritzlackieren liegen uns von früheren Untersuchungen aus der Branche der Holzbe- und -verarbeitung vor (s. LASI-Veröffentlichung LV 43 „Handlungsanleitung Spritzlackieren von Hand bei der Holzbe- und -verarbeitung“ [11]).

Die aktuellen Messdaten aus der Metallbranche und die Messdaten der Holzbranche der LV 43 sind in Tabelle 15 gegenübergestellt.

TABELLE 15: VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER MESSDATEN AUS DEM HOLZBE- UND VERARBEITENDEN GEWERBE [11] UND AUS DER METALLVERARBEITUNG UND INDUSTRIELACKIERUNG

Stoffe		Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Mittelwert	Median	Maximum	95- Perzentil
Lösemittel Lackieren (BI)	Holz	99	0,12	0,07	0,57	0,42
	(SI) Metall	87	0,68	0,36	4,5	1,8
Aerosole [mg/m³]	Holz	82	1,44	1,18	5,01	3,28
	Metall	87	8,6	3,5	45	32
Isocyanate (I_{Monomer})	Holz	42	0,023	0,010	0,18	0,08
	(I_{Polymer})	Holz	24	0,019	0,010	0,08
(I_{Monomer} + I_{Polymer})	Metall	48	14	4,1	134	59

Zwischen den Belastungen in beiden Branchen gibt es deutliche Unterschiede, und zwar bei allen Stoffgruppen. Vergleicht man die 95-Perzentile beider Messdatenkollektive, so wurden während der Spritzlackierarbeiten von Metalloberflächen für die Lösemittel um den Faktor 4 höhere, bei den Aerosolen um den Faktor 10 höhere und bei den Isocyanaten sogar um den Faktor 850 höhere Luftbelastungen gefunden.

Vergleichbar mit dem Datenkollektiv, das den BRG 231 zugrunde liegt, ist die Häufigkeitsverteilung der Aerosolkonzentration. Dieses Datenkollektiv umfasst 303 Lackaerosol-Messwerte aus dem Zeitraum 1998-2002 in unterschiedlichen Branchen (u.a. beinhaltet es auch das Kollektiv der LV 43). Es wird hier in Tabelle 16 mit dem aktuellen Datenkollektiv verglichen:

TABELLE 16: VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER LACKAEROSOLKONZENTRATION GEMÄß BGR 231 SOWIE DIE ERGEBNISSE DIESER AKTUELLEN UNTERSUCHUNG IN ABHÄNGIGKEIT DER ABSAUGTECHNIK

Absaugtechnik		Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit der Lackaerosolkonzentration [%]					
			<2 mg/m ³	2-<5 mg/m ³	5-10 mg/m ³	10-25 mg/m ³	25-50 mg/m ³	>50 mg/m ³
Spritzstand	Aktuelle Untersuchung	9	78	11	0	11	0	0
	Datenkollektiv BGR 231	140	81	15	4	0	0	0
Spritzwand	Aktuelle Untersuchung	28	21	29	14	29	7	0
	Datenkollektiv BGR 231	54	46	20	15	15	2	2
Spritzkabine	Aktuelle Untersuchung	48	31	25	15	15	15	0
	Datenkollektiv BGR 231	107	43	12	12	20	10	3

Für die sehr viel höheren Messwerte bei den polymeren Isocyanaten konnte keine Erklärung gefunden werden. Die monomeren Isocyanate lagen in vergleichbaren Konzentrationen vor. Bei dem überwiegenden Anteil der Proben konnten sie nicht nachgewiesen werden oder ihre Konzentration lag unterhalb der Bestimmungsgrenze.

In Deutschland erfolgt die Beurteilung der Isocyanate bei Spritzapplikationen gemäß TRGS 430 Anlage 2, Abs. 3 über die Bewertungsindizes, die mit dem von den Herstellern angegebenen Expositionsbeurteilungswert (EBW) und dem Aerosolpenetrationsfaktor (APF) berechnet werden. Eine gesetzliche Verpflichtung zur Angabe dieses Wertes in den Sicherheitsdatenblättern ist weder in der REACH-Verordnung vorgesehen, noch aus der TRGS 430 ableitbar. Bei fehlenden Angaben muss jedoch im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung der Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 für das entsprechende Monomer angewendet werden. Angaben zum EBW wurde nur bei einem Produkt vorgefunden. Die Sicherheitsdatenblätter enthielten auch keine Angaben zu APF. Hier wurden die APF-Werte gemäß TRGS 430 Anlage 2, Abs. 2.4 verwendet.

In Großbritannien, Australien und Schweden erfolgt die Beurteilung der Isocyanatbelastung über die Summe der reaktiven Isocyanatgruppen (*Totalkonzentration Reaktiver Isocyanat-Gruppen*, TRIG) mit einem Grenzwert von 0,02 mg/m³ [20]. In einer Studie über Fahrzeugreparaturlackierung wurde gezeigt, dass dieser Grenzwert beim Spritzlackieren deutlich überschritten wird (TRIG bei 166 Messungen im Median: 0,205 mg/m³ mit einem Maximalwert von 5,52 mg/m³ [19]). Die Bestimmung der TRIG kann, außer bei Spritzapplikationen, auch gemäß TRGS 430 zur Abschätzung einer potentiellen Exposition durch Isocyanate herangezogen werden. Als Expositionsleitwert (ELW) wurde eine TRIG von 0,018 mg NCO/m³ festgelegt. Deshalb wurde in diesem Untersuchungsprojekt ebenso die TRIG bestimmt. Ermittelt wurden TRIG von 0,0004 bis 0,61 mg/m³ (Median: 0,054 mg/m³, Mittelwert: 0,115 mg/m³).

6.2 BEURTEILUNG DER EXPOSITION UND DER WIRKSAMKEIT DER SCHUTZMAßNAHMEN

Nach § 9 Abs. 1 und 2 der Gefahrstoffverordnung hat der Arbeitgeber die Gefahrstoffbelastung beim Spritzlackieren auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Er muss sicherstellen, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden (§ 7 Abs. 8 GefStoffV). Dies wird erreicht, wenn die Grenzwerte für Lösemittel und Isocyanate und die Bestimmungsgrenze für Lackaerosole nicht überschritten werden. Bei Überschreitungen müssen technische und organisatorische Maßnahmen getroffen werden.

In vielen Betrieben wurden diese technischen und organisatorischen Maßnahmen vernachlässigt, mit dem Argument, dass sowieso Atemschutz getragen wird.

Das Tragen von belastenden³ Atemschutzgeräten darf keine Dauermaßnahme sein.

Bei der Festlegung und Anwendung geeigneter Schutzmaßnahmen ist folgende Rangfolge zu beachten:

1. Prüfung, ob Stoffe oder Zubereitungen mit geringerem gesundheitlichen Risiko verwendet werden können,
2. Ist das Auftreten von Gefahrstoffen in der Umgebungsluft nicht sicher auszuschließen, Ermittlung, ob deren Grenzwerte eingehalten werden,
3. Gestaltung geeigneter Verfahren und technischer Steuerungseinrichtungen von Verfahren, Einsatz emissionsfreier oder emissionsarmer Verwendungsformen sowie Verwendung geeigneter Arbeitsmittel und Materialien nach dem Stand der Technik,
4. Anwendung kollektiver Schutzmaßnahmen technischer Art an der Gefahrenquelle, wie angemessene Be- und Entlüftung und Anwendung geeigneter organisatorischer Maßnahmen,

Sofern eine Gefährdung nicht durch Maßnahmen nach den Nummern 1 - 4 verhütet werden kann, sind individuelle Schutzmaßnahmen, die auch die Bereitstellung und Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung umfassen, zu treffen. Die Verwendung von belastender Schutzausrüstung ist für jeden Beschäftigten nach § 7 Abs. 5 GefStoffV auf das unbedingt erforderliche Minimum zu beschränken. Die DGUV-Regel BGR/GUV-R 190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ [21] konkretisiert die Tragzeitbegrenzung mit Anhaltswerten für Tragedauer, Erholungsdauer, Einsätzen pro Arbeitsschicht und Arbeitsschichten pro Woche, bei deren Einhaltung im Allgemeinen die Überbelastung einer geeigneten Person vermieden wird. Im Einzelfall ist die tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung unter Einbeziehung eines Arbeitsmediziners nötig, um eine Festlegung zu treffen. Die persönliche Eignung ist im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge bestätigen zu lassen.

³ *Belastende Atemschutzgeräte sind nach BGR/GUV-R 190 [21] Geräte, bei deren Benutzung die arbeitsmedizinische Vorsorge G 26 „Atemschutzgeräte“ und die Tragezeitbegrenzung zu berücksichtigen sind. „Nicht belastender Atemschutz“ sind Airstreamsysteme mit Filter oder Fremdbelüftung.*

Die BGR 231 [2] sowie BGI 740 [4] definieren im Sinne der Punkte 3 und 4 u.a. folgende wesentliche technische und organisatorische Maßnahmen:

- Spritzlackierarbeiten sind in Arbeitsbereichen auszuführen, die mit einer technischen Lüftung versehen sind und deren Wirksamkeit kontinuierlich überprüft wird. Die BGI 740 definiert u.a. folgende Maßnahmen für eine wirksame technische Lüftung:
 - Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
 - Querdurchströmung des Spritzbereiches/Raumes (horizontal oder vertikal). Die Arbeitsplätze sollten dabei im Bereich der Frischluftzuführung liegen
 - Zuluftvolumenstrom ungefähr gleich dem Abluftvolumenstrom
Dabei sind Zu- und Abluft so zu führen, dass sowohl beim Lackieren entstehende Spritznebel als auch die Lösemitteldämpfe von frisch lackierten Teilen sicher erfasst werden.
- Einstellen der Spritzanlage und Führen des Spritzgerätes entsprechend den Herstellerangaben
- Führen des Spritzstrahls senkrecht zur Oberfläche
- Aufstellung der Werkstücke in möglichst kurzer Entfernung zur Absaugwand
- Führen des Spritzstrahls in Richtung auf die Absaugwand hin, gegebenenfalls Drehen des Werkstückes auf drehbarer Werkstückauflage
- Vermeiden von Spritzlackierarbeiten über Kopf durch Verwendung von Hilfsmitteln, z.B. höhenverstellbaren Werkstückauflagen oder Podesten

In wie weit die Maßnahmen dieses Kriterienkataloges umgesetzt waren, ist in die hier vorgenommene Beurteilung der untersuchten Arbeitsbereiche eingeflossen.

Nach der TRGS 402 kann bei der Beurteilung der Schutzmaßnahmen der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ oder „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ lauten. Der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ wurde ausgesprochen, wenn sowohl für die Lösemittelbelastung als auch für die Belastung durch Isocyanate ein Summenindex <1 ermittelt wurde und die Lackaerosolbelastung unterhalb der Bestimmungsgrenze lag. Dieser Befund konnte lediglich in 4 Betrieben (10 %) erhoben werden.

In allen anderen Betrieben lagen die vorgefundenen Konzentrationen mindestens in einem Arbeitsbereich oberhalb der Beurteilungsmaßstäbe.

In 52 % aller Betriebe war dies auf offensichtliche Nichtbeachtung oder Unkenntnis der Maßnahmen des obigen Katalogs zurückzuführen (in Abbildung 16 rot dargestellt).

Häufige Mängel in den Betrieben, die zum Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend - technische und organisatorische Maßnahmen erforderlich“ führten, waren:

- Lackieren an Spritzwänden außerhalb des Erfassungsbereiches

- Lackieren über Kopf
- Lackieren in Hohlräumen, ohne Verwendung von Spritzlanzen o.ä.
- Lackieren entgegen der Absaugrichtung
- Geringe Luftwechselrate (Kabinen) bzw. schlechte Erfassungsqualität. Defizite werden durch fehlende Wirksamkeitskontrolle (z. B. mit Rauchröhrchen) nicht festgestellt.
- Manuelle Pistolenreinigung. Hier ist neben der inhalativen auch die dermale Belastung deutlich höher als bei dem Einsatz von Reinigungsautomaten.
- Fehlende Substitutionprüfungen, insbesondere bei den verwendeten Reinigungsmitteln.

In 38 % der Betriebe waren solche offensichtlichen Mängel nicht erkennbar, trotz Überschreitung der Beurteilungsmaßstäbe (in Abbildung 16 gelb dargestellt). In diesen Betrieben sind persönliche Schutzmaßnahmen, wie die Anwendung von nicht belastendem Atemschutz zu treffen.

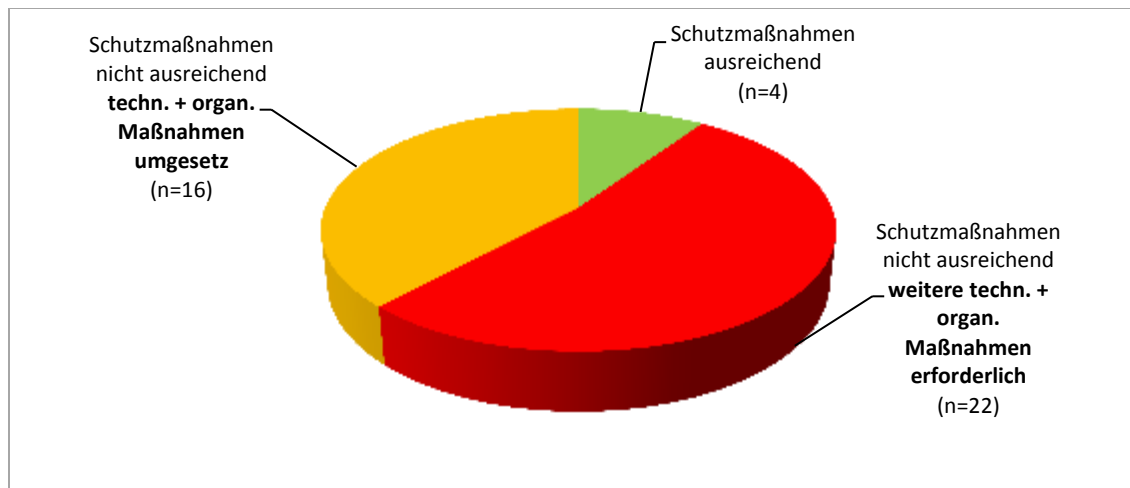


ABBILDUNG 16: BEURTEILUNG DER VORGEFUNDENEN TECHNISCHEN UND ORGANISATORISCHEN SCHUTZMAßNAHMEN (n = ANZAHL DER BETRIEBE)

Ein unmittelbarer Einfluss der diversen Spritzverfahren auf die Höhe der Gefahrstoffexposition ist nicht zu erkennen. So wurden nur im Hinblick auf die Lösemittelkonzentrationen bei Spritzen mit der Becherpistole – im Vergleich zu den anderen Spritzverfahren – die niedrigsten Werte gemessen, bei der Belastung durch Aerosole und Isocyanate können solche Unterschiede nicht festgestellt werden.

Das eingesetzte Spritzverfahren ist immer eine spezifische Auswahl des jeweiligen Betriebes und richtet sich nach den qualitativen Anforderungen an die Oberfläche der zu lackierenden Teile.

Zur Absaugtechnik wurde in den Betrieben festgestellt, dass Filterwechsel bei Trockenwänden regelmäßig nach festgelegten Kriterien wie z.B. der Häufigkeit der Lackierungen (Lackierzeit) oder der verarbeiteten Lackmenge erfolgen. Eine Prüfung von Leistung, Funktion und Wartung der Absauganlagen, wie in der Gefahrstoffverordnung nach § 7 Abs. 7 vorgeschrieben, erfolgt im Allgemeinen nicht.

Die niedrigsten Gefahrstoffkonzentrationen wurden bei den Lackierständen gemessen. Hier wurden keine Grenzwertüberschreitungen für Lösemittel festgestellt, die Konzentrationen der Aerosole und Isocyanate liegen jedoch auch bei Lackierständen deutlich oberhalb der Beurteilungsmaßstäbe.

Bei der Teilevorbehandlung wurde festgestellt, dass, wenn an nicht oder ungenügend abgesaugten Arbeitsplätzen gereinigt wurde, die Grenzwerte für Lösemittel überschritten wurden. Bei der Gefährdungsbeurteilung wurden diese Tätigkeiten häufig nicht betrachtet. Messergebnisse lagen in keinem der untersuchten Betriebe vor. Da die Reinigungsmittel oftmals keine geruchsintensiven Bestandteile enthielten, wurde die Belastungssituation nur intuitiv und somit oftmals falsch eingeschätzt.

7 ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER VORGEFUNDENEN PERSÖNLICHEN SCHUTZAUSRÜSTUNG

Beim Lackieren wie bei der Teilevorbehandlung kommen sehr oft nicht die in den Sicherheitsdatenblättern vorgegebenen Chemikalienschutzhandschuhe zum Einsatz, obwohl in den Sicherheitsdatenblättern der Lacke, Härter, Verdünnungen und Reiniger konkrete Angaben zu Handschuhmaterial, Stärke und Tragezeit gemacht wurden. Diese Vorgaben sind in vielen Betrieben nicht beachtet worden.

In 60 % der untersuchten Betriebe wurden beim Spritzlackieren für die dort verwendeten Produkte ungeeignete Handschuhe (Leder oder gummierte Baumwollhandschuhe) getragen, die nur einen mechanischen Schutz bieten. Eine Ursache dafür ist nach Angabe der Lackierer eine eingeschränkte Handhabung der Spritzpistole mit Chemikalienschutzhandschuhen.

Bei der Teilevorbehandlung (händische Reinigung mit lösemittelhaltigen Produkten) liegt der Anteil bei der Verwendung von ungeeigneten Schutzhandschuhen bei 70 %.

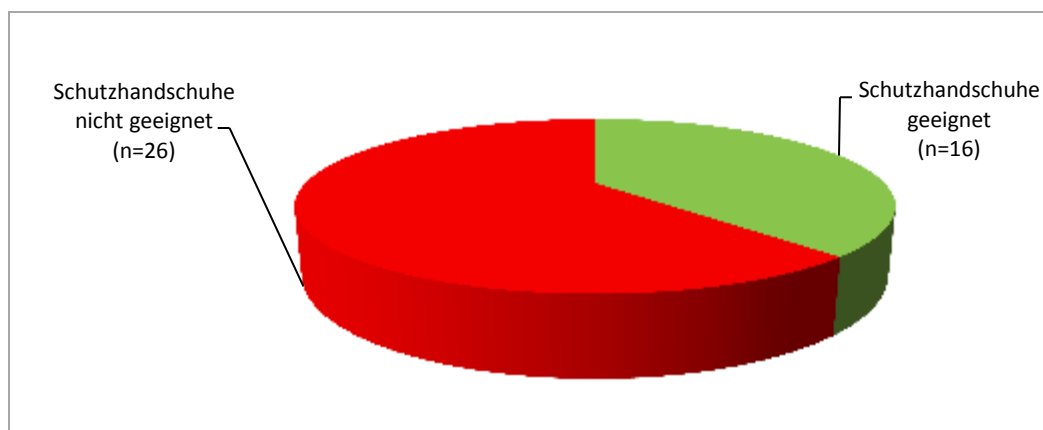


ABBILDUNG 17: EIGNUNG DER VORGEFUNDENEN SCHUTZHANDSCHUHE (n = ANZAHL DER BETRIEBE)

Über die Tragezeiten von Schutzhandschuhen wurden in den Betrieben unterschiedliche Angaben gemacht, die oft auf eine zu lange Tragezeit hinweisen. Nur beim Einsatz von Einmal-Chemikalienschutzhandschuhen erfolgte der Wechsel i.d.R., wie in den Sicherheitsdatenblättern beschrieben, nach Durchführung des Lackiervorganges oder bei entsprechender Verschmutzung.

In einigen Betrieben wurde ferner festgestellt, dass beim Spritzlackieren durch unbedeckte Körperteile eine dermale Exposition stattfinden kann.

Da beim Spritzlackieren kein Vollkontakt mit Lacken besteht, können neben geeigneten Chemikalienschutzhandschuhen auch Einmalhandschuhe getragen werden, die nach EN 374 Kategorie III als Chemikalienhandschuhe geprüft sind. Sie sind sofort nach Beendigung der Lackiertätigkeit zu entsorgen.

Bei der Teilverbehandlung und der Spritzpistolenreinigung, bei denen unmittelbarer Hautkontakt besteht, sind für den Reiniger geeignete Chemikalienschutzhandschuhe gemäß den Sicherheitsdatenblättern erforderlich. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Tragezeit festgelegt und beachtet wird.

Sofern die Gefährdung nicht durch technische und organisatorische Maßnahmen verhütet werden kann hat der Arbeitgeber nach § 9 Abs. 3 Nr. 2 der Gefahrstoffverordnung den Mitarbeitern, die Spritzlackierarbeiten durchführen, ein Atemschutzgerät zur Verfügung zu stellen. Mit gebläseunterstützten Atemschutzfiltergeräten (Airstream) bzw. Frischluft- oder Druckluftschlauchgeräten mit Haube oder Helm können Atemschutzgeräte eingesetzt werden, mit denen Belastungen durch die persönliche Schutzmaßnahme wesentlich vermindert werden und für die daher keine Tragezeitbegrenzung gilt sowie keine Vorsorgeuntersuchung notwendig ist. Favorisiert andererseits der Betrieb herkömmliche Masken, so sind die jeweiligen Festlegungen des Arbeitsmediziners (Betriebsarztes) über die Tragezeiten der belastenden Geräte zwingend einzuhalten. Erfahrungswerte hierfür sind in der BGR/GUV-R 190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ [21] in Anhang 2 für verschiedene Gerätearten aufgelistet. Die technischen Abläufe bei den Lackiertätigkeiten müssen folglich auf die möglichen Einsätze und Tragedauern abgestimmt werden, und notwendige Erholungszeiten nach jedem Einsatz dürfen nicht auf die ansonsten betriebsüblichen Pausenzeiten beschränkt werden.

Der Arbeitgeber hat für eine sachgerechte Aufbewahrung sowie für die Wartung der persönlichen Schutzausrüstung der Mitarbeiter zu sorgen (§ 7 Abs. 6 Nr. 1 bis 3 GefStoffV). Bei der Aufbewahrung der Atemschutzmasken wurden zum Teil erhebliche hygienische Mängel festgestellt.



ABBILDUNG 18: HYGIENISCHE MÄNGEL BEI DER AUFBEWAHRUNG VON PERSÖNLICHER SCHUTZAUSRÜSTUNG

Bei der Teilverbehandlung (händisches Reinigen mit lösemittelhaltigen Produkten) wurde nur in einem Betrieb Atemschutz verwendet, in allen anderen Betrieben, nur wenn die Reinigung im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit der Lackiertätigkeit erfolgte.

Atemschutz wurde bei allen Lackiertätigkeiten, auch in den Betrieben mit dem Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“, getragen. Eingesetzt wurde Atemschutz in verschiedenen Ausführungen. Angetroffen wurden Halb oder Vollmasken mit Kombinationsfiltern des Typs A1/P2, A2/P2, A2/P3, Gasfiltern des Typs A2 oder Partikelfiltern des Typs FFP2 sowie

Airstreamhelme mit Frischluftzufuhr oder Filter A2P2 (S. Abbildung 19). Die Auswahl der Filter und die Tragezeit erfolgt nicht entsprechend der tatsächlichen Belastung. Der Filterwechsel bei Verwendung von Halbmasken erfolgt nach individuellen Kriterien des Lackierers (Atemwiderstand oder Geruchswahrnehmung) und wird zeitlich nicht durch den Betrieb festgelegt.

Nicht belastender Atemschutz (Airstreamsystem mit Filter A2P2 oder Frischluftzufuhr), für den gemäß BGR/GUV-R 190 keine Tragzeitbegrenzung gilt und keine arbeitsmedizinische Vorsorge des Trägers gefordert wird, kommt nur in 8 Betrieben zum Einsatz.

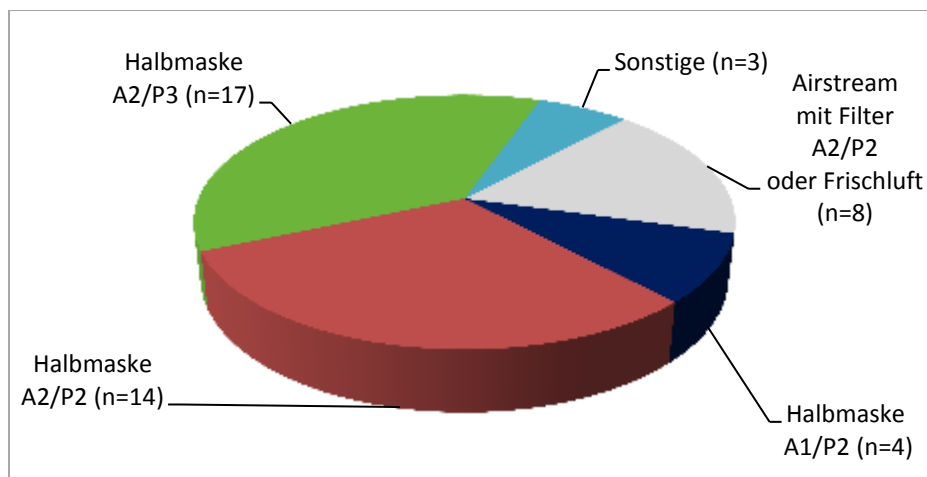


ABBILDUNG 19: VERWENDETER ATEMSCUTZ BEIM LACKIEREN (n= ANZAHL BETRIEBE, DOPPELNENNUNGEN SIND MÖGLICH). UNTER SONSTIGE WURDEN BETRIEBE ZUSAMMENGEFASST, DIE GASFILTER DES TYP A2 ODER PARTIKELFILTER DES TYP FFP2 VERWENDETEN.

Bei Einsatz von Airstreamsystemen wird bei der Verwendung von Filtergeräten die Notwendigkeit eines Filterwechsels nur bei den Partikelfiltern (Widerstand) durch ein akustisches Signal signalisiert. Die Einsatzdauer der Gasfilter erfolgt nach eigener Einschätzung des Anwenders und ist von der Geruchswahrnehmung abhängig.

Bei den Isocyanaten wurden bis zu 130-fache Grenzwertüberschreitungen auf Grund der partikelgetragenen polymeren Isocyanate festgestellt, so dass in Frage zu stellen ist, ob bei Tätigkeiten mit entsprechenden Lacksystemen die verwendeten Atemschutzmasken geeignet sind [22].

8 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Insgesamt sind die ermittelten Gefahrstoffkonzentrationen beim Spritzlackieren und bei der Teilverarbeitung sehr hoch. In mehr als der Hälfte aller messtechnisch untersuchten Betriebe (52 %) wurden sowohl Grenzwertüberschreitungen wie auch technische oder organisatorische Defizite festgestellt. Die technischen und organisatorischen Maßnahmen, die in den BGR 231 vorgesehen sind, sind in der Mehrzahl der Betriebe nicht umgesetzt. Stattdessen setzen die Betriebe sofort persönlichen Atemschutz ein.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Belastungen beim Spritzlackieren in der Metallbranche viel höher sind als in der Holzbranche. Die ermittelten Gefahrstoffexpositionen beim Spritzlackieren weisen außerdem eine beträchtliche Variationsbreite auf. Sie schwanken bei vergleichbaren Spritzverfahren, Anlagentechnologien und eingesetzten Lacken hinsichtlich der Einhaltung der Grenzwerte stark, so dass an dieser Stelle über die im Maßnahmenkatalog des Berichtsabschnittes 6.2 genannten grundlegenden Regeln hinaus keine allgemeingültige Aussage über spezifische Minimierungsmaßnahmen möglich ist.

In 90 % der untersuchten Betriebe ist aufgrund der ermittelten Gefahrstoffbelastung das Tragen von Atemschutz z.Z. noch erforderlich. Aber in nur 20 % der Betriebe wird gebläseunterstützter oder druckluftgespeicherter Atemschutz getragen, der weniger belastend für den Mitarbeiter ist. Die Masken werden zu wenig gewartet und die Filter oft zu lange eingesetzt. Überwiegend wurde auch dem Hautschutz durch Schutzhandschuhe nicht genügend Aufmerksamkeit gewidmet.

Es besteht also Handlungsbedarf:

1. Für die Betriebe der Metallbranche

Es sind mehr technische und organisatorische Anstrengungen notwendig, um die Gefahrstoffbelastungen zu senken. Es reicht nicht, den Mitarbeitern Atemschutz zur Verfügung zu stellen.

Die Anforderungen des Maßnahmenkatalogs (Siehe Kapitel 6.2) sollten mindestens umgesetzt werden und in der Gefährdungsbeurteilung beschrieben sein. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung müssen auch Art und Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung (Atemschutz und Hautschutz) festgelegt werden. Insbesondere bei der Verwendung von PUR-Lacken und Epoxidlacken muss aufgrund der sensibilisierenden bzw. allergisierenden Wirkung der Lacke die dermale Belastung (auch von unbedeckten Körperteilen) vermieden werden.

2. Für die Regelungsgeber - Berufsgenossenschaft und Bundesländer

Die BGR 231 sollte durch das vorgelegte Datenkollektiv ergänzt und überarbeitet werden. Insbesondere die Aussage, dass „ein wirksamer Schutz vor organischen Lösemitteln und Isocyanaten

beim Spritzlackieren“ bei Einhaltung der dort beschriebenen Maßnahmen erreicht wird, ist nicht aus den neuen Daten ableitbar.

Der gemäß BGR 231 festgelegte Wert zum Tragen von Atemschutz, Bestimmungsgrenze der DFG Verfahren „Lackaerosole“ Methode Nr. 2 mit $1,45 \text{ mg/m}^3$, ist kein wirkungsbezogenes Beurteilungskriterium. Ein arbeitsmedizinisch-toxikologischer Bewertungsmaßstab für die Lackaerosole ist erforderlich.

Auch die TRGS 430 benötigen für die Praxis weitere handhabbare Bewertungskriterien. Die Verpflichtung zur Angabe des EBW sollte gesetzlich verankert werden.

3. Für die Vollzugsorgane - Berufsgenossenschaften und Gewerbeaufsichtsämter

Bei Revisionen in Betrieben mit Spitzlackierarbeiten sollte die Wirksamkeit der in den Gefährdungsbeurteilungen beschriebenen technischen und organisatorischen Maßnahmen überprüft werden.

4. Für die Lackindustrie

Für PUR-Lacke muss ein einheitliches und geeignetes Medium gefunden werden, um die Informationen zum EBW-Wert an die Anwender („downstream user“) zu übermitteln, damit die Belastung der Arbeitnehmer angemessen bewertet werden kann. Die Angaben zu Schutzhandschuhen und Atemschutz müssen konkret und praxisorientiert sein. Der Hinweis in den Sicherheitsdatenblättern auf die Verwendung von Atemschutz bei Überschreitung der Grenzwerte ist wenig hilfreich, da erfahrungsgemäß in diesen Arbeitsbereichen keine Ergebnisse aus Expositionsermittlungen vorliegen.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] LASI Leitfaden LV 43 „*Handlungsanleitung Spritzlackieren von Hand bei der Holzbe- und -verarbeitung*“, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), 09/2005
- [2] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGR) 231 „*Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten – Lackaerosole*“ Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag 2006, www.arbeitssicherheit.de]
- [3] TRGS 500 „*Schutzmaßnahmen*“, Januar 2008, ergänzt Mai 2008
- [4] Berufsgenossenschaftliche Informationen (BGI) 740 „*Lackerräume und -einrichtungen für flüssige Beschichtungsstoffe - Bauliche Einrichtungen, Brand- und Explosionsschutz, Betrieb*“; Holz-Berufsgenossenschaft, 2008 Download unter <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi740.pdf>
- [5] DIN EN 12215 „*Beschichtungsanlagen – Spritzanlagen für flüssige organische Beschichtungsstoffe – Sicherheitsanforderungen*“, Juni 2010
- [6] DIN EN 13355 „*Beschichtungsanlagen – Kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen – Sicherheitsanforderungen*“, Juni 2010
- [7] Einheitsblatt 24381 „*Oberflächentechnik – Richtlinien für Spritzkabinen und kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen*“, Verband deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V. (VDMA), 02/1981
- [8] Thomasen et al - Thomasen JM, Nylander-French LA “*Penetration patterns of monomeric and polymeric 1,6-hexamethylene diisocyanate monomer in human skin.*” J. Environ. Monit. 14 951-960 (2012)
- [9] Aalto-Korte et al. - Aalto-Korte K, Pesonen M, Kuuliala O, Alanko K, Jolanki R “*Contact allergy to aliphatic polyisocyanates based on hexamethylene-1,6-diisocyanate (HDI).*” Contact Dermatitis 63, 357-363 (2010)
- [10] Deutsche Forschungsgemeinschaft, *Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen, Methode Lösemittelgemische Nr. 1*, Juni 1997, 11. Lieferung 1998
- [11] Deutsche Forschungsgemeinschaft, *Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen, Methode Lösemittelgemische Nr. 5*, Juni 1997, 11. Lieferung 1998
- [12] Deutsche Forschungsgemeinschaft, *Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen, Methode Lackaerosole Nr.1*, März 1999, 12. Lieferung 2000

- [13] Messung von Gefahrstoffen - IFA-Arbeitsmappe (Expositionsermittlung bei chemischen und biologischen Einwirkungen), Kennzahl 3010, Geräte zur Probenahme der einatembaren Staubfraktion (E-Staub), Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [14] Messung von Gefahrstoffen - IFA-Arbeitsmappe (Expositionsermittlung bei chemischen und biologischen Einwirkungen), Kennzahl 7670, Verfahren zur Bestimmung von Polyisocyanaten, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [15] DIN EN 14896 „Kunststoffe- Polyurethanrohstoffe – Bestimmung des Isocyanatanteils“, 07/2009
- [16] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“, Ausgabe 1/2006, zuletzt geändert im April 2013
- [17] Gestis – Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen (IGW), Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Oktober 2012
- [18] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 430 „Isocyanate – Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen“, Ausgabe: März 2009, GMBI. Nr. 18/19 (04.05.2009)
- [19] Woskie et al - Woskie SR, Sparar J, Gore RJ, Stowe M, Bello D, Liu Y; Youngs F, Redlich C, Eisen E, Cullen M *“Determination of isocyanate exposures in auto body repair and refinishing shops.”* Ann. occup. Hyg. 48, 393-403(2004)
- [20] Bello et al. - Bello D, Woskie SR; Streicher RP, Liu Y, Stowe MH, Eisen EA, Ellenbecker MJ, Sparer J, Young F, Cullen MR, Redlich CA *“Polyisocyanates in occupational environments: A critical Review of exposure limits and metric.”* Am. J. Ind. Med. 48: 480-491 (2004)
- [21] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – BGR/GUV-R 190 “Benutzung von Atemschutzgeräten”, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung – Spitzenverband, Dezember 2011
- [22] Reeb-Whitaker et al. - Reeb-Whitaker C., Whittaker SG, Ceballos DM, Weiland EC, Flack SL, Fent KW, Thomasen JM, Trelles Gaines LG, Nylander-French LA: *“Airborne isocyanate exposures in the collision repair industry and a comparison to occupational limits”* J. Occup. Environ Hyg. 9, 329-339 (2012)

