

# Lösemittelbelastung in der Lackherstellung

Projektbericht



HESSEN



Regierungspräsidium  
Kassel

Hessische Ländermessstelle  
für Gefahrstoffe



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
WASSERWIRTSCHAFT UND  
GEWERBEAUFICHT



Amt für  
Arbeitsschutz  
Hamburg



BG RCI

Berufsgenossenschaft  
Rohstoffe und chemische Industrie



# **Lösemittelbelastung in der Lackherstellung**

## Projektbericht



## Impressum

### Herausgeber :

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Straße 7  
55116 Mainz

### Autorinnen und Autoren des Berichtes:

Dipl.-Ing. Ingrid Krutisch, Sabine Lau  
*Behörde für Soziales, Familie, Gesundheit und Verbraucherschutz*  
*Amt für Arbeitsschutz - Fachbereich Arbeitsplatzbeurteilungen*  
*Marckmannstraße 129 b*  
*20539 Hamburg*

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

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

Dipl.-Ing. Hans-Martin Strycker  
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie  
Branchenprävention Chemische Industrie  
Borsteler Chaussee 51  
22453 Hamburg

### Bildquellennachweis:

Titelbild außen und Bild 9: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht  
Bild 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 und 13: Regierungspräsidium Kassel  
Bild 4 und 12: Amt für Arbeitsschutz Hamburg

**Stand:** Januar 2011



## Inhalt

1	EINLEITUNG .....	9
2	ZIELSETZUNG .....	11
3	ERGEBNISSE VON VORANGEGANGENEN UNTERSUCHUNGEN DES AMTES FÜR ARBEITSSCHUTZ HAMBURG .....	12
4	DARSTELLUNG DER ARBEITSVERFAHREN / TÄTIGKEITEN .....	14
4.1	LACKANSATZ .....	15
4.2	DISPERGIEREN .....	17
4.3	KOMPLETTIEREN .....	19
4.4	ABFÜLLEN.....	20
4.5	BEHÄLTERREINIGUNG .....	22
4.6	ARBEITEN AM REINIGUNGSBECKEN .....	25
5	GEFAHRSTOFFE.....	26
6	DURCHFÜHRUNG DER ERMITTLUNGEN.....	28
6.1	PROBENAHMESTRATEGIE.....	28
6.2	MESSVERFAHREN.....	29
6.3	BEWERTUNGSSTRATEGIE .....	30
7	ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER MESSTECHNISCHEN ERMITTLUNGEN.....	34
7.1	LACKANSATZ .....	38
7.2	DISPERGIEREN .....	39
7.3	KOMPLETTIEREN .....	40
7.4	ABFÜLLEN.....	42
7.5	BEHÄLTERREINIGUNG .....	45
7.6	ARBEITEN AM REINIGUNGSBECKEN .....	48
8	ERGEBNISSE DER ERHEBUNG ZUR PERSÖNLICHEN SCHUTZAUSRÜSTUNG .....	50
9	SCHLUSSFOLGERUNG .....	51
10	LITERATURLISTE.....	53





# 1 EINLEITUNG

Lack ist ein flüssiger oder auch pulverförmiger Beschichtungsstoff, der dünn auf Gegenstände aufgetragen wird und durch chemische oder physikalische Vorgänge (zum Beispiel Verdampfen des Lösemittels) zu einem durchgehenden, festen Film aufgebaut wird. Lacke bestehen in der Regel aus Bindemitteln, Pigmenten, Lösemitteln, Füllstoffen und Additiven [1].

Die drei Hauptaufgaben von Lacken sind:

- Protektion (schützende Wirkung, z.B. Schutzanstrich, Schutzlacke),
- Dekoration (optische Wirkung, z.B. ein bestimmter Farbeffekt) und
- Funktion (besondere Oberflächeneigenschaften, z.B. veränderte elektrische Leitfähigkeit).

In Deutschland gibt es heute etwa 250 Lackhersteller. Diese sind überwiegend kleinere und mittlere Betriebe. Sie sind teilweise stark spezialisiert und arbeiten vielfach regional.

Im Jahr 2009 betrug die Produktionsmenge von Lacken (lösemittelhaltig, lösemittelfrei und Pulverlacke) und Anstrichstoffen (inkl. Dispersionsfarben) ca. 2,0 Millionen Tonnen.

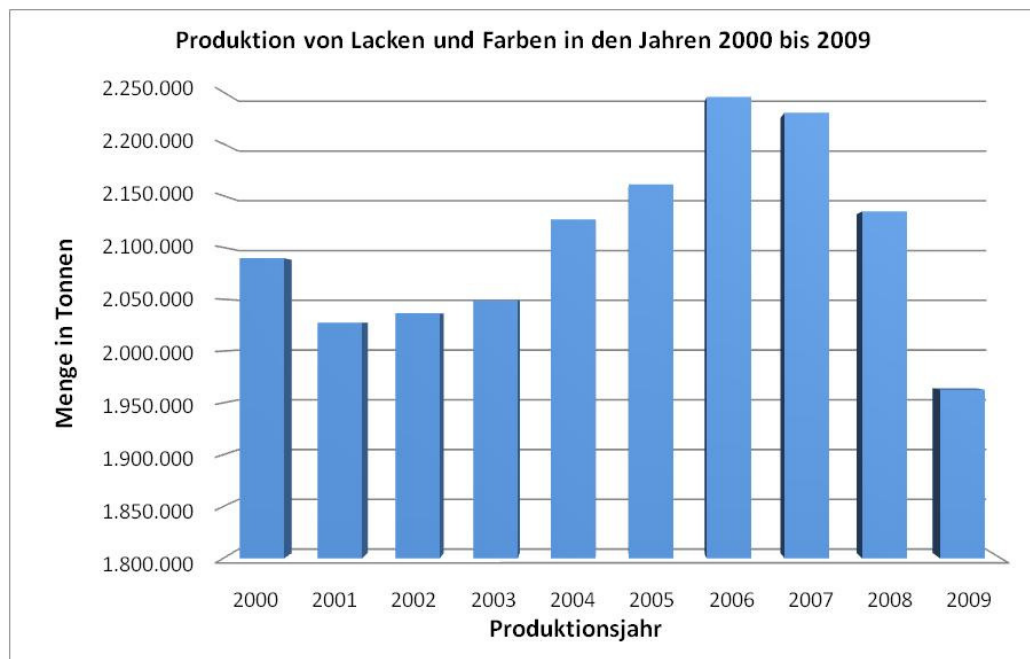


ABBILDUNG 1: INLANDSPRODUKTION VON LACKEN UND FARBEN, QUELLE: VERBAND DER DEUTSCHEN LACKINDUSTRIE [2]

Lösemittelhaltige Lacke kommen in Deutschland mengenmäßig auf einen Anteil von 24 %. Sie werden für Bautenanstriche, Innenwandfarben, Fassadenfarben, Kunstharzgebundene Putze, Lacke und Lasuren, Grundierungen, Spachtel, Industrielacke, Autoserienlacke, Autoreparaturlacke, Holzlacke, Korrosionsschutz, Schiffsfarben usw. eingesetzt.

Bei ihrer Herstellung verwendete organische Lösemittel sind eine chemisch heterogene Stoffgruppe mit der gemeinsamen Eigenschaft, Stoffe zu lösen, ohne diese oder sich selbst chemisch zu verändern. In der Regel werden bei der Herstellung niedrig siedende Lösemittel verwendet. In nur wenigen Branchen gibt es Arbeitsbereiche, in denen Arbeitnehmer so hohen Lösemittelkonzentrationen ausgesetzt sind, wie bei der Herstellung von flüssigen lösemittelhaltigen Lacken, da nur für wenige Arbeitsschritte automatisierte Prozesse zur Verfügung stehen.

## 2 ZIELSETZUNG

Die Messstellen für Chemischen Arbeitsschutz der Bundesländer Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz sowie die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie haben in den Jahren 2006 bis 2009 Arbeitsplatzmessungen in 39 Betrieben bei der Herstellung von lösemittelhaltigen Lacken durchgeführt. Entscheidend hierfür waren vorangegangene Messungen des Amtes für Arbeitsschutz Hamburg in den Jahren 1988 bis 1993.

Ziel der erneuten Datenerhebung war die Erstellung einer Expositionsbeschreibung, verbunden mit einer Handlungshilfe zur Minimierung der Lösemittelbelastung bei der Lackherstellung und damit eine branchen- und/oder tätigkeitsspezifische Hilfestellung für die Gefährdungsbeurteilung (TRGS 400 [3]). Diese Handlungshilfe soll besonders bei Defiziten der Schutzmaßnahmen und bei Grenzwertüberschreitungen den einzelnen Betrieben zur Unterstützung dienen. Der Arbeitgeber ist für seinen Betrieb verpflichtet, an allen Arbeitsplätzen in der Lackherstellung die Schutzmaßnahmen nach TRGS 500 umzusetzen und die Grenzwerte einzuhalten!

Diese Expositionsbeschreibung soll ein Schritt sein auf dem Weg, den Stand der Technik<sup>1</sup> für die Lackherstellung festzulegen und helfen die Grenzwerteinhaltung in der Branche umzusetzen.

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

- Betriebe mit einem erheblichen Produktionsanteil an Lösemittellacken.
- Betriebe mit Chargenproduktion.
- Vorzugsweise kleine und mittelständische Unternehmen (KMU).

In all diesen Betrieben wurden Gefahrstoffmessungen in den Arbeitsbereichen Lackansatz, Dispergieren, Komplettieren, Abfüllen und Behälterreinigung durchgeführt, soweit sie in dem jeweiligen Betrieb angetroffen wurden. Zusätzlich wurden Probenahmen bei Arbeiten an Reinigungsbecken durchgeführt.

Die Staubexposition beim Lackansatz und der Explosionsschutz sowie weitere für die Gefährdungsbeurteilung relevante Faktoren gehören nicht zum Projektumfang. Weitere Hinweise dazu gibt die DGUV-I 5152 „Sicheres Arbeiten beim Herstellen von Beschichtungsstoffen“ [5].

---

<sup>1</sup> „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 [4]

### 3 ERGEBNISSE VON VORANGEGANGENEN UNTERSUCHUNGEN DES AMTES FÜR ARBEITSSCHUTZ HAMBURG

In den Jahren 1988 bis 1993 wurden in neun Hamburger Lackfabriken messtechnische Ermittlungen durchgeführt. Mit den zum Zeitpunkt der Messungen gültigen Grenzwerten wurden hauptsächlich Überschreitungen bei der Behälterreinigung und bei Arbeiten an den Walzenstühlen festgestellt.

In den Arbeitsbereichen wurden insbesondere folgende Defizite festgestellt:

Lackansatz:

- Obwohl vorhanden, wurden Abdeckungen für die Behälter oft nicht benutzt.
- Absaugungen wurden nicht eingesetzt oder waren falsch positioniert.
- Lacke wurden ohne Erfassung der Emissionen von der Wandung der Vorlagebehälter herunter gewaschen.

Dispergieren:

- Walzenstühle waren nicht gekapselt und nicht abgesaugt.

Abfüllen:

- Siebe der Abfüllplätze waren nicht gekapselt und nicht abgesaugt.
- manuelle Reinigungsvorgänge wurden am Abfüllplatz ohne Absaugung durchgeführt.

Behälterwäsche/Reinigen:

- Bei der manuellen Behälterreinigung wurde keine Absaugung verwendet. Ungeeignete Hilfsmittel- die Arbeitnehmer mussten sich in den Behälter hinein beugen.
- Unausgereifte Technik der Reinigungsautomaten (keine maschinelle Trocknung, ungenügende Reinigung, die eine manuelle Nachreinigung erforderlich machte).

Lüftungstechnische Maßnahmen:

- vorhandene Absauganlagen erwiesen sich insgesamt als wenig wirkungsvoll.
- Kapselung oder räumliche Trennung von stark emittierenden Maschinen wurde nur bei den Reinigungsautomaten vorgefunden.

Persönliche Schutzausrüstung und Hygiene:

- Atemschutzmasken und lösemittelbeständige Handschuhe wurden selten getragen, in einigen Betrieben waren sie nicht oder nicht ausreichend vorhanden
- Arbeitnehmer reinigten sich die Hände mit Lösemitteln.

Die Betriebe wurden über die Messergebnisse und notwendige Maßnahmen informiert. Ein Bericht über diese Schwerpunktaktion wurde im Jahresbericht des Amtes für Arbeitsschutz 1994 [6] veröffentlicht.

Eine erneute Messaktion mit Ausweitung auf andere Bundesländer wurde 13 Jahre danach aufgrund des technischen Fortschrittes, sowie Grenzwertänderungen der Einzelstoffe und der veränderten Grenzwertberechnung für Kohlenwasserstoffgemische für dringend erforderlich erachtet.

## 4 DARSTELLUNG DER ARBEITSVERFAHREN / TÄTIGKEITEN

Die Produktion von lösemittelhaltigen Lacken erfolgt in mehreren Arbeitsschritten, wobei in der Regel die unterschiedlichen Arbeitsschritte nacheinander im selben Behälter durchgeführt werden (Chargenbetrieb). Die Ansatzbehälter durchlaufen die unterschiedlichen Arbeitsbereiche, die meist räumlich getrennt sind (Abbildung 2). Eine Ausnahme stellt die Behälterreinigung in kleinen Betrieben dar. Die Reinigung der Ansatzbehälter erfolgt in diesen Betrieben häufig im Arbeitsbereich des Lackansatzes oder der Lackabfüllung. Reinigungsarbeiten von Maschinen, Rührwerken und Hilfsmitteln werden in den jeweiligen Arbeitsbereichen z.T. an abgesaugten Reinigungsbecken durchgeführt.

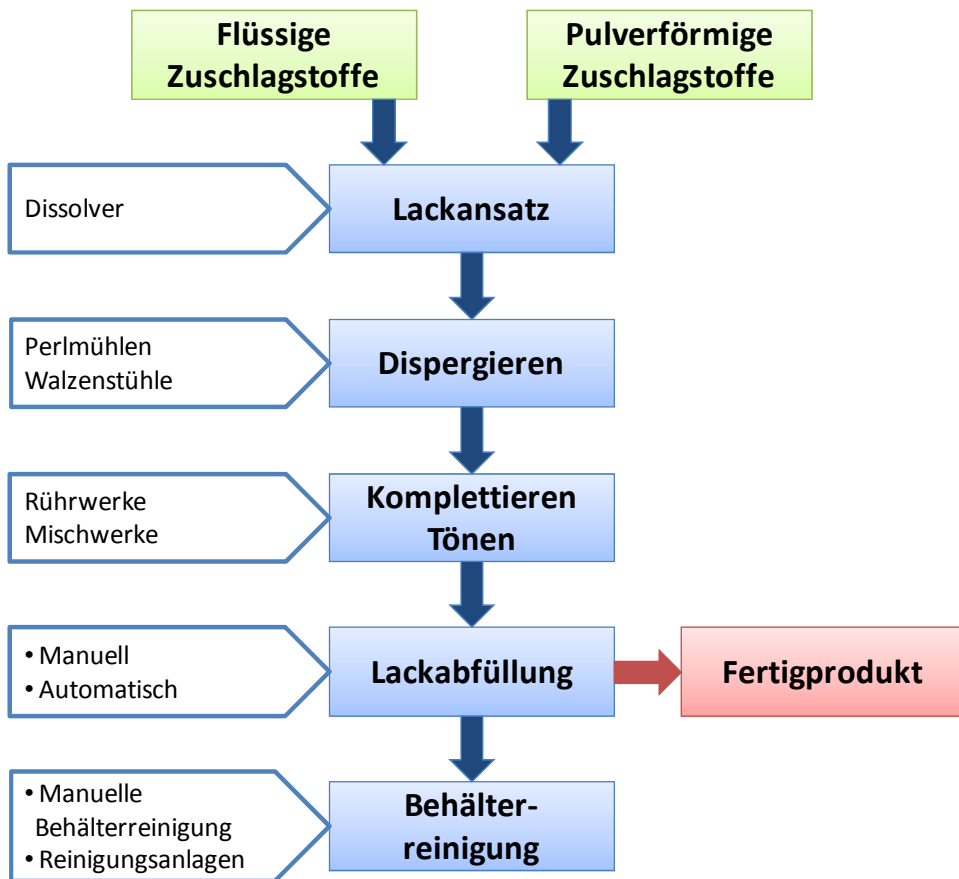


ABBILDUNG 2: FLUSSDIAGRAMM DER EINZELNEN PRODUKTIONSSCHRITTE

In den messtechnisch untersuchten Betrieben stellten sich die Arbeitsverfahren wie nachfolgend beschrieben dar.

## 4.1 LACKANSATZ

Die flüssigen Bestandteile des Lackes werden nach Rezeptur manuell oder über eine Dosieranlage in Ansatzbehältern mit 200 – 2000 Liter Volumen vorgelegt. Der Transport der Ansatzbehälter zu den Dissolvern erfolgt meist im abgedeckten Zustand.



ABBILDUNG 3: LÖSEMITTELABFÜLLSTATION

Die flüssigen Bestandteile des Lackansatzes werden im Dissolver (Scheibenrührer mit einer an einer senkrechten Rührwelle angebrachten Dispergierscheibe) gerührt und nach und nach mit den pulverförmigen Zuschlagstoffen (die in der Kommissionierung abgewogen und zusammengestellt wurden) versetzt. Der Lackrand muss immer wieder mit Lösemittel und Bürste heruntergewaschen werden. Der Dissolverrührer bzw. die Dispergierscheibe bewirkt die Verteilung der festen Stoffe. Beim Rühren erwärmt sich der Ansatz.

Die Ansatzbehälter werden meistens abgedeckt und abgesaugt. Das Befüllen der Ansatzbehälter mit flüssigen und festen Stoffen erfolgt immer unter Einsatz einer Absaugung, wobei Erfassungselemente und Luftleistung sehr unterschiedlich sind und die Wirksamkeit der Absaugung stark beeinflussen.



ABBILDUNG 4: BEFÜLLEN DES ANSATZBEHÄLTERS MIT FESTSTOFF

Beim Befüllen der Ansatzbehälter mit festen Zuschlagstoffen kommen neben der Absaugung häufig filtrierende Halbmasken der Schutzstufe P2 zum Einsatz.

Nach Beendigung des Arbeitsschrittes wird der Ansatzbehälter dem nächsten Arbeitsschritt zugeführt und die Dissolverwelle und Dispergierscheiben werden mit Lösemittel am Arbeitsplatz gereinigt, hierbei wird oft keine Absaugung verwendet.



## 4.2 DISPERGIEREN

Bei Lacken ist es erforderlich die Feststoffe in den flüssigen Medien homogen zu verteilen. Diesen Vorgang bezeichnet man als Dispergierung. Durch eine Feindispergierung in Perlmühlen (Rührwerkskugelmühlen) kann eine sehr feine Verteilung und geringe Korngröße erreicht werden.



ABBILDUNG 5: EINSATZ EINER PERLMÜHLE BEI DER HERSTELLUNG EINER KLEINCHARGE

Bei den häufig vorgefundenen Perlmühlen wird der Lack aus dem Ansatzbehälter direkt in die Mühle gepumpt. Nach dem Mahlvorgang fließt der dispergierte Lack in einen Auffangbehälter und notwendige qualitätssichernde Maßnahmen wie die Bestimmung der Korngrößen und Verteilung werden durchgeführt. Nach Abschluss des Mahlens wird zur Reinigung der Mühle eine vorher festgelegte Menge Lösemittel durch das System gepumpt und zum Ansatz gegeben, so dass die Gesamtmenge an Lösemittel der Rezeptur entspricht. Die Ansatzbehälter sind in der Regel abgedeckt, die Mühlengehäuse sind geschlossen. Lösemittlemissionen entstehen hauptsächlich beim Reinigen der Leitungen und Pumpenteile. Für den Anschluss der Pumpe ist eine Vorrichtung im unteren Behälterrand vorgesehen. Der Einlauf des dispergierten Lackes in die Auffangbehälter erfolgt über einen Rohrbogen der in die Abdeckung des Behälters eingehängt

wird. Durch Deckel oder Folien wird auch bei diesen Behältern der größte Teil der Oberfläche abgedeckt. Oberhalb der Auffangbehälter ist z.T. eine Absaugung angebracht.



ABBILDUNG 6: ARBEITEN AN EINEM ABGESAUGTEN WALZENSTUHL

Walzenstühle kommen nur noch selten, unter anderem im Bereich der Herstellung von pastösen Produkten (z.B. Druckfarben), zum Einsatz. Auf Grund der großen Oberflächen entsteht eine erhebliche Lösemittlemission. Die vorgefundenen Walzenstühle wurden abgesaugt und waren teilweise gekapselt.

### 4.3 KOMPLETTIEREN

Der letzte Arbeitsschritt in der Farbherstellung ist die Komplettierung. In der Komplettierung (Mischen und Tönen) werden die noch fehlenden Bestandteile wie z.B. Farbpigment, Glanzstoffe, Mattierungsmittel der Formulierung hinzugegeben und die Viskosität des Endproduktes durch Zugabe von Lösemittel eingestellt. Während des Komplettierungsvorganges werden immer wieder Proben des Lackes genommen und im Labor auf die entsprechenden Eigenschaften überprüft. Je nach Ergebnis wird entsprechend nachgestellt, bis alle Qualitätsanforderungen erfüllt sind. Der Lack wird im Ansatzbehälter mit einem Rührgerät aufgerührt. Hierbei erwärmt sich der Ansatz nicht mehr. Die Arbeitnehmer bearbeiten häufig mehrere Ansätze parallel.



ABBILDUNG 7: KOMPLETTIERUNG VON FARBEN

Die Behälter sind beim Rühren abgedeckt und werden zum Teil abgesaugt. Die Rührwellen werden vor Ort mit Lösemittel gereinigt, Kleinteile zum Teil an abgesaugten Reinigungsbecken.

## 4.4 ABFÜLLEN

Das Abfüllen der Lacke erfolgt je nach Größe der Gebinde und der abzufüllenden Menge manuell oder automatisch.

### Manuelles Abfüllen

Beim manuellen Abfüllen wird der Lack aus einem abgedeckten Vorlagenbehälter (i.d.R. der Ansatzbehälter) in Gebinde zwischen 0,5 und 25 L gefüllt. Dabei wird der Lack mittels Pumpe oder direktem Auslauf (aus einem angehobenen Behälter) über ein Rüttelsieb und eine Dosiervorrichtung ohne maschinelle Unterstützung in die Gebinde gefüllt. Die Rüttelsiebe haben eine große Oberfläche und sind in ständiger Bewegung. Die dabei verstärkt entstehenden Lösemittel-emissionen werden, wenn überhaupt, nur punktuell erfasst. Die Gebinde werden nach dem Befüllen verschlossen und anschließend etikettiert.



ABBILDUNG 8: MANUELLE LACKABFÜLLUNG

Nach erfolgter Abfüllung werden Pumpe, Rüttelsieb, Dosiereinrichtung usw. mit Lösemitteln gereinigt. In der Regel wird hier ein Regenerat, bestehend aus den Hauptbestandteilen der für

den Lackansatz verwendeten Lösemittel, verwendet. Die Reinigung der Pumpen erfolgt vor Ort. Kleinteile und Rüttelsiebe werden an abgesaugten Reinigungsbecken gereinigt.

### **Automatisches Abfüllen**

Automatische Abfüllanlagen kommen dort zum Einsatz, wo größere Mengen des gleichen Produktes regelmäßig abgefüllt werden. Das Abfüllen erfolgt dabei mit maschineller Unterstützung in unterschiedlich große Weißblechdosen durch automatische Gewichts- oder Volumendosierung.

Bei Vollautomaten erfolgen alle Arbeitsschritte automatisiert. Daneben wurden Anlagen angetroffen, bei denen Arbeitnehmer z.B. die Behälter manuell verschließen und etikettieren mussten (Halbautomaten).

Der mit den Abfüllarbeiten betraute Beschäftigte bedient und überwacht die Anlage.

Die Reinigung der Anlage erfolgt bei Chargenwechsel. Die Dosiereinrichtungen werden ausgebaut und meistens vor Ort in einem Behälter mit Lösemittel gereinigt.



**ABBILDUNG 9: AUTOMATISCHE ABFÜLLANLAGE**

## 4.5 BEHÄLTERREINIGUNG

Die Ansatzbehälter müssen nach dem Abfüllen des Lackes für den nächsten Ansatz gereinigt werden. Dabei kommen in Abhängigkeit von der Anzahl der zu reinigenden Behälter, verschiedene Verfahren zum Einsatz. Automatische Behälterwaschanlagen kommen nur bei größeren Mengen an zu reinigenden Behältern zum Einsatz, sonst werden Behälter manuell gereinigt.

### Manuelle Reinigung

Die Reinigung erfolgt überwiegend mit aromatenhaltigen Lösemitteln oder Regeneraten unter Verwendung von Bürsten und langstieligen Schrubbern. Dazu wird zwischen 2 und 10 L Reinigungsmittel in die Ansatzbehälter geschüttet. Anschließend wird es durch den Ablass des Ansatzbehälters entfernt. Zum Teil werden die Behälter anschließend mit Putztüchern oder Mopps trocken gewischt.

Die Tätigkeit wird in den Arbeitsbereichen Lackansatz und/oder Lackabfüllung durchgeführt. Bei den Reinigungsarbeiten wird meist eine flexible Absaugung eingesetzt.



ABBILDUNG 10: MANUELLE BEHÄLTERREINIGUNG

### Automatische Reinigung

Die Reinigung der Behälter wird in räumlich abgetrennten Bereichen in Reinigungsanlagen durchgeführt, wobei in den untersuchten Betrieben drei unterschiedliche Anlagentypen eingesetzt werden

1. Anlage mit Bürsten und Lösemittel
2. Anlage mit Sprühköpfen und Lösemittel
3. Anlage mit Sprühköpfen und alkalischen Reinigungsmitteln.



ABBILDUNG 11: AUTOMATISCHE BEHÄLTERREINIGUNGSANLAGE

Die Arbeitnehmer bringen die Ansatzbehälter in die Anlage, die Anlage wird verschlossen und der Reinigungsvorgang gestartet. Nach Beendigung des Reinigungsvorganges wird bei bestimmten Anlagentypen der Anlageninnenraum mit Luft gespült und die Behälter werden dadurch getrocknet. Erst nach dem Trocknungsvorgang kann die Anlage geöffnet und der Behälter entnommen werden. Bei Bedarf werden die Behälter mit Putztüchern oder Mopp trockengewischt.

Da der Wirkungsgrad der Reinigungsanlage und die Verschmutzung der Behälter sehr unterschiedlich sein kann, ist z.T. eine manuelle Vorreinigung des Behälter- oder

Containerinnenraums notwendig. In einigen Fällen erfolgt zudem eine manuelle Reinigung der Außenseite von Behältern/Containern. Dies erfolgt von dem Arbeitnehmer, der die Anlage bedient.



**ABBILDUNG 12: AUTOMATISCHE BEHÄLTERREINIGUNG MIT BÜRSTENSYSTEM IM SEPARATEN RAUM**



#### 4.6 ARBEITEN AM REINIGUNGSBECKEN

Unter Kleinteile werden Spachtel, Schaber, Rüttelsiebe, Ventile, Walzenteile, Rührwellen, Siebsäckchen verstanden. Die Reinigung dieser Teile erfolgt anlagennah ohne Absaugung oder an einem Reinigungsbecken mit Randabsaugung. Die Teile werden in lösemittelgefüllte Behälter/ Becken gelegt und nach einer kurzen Einwirkzeit mit Hilfe von Pinseln und Bürsten gereinigt. Häufig werden lösemittelfeuchte Siebe mit Druckluft trockengeblasen.



ABBILDUNG 13: REINIGUNG VON KLEINTEILEN AM REINIGUNGSBECKEN MIT RANDABSAUGUNG

## 5 GEFAHRSTOFFE

Lösemittelhaltige Lacke bestehen im Allgemeinen aus:

- **Filmbildner (Bindemittel, Lackharze):**  
Natur- oder synthetische Harze-, Alkyd-, Polyester-, Epoxid-, Acryl-Harze stellen den eigentlichen Grundstoff des Lackes dar. Werden meist in Lösemittel gelöst angeliefert und bilden durch physikalische Trocknung oder chemische Vernetzung den festen Lacküberzug.
- **Pigmente und Farbstoffe:**  
Sie verleihen dem Lack das farbliche Aussehen
- **Füllstoffe:**  
z.B. Kreide, Titandioxid, Ruß, gebranntes Siliziumdioxid.
- **Flüchtige und nicht flüchtige Additive:**  
z.B. Härter, Weichmacher, Verdickungs-, Verlauf-, Konservierungs-, Netzmittel
- **Lösemittel:**  
Sie werden vor allem aus verarbeitungstechnischen Gründen zugesetzt. Halten die Filmbildner in Lösung, ohne sie zu verändern

Bei der Herstellung lösemittelhaltiger Lacke und Lasuren ist die stoffliche Belastung durch flüchtige organische Verbindungen aus Lösemitteln ein bestimmender Arbeitsschutzfaktor. Er muss bei der Gefährdungsbeurteilung nach § 7 Gefahrstoffverordnung besonders berücksichtigt werden. Nur in wenigen Branchen dürften Maßnahmen gegen das Auftreten lösemitteltypischer Gefahrstoffe in der Luft in Arbeitsbereichen eine so bedeutende Rolle für den Gesundheitsschutz spielen, wie gerade bei der Produktion im Chargenbetrieb.

Organische Lösemittel werden bei der Herstellung von Lacken oder ähnlichen Beschichtungsstoffen vorwiegend als Gemische eingesetzt; je nach dem hergestellten Produktspektrum bevorzugen die einzelnen Betriebe dabei unterschiedliche Lösemittel-Zusammensetzungen. Als Lösemittel und Bestandteil der Bindemittelzubereitungen (Harzlösungen) werden bei der überwiegenden Zahl der Lackfabriken Kohlenwasserstoffgemische wie Testbenzine oder aromatenhaltiges Solvent Naphtha verschiedener Qualitäten den Ansätzen hinzugefügt.

Aus den Lösemitteln durch Verdunstung dampfförmig freigesetzte Verbindungen können von den Arbeitnehmern in den Produktionsbereichen eingeatmet, aber auch durch die Haut resorbiert werden. Aufgrund ihrer Fett lösenden Eigenschaft verteilen sie sich im Körper in allen Organen, bevorzugt im Nervensystem. Sie werden mit unterschiedlichen Halbwertszeiten, die zwischen wenigen Stunden bis mehreren Tagen liegen, verstoffwechselt bzw. ausgeschieden [7]. Für mehrere organische Lösemittel sind aufgrund von epidemiologischen Untersuchungen, kasuistischen Beobachtungen am Menschen oder Tierexperimenten neurotoxische Wirkungen bekannt geworden, z. B. für n-Hexan, Heptan (aliphatische Kohlenwasserstoffe), Toluol, Xylol, Styrol (aromatische Kohlenwasserstoffe), Methyl-Ethyl-Keton, Methyl-Butyl-Keton (Ketone) und

Ethanol (Alkohole). Über solche neurotoxischen Wirkungen hinaus kann eine lokale Wirkung (z.B. Reizwirkung im Atemtrakt) eine relevante Bedeutung haben.

Die Krankheitsbilder der Polyneuropathie und Enzephalopathie durch organische Lösemittel oder deren Gemische spielen bei der Anerkennung der Berufskrankheit BK Nr. 1317 eine Rolle. Typisch für toxische Polyneuropathien sind sensomotorische Ausfälle. Unter einer Enzephalopathie versteht man diffuse Störungen der Hirnfunktion. Für toxische Enzephalopathien sind Konzentrations- und Merkschwäche, Auffassungsschwierigkeiten, Denkstörungen und Persönlichkeitsveränderungen – oft mit Antriebsarmut, Reizbarkeit und Affektstörungen – typisch. Die Symptome sind unspezifisch und entwickeln sich je nach Exposition akut oder chronisch im Verlauf von Monaten bis Jahren. Die Krankheitsbilder werden häufig erst spät erkannt, eine vollständige Heilung ist oft nicht zu erwarten.

## 6 DURCHFÜHRUNG DER ERMITTLUNGEN

### 6.1 PROBENAHMESTRATEGIE

Gemessen wurde die Lösemittelbelastung in 39 KMU-Betrieben in den Arbeitsbereichen Lackansatz, Dispergieren, Komplettieren, Abfüllung und bei der Behälterreinigung sowie Kleinteilereinigung meist in mehreren Schichten.

Ziel war, die Lösemittelbelastung für die einzelnen Tätigkeiten zu ermitteln. Gespräche mit der Betriebsleitung, der Fachkraft für Arbeitssicherheit, aber auch mit den Arbeitnehmern und Beobachtung und Hinterfragen der Arbeitsabläufe und Lüftungsverhältnisse waren ausschlaggebend für die Festlegung des konkreten Messzeitpunktes.

In der Lackproduktion sind die zeitlichen Verläufe der Lösemittel-Konzentrationen aufgrund der geringen Automatisierung besonders schwankend, insbesondere durch die zugehörigen Reinigungsarbeiten mit Lösemitteln an den Maschinen, Rührwellen oder Behältern.

Die Probenahmen erfolgten überwiegend personen- und tätigkeitsbezogen. In den Pausen wurden die Probenahmen unterbrochen, Rüst- und Transportzeiten, sowie kurzfristige Reinigungen (z.B. Abwaschen der Rührwellen) wurden in die Messung einbezogen, soweit sie unmittelbar im Rahmen des Arbeitsprozesses am jeweiligen Ort erfolgten. Reinigungsvorgänge an Wascharbeitsplätzen wurden separat erfasst. Die Probenahmedauer betrug zwischen einer halben Stunde und zwei Stunden.

Da die Lösemittelzusammensetzung der einzelnen Lack-Rezepturen auch innerhalb eines Betriebes sehr unterschiedlich sein kann, wurden die einzelnen Rezepturen den Proben zugeordnet, um damit den richtigen Grenzwert für das Kohlenwasserstoffgemisch (s. Abschnitt 6.3) anzuwenden.

## 6.2 MESSVERFAHREN

Folgende Messverfahren wurden eingesetzt.

Methoden	DFG Nr. 1 bzw BG 7735	In Anlehnung an DFG Nr. 3	DFG Nr. 5	DFG Nr. 6 BG 7708	
<b>Probenahme- volumen [mL]</b>	333/1000	333/1000	300	200	83
<b>Röhrchentyp/ Adsorbens</b>	Aktivkohle	Anasorb 747 / Aktiv- kohle	Tenax	Silikagel	Silikagel
<b>Desorption</b>	Schwefel- kohlenstoff	60% Dichlormethan 35% Schwefel- kohlenstoff 5% Methanol	Thermo- desorption	Wasser	65% Dichlormethan 33% Methanol 2% Wasser
<b>Säule/ Säulenlänge</b>	HP -5 60m / HP-Innowax  bzw. DB5 50 m/ Optima 1701 60m	HP -5 60m / HP-Innowax  bzw. DB5 50 m/ Optima 1701 60 m	HP-5 30 bzw.50m  bzw. Elite 5MS 30m	DB5 50 m	HP -5 60m HP-Innowax
<b>Detektor</b>	FID	FID	FID	FID	FID

TABELLE 1: BESCHREIBUNG DER EINGESETZTEN MESSVERFAHREN [8] [9]

Zur Identifizierung einzelner Stoffe wurde ein Massenspektrometer gekoppelt mit einem Gaschromatographen eingesetzt.

Die Quantifizierung der Kohlenwasserstoffgemische erfolgte anhand der Methoden des Begründungspapiers „Begründung zu Kohlenwasserstoffgemische in TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei (RCP-Methode)“. Die anderen Einzelsubstanzen wurden stoffspezifisch kalibriert.

### 6.3 BEWERTUNGSSTRATEGIE

Gemäß der Zielsetzung des Projektes 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 deshalb nicht immer Schichtmittelwerte eines Beschäftigten. Zum Beispiel erfolgen die Lackabfüllung und die Behälterreinigung in kleineren Betrieben häufig durch denselben Beschäftigten. Die für diesen Beschäftigten ermittelten Messwerte wurden bei der Projektauswertung tätigkeitsbezogen zusammengefasst und beurteilt. Dabei wurden für die einzelnen Verfahrensschritte, wie Lackabfüllung und Behälterreinigung die mittleren Expositionshöhen für jeden untersuchten Gefahrstoff ermittelt. Für die Beurteilung der Tätigkeiten wurde daraus der „Summenindex (SI)“ berechnet. Als Grenzwert gilt der Summenindex SI=1.

$$SI_{Tätigkeit} = \sum I_i = \frac{\text{Mittelwert } C_1}{AGW_1} + \frac{\text{Mittelwert } C_2}{AGW_2} + \dots + \frac{\text{Mittelwert } C_n}{AGW_n}$$

Sind Beschäftigte nur einem Verfahrensschritt organisatorisch zugeordnet, entspricht dieser Summenindex dem Bewertungsindex gemäß TRGS 402.

Für jeden einzelnen Betrieb wurden die Arbeitsbedingungen betriebsbezogen in einem Messbericht dargestellt und beurteilt und ggf. Maßnahmen vorgeschlagen bzw. gefordert.

In die Projektauswertung wurden nur Datensätze einbezogen, bei denen mindestens Schutzmaßnahmen nach Tabelle 2, Spalte 2 umgesetzt waren (Mindestanforderung). Die nach TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ definierten Maßnahmen (Tabelle 2, Spalte 3) werden selten vollständig in den Lackbetrieben umgesetzt und konnten deshalb nicht als Auswahlkriterium herangezogen werden. Beispielweise fordert die Technische Regel als Maßnahme eine geeignete wirksame Absaugung, die die Einhaltung der Grenzwerte gewährleistet. Eine wirksame Absaugung wurde selten angetroffen. Daher wurde als „Mindestanforderung“ nur das Vorhandensein einer Absaugung gefordert.

Arbeitsbereiche	Mindestanforderungen durch das Projekt	wesentliche Forderungen der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“
<b>Lackansatz</b>	Objektabsaugungen an den Ansatzbehältern und/oder abgesaugte Deckel, Abdeckung der Behälter	Forderungen der TRGS 500 (relevante Abschnitte): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gefährdung auf Minimum reduzieren (5.1 (2)+(5), 5.2.1(1))</li> <li>– Substitution (5.1. (3))</li> <li>– Einhaltung der Grenzwerte (5.1. (5))</li> <li>– Hautkontakt verhindern (5.1. (5))</li> <li>– Ausreichende Be- und entlüftung und wirksame technische Lüftung (Geeignete, wirksame Absaugung; Richtige Positionierung der Erfassungselemente) (5.2.1 (4); 5.2.1 (6)+ (9); 4.4.2 (10))</li> <li>– Räumliche oder organisatorische Begrenzung der Exposition (u.a. räumliche Trennung der Behälterreinigung und von Trockenbereichen) (4.3.2, 4.4.2 (7))</li> <li>– Regelmäßige Funktionsprüfung der technischen Schutzmaßnahmen (u.a. Prüfung der Lüftungstechnik) (4.6 (5) + (6); 5.2.1 (4))</li> <li>– Regelmäßige Prüfungen zur Beurteilung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen (durch Prüfung der Lüftungstechnik oder durch Ermittlung der inhalativen Exposition mittels Messungen oder gleichwertige Beurteilungsverfahren) (5.5 (1) + (2))</li> </ul>
<b>Dispergieren</b>	Abdeckung der Behälter	
<b>Komplettieren</b>	Abdeckung der Behälter	
<b>Abfüllung</b>	Absaugung oberhalb des Siebes bei der manuellen Abfüllung	
<b>Behälterreinigung</b>	abgesaugte gekapselte Reinigungsanlage, Objektabsaugung bei der manuellen Reinigung im Behälter	
<b>Kleinteilereinigung</b>	Randabsaugung am Reinigungsbecken	

TABELLE 2: MINDESTANFORDERUNGEN

Es wurden nur Werte in das Datenkollektiv zur Auswertung aufgenommen, die die hier definierten Mindestanforderungen erfüllten. Die Auswertung erfolgt tätigkeitsbezogen über das eingeschränkte Messkollektiv. In Tabelle 3 sind die Arbeitsplatzgrenzwerte der im Rahmen des Projektes messtechnisch erfassten Stoffe mit den entsprechenden Beurteilungskriterien zusammengestellt.

Lösemittel	CAS-Nr.	Art des Grenzwertes	Grenzwert [mg/m <sup>3</sup> ]	Spitzenbegrenzung
<b>Ethanol</b>	64-17-5	AGW <sup>1</sup>	960	2(II)
<b>Propan-2-ol</b>	67-63-0	AGW <sup>1</sup>	500	2(II)
<b>Aceton</b>	67-64-1	AGW <sup>1</sup>	1200	2(I)
<b>1-Propanol</b>	71-23-8	IGW <sup>2</sup>	500	
<b>Butan-1-ol</b>	71-36-3	AGW <sup>1</sup>	310	1(I)
<b>2-Methylpropanol-2, tertiär Butanol</b>	75-65-0	AGW <sup>1</sup>	62	4(II)
<b>2-Methylpropanol-1, Iso-Butanol</b>	78-83-1	AGW <sup>1</sup>	310	1(I)
<b>Ethylbenzol<sup>*</sup></b>	100-41-4	AGW <sup>1</sup>	440	2(I)
<b>Styrol</b>	100-42-5	AGW <sup>1</sup>	86	2(II)
<b>1-Methoxy-2-propanol</b>	107-98-2	AGW <sup>1</sup>	370	2(I)

Lösemittel	CAS-Nr.	Art des Grenzwertes	Grenzwert [mg/m <sup>3</sup> ]	Spitzenbegrenzung
<b>4-Methyl-pentan-2-on</b>	108-10-1	AGW <sup>1</sup>	83	2(I)
<b>Isopropylacetat</b>	108-21-4	MAK <sup>3</sup>	420	=1=
<b>2-Methoxy-1-methylethylacetat / 1-Methoxypropylacetat</b>	108-65-6	AGW <sup>1</sup>	270	1(I)
<b>Toluol<sup>*)</sup></b>	108-83-3	AGW <sup>1</sup>	190	4(II)
<b>Methylcyclohexan</b>	108-87-2	AGW <sup>1</sup>	810	2(II)
<b>Cyclohexanon</b>	108-94-1	AGW <sup>1</sup>	80	1(I)
<b>n-Propylacetat</b>	109-60-4	MAK <sup>3</sup>	420	=1=
<b>Isobutylacetat</b>	110-19-0	MAK <sup>3</sup>	420	=1=
<b>2-Heptanon</b>	110-43-0	AGW <sup>1</sup>	238	2(II)
<b>2-Butoxyethanol</b>	111-76-2	AGW <sup>1</sup>	98	4(II)
<b>2-Butoxyethylacetat</b>	112-07-2	AGW <sup>1</sup>	130	4(II)
<b>4-Hydroxy-4-Methylpentan-2-on</b>	123-42-2	AGW <sup>1</sup>	96	2(I)
<b>n-Butylacetat</b>	123-86-4	AGW <sup>1</sup>	480	2(II)
<b>n-Butylacrylat</b>	141-32-2	AGW <sup>1</sup>	11	2(II)
<b>Ethylacetat</b>	141-78-6	AGW <sup>1</sup>	1500	2(II)
<b>Xylol (alle Isomeren)<sup>*)</sup></b>	330-20-7	AGW <sup>1</sup>	440	2(II)
<b>2-Methoxypropylacetat-1</b>	70657-70-4	AGW <sup>1</sup>	28	8(II)
<b>1-Methylpyrrolidon</b>	872-50-4	AGW <sup>1</sup>	82	2(II)
<b>Kohlenwasserstoffgemische</b>		AGW <sup>1</sup>	RCP Gruppen- grenzwerte	2(II)
<b>C5-C8 Aliphaten</b>			1500	
<b>C9-C15 Aliphaten</b>			600	
<b>C7-C8 Aromaten</b>			200	
<b>C9-C15 Aromaten</b>			100	

TABELLE 3: GEMESSENE STOFFE UND GRENZWERTE

**ANMERKUNGEN:**

1) ARBEITSPLATZGRENZWERT NACH TRGS 900 [10]

2) INTERNATIONALER GRENZWERT (OSHA, USA) [11],

3) MAK-WERT DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGESELLSCHAFT (DFG) [12];

\*) GEKENNZEICHNETE KOHLENWASSERSTOFFE WERDEN NUR DANN MIT DEN ANGEgebenEN, STOFFSPEZIFISCHEN GRENZWERTEN BEURTEILT, FALLS IM ARBEITSBEREICH KEINE KOHLENWASSERSTOFFGEMISCHE EINGESETZT WERDEN, ANSONSTEN WERDEN SIE MIT DEM RCP-GEMISCHGRENZWERT BEURTEILT.



Die Bewertung der Kohlenwasserstoffgemische erfolgte nach der RCP-Methode (s. TRGS 900, Abschnitt 2.9 [10] und Begründungspapier [13]).

Für Kohlenwasserstoffgemische wurde der Arbeitsplatzgrenzwert anhand der Rezepturinformationen aus den Gruppengrenzwerten berechnet. Waren keine Informationen über die Kohlenwasserstoffzusammensetzung in Erfahrung zu bringen, wurde als „worst case“ der Grenzwert  $100 \text{ mg/m}^3$  angesetzt. Wenn mehrere Kohlenwasserstoffgemische parallel oder direkt nacheinander eingesetzt wurden, wurde mit dem niedrigeren Grenzwert bewertet (s. TRGS 900, 2.9 (7) und (8)).

## 7 ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER MESSTECHNISCHEN ERMITTLUNGEN

Insgesamt wurden durch die Ländermessstellen Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz und die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG-RCI) Ermittlungen in 39 Betrieben durchgeführt.

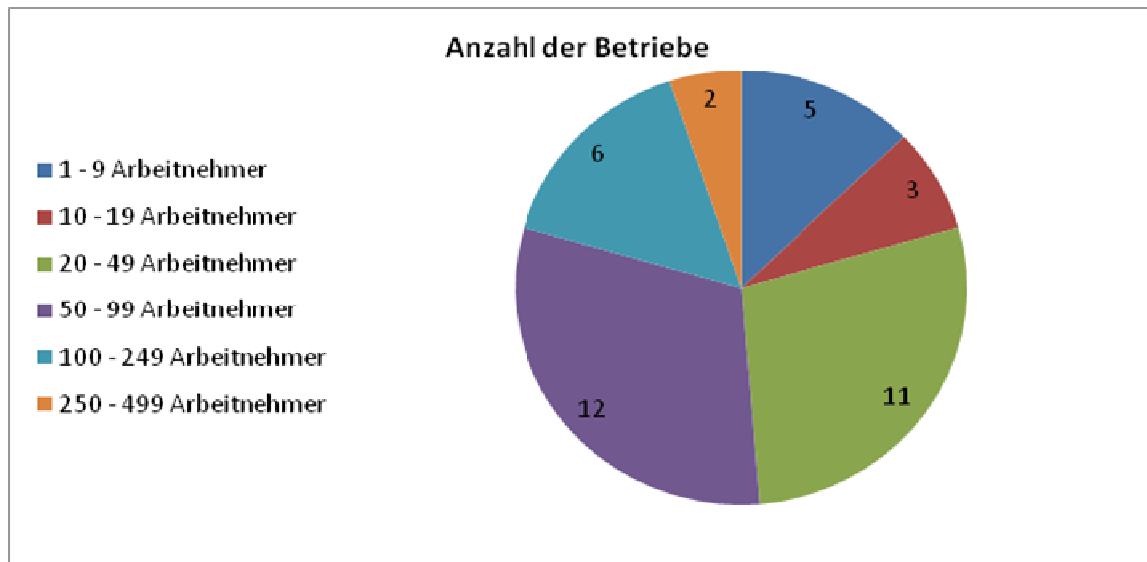


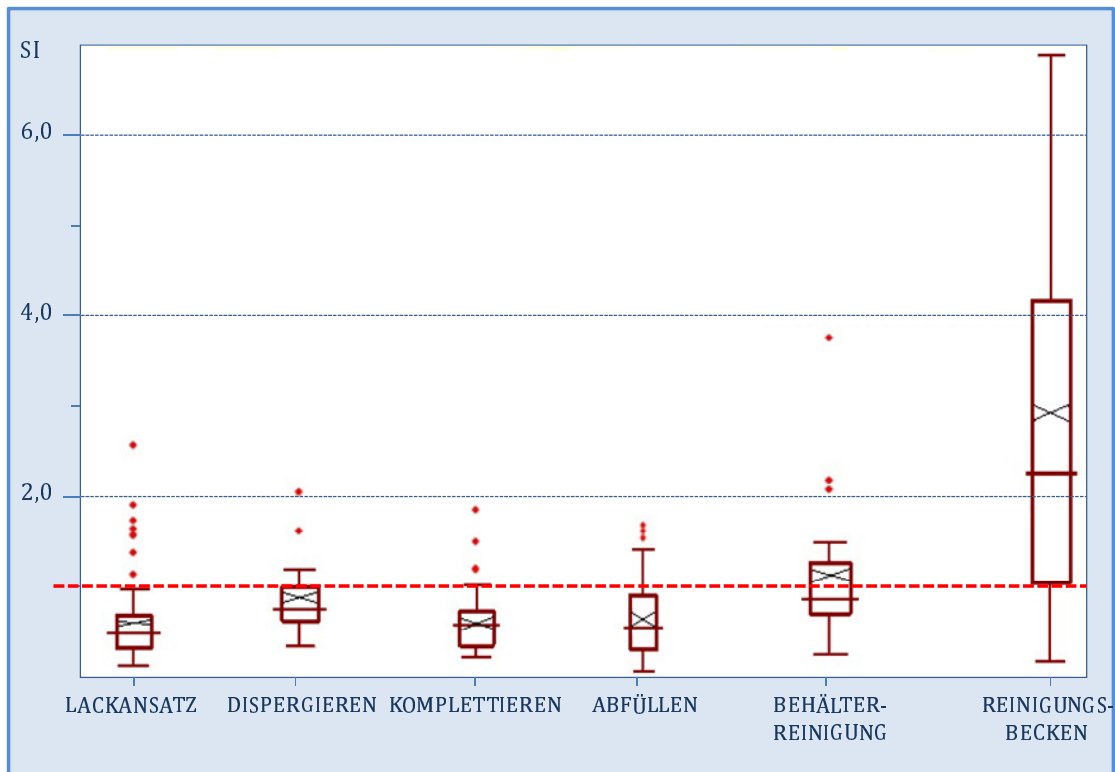
ABBILDUNG 14: BETRIEBSGRÖSSE DER BETEILIGTEN BETRIEBE

In die Auswertung wurden insgesamt 207 tätigkeits- oder arbeitnehmerbezogene Mittelwerte, ermittelt aus 603 Einzelmessungen einbezogen. Weil sie die Mindestanforderungen an die Schutzmaßnahmen (s. Kapitel 6.3) nicht erfüllen, konnten im Lackansatz 18 % der Messwerte, beim Komplettieren 5 %, beim Abfüllen 29 %, und bei der Behälterwäsche 31 % nicht für die Auswertung einbezogen werden.

Tabelle 4 und Abbildung 15 geben einen Gesamtüberblick über die Lösemittelbelastung bei den relevanten Arbeitsschritten der Lackherstellung. Für die Beurteilung der Lösemittelgemische werden Messergebnisse als Summenindizes dargestellt. Unterschreitet der Summenindex (SI) 1, ist der Grenzwert eingehalten.

Arbeitsbereiche	Anzahl Einzel-messungen	Anzahl untersuchte Arbeitsplätze	Summenindex (SI)				
			Min	Max	Median	95-Perzentil	SI > 1 [%]
<b>Alle Arbeitsbereiche</b>	<b>603</b>	<b>207</b>	<b>0,01</b>	<b>7,09</b>	<b>0,59</b>	<b>2,16</b>	<b>23</b>
<b>Lackansatz</b>	<b>158</b>	<b>58</b>	<b>0,07</b>	<b>2,57</b>	<b>0,44</b>	<b>1,63</b>	<b>16</b>
<b>Dispergieren</b>	<b>57</b>	<b>17</b>	<b>0,29</b>	<b>2,03</b>	<b>0,71</b>	<b>1,68</b>	<b>24</b>
<b>Komplettieren</b>	<b>107</b>	<b>36</b>	<b>0,16</b>	<b>1,83</b>	<b>0,54</b>	<b>1,24</b>	<b>11</b>
<b>Abfüllen gesamt</b>	<b>194</b>	<b>57</b>	<b>0,01</b>	<b>1,66</b>	<b>0,49</b>	<b>1,40</b>	<b>16</b>
Abfüllen manuell	145	36	0,02	1,66	0,62	1,40	17
Abfüllen automatisch	49	21	0,01	1,54	0,26	1,36	14
<b>Behälterreinigung gesamt</b>	<b>75</b>	<b>24</b>	<b>0,20</b>	<b>3,80</b>	<b>0,88</b>	<b>2,16</b>	<b>42</b>
Behälterreinigung manuell	26	6	0,20	3,80	0,66	3,08	17
Behälterreinigung automatisch	49	18	0,50	2,18	0,97	2,09	50
<b>Arbeiten an Reinigungsbecken</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>0,14</b>	<b>7,09</b>	<b>2,26</b>	<b>6,88</b>	<b>80</b>

TABELLE 4: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE BEI DEN TÄTIGKEITEN



**ABBILDUNG 15: BOX-WHISKER-PLOT. ERLÄUTERUNG: BOX-UNTERKANTE = 25-PERZENTIL, BOX-OBERKANTE = 75-PERZENTIL, KREUZ = ARITHMETISCHER MITTELWERT, QUERSTRICH = MEDIAN, WHISKER, DIE FÄDEN = MAX. SO LANG WIE DIE BOX, ENDEN ABER BEIM LETZTEN ERREICHTEN DATENPUNKT. DIE WERTE AUßERHALB DER WHISKERGRENZE = EXTREMWERTE. BEI ARBEITSPLATZMESSUNGEN LIEGT IM REGELFALL EINE "SCHIEFE VERTEILUNG" VOR, D. H. DER MEDIAN LIEGT TIEFER ALS DER ARITHMETISCHE MITTELWERT, DER DURCH EXTREMWERTE STARK BEEINFLUSST WIRD.**

Aufgrund der wenig automatisierten Chargenproduktion bei der Lackherstellung, unter Einsatz ganz verschiedener Lösemittelgemische mit verschiedenen Flüchtigkeiten und Grenzwerten sowie Schutzmaßnahmen mit unterschiedlicher Effektivität, kommt es zu einer großen Variationsbreite der Lösemittelkonzentration in der Atemluft. Der Summenindex von 1 wurde in allen Arbeitsbereichen im 95-Perzentil überschritten.

Von sehr großem Einfluss auf die Messwertbeurteilung ist, welche Kohlenwasserstoff-Gemische im Arbeitsbereich eingesetzt werden. Die Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches bestimmt die Höhe des Grenzwertes (s. Kapitel 6.3). Ist das Gemisch aromatenreich, ist der Kohlenwasserstoffgemisch-Grenzwert niedrig und die Messergebnisse bewertet als Summenindex entsprechend hoch. Selbst bei guten technischen Voraussetzungen kann es in der Summe aller Stoffe dazu führen, dass die Grenzwerte überschritten werden.

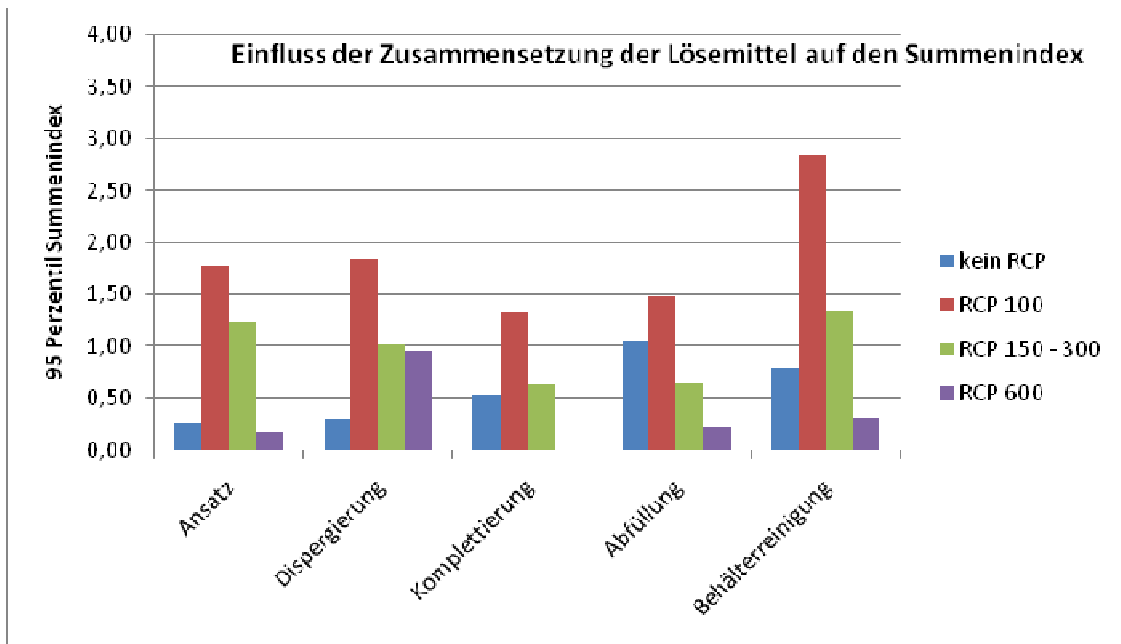


ABBILDUNG 16: EINFLUSS DER ZUSAMMENSETZUNG DER LÖSEMITTEL AUF DEN SUMMENINDEX

Wenn Absaugungen an den Arbeitsplätzen vorhanden sind, können Erfassungselemente und Luftleistung sehr unterschiedlich ausgelegt sein, was die Wirksamkeit der Absaugung stark beeinflusst. Dies führt dazu, dass trotz vorhandener Absaugung Grenzwerte überschritten werden können.

## 7.1 LACKANSATZ

Als Mindestanforderung für diesen Arbeitsbereich wurde die Abdeckung der Ansatzbehälter, der Einsatz von Objektsabsaugungen an den Ansatzbehältern und/oder abgesaugte Deckel definiert. Die Ansatzbehälter wurden in allen überprüften Betrieben abgedeckt, jedoch wurden in 18 % der beprobten Arbeitsbereiche keine Objektsabsaugungen verwendet (Mindestanforderung nicht erfüllt). Diese Messungen wurden in die Auswertung nicht einbezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 und Abbildung 17 dargestellt.

Arbeitsbereich Lackansatz	
Anzahl Messwerte	58
Minimum	0,07
Median	0,44
95%til	1,63
Maximum	2,57
Anzahl (Anteil) Messwerte < 0,5	31 (53 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1	18 (31 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte >1	9 (16 %)

TABELLE 5: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH LACKANSATZ

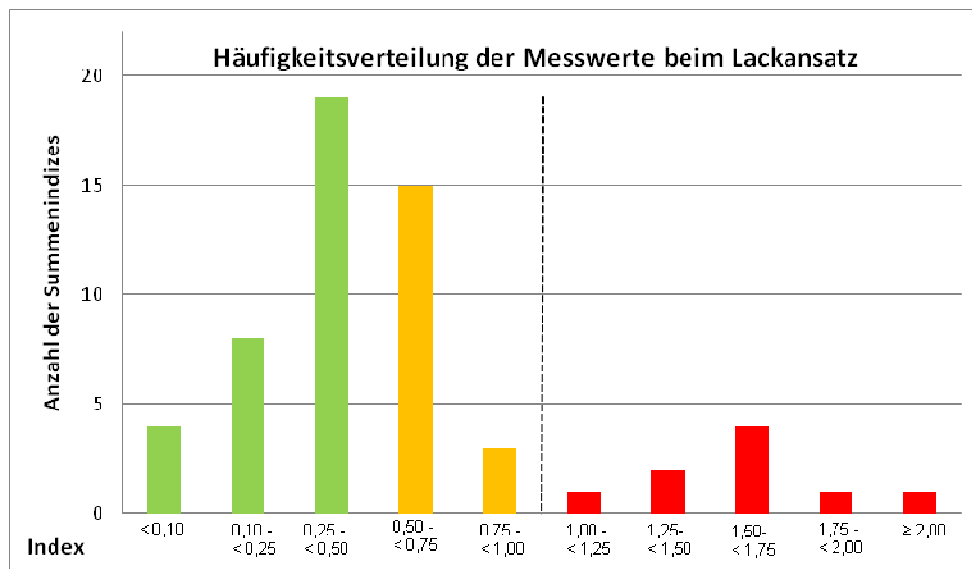


ABBILDUNG 17: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM LACKANSATZ

In 16 % der Messungen sind die Grenzwerte trotz Erfüllung der Mindestanforderungen überschritten. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die vorhandenen Absaugungen nicht ausreichend wirksam sind. Grund hierfür ist, dass Objektsabsaugungen falsch positioniert sind, die Absaugleistung zu gering ist oder die Erfassungselemente für das Verfahren nicht geeignet sind.

Expositionsspitzen entstehen beim Befüllen der Ansatzbehälter mit Lösemitteln oder bei Reinigungsarbeiten an Rührwerken, Rührwellen usw., wenn eine unzureichende oder keine Absaugung verwendet wird.

Besonders wenn Beschäftigte mehrere Chargen ansetzen, kann durch entsprechend vermehrte Tätigkeit hier die Belastung deutlich ansteigen.

## 7.2 DISPERGIEREN

Als Mindestanforderung für diesen Arbeitsbereich wurde die Abdeckung der Behälter definiert. Die Behälter wurden in allen überprüften Betrieben abgedeckt und somit sind die Mindestanforderungen erfüllt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 und Abbildung 18 dargestellt.

Arbeitsbereich Dispergieren	
Anzahl Messwerte	17
Minimum	0,29
Median	0,71
95%til	1,68
Maximum	2,03
Anzahl (Anteil) Messwerte < 0,5	4 (23 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1	9 (53 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte >1	4 (24 %)

TABELLE 6: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH DISPERGIEREN

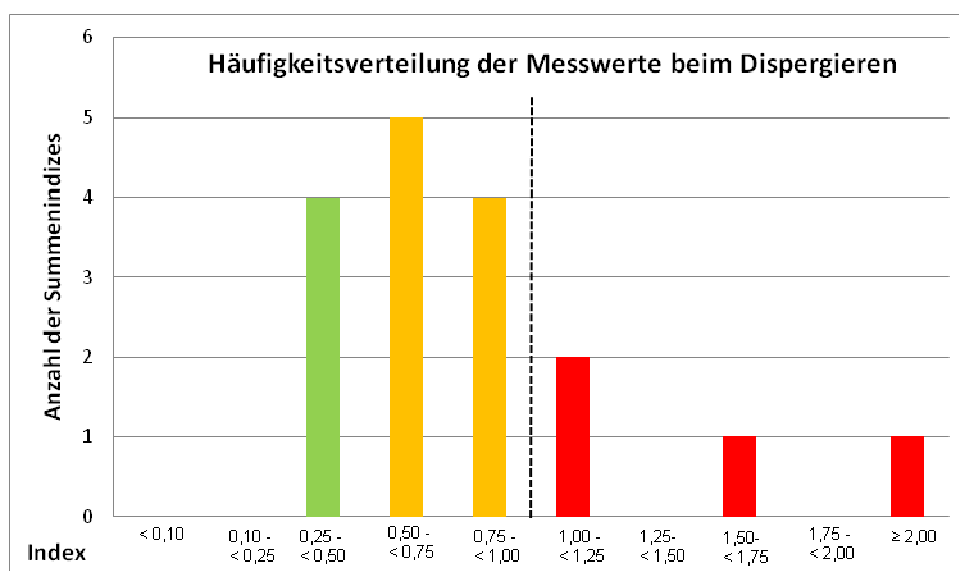


ABBILDUNG 18: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM DISPERGIEREN

Das Dispergieren der Lacke erfolgt fast ausschließlich in Perlmühlen. Die Vorlage- sowie die Auffangbehälter sind abgedeckt. Zur Reinigung der Perlmühlen wird Lösemittel durch dieses System gepumpt und mit der Farbe vermischt. Lediglich pastöse Farben, wie z.B. Druckfarben werden noch in Walzenstühlen dispergiert, die bei den beprobten Betrieben alle über eine Absaugung verfügen.

Die Grenzwerte wurden in ca. 24 % der Messungen überschritten. Dies ist vermutlich auf Reinigungsarbeiten von Kleinteilen (z.B. Behälterablaufhähne, Schläuche und Pumpen) am Arbeitsplatz zurückzuführen, die nicht an abgesaugten Reinigungsbecken gereinigt werden können. In diesen Arbeitsbereichen sind nur in den seltensten Fällen geeignete Objektabsaugungen vorhanden.

### 7.3 KOMPLETTIEREN

Als Mindestanforderung für diesen Arbeitsbereich wurde die Abdeckung der Behälter definiert. In 5 % der beprobten Arbeitsbereiche wurden die Mindestanforderungen für das Komplettieren nicht erfüllt. Diese Messungen wurden in die Bewertung nicht einbezogen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 und Abbildung 19 dargestellt.

Arbeitsbereich Komplettieren	
<b>Anzahl Messwerte</b>	36
<b>Minimum</b>	0,16
<b>Median</b>	0,54
<b>95%til</b>	1,24
<b>Maximum</b>	1,83
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &lt; 0,5</b>	17 (47 %)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1</b>	15 (42 %)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &gt;1</b>	4 (11 %)

TABELLE 7: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH KOMPLETTIERUNG



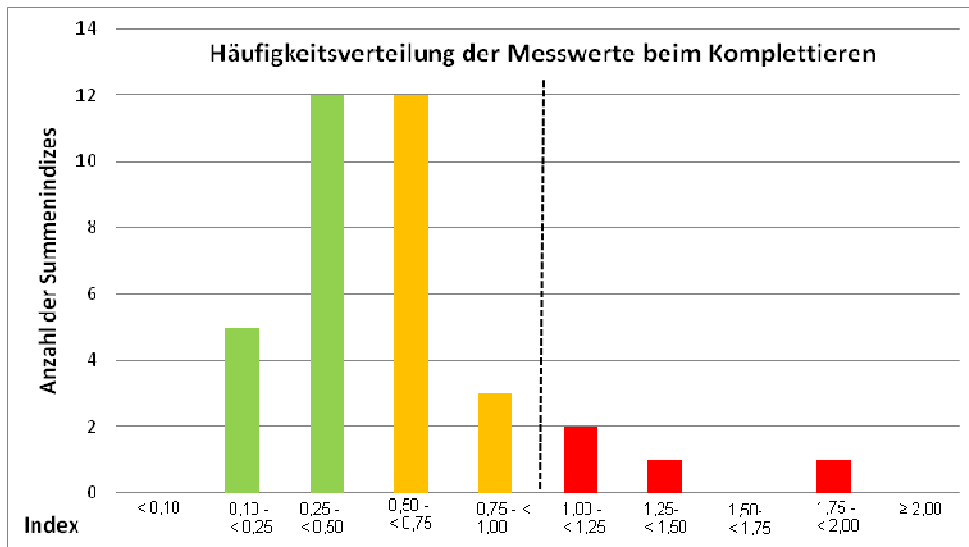


ABBILDUNG 19: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM KOMPLETTIEREN

Beim Komplettieren der Lacke sind die Behälter mit Folien oder Deckeln abgedeckt. Sie werden nur zur Zugabe von kleinen Mengen Feststoffe und Lösemittel sowie zur Entnahme von Proben zur Qualitätskontrolle geöffnet. In 11 % der Messungen wurden die Grenzwerte beim Komplettieren trotz Einhaltung der Mindestanforderungen überschritten. Dies ist wahrscheinlich auf Reinigungsarbeiten an den Arbeitsplätzen zurückzuführen. Beim Reinigen der Rührwerke werden i.d.R. keine Absaugungen eingesetzt.

## 7.4 ABFÜLLEN

Als Mindestanforderung für das Abfüllen wurde eine Absaugung oberhalb des Siebes bei der manuellen Abfüllung festgelegt. In einigen Fällen ist hier auch eine Absaugung oberhalb der zu befüllenden Behälter angebracht.

In 29 % der beprobten Arbeitsbereiche wurden die Mindestanforderung nicht erfüllt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 und Abbildung 20 dargestellt.

Arbeitsbereich Abfüllen	
Anzahl Messwerte	57
Minimum	0,01
Median	0,49
95%til	1,40
Maximum	1,66
Anzahl (Anteil) Messwerte < 0,5	29 (51 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1	19 (33 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte >1	9 (16 %)

TABELLE 8: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH ABFÜLLEN

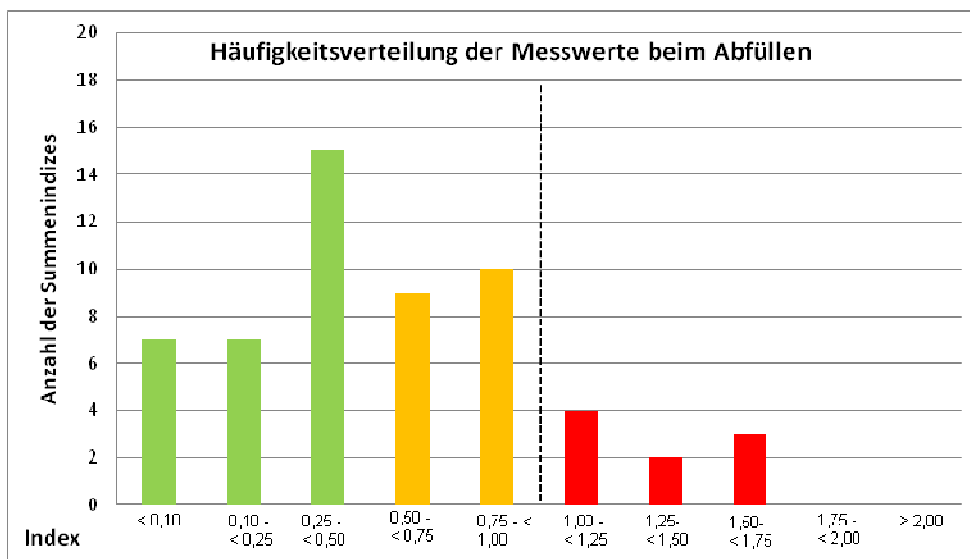


ABBILDUNG 20: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM LACKABFÜLLEN

In 16 % der Messungen wurde der Grenzwert trotz Erfüllung der Mindestanforderungen überschritten. Ursache hierfür ist neben den an den Anlagen durchgeführten Reinigungsarbeiten auch der Einsatz von ungeeigneten oder nicht optimierten Absaugungen.

Eine differenzierte Betrachtung nach manueller und halbautomatischer Abfüllung getrennt ist in Tabelle 9 und Abbildung 21 bzw. Abbildung 22 dargestellt.

Arbeitsbereich Abfüllen	Manuelles Abfüllen	Automatisches Abfüllen
<b>Anzahl Messwerte</b>	36	21
<b>Minimum</b>	0,02	0,01
<b>Median</b>	0,62	0,26
<b>95%til</b>	1,40	1,36
<b>Maximum</b>	1,66	1,59
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &lt; 0,5</b>	14 (39 %)	15 (72 %)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1</b>	16 (44 %)	3 (14 %)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &gt;1</b>	6 (17 %)	3 (14 %)

TABELLE 9: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH GETRENNT NACH MANUELLER UND HALBAUTOMATISCHER ABFÜLLUNG

### Manuelles Abfüllen

Die flexiblen Absaugungen zur Erfassung der Lösemitteldämpfe an dieser Stelle sind oft falsch positioniert oder verfügen nicht über eine ausreichende Leistung. An diesen Arbeitsplätzen werden, bedingt durch die größere Anzahl von verschiedenen Abfüllungen gegenüber einer automatischen Anlage, vermehrt Reinigungsarbeiten vor Ort durchgeführt. Lediglich die Rüttelsiebe werden in Reinigungsbecken gesäubert.

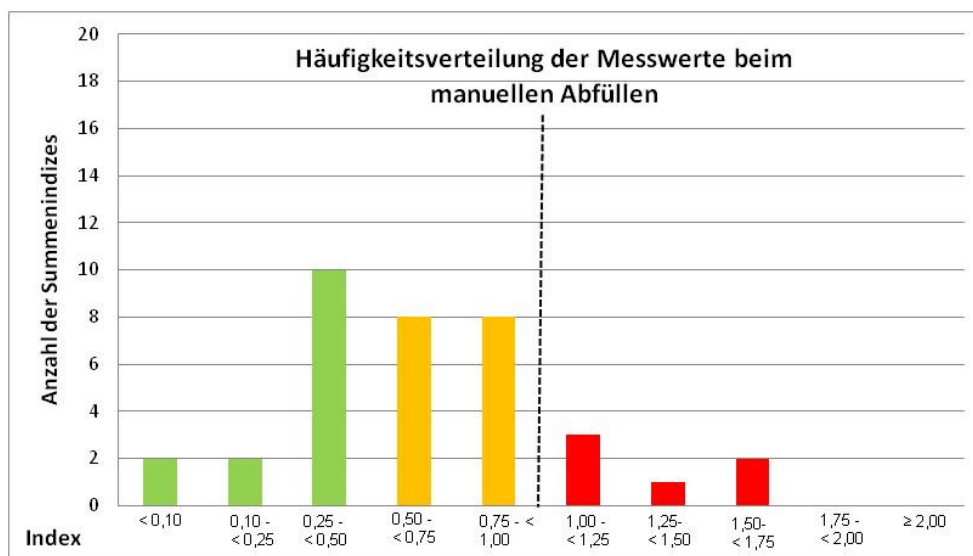


ABBILDUNG 21: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM MANUELLEN ABFÜLLEN

### Automatisches Abfüllen

Die abnehmbaren Teile werden in Behältern vor Ort oder in abgesaugten Reinigungsbecken gesäubert. Die Belastung der Arbeitnehmer durch Lösemittel ist im Median niedriger als bei der manuellen Abfüllung, der Anteil der Grenzwertüberschreitungen ist jedoch vergleichbar.

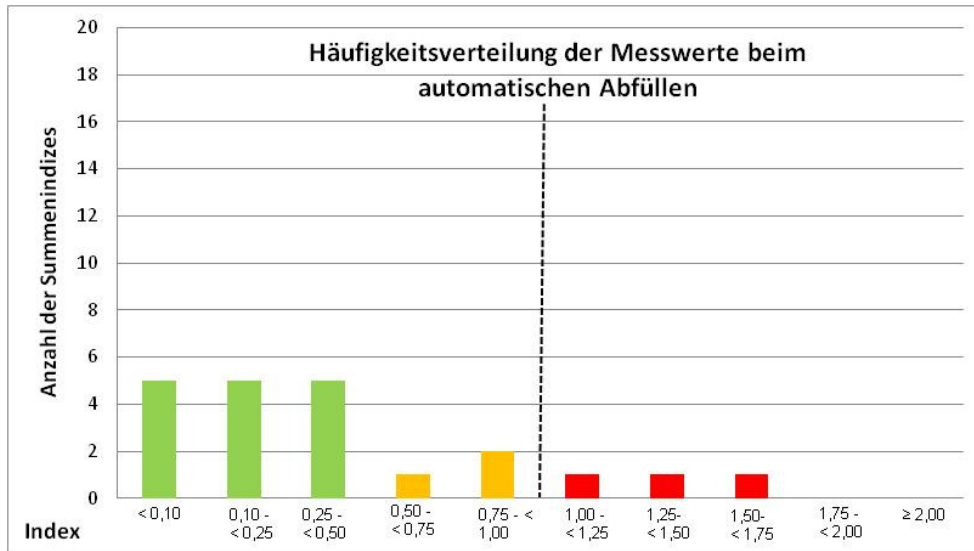


ABBILDUNG 22: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEIM AUTOMATISCHEN ABFÜLLEN

Bei den Beschäftigten, die in der Abfüllung ausschließlich mit dem Etikettieren von Gebinden betraut sind, sind die Grenzwerte eingehalten.

## 7.5 BEHÄLTERREINIGUNG

Als Mindestanforderung für die Behälterreinigung wurde eine abgesaugte gekapselte Reinigungsanlage oder die Verwendung von Objektabsaugungen im Behälter bei der manuellen Reinigung definiert. In 31 % der beprobten Arbeitsbereiche (46% bezogen auf die manuelle Behälterreinigung und 14 % bezogen auf die automatische Behälterreinigung) wurden diese Mindestanforderungen nicht erfüllt. Diese Messungen wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

Damit stellt die Behälterreinigung den Bereich mit dem größten Defizit hinsichtlich der Erfüllung der Mindestanforderungen dar.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 und Abbildung 23 dargestellt.

Arbeitsbereich Behälterreinigung	
Anzahl Messwerte	24
Minimum	0,20
Median	0,93
95%til	2,15
Maximum	3,80
Anzahl (Anteil) Messwerte < 0,5	2 ( 8 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1	12 (50 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte >1	10 (42 %)

TABELLE 10: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH BEHÄLTERREINIGUNG

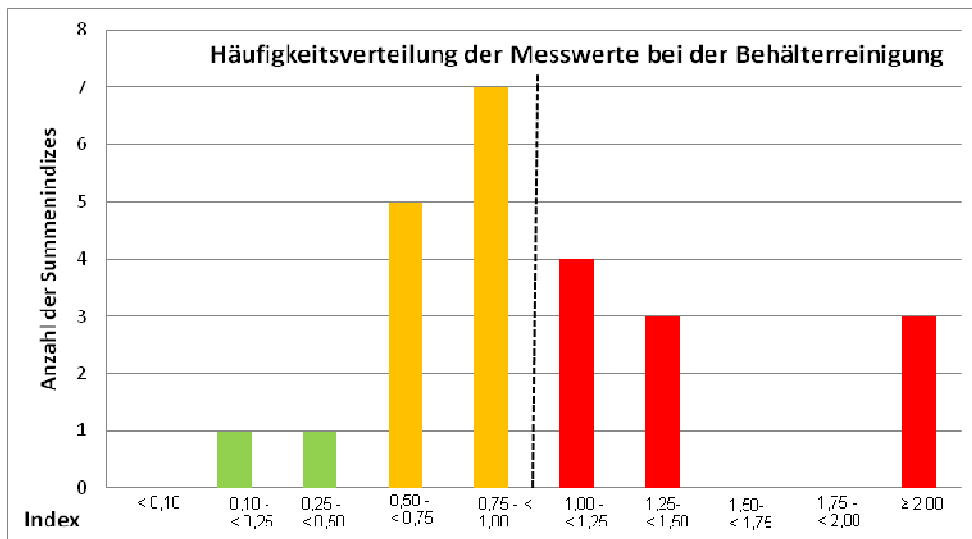


ABBILDUNG 23: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEI DER BEHÄLTERREINIGUNG

Eine differenzierte Betrachtung nach manueller und automatischer Behälterreinigung getrennt ist in Tabelle 11 und Abbildung 24 sowie Abbildung 25 dargestellt.

Arbeitsbereich Behälterreinigung	Manuelle Behälterreinigung	Automatische Behälterreinigung
<b>Anzahl Messwerte</b>	6	18
<b>Minimum</b>	0,20	0,50
<b>Median</b>	0,66	0,97
<b>95%til</b>	3,08	2,09
<b>Maximum</b>	3,80	2,18
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &lt; 0,5</b>	2 (33 %)	0 ( 0 %)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1</b>	3 (50 %)	9 (50%)
<b>Anzahl (Anteil) Messwerte &gt;1</b>	1 (17 %)	9 (50%)

TABELLE 11: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DEM ARBEITSBEREICH GETRENNT NACH MANUELLER UND AUTOMATISCHER BEHÄLTERREINIGUNG

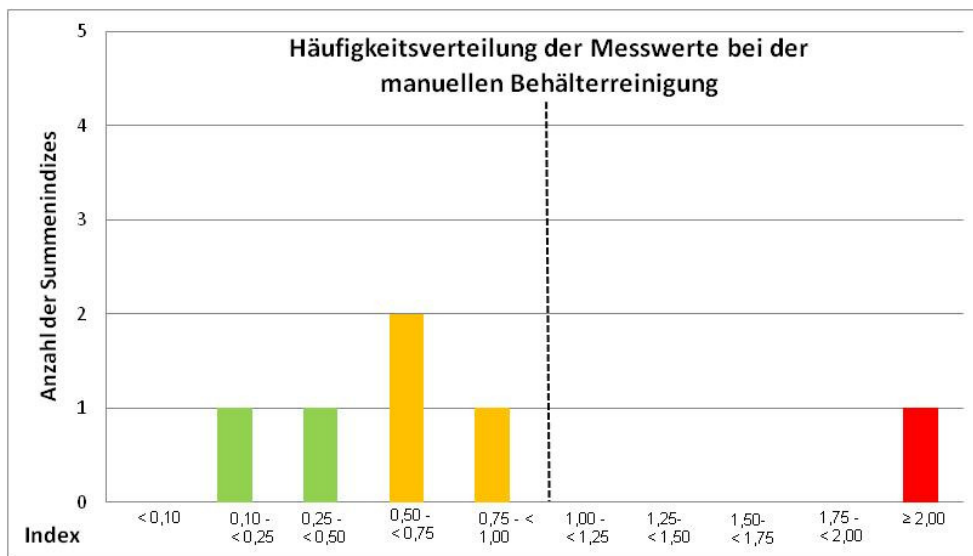


ABBILDUNG 24: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEI DER MANUELLER BEHÄLTERREINIGUNG

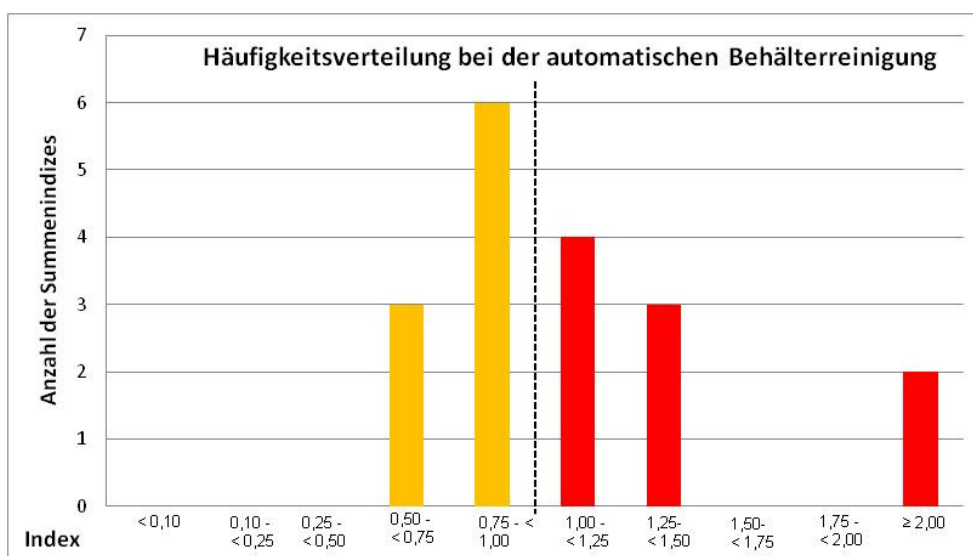


ABBILDUNG 25: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEI DER AUTOMATISCHER BEHÄLTERREINIGUNG

Bei automatischen Behälterreinigungsanlagen wurden hohe Messwerte ermittelt. Ursache war möglicherweise neben der hohen Anzahl von Behältern, die in einer bestimmten Zeiteinheit automatisch gereinigt werden, auch die manuellen Vor- und Nacharbeiten. Wenn mit Reinigungsanlagen bei Behältern z.B. mit eingetrockneten Lackresten kein ausreichendes Reinigungsergebnis zu erzielen war, mussten Behälter mit Lösemittel manuell vorgereinigt werden. Nach dem Waschvorgang wurden die Behälter in den Anlagen getrocknet. War die Trocknungszeit nicht ausreichend, enthielten die Behälter noch Lösemittelreste, die anschließend mit Tüchern aufgenommen wurden.

Bei der manuellen Behälterreinigung ist für die Höhe der Gefahrstoffbelastung neben der Absaugleistung die Positionierung des Erfassungselementes von entscheidender Bedeutung.

Beispiel 1:

In einem Betrieb wurden folgende Summenindizes bei der manuellen Behälterreinigung ermittelt:

Erfassungselement der Absaugung außerhalb des Behälters	SI = 0,94 Arbeitnehmer 1
Erfassungselement der Absaugung im Behälter	SI = 0,39 Arbeitnehmer 2

Behältergröße, Reinigungsmittel und Abluftleistung waren identisch.

Durch die richtige Positionierung des Erfassungselements konnte eine Minimierung der Gefahrstoffbelastung von über 50% erreicht werden.

Beispiel 2:

In einem zweiten Betrieb wurden folgende Summenindizes bei der manuellen Behälterreinigung ermittelt:

Ohne Objektabsaugung, nur Raumluftechnische Anlage, Tore offen	SI= 1,45
Erfassungselement der Absaugung im Behälter , RLTA, Tore offen	SI = 0,5

Behältergröße, Reinigungsmittel, Durchsatz waren identisch.

Durch die Objektabsaugung mit richtiger Positionierung des Erfassungselements konnte eine Minimierung von über 70 % erreicht werden.

## 7.6 ARBEITEN AM REINIGUNGSBECKEN

Als Mindestanforderung für die Arbeiten am Reinigungsbecken wurde eine Randabsaugung des Beckens definiert. Diese Mindestanforderung ist bei allen beprobten Arbeitsbereichen erfüllt.

Dennoch wurden bei 80 % der beprobten Tätigkeiten die Grenzwerte für die Reinigung an Reinigungsbecken überschritten.

Die Ergebnisse für Tätigkeiten an abgesaugten Reinigungsbecken sind in Tabelle 12 und Abbildung 26 dargestellt.

Arbeitsbereich Arbeiten am Reinigungsbecken	
Anzahl Messwerte	15
Minimum	0,14
Median	2,26
95%til	6,88
Maximum	7,09
Anzahl (Anteil) Messwerte < 0,5	1 ( 7 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte 0,5 - ≤ 1	2 (13 %)
Anzahl (Anteil) Messwerte >1	12 (80%)

TABELLE 12: AUFSTELLUNG DER ERGEBNISSE BEI DEN TÄTIGKEITEN AM REINIGUNGSBECKEN

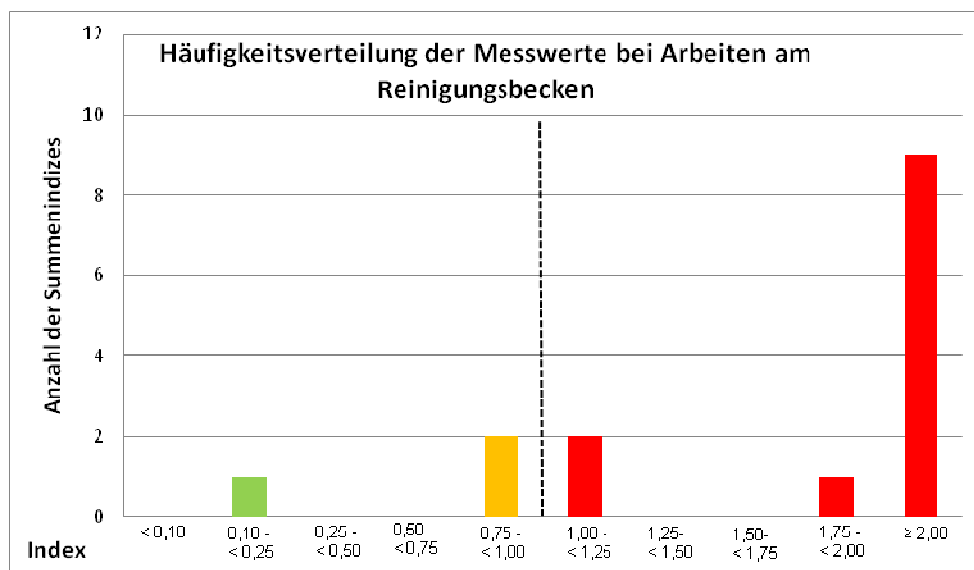


ABBILDUNG 26: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEI ARBEITEN AM REINIGUNGSBECKEN

Ursächlich hierfür sind neben technischen und organisatorischen Defiziten (siehe Abbildung 27) auch die Art des Reinigungsmittels (aromatenreiche Lösemittel und Regenerate mit einem  $AGW_{RCP} = 100 \text{ mg/m}^3$ ).



Obwohl abgesaugt wird, ist die Reinigung größerer Teile am Reinigungsbecken (z.B. Rüttelsiebe) problematisch, da hierbei der Reinigungsvorgang außerhalb des Erfassungsbereiches der Absaugung erfolgt.

Das Trocknen der Teile mit Pressluft führt zu einer weiteren Belastung, besonders wenn diese Arbeiten am geöffneten Reinigungsbecken erfolgen. Neben der zusätzlichen Aufwirbelung wird damit auch die Wirkung der Randabsaugung beeinträchtigt.

Eine gezielte Trocknung der Teile erfolgt i.d.R. nicht und führt zu einer vermeidbaren Belastung (S. Abbildung 27).

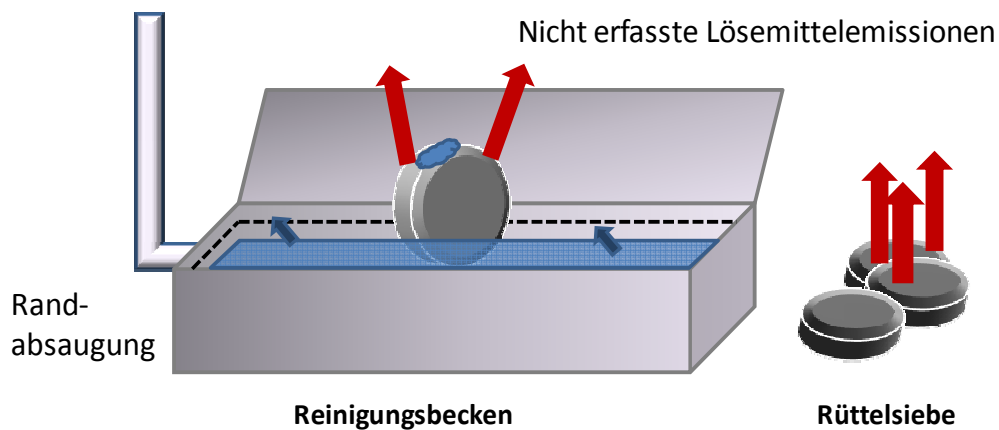


ABBILDUNG 27: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER URSACHEN FÜR VERMEIDBARE LÖSEMITTELBELASTUNG

## 8 ERGEBNISSE DER ERHEBUNG ZUR PERSÖNLICHEN SCHUTZAUSRÜSTUNG

In allen untersuchten Betrieben wurden Arbeitskleidung, Sicherheitsschuhe und, je nach Gefährdungsart, weitere persönliche Schutzausrüstung, wie zum Beispiel Schutzbrillen, Schutzhandschuhe und Atemschutz getragen.

Schutzhandschuhe wurden überall getragen, je nach Anforderung mechanisch stabile nach EN 388 oder Chemikalienschutzhandschuhe nach EN 374.

Schutzhandschuhe mit reinem mechanischem Schutz wurden bei Transportarbeiten ohne Gefahr eines Lack- bzw. Lösemittelkontaktes getragen.

Für die Tätigkeiten in Bereichen, in denen die Gefahr des Spritzkontaktes sowie eines kurzfristigen Vollkontaktes besteht, wie in der Tönerei/Ansetzerei, wurden entweder auch Schutzhandschuhe nach EN 388 oder Einmalhandschuhe bzw. Chemikalienschutzhandschuhe nach EN 374 getragen.

In allen Arbeitsbereichen mit Vollkontakt mit Lösemitteln, wie in der Behälterwäsche, wurden durchgängig Chemikalienschutzhandschuhe nach EN 374 getragen. Ob diese auch mit den eingesetzten Stoffgemischen abgestimmt waren, wurde im Rahmen des Projektes nicht überprüft.

Auffällig war, dass alle Schutzhandschuhe zu lange getragen wurden (Durchdringung von Lösemittel, Verschmutzung, Hygiene). In der Betriebsanweisung und dem Handschuhplan war die Tragezeit nicht festgelegt.

In der Behälterreinigung wurden bei den Reinigungstätigkeiten größtenteils Atemschutzmasken mit A2- oder AX-Filtern getragen. Auch hier erfolgt der Austausch ohne organisatorische Festlegungen.

Beim Befüllen der Dissolver mit Feststoffen wurden in der Regel filtrierende Einmal – Halbmasken mit der Schutzstufe FFP2 getragen.

## 9 SCHLUSSFOLGERUNG

In vielen Betrieben wurden Defizite bezüglich der Schutzmaßnahmen festgestellt, nicht selten erheblich. Maßnahmen sind in vielen Betrieben notwendig. Arbeiten, bei denen die festgelegten Mindestanforderungen (s. Kapitel 6.3) nicht erfüllt werden, führen fast immer zu einer Überschreitung der Grenzwerte. Aber auch bei Umsetzung der beschriebenen Mindestanforderungen sind die Messergebnisse insgesamt in allen Arbeitsbereichen hoch.

Die ausgewerteten Daten, weisen eine beträchtliche Variationsbreite auf. Die Verhältnisse in der Lackherstellung sind sehr komplex. Die weite Palette der Lösemittel, deren verschiedene Eigenschaften und deren sehr unterschiedliche Bewertung bzw. Grenzwerte, Emissionsmenge, -fläche, Absaugleistung, Erfassungseinrichtung, Temperatur im Behälter, Raumgröße usw. beeinflussen die Höhe der Lösemittelkonzentrationen erheblich. Selbst bei recht guten technischen Voraussetzungen (Mindestanforderungen erfüllt) kann in einem Fall der Grenzwert eingehalten sein und im anderen Fall, bei Verwendung z.B. eines aromatenreichen Kohlenwasserstoffgemischs, der Grenzwert deutlich überschritten werden.

Es wird empfohlen, insbesondere bei Reinigungsarbeiten zu prüfen, ob die verwendeten aromatenreichen Kohlenwasserstoffgemische durch andere Reinigungsmittel, beispielsweise durch aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische ersetzt werden können, die einen höheren Grenzwert haben und deshalb als weniger belastend für die Gesundheit gelten können.

Müssen aromatenreiche Kohlenwasserstoffgemische verwendet werden, ist darauf zu achten, dass diese die Kriterien für einen  $AGW_{RCP} > 300 \text{ mg/m}^3$  erfüllen. Ist eine Substitution nicht möglich, ist in jedem Fall ein erhöhter technischer Aufwand an Schutzmaßnahmen erforderlich.

Eine Anforderung der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ beim Umgang mit Gefahrstoffen ist der Einsatz einer Absaugung mit geeigneter Erfassung der Schadstoffe an den Arbeitsplätzen.

In den im Rahmen des Projektes betrachteten Arbeitsbereichen waren Objektabsaugungen vorhanden. Diese hatten aber unterschiedliche Wirksamkeit, was durch Tests mit Strömungsprüfröhrchen deutlich wurde. Die Wirksamkeit der Lösemittelerfassung kann nicht abschließend beurteilt werden, da Absaugleistung und Erfassungsqualität nicht detailliert ermittelt werden konnten.

In den Betrieben stellt die Überprüfung der Wirksamkeit von Absaug- und Erfassungseinrichtungen ein generelles Problem dar. Fehlende regelmäßige Kontrollen führen dazu, dass Leistungsminderungen der Anlagen nicht erkannt werden.

Raumlufttechnische Anlagen allein können nicht zu einer erkennbaren Minimierung der Lösemittelbelastung beitragen, da sie nicht in der Lage sind, die am Entstehungsort auftretenden Gefahrstoffe wirkungsvoll zu erfassen.

Die deutlichsten Defizite gibt es bei den Reinigungsarbeiten an Anlagen und Anlagenteilen in den Arbeitsbereichen, die größtenteils ohne Absaugung durchgeführt werden, bei der Behälterwäsche und bei der Kleinteilereinigung im Reinigungsbecken. Wesentlich ist die Optimierung der Behälterwaschanlagen und der Kleinteilereinigung.

Mit den ermittelten Daten ist es nicht möglich den „Stand der Technik“ zu beschreiben. Generelle Kriterien, anhand derer die Grenzwerteinhaltung abgeprüft werden kann, können nicht festgelegt werden. Deshalb ist es unerlässlich, dass die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen in jedem Betrieb durch Arbeitsplatzmessungen nachgewiesen wird. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung muss der Betrieb die inhalative und dermale Lösemittelbelastung an den Arbeitsplätzen kennen und bei Grenzwertüberschreitung Maßnahmen durchführen. Maßnahmen, wie Objektabsaugung, Wartung und Substitution sind in jedem Falle anzuwenden und zu optimieren.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in eine Handlungshilfe zur Minimierung der Lösemittelbelastung bei der Lackherstellung einfließen. Diese Handlungshilfe soll den Betrieben im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung möglichst praktische Hinweise zur Minimierung an die Hand geben.

## 10 LITERATURLISTE

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Lack> (Stand Januar 2010)
- [2] Internetseite Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. ([www.lackindustrie.de](http://www.lackindustrie.de))
- [3] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 400 "Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen", Ausgabe: Dezember 2010 GMBI 2011 Nr. 2 S. 19-32 (v. 31.1.2011)
- [4] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010, BGBl. I S 1643
- [5] DGUV-I 5152 „Sicheres Arbeiten beim Herstellen von Beschichtungsstoffen“ , BG-RCI, Stand Juni 2010, Jedermann Verlag
- [6] Jahresbericht des Amtes für Arbeitsschutz, Hamburg, 1994
- [7] Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 1317 "Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren Gemische", April 2005, BArbBl. 3/2005 <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-1317.pdf>
- [8] Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen, Deutsche Forschungsgemeinschaft
- [9] BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte", Ausgabe: Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2010 Nr. 34S. 746-747 (v. 21.6.2010); berichtigt: GMBI 2010 Nr. 43 S. 912-913 (v. 4.8.2010)
- [11] Gestis-Datenbank Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen, abrufbar unter [http://www.dguv.de/ifa/de/gestis/limit\\_values/index.jsp](http://www.dguv.de/ifa/de/gestis/limit_values/index.jsp)
- [12] MAK- und BAT-Werte-Liste 2010, Mitteilung 46 der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe vom 1. Juli 2010, Wiley-VCH Verlag
- [13] Begründung zu Kohlenwasserstoffgemische in TRGS 900, Januar 2008, „Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei (RCP-Methode)“ Abrufbar unter [www.baua.de](http://www.baua.de)  
Online-Hilfe: „Online-Rechner für Kohlenwasserstoffgemische“ abrufbar unter <http://www.dguv.de/ifa/de/prg/softwa/rcp/index.jsp>

