

Nichtmesstechnische Expositionsermittlung im Vergleich: Auswertung von Expositionsdaten aus MEGA und Expositionsabschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager

Praxisbeispiel Spritzlackieren

M. Arnone, R. Van Gelder, D. Koppisch, S. Gabriel

Zusammenfassung Wichtige Anwendungen nichtmesstechnischer Expositionsermittlungen sind die Quantifizierung der Expositionssituation gegenüber Gefahrstoffen bei Gefährdungsbeurteilungen und die Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen bei Ermittlungen in Berufskrankheitsverfahren. Die Technische Regel für Gefahrstoffe 402 nennt als Möglichkeiten zur nichtmesstechnischen Expositionsermittlung die Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze oder Berechnungen. Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden diese beiden Möglichkeiten am Praxisbeispiel eines Airless-Spritzlackierarbeitsplatzes verglichen. Statistische Auswertungen von Daten zu Messungen an vergleichbaren Arbeitsplätzen aus der IFA-Expositionsdatenbank MEGA werden Berechnungen in Form von Expositionsabschätzungen mit dem GESTIS-Stoffmanager gegenübergestellt. Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden verdeutlicht, dass der GESTIS-Stoffmanager, falls keine historischen Expositionsdaten vorhanden sind, zur nichtmesstechnischen Ermittlung der Expositionshöhe bei der Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen genutzt werden kann.

Comparison of non-instrumented methods of determining exposure: interpretation of exposure data from MEGA and exposure estimation by means of the GESTIS Stoffmanager – practical example of spray-painting

Abstract Significant applications of non-instrumented methods for the determining of exposure are quantification of the exposure to hazardous substances during risk assessments, and the reconstruction of historical exposure conditions during investigations into reported cases of occupational disease. The TRGS 402 technical rules for hazardous substances refer to the extrapolation of results from comparable workplaces and to calculations as possible non-instrumented methods for determining exposure. This paper compares these two methods with reference to the practical example of an airless spray-painting workplace. Statistical evaluations of data from measurements conducted at comparable workplaces, taken from the IFA's MEGA exposure database, are compared here with calculations in the form of estimations of exposure made with the GESTIS Stoffmanager (substance manager). The close correlation between the results from the two methods of exposure assessment shows that where legacy exposure data are not available, the GESTIS Stoffmanager is suitable for determining the level of exposure by non-instrumented means during the reconstruction of historical exposure situations.

Dr. rer. nat. Mario Arnone,
Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder,
Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch, Stefan Gabriel,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

1 Einleitung

Die Quantifizierung der Exposition gegenüber Gefahrstoffen bei Gefährdungsbeurteilungen ist das häufigste Einsatzgebiet für Ermittlungen der Expositionshöhe von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz. Sie dient in diesen Fällen zur Überprüfung der Wirksamkeit vorhandener und gegebenenfalls zur Festlegung zusätzlicher Schutzmaßnahmen. Hierzu sieht die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ [1] vor, dass entweder ein gemessener oder ein nichtmesstechnisch ermittelter Luftkonzentrationswert für einen Gefahrstoff am Arbeitsplatz mit einem Beurteilungsmaßstab – z. B. dem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) aus der TRGS 900 [2] – verglichen wird. Neben dieser Anwendung gibt es eine Reihe weiterer Einsatzgebiete für Expositionsermittlungen. Bei der Registrierung von Stoffen nach der europäischen REACH-Verordnung werden Expositionsszenarien, die den Nachweis der sicheren Verwendung dieser Stoffe dokumentieren, gefordert. Auch zur Erstellung von Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) oder Verfahrens- und stoffspezifischen Kriterien (VSK) müssen Expositionssituationen detailliert beschrieben werden. Noch wichtiger ist die Kenntnis vergangener Expositionssituationen bei Ermittlungen in Berufskrankheitsverfahren (BK-Ermittlungen).

Diese Publikation soll verdeutlichen, wie die Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen mittels nichtmesstechnischer Expositionsermittlung möglich ist. Dies geschieht zum einen durch die Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze mittels statistischer Auswertungen der in der Expositionsdatenbank MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) gespeicherten Daten, zum anderen durch Berechnungen in Form von Expositionsabschätzungen mit dem GESTIS-Stoffmanager. Als Beispiel dienen zwei benachbarte Arbeitsplätze: ein Spritzlackierarbeitsplatz und der Arbeitsplatz einer Person, die in dessen Nähe Kontrolltätigkeiten durchführt und dabei durch die Tätigkeit des Spritzlackierers exponiert ist.

2 Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen

Zur Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen ist es notwendig, sowohl die Arbeitsbedingungen und -umgebung genau zu beschreiben als auch die vorhandenen Expositionshöhen möglichst zuverlässig zu ermitteln. Die zur Beschreibung der Expositionssituation herangezogenen Perzentile der Expositionsverteilung hängen vom Ziel der Expositionsermittlung ab. Zum Beispiel sieht die Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten (VbgBK) [3] im Fall von BK-Ermittlungen als Bewertungs-

maßstab das 90. Perzentil der Expositionsverteilung zur Beurteilung vor. Auch bei der Registrierung von Stoffen nach REACH wird das 90. Perzentil zur Beschreibung der Expositionssituation herangezogen. Es wird dort zur Abschätzung ungünstiger, aber realistischer Bedingungen (reasonable worst case) verwendet, um alle möglichen Bedingungen bei der Verwendung des Stoffes zu berücksichtigen [4]. Sollen Expositionssituationen zu präventiven Zwecken, wie zur Erstellung eines VSK, ermittelt und beschrieben werden, wird nach TRGS 420 [5] das 95. Perzentil für die Befunderhebung als Bewertungsmaßstab herangezogen. Auch die EGU gehen bei ihren Expositionsbeschreibungen vom 95. Perzentil der Expositionsverteilung aus [6].

2.1 Statistische Auswertungen der Expositionsdatenbank MEGA

Die IFA-Expositionsdatenbank MEGA enthält die im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) bei Luftmessungen ermittelten Betriebs- und Expositionsdaten [7; 8]. Gespeichert sind neben den Analysenergebnissen (Messwerten) auch Angaben zu

- der Branche des bemessenen Betriebs und dem betrieblichen Arbeitsbereich,
- den Arbeits- und Produktionsverfahren einschließlich Informationen zu den Einsatzstoffen und Produkten,
- den technischen Angaben, den am Arbeitsplatz vorhandenen Schutzmaßnahmen und klimatischen Bedingungen,
- der Expositionssituation des Beschäftigten (Häufigkeit und Dauer) sowie
- den Bedingungen und Verfahren bei der Probenahme und der Analytik.

Die Datenbank wird für Gefahrstoffe seit 1972 geführt. Durch Nacherfassung archivierter Daten liegen für einige Bereiche Messwerte seit 1961 vor. Seit 1998 werden auch Daten zu Biostoffen dokumentiert. Ergebnisse von Innenraummessungen seit 2001 und Raumklimamessdaten seit 2006 vervollständigen die in MEGA gespeicherten Daten.

Zum Ende des Jahres 2014 wies die Expositionsdatenbank MEGA einen Datenbestand von nahezu 2,9 Millionen Datensätzen zu 867 chemischen Gefahrstoffen und 625 Biostoffen auf. Die zugrunde liegenden Messungen wurden in ca. 65 000 Betrieben aus beinahe 800 Branchen durchgeführt. Hierbei wurden 4 856 Arbeitsbereiche in 32 785 Kombinationen von Branchen und Arbeitsbereichen dokumentiert.

Die in der MEGA-Datenbank vorliegenden Expositionsdaten werden für die Prävention, für die Epidemiologie sowie für die retrospektive Betrachtung im Rahmen der Ermittlungen im Zusammenhang mit angezeigten stoffbedingten Berufskrankheiten (BK-Ermittlungen) statistisch ausgewertet. Zusätzlich können Auswertungen für die Feststellung der stoffspezifischen Expositionshöhen zum erreichten Stand der Technik in bestimmten Arbeitsbereichen oder für die Erstellung von EGU nach der Gefahrstoffverordnung [9] durchgeführt werden. Auch bei der Kalibrierung und Validierung von Expositionsmodellen kann auf statistische Auswertungen der in MEGA gespeicherten Expositionsdaten zurückgegriffen werden [10]. Sämtliche Auswertungen aus der nicht öffentlich zugänglichen Datenbank werden anonymisiert dargestellt bzw. veröffentlicht. Statistische Auswertungen des MEGA-Datenbestands durch das IFA oder die Unfallversicherungsträger erfolgen mit-

hilfe der MEGA^{Pro}-Auswertesoftware. Sie ermöglicht es, Kollektive von Analysen zu individuellen Fragestellungen entsprechend der im MGU ermittelten und dokumentierten Informationen zu selektieren und statistisch auszuwerten. Ergebnisse dieser Auswertungen sind in zahlreichen Artikeln publiziert (z. B. MEGA-Auswertungen zur Erstellung von REACH-Expositionsszenarien) und können auf den Internetseiten des IFA sortiert nach Branchen oder Gefahrstoffen aufgerufen werden [11].

2.2 Expositionsabschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager

Der „GESTIS-Stoffmanager/Stoffenmanager“ (im Weiteren GESTIS-Stoffmanager genannt) ist die deutsche Version der internationalen Software Stoffenmanager®, die das TNO und Partner in den Niederlanden entwickelten [12]. Der GESTIS-Stoffmanager wird vom IFA in Zusammenarbeit mit Cosanta BV als kostenloses Online-Tool zur Verfügung gestellt [13 bis 15]. Er gibt kleinen und mittleren Unternehmen ohne spezifisches Know-how in der Beurteilung chemischer Risiken eine Hilfestellung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Zusätzlich bietet er die Möglichkeit, die inhalative Exposition gegenüber Stäuben oder Dämpfen, die bei diesen Tätigkeiten freigesetzt werden können, quantitativ abzuschätzen und ein Ergebnis in mg/m⁵ zu ermitteln. Dies entspricht der Empfehlung aus der TRGS 402, die zur Bestimmung der inhalativen Exposition vorzugsweise nichtmess-technische Ermittlungsmethoden vorsieht [1]. Das dieser Abschätzung zugrunde liegende Expositionsmodell des Stoffenmanagers wird in Kapitel R.14 des Technischen Leitfadens (REACH) als „Tier 1+“-Modell zur Erstellung von Expositionsszenarien empfohlen [4].

Das Stoffenmanager-Modell zur Beurteilung der inhalativen Exposition basiert auf dem „Emissionsquelle-Empfänger-Ansatz“ von *Cherrie* und *Schneider*, der speziell zur Beurteilung vergangener Expositionssituationen entwickelt wurde [16]. Das Modell berücksichtigt die wichtigsten expositionsbestimmenden Faktoren, z. B. die Art der Tätigkeit, lokale Schutzmaßnahmen wie Absaugungen oder Einhausungen, freie und maschinelle Raumlüftung sowie Produkteigenschaften. Auch der Abstand des Beschäftigten zur Emissionsquelle wird in die Abschätzung einbezogen. Die Bewertung dieser Faktoren erfolgt auf einer logarithmischen Skala und führt zu einem berechneten Gesamtscore für die Expositionshöhe [12]. Die Quantifizierung des Stoffenmanager-Modells erfolgte durch Korrelation der berechneten Stoffenmanager-Scores mit über 700 Expositionsmessungen. Der Spearman-Korrelationskoeffizient zwischen den qualitativen Stoffenmanager-Scores und den gemessenen Expositionen beträgt $r_s \approx 0,8$ [17]. Für die Expositionsabschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager sind Modelle zur Beurteilung der Expositionshöhe bei Tätigkeiten mit leicht- und schwerflüchtigen Flüssigkeiten sowie mit staubigen Produkten erstellt worden. Außerdem liegt eine Quantifizierung für spanende (z. B. Sägen, Schleifen) oder staubende Tätigkeiten (Verdichtung oder Zerkleinerung fester Körper durch mechanische Schlag- oder Reibwirkung) in der Stein- und Holzbearbeitung vor.

Das Stoffenmanager-Modell der inhalativen Exposition wurde durch TNO anhand von ca. 250 Expositionsmessungen überprüft. Aus den Ergebnissen dieser Validierungsuntersuchung ging hervor, dass der Stoffenmanager eine allgemein gute Expositionsabschätzung liefert und hin-

reichend konservativ ist. Dennoch war in einigen konkreten Fällen eine Anpassung des Modells erforderlich. Es wurde demgemäß für die entsprechenden Szenarien abgeändert [18]. Eine weitere Validierung des Stoffenmanager-Modells erfolgte mit Expositionsdaten aus der Datenbank MEGA [10]. Diese Studie belegt die Qualität der Expositionsabschätzung für Stäube. Auch ein Vergleich zwischen den Modellen des Stoffenmanagers, ECETOC TRA v3 (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals – Targeted Risk Assessment version 3) und ART (Advanced Reach Tool) kommt zu dem Schluss, dass der Stoffenmanager für die Anwendung in der betrieblichen Praxis als Standard-Expositionsmodell eingesetzt werden sollte, da er das robusteste Modell bezüglich der Empfindlichkeit der Expositionsfaktoren bietet. Außerdem ist es das ausgewogenste Modell in Bezug auf physikalische Phänomene wie Emissionsverhalten von Produkt und Tätigkeit oder Verdünnung [19]. Auch die Validierung des Stoffenmanagers mit Messwerten aus ganz Europa im Rahmen des von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) finanzierten Projektes „Evaluation of Tier 1 Exposure Assessments Models under REACH“ (ETEAM) hat gezeigt, dass die Korrelation zwischen Messdaten und Expositionsabschätzung mit $r = 0,54$ für flüchtige Flüssigkeiten und $r = 0,83$ für den Umgang mit staubenden Produkten sehr gut ist [20]. Zusätzlich bescheinigt die ETEAM-Studie den Abschätzungen mit dem Expositionsmodell des Stoffenmanagers eine für den Arbeitsschutz notwendige ausreichende Konservativität. Dies bedeutet, dass die mit dem Stoffenmanager abgeschätzten Expositionshöhen im Vergleich mit entsprechenden Messwertkollektiven eher eine Überschätzung als eine Unterschätzung der tatsächlich vorhandenen Konzentrationen zeigen.

Für die statistischen Auswertungen der IFA-Expositionsdatenbank MEGA, die dieser Publikation zugrunde liegen, wurde die Version 2.0.1.4 der MEGA^{Pro}-Auswertesoftware genutzt. Die rechnerischen Expositionsermittlungen erfolgten mit Version 5 des GESTIS-Stoffmanagers. Zum Vergleich mit dem AGW wird das 90. Perzentil der ermittelten Expositionsverteilungen zur Beschreibung einer ungünstigen, aber realistischen Situation an dem zu analysierenden Arbeitsplatz herangezogen.

3 Expositionsanalyse

3.1 Airless-Spritzlackieren – die zu beurteilende Expositionssituation

Bei der zu beurteilenden Expositionssituation handelt es sich um zwei benachbarte Arbeitsplätze: ein Spritzlackierarbeitsplatz und der Arbeitsplatz einer Person, die Kontrolltätigkeiten in dessen Nähe durchführt und dabei durch die Tätigkeit des Spritzlackierers exponiert ist.

Betrachtet wird ein Spritzlackierarbeitsplatz, an dem von 1999 bis 2003 große Metallbauteile wie Fundamentsektionen von Windrädern oder große Stahlbrückenteile beschichtet wurden, während diese Beschichtungen gleichzeitig von einem zweiten Beschäftigten kontrolliert wurden. Die Beschichtung der Bauteile erfolgte mit dem Airless-Spritzlackierverfahren, bei dem der Beschichtungsstoff mit hohem Druck – ohne Verwendung von Druckluft zur Vernebelung – direkt auf die zu beschichtende Oberfläche gespritzt wird. Die Beschichtungen fanden – aufgrund der Größe der zu beschichtenden Teile – in einer großen Indus-

triehalle statt. Hierbei kam weder eine Lackierkabine noch eine lokale Absaugung zur Erfassung der Lackemissionen an der Emissionsquelle zum Einsatz. Um die Qualitätsansprüche an derartige Beschichtungen zu erfüllen, ist eine gleichmäßige Temperierung des Lacks und des zu lackierenden Materials notwendig. Deshalb wird von einer Halle mit geschlossenen Hallentoren, also ohne freie Lüftung, ausgegangen.

In der in diesem Artikel beschriebenen Expositionsanalyse soll geklärt werden, in welcher Höhe sowohl der Spritzlackierer, der diese Beschichtungstätigkeiten durchführt, als auch der Beschäftigte, der die Kontrolltätigkeiten in der Nähe des Spritzlackierers ausübt, mit Xyloldämpfen aus dem Spritzlack exponiert werden können. Zur Ermittlung der Exposition dieser Beschäftigten werden zwei in der TRGS 402 genannte nichtmesstechnische Ermittlungsmethoden herangezogen: die Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze durch statistische Auswertung von Expositionsdaten aus MEGA und Expositionsabschätzungen mit dem GESTIS-Stoffmanager. Diese Ermittlungen wurden für den Spritzlackierer (Messung an der Person/„nearfield“-Abschätzung) und für den Beschäftigten, der die Kontrolltätigkeiten in der Nähe des Spritzlackierers ausübt (stationäre Messungen/„farfield“-Abschätzung), vorgenommen.

Zur Beurteilung der Ergebnisse der Expositionsanalyse wird der AGW aus der TRGS 900 [2] für Xylol von 440 mg/m^3 (100 ppm) als Beurteilungsmaßstab herangezogen.

3.2 Statistische Auswertungen der Expositionsdatenbank MEGA

Für die Ermittlung geeigneter Daten aus der Expositionsdatenbank MEGA wurden statistisch ausgewertet: Messungen zum Gefahrstoff Xylol aus den Jahren 1999 bis 2003. Bei den selektierten Arbeitsbereichen handelt es sich um alle Bereiche, die dem Airless-Spritzen zuzuordnen sind, und bei denen die Tätigkeit nicht in einer Lackierkabine stattfand. Hierbei wurden neben Messungen im Bereich der Flüssiglackbeschichtung auch Messungen in Maler- und Lackierereien sowie in verschiedenen Branchen der Metallverarbeitung, wie Stahlbau, Maschinenbau und Korrosionsschutz, einbezogen. Um die Expositionssituation in der großen Halle möglichst genau zu ermitteln, wurden nur Messungen ausgewertet, die in Räumen $> 1.000 \text{ m}^3$ stattfanden. Die vollständigen Selektionskriterien, die zur Recherche genutzt wurden, sind **Tabelle 1** zu entnehmen. Anhand dieser Kriterien wurden im Datenzeitraum von 1999 bis 2003 insgesamt 213 Arbeitsplatzmessungen (Kollektiv 295), deren Probenahmedauer repräsentativ für die angegebene Expositionsdauer war, ermittelt und statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Von den 213 Messwerten erfolgte zu 161 Werten die Messung bei Airless-Spritzarbeiten an der Person (Kollektiv 296). Sie beschreiben somit die Expositionssituation des Beschäftigten, der die Lackiertätigkeit selbst ausübt. Der Abstand der Probenahme von der Emissionsquelle entspricht dabei ca. 0,5 bis 1 m. Den restlichen 52 Werten liegt eine stationäre Messung zugrunde (Kollektiv 297). Bei diesen Messungen kann man von einem Abstand der Probenahme zur Emissionsquelle (hier den Spritzarbeiten) von 1 bis maximal 5 m ausgehen, da sie immer noch die Spritz-

Tabelle 1. Selektionskriterien für die Recherche nach Arbeitsplatzmessungen in der Expositionsdatenbank MEGA.

Probenart	
Luftproben mit Expositionsbezug, Datenzeitraum: 1999 bis 2003	
Branchen	
Verarbeiten von flüssigen Beschichtungsmitteln (Flüssiglackbeschichtung)	
Metallbe- und -verarbeitung, allgemein	
Stahl- und Leichtmetallbau	
Stahlbau	
Herstellung von Fenstern, Türen, Fassadenelementen (Metall)	
Maschinen- und Fahrzeugbau, allgemein	
Maschinenbau	
Anlagenbau, Herstellung von Anlagen	
Strahlarbeiten und Korrosionsschutz (an Stahlflächen)	
Korrosionsschutz, Neubeschichtung	
Maler- und Lackiererei	
Arbeitsbereiche	
Oberflächenbeschichtung, Airless-Spritzen	
Lackierraum, Spritzwand/Spritzstand Airless	
Werkstatträume, Spritzwand/Spritzstand Airless	
Werkstatträume, Spritzplatz ohne besondere Vorkehrungen, Airless	
Weitere Einschränkungen	
Raumvolumen > 1000 m ³	
Gefahrstoff Xylol	

Tabelle 2. Statistische Auswertungen für die Xylolkonzentration aus der Expositionsdatenbank MEGA (relevante Kollektive differenziert nach Probenahmeart).

Nr.	Kollektiv Bezeichnung	Anzahl		90. Perzentil in mg/m ³
		Messwerte	Betriebe	
295	alle	213	57	255
296	an der Person	161	55	259
297	stationär	52	17	166
lokale Absaugung = nein				
301	alle	77	15	380
302	an der Person	47	15	442
303	stationär	30	4	238
freie Lüftung = nein				
298	alle	113	29	347
299	an der Person	78	28	383
300	stationär	35	7	238
lokale Absaugung = nein; freie Lüftung = nein				
304	alle	61	11	412
305	an der Person	31	11	509
306	stationär	30	4	238

arbeiten in guter Näherung beschreiben sollen. Diese stationären Messungen sind vergleichbar mit der Expositionssituation eines Beschäftigten, der sich unter ungünstigen Bedingungen dauerhaft in der Nähe der Spritzarbeiten aufgehalten hat.

Betrachtet man alle Messungen an der Person, liegt das 90. Perzentil der ermittelten Xylolkonzentrationen bei 259 mg/m³. Wertet man die vorhandenen Messungen an der Person gezielt auf das Vorhandensein einer lokalen Absaugung aus, stellt man fest, dass 71 % der Arbeitsplätze mit einer lokalen Absaugung ausgestattet waren. Die restlichen 47 Arbeitsplätze hatten, wie in der zu analysierenden Expositionssituation, keine lokale Absaugung. Für diese

Arbeitsplätze liegt das 90. Perzentil der Xylolkonzentrationen bei 442 mg/m³ für den Lackierer (Kollektiv 302). Betrachtet man die Lüftungssituation, erkennt man, dass etwas mehr als die Hälfte der Messungen an Arbeitsplätzen mit freier Raumlüftung und die andere Hälfte an Arbeitsplätzen ohne freie Raumlüftung erfolgten. Im Falle der Arbeitsplätze ohne Lüftung liegt das 90. Perzentil der Xylolkonzentrationen bei 385 mg/m³ für die Expositionshöhe des Lackierers (Kollektiv 299). Wählt man von diesen nur die Arbeitsplätze ohne Lüftung aus, an denen auch keine lokale Absaugung für die auftretenden Sprühnebel vorhanden ist, wie es die vorliegende Expositionssituation nahelegt (Kollektiv 305), verschlechtert sich die Expositionssituation für den Lackierer nochmals auf 509 mg/m³.

Für die Gesamtheit der stationären Messungen, welche die Xylolbelastung eines Beschäftigten in der Nähe des Lackierers beschreiben kann, ergab sich für die bemessenen Airless-Spritzarbeitsplätze in großen Hallen ein

90. Perzentil für die Xylolkonzentration von 166 mg/m³ (Kollektiv 297). Dies entspricht immer noch 64 % der Konzentration, die direkt an der lackierenden Person ermittelt wurde. Im Falle der Lackierarbeitsplätze ohne lokale Absaugung verschlechtert sich die Expositionssituation für den Beschäftigten, der die Kontrolltätigkeiten durchführt, von 166 mg/m³ auf 238 mg/m³ (Kollektiv 303). Eine vergleichbare Zunahme der Xylolkonzentration für den Kontrolleur erhält man auch bei der Berücksichtigung nur ungelüfteter Arbeitsplätze (Kollektiv 300). Für die Xylolexposition des Beschäftigten, während er Kontrollen neben ungelüfteten Spritzarbeitsplätzen durchführt, die zudem keine lokale Absaugung der Sprühnebel aufweisen (Kollektiv 306), ergibt sich keine Veränderung zu Kollektiv 303, da bei allen stationären Messungen ohne lokale Absaugung auch keine freie Lüftung vorhanden war. Dies entspricht einer Reduktion der Xylolkonzentration auf 47 % des Wertes, der an ähnlichen Arbeitsplätzen bei Messungen an der Person ermittelt wurde.

3.3 Expositionsabschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager

Die Höhe der Xylolexposition eines Spritzlackierers sowie eines Beschäftigten, der sich in der Nähe eines Spritzlackierers aufhält, wurde mit dem GESTIS-Stoffmanager für den Umgang mit einem flüssigen Produkt (ein Lack, der Xylol enthält) abgeschätzt. Zur Beschreibung der in diesem Fall vorliegenden Tätigkeit wurde in dem Expositionsmodell eine „Arbeit mit Flüssigkeiten bei hohem Druck, wobei erheblicher Nebel oder Dunst entsteht“ zugrunde gelegt. Weitere expositionsbedingte Faktoren wurden mit den Parametern für Arbeiten in großen Räumen (> 1 000 m³) und „keine Expositions-minderungsmaßnahmen an der Emissionsquelle“ beschrieben. Die Abschätzung erfolgte zudem unter der Annahme, dass keine freie (Hallentore oder Dachreiter geschlossen) oder maschinelle Raumlüf-

Tabelle 3. Parameter zur nichtmesstechnischen Ermittlung der Xylolkonzentration mit dem GESTIS-Stoffmanager.

Allgemeine Daten	
Expositionsabschätzungen	Spritzlackieren im ¹ /außerhalb ² Atemluftbereich
Produkt	Xylohaltiger Lack
Gefahrstoff	
Name	Xylol
CAS-Nr.	1330-20-7
Dampfdruck Inhaltsstoff in Pa	900
Konzentration im Produkt in %	5/12,5/20/35
Verdünnung des Produkts	100 % Produkt
Betriebliche Situation	
Tätigkeit	Arbeit mit Flüssigkeiten bei hohem Druck, wobei erheblicher Nebel oder Dunst entsteht
Tägliche Reinigung des Arbeitsraums	Ja
Regelmäßige Prüfung und Wartung	Ja
Tätigkeit im Atemluftbereich eines Mitarbeiters	Ja ¹ /Nein ²
Mehrere Arbeiter mit gleicher Tätigkeit	Nein
Ausdampfen/Trocknen/Aushärten nach Behandlung	Ja ¹ /Nein ²
Größe des Arbeitsraums in m ³	> 1000
Raumlüftung im Arbeitsraum	Keine Lüftungsmaßnahmen
Expositionsminderungsmaßnahmen	Keine Minderungsmaßnahmen an der Emissionsquelle
Arbeit in einer Kabine	Der Arbeitnehmer arbeitet nicht in einer Kabine.

¹ Parameter für die „nearfield“-Abschätzung (Spritzlackierer)

² Parameter für die „farfield“-Abschätzung (Beschäftigter in der Nähe des Spritzlackierers)

Tabelle 4. Mit dem GESTIS-Stoffmanager abgeschätzte 90. Perzentile der Xylolkonzentration (Expositionsverteilungen für den Spritzlackierer, „nearfield“, sowie den Beschäftigten in der Nähe des Spritzlackierers, „farfield“).

Xylolanteil im Spritzlack in %	90 Perzentil in mg/m ³	
	„nearfield“	„farfield“
5	227	105
12,5	370	170
20	474	218
35	638	294

tung vorliegt. Als Gefahrstoff wird im Modell das Lösemittel Xylol als Inhaltsstoff eines Lacks berücksichtigt. Der zur Abschätzung der Expositionshöhe verwendete Dampfdruck von Xylol wurde mit 900 Pa angenommen, was dem Mittelwert des in der GESTIS-Stoffdatenbank angegebenen Bereiches für den Dampfdruck der Xylolisomere bei 20 °C entspricht [21].

Im GESTIS-Stoffmanager muss der Gewichtsanteil eines Gefahrstoffs im verwendeten Produkt angegeben werden, damit die Expositionshöhe richtig abgeschätzt werden kann. Dieser Anteil im Spritzlack wurde anhand von Sicherheitsdatenblättern von im betrachteten Datenzeitraum verwendeten Beschichtungsstoffen abgeschätzt. Je nach Zusammensetzung der Lacke können Xylolanteile von 5 bis zu 35 % im spritzfertigen Beschichtungsstoff vorhanden sein. Für die Expositionsanalyse mit dem GESTIS-Stoffmanager wurden exemplarisch Xylolanteile von 5, 12,5, 20 und 35 % angenommen. Eine Zusammenfassung der im GESTIS-Stoffmanager zur Expositionsabschätzung eingesetzten Parameter findet sich in **Tabelle 3**.

In **Tabelle 4** sind die mit dem GESTIS-Stoffmanager ermittelten 90. Perzentile der Expositionsverteilung für die betrachtete Expositionssituation dargestellt. In der Spalte „nearfield“ findet sich die Expositionssituation für einen Beschäftigten, der als Spritzlackierer tätig ist und sich somit

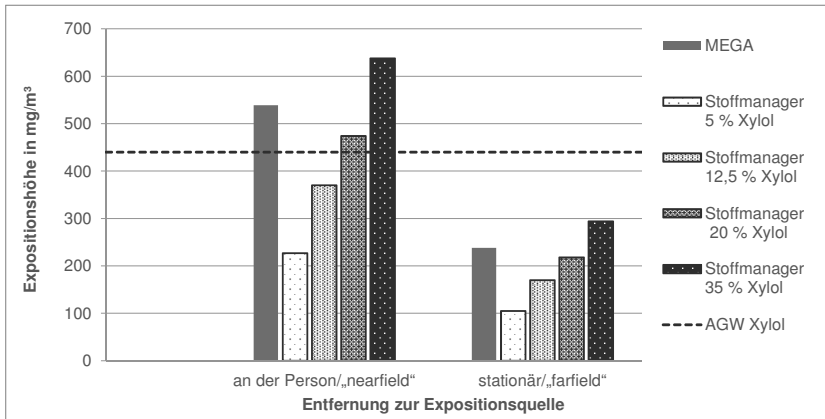
im „nearfield“ zu Spritzlackiertätigkeiten aufhält. Die Spalte „farfield“ gibt das 90. Perzentil der Expositionsverteilung für einen Beschäftigten an, der in der Nähe des Spritzlackierers tätig ist. Zur Ermittlung dieser Werte wurden die in **Tabelle 3** genannten Parameter und verschiedene mögliche Xylolanteile im Lack berücksichtigt.

Betrachtet man die Expositionssituation des Spritzlackierers (vgl. **Tabelle 4**, Spalte „nearfield“), so erhält man in Abhängigkeit vom Xylolanteil im spritzfertigen Beschichtungsprodukt eine Abschätzung für das 90. Perzentil der Gefahrstoffkonzentration in der Luft von 227 mg/m³ bei 5 % Xylol bis zu 638 mg/m³ bei 35 % Xylol.

Für einen Beschäftigten, der sich in der Nähe des Spritzlackierers aufhält, aber die Emissionsquellen (Lackierpistole und zu beschichtendes Lackiergut) nicht direkt in seinem Atemluftbereich hat, ergibt sich eine andere Situation (**Tabelle 4**, Spalte „farfield“). Falls keine lokale Absaugung am Spritzlackierarbeitsplatz vorhanden ist und keine Lüftungsmaßnahmen in der Halle angewendet werden, geht das Modell des GESTIS-Stoffmanagers von einer Reduktion der Xylolkonzentration im farfield auf 46 % der Konzentration im direkten Atemluftbereich des Lackierers aus. Für die abgeschätzte Expositionshöhe eines Beschäftigten, der dauerhaft in der Nähe des Spritzlackierers Tätigkeiten durchführt, ergeben sich somit 90. Perzentile der Expositionsverteilung von etwas mehr als 100 mg/m³ beim geringsten Xylolanteil im Lack und bis zu knapp 300 mg/m³ im Fall des höchsten angenommenen Xylolanteils im Produkt.

3.4 Ergebnis der Expositionsanalyse

Statistische Auswertungen von Arbeitsplatzmessungen aus der Expositionsdatenbank MEGA, die im Zeitraum von 1999 bis 2003 für die zu analysierende Expositionssituation an repräsentativen Spritzlackierarbeitsplätzen durchgeführt wurden, ergaben für einen Lackierer, der in großen



Vergleich der 90. Perzentile von Expositionshöhen für einen Spritzlackierer (an der Person/„nearfield“) und einen Beschäftigten in der Nähe des Spritzlackierarbeitsplatzes (stationär/„farfield“), statistische Auswertungen der Expositionsdatenbank MEGA und Abschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager.

Hallen mit dem Airless-Spritzverfahren Beschichtungsprodukte aufträgt und dabei nicht in einer Lackierkabine arbeitet, Xyloexpositionen mit einem 90. Perzentil von bis zu 509 mg/m³. Die höchsten Konzentrationen sind hierbei zu erwarten, falls es in der Halle keine freie Raumlüftung und auch keine lokale Absaugung gibt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass im Atemluftbereich des Lackierers an diesem Arbeitsplatz der AGW für Xylol überschritten wird (Bild, an der Person/„nearfield“). Dies ist für Airless-Spritzarbeitsplätze allerdings nichts Ungewöhnliches, weshalb solche Tätigkeiten in der Regel in Lackierkabinen und mit Atemschutzmaske oder außenluftunabhängiger Atemluftversorgung durchgeführt werden.

Eine Abschätzung der Xylokonzentration an einem solchen Arbeitsplatz mit dem Modell des GESTIS-Stoffmanagers ergab für eine „nearfield“-Betrachtung (Tätigkeit im Atemluftbereich des Mitarbeiters) ebenfalls mögliche Xyloexpositionen von bis zu 638 mg/m³ im Fall des höchstmöglichen Anteils an Xylol im Spritzlack. Das Expositionsmodell des GESTIS-Stoffmanagers schätzt eine Grenzwertüberschreitung ab einem Xylogehalt von knapp unter 20 % Xylol im spritzfertigen Produkt ab. Diese gute Übereinstimmung der ermittelten Messergebnisse und der aus Arbeitsschutzgründen eher konservativen Abschätzungen (eher eine Überschätzung der Konzentration als eine Unterschätzung) des GESTIS-Stoffmanagers lässt auf eine für diesen Zweck valide Abschätzung des nichtmesstechnischen Instruments schließen.

Wertet man von den selektierten Arbeitsplatzmessungen die stationären Messungen aus, die in guter Näherung als die Expositionsbelastung einer Person interpretiert werden können, die sich in der Nähe des Lackierers aufhält, so findet man selbst unter den ungünstigen Bedingungen, dass keine lokale Absaugung installiert ist und auch keine Lüftung der Halle stattfindet, für Xylol ein 90. Perzentil der Messwerte von 238 mg/m³. Für einen Arbeitnehmer, der sich an einem solchen Arbeitsplatz in der Nähe des Spritzlackierers aufhält, ist die Xylokonzentration also auf 47 % der Expositionshöhe des Lackierers verringert. Zusätzlich bedeutet dieses Ergebnis, dass das 90. Perzentil der Messwertverteilung für die Xylokonzentration bei den durchgeführten stationären Messungen nicht über dem Grenzwert liegt (Bild, stationär/„farfield“).

Das Modell des GESTIS-Stoffmanagers schätzt die „farfield“-Konzentrationen von Xylol beim Spritzlackieren auf 46 % der „nearfield“-Konzentration ab. Wird ein Spritzlack mit einem Xyloanteil von etwa 12,5 % eingesetzt, entspricht dies einem 90. Perzentil für die Xyloexposition von 170 mg/m³ für einen Beschäftigten in der Nähe des Spritzlackierers. Selbst ein Anteil von 35 % Xylol im Beschichtungsstoff würde für Beschäftigte, die sich nur in der Nähe der Lackiertätigkeit aufhalten, zu einer abgeschätzten Expositionshöhe mit einem 90. Perzentil von 294 mg/m³ führen. Diese Abschätzung lässt den Schluss zu, dass die Xylokonzentration in der Umgebung eines solchen Airless-Spritzarbeitsplatzes immer noch den AGW unterschreitet.

4 Fazit

In dieser Publikation wird die Expositionssituation zweier Personen, die beim Spritzlackieren bzw. bei Kontrolltätigkeiten in der Nähe eines Spritzlackierers gegenüber Xylol exponiert waren, rekonstruiert. Die Rekonstruktion erfolgte nichtmesstechnisch durch eine Kombination aus der statistischen Auswertung von Arbeitsplatzmessungen aus der IFA-Expositionsdatenbank MEGA (Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze) und der Abschätzung der Expositionshöhe mit dem GESTIS-Stoffmanager. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass beide Methoden ähnliche Ergebnisse liefern.

Daher kann der GESTIS-Stoffmanager, falls keine historischen Expositionsdaten vorhanden sind, zur nichtmesstechnischen Ermittlung der Expositionshöhe bei der Rekonstruktion vergangener Expositionssituationen genutzt werden. Dies wird auch durch die Ergebnisse der ETEAM-Studie bestätigt, die dem Expositionsmodell des GESTIS-Stoffmanagers eine allgemein gute Korrelation mit Messwerten sowie eine für den Arbeitsschutz notwendige Konservativität der Abschätzungen bescheinigt [20]. Zusätzlich unterstützt eine Validierungsuntersuchung von Riedmann et al. die Anwendung des Stoffmanager-Modells als Standard-Expositionsmodell in der betrieblichen Praxis, da es das robusteste Modell bezüglich der Empfindlichkeit der Expositionsfaktoren ist [19].

Literatur

- [1] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBL. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 9, S. 175.
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2013) Nr. 47, S. 943-947.
- [3] Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten (VbgBK). Ausg. 1. Januar 1997.

- [4] Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.14: Occupational exposure estimation. Hrsg.: European Chemicals Agency (ECHA), Helsinki, Finnland 2010.
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Gefährdungsbeurteilung (TRGS 420). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 38-41; zul. geänd. GMBL (2010) Nr. 12, S. 253-254.
- [6] *Rühl, R.*: BG/BIA-Empfehlungen-Branchenregelungen zur Arbeitsplatzbewertung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998) Nr. 10, S. 391-394.
- [7] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU). 7. Aufl. (print); 8. Aufl. (online). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013.
- [8] *Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.*: Das MGU – ein Monitoringsystem zur Ermittlung und Dokumentation valider Daten zur Exposition am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 1, S. 43-49.
- [9] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010), S. 1643-1692; zul. geänd. BGBl. I (2015), S. 49.
- [10] *Koppisch, D.; Schinkel, J.; Gabriel, S.; Fransman, W.; Tielemans, E.*: Use of the MEGA exposure database for the validation of the Stoffenmanager model. Ann. Occup. Hyg. 56 (2012) Nr. 4, S. 426-439.
- [11] Expositionsdaten aus MEGA in Publikationen. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2015. www.dguv.de/ifa, Webcode d11943
- [12] *Marquart, H.; Heussen, H.; Le Feber, M.; Noy, D.; Tielemans, E.; Schinkel, J.; West, J.; Van Der Schaaf, D.*: 'Stoffenmanager', a web-based control banding tool using an exposure process model. Ann. Occup. Hyg. 52 (2008) Nr. 6, S. 429-441.
- [13] GESTIS-Stoffmanager. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2015. www.dguv.de/ifa/gestis-stoffmanager
- [14] *Arnone, M.; Koppisch, D.; Gabriel, S.*: Der GESTIS-Stoffmanager als Werkzeug zur quantitativen Abschätzung von Gefahrstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 73 (2013) Nr. 4, S. 129-137.
- [15] *Koppisch, D.; Arnone, M.*: Quantitative Abschätzung von Gefahrstoffkonzentrationen mit dem GESTIS-Stoffmanager. sicher ist sicher – Arbeitsschutz aktuell 63 (2012) Nr. 11, S. 498-500.
- [16] *Cherrie, J. W.; Schneider, T.*: Validation of a new method for structured subjective assessment of past concentrations. Ann. Occup. Hyg. 43 (1999) Nr. 4, S. 235-245.
- [17] *Tielemans, E.; Noy, D.; Schinkel, J.; Heussen, H.; Van Der Schaaf, D.; West, J.; Fransman, W.*: Stoffenmanager exposure model: development of a quantitative algorithm. Ann. Occup. Hyg. 52 (2008) Nr. 6, S. 443-454.
- [18] *Schinkel, J.; Fransman, W.; Heussen, H.; Kromhout, H.; Marquart, H.; Tielemans, E.*: Cross-validation and refinement of the Stoffenmanager as a first tier exposure assessment tool for REACH. Occup. Environ. Med. 67 (2010), S. 125-132.
- [19] *Riedmann, R. A.; Gasic, B.; Vernez, D.*: Sensitivity analysis, dominant factors, and robustness of the ECETOC TRA v3, Stoffenmanager 4.5, and ART 1.5 occupational exposure models. Risk Anal. 35 (2015) Nr. 2, S. 211-225.
- [20] *Van Tongeren, M.; Lamb, J.; Miller, B.; Maccalman, L.; Hesse, S.; Hahn, S.; Cherrie, J.*: eTEAM Project: External validation of Tier 1 tools (Inhalation exposure). Vortrag. 7th International Control Banding Workshop at the 10th IOHA International Scientific Conference, London, 2015. www.ioha2015.org/wp-content/uploads/2015/05/4-Martie-Van-external-evaluation-presentation-IOHA-2015.pdf
- [21] GESTIS-Stoffdatenbank. Hrsg.: Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2015. www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank