

# Der GESTIS-Stoffmanager als Werkzeug zur quantitativen Abschätzung von Gefahrstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz

M. Arnone, D. Koppisch, S. Gabriel

**Zusammenfassung** Nach Gefahrstoffverordnung muss der Arbeitgeber beim Umgang mit Gefahrstoffen eine Gefährdungsbeurteilung durchführen. Bei inhalativer Exposition ist die Konzentration am Arbeitsplatz und deren Vergleich mit Grenzwerten ein entscheidendes Kriterium für sichere Arbeitsbedingungen. Nur für eine kleine Anzahl von Gefahrstoffen lässt sich die Konzentration messtechnisch ermitteln. Der GESTIS-Stoffmanager bietet die Möglichkeit einer quantitativen Abschätzung der Exposition gegenüber verschiedenen Gefahrstoffen: bei spanenden Tätigkeiten in der Stein- und Holzbearbeitung, bei Tätigkeiten mit staubigen Produkten sowie leicht- und schwerflüchtigen Flüssigkeiten. Die Abschätzung der Expositionshöhe erfolgt anhand der Produkte und ihrer Inhaltsstoffe, der Tätigkeitsbeschreibung sowie der betrieblichen Arbeits- und Expositionsbedingungen. Die vom GESTIS-Stoffmanager abgeleitete Expositionshöhe kann entsprechend TRGS 420 mit einem Grenzwert verglichen werden. Falls erforderlich können direkt Expositionsreduzierungsmaßnahmen ausgewählt und deren Einfluss überprüft werden. Ebenso lässt sich ein Schichtmittelwert ermitteln. Bei Verwendung geeigneter Parameter zur Beschreibung der Tätigkeit sowie der Arbeits- und Expositionsbedingungen gelingt es, gemessene Expositionshöhen mit einer leichten Überschätzung (konservativer Ansatz) zu reproduzieren.

## The GESTIS-Stoffmanager as a tool for a quantitative estimation of hazardous substance concentrations at the workplace

**Abstract** Under the German Hazardous Substances Ordinance, the employer has to conduct a risk assessment for the handling of hazardous substances. For inhalation exposure, the concentration at the workplace and its comparison to limit values are decisive for ascertaining safe working conditions. Only for a small number of hazardous substances it is possible to determine the concentration with measuring techniques. With the GESTIS-Stoffmanager, the level of exposure to various hazardous substances can be quantitatively estimated for cutting processes in the machining of stone and wood and for activities with dusty products and with volatile and low-volatile liquids. The estimated exposure level is based on products and their contents, on a description of the activity and on the working and exposure conditions at the workplace. The exposure level determined by the GESTIS-Stoffmanager can be compared to a limit value along the lines of TRGS [Technical Rules for Hazardous Substances] 420. If necessary, it is possible to choose risk management measures directly and check their effect. A shift average value can also be obtained. If suitable parameters are used for describing the activity and the working and exposure conditions, it is possible to reproduce measured exposure levels with a slight positive bias (conservative approach).

Dr. rer. nat. Mario Arnone,  
Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch, Stefan Gabriel  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

## 1 Einleitung: Die Gefährdungsbeurteilung

Nach der Gefahrstoffverordnung [1] muss der Arbeitgeber alle zum Schutz der Beschäftigten erforderlichen Maßnahmen durchführen. In deren Zentrum steht die Gefährdungsbeurteilung mit dem Ziel der Gefährdungsminimierung. Anhand der Gefährdungsbeurteilung sind von Betrieben gefahrstoffspezifische Gefährdungen zu ermitteln und zu bewerten sowie Schutzmaßnahmen festzulegen und zu überprüfen. Alle Gefährdungen, die von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausgehen – z. B. bei inhalativer Exposition –, sollen ermittelt und beurteilt werden. Hierzu können Gefahrstoffe und deren Konzentrationen in der Luft gemessen werden. Die Messergebnisse können beurteilt, ggf. mit Grenzwerten verglichen und daraus Schutzmaßnahmen abgeleitet und getroffen werden. In einzelnen Branchen und Arbeitsbereichen kommen viele Gefahrstoffe zum Einsatz. Es gibt zahlreiche standardisierte Messverfahren, jedoch decken diese bei Weitem nicht die ganze Bandbreite der Stoffe ab. Deshalb spielen nicht messtechnische Verfahren und Instrumente zur Abschätzung der Gefahrstoffkonzentrationen eine immer bedeutendere Rolle. Dies gilt insbesondere auch im Zusammenhang mit REACH, in dessen Rahmen in Zukunft viele Stoffe – einschließlich einer Abschätzung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber diesen Stoffen – beurteilt werden müssen, um gefahrstoffspezifische Expositionsszenarien zu erstellen.

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) bietet auf seinen Internetseiten mit dem GESTIS-Stoffmanager<sup>1)</sup> ein Instrument zur Abschätzung von Gefahrstoffkonzentrationen in Arbeitsbereichen an; dieser Artikel beschreibt dessen Leistungsumfang und seine Grenzen.

## 2 Der GESTIS-Stoffmanager: Das Modul zur quantitativen Abschätzung der inhalativen Exposition

Der GESTIS-Stoffmanager wurde entwickelt als ein Instrument zur Beurteilung der inhalativen und dermalen Exposition. Er ist die deutsche Version des Stoffenmanagers – in den Niederlanden entwickelt von TNO und Partnern [2]. Das Modul „Gefährdungen ermitteln – Gefährdungen reduzieren“ in Bezug auf die inhalative und dermale Exposition wurde bereits näher vorgestellt [3]. Dieses bietet kleinen und mittleren Unternehmen ohne spezifisches Know-how in der Beurteilung chemischer Risiken eine Hilfestellung, um Prioritäten bei der Verminderung der durch Chemikalien bedingten Gefährdungen zu setzen und hilft zugleich bei der Auswahl von Expositionsschutzmaßnahmen. Dieser Artikel beschreibt das Modul „Quantitative Abschätzung der inhala-

<sup>1)</sup> [www.dguv.de/ifa/gestis-stoffmanager](http://www.dguv.de/ifa/gestis-stoffmanager)

tiven Exposition mit einem modellierten Ergebnis in  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

**2.1 Theoretische Grundlagen**

Das Stoffenmanager-Modell, das auch die Grundlage des GESTIS-Stoffmanager-Algorithmus zur Beurteilung der inhalativen Exposition ist, basiert auf dem „Emissionsquelle-Empfänger-Ansatz“ von *Cherrie* [4]. Faktoren für die Expositionshöhe sind u. a. die Art der Tätigkeit, lokale Schutzmaßnahmen wie Absaugungen, freie und maschinelle Raumlüftung sowie Produkteigenschaften. Die Bewertung dieser „Scores“ erfolgt auf einer logarithmischen Skala [5].

Die Quantifizierung des Stoffenmanager-Modells erfolgte anhand von über 700 Expositionsmessungen. Die berechneten Stoffenmanager-Scores wurden hierbei mit den Messergebnissen der Expositionsmessungen korreliert. Der Spearman-Korrelationskoeffizient zwischen den qualitativen Stoffenmanager-Scores und der gemessenen Exposition beträgt  $r_s \approx 0,8$  [6].

Das Stoffenmanager-Modell der inhalativen Exposition überprüfte TNO anhand von ca. 250 Expositionsmessungen. Aus dieser Validierungsuntersuchung ging hervor, dass der „Stoffenmanager“ eine allgemein gute Expositionsabschätzung liefert und hinreichend konservativ ist. Dennoch war in einigen konkreten Fällen eine Anpassung des Modells erforderlich. Dieses wurde demgemäß für entsprechende Szenarien angepasst [7] und ist Bestandteil des GESTIS-Stoffmanagers. Eine weitere Validierung des Stoffenmanagers erfolgte mit Expositionsdaten aus der IFA-Expositionsdatenbank MEGA [8]. Diese Studie belegt die Qualität der Expositionsabschätzung.

**2.2 Grenzen der Abschätzung der inhalativen Exposition**

Das Modul des GESTIS-Stoffmanagers zur quantitativen Abschätzung der inhalativen Exposition kann zur Beurteilung der Exposition bei Tätigkeiten mit staubigen Produkten sowie leicht- und schwerflüchtigen Flüssigkeiten verwendet werden (Bild 1). Die Verwendung des GESTIS-Stoffmanagers zur quantitativen Abschätzung der inhalativen Exposition gegenüber Fasern, Gasen oder Stoffen, die bei Arbeiten mit offener Flamme (z. B. beim Schweißen oder Löten) in die Luft gelangen, ist zurzeit noch nicht möglich. Für spanende Arbeiten und Tätigkeiten mit einer Verdichtung bzw. Zerkleinerung fester Körper (durch mechanische Schlag- oder Reibwirkung) liegt eine Validierung für die Stein- und Holzbearbeitung vor.

**3 Quantitative Abschätzung der inhalativen Exposition**

Mit dem Modul „Quantitative Expositionsabschätzung“ wird die inhalative Exposition mit einem modellierten Ergebnis in  $\text{mg}/\text{m}^3$  abgeschätzt. Dieser modellierte Wert kann mit einem Grenzwert verglichen werden. Außerdem ist es möglich, aus mehreren Tätigkeiten, für die zuvor die Exposition

Produkt \ Tätigkeit	Gas	Leichtflüchtige Flüssigkeiten	Schwerflüchtige Flüssigkeiten	Stäube, Pulver	Fasern	Feste Körper
<b>Fördern, Bewegen, Mischen</b>						entfällt
<b>Kippen, Schütten</b>						entfällt
<b>Streuen, Eintauchen</b>						entfällt
<b>Spritzen</b>						entfällt
<b>Schweißen, Löten, Brennen</b>						entfällt
<b>Spanende Arbeiten, Verdichten, Zerkleinern, Stampfen</b>	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	

**Weiß** = Fällt in den Anwendungsbereich  
**Dunkelgrau** = Liegt außerhalb des Anwendungsbereiches  
**Hellgrau** = Anwendbarkeit dieser Kombination ist unsicher  
**entfällt** = nicht anwendbar bzw. nicht möglich

Bild 1. Anwendungsbereich für das quantitative Modell der inhalativen Exposition.

Tabelle 1. Basisdaten, allgemeine Produktinformation.

Bezeichnung des Feldes	Pflichtfeld	Hinweise
Name des Produkts:	X	
Datum des Sicherheitsdatenblattes:	X	
Hersteller/Lieferant:	X	
Betrifft:	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produkt, das Staub freisetzt</li> <li>Produkt, das Dämpfe oder Gase freisetzt</li> </ul>

abgeschätzt wurde, einen Schichtmittelwert zu berechnen. Die Funktionalitäten „Expositionsminderungsmaßnahmen“ und „Maßnahmenkatalog“ stehen auch in diesem Modul zur Verfügung.

**3.1 Ermittlung der Basisdaten**

Zu den benötigten Basisdaten im quantitativen Modul des GESTIS-Stoffmanagers gehören Angaben zum Produkt und dessen Inhaltsstoffen. Diese Daten werden über entsprechende Eingabemasken erfasst (Tabelle 1).

Zur Abschätzung der inhalativen Exposition, verursacht durch Gefahrstoffe in Produkten, gibt es für ein „Produkt, das Staub freisetzt“ und für ein „Produkt, das Dämpfe und Gase freisetzt“ unterschiedliche Modellierungsalgorithmen [7]. Daher wird im ersten Fall bei den speziellen Produktinformationen die „Staubigkeit“ des Produktes mit Auswahlmöglichkeiten wie „Festes Granulat“, „Körner“, „Flocken“, „Grober Staub“ oder „Feiner Staub“ abgefragt. Können Gase und/oder Dämpfe freigesetzt werden, sind Informationen über die Inhaltsstoffe und die Zusammensetzung des Produktes nötig (Tabelle 2). Diese Angaben findet man in den Sicherheitsdatenblättern (SDB) der Produkte.

Da die inhalative Exposition quantitativ für die einzelnen Inhaltsstoffe abgeschätzt wird, müssen diese ebenfalls definiert werden. Die Inhaltsstoffe flüchtiger Produkte charakterisieren sich über ihren Dampfdruck. Zusätzlich werden

Tabelle 2. Basisdaten, spezielle Produktinformationen für ein Produkt, das Gase/Dämpfe freisetzt.

Bezeichnung des Feldes	Pflichtfeld	Hinweise
Dampfdruck (des Produktes):	x	für das qualitative Modul benötigt
Gefahren- und Sicherheitshinweise:	x	für das qualitative Modul benötigt
Inhaltsstoff auswählen	x	Auswahlmenü für vom Nutzer definierte Inhaltsstoffe
Konzentration im Produkt:	x	Angabe in % Kann dem SDB des Produkts entnommen werden

Tabelle 3. Basisdaten, Definition flüssiger Inhaltsstoffe; AGW: Arbeitsplatzgrenzwert, DNEL: Derived No Effect Level.

Bezeichnung des Feldes	Pflichtfeld	Hinweise
Name	x	Kann dem SDB des Produkts entnommen werden
CAS-Nr.		Kann dem SDB des Produkts entnommen werden
Dampfdruck	x	z. B. aus der GESTIS-Stoffdatenbank
Molekulargewicht		z. B. aus der GESTIS-Stoffdatenbank
Grenzwert		falls vorhanden
Grenzwertart		AGW, DNEL etc.

Tabelle 4. Beispiele für Angaben zu Tätigkeiten, die Staub bei spanenden Arbeiten freisetzen.

Bezeichnung des Feldes	Beispiele
Geht es um spanende Arbeiten? ja/nein	Ja
Welche Art von Staub wird freigesetzt?	Holz Stein
Wählen Sie eine Tätigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschinelles Schleifen von Holz</li> <li>• Manuelles Schleifen von Holz</li> <li>• Maschinelles Sägen und Schleifen von Stein</li> </ul>

weitere Angaben zu flüssigen Inhaltsstoffen erfasst (Tabelle 3).

Für die Zukunft ist eine Verlinkung mit der GESTIS-Stoffdatenbank<sup>2)</sup> des IFA geplant, um die stoffspezifischen Daten von dort zu übernehmen. Jeder Inhaltsstoff muss nur einmal erfasst werden, wird abgespeichert und kann dann je nach Bedarf mehreren Produkten zugeordnet werden.

Diese Basisdaten – Produktinformationen und Inhaltsstoffe – stehen nach Eingabe allen Modulen des GESTIS-Stoffmanagers zu Verfügung.

### 3.2 Beschreibung der Tätigkeit

Zur Abschätzung der inhalativen Exposition müssen weiterhin Angaben zur Tätigkeit mit dem Gefahrstoff erfasst werden. Die Eingaben unterscheiden sich hierbei, je nachdem, ob es sich um eine Tätigkeit handelt, bei der Staub freige-

setzt wird, oder um Tätigkeiten mit leicht- oder schwerflüchtigen Flüssigkeiten.

Für staubende Tätigkeiten wird im ersten Schritt der „Gefährdungsbeurteilung der inhalativen Exposition“ abgefragt, ob es sich um spanende und nicht spanende Arbeiten handelt. Für spanende Arbeiten kann der Nutzer aus verschiedenen Tätigkeiten beim Sägen und Schleifen von Stein oder Holz auswählen (Tabelle 4).

Für Tätigkeiten mit staubenden Produkten muss der Nutzer ein vorher definiertes staubendes Produkt auswählen. Anschließend kann er die Art der Tätigkeit über eine Liste von Tätigkeitsbeschreibungen näher spezifizieren (Tabelle 5).

Für Produkte (Flüssigkeiten), die Dämpfe und Gase freisetzen können, fragt der GESTIS-Stoffmanager deren

Verdünnung mit Wasser während der Tätigkeit ab (Tabelle 6). Zusätzlich werden Informationen über die Art der Tätigkeit erfragt, z. B. „Arbeiten mit Flüssigkeiten, die sich in dicht verschlossenen Behältern befinden“, „Arbeiten auf großen Flächen oder großen Werkstücken“ oder „Arbeiten bei hohem Druck, wobei erheblicher Nebel oder Dunst entsteht“.

### 3.3 Betriebliche Arbeits- und Expositionsbedingungen

Im letzten Eingabeschritt müssen die Situation und Expositionsbedingungen im Betrieb beschrieben werden, z. B. Raumgröße und Lüftung, vorhandene Expositionsminierungsmaßnahmen (Absaugung oder Einhausung) und die Persönliche Schutzausrüstung der Arbeitnehmer (Tabelle 7). Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit sind hier nicht relevant, weil sich die ermittelte Expositionshöhe auf eine 8-Stunden-Schicht bezieht.

Tabelle 5. Beispiele für Angaben zu Tätigkeiten mit Produkten, die Staub freisetzen.

Bezeichnung des Feldes	Beispiele
Geht es um spanende Arbeiten? ja/nein	Nein
Wählen Sie ein Produkt	Kreide, Zement (Produkt wurde vorher über die Basisdaten definiert)
Wählen Sie eine Tätigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeit mit vernachlässigbar kleinen Produktmengen</li> <li>• Arbeit mit Produkten mit relativ hoher Geschwindigkeit oder größerer Krafterwirkung, wodurch Staub freigesetzt wird.</li> <li>• Arbeit mit sehr großen Produktmengen</li> </ul>

<sup>2)</sup> www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank

Tabelle 6. Beispiele für Angaben zu Tätigkeiten mit Produkten, die Dämpfe oder Gase freisetzen.

Bezeichnung des Feldes	Beispiele
Wählen Sie ein Produkt	Lack, Verdünner, Kleber (Produkt wurde vorher über die Basisdaten definiert)
Anteil (%) des Produkts in der Lösung	Angabe der Verdünnung in % (100 % = unverdünntes Produkt)
Wählen Sie eine Tätigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeit mit vernachlässigbar kleinen Produktmengen.</li> <li>Arbeit mit Flüssigkeiten auf großen Flächen oder großen Werkstücken.</li> </ul>

Tabelle 7. Beispiele für Angaben zur Beschreibung der betrieblichen Arbeits- und Expositionsbedingungen.

Bezeichnung des Feldes	Beispiele/Hinweise
Dauer der Tätigkeit	Nur für das qualitative Modul relevant
Häufigkeit der Tätigkeit	Nur für das qualitative Modul relevant
Wird die Tätigkeit im Atemluftbereich eines Mitarbeiters durchgeführt? ja/nein	Der Atemluftbereich ist in etwa durch einen Würfel mit 1 m Kantenlänge um den Kopf des Beschäftigten definiert.
Wird die Tätigkeit von mehreren Arbeitnehmern gleichzeitig ausgeführt? ja/nein	Ja
Welche Größe hat der Raum?	Raumgröße < 100 m <sup>3</sup> Raumgröße > 1 000 m <sup>3</sup> Im Freien
Welche Art der freien oder maschinellen Raumlüftung besteht im Arbeitsbereich?	Freie Lüftung (offene Fenster und Türen) Maschinelle Lüftung
Welche Expositions-minderungsmaßnahmen sind verfügbar?	Einhausung der Emissionsquelle Lokale Absaugung Keine Minderungsmaßnahmen
Arbeitet der Arbeitnehmer in einer Kabine?	Kann nur gewählt werden, wenn die Tätigkeit nicht im Atemluftbereich des Mitarbeiters stattfindet.
Wird Persönliche Schutzausrüstung verwendet?	Kein Schutz Halbmaske Gebläsefiltergerät

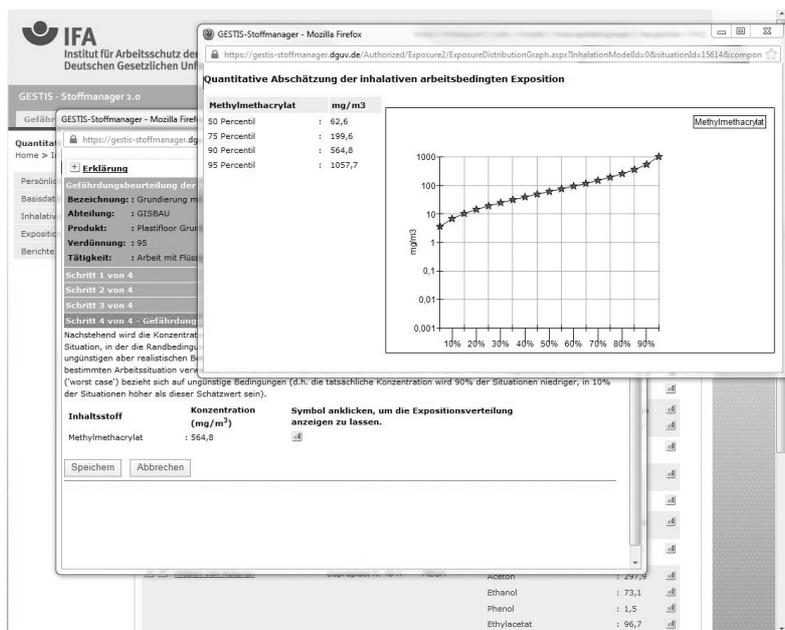


Bild 2. Screenshot aus dem GESTIS-Stoffmanager: Quantitative Abschätzung der inhalativen arbeitsbedingten Exposition.

### 3.4 Ableitung der Expositionshöhe

Aus der Verknüpfung der Eigenschaften der in Produkten eingesetzten Inhaltsstoffe, den Angaben zur Tätigkeit und den betrieblichen Randbedingungen wird eine gefahrstoffspezifische Konzentration abgeschätzt und als Zahlenwert in mg/m<sup>3</sup> ausgegeben. Eine Grafik zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der abgeschätzten Werte und gibt tabellarisch die 50-, 75-, 90- und 95-Perzentile aus (Bild 2). Der GESTIS-Stoffmanager stellt in der tabellarischen Übersicht der Expositionsabschätzungen und in den Berichten das 90-Perzentil dar, um damit den ungünstigen Fall abzubilden. Das 90-Perzentil besagt, dass 90 % der Konzentrationswerte unterhalb sowie 10 % oberhalb dieses Wertes liegen. Entsprechend der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 420 [9] kann auch das 95-Perzentil aus der grafischen Summenhäufigkeitsverteilung zum Grenzwertvergleich herangezogen werden.

### 3.5 Expositions-minderungsmaßnahmen bei inhalativer Exposition

Wenn eine hohe Gefahrstoffkonzentration abgeschätzt wurde oder bei der Abschätzung Werte über dem Grenzwert ermittelt wurden, können in einem weiteren Schritt Expositions-minderungsmaßnahmen ausgewählt und deren Einfluss auf

die Konzentrationshöhe überprüft werden. Dazu stehen dem Nutzer dieselben Maßnahmen zur Verfügung wie im qualitativen Modul. Die sofortige Abschätzung der nun zu erwartenden Gefahrstoffkonzentration ermöglicht z. B. einen direkten Vergleich der neuen Konzentrationswerte mit zuvor überschrittenen Grenzwerten. So kann der Nutzer bei Bedarf die expositionsmindernde Wirkung weiterer Maßnahmen überprüfen. Da es sich bei der Auswahl von Expositionsminderungsmaßnahmen um einen zentralen Punkt der Gefährdungsbeurteilung handelt, wurde die Anwendung dieses Teils bereits umfassend erläutert [3].

### 3.6 Ermittlung eines Schichtmittelwertes

Das quantitative Modul des GESTIS-Stoffmanagers bietet zusätzlich zur Abschätzung der Expositionshöhe die Möglichkeit, einen Schichtmittelwert der Exposition für einen Gefahrstoff abzuschätzen. Das ist insbesondere erforderlich, wenn ein Stoff in verschiedenen Produkten enthalten ist und bei mehreren Tätigkeiten während eines Arbeitstages verwendet wird. Voraussetzung für die Berechnung des Schichtmittelwertes sind vorherige Abschätzungen der inhalativen Exposition zu den einzelnen Tätigkeiten. Nach Auswahl des Inhaltsstoffes und der Angabe der Dauer der einzelnen Tätigkeiten mit diesem Inhaltsstoff wird der Schichtmittelwert als zeitgewichteter Mittelwert der Expositionshöhe über den gesamten Arbeitstag berechnet. Dabei wird von einem achtstündigen Arbeitstag (480 min) ausgegangen. Um festzustellen, ob sichere Arbeitsbedingungen vorliegen, kann der errechnete Schichtmittelwert dann mit dem Grenzwert verglichen werden.

## 4 Beispiele aus der Praxis zur quantitativen Abschätzung mit dem GESTIS-Stoffmanager

Die praktische Anwendung des quantitativen Moduls des GESTIS-Stoffmanagers wird anhand einiger Expositionsszenarien aus dem Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (GISBAU)<sup>3)</sup> demonstriert.

<sup>3)</sup> [www.gisbau.de/service/expo/expo.html](http://www.gisbau.de/service/expo/expo.html)

Tabelle 8. Bewertungsindizes und die daraus berechneten Expositionshöhen von Methylmethacrylat (MMA) bei Beschichtungsarbeiten von Industriefußböden mit MMA-Harzen [10].

	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
ohne technische Lüftung (120 Messwerte)				
Bewertungsindex	0,01	2,07	6,45	9,10
Messwert in mg/m <sup>3</sup>	2,1	434,7	1 354,5	1 911
mit technischer Lüftung (70 Messwerte)				
Bewertungsindex	0,20	1,29	6,59	8,40
Messwert in mg/m <sup>3</sup>	42	270,9	1 383,9	1 764

Tabelle 9. Simulation der Beschichtung mit MMA-haltigem Harz mit und ohne maschinelle Raumlüftung.

Allgemeine Daten	
Expositionsabschätzung	Beschichtung mit MMA-Harz
Ergebnis quantitative Abschätzungen	
Gefahrstoff	Methylmethacrylat
CAS-Nr.	80-62-6
Geschätzte Exposition im ungünstigen Fall in mg/m <sup>3</sup>	<b>392,5/</b> (mit Lüftung) 428,8 (ohne Lüftung)
Grenzwert in mg/m <sup>3</sup>	210, AGW
Dampfdruck Inhaltsstoff in Pa	3 960
Konzentration im Produkt in %	50
Verdünnung des Produkts (Anteil % des Produkts)	25
Betriebliche Situation	
Tätigkeit	Arbeit mit Flüssigkeiten auf großen Flächen oder großen Werkstücken.
Tätigkeit im Atemluftbereich eines Mitarbeiters	JA
Mehrere Arbeiter mit gleicher Tätigkeit	JA
Ausdampfen/Trocknen/Aushärten nach Behandlung	JA
Größe Arbeitsraum	Raumgröße > 1 000 m <sup>3</sup>
Raumlüftung Arbeitsraum	<b>Maschinelle Raumlüftung/</b> Keine Lüftungsmaßnahmen
Expositionsminderungsmaßnahmen	Keine Minderungsmaßnahmen an der Emissionsquelle
Arbeit in einer Kabine	Der Arbeitnehmer arbeitet nicht in einer Kabine.
Persönliche Schutzausrüstung	Kein Schutz

Quantitative Abschätzung der inhalativen arbeitsbedingten Exposition

Methylmethacrylat	mg/m <sup>3</sup>
50 Perzentil	: 43,4
75 Perzentil	: 138,7
90 Perzentil	: 392,5
95 Perzentil	: 735,1

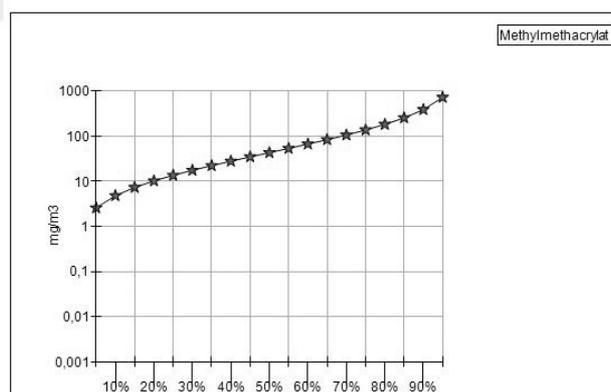


Bild 3. Expositionsverteilung bei der Beschichtung mit MMA-haltigem Harz mit maschineller Raumlüftung.

Quantitative Abschätzung der inhalativen arbeitsbedingten Exposition

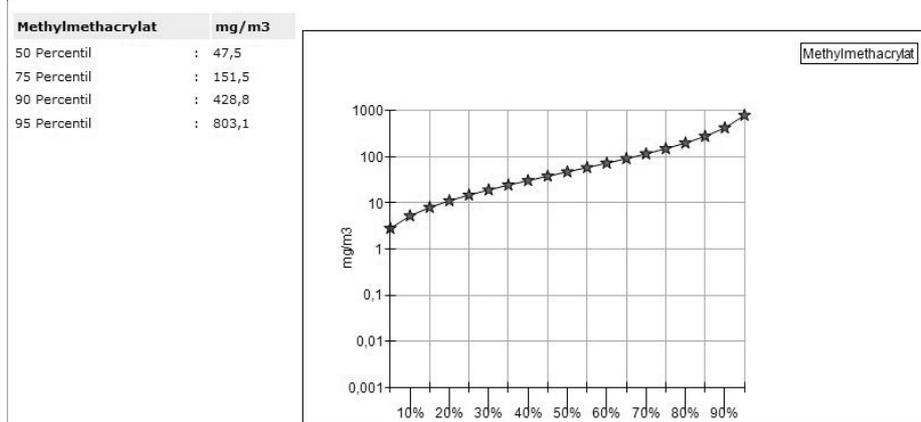


Bild 4. Expositionsverteilung bei der Beschichtung mit MMA-haltigem Harz ohne Lüftung.

Tabelle 10. Simulation der Grundierung mit MMA-haltigem Harz.

Allgemeine Daten	
Expositionsabschätzung	Grundierung mit MMA-Harz
Ergebnis quantitative Abschätzungen	
Gefahrstoff	Methylmethacrylat
CAS-Nr.	80-62-6
Geschätzte Exposition im ungünstigen Fall in mg/m <sup>3</sup>	1 120,6
Grenzwert in mg/m <sup>3</sup>	210, AGW
Dampfdruck Inhaltsstoff in Pa	3 960
Konzentration im Produkt in %	95
Verdünnung des Produkts (Anteil % des Produkts)	95
Betriebliche Situation	
Tätigkeit	Arbeit mit Flüssigkeiten auf großen Flächen oder großen Werkstücken
Tätigkeit im Atemluftbereich eines Mitarbeiters	JA
Mehrere Arbeiter mit gleicher Tätigkeit	NEIN
Ausdampfen/Trocknen/Aushärten nach Behandlung	JA
Größe Arbeitsraum	Raumgröße > 1 000 m <sup>3</sup>
Raumlüftung Arbeitsraum	Maschinelle Raumlüftung
Expositions-minderungsmaßnahmen	Keine Minderungsmaßnahmen an der Emissionsquelle
Arbeit in einer Kabine	Der Arbeitnehmer arbeitet nicht in einer Kabine.
Persönliche Schutzausrüstung	Kein Schutz

4.1 Beschichtungsarbeiten von Industriefußböden mit Methylmethacrylat-Harzen

4.1.1 Expositionsbeschreibung

Aus der Expositionsbeschreibung „Beschichtungsarbeiten von Industriefußböden mit Methylmethacrylat-Harzen“ von GISBAU [10] wurden die in **Tabelle 8** aufgeführten Bewertungsindizes für die Expositionshöhe bei den betrachteten Beschichtungstätigkeiten ermittelt. Zugrunde liegt der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von Methylmethacrylat (MMA) von 210 mg/m<sup>3</sup>. Hieraus konnte die Expositionshöhe berechnet werden.

Ein typischer Beschichtungsvorgang eines Industriebodens besteht aus mehreren Tätigkeiten. Zuerst wird der Boden

mit einer unverdünnten MMA-Harz-Grundierung behandelt. Im Anschluss folgt die eigentliche Beschichtung mit dem mit Füllstoff (Quarzsand oder ähnliches) vermischten MMA-Harz. Im letzten Arbeitsschritt behandelt man die Oberfläche mehrfach mit einer MMA-haltigen Versiegelung. Zwischen diesen Arbeitsschritten ist jeweils eine Aushärtungszeit notwendig.

4.1.2 Simulation „Beschichten mit und ohne Lüftung“

Zuerst wurde eine typische Beschichtungstätigkeit, bei der ein Gemisch aus 25 % MMA-Harz und 75 % Quarzsand mit der Kelle oder Spachtel auf dem Boden verteilt wird, simuliert. Das verwendete Harz enthält MMA in einer Konzentration von 50 %. Die GESTIS-Stoffmanager-Parameter und die Ergebnisse dieser Simulation mit und ohne Lüftung sind in **Tabelle 9** zusammengefasst. Die Expositionsverteilung mit maschineller Raumlüftung ist in **Bild 5** grafisch dargestellt. Ohne Raumlüftung schätzt der GESTIS-Stoffmanager die Expositionsverteilung aus **Bild 4** ab.

Vergleicht man die 95-Perzentile aus der Abschätzung mit den Messwertkollektiven, fällt eine Unterschätzung der MMA-Konzentrationen auf. Allerdings wurden bei den Messungen sämtliche Tätigkeiten bei der Beschichtung von Industriefußböden betrachtet (Grundierung, Beschichtung und Versiegelung). Die Simulation hingegen betrachtet in diesem Fall nur die Beschichtungstätigkeit mit dem durch Quarzsand auf 25 % verdünnten MMA-Harz.

4.1.3 Simulation „Grundierung“

Eine weitere Tätigkeit, die aus der Expositionsbeschreibung hervorgeht, ist das Grundieren des Industriebodens mit einem 95%-MMA-

Harz durch Bestreichen mit einer Walze. Diese Tätigkeit wurde ebenfalls mit dem GESTIS-Stoffmanager simuliert. Aufgrund des geringen Einflusses der Raumlüftung sowohl bei den Messwerten als auch bei der Simulation der Beschichtung (siehe Abschn. 4.1.1 und 4.1.2) wurde nur die Simulation mit maschineller Raumlüftung durchgeführt. Es wurden die Parameter aus **Tabelle 10** im GESTIS-Stoffmanager eingesetzt. Die Simulation ergab die in **Bild 5** dargestellte Expositionsverteilung.

Bei der Grundierungstätigkeit ist der vom GESTIS-Stoffmanager ermittelte 95-Perzentil-Wert höher als die Werte aus dem Messwertkollektiv. Dies lässt sich auf die hohe Konzentration des eingesetzten Produktes zurückführen.

4.1.4 Fazit

Die Simulation der Beschichtungstätigkeiten bildet die gemessenen MMA-Expositionshöhen gut ab. Während das gemessene 95-Perzentil in beiden Fällen – mit und ohne Lüftung – etwa bei 1 350 bis 1 400 mg/m<sup>3</sup> liegt, ermittelt der GESTIS-Stoffmanager Werte von 735 bis 2 100 mg/m<sup>3</sup> abhängig von der betrachteten Tätigkeit. Die simulierten Werte bedeuten wie die ermittelten Messwerte eine deutliche Überschreitung des AGW für MMA. Den geringen Einfluss der

mechanischen Raumlüftung in großen Räumen auf die MMA-Konzentration konnte der GESTIS-Stoffmanager reproduzieren. Vergleicht man die unterschiedlichen Simulationsergebnisse (Abschn. 4.1.2 und 4.1.3), erkennt man deutlich den starken Einfluss der Verdünnung des Produkts auf die Expositionsabschätzung.

4.1.5 Ermittlung des Schichtmittelwertes

Da bei der Beschichtung von Industriefußböden unterschiedliche Tätigkeiten mit verschiedenen MMA-haltigen Produkten vorkommen, kann für die komplette Beschichtungstätigkeit (Abschn. 4.1.1) ein Schichtmittelwert mit dem GESTIS-Stoffmanager ermittelt werden. Ermittelt wird er für die Exposition gegenüber MMA. Dieser Stoff ist in den drei unterschiedlichen MMA-Harz-Produkten vorhanden. Sie werden bei den drei Tätigkeiten verarbeitet, die durch die verschiedenen Expositionsdauern (T<sub>1</sub> bis T<sub>3</sub>) und die unterschiedlichen Expositionshöhen (C<sub>1</sub> bis C<sub>3</sub>) gekennzeichnet sind. Die restliche Zeit der 8-Stunden-Schicht ist der Beschäftigte aufgrund von Aushärtungsphasen nicht gegenüber MMA exponiert. Mithilfe der zuvor durchgeführten Expositionsabschätzungen und der Angaben zur Dauer der Tätigkeiten ermittelt der GESTIS-Stoffmanager den Schichtmittelwert nach der allgemeinen Formel:

$$\text{Schichtmittelwert} = [(T_1 \times C_1) + (T_2 \times C_2) \dots + (T_n \times C_n)] / 480$$

Für die MMA-Exposition während der Beschichtung des Industriefußbodens, die in **Tabelle 11** beschrieben ist, ergibt sich somit:

$$\text{MMA} = [(30 \times 1\,120,6) + (120 \times 392,5) + (60 \times 1\,170,6)] / 480 = 314,5 \text{ mg/m}^3$$

Dieser Schichtmittelwert kann im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung mit dem AGW für MMA verglichen werden. Der ermittelte Schichtmittelwert von 314,5 mg/m<sup>3</sup> zeigt eine Überschreitung des AGW, obwohl das Programm diesen Wert auf der Grundlage der 90-Perzentile der Expositionshöhen berechnet hat und die simulierte Tätigkeit von expositionsfreien Aushärtungsphasen unterbrochen ist.

Quantitative Abschätzung der inhalativen arbeitsbedingten Exposition

Methylmethacrylat	mg/m <sup>3</sup>
50 Perzentil	: 124,1
75 Perzentil	: 396,1
90 Perzentil	: 1120,6
95 Perzentil	: 2098,6

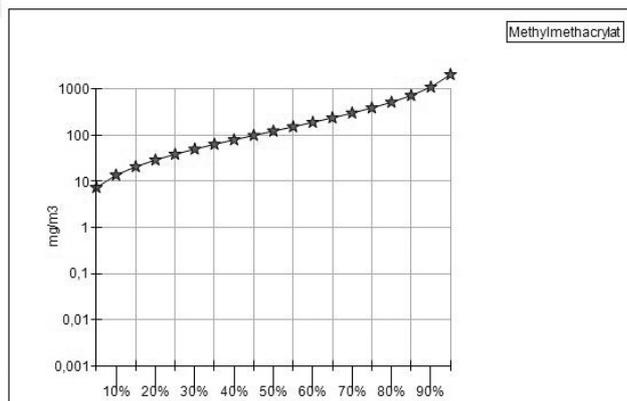


Bild 5. Expositionsverteilung bei der Grundierung mit MMA-haltigem Harz.

Tabelle 11. Daten zur Ermittlung des Schichtmittelwertes gegenüber MMA bei der Beschichtung von Industrieböden.

Inhaltsstoff: Methylmethacrylat			
Expositionsabschätzung	Produkt	Dauer in min	Geschätzte Konzentration ungünstiger Fall in mg/m <sup>3</sup>
Grundierung mit MMA-Harz	MMA-Grundierung	30 (T <sub>1</sub> )	1 120,6 (C <sub>1</sub> )
Beschichtung mit MMA-Harz	MMA-Beschichtung mit Quarzsand	120 (T <sub>2</sub> )	392,5 (C <sub>2</sub> )
Versiegelung mit MMA-Harz	MMA-Versiegelung	60 (T <sub>3</sub> )	1 170,6 (C <sub>3</sub> )

Tabelle 12. Messwerte für die E-Staubbelastung bei Anrührtätigkeiten von staubarmen Trockenmörtel, Fliesenkleber und Spachtelmassen [11].

Anzahl der Messungen	Minimalwert in mg/m <sup>3</sup>	Mittelwert in mg/m <sup>3</sup>	95-Perzentil in mg/m <sup>3</sup>	Maximalwert in mg/m <sup>3</sup>
12	2,50	3,94	4,96	5,20

4.2 Anmischen staubarmer Trockenmörtel

4.2.1 Expositionsbeschreibung

Aus der Expositionsbeschreibung „Anmischen staubarmer Trockenmörtel, Fliesenkleber und Spachtelmassen“ von GISBAU [11] wurden die in **Tabelle 12** genannten Messergebnisse für die E-Staub-Belastung bei der betrachteten Tätigkeit ermittelt.

4.2.2 Simulation „Normaler Mörtel“

Die Exposition wurde zuerst für den normalen Mörtel abgeschätzt. Die zu erwartenden Staubigkeit wurde hierbei mit „Feiner Staub“ angenommen. Verwendete Parameter und Ergebnisse sind in **Tabelle 13** und **Bild 6** zusammengefasst.

4.2.3 Expositions-minderungsmaßnahme „Einführung emissionsarmer Produkte“

Bei der in [11] beschriebenen Tätigkeit handelt es sich um eine Expositions-minderungsmaßnahme im Vergleich zu normalem Mörtel. Um diese Maßnahme mit staubarmem Mörtel zu simulieren, wurde das GESTIS-Stoffmanager-Tool zur Expositions-minderung auf die Expositionsabschätzung „Anmischen von normalem Trockenmörtel“ angewandt. Hierbei wurde als Minderungsmaßnahme „Einführung emissionsarmer Produkte“ mit dem Parameter „Granulat/

Tabelle 13. Simulation des Anmischens von normalem Trockenmörtel.

Allgemeine Daten	
Produkt	Trockenmörtel
Expositionsabschätzung	Anmischen Trockenmörtel
Ergebnis quantitative Abschätzungen	
Gefahrstoff	Einatembare Staubfraktion
Geschätzte Exposition im ungünstigen Fall	21,7 mg/m <sup>3</sup>
Betriebliche Situation	
Staubigkeit des Produkts	Feiner Staub
Tätigkeit	Arbeit mit Produkten in mittelgroßen Mengen oder bei niedriger Geschwindigkeit oder geringer Kraftereinwirkung.
Tätigkeit im Atemluftbereich eines Mitarbeiters	JA
Mehrere Arbeiter mit gleicher Tätigkeit	NEIN
Staubwolke nach Beendigung der Tätigkeit sichtbar	JA
Größe Arbeitsraum	> 1 000 m <sup>3</sup>
Raumlüftung Arbeitsraum	Freie Lüftung (geöffnete Fenster und Türen)
Expositions-minderungsmaßnahmen	Keine Minderungsmaßnahmen an der Emissionsquelle
Arbeit in einer Kabine	Der Arbeitnehmer arbeitet nicht in einer Kabine.
Persönliche Schutzausrüstung	Kein Schutz

Quantitative Abschätzung der inhalativen arbeitsbedingten Exposition

Trockenmörtel	mg/m <sup>3</sup>
50 Perzentil	: 2,4
75 Perzentil	: 7,6
90 Perzentil	: 21,7
95 Perzentil	: 40,8

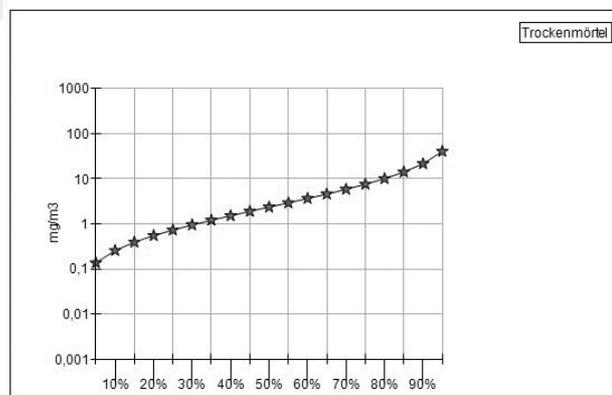


Bild 6. Expositionsverteilung beim Anmischen von normalem Trockenmörtel.

Körner/Flocken“ gewählt. Das abgeschätzte 90-Perzentil für die E-Staub-Konzentration nach Umsetzung dieser Maßnahme liegt bei 4,5 mg/m<sup>3</sup>. Um weitere Perzentile für die Tätigkeit mit dem staubarmen Mörtel zu erhalten (z. B. zum Grenzwertvergleich), kann man im Anschluss an die simulierte Expositions-minderungsmaßnahme eine vollständige Expositionsbeschreibung unter Verwendung des Parameters „Einführung emissionsarmer Produkte“ durchführen.

4.2.4 Fazit

Die Anwendung des Tools „Expositions-minderungsmaßnahmen“ auf die Simulation der Anmisch-tätigkeit eines normalen Trockenmörtels zeigte, dass der GESTIS-Stoffmanager die Reduktion der E-Staub-Belastung wiedergibt, falls der Einsatz eines staubarmen Produkts als Expositions-minderungsmaßnahme simuliert wird. Eine vollständige Simulation der Tätigkeit aus dem Expositionsbericht ergibt ei-

ne leichte Überschätzung der E-Staub-Konzentration im Vergleich zu den Messergebnissen. Während das 95-Perzentil der Messwerte bei ca. 5 mg/m<sup>3</sup> liegt, ergibt eine Expositionsbeschreibung mit dem GESTIS-Stoffmanager einen Wert von 7,9 mg/m<sup>3</sup>. Dies belegt den konservativen Charakter des GESTIS-Stoffmanager-Modells, ohne dass übertrieben

hohe Schadstoffkonzentrationen abgeschätzt werden. Die Angabe eines Herstellers „90 % weniger Staub durch Einsatz des staubarmen Produktes“ konnte allerdings nicht reproduziert werden.

5 Zusammenfassung und Fazit

Das Modul „Quantitative Expositionsabschätzung“ des GESTIS-Stoffmanagers bietet dem Nutzer die Möglichkeit der quantitativen Abschätzung der Expositionshöhen in mg/m<sup>3</sup> für verschiedene Gefahrstoffe. Das zugrundeliegende Stoffmanager-Expositionsmodell wurde hierzu mit verschiedenen Messwertkollektiven korreliert und daraus wurde ein quantitatives Modell entwickelt. Validierungsstudien führten zu einer weiteren Kalibrierung des Modells und zeigten, dass der GESTIS-Stoffmanager eine allgemein gute Expositionsabschätzung liefert und hinreichend konservativ ist. Das quantitative Modul kann zur Beurteilung der Exposition beim Umgang mit staubigen Produkten sowie leicht- und schwerflüchtigen Flüssigkeiten verwendet werden. Für spanende Arbeiten und Tätigkeiten, die mit einer Verdichtung bzw. Zerkleinerung fester Körper verbunden sind, ist dieses Modul für die Stein- und Holzbearbeitung validiert.

Zur Abschätzung der Expositionshöhe muss der Nutzer zuerst die verwendeten Produkte und deren Inhaltsstoffe

definieren. Nach der Beschreibung der Tätigkeit mit dem Gefahrstoff sowie den betrieblichen Arbeits- und Expositionsbedingungen erhält der Nutzer die abgeleitete Expositionshöhe in mg/m<sup>3</sup> für den eingesetzten Gefahrstoff. Dieses Ergebnis kann entsprechend der TRGS 402 [12] für die Gefährdungsbeurteilung mit einem Grenzwert verglichen werden. Bei einer sehr hohen Exposition oder einer Grenzwertüberschreitung können direkt Expositions-minderungsmaßnahmen ausgewählt und deren Einfluss auf die Konzentrationshöhe überprüft werden. Eine weitere Funktionalität des quantitativen Moduls des GESTIS-Stoffmanagers ist die Ermittlung eines Schichtmittelwertes, wenn ein Stoff in verschiedenen Produkten enthalten ist und bei mehreren Tätigkeiten während eines Arbeitstages verwendet wird. Der Schichtmittelwert als zeitgewichteter Mittelwert der Expositionshöhe über den gesamten Arbeitstag kann ebenfalls mit

dem Grenzwert verglichen werden, um festzustellen, ob sichere Arbeitsbedingungen vorliegen.

Anhand zweier Praxisbeispiele wird die Funktionalität des quantitativen Moduls des GESTIS-Stoffmanagers demonstriert. Bei Verwendung geeigneter Parameter zur Beschreibung der Tätigkeit sowie der Arbeits- und Expositionsbedingungen gelingt es, die gemessenen Expositionshöhen aus

Expositionsbeschreibungen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft mit einer leichten Überschätzung zu reproduzieren. Hierbei ist vor allem die korrekte Eingabe der Verdünnung der eingesetzten Produkte sowie eine möglichst präzise Beschreibung der Arbeitssituation sehr wichtig, um verlässliche Ergebnisse mit dem quantitativen Modul des GESTIS-Stoffmanagers zu erhalten.

#### Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010), S. 1643; zul. geänd. BGBl. I (2011), S. 1622.
- [2] *Koppisch, D.; Gabriel, S.*: Der „Stoffenmanager“ – ein Instrument zur Gefährdungsbeurteilung. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 70 (2010) Nr. 9, S. 356-360.
- [3] *Koppisch, D.; Gabriel, S.*: Der GESTIS-Stoffmanager – ein Instrument aus dem IFA bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 72 (2012) Nr. 6, S. 267-273.
- [4] *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.
- [5] *Marquart, H.; Heussen, H.; Le Feber, M.; Noy, D.; Tielemans, E.; Schinkel, J.* et al.: 'Stoffenmanager', a web-based control banding tool using an exposure process model. *Ann. Occup. Hyg.* 52 (2008) Nr. 6, S. 429-441.
- [6] *Tielemans, E.; Noy, D.; Schinkel, J.; Heussen, H.; van der Schaaf, D.; West, J.* et al. Stoffenmanager exposure model: development of a quantitative algorithm. *Ann. Occup. Hyg.* 52 (2008) Nr. 6, S. 443-454.
- [7] *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.
- [8] *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.
- [9] Technische Regel für Gefahrstoffe: Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Gefährdungsbeurteilung. (TRGS 420). *Ausg. 1/2006. BArbBl.* (2006) Nr. 1, S. 38-41; zul. geänd. *GMBL.* (2012) Nr. 12, S. 253-254.
- [10] Expositionsbeschreibung – Beschichtungsarbeiten von Industriefußböden mit Methylmethacrylat-Harzen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Berlin 2012. [www.gisbau.de/service/expo/doku/Methylmethacrylat.pdf](http://www.gisbau.de/service/expo/doku/Methylmethacrylat.pdf)
- [11] Expositionsbeschreibung – Anmischen staubarmer Trockenmörtel, Fliesenkleber und Spachtelmassen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Berlin 2008. [www.gisbau.de/service/sonstiges/staub/produkte/Anm\\_%20starm\\_Tr\\_080611.pdf](http://www.gisbau.de/service/sonstiges/staub/produkte/Anm_%20starm_Tr_080611.pdf)
- [12] Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 402: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). *Ausg. 1/2010. GMBL.* (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. *GMBL.* (2011) Nr. 9, S. 175.