

Neue Herausforderungen an die Ermittlung, Dokumentation und Auswertung von Expositionsdaten zu Gefahrstoffen

S. Gabriel, U. Koch, D. Koppisch, R. Stamm, M. Steinhausen

Zusammenfassung Vor dem Hintergrund erweiterter Nutzungs- und Verwendungsmöglichkeiten von Expositionsdaten z. B. für REACH-Expositionsszenarien oder für Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK), werden Fragen der Ermittlungsqualität, Dokumentation und Auswertung von Expositionsmessungen neu aufgeworfen. Der Beitrag beschreibt, welche neuen Anforderungen Expositionsdaten in Abhängigkeit von der beabsichtigten Nutzung erfüllen müssen. Da die Messung von Expositionen an Arbeitsplätzen aufwendig und damit kostenintensiv ist, sollte bei der Messung und Dokumentation der Daten von vorneherein versucht werden, die vielfältigen potenziellen Auswertungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Die vorliegende Arbeit definiert anhand der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten Anforderungen sowohl an die Dokumentation als auch an die Auswertung von Daten. Abschließend werden anhand verschiedener Fragestellungen Beispiele für Auswertungen dargestellt.

New challenges concerning the gathering, documentation and evaluation of exposure data for hazardous substances

Abstract The extended scope for the use and application of exposure data, e.g. for REACH exposure scenarios or for PSCs (process- and substance-specific criteria), gives rise to new questions concerning the surveying, documentation and evaluation of exposure data. This article describes which new requirements exposure data have to meet in terms of their intended use. Since the measurement of exposure at the workplace is time-consuming and costly, attempts should be made from the outset during the gathering and documentation of data to take account of the many different possible ways of evaluating them. On the basis of the various possible uses, the present paper defines the requirements relating both to the documentation and to the evaluation of data. Examples of evaluations produced for different purposes are then presented.

1 Einleitung

Expositionsdaten werden benötigt für Untersuchungen über die Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen, für die Darstellung und Beurteilung der Belastung von Beschäftigten, die arbeitstechnische Begutachtung von Berufskrankheitsfällen und die epidemiologische Forschung, z. B. um Expositionsgrenzwerte abzuleiten. Daher werden Expositionsdaten zur inhalativen Exposition bereits seit Jahrzehnten dokumentiert.

Stefan Gabriel, Ulrike Koch,
Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch,
Dr. rer. nat. Roger Stamm,
Dr. rer. nat. Marco Steinhausen,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Vor diesem Hintergrund hat sich eine Reihe von Publikationen damit befasst, wie Expositionsmessungen dokumentiert werden sollten; im Wesentlichen definieren sie sogenannte Kerninformationen, beschreiben aber auch Voraussetzungen, wie Expositionsdaten aus verschiedenen Quellen verglichen oder gemeinsam ausgewertet werden können [1 bis 6].

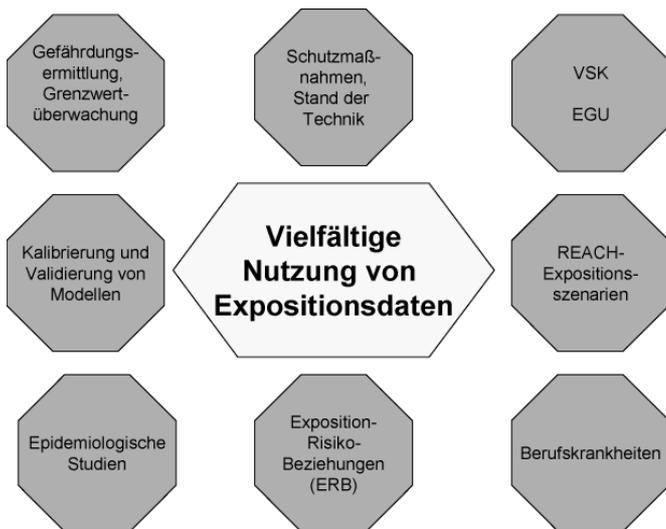
Durch die europäische REACH-Verordnung erfahren dokumentierte Expositionsmessungen eine Bestätigung ihres hohen Stellenwertes für die Beurteilung der Belastung von Arbeitnehmern, vor allem aber für die Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit Chemikalien („sichere Verwendung“): „*Stehen auf geeignete Weise gewonnene, repräsentative Expositionsdaten zur Verfügung, so ist ihnen bei der Ermittlung der Exposition besondere Beachtung zu schenken*“ (Anhang 1 der REACH-Verordnung). Außerdem werden valide Expositionsdaten für Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) gemäß Gefahrstoffverordnung, für Empfehlungen der Unfallversicherungsträger zur Gefährdungsermittlung (EGU) oder für die Kalibrierung und Validierung von Modellen zur Abschätzung der Expositionshöhe benötigt. Diese Entwicklungen sind Anlass, Fragen an die Ermittlungsqualität, Dokumentation und Auswertung von Expositionsdaten für eine gezielte Nutzung neu aufzuwerfen und zielgerichtete Anforderungen zu definieren.

2 Vielfältige Nutzung von Expositionsdaten

Eine valide Messung von Gefahrstoffexpositionen ist mit einem hohen zeitlichen, apparativen und finanziellen Aufwand verbunden. Diesem stehen vielfältige Nutzungsmöglichkeiten gegenüber (**Bild**):

- die Gefährdungsermittlung für die Überwachung bzw. Einhaltung von Grenzwerten in Betrieben,
- die Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen im Betrieb,
- die Ableitung von wirksamen Maßnahmen zur Expositionsminimierung (Bestimmung des Standes der Technik),
- die Einbeziehung bei der Ableitung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zur Bewertung von Risiken durch Gefahrstoffe und Aufstellung von Grenzwerten mit epidemiologischen Methoden,
- die arbeitstechnische Begutachtung von angezeigten Berufskrankheitsfällen sowie
- die Kalibrierung und Validierung von Modellen zur Abschätzung der Expositionshöhe.

Strukturierte Expositionsbeschreibungen, die die betriebliche Praxis bei der sicheren Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten unterstützen, werden benötigt für „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien“ (VSK), die der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) beim Bundesministerium für Arbeit und



Expositionsdaten im Zentrum, die Nutzungsmöglichkeiten rund herum angeordnet.

Soziales veröffentlicht und für „Empfehlungen der Unfallversicherungsträger zur Gefährdungsermittlung“ (EGU). Erfahrungen mit der Ermittlung und Nutzung von Expositionsdaten liegen in Unternehmen, die über innerbetriebliche Messstellen verfügen, bei außerbetrieblichen Messstellen und vor allem bei Institutionen vor, die aufgrund ihrer Aufgabenstellung Expositionsdaten ermitteln und dokumentieren. Hierzu gehören in Deutschland auch die Unfallversicherungsträger, deren Messungen im Rahmen des „Messsystems Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU)“ im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in der Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert und ausgewertet werden [7]. Ebenso zu nennen sind Arbeitsschutzbehörden der Länder, deren „Expositionsdatenbank der Länder“ bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) geführt wird. Vergleichbare Institutionen in anderen europäischen und außereuropäischen Staaten verfügen ebenso über Erfahrungen beim Ermitteln und Dokumentieren von Expositionsdaten wie z. B. das französische Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) mit der Datenbank COLCHIC [8], das britische Health and Safety Laboratory (HSL) mit der NEDB-Datenbank oder die USA mit der OSHA-Datenbank.

3 Anforderungen an Expositionsdaten – ein Literaturüberblick

Bei der Erfüllung der o. g. Aufgaben und aus den Erfahrungen der Betreiber institutioneller Datenbanken ist eine Reihe von Veröffentlichungen entstanden, die sich mit grundsätzlichen Fragen zur Ermittlung, Dokumentation und Auswertung von Expositionsdaten befassen. Die Anforderungen an die Dokumentation und Auswertung von Messdaten für die Ableitung Technischer Richtkonzentrationen (TRK, ehemalige Grenzwerte in Deutschland für krebserzeugende Gefahrstoffe) durch den AGS wurde 1991 dokumentiert [9]. Coenen [10] legte das Zusammenwirken von Expositionsermittlung und Expositionsbegrenzung durch Schutzmaßnahmen auf betrieblicher Ebene dar. Mit überbetrieblich dokumentierten repräsentativen und statistisch ausgewerteten Messungen können weitere betriebliche

Messungen in denselben Branchen vermieden und alle übrigen Betriebe zu Eignung und Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen beraten werden.

Vor dem Hintergrund unterschiedlicher nationaler Arbeitsplatzgrenzwerte und dem Bemühen, vermehrt europäische Grenzwerte zu definieren, erarbeiteten Rajan et al. [6] Empfehlungen dafür, welche „Kerninformationen“ dokumentiert werden müssen, um Expositionsdaten aus unterschiedlichen Quellen vergleichbar machen zu können. Um die Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen, wird eine einheitliche Codierung der wichtigsten „Expositions determinanten“ empfohlen. Dazu gehören vor allem Branche, Tätigkeit und Arbeitsprozess.

Eine Publikation von Tielemans et al. [11] gibt allgemeine Hinweise zur Qualitätssicherung bei der Expositionsdatenermittlung und Dokumentation, die über einen Entscheidungsbaum dargestellt werden. Kriterien, die diskutiert werden, sind die Verfügbarkeit von Expositionsdaten, Aspekte der Präzision und Variabilität, wobei die Variabilität in interne und externe differenziert dargestellt wird. Das Ergebnis der Qualitätsanalyse mündet in die Aussagen „Expositionsdaten enthalten ausreichend Informationen“, „Expositionsdaten haben Lücken und müssen ergänzt werden“ und „Expositionsdaten werden für eine Expositionsbewertung ausgeschlossen“.

In dem Buch „Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen“ befasst sich Eickmann [12] mit den Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen. Er gibt einen Überblick über Gefahrstoffeigenschaften, über Eigenschaften chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen sowie über Methoden zur Ermittlung und Bewertung inhalativer Expositionen. Ein Schwerpunkt des Buches liegt in der Beschreibung nicht messtechnischer Methoden (expert judgement, Auswertung von Literaturdaten, Auswertung von Datenbanken und Modelle). Gleichzeitig werden Instrumente zur Durchführung eigener Expositionsermittlungen dargestellt und typische Ermittlungsprobleme aus der Praxis diskutiert.

Ein Beitrag aus dem IFA [7] gibt einen Überblick über das Messsystem der Unfallversicherungsträger (MGU) und beschreibt Methoden und Umfang der Expositionsdatenermittlung sowie die dabei eingesetzten Qualitätssicherungsmaßnahmen. Betont wird die Verwendung von Schlüsselverzeichnis zur Beschreibung der Branchen, Tätigkeiten und Arbeitsbereiche.

4 Neue Anforderungen an Expositionsdaten

4.1 Expositionsdaten für Expositionsbeschreibungen unter REACH

Im REACH-Leitfaden „Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R.14, Occupational exposure estimation“ [13] sind Kriterien dafür formuliert, welche Expositionsdaten genutzt werden können und wie sie selektiert und ausgewertet werden sollen.

Als mögliche Quellen werden genannt: Datenbanken von Unternehmen, Institutionen oder Forschungseinrichtungen, öffentlich zugängliche Ergebnisse von Surveys sowie von Industrieverbänden gesammelte Daten. Im Prinzip ist keine Quelle ausgeschlossen. Es wird aber hervorgehoben, dass die Messungen die genaue oder eine vergleichbare Expositionssituation repräsentieren müssen wie die Expositionsszenarios, die für die Registrierung des Stoffes relevant sind. Betont wird auch, dass zusammen mit den Daten für

Tabelle 1. Anforderungen an Expositionsdaten.

Anforderung	REACH	TRGS 420 (VSK)	BGI 790-001 (EGU)
Repräsentativität der Messungen			
Expositionsdaten müssen das gesamte Spektrum der möglichen Expositionsbedingungen umfassen, z. B. unterschiedliche Schichten, ungünstige Bedingungen, Wartungsarbeiten.		x	x
In der Regel müssen Expositionsdaten zu mindestens 24 repräsentativen Arbeitsplatzmessungen aus mehreren Betrieben mit je drei Schichtmittelwerten pro Betrieb vorliegen. Sind alle Messergebnisse kleiner als die Hälfte des AGW, reichen Expositionsdaten zu zwölf Arbeitsplatzbewertungen aus mehreren Betrieben aus.		x	x
Die Daten müssen personenbezogene Expositionsinformationen liefern, können aber sowohl aus personengetragenen als auch aus stationären Messungen stammen. Der Anlass der Messung muss dokumentiert sein. Die Daten müssen die Arbeitsprozesse und Tätigkeiten abdecken, die relevant für das Expositionsszenario sind. Nach Möglichkeit sind aktuelle Daten zu verwenden. Das Jahr der Messung sollte genannt werden. Es muss dargestellt werden, ob die Daten die Verhältnisse in einem Unternehmen oder einem ganzen Industriezweig repräsentieren.	x		
Für die Expositionsbeschreibung einer Tätigkeit bzw. eines Arbeitsprozesses in einem Betrieb müssen mindestens sechs Messungen vorliegen oder mindestens zwölf für einen gesamten Industriezweig. Je größer die GSD (geometrische Standardabweichung), desto mehr Daten sind erforderlich.	x		
Besondere Anforderungen für den Vergleich mit einem Derived no effect level (DNEL): Die Differenz zwischen DNEL und abgeschätzter Expositionshöhe ist zu beachten. Es muss sichergestellt sein, dass auch im „Worst case“-Fall der DNEL nicht überschritten wird. Hierzu wird die „Risk-Characterisation-Ratio“ (RCR) gebildet, ein Quotient aus statistisch ermitteltem Expositionswert und DNEL: Je kleiner die RCR (also je weiter der Expositionswert unter dem DNEL liegt), desto weniger Daten sind zur statistischen Absicherung erforderlich. Für eine RCR von < 0,1 und eine GSD < 2 sind sechs bis zwölf Messungen ausreichend, für eine RCR > 0,5 und eine GSD > 3,5 sind mehr als 50 Messungen zur Absicherung nötig, s. [13], Tabelle R.14-2 im o. g. Leitfaden.	x		
Messverfahren			
Müssen die Anforderungen der TRGS 402 erfüllen.		x	x
Messungen müssen gemäß europäischer Standards (EN 482, EN 689) durchgeführt worden sein.	x		
Daten zur Qualität und Qualitätssicherung der Messung und der Analyse müssen vorliegen.	x		
Auswertung/Verwendung der Daten			
Das 95. Perzentil der Messwerteverteilung wird zur Beurteilung herangezogen.		x	x
Das 75. Perzentil soll zur Beurteilung der Einhaltung eines DNEL herangezogen werden.	x		
Besondere Regeln gelten bei Tätigkeiten mit verkürzter Exposition.		x	x
Die Messberichte sollen den Akkreditierungsrichtlinien der Länder genügen, insbesondere spezifische Informationen über die Arbeits- und Produktionsbedingungen einschließlich der Anlagenkapazität und der Anlagenauslastung enthalten.			x

das Arbeitsverfahren spezifische Prozessdaten dokumentiert sein müssen („Kerninformationen“).

4.2 Expositionsdaten für VSK

Kriterien für Expositionsdaten zur Aufstellung von VSK sind in der TRGS 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien für die Gefährdungsbeurteilung“ festgelegt. Bei Anwendung einer VSK, d. h. der in ihr beschriebenen Schutzmaßnahmen, kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass Arbeitsplatz-

grenzwerte (AGW) eingehalten sind. Deshalb muss bei der Aufstellung einer VSK sichergestellt werden, dass die mit den Maßnahmen verbundenen Expositionen die relevanten AGW sicher unterschreiten.

4.3 Expositionsdaten für EGU

Kriterien für EGU sind in der BGI 790-001 „BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung, Allgemeiner Teil“ festgelegt. Die Anfor-

Tabelle 2. Anforderungen an die Ermittlung und Dokumentation in Abhängigkeit von der beabsichtigten Nutzung der Daten.

	Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhalung	Schutzmaßnahmen, Stand der Technik	VSK, EGU	REACH-Expositions- szenarien	Berufskrankheiten	ERB	Epidemiologische Studien	Kalibrierung und Validierung von Modellen
	A	B	C	D	E	F	G	H
Betrieb								
Name, Adresse	x				(x)			
Art des Betriebes, Gewerbebereich, Branche (z. B. Fahrzeugwaschanlage, E-Stahlwerk)	x	x	x	x	x	x	x	
Arbeitsplatz								
Arbeitsbereich, -verfahren (z. B. Steuerstand, manuelle Reinigung, Umfüllen, Schweißen)	x	x	x	x	x	x	x	x
Anzahl Exponierter	x							
Emissionsquelle (Art, Entfernung)	x	x	x		x			x
Arbeitsgerät, Maschine, Produktionsanlage	x	x	x	x	x			x
Technische Maßnahmen								
Technische Schutzmaßnahmen	x	x	x	x	x		x	x
Organisatorische Schutzmaßnahmen	x	x	x	x	x		x	x
Persönliche Schutzmaßnahmen	x	x	x	x	x		x	x
Raumgröße	x	x	x	x				x
Umgebungstemperatur		x						x
Luftfeuchte		x						
Einsatzprodukte								
Name, Art, relevante Bestandteile (ggf. Gehalte)	x	x	x	x	x			x
Einsatzmenge, Durchsatzmenge pro Zeiteinheit	x	x	x	x	x			x
Staubungsverhalten, Dampfdruck								x
Beschäftigter, Tätigkeit								
Name					(x)			
Alter, Geschlecht					x		x	
Ausgeübter Beruf, Arbeitsaufgabe	x	x	x	x	x	x	x	x
Kontinuierliche/nicht kontinuierliche Tätigkeit	x	x	x	x	x	x	x	x
Dauer/Häufigkeit pro Schicht	x	x	x	x	x	x	x	x
Berufsbezeichnung (z. B. Schlosser, Softwareentwickler)						x	x	
Gemessener Gefahrstoff								
Name, Indexnummer (z. B. CAS-Nr.)	x	x	x	x	x	x	x	x
Messung								
Datum	x	x	x	x	x		x	x
Art der Messung (personengetragen, stationär)	x	x	x	x	x	x	x	x
Probenahmeverfahren (System, Medium)	x	x	x	x	x	x	x	
Analysenverfahren, Analyseninstitut	x	x	x	x	x	x	x	
Messstrategie, Grund der Messung								
Inhalative Exposition	x	x	x	x	x	x	x	x
Anlass der Messung (Expositionsmessung, Emission, repräsentativ, worst-case)	x	x	x	x	x	x	x	x
Schicht-, Kurzzeitmessung	x	x	x	x	x	x	x	x
Messergebnis	x	x	x	x	x	x	x	x
Beurteilungswert (Wert, Art des Wertes (AGW, DNEL...))	x	x	x	x				

derungen gemäß REACH-Leitfaden, TRGS 420 und BGI 790-001 sind in **Tabelle 1** synoptisch dargestellt. Die Kriterien für EGU sind weitgehend identisch mit denen für VSK. Im Vergleich mit den Vorgaben des REACH-Leitfadens sind die statistischen Kriterien weniger differenziert, sind aber

qualitativ vergleichbar. Im REACH-Leitfaden wird das 75. Perzentil zur Beurteilung der Einhaltung eines DNEL vorgeschlagen. VSK und EGU legen sich auf das 95. Perzentil fest und schließen damit „Worst-case“-Bedingungen ein.

Tabelle 3. Anforderungen an die Auswertung in Bezug auf die Datenstruktur (x = Daten sind erforderlich).

	Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhaltung	Schutzmaßnahmen, Stand der Technik	VSK, EGU	REACH-Expositions- szenarien	Berufskrankheiten	ERB	Epidemiologische Studien	Kalibrierung und Validierung von Modellen
	A	B	C	D	E	F	G	H
Gefahrstoff	x	x	x	x	x	x	x	x
Branche, Gewerbebereich		x	x	x	x	x	x	x
Arbeitsbereich	x	x	x	x	x	x	x	x
Tätigkeiten					x	x	x	x
Beruf					x	x	x	
Jahr der Messung(en)		x	x	x	x	x	x	(x)
Schutzmaßnahmen								
mit/ohne technische Lüftung	x	x	x	x	x			x
mit/ohne Erfassung	x	x	x	x	x			x
weitere Schutzmaßnahmen	x	x	x	x	x			x
Weitere Angaben zum Arbeitsprozess und zu den Einsatzprodukten (z. B. Staubigkeit und Menge des verarbeiteten Produktes)	x	x	x	x	x			x

4.4 Expositionsdaten zur Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)

Für die Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) finden sich in der Bekanntmachung 910 „Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ lediglich Auswahlkriterien für geeignete epidemiologische Studien, unter denen solche mit quantitativen Expositionsdaten zu bevorzugen sind.

Bei epidemiologischen Studien muss mit der Datenqualität gearbeitet werden, die jeweils verfügbar ist. Für das Zusammenführen ist es jedoch in der Regel erforderlich, die Arbeitsprozesse und Tätigkeiten und ggf. weitere Expositions-determinanten einheitlich zu codieren bzw. zu recodieren, um die Daten zu einer „Job-Exposure-Matrix“ (JEM) zusammenführen zu können.

5 Nutzungskategorien und Datenstrukturen

Die Verwendung von Expositionsdaten hat sich in den letzten Jahren erweitert. Im Zuge dieser Erweiterung liegen Leitfäden vor, die für die bestimmte Verwendung jeweils spezifische Anforderungen formulieren. Da Expositionsdaten häufig nicht nur für einen Nutzungszweck gewonnen werden, sollte man bei der Messung und Dokumentation der Daten von vorneherein versuchen, alle potenziellen Anforderungen an die Dokumentation der Daten zu berücksichtigen. Eine Expositionsdatenermittlung muss multifunktional sein. Angesichts der Kosten für Messung und Analyse ist der Aufwand für die Erhebung und Dokumentation möglichst aller relevanten „Expositionsdeterminanten“ in jedem Fall gerechtfertigt. Um die Vergleichbarkeit oder auch das Zusammenführen von Daten zu erleichtern, ist eine einheitliche Codierung v. a. von Branchen, Tätigkeiten und Arbeitsbereichen zu empfehlen [7].

Den bisher weitestgehenden Vorschlag für einen Dokumentationsstandard für Expositionsdaten legten *Rajan et al.* [6]

vor. Dieser Vorschlag erfüllt auch heute noch alle wesentlichen Anforderungen. Die neuen Anwendungsgebiete REACH, VSK, EGU und ERB erweitern und verfeinern vor allem die Anforderungen an die Auswertungen. Deshalb sollen hier für die verschiedenen Anwendungsbereiche die spezifischen Dokumentations- und Auswerteanforderungen dargestellt werden, um Identifikation geeigneter Datenbestände zu erleichtern und den Datenbankhaltern zu ermöglichen, ggf. notwendige Erweiterungen ihrer Dokumentationen zu prüfen. Zu diesem Zweck werden hier folgende Nutzungskategorien für Expositionsdaten unterschieden:

- A. Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhaltung
- B. Schutzmaßnahmen, Stand der Technik
- C. VSK, EGU
- D. REACH-Expositionsszenarien
- E. Berufskrankheiten
- F. Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)
- G. Zusammengeführte epidemiologische Studien
- H. Kalibrierung und Validierung von Modellen

Tabelle 2 zeigt die für diese Nutzungsbereiche spezifischen Anforderungen an die Dokumentation der Expositionsdaten, die **Tabellen 3** und **4** die Anforderungen an die Auswertung.

5.1 Kerninformationen von Expositionsdatenbanken

In Tabelle 2 sind die typischen Datenkategorien mit den jeweils wichtigsten Informationseinheiten aufgeführt. Die tatsächlichen Datenstrukturen von Expositionsdatenbanken sind noch wesentlich differenzierter und komplexer.

5.1.1 A – Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhaltung

Für eine Gefährdungsermittlung bzw. die Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten werden detaillierte Angaben zu den betrieblichen Bedingungen und zur Tätigkeit der/s Beschäftigten benötigt. In der Regel wird ein Messbericht erstellt, aus dem das Unternehmen erkennen muss, welcher Handlungsbedarf ggf. besteht.

Tabelle 4. Ausgabeparameter der Auswertung.

	Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhalten	Schutzmaßnahmen, Stand der Technik	VSK, EGU	REACH-Expositions- szenarien	Berufskrankheiten	Expositions-Risiko- Beziehung (ERB)	Epidemiologische Studien	Kalibrierung und Validierung von Modellen
	A	B	C	D	E	F	G	H
Anzahl Messwerte		x	x	x		x		x
Einzelmessergebnisse	x	x			x	x	x	x
Statistische Größen								
Median		x		x		x		
90-%-Wert		x		x	x	x		
95-%-Wert		x	x	x	x	x		
Mittelwert, Standardabweichung						x	x	x
Anzahl Betriebe		x	x	x		x		

5.1.2 B – Schutzmaßnahmen, Stand der Technik

Messungen zur Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen sind ein Spezialfall betrieblicher Untersuchungen, typischerweise nachdem Maßnahmen zur Minderung der Exposition realisiert wurden. Deshalb spielen hier die betrieblichen Randbedingungen für die Exposition eine besondere Rolle, dazu gehören sowohl die verschiedenen Arten technischer Maßnahmen als auch die klimatischen Verhältnisse.

5.1.3 C – VSK, EGU

Expositionsbeschreibungen in VSK oder EGU sollen den Betrieben helfen, Arbeitsprozesse so zu gestalten, dass AGW sicher eingehalten werden und somit keine Messungen erforderlich sind. EGU geben auch Hinweise, wenn Grenzwerte überschritten werden. Expositionsdaten, die für die Aufstellung von VSK und EGU herangezogen werden, müssen demnach detaillierte Angaben zu den Arbeitsprozessen, Einsatzprodukten und Schutzmaßnahmen enthalten.

5.1.4 D – REACH-Expositionsszenarien

Werden für die Erarbeitung von Expositionsszenarien in Zusammenhang mit REACH Daten benötigt, geht es um den Nachweis einer „sicheren Verwendung“. Maßstab dafür ist die Einhaltung der relevanten DNEL-Werte. Die Dokumentation der Expositionsdaten muss es ermöglichen, die Qualität der Messung und der Analysenverfahren mit Bezug auf das Niveau des DNEL-Wertes zu beurteilen. Ferner benötigt man bestimmte Angaben zum Arbeitsprozess, die eine Skalierung des Expositionsszenarios durch Modellrechnungen erlauben: Dazu gehören Angaben zur Durchsatzmenge von Einsatzprodukten sowie Raumgrößen. Die Quantifizierung der Wirksamkeit z. T. unterschiedlicher technischer Schutzmaßnahmen ist ebenfalls von großer Bedeutung. Deshalb werden detaillierte und umfassende Angaben zu den Expositions-determinanten benötigt.

5.1.5 E – Berufskrankheiten

Expositionsdaten, die herangezogen werden, um die arbeitstechnischen Voraussetzungen von angezeigten Fällen von Berufskrankheiten zu prüfen, müssen vor allem Infor-

mationen zum Arbeitsverfahren und zur Tätigkeit sowie zu Einsatzprodukten enthalten. Im besten Fall bzw. bei innerbetrieblichen Dokumentationen können Expositionsdaten herangezogen werden, die dem Beschäftigten und dem Betriebsteil, in dem er tätig war, direkt zugeordnet werden können.

5.1.6 F – Exposition-Risiko-Beziehungen

Für die Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen mit epidemiologischen Methoden müssen Expositionsdaten Beschäftigtengruppen zugeordnet werden können, die durch ihre Tätigkeit und den Gewerbe-zweig, in dem sie beschäftigt waren, charakterisiert sind.

5.1.7 G – Epidemiologische Studien

Gleiches gilt für das nachträgliche Zusammenführen epidemiologischer Studien, bei denen Originaldaten verschiedener Studien zusammengeführt werden. Hier kommt es auch auf die klare Zuordnung von Expositionsangaben zu Tätigkeiten und Gewerbe-zweigen (Branchen) an, um die Job-Expositions-Matrizen (JEM) zu erstellen. Eine standardisierte Codierung der Tätigkeiten und Gewerbe-zweige ist hierbei notwendig. Gerade weil Daten aus verschiedenen Datenbanken zunehmend zusammengeführt oder verglichen werden, ist die Nutzung gemeinsamer Standards wie NACE oder ISCO zur Codierung der wichtigsten Informationen zu empfehlen. Hierzu gehören vor allem die Gewerbe-zweige, die Arbeitsbereiche/Arbeitsverfahren sowie die Tätigkeiten.

5.1.8 H – Kalibrierung und Validierung von Modellen

Für die Kalibrierung und Validierung von Modellen, wie z. B. der Stoffenmanager [14; 15] werden Expositionsdaten benötigt, die sich durch eine differenzierte Codierung von Tätigkeiten und Arbeitsbereichen auszeichnen. Neben qualitativen Faktoren, die z. B. die Lüftungsverhältnisse oder eine Kapselung beschreiben, werden vermehrt quantitative Angaben zum Einsatz von Produkten, zum Staubungsverhalten und zum Dampfdruck von eingesetzten Stoffen sowie auch Ausmaße des räumlichen Arbeitsumfelds benötigt.

5.2 Anforderungen an die Auswertung von Expositionsdaten

Die Tabellen 3 und 4 bilden die grundlegende fachliche Struktur einer Expositionsdatenbank ab, angelehnt an Rajan et al. [6]. Hier sind wiederum für die o. g. Nutzungskategorien A bis H Anforderungen an die Auswertung der Daten zusammengestellt: Wie müssen bestimmte Informationen berücksichtigt und aufbereitet werden, damit die Expositionsdaten sinnvoll interpretiert werden können und ihre Qualität transparent wird?

5.2.1 A – Gefährdungsermittlung, Grenzwerteinhalten

Bei betrieblichen Messungen im Rahmen der Überwachung werden in der Regel die einzelnen Messergebnisse für Arbeitsbereiche in einem Betrieb mit AGW verglichen. Dokumentiert werden möglichst alle expositionsrelevanten Parameter zu jeder Messung, um ggf. Defizite bei den Schutzmaßnahmen oder sonstige Ursachen für zu hohe Expositionen identifizieren zu können.

5.2.2 B – Schutzmaßnahmen, Stand der Technik

Um die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu überprüfen, kommt es darauf an, ob es sich um eine einzelne betriebliche Maßnahme handelt oder ob typische Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. In letzterem Fall sind statistische Auswertungen entsprechend selektierter Datenkollektive erforderlich, um Aussagen abzusichern und zu verallgemeinern. Auch Einzelmessergebnisse müssen ggf. betrachtet werden können.

5.2.3 C – VSK, EGU

Für Expositionsbeschreibungen für VSK und EGU werden Messungen statistisch ausgewertet nach spezifischen Arbeitsprozessen, Schutzmaßnahmen und unter Berücksichtigung weiterer Prozessparameter sowie Einsatzprodukte und ihrer Mengen. Bei VSK und EGU wird für die Charakterisierung der Exposition das 95. Perzentil der Verteilung herangezogen, um auch bei „Worst-case“-Bedingungen die Einhaltung des erforderlichen Schutzniveaus zu gewährleisten.

5.2.4 D – REACH-Expositionsszenarien

Für REACH-Expositionsszenarien gibt es zur Charakterisierung von Expositionen kaum Festlegungen. Über eine Empfehlung zur Mindestanzahl von Messwerten in Anhängigkeit von der Werteverteilung und der Differenz zwischen Messwert und Beurteilungswert (DNEL) wird dieser Aspekt berücksichtigt. Der Leitfaden R14 schlägt vor, das 75. Perzentil einer Messwertverteilung mit dem DNEL zu vergleichen [13]. Dies bedeutet aber, dass in einem Viertel der Fälle der DNEL nicht eingehalten wird.

5.2.5 E – Berufskrankheiten

Bei der retrospektiven Expositionsermittlung für die Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen von Berufskrankheiten werden sowohl statistische Auswertungen (wenn ausreichend Messwerte vorliegen) als auch Einzelmessungen herangezogen. Die Werte werden entsprechend der Arbeitsanamnese (Tätigkeit, Arbeitsverfahren, Zeitraum der Exposition und weitere für die Exposition relevante Parameter) selektiert. Bei der statistischen Zusammenfassung von Werten wird in der Regel das 90. Perzentil zur Beurteilung herangezogen.

5.2.6 F – Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)

Für die Ableitung von ERB im Rahmen epidemiologischer Auswertungen werden vor allem anhand der Klassifizierung von Tätigkeiten und Arbeitsverfahren Messergebnisse selektiert und entweder direkt Personen zugeordnet, ggf. auch zunächst statistisch verdichtet. Hierbei verwendet man verschiedene statistische Kenngrößen.

5.2.7 G – Epidemiologische Studien

Für epidemiologische Studien führt man einzelne Expositionswerte anhand ihrer Klassifizierung nach Zeiträumen, Tätigkeiten, Beruf oder Branche zusammen. Statistische Kenngrößen werden entsprechend ermittelt und als Basis für eine Job-Expositions-Matrix (JEM) verwendet.

5.2.8 H – Kalibrierung und Validierung von Modellen

Zur Kalibrierung und Validierung von Modellen werden die gemessenen Expositionsdaten mit den für die untersuchte Expositionssituation modellierten Werten verglichen. Es werden alle Datenfelder benötigt, die als Eingangsparameter in das Modell einfließen. Typischerweise wird auf der Ebene des einzelnen Messwertes gearbeitet. Um abzuschätzen, ob Modelle hinreichend konservativ sind, kann aber auch das 90. Perzentil von Abschätzungen und Messdaten verglichen werden.

6 Beispiele für Auswertungen von Expositionsdaten

6.1 Validierung von Modellen

Der Stoffenmanager [15; 16] ist ein Softwaretool, das kleinere und mittlere Unternehmen bei der Gefährdungsbeurteilung und bei der quantitativen Expositionsabschätzung unterstützt. Er wurde in den Niederlanden entwickelt und mittels niederländischer Expositionsdaten kalibriert [16]. Daten aus der deutschen Expositionsdatenbank MEGA wurden verwendet, um das Modell zu validieren [14].

Die Validierung erfolgte für die Berechnung der Exposition gegenüber der einatembaren Staubfraktion. Betrachtet wurden Messungen während der spannenden Verarbeitung von Holz und Stein sowie der Verarbeitung staubender oder granulärer Produkte. Von 22 596 Messungen an der Person, die zur einatembaren Fraktion in MEGA dokumentiert sind, stammen 2 957 aus den erwähnten Arbeitsbereichen [14]. Bei 1 523 Messungen konnten alle Modellparameter extrahiert werden [14]. Eine direkte Übernahme der Daten für die Validierung war bei Datenfeldern mit Schlüsselverzeichnis möglich, wie z. B. bei der Branche, dem Arbeitsbereich, technischer Lüftung oder bei der Erfassung von Emissionen an der Emissionsquelle. Schwieriger ist die Übernahme von Informationen aus Freitextfeldern, wie Verarbeitungsmenge oder Staubigkeit der Produkte.

6.2 Expositionsszenarien für REACH

Das IFA wertet zusammen mit den Unfallversicherungsträgern Expositionsdaten aus MEGA für die Erstellung von REACH-Expositionsszenarien aus. Kooperationspartner sind nationale und internationale Institute, Behörden, Verbände oder Konsortien.

Die REACH-Verordnung fordert vom Hersteller bzw. Importeur eines Stoffes, für die Anwendung seines Stoffes unter bestimmten Voraussetzungen Expositionsszenarien zu erstellen und Risikomanagementmaßnahmen festzulegen. Zu den Expositionsdaten gehören Angaben zum Probe-

Tabelle 5. Beispiel einer MEGA-Auswertung: Branchengruppen.

K.Nr. = Kollektiv-Nummer/ Bezeichnung	Anzahl Mess- daten	Anzahl Betriebe	Häufig- keit <-Werte Anzahl %	Anzahl UVT	größte Bestim- mungs- grenze in mg/m ³	≤ GW % \$	Konzentrationen in mg/m ³		
							50-%- Wert *	90-%- Wert *	95-%- Wert *
Branche									
K.Nr. 667 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Gesamt	510	248	214 42	20	1,4	98,8	+ 0,2	5	12
K.Nr. 676 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Chemische Industrie und Mineralölverarbeitung	41	15	15 36,6	3	0,7	100	+ 0,425	11,23	13,545
K.Nr. 677 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Kunststoff und Kunststoffschaum, Verarbeitung, Herstellung und Gummiwaren	101	53	38 37,6	12	0,4	100	+ 0,3	3	4,795
K.Nr. 782 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Maler, Autolackierer	14	7	6 42,9	6	0,4	100	+ 0,2	0,62	2,14

+: Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze im Datenkollektiv.

\$: Unter Heranziehung des vorgegebenen Grenzwertes GW ist der Prozentsatz der Werte unterhalb des GW angegeben.

*: Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens sind bei der Auswertung mit der halben a. B. berücksichtigt.

UVT: Unfallversicherungsträger

Tabelle 6. Beispiel einer MEGA-Auswertung: Arbeitsbereichsgruppen.

K.Nr. = Kollektiv-Nummer/ Bezeichnung	Anzahl Mess- daten	Anzahl Betriebe	Häufig- keit <-Werte Anzahl %	Anzahl UVT	größte Bestim- mungs- grenze in mg/m ³	≤ GW % \$	Konzentrationen in mg/m ³		
							50-%- Wert *	90-%- Wert *	95-%- Wert *
Arbeitsbereich									
K.Nr. 706 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Mischen, Pressen (Verdichten)	30	16	15 50	5	0,6	100	+ 0,2	3	4,75
K.Nr. 708 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Bearbeiten, Verarbeiten, Schleifen, Entfernen	37	14	16 43,2	11	0,4	94,6	+ 0,2	29,6	71,15
K.Nr. 709 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Oberflächenbeschichtung, Lackieren, Auftragen	151	86	58 38,4	12	0,8	100	+ 0,3	3	5,18
K.Nr. 710 N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) Reinigen	53	26	6 11,3	9	0,4	94,3	1,05	14,25	49,9

+: Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze im Datenkollektiv.

\$: Unter Heranziehung des vorgegebenen Grenzwertes GW ist der Prozentsatz der Werte unterhalb des GW angegeben.

*: Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) des jeweiligen Messverfahrens sind bei der Auswertung mit der halben a. B. berücksichtigt.

UVT: Unfallversicherungsträger

nahme- und Analysenverfahren. Es werden ausschließlich Messwerte selektiert, die in einem bestimmten Datenzeitraum mit Expositionsbezug und definierter Probenahme- und Expositionsdauer ermittelt wurden. Kollektive aus weniger als zehn Messdaten werden nicht ausgewertet.

Die Tabellen 5 und 6 zeigen exemplarische MEGA-Auswertungen am Beispiel N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) mit Expositionsdaten aus dem Datenzeitraum von 2000 bis 2010 bei einer Probenahmedauer von ≥ 1 h und einer Expositionsdauer von ≥ 6 h.

Die vollständigen Auswertungen sind im Internet unter der Adresse www.dguv.de/ifa, Webcode: d117687 zu finden.

6.3 Ableitung von Exposition-Risiko-Bezeichnungen (ERB)

Für krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe (KMR-Stoffe) wurden vor 2005 meist höchstzulässige Expositionskonzentrationen nach dem TRK-Konzept (TRK: Technische Richtkonzentrationen) festgesetzt, da es im Regelfall nicht möglich ist, für diese Stoffe einen arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Schwellenwert abzuleiten, der als

Basis für einen AGW dienen könnte. Seit der Novellierung der Gefahrstoffverordnung im Jahr 2005 sind jedoch nur noch gesundheitsbasierte AGW zulässig. In diesen Fällen soll eine Bewertung der Expositionen mithilfe des Risikoakzeptanzkonzept des AGS erfolgen, in dem ERB abgeleitet und Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen aufgestellt werden.

Vor diesem Hintergrund veröffentlicht das IFA eine Reihe statistischer Auswertungen der Expositionsdaten von KMR-Stoffen [17]. Dabei sind nur Messwerte von Schichtmittelwerten mit einer Probenahmedauer von ≥ 1 h und einer Expositionsdauer von ≥ 6 h berücksichtigt (für Cadmium: 6 715 Messwerte, Datenzeitraum von 1975 bis 2010). Eine retrospektive Betrachtung zeigte eine erhebliche Verringerung der Exposition gegenüber Cadmium anhand statistischer Kenngrößen (arithmetische und geometrische Mittelwerte, 75., 90. und 95. Perzentil) in unterschiedlichen Branchen und Arbeitsbereichsgruppen. Es wurden aber auch Arbeitsbereiche identifiziert, an denen das Arbeitsschutzniveau noch erhöht werden muss.

7 Fazit

Expositionsdaten werden vielfältig genutzt. Die von *Rajan et al.* [6] empfohlenen „Kern-Informationen“ haben sich in der Vergangenheit bewährt und erfüllen im Wesentlichen die Anforderungen für alle hier aufgezeigten Verwendungszwecke.

Angesichts der Kosten für Messung und Analyse ist der Aufwand für die Erhebung und Dokumentation möglichst aller relevanten Expositions determinanten in jedem Fall gerechtfertigt. Um die Vergleichbarkeit oder auch das Zusammenführen von Daten zu erleichtern, ist eine einheitliche Codierung insbesondere von Branchen, Tätigkeiten und Arbeitsbereichen zu empfehlen.

In Erweiterung der „Kern-Informationen“ [6] sollten für die Zukunft multifunktionale Datenstrukturen definiert werden, damit Expositionsdaten universell entsprechend einer beabsichtigten Nutzung Antworten geben können. Weder vom Umfang der zu ermittelten Faktoren noch von den Berechnungsmöglichkeiten statistischer Parameter sollten die Anforderungen an Expositionsdaten zu eng bemessen sein.

Literatur

- [1] *Vinzens, P.; Carton, B.; Fjeldstad, P.; Rajan, B.; Stamm, R.*: Exposure registers in Europe. Hrsg.: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin, Irland 1994.
- [2] *Carton, B.; Fjeldstad, P.; Rajan, B.; Stamm, R.; Stückrath, M.*: Comparison of exposure measurements stored in European databases on occupational air pollutants and definitions of core information. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 10 (1995) Nr. 4, S. 351-354.
- [3] *Carton, B.; Fjeldstad, R.; Rajan, B.; Stamm, R.; Stückrath, M.; Vinzens, P.*: Expositionsdatenbanken in Europa: Vergleichsmöglichkeiten von Meßergebnissen zu Gefahrstoffen am Arbeitsplatz. *Staub – Reinhalt. Luft* 55 (1995) Nr. 5, S. 195-197.
- [4] *Creek, K.; Schinkel, J.*: Workshop on key data needs for an occupational exposure database, session II. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 10 (1995) Nr. 4, S. 408-410.
- [5] *Lippmann, M.; Gomez, M. R.; Rawls, G. M.*: ACGIH-AIHA Task Group: Data elements for occupational exposure databases: Guidelines and recommendations for airborne hazards and noise. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 11 (1996) Nr. 11, S. 1294-1311.
- [6] *Rajan, B.; Alesbury, R.; Carton, B.; Gerin, M.; Litske, H.; Marquardt, H.; Olsen, E.; Scheffers, T.; Stamm, R.; Woldbaek, T.*: European proposal for core information for the storage and exchange of workplace exposure measurements on chemical agents. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12 (1997) Nr. 1, S. 31-39.
- [7] *Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.*: The MGU – a monitoring system for the collection and documentation of valid workplace exposure data. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 70 (2010) Nr. 1/2, S. 43-49.
- [8] *Vincent, R.; Jeandel, B.*: COLCHIC – Occupational exposure to chemical agents data-base: current contents and development perspectives. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 16 (2001) Nr. 2, S. 115-121.
- [9] *Alker, M.; Jochum, C.; Lehmann, E.*: Aufbereitung von Daten für die Festsetzung von Technischen Richtkonzentrationen. *Staub – Reinhalt. Luft* 51 (1991) Nr. 4, S. 117-119.
- [10] *Coenen, W.*: Expositionsermittlung und -begrenzung bei Gefahrstoffen. *Staub – Reinhalt. Luft* 53 (1993) Nr. 5, S. 171-176.
- [11] *Tielemans, E.; Marquardt, H.; De Cock, J.; Groenewold, M.; Van Hemmen, J.*: A proposal for evaluation of exposure data. *Ann. Occup. Hyg.* 46 (2001) Nr. 3, S. 287-297.
- [12] *Eickmann, U.*: Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. Landsberg am Lech: Ecomed 2008.
- [13] *Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.14: Occupational exposure estimation.* Hrsg.: European Chemical Agency, Helsinki, Finnland 2008.
- [14] *Koppisch, D.; Schinkel, J.; Gabriel, S.; Fransman, W.; Tielemans, E.*: Use of the MEGA exposure database for the validation of Stoffenmanager algorithms. *Ann. Occup. Hyg.* (2011) DOI:10.1093/annhyg/mer097
- [15] *Marquardt, 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.
- [16] *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.
- [17] *Steinhausen, M.; Van Gelder, R.; Gabriel, S.*: Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen in Deutschland (Teil 1): Cadmium und seine Verbindungen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 71 (2011) Nr. 1/2, S. 47-56.