

Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen in Deutschland

Teil 1: Cadmium und seine Verbindungen

M. Steinhausen, R. Van Gelder, S. Gabriel

Zusammenfassung Berufliche Expositionen gegenüber Cadmium und Cadmiumverbindungen kommen in verschiedensten Bereichen der Industrie vor, wie z. B. beim Schmelzen und Raffinieren von Zink-, Blei- und Kupfererzen, bei der Herstellung von Batterien, Legierungen, Pigmenten und Stabilisatoren oder beim Schweißen und Löten. Bei exponierten Arbeitnehmern können akute und chronische Krankheiten auftreten. Daher sind Cadmium und Cadmiumverbindungen u. a. als akut toxisch (Kategorie 2) und krebserzeugend (Kategorie 2) oder strenger eingestuft. Die IFA-Expositionsdatenbank MEGA erfasst über 250 000 Datensätze von etwa 100 verschiedenen KMR-Stoffen (Luftproben mit Schichtbezug), 6 715 Datensätze (seit 1975) davon betreffen Cadmium und Cadmiumverbindungen. Eine Auswertung dieser Daten zeigt, dass sich die statistischen Kenngrößen der Cadmiumexpositionen an Arbeitsplätzen (Perzentile, Mittelwerte) in diesem Zeitraum erheblich verringert haben. Nur wenige Arbeitsbereiche erreichen nicht das Arbeitsschutzniveau der Gesamtheit. Diese Publikation ist der erste Teil einer Reihe über Expositionen gegenüber KMR-Stoffen an Arbeitsplätzen, die zusammengefasst in Form eines IFA-Reports veröffentlicht werden soll.

Work-related exposure to carcinogenic, mutagenic and reprotoxic substances in Germany – Part 1: cadmium and its compounds

Abstract Occupational exposure to cadmium and cadmium compounds occurs in highly varied sectors of industry, e.g. in the smelting and refining of zinc, lead and copper ores, in the production of batteries, alloys, pigments and stabilisers, and during welding and soldering. Exposed employees may become acutely or chronically ill. Cadmium and cadmium compounds are therefore classified inter alia as acutely toxic (Category 2) and carcinogenic (Category 2) or worse. The IFA MEGA exposure database contains over 250,000 data records on some 100 different CMR substances (air samples on shift basis), with 6,715 data records (going back to 1975) relating to cadmium and cadmium compounds. An evaluation of these data shows that the key statistical indicators of cadmium exposure at the workplace (percentiles, means) have fallen markedly during this period. Only a small number of work areas fail to achieve the overall standard of occupational safety and health. This publication is the first in a series on exposure to CMR substances at the workplace which is to be published in summarized form in an IFA Report.

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

1 Einleitung

Die Unfallversicherungsträger (UV-Träger) sind nach dem Sozialgesetzbuch (SGB) VII §14 verpflichtet, „mit allen geeigneten Mitteln für die Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren ... zu sorgen“. Dabei haben sie die Pflicht, die in dieser Absicht von den Versicherten getroffenen Maßnahmen zu überwachen (SGB VII §17). Um dieser Pflicht nachzukommen, sind sie befugt, „insbesondere das Vorhandensein und die Konzentration gefährlicher Stoffe und Zubereitungen zu ermitteln“. Auf dieser Grundlage wird das Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU, ehemals BGMG) tätig. Es dient zur Ermittlung und Dokumentation valider und bewertbarer Messdaten sowie der zugehörigen Betriebsdaten über Expositionen zu Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen am Arbeitsplatz. Die ermittelten Daten werden in der Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ – MEGA gespeichert. Somit stehen sie den UV-Trägern für die Prävention und Epidemiologie sowie für Ermittlungen im Zusammenhang mit angezeigten Fällen von Berufskrankheiten zur Verfügung. Weiterhin können sie in Beziehung zu bestehenden Arbeitsplatzgrenzwerten gesetzt werden.

Für krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe mit unbekanntem Wirkmechanismus oder direkt genotoxisch wirkende Stoffe ist es im Regelfall nicht möglich, einen arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Schwellenwert abzuleiten, der als Basis für einen Arbeitsplatzgrenzwert dienen könnte. In der Vergangenheit behalf man sich in diesen Fällen vielfach mit der Festsetzung von höchstzulässigen Expositionskonzentrationen, die gemäß dem „TRK-Konzept“ (TRK: Technische Richtkonzentrationen) bei Ausschöpfung sinnvoller technischer Minimierungsmaßnahmen als erreichbar betrachtet wurden. Seit der Novellierung der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) im Jahr 2005 sind jedoch nur noch gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte zulässig. Damit ist für technisch oder unzureichend toxikologisch begründete Luftgrenzwerte kein Platz mehr im nationalen Regelwerk. Die im Januar 2006 veröffentlichte Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ enthielt deshalb nur noch knapp halb so viele Gefahrstoffe wie die vorherige Ausgabe. Für die meisten krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen (KMR-Stoffe) existiert somit zurzeit kein gültiger Luftgrenzwert.

Umso schwerwiegender ist daher im Hinblick auf den Umgang mit KMR-Stoffen die in § 7 (4) der Gefahrstoffverordnung verankerte Grundpflicht des Arbeitgebers, „Gefährdungen der Gesundheit und der Sicherheit der Beschäftigten

bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen auszuschließen“ oder aber „auf ein Minimum zu reduzieren“.

Die durch das MGU an den Arbeitsplätzen der versicherten Betriebe ermittelten Expositionsdaten von KMR-Stoffen können in diesem Zusammenhang dazu dienen, Expositionssituationen zu erfassen, bestehende Risiken abzuschätzen und ggf. Entscheidungshilfen für das Ergreifen von geeigneten Maßnahmen zur Gefährdungsminimierung zu treffen. Darüber hinaus dokumentieren sie die Ergebnisse der Präventionsmaßnahmen der UV-Träger.

In diesem Zusammenhang publiziert das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) an dieser Stelle eine mehrteilige Reihe von statistischen Auswertungen der Expositionsdaten einiger KMR-Stoffe, die abschließend – um weitere KMR-Stoffe ergänzt – in einem IFA-Report zusammengefasst werden sollen. Im Mittelpunkt dieser ersten Veröffentlichung steht das Metall Cadmium sowie seine Verbindungen, im Folgenden kurz als Cadmium bezeichnet, sofern keine weitere Spezifizierung angegeben ist.

2 Gewinnung und Verwendung von Cadmium

Aus den Lagerstätten der Erdkruste wird Cadmium vorwiegend kationisch (Oxidationsstufe +2) in Form von Sulfiden und Oxoverbindungen vergesellschaftet mit Zink gewonnen. Dementsprechend erfolgt seine Darstellung als Nebenprodukt der Zinkherstellung [1]. Weitere stoffspezifische Informationen finden sich z. B. in der GESTIS-Stoffdatenbank [2].

Die Weltjahresproduktion lag 2007 bei ca. 20 000 t, in Deutschland wurden im gleichen Jahr etwa 640 t hergestellt. Geringe Mengen stammen aus dem Recycling von Batterien. Der Hauptanteil des Cadmiums wird bei der Fertigung von Nickel-Cadmium-Akkumulatoren verbraucht. Weitere Verwendung findet es u. a. bei der Herstellung von Pigmenten (in Farben, Kunststoffen, Gläsern), Legierungen und Loten, Halbleitern und Solarzellen, als Beschichtungsmaterial (Rostschutz) oder als Stabilisator für Kunststoffe. Nach Einschätzung des U. S. Geological Survey wird sich der Bedarf an Cadmium auch aufgrund neuer Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Nickel-Cadmium-Akkumulatoren nicht abschwächen [3].

Expositionen am Arbeitsplatz gegenüber Cadmium und seinen Verbindungen entstehen nicht nur bei der Herstellung von Cadmium selbst (und damit auch bei der Zinkgewinnung) und Produkten/Erzeugnissen aus Cadmium, sondern auch bei der Altstoffentsorgung, wie z. B. bei der Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten, beim Entfernen von cadmiumhaltigen Anstrichen oder beim Schweißen und Löten (von/mit cadmiumhaltigen Legierungen).

3 Gesundheitsgefährdungen durch Cadmiumaufnahme

Die Resorption von Cadmium erfolgt vorwiegend über den inhalativen und oralen, untergeordnet aber auch dermalen Expositionspfad. Die Bioverfügbarkeit wurde auch für schwerlösliche Cadmiumverbindungen wie Cadmiumsulfid bzw. -oxid und metallisches Cadmium nachgewiesen. Erhöhte Konzentrationen finden sich hauptsächlich in der Leber, den Nieren und Knochen, bei inhalativer Aufnahme auch in der Lunge. Als biologische Halbwertszeit werden zehn bis 20 Jahre angenommen [4].

Cadmium liegt in der Luft vorwiegend in Form von Partikeln bzw. an Partikel gebunden vor. Bei durchschnittlicher außerberuflicher Belastung beträgt die täglich inhalativ resorbierte Menge zwischen 0,02 und 0,2 µg, bei Rauchern (20 Zigaretten pro Tag) dagegen 0,5 bis 2 µg. Mit der Nahrung werden 10 bis 60 µg pro Tag aufgenommen, wovon ca. 5 % resorbiert werden [4].

Die einmalige inhalative Exposition gegenüber einer hohen Cadmiumkonzentration führt unter Umständen zu langjährigen respiratorischen Schäden. Eine achtstündige Exposition gegen 1 mg/m³ Luft kann lebensgefährlich und gegen 5 mg/m³ Luft letal wirken (vgl. Cadmiumexpositionen der Jahre 1975 bis 1979, Abschn. 6) [4].

Für beruflich exponierte Arbeiter werden ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Lungenkrebs sowie eine erhöhte Nierenkrebsinzidenz diskutiert. Als Ursache für die kanzerogene Eigenschaft des Cadmiums in Gestalt des Cd²⁺-Ions können verschiedene Effekte relevant sein: Hemmung antioxidativer Reaktionen, Hemmung der DNA-Reparatur, Aktivierung von zellulären Signalwegen, Hemmung der DNA-Methylierung, Störung der Zellkontakte im Gewebe und Hemmung des programmierten Zelltods (Apoptose). In Tierversuchen, u. a. an Ratten, zeigt Cadmium eindeutig eine kanzerogene sowie keimzellmutagene Wirkung, aus der sich auch bei geringen perkutan resorbierten Mengen ein erhöhtes Risiko für Exponierte ableiten lässt [4 bis 6].

Zurzeit existiert kein gesundheitsbasierter Arbeitsplatzgrenzwert für Cadmium und seine Verbindungen (in Form von Stäuben und Aerosolen). Die TRGS 900 listete bis Ende 2004 zwei TRK-Werte in Abhängigkeit vom gewerblichen Bereich [7]:

- 0,05 mg/m³ Batterieherstellung, thermische Zink-, Blei- und Kupfergewinnung, Schweißen cadmiumhaltiger Legierungen,
- 0,015 mg/m³ im Übrigen

Die MAK-Kommission klassifiziert Cadmium und seine Verbindungen (Cd, CdCl₂, CdSO₄, CdS, Cd(CH₃COO)₂·H₂O, CdCO₃, Cd(Se, S), CdI₂) als krebserzeugend der Kategorie 1, keimzellmutagen der Kategorie 3A und hautresorptiv (H) [4]. Cadmium und Cadmiumverbindungen sind nach der EG-Verordnung Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen im Anhang VI eingestuft und gekennzeichnet, wobei für gut wasserlösliche Substanzen die deutlich strengeren Einstufungen gelten (z. B. für Cadmiumchlorid, -fluorid oder -sulfat, siehe **Tabelle 1**). Allgemein werden Cadmiumverbindungen (mit wenigen Ausnahmen) zumindest als akut toxisch (Kategorie 4) bewertet.

4 Ermittlung und Dokumentation von Expositionen

Die Ermittlung und Dokumentation der Messdaten von Expositionen am Arbeitsplatz erfolgt bei den UV-Trägern nach den Kriterien des MGU. Seit 1999 stellt ein Qualitätsmanagementsystem, das im Wesentlichen die Anforderungen der DIN EN ISO 9001 umsetzt, den Standard des MGU sicher. Die Prüflaboratorien werden gemäß DIN EN ISO 17025 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ betrieben [8; 9].

Expositionen gegenüber Cadmium am Arbeitsplatz treten als Stäube, Rauche oder Nebel auf. Zur Messung dieser Expositionen wird mit einer Probenahmepumpe ein definiertes Volumen der belasteten Luft durch einen Glasfaserfilter

gesaugt. Das im abgeschiedenen Staub auf dem Filter enthaltene Cadmium (als Element und in Form seiner Verbindungen) wird nach Nassaufschluss atomabsorptionsspektrometrisch bestimmt. Die Bestimmungsgrenzen (Stand: 1. Januar 2010) betragen $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei $0,42 \text{ m}^3$ Probeluftvolumen (personengetragene Messung) bzw. $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 45 m^3 Probeluftvolumen (ortsfeste Messung) [10].

Alle im MGU erhobenen Daten werden in der Expositionsdatenbank MEGA erfasst, die seit 1972 geführt wird. Sie enthält über 2 Mio. Datensätze von Messungen zu 809 chemischen und 482 biologischen Arbeitsstoffen, die in ca. 54 000 Betrieben ermittelt wurden (Stand: 31. Dezember 2009). Diese Datensätze enthalten weitere Informationen zu den Rahmenbedingungen der Messungen [8].

5 Statistik und Darstellung der Expositionen

Die Grundsätze der statistischen Auswertung der im MGU erhobenen Daten sind unter Berücksichtigung des Datenschutzes in einer Verwaltungsvereinbarung zwischen den UV-Trägern und der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung geregelt. Dabei ist gewährleistet, dass eine Rückidentifikation eines bestimmten Betriebes oder eines UV-Trägers nicht möglich ist. Andernfalls bleiben die betroffenen Messwerte unberücksichtigt.

Die vom IFA entwickelte MEGA^{Pro}-Software erlaubt die statistische Auswertung des Datenbestandes der Expositionsdatenbank MEGA nach unterschiedlichen Selektionskriterien und Auswertestrategien. Dazu können Datenkollektive z. B. nach Branchenzugehörigkeit oder Arbeitsbereichen differenziert werden [11]. Es ist zweckmäßig, vergleichbare Branchen oder Arbeitsbereiche in Gruppen zusammenzufassen. Die Software ermöglicht die Berechnung einer Vielzahl statistischer Parameter der einzelnen Kollektive. Im Folgenden werden arithmetische Mittelwerte, arithmetische Standardabweichungen, meist aber Perzentile zur Beschreibung der Kollektive verwendet. Für ein x-tes Perzentil (auch x-%-Wert) gilt, dass x Prozent aller vorhandenen Messdaten unterhalb dieser Schwelle, die restlichen (100 - x) Prozent oberhalb dieser Schwelle liegen. Liegen mehr Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) als Messwerte durch diesen Summenhäufigkeitswert (x-%-Wert) repräsentiert werden, wird „a. B.“ anstelle des entsprechenden Wertes angegeben. Liegen weniger als zehn Messwerte innerhalb eines Kollektivs vor, entfällt die Berechnung des Summenhäufigkeitswertes.

Für Trendbetrachtungen zeitlicher Entwicklungen der Expositionen erfolgte die Unterteilung in Kollektive mit einheitlichen Datenzeiträumen von jeweils fünf Jahren. Bei der statistischen Auswertung wurden nur Messwerte von Schichtmittelwerten mit einer Probenahmedauer von $\geq 1 \text{ h}$ und einer Expositionsdauer von $\geq 6 \text{ h}$ berücksichtigt. Probenahme und Analytik der ausgewerteten Messwerte erfolgten mit MGU-Standardverfahren.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen der MEGA-Expositionsdaten zur Belastung durch Cadmium am Arbeitsplatz werden wie folgt dargestellt:

Tabelle 1. Einstufung und Kennzeichnung von Cadmium, Cadmiumoxid und gut wasserlöslichen Cadmiumverbindungen.

Cadmium (nicht pyrophor) und Cadmiumoxid (nicht pyrophor)		Gut wasserlösliche Cadmiumverbindungen	
Karz. 1B	H350	Karz. 1B	H350
Mutag. 2	H341	Mutag. 1B	H340
Repr. 2	H361 f-d	Repr. 1B	H360 f-d
Akut. Tox. 2	H330	Akut. Tox. 2	H330
STOT wdh. 1	H372	Akut. Tox. 3	H301
Aqu. akut 1	H400	STOT wdh. 1	H372
Aqu. chron. 1	H410	Aqu. akut 1	H400
		Aqu. chron. 1	H410

- Überblick über die Gesamtentwicklung der Expositionen (Schichtmittelwerte als Luftkonzentrationen, gemessen in mg/m^3) vor einem zeitlichen Hintergrund (Abschn. 6).
- Darstellung der zeitlichen Entwicklung von Expositionen in unterschiedlichen Branchen- und Arbeitsbereichsgruppen. Dabei stehen die 90-%-Werte im Vordergrund, da sie einerseits auf hohe Expositionen hinweisen, andererseits nicht allzu empfindlich gegenüber Ausreißern sind (Abschn. 7.1 und 8.1).
- Die gegenwärtige Situation bei Belastungen gegenüber Cadmiumexpositionen am Arbeitsplatz wird anhand des Datenzeitraums 2005 bis 2009 dargestellt (Abschn. 7.2 und 8.2).
- Abschließend wird kurz auf mögliche Zusammenhänge zwischen Expositionssituation und Betriebsgröße eingegangen (Abschn. 9).

6 Gesamtentwicklung der Expositionen von Cadmium

Die Gesamtentwicklung der Cadmiumexpositionen ist in **Bild 1** und **Tabelle 2** dargestellt. In die Auswertung fließen die Messwerte von 6 715 Proben ein, die in 1 366 Betrieben zwischen 1975 und 2009 genommen wurden. Zwischen 1983 und 1999 lag die Anzahl der Analysen jeweils über 200 bis hin zu knapp 400 pro Jahr. Seit 2005 werden wieder mehr Messungen durchgeführt, nachdem zwischenzeitlich geringere Messaktivitäten zu verzeichnen waren.

Von 1975 bis heute ließen sich fast alle statistischen Parameter der Exposition kontinuierlich um mehrere Größenordnungen verringern. Allein das Fünfjahresintervall 1990

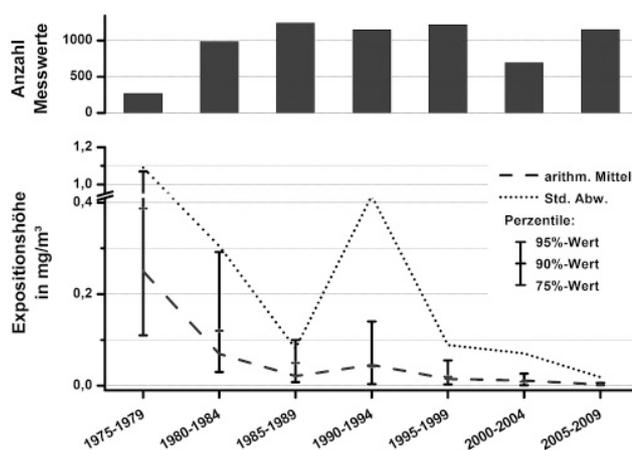


Bild 1. Gesamtentwicklung der Anzahl der Messwerte und der Cadmiumexpositionen seit 1975.

Tabelle 2. Statistische Parameter der Gesamtentwicklung der Cadmiumexpositionen seit 1975. + Dieser Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze im Datenkollektiv. a. B. Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

Zeitraum	Anzahl Messdaten	arithmetisches Mittel in mg/m ³	geometrisches Mittel in mg/m ³	50%-Wert in mg/m ³	75%-Wert in mg/m ³	90%-Wert in mg/m ³	95%-Wert in mg/m ³	99%-Wert in mg/m ³
1975 bis 1979	271	0,25	0,00959	0,01 +	0,11	0,387	1,0693	3,129
1980 bis 1984	988	0,0694	0,00431	0,003 +	0,03 +	0,12	0,292	1,212
1985 bis 1989	1244	0,0213	0,00158	0,001 +	0,008 +	0,05	0,1	0,34
1990 bis 1994	1148	0,0456	0,000911	0,0005 +	0,004 +	0,042 +	0,14	0,415
1995 bis 1999	1219	0,015	0,000617	0,00041 +	0,0028 +	0,02 +	0,0551 +	0,298
2000 bis 2004	694	0,0113	0,000439	a. B.	0,0011 +	0,0088	0,0263	0,209
2005 bis 2009	1151	0,00295	0,000217	a. B.	a. B.	0,0013 +	0,00628	0,0854

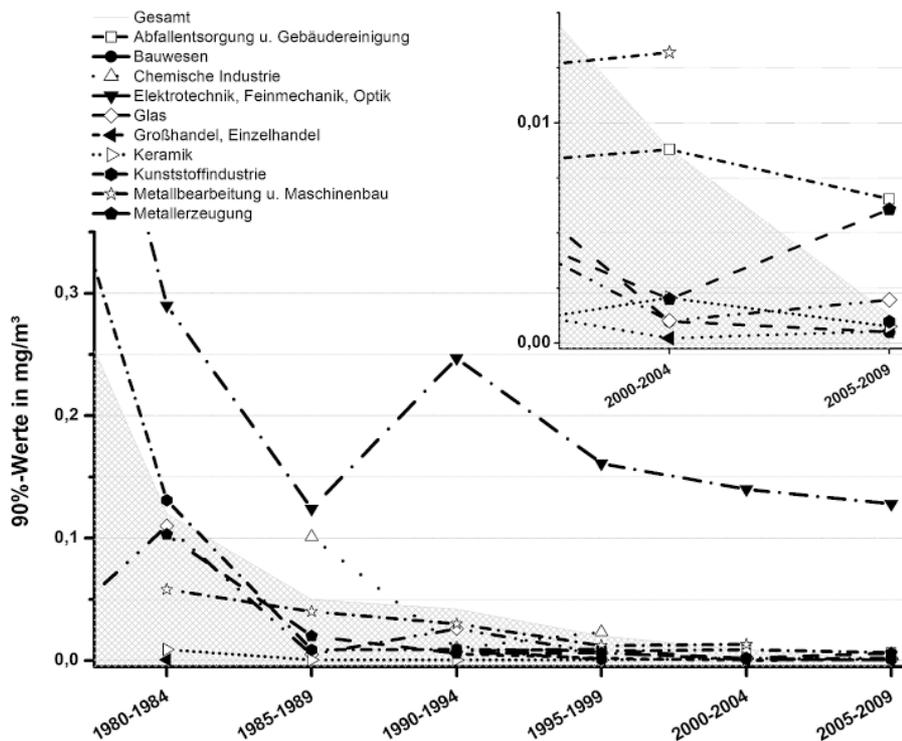


Bild 2. Zeitliche Entwicklung der 90%-Werte verschiedener Branchengruppen.

Tabelle 3: 90%-Werte verschiedener Branchengruppen. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

90%-Werte in mg/m ³	1975 bis 1979	1980 bis 1984	1985 bis 1989	1990 bis 1994	1995 bis 1999	2000 bis 2004	2005 bis 2009
Gesamt	0,387	0,12	0,05	0,042 +	0,02 +	0,0088	0,0013 +
Abfallentsorgung und Gebäudereinigung				0,0093 +	0,008	0,0088	0,00654
Bauwesen				0,0078 +	0,0094	0,00099 +	0,0005 +
Chemische Industrie			0,101	0,01 +	0,0232		
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	0,759	0,29	0,124	0,247	0,161	0,14	0,128
Glas	0,000325	0,11	0,005 +	0,026	0,0062	0,00102 +	0,00196 +
Großhandel, Einzelhandel		0,00072		0,0056	0,0019	0,000225 +	0,00055 +
Keramik		0,009 +	0,00055 +	0,00058 +	0,0005 +	0,00206 +	0,00075 +
Kunststoffindustrie	0,513	0,131	0,0088	0,009	0,001 +	a. B.	0,000975 +
Metallbearbeitung und Maschinenbau		0,058	0,04	0,03 +	0,0122	0,0132	a. B.
Metallerzeugung		0,103	0,02	0,0058	0,00616	0,002	0,00608

Tabelle 4. Anzahl der Messdaten verschiedener Branchengruppen.

Anzahl Messwerte	1975 bis 1979	1980 bis 1984	1985 bis 1989	1990 bis 1994	1995 bis 1999	2000 bis 2004	2005 bis 2009
Gesamt	271	988	1 244	1 148	1 219	694	1 151
Abfallentsorgung und Gebäudereinigung			10	77	237	100	108
Bauwesen		3	1	91	33	12	131
Chemische Industrie	12	27	49	66	37	27	20
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	108	225	256	193	209	77	51
Glas	15	91	105	92	170	124	44
Großhandel, Einzelhandel		18	2	18	11	10	27
Kunststoffindustrie	20	113	106	113	78	17	15
Keramik	79	56	135	190	121	92	53
Metallbearbeitung und Maschinenbau	9	312	312	171	138	128	602
Metallerzeugung	28	137	234	66	127	54	28

bis 1994 folgt diesem Trend im Gegensatz zu den kleineren Perzentilen bei den 95- und 99-Perzentilen nicht, was auch die sprunghaft ansteigende Standardabweichung anzeigt. In diesem Zeitraum wurden vermehrt verhältnismäßig hohe Expositionen ermittelt (vgl. Abschn. 7.1 und 8.1). Aktuell (2005 bis 2009) liegen mehr als 75 % der Messwerte unterhalb der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze.

7 Branchenspezifische Cadmiumexpositionen

7.1 Zeitliche Entwicklung der 90%-Werte

Die Expositionsdaten werden in Branchengruppen zusammengefasst und statistisch ausgewertet (insgesamt 28 Branchengruppen). Eine Branche definiert dabei die Art des Betriebsteils, in dem der Arbeitsbereich angesiedelt ist, in dem gemessen wurde. Teilweise liegen für einzelne Gruppen in manchen Datenzeiträumen nicht genügend oder keine Messwerte zur Auswertung vor.

Bild 2 sowie die **Tabellen 3** und **4** zeigen eine Auswahl von 90%-Werten von Cadmiumexpositionen für verschiedene Branchengruppen in ihrer zeitlichen Entwicklung. Im grau schraffierten Bereich der Grafik liegen alle Messwerte, die kleiner sind als der 90%-Wert des gesamten Datenbestandes eines betrachteten Zeitraums. Insgesamt kann festgestellt werden, dass das Arbeitsschutzniveau seit 1975 durch deutliche Verringerung der Expositionen quer durch alle Branchengruppen deutlich verbessert wurde. Als Branchengruppe mit durchgängigen höchsten Belastungen durch Cadmiumexpositionen lässt sich die Gruppe Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik identifizieren. Obwohl

der 90%-Wert seit dem Datenzeitraum 1990 bis 1994 von 0,247 auf aktuell 0,128 mg/m³ deutlich reduziert wurde, liegt er immer noch um bis zu zwei Größenordnungen oberhalb des entsprechenden Wertes des kompletten Datenbestandes. Auffallend ist der deutliche Anstieg im Fünfjahresintervall 1990 bis 1994, der einhergeht mit der Unterbrechung des Trends der kontinuierlichen Verringerung der 95%-/99%-Werte der Gesamtheit der Cadmiumexpositionen (vgl. Bild 1). Grund für diese Entwicklung sind hohe Messwerte in Betrieben mit der Branchencodierung „Nickel-Cadmium-Batterien, Herstellung“. Die Einführung dieser Codierung in MEGA fand im Jahr 1993 statt. Allerdings wurden auch vor 1993 einzelne Messungen in vergleichbaren Produktionsstätten unter der Kennung „Bleiakkumulatoren, Herstellung“ und „Elektrotechnik, allgemein“ durchgeführt. Die betroffenen Arbeitsbereiche sind

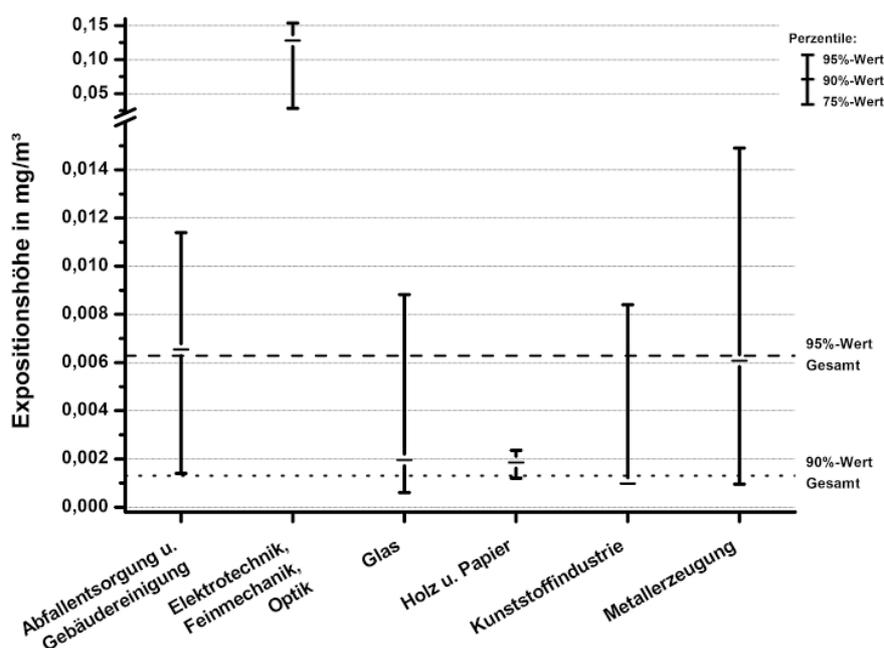


Bild 3. Branchengruppen mit höheren Expositionen im Datenzeitraum 2005 bis 2009.

Tabelle 5. Statistische Parameter verschiedener Branchengruppen des Datenzeitraums 2005 bis 2009. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

Branchengruppe	Anzahl Messdaten	größte a. B. in mg/m ³	Anzahl der Werte < a. B.	75-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	95-%-Wert in mg/m ³	99-%-Wert in mg/m ³
Gesamt	1 151	0,0048	882	a. B.	0,0013 +	0,00628	0,0854
Abfallentsorgung und Gebäudereinigung	108	0,0028	39	0,0014 +	0,00654	0,0114	0,0623
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	51	0,0014	8	0,0283	0,128	0,154	0,278
Glas	44	0,0048	29	0,0006 +	0,00196 +	0,00882	0,126
Holz und Papier	36	0,0039	24	0,0012 +	0,00186 +	0,00236 +	0,00604
Keramik	53	0,003	42	a. B.	0,00075 +	0,000975 +	0,00225 +
Kunststoffindustrie	15	0,0015	13	a. B.	0,000975 +	0,0084	0,0257
Metallbearbeitung und Maschinenbau	602	0,0024	543	a. B.	a. B.	0,001 +	0,014
Metallerzeugung	28	0,0019	11	0,00095 +	0,00608	0,0149	0,0233

Tabelle 6. 90-%-Werte verschiedener Arbeitsbereichsgruppen. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

90-%-Werte in mg/m ³	1975 bis 1979	1980 bis 1984	1985 bis 1989	1990 bis 1994	1995 bis 1999	2000 bis 2004	2005 bis 2009
Gesamt	0,387	0,12	0,05	0,042 +	0,02 +	0,0088	0,0013 +
Batterieherstellung				0,15	0,21	0,556	0,146
Bohren, Fräsen, Stanzen		0,98	0,0084	0,12			
Elektronikschrott-Recycling				0,047	0,0096	0,0295	0,00747
Gießen, Schmelzen	0,02	0,07	0,0089	0,004	0,00554	0,00726	0,0148
Lagern		0,003	0,015	0,001 +	0,00256	0,00144 +	a. B.
Löten			0,1	0,13	0,03	0,00395 +	0,00916
Mischen	0,456	0,138	0,04	0,033	0,0182	a. B.	0,00075 +
Oberflächenbehandlung, Oberflächenbeschichtung		0,01	0,0025 +	0,001 +	0,00075 +	0,00366	0,00348
Pressen		0,623	0,08	0,238	0,02		
Schweißen		0,162	0,036	0,282	0,00128 +	0,00544 +	a. B.
Verpacken, Abfüllen			0,0215	0,228	0,0076		
Wiegen		0,318	0,067	0,065	0,0044		
Zerkleinern		0,00235 +	0,0074	0,0567	0,0031	0,0134	

vielfältig und betreffen den gesamten Herstellungsprozess (vgl. Abschn. 8).

7.2 Branchenspezifische Expositionen zwischen 2005 und 2009

Nachdem zuvor die zeitliche Entwicklung der Cadmiumexpositionen in den einzelnen Branchengruppen beleuchtet wurde, rücken in diesem Abschnitt die Ergebnisse der Auswertungen neuerer Messdaten in den Mittelpunkt. **Bild 3** und **Tabelle 5** zeigen die 75-%-, 90-%- und 95-%-Werte von Branchengruppen des Datenzeitraums 2005 bis 2009 mit höheren Werten im Vergleich zu den entsprechenden Perzentilen der Gesamtheit (waagerechte Linien; der 75-%-Wert der Gesamtheit (= a. B.) wurde nicht berechnet). Die höheren Expositionen wurden in Betrieben der Abfallentsorgung und Gebäudereinigung, der Metallerzeugung sowie der Glas- und Kunststoffindustrie ermittelt. Die je-

weils größten 75-%-, 90-%- und 95-%-Werte resultieren wie auch in den Datenzeiträumen zuvor aus Messungen bei der Herstellung von Batterien (Branchengruppe Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik).

Im letzten Datenzeitraum von 2005 bis 2009 fällt auf, dass sich die Zahl der Messungen in der Branchengruppe Metallbearbeitung/Maschinenbau deutlich erhöht hat (von 128 auf 602 Messungen). Bereinigt um Werte, die kleiner als die jeweilige analytische Bestimmungsgrenze sind, liegen davon nur 30 oberhalb des 75-%-Wertes der Gesamtheit. Von 108 Messwerten der Branchengruppe Abfallentsorgung und Gebäudereinigung sind es dagegen 51, betroffen sind überwiegend Arbeitsplätze beim Elektronikschrott-Recycling. Für die bereits erwähnten Messungen bei der Batterieherstellung trifft dies sogar auf 34 von 51 Werten zu (vgl. Abschn. 8).

Tabelle 7. Anzahl der Messdaten verschiedener Arbeitsbereichsgruppen. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

Anzahl Messwerte	1975 bis 1979	1980 bis 1984	1985 bis 1989	1990 bis 1994	1995 bis 1999	2000 bis 2004	2005 bis 2009
Gesamt	271	988	1 244	1 148	1 219	694	1 151
Batterieherstellung				14	156	42	34
Bohren, Fräsen, Stanzen		21	18	15			
Elektronikschrott-Recycling				11	104	35	83
Gießen, Schmelzen	16	120	91	60	118	36	27
Lagern		15	25	25	16	13	21
Löten			97	104	58	53	26
Mischen	24	92	114	87	36	13	12
Oberflächenbehandlung, Oberflächenbeschichtung		90	83	73	99	64	48
Pressen		46	36	52	10		
Schweißen		28	32	43	23	16	580
Verpacken, Abfüllen		6	13	21	19		
Wiegen		38	31	45	26		
Zerkleinern		23	19	15	23	12	

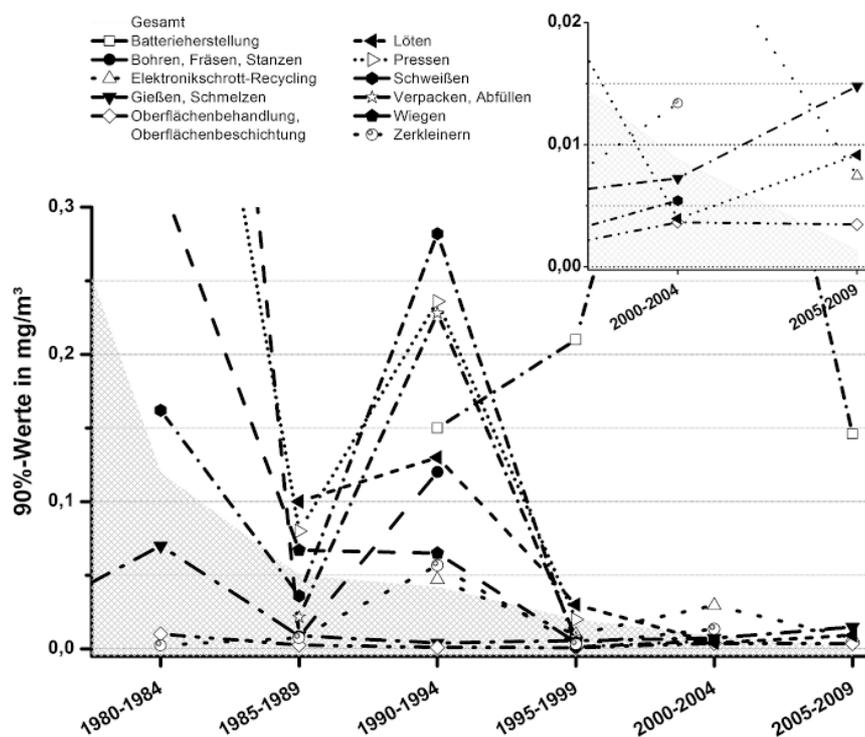


Bild 4. Zeitliche Entwicklung der 90%-Werte verschiedener Arbeitsbereichsgruppen.

8 Arbeitsbereichsspezifische Cadmiumexpositionen

Nach der Differenzierung der Expositionsdaten auf Branchen bzw. Branchengruppen befassen sich die folgenden Auswertungen mit einer branchenübergreifenden Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

8.1 Zeitliche Entwicklung der 90%-Werte

Analog zur statistischen Auswertung der Expositionsdaten der verschiedenen Branchen werden vergleichbare Arbeitsbereiche zu sinnvollen Arbeitsbereichsgruppen zusammengestellt (insgesamt 42 Arbeitsbereichsgruppen). Aufgrund der Vielfalt der Arbeitsbereiche bleibt dabei eine große Anzahl von unterschiedlichen Arbeitsbereichen unberücksichtigt. Dies betrifft 1 798 der 6 715 Messdaten zu

Cadmiumexpositionen, die nicht einzelnen Arbeitsbereichsgruppen zugeordnet werden können. Teilweise liegen für einzelne Gruppen in manchen Datenzeiträumen nicht genügend oder keine Messwerte zur Auswertung vor.

Bild 4 und die **Tabellen 6** und **7** zeigen den zeitlichen Verlauf der 90%-Werte der Cadmiumexpositionen verschiedener Arbeitsbereichsgruppen. Im grau schraffierten Bereich der Grafik liegen alle Messwerte, die kleiner sind als der 90%-Wert des gesamten Datenbestandes eines betrachteten Zeitraums.

Vor dem Hintergrund der sich kontinuierlich reduzierenden Expositionen heben sich im Datenzeitraum zwischen 1990 und 1995 verschiedene Arbeitsbereichsgruppen wie Schweißen, Pressen, Verpacken/Abfüllen ab. Eine Mehrzahl der Messwerte, die hier einen deutlich erkennbaren

Tabelle 8. Statistische Parameter verschiedener Arbeitsbereichsgruppen des Datenzeitraums 2005 bis 2009. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

Arbeitsbereichsgruppe	Anzahl Messdaten	größte a. B. in mg/m ³	Anzahl der Werte < a. B.	75-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	95-%-Wert in mg/m ³	99-%-Wert in mg/m ³
Gesamt	1 151	0,0048	882	a. B.	0,0013 +	0,00628	0,0854
Batterieherstellung	34	0,00042	1	0,062	0,146	0,166	0,312
Elektronikschrott-Recycling	83	0,0028	23	0,00185 +	0,00747	0,0147	0,0861
Gießen, Schmelzen	27	0,0015	13	0,0011 +	0,0148	0,0236	0,0377
Lagern	21	0,0012	19	a. B.	a. B.	0,000581 +	0,0136
Löten	26	0,0014	13	0,0007 +	0,00916	0,0284	0,142
Mischen	12	0,0015	10	a. B.	0,00075 +	0,00097 +	0,00123 +
Oberflächenbehandlung, Oberflächenbeschichtung	48	0,0024	25	0,0015 +	0,00348	0,00654	0,0182
Schleifen	22	0,0024	16	0,000685 +	0,0012 +	0,00462	0,0198
Schweißen	580	0,0024	543	a. B.	a. B.	0,00075 +	0,00091 +

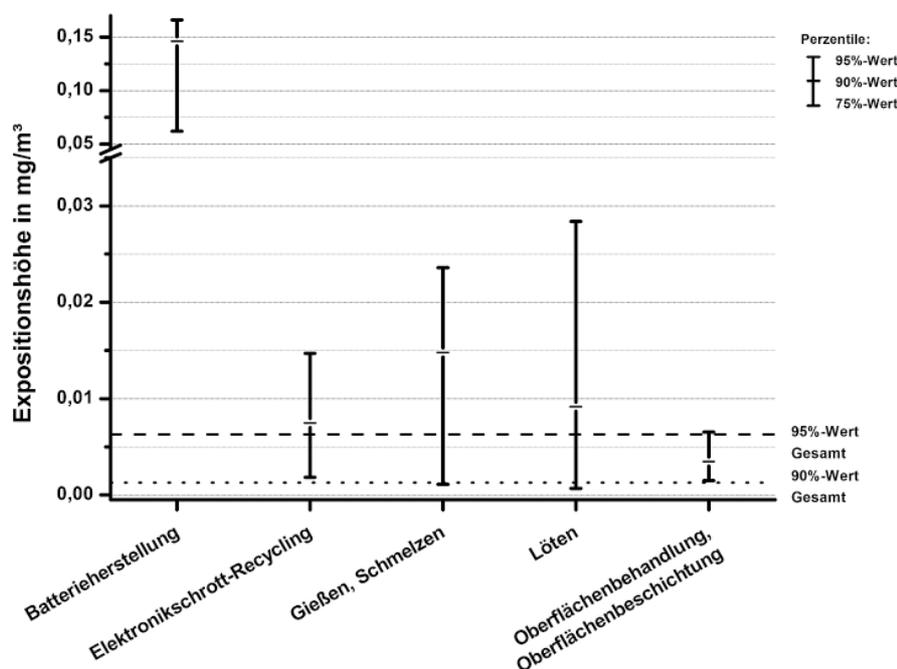


Bild 5. Arbeitsbereichsgruppen mit höheren Expositionen im Datenzeitraum 2005 bis 2009.

Anstieg der 90-%-Werte verursachen, stammt aus Arbeitsbereichen der Nickel-Cadmium-Batterieherstellung (vgl. Abschn. 7.1). Insgesamt sind 134 der 250 höchsten Messwerte der Jahre zwischen 1990 und 1994 diesem Industriezweig zuzuordnen.

Mit der Branchencodierung Nickel-Cadmium-Batterien, Herstellung im Jahr 1995 (vgl. Abschn. 7.1) wurden speziell auf diesen Produktionsprozess zugeschnittene Codierungen zur Beschreibung der Arbeitsbereiche eingeführt, deren statistische Auswertung im Einzelnen aufgrund der Datenlage nicht erfolgen kann. Sie erscheinen in Bild 4 und den Tabellen 5 und 6 zusammengefasst unter der Bezeichnung Batterieherstellung mit den vergleichsweise höchsten Expositionen. Als Folge liegen in den meisten der zuvor genannten Arbeitsbereiche in den Datenzeiträumen ab 1995 die statistischen Parameter wieder deutlich niedriger. Die Bedeutung der Herstellung von Nickel-Cadmium-Industriebatterien in Deutschland ist rückläufig, sie werden heute nur noch in zwei Betrieben gefertigt.

8.2 Arbeitsbereichsspezifische Expositionen zwischen 2005 und 2009

Auch für die Arbeitsbereichsgruppen soll der aktuelle Datenzeitraum 2005 bis 2009 genauer betrachtet werden (Bild 5, Tabelle 8). Die höchsten Perzentile berechnen sich aus den Messdaten der Arbeitsbereichsgruppen Batterieherstellung, Elektronikschrott-Recycling, Oberflächenbehandlung/-beschichtung, Gießen/Schmelzen sowie Löten. Bei den beiden letztgenannten ist im Vergleich zum Datenzeitraum 2000 bis 2004 ein Trend zu leicht ansteigenden Expositionen auszumachen (vgl. Abschn. 8.1). Von den 25 % höchsten Messwerten im Datenzeitraum 2005 bis 2009 (120 Messwerte) wurde der größte Anteil in der Batterieherstellung (32) und im Elektronikschrott-Recycling (29) ermittelt.

Die Relevanz der Arbeitsbereichsgruppe Schweißen drückt sich in der großen Anzahl von Messungen aus, die zwischen 2005 und 2009 von den UV-Trägern veranlasst wurden: 580 von insgesamt 1 151 Messungen fallen in diese Arbeitsbereichsgruppe. Der zugehörige 90-%-Wert liegt im Bereich der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenzen.

Tabelle 9. Statistische Parameter der Cadmiumexpositionen differenziert nach Betriebsgröße. (Fußnoten: siehe Tabelle 2)

Betriebsgröße (Anzahl Beschäftigte)	Zeit- raum	Anzahl Mess- daten	arithme- tisches Mittel in mg/m ³	geome- trisches Mittel in mg/m ³	50-%-Wert in mg/m ³	75-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	95-%-Wert in mg/m ³	99-%-Wert in mg/m ³
1 bis 50	1990	215	0,0124	0,000652	0,0005 +	0,00125 +	0,01 +	0,02 +	0,288
51 bis 999	bis	752	0,0613	0,000999	0,0005 +	0,004 +	0,06 +	0,15	0,509
> 1000	1994	181	0,0201	0,000926	0,0005 +	0,00975	0,039	0,119	0,309
1 bis 50	1995	372	0,00638	0,000478	0,00042 +	0,0016 +	0,00662	0,0288	0,126
51 bis 999	bis	738	0,0201	0,000596	0,0003 +	0,00265 +	0,0252	0,09	0,38
> 1000	1999	109	0,00984	0,00186	0,002 +	0,0107 +	0,03 +	0,04 +	0,0799 +
1 bis 50	2000	261	0,00326	0,000439	a. B.	0,00118 +	0,00499	0,0139	0,0688
51 bis 999	bis	395	0,0172	0,000435	a. B.	0,00101 +	0,0115	0,0483	0,56
> 1000	2004	38	0,00473	0,00048	a. B.	0,0021	0,0106	0,0248	0,0528
1 bis 50	2005	250	0,00287	0,000249	a. B.	0,00072 +	0,00195 +	0,00605	0,0535
51 bis 999	bis	784	0,00332	0,000215	a. B.	a. B.	0,0013 +	0,00746	0,0974
> 1000	2009	117	0,000604	0,00017	a. B.	a. B.	a. B.	0,000723 +	0,00116 +

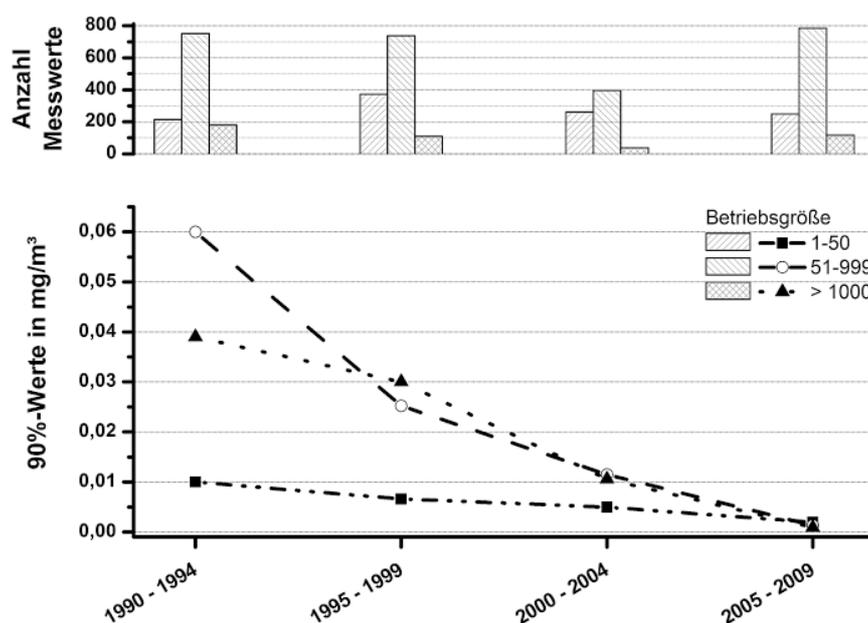


Bild 6. Gesamtentwicklung der Anzahl der Messwerte und 90%-Werte nach Betriebsgröße.

9 Selektion nach Betriebsgröße

Zum Abschluss zeigen **Bild 6** und **Tabelle 8** die 90-%-Werte, differenziert nach Betriebsgröße. Es ist erkennbar, dass höhere Expositionen vor 2005 vorwiegend ein Problem der großen und mittelgroßen Betriebe waren. Ab 2005 sind die Konzentrationsunterschiede der 90-%-Werte nur noch gering, das Arbeitsschutzniveau ist gegenwärtig auf vergleichbarem Stand.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die Expositionen gegenüber Cadmium und seinen Verbindungen am Arbeitsplatz um mehrere Größenordnungen reduziert haben. Ihren Anteil an der Verbesserung des Arbeitsschutz-niveaus haben sicherlich die technischen Empfehlungen für Schutzmaßnahmen des Ausschusses für Gefahrstoffe, die 1997 im BGIA-Handbuch in Form eines Sicherheitstech-

nischen Informations- und Arbeitsblatts beschrieben wurden [12].

Die Arbeitsbereiche Gießen/Schmelzen, Löten, Elektronikschrott-Recycling, insbesondere aber Nickel-Cadmium-Batterie-Herstellung, können das niedrigere Belastungsniveau der Übrigen derzeit nicht erreichen. Es bleibt abzuwarten, ob durch die bereits realisierten weiteren technischen Schutzmaßnahmen bei der Herstellung von Nickel-Cadmium-Batterien (z. B. Umstellung von Taschenplatten auf Faserstrukturelektroden) die Exposition reduziert werden kann. Maßnahmen, die im Elektronikschrott-Recycling zur Reduzierung der Cadmiumexpositionen beitragen können, sind in den BG/BGIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen – Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten – beschrieben [13].

Zu erwarten ist, dass der Ausschuss für Gefahrstoffe in absehbarer Zeit eine Exposition-Risiko-Beziehung für Cadmium und seine Verbindungen ableitet. Die sich daraus ergebenden Grenzkrisiken (Akzeptanz- und

Toleranzgrenzwerte) könnten es notwendig machen, die beruflich bedingten Luftkonzentrationen vom derzeitigen Stand aus weiter zu verringern (vgl. [14]). Das Erreichen niedrigerer Arbeitsplatzkonzentrationen ist an höhere Anforderungen an die technischen Schutzmaß-

nahmen gebunden. Darüber hinaus müssten die analytischen Bestimmungsmethoden weiter verfeinert werden, denn von den in den Jahren 2005 bis 2009 ermittelten Messwerten liegen fast 77 % unterhalb der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze.

Literatur

- [1] *Hollemann, F. A.; Wiberg, N.* (Hrsg.): Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 102. Aufl. Berlin: de Gruyter 2007.
- [2] GESTIS-Stoffdatenbank. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank
- [3] U.S. Geological Survey. <http://minerals.usgs.gov>
- [4] *Greim, H.* (Hrsg.): Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen) der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Cadmium und seine Verbindungen. 39. Lfg. Weinheim: Wiley-VCH 2004 – Losebl.-Ausg.
- [5] *Marquardt, H.; Schäfer, S. G.* (Hrsg.): Lehrbuch der Toxikologie. Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag 1994.
- [6] Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Bd. 58 (1993). <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol58/index.php>
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (Luftgrenzwerte) (TRGS 900). BArbBl. (2000) Nr. 10, in der Fassung vom Juli 2004. BArbBl. (2004) Nr. 7/8.
- [8] BGMG – Das Messsystem der UV-Träger zur Gefährdungsermittlung. 6. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2009.
- [9] *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.
- [10] Cadmium (-verbindungen). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Kennzahl 6502, 7. Lfg. IX/91. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.bgia-arbeitsmappedigital.de/6502
- [11] Dokumentation von Mess- und Betriebsdaten – Schlüsselverzeichnisse und Datensatzbeschreibungen. In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Sachgruppe 9. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989.
- [12] Cadmium an Arbeitsplätzen. In: BGIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Kennzahl 120 217, 29. Lfg. VII/97. 2. Aufl. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.bgia-handbuchdigital.de/120217
- [13] BIA/BG-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen. Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten. In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Kennzahl 1037, 29. Lfg. IX/2002. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.bgia-arbeitsmappedigital.de/1037
- [14] Krebsrisikozahlen. In: BGIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Kennzahl 120120, Lfg. 42 – XII/2002. 2. Aufl. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 2003. www.bgia-handbuchdgotal.de/120120

Herausgebermitteilungen

Aus der Arbeit der KRdL

VDI 3794 Blatt 1: Bestimmung von Immissions-Raten – Bestimmung der Immissions-Raten atmosphärischer Fluoride, Chloride und Schwefeloxide (SOx) mithilfe des IRMA-Verfahrens. Oktober 2010. Ersetzt den Entwurf von Oktober 2008. Erscheint in deutsch/englischer Fassung. € 53,20.

Werkstoffe sind verschiedenartigen Einflüssen aus der Umgebungsluft ausgesetzt. Dabei ist meist weniger die momentane Spurenstoffkonzentration als vielmehr die von der Flächeneinheit des Werkstoffs in einer Zeiteinheit aufgenommene Stoffmenge von Bedeutung. Die Richtlinie VDI 3794 stellt ein Verfahren zur Bestimmung der Immissions-Rate als Messgröße für den Zusammenhang von atmosphärischem Vorkommen und Wirkung eines Stoffs vor. Blatt 1 beschreibt

den Einsatz der Immissions-Raten-Mess-Apparatur (IRMA) zur Ermittlung von Immissions-Raten atmosphärischer Fluoride, Chloride und Schwefeloxide. Das Prinzip des Verfahrens beruht auf der Deposition atmosphärischer Spurenstoffe in eine geeignete Absorptionsflüssigkeit. Dabei dient die Flüssigkeitsoberfläche des Trägerkörpers der IRMA als Standardgrenzfläche. Die Gehalte der sich in einer festgelegten Zeit in der Absorptionslösung ansammelnden Depositionsprodukte werden auf diese Standardmessfläche bezogen, um daraus die Immissions-Rate in Masse pro Fläche und Zeit zu berechnen. Aufbau und Betrieb der IRMA werden ebenso dargelegt wie die Aufbereitung der gewonnenen Proben. Ergänzend nennt die Richtlinie mögliche Analysemethoden zur quantitativen Bestimmung der Gehalte von Fluoriden, Chloriden und Schwefeloxiden in den Proben. Durch Verbindung der Probenahme mit einem nachgeschalteten, definierten Analysenverfahren für die gewonnenen Proben wird die vorgestellte IRMA-Methode zu einem vollständigen Messverfahren.

Hrsg.: KRdL im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Vertrieb: Beuth Verlag, 10772 Berlin