

# Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebs- erzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungs- gefährdenden Substanzen in Deutschland

## Teil 2: Stoffe mit ERB nach BekGS 910<sup>1)</sup>

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

**Zusammenfassung** Mit dem Risikokzept für krebs-erzeugende Gefahrstoffe, das in der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 910 veröffentlicht wurde, ist eine Systematik gegeben, nach der sich Gefährdungen durch Expositionen an Arbeitsplätzen beurteilen lassen. Als Beurteilungsmaßstäbe dienen stoffspezifische Akzeptanz- bzw. Toleranzkonzentrationen, denen ein bestimmtes Risiko zugeordnet ist, bei einer entsprechenden arbeitstäglichen Exposition an einem arbeitsbedingten Krebs zu erkranken. Durch einen Vergleich dieser Konzentrationswerte mit Daten der Expositionsdatenbank MEGA des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) können Arbeitsplätze identifiziert werden, an denen die Beschäftigten entsprechend dem Risikokzept einem höheren als dem akzeptierten Risiko ausgesetzt sind, an einem berufsbedingten Krebsleiden zu erkranken. Dies gilt für Expositionen gegenüber Aluminiumsilikat-Fasern, Benzo[a]pyren, Ethylenoxid und Trichlorethen. Für Acrylamid und Acrylnitril können aufgrund der vorliegenden Expositionsdaten keine Hinweise auf erhöhte Risiken für Beschäftigte abgeleitet werden.

### Work-related exposure to carcinogenic, mutagenic and reprotoxic substances in Germany – Part 2: Substances with exposure-risk relationships according to BekGS 910

**Abstract** The risk strategy for carcinogenic hazardous substances published in the German Announcement on Hazardous Substances BekGS 910 entails a system for assessing hazards due to exposure at the workplace. The assessment yardsticks are substance-specific acceptance or tolerance concentrations to which a certain risk of contracting work-related cancer as a result of exposure on a day-to-day basis at work is assigned. By comparing these concentration values with data from the MEGA exposure database of the MGU measurement system for risk assessment of the social accident insurance institutions, it is possible to identify workplaces at which, according to this risk strategy, employees are exposed to a higher than the accepted risk of contracting occupationally induced cancer. This applies to exposure to aluminium silicate fibres, benzo[a]pyrene, ethylene oxide and trichloroethene. For acrylamide and acrylonitrile, no indication of elevated risks to employees can be deduced from the existing exposure data.

Dr. rer. nat. Marco Steinhausen,

Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder, Stefan Gabriel,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

### 1 Das Risikokzept für krebs-erzeugende Gefahrstoffe und Exposition-Risiko-Beziehungen

Der Arbeitgeber ist per Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) verpflichtet, „Gefährdungen der Gesundheit und der Sicherheit der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen auszuschließen“ oder aber „auf ein Minimum zu reduzieren“ (§7, (4)). Sofern ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) vorliegt, kann dieser bei der Beurteilung von Gefährdungen durch einen Gefahrstoff als Anhaltspunkt herangezogen werden. Die GefStoffV definiert einen AGW als die Luftkonzentration eines Stoffes am Arbeitsplatz, bei deren Unterschreitung „akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht zu erwarten sind“.

Für krebs-erzeugende Gefahrstoffe mit genotoxischem Wirkmechanismus ist es jedoch in der Regel nicht möglich, einen arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Schwellenwert abzuleiten, der als Basis für einen AGW dienen könnte. Hilfsweise wurden für diese Stoffe höchstzulässige Expositionskonzentrationen festgelegt, die mithilfe technischer Minimierungsmaßnahmen als realisierbar erachtet wurden (Technische Richtkonzentrationen – TRK). Seit der Novelle der GefStoffV 2005 ist dies jedoch nicht mehr zulässig, da Grenzwerte grundsätzlich auf gesundheitsbasierte Überlegungen zurückgeführt werden müssen. Demzufolge besteht die dringende Notwendigkeit, ein Beurteilungssystem für krebs-erzeugende Stoffe am Arbeitsplatz zu begründen, das die entstandene Regulierungslücke schließt. Mit diesem Anliegen entwickelte der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) das Risikokzept, das – sofern es sich in der Praxis bewährt – in die GefStoffV integriert werden soll [1].

Neu daran ist die Orientierung der erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten an deren zusätzlichem Risiko, bei einer gegebenen arbeitstäglichen Exposition durch den betreffenden krebs-erzeugenden Stoff an einem arbeitsbedingten Krebs zu erkranken. Eckpunkte dieses Konzeptes sind zwei Risikogrenzen: das Akzeptanzrisiko von 4 : 10 000 (voraussichtlich 2018 Absenkung auf 4 : 100 000<sup>2)</sup>), unterhalb dessen ein Risiko akzeptiert wird (niedriges Risiko), sowie das Toleranzrisiko von 4 : 1 000<sup>2)</sup>, oberhalb dessen ein Risiko nicht tolerabel ist (hohes Risiko). Diese beiden Risikogrenzen schließen einen Bereich mittleren Risikos ein, der toleriert wird, wobei aber die Gefährdung mithilfe eines Maßnahmenkatalogs verringert werden muss. Zur Umsetzung dieses Konzeptes sind für die einzelnen krebs-erzeugenden Stoffe die Luftkonzentrationen (stoffspezifische Konzentrationswerte) zu ermitteln, die den beiden o. g. Risikogrenzen entsprechen und die demgemäß als Akzeptanz- bzw. Toleranzkonzentration bezeichnet werden.

<sup>1)</sup> Teil 1: Steinhausen, M.; Van Gelder, R.; Gabriel, S.: Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber krebs-erzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Substanzen in Deutschland – Teil 1: Cadmium und seine Verbindungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 1/2, S. 47-56.

<sup>2)</sup> Statistische Wahrscheinlichkeiten: vier zusätzliche Krebserkrankungen pro 1 000, 10 000 bzw. 100 000 Beschäftigte bei einer 40-jährigen arbeitstäglichen Exposition.

Tabelle 1. Messungen 2000 bis 2010 mit Verteilung auf die Risikobereiche.

	Acrylamid	Acrylnitril	Aluminiumsilikat-Fasern	Benzo[a]pyren	1,3-Butadien	Ethylenoxid	4,4'-Methylen dianilin	Trichlorethen
Anzahl der Messwerte gesamt	75	337	774	2 193	257	223	97	624
Anzahl der Messwerte mit hohem Risiko (Messwert > Toleranzkonzentration) in %	0	0	38,6	20	0	21,5	0	40,5
Anzahl der Messwerte mit mittlerem Risiko (Toleranzkonzentration ≥ Messwert > Akzeptanzkonzentration) in %	0	0,3	31,9	11,8	0,4	35	2,1	9,9
Anzahl der Messwerte mit niedrigem Risiko (Messwert ≤ Akzeptanzkonzentration) in %	98,7	92,9	18	6,2	0	25,6	97,9	45,7
Nicht zuzuordnende Messwerte in %	1,3	6,8	11,5	62	99,6	17,9	0	3,9

Möglich ist dies, wie in der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 910 (BekGS 910) beschrieben, durch die Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) [2]. Grundlage der Ableitungen können Humandaten aus epidemiologischen Studien oder Tierversuchen sein. Für einige Stoffe erarbeitete der AGS bereits ERB und veröffentlichte die zugehörigen stoffspezifischen Konzentrationswerte in der BekGS 910 [3]. Im Folgenden findet sich eine Gegenüberstellung der Toleranzkonzentrationen bzw. Akzeptanzkonzentrationen einiger dieser Stoffe mit Expositionsdaten des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU). Ausgewertet wurden Expositionsdaten aus den Jahren 2000 bis 2010. Im Folgenden werden die Akzeptanzkonzentrationen mit AK I (4 : 10 000) bzw. AK II (4 : 100 000, Zielwert 2018) abgekürzt, die Toleranzkonzentration mit TK. Ohne weitere Spezifizierungen beziehen sich die Begriffe Akzeptanzkonzentration, Akzeptanzrisiko bzw. mittleres Risiko auf die aktuell anzuwendende Risikogrenze von 4 : 10 000.

**1.1 Ermittlung, Dokumentation und Auswertung von Expositionen**

Die Ermittlung und Dokumentation der nachfolgend ausgewerteten Messdaten von Expositionen am Arbeitsplatz erfolgte nach den Kriterien des MGU [4]. Das MGU ist ein arbeitsteiliges Messsystem, in dem die Unfallversicherungs(UV)-Träger und das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Qualitätsgesichert seit gut vier Jahrzehnten zusammenarbeiten. Ein Qualitätsmanagementsystem, das im Wesentlichen die Anforderungen der DIN EN ISO 9001 umsetzt, stellt den Standard des MGU sicher. Die Prüflaboratorien werden gemäß DIN EN ISO 17025 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ betrieben. Beschreibungen der Messverfahren finden sich in [5]. 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 Identifikation eines Betriebes oder UV-Trägers unmöglich ist. Andernfalls bleiben die betroffenen Messwerte unberücksichtigt.

Alle im MGU erhobenen Daten werden in der Expositionsdatenbank MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) zusammengeführt. Falls die analytische Bestimmungsgrenze (a. B.) des angewandten Messverfahrens bei Einzelwerten unterschritten ist, wird die Hälfte des Wertes bei der statistischen Auswertung berücksichtigt. Die vom IFA entwickelte MEGA<sup>Pro</sup>-Software erlaubt die statistische Auswertung des Datenbestandes der Expositionsdatenbank MEGA nach unterschiedlichen Selektionskriterien und Auswertestrategien. Datenkollektive können z. B. nach Branchenzugehörigkeit oder Arbeitsbereichen differenziert werden. Es ist zweckmäßig, vergleichbare Branchen oder Arbeitsbereiche in Gruppen (Kollektiven) zusammenzufassen. Die Software ermöglicht die Berechnung einer Vielzahl verschiedener Kennwerte der einzelnen Kollektive. Im Folgenden werden Mittelwerte sowie 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 als Messwerte durch diesen Summenhäufigkeitswert (x-%-Wert) repräsentiert werden, wird „a. B.“ anstelle des entsprechenden Wertes angegeben. Ausgewertet werden nur Kollektive mit mindestens zehn Messwerten aus zumindest fünf verschiedenen Betrieben.

**2 Stoffe mit Akzeptanz- und Toleranzkonzentration**

Für neun Stoffe liegen zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Publikation Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen in der BekGS 910 vor. Diese sollen nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 400 Nummer 6.4 Absatz 5 als Beurteilungsmaßstäbe für die Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden. **Tabelle 1** gibt für acht dieser Stoffe die Anzahl der Arbeitsplatzmesswerte mit Expositionsbezug (Schichtmittelwerte, tätigkeitsbezogene Werte oder Kurzzeitwerte, Expositionsspitzen) für den Datenzeitraum 2000 bis 2010 wieder, die in der Datenbank MEGA dokumentiert sind. Außerdem zeigt sie die prozentuale Verteilung dieser Messwerte auf die Bereiche niedriges, mittleres (hellgraue Schattierung) und hohes Risiko (dunkelgraue Schattierung). Messwerte, die unterhalb der jeweiligen analytischen

Tabelle 2. Datenlage zu Aluminiumsilikat-Fasern.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>
<b>Schichtbezug: Expositionsdauer ≥ 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 7,985 Stunden)</b>								
Gesamt	636	133	377 710	46 200	35 000 +	215 700	897 600	1 563 520
Stationäre Probenahme	319	90	154 675	22 005	14 700 +	76 500	313 600	645 900
Personengetragene Probenahme	317	43	602 153	97 450	95 550	494 125	1 310 650	3 068 385
Erfassung vorhanden	289	43	572 064	80 881	80 000	381 475	1 140 200	3 178 745
Erfassung nicht vorhanden	285	72	206 684	30 010	18 650 +	115 000	582 000	1 087 500
<b>Kein Schichtbezug: Expositionsdauer &lt; 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 2,432 Stunden)</b>								
Gesamt	137	10	443 988	103 854	105 450 +	381 750	1 230 000	1 760 000

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) im Datenkollektiv.

! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (a. B.) ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Perzentilwert

Bestimmungsgrenze liegen und deren analytische Bestimmungsgrenze größer als die Akzeptanzkonzentration ist, können keinem Risikobereich zugeordnet werden. Der Anteil dieser Messwerte ist ebenfalls angegeben [6].

Stoffe, die einen hohen Anteil der Messwerte mit Expositionen oberhalb der Akzeptanzkonzentration aufweisen, sind Aluminiumsilikat-Fasern, Benzo[a]pyren, Ethylenoxid und Trichlorethen. Für sie erfolgen weiterreichende Auswertungen, wobei je nach Datenlage nach Expositionsdauer, Branchen und Arbeitsbereichen, Art der Probenahme und Vorhandensein einer Erfassungseinrichtung (Absaugung) differenziert wird. In der tabellarischen Darstellung sind Perzentile, die im Bereich mittleren bzw. hohen Risikos liegen, mit hellgrauer bzw. dunkelgrauer Farbe hinterlegt. Für Acrylamid, Acrylnitril, 1,5-Butadien und 4,4'-Methyldianilin liegen nur wenige Messdaten oberhalb der Akzeptanzkonzentration vor oder die Datenlage ist nicht ausreichend. Daher erfolgt in diesen Fällen lediglich eine Auflistung der bemessenen Branchen und Arbeitsbereiche. Eine kurze Beschreibung der gesundheitsgefährdenden Wirkungen des jeweiligen krebserzeugenden Gefahrstoffes mit den stoffspezifischen Konzentrationen (Toleranzkonzentration, Akzeptanzkonzentration) ist den Auswertungen der Expositionsdaten vorangestellt [3]. Die zitierten TRK-Werte sind nachzulesen in der TRGS 900 der Version von 2004 [7]. Die zugehörigen GHS-Einstufungen finden sich in der GESTIS-Stoffdatenbank [8].

Expositionsdaten für Asbest, der ebenfalls in der BekGS 910 aufgelistet ist, wurden im BK-Report Faserjahre veröffentlicht und sind daher nicht Gegenstand dieser Veröffentlichung [9]. Für N-Vinylpyrrolidon liegen keine Messdaten in der Datenbank MEGA vor.

### 3 Aluminiumsilikat-Fasern

#### 3.1 Krebserzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Für Aluminiumsilikat-Fasern wurde sowohl die mesotheliom- als auch die lungenkrebserzeugende Wirkung im Tierversuch an Ratten nachgewiesen. Aussagekräftige epidemiologische Daten zur kanzerogenen Potenz liegen sowohl für Aluminiumsilikat-Fasern als auch generell für künstliche Mineralfasern nicht vor. Zur Ableitung einer ERB wurden daher die Unterschiede der Wirkpotenzen im Tierversuch zwischen Aluminiumsilikat-Fasern und Asbest in Form eines Faktors berechnet. Mit diesem Faktor lassen sich

die Risikogrenzen von Aluminiumsilikat-Fasern aus dem epidemiologisch ermittelten Risiko bei Asbestfasern ableiten. Diese Vorgehensweise ist gerechtfertigt, da sich die Kanzerogenität von Fasern im Wesentlichen auf ihre Morphologie und Biobeständigkeit zurückführen lässt.

Aus der ERB folgt, dass bei Expositionen von über 10 000 Fasern/m<sup>3</sup> bzw. 1 000 Fasern/m<sup>3</sup> das Akzeptanzrisiko (AK I bzw. AK II), bei über 100 000 Fasern/m<sup>3</sup> auch das Toleranzrisiko überschritten wird. Für anorganische Faserstäube existierte eine Expositionsobergrenze in Form eines TRK-Werts von 250 000 F/m<sup>3</sup> [3].

#### 3.2 Expositionen

##### 3.2.1 Datenlage

Von den vorliegenden 636 Messwerten mit Schichtbezug zu Expositionen von Aluminiumsilikat-Fasern liegen mehr als ein Drittel oberhalb der Toleranzkonzentration von 100 000 Fasern/m<sup>3</sup>. Betrachtet man nur die Werte mit personengetragener Probenahme, so gilt dies für annähernd 50 % der Messwerte. Der 95-%-Wert überschreitet die Toleranzkonzentration um das 30-Fache. Bei der Differenzierung des Datenbestands nach Arbeitsplätzen mit oder ohne Erfassungseinrichtungen fällt auf, dass die Expositionen im erstgenannten Fall deutlich höher sind. Dies ist oft zu beobachten, da Erfassungseinrichtungen *per se* dort eingesetzt werden, wo man mit höheren Belastungen rechnet. Auch wenn sich Risikoabschätzungen nach dem Risikokonzept auf Expositionen bei arbeitstäglichem, achtstündiger Belastung beziehen, müssen Messungen mit kürzeren Expositionsdauern beachtet werden. In MEGA sind für den betrachteten Datenzeitraum 137 Messungen ohne Schichtbezug dokumentiert. Bei Zugrundelegung einer kumulierenden krebserzeugenden Wirkung ist davon auszugehen, dass die Beschäftigten bei Faserkonzentrationen in Höhe des 75-%-Werts von über 380 000 Fasern/m<sup>3</sup> und einer mittleren Expositionsdauer von 2,4 Stunden ebenfalls einem hohen Risiko ausgesetzt sind. Dies kann z. B. Arbeitsplätze im Ofenbau, in Walzwerken oder Stahlgießereien betreffen. Ein als Expositionsspitze dokumentierter Messwert fließt nicht in die Auswertung mit ein. Eine Übersicht zur Datenlage findet sich in **Tabelle 2**.

##### 3.2.2 Branchen und Arbeitsbereiche

Die weiteren Auswertungen nach Branchen- und Arbeitsbereichsgruppen behandeln ausschließlich Messwerte mit

Tabelle 3. Aluminiumsilikat-Fasern – Branchengruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	50%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	75%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	90%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	95%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>
Faserherstellung und -verarbeitung	102	6	374349	85454	68600	323000	793080	1082240
Metallbearbeitung und Maschinenbau	151	59	91513	16985	8850 +	42650 +	214500	458600
Metallerzeugung	91	12	519623	112343	103500	752500	1290000	2515860
Stein- und keramische Industrie	52	11	114558	27424	24000	71000	243600	450800

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Tabelle 4. Aluminiumsilikat-Fasern – Arbeitsbereichsgruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in Fasern/m <sup>3</sup>	50%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	75%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	90%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>	95%-Wert in Fasern/m <sup>3</sup>
Fräsen	36	0	1248867	310307	215000	718100	4833880	6306740
Gießerei, Schmelzerei	44	6	410016	49922	35000	384000	1100000	1860000
Öfen	94	25	95414	19347	11800 +	64500	277200	454100
Reinigung, Reparatur und Wartung	40	3	229620	85048	100000	253100	411000	862600
Sägen	49	0	1549604	652652	803350	1475375	4114080	6907605
Schleifen	14	4	204111	93125	147100	316250	426700	478860
Sonstige Verfahren, Glühen, Vergüten, Anlassen	37	20	77201	12356	a. B. !	23750	305100	429300
Stanzen, Schneiden	44	3	336355	93055	67700	293000	778200	1037920
Verkleidungen, Isolierungen entfernen oder anbringen	56	8	401759	64540	56300	266000	1140000	2506160
Übrige Arbeitsbereichsgruppen	80	28	109786	23185	14700 +	85300	259000	400000

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Schichtbezug und sind in den **Tabellen 3** und **4** dargestellt. Die 95%-Werte der in Tabelle 4 genannten Branchengruppen überschreiten die Toleranzkonzentration um das 4,5- bis 25-Fache, alle 90%-Werte liegen im Bereich hohen Risikos. Bei der Faserherstellung und -verarbeitung sowie der Metallerzeugung (Walzwerke, Gießereien) gilt dies bereits für die 75%-Werte. Tabelle 4 zeigt Arbeitsbereichsgruppen mit besonders hohen Expositionen, wobei die 75%-Werte überwiegend im Bereich hohen Risikos liegen. Vielfach handelt es sich um mechanische Tätigkeiten (Fräsen oder Sägen im Bauwesen oder in der Faserindustrie, Stanzen und Schneiden im Bauwesen oder der Stein- und keramischen Industrie). Die 95%-Werte überschreiten die Toleranzkonzentration um das Vier- bis 70-Fache.

## 4 Benzo[a]pyren

### 4.1 Krebserzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Benzo[a]pyren (B[a]P) gehört zur Stoffgruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Es entsteht bei unvollständiger Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Verbindungen stets als eine Komponente eines komplexen Gemischs verschiedenster PAK. Zu den PAK zählen mehrere hundert Einzelverbindungen. Die krebserzeugende Wirkung dieser Gemische wird vorrangig den verschiedenen polycyclischen Aromaten aus vier bis sieben Ringen zuge-

schrieben. B[a]P als ein stark kanzerogener Vertreter dieser PAK diente bei der Risikoquantifizierung als Leitsubstanz. Die für B[a]P abgeleitete ERB bezieht sich folglich auf „Gesamt-PAK“, wobei ein PAK-Gemisch mit einer Zusammensetzung ähnlich Kokerei-, Gaswerk- und Aluminiumhüttenemissionen zugrunde gelegt wurde. PAK sind – ebenso wie B[a]P – ubiquitär nachweisbar, wobei die Immissionen oft in der Größenordnung des Zielwertes der Akzeptanzkonzentration 4 : 100 000 (Zielwert 2018) liegen.

Epidemiologische Befunde zeigen einen klaren Zusammenhang zwischen beruflicher B[a]P- bzw. PAK-Belastung und dem Auftreten von Lungenkrebs. Darüber hinaus existieren Hinweise darauf, dass Exponierte einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, an Harnblasen- und Hauttumoren zu erkranken. Aber auch für das Auftreten anderer Tumorarten wird ein Zusammenhang mit beruflicher B[a]P- bzw. PAK-Belastung vermutet. B[a]P wird – wie alle PAK – inhalativ, dermal und über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen. Aus der sich auf die Inzidenz für Lungenkrebs stützenden ERB berechnet sich die Toleranzkonzentration (4 : 1 000) zu 700 ng/m<sup>3</sup>, die Akzeptanzkonzentration AK I (4 : 10 000) zu 70 ng/m<sup>3</sup> bzw. AK II (4 : 100 000) zu 7 ng/m<sup>3</sup>. Dies bedeutet eine deutliche Absenkung der angestrebten Expositionshöchstmengen im Vergleich zu dem ausgesetzten TRK-Wert von 5 µg/m<sup>3</sup> (bei Stangpechherstellung und -verladung, Ofenbereich von Kokereien) und 2 µg/m<sup>3</sup> im Übrigen [3].

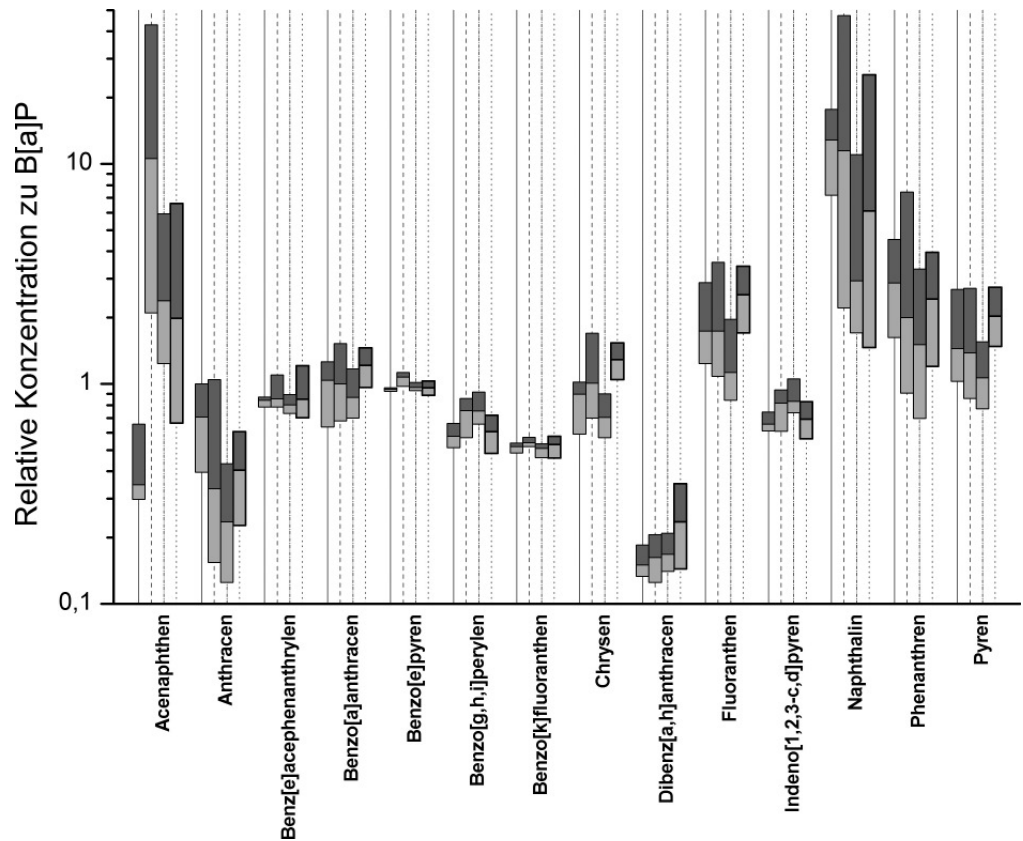


Allerdings war – und ist – über die TRGS 551 ein striktes Atemschutzgeräte-Trage-regime an kritischen Arbeitsbereichen zwingend vorgeschrieben [10].

**4.2 Anwendung der ERB von B[a]P**

Die Gesamt-Kanzerogenität von B[a]P-haltigen PAK-Expositionen ist nicht nur abhängig von den Konzentrationen, sondern auch von den kanzerogenen Wirkstärken der Einzelkomponenten. So geht man bei Acenaphthen, Naphthalin, Phenanthren oder Pyren von einer vielfach geringeren Wirkstärke im Vergleich zu B[a]P aus. Dagegen werden einzelne Dibenzopyrene als zehnfach stärker krebserzeugend angesehen [11]. Daher können schon geringe Konzentrationschwankungen gerade dieser stark wirksamen Substanzen das Gefährdungspotenzial deutlich beeinflussen.

Im MGU werden derzeit 16 PAK standardmäßig auf einem Probenträger erfasst. So lässt sich für jede Probenahme die relative Verteilung der einzelnen PAK im Vergleich zur Leitkomponente B[a]P berechnen (sofern die Messwerte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen). Im Bild sind die 25-, 50- und 75-%-Werte der Konzentrationen der gemessenen PAK<sup>3)</sup> als Vielfache der jeweils auf dem gleichen Probenträger ermittelten B[a]P-Konzentrationen dargestellt. Die Auswertung erfolgte getrennt für Kokereiemissionen (durchgezogene vertikale Hilfslinien) sowie für die Messungen aus den drei Branchengruppen Bauwesen (Punkte), Elektrotechnik/Feinmechanik/Optik (Punkt-Strich) und Stein- und keramische Industrie (kurze Striche). Es ist zu erkennen, dass für viele PAK das Verhältnis der jeweiligen Luftkonzentrationen in Relation zu den gleichzeitig gemessenen B[a]P-Konzentrationen der unterschiedlichen



Verteilung der PAK-Konzentrationen im Vergleich zu B[a]P.

Branchen in ähnlichen Größenordnungen liegen. Am größten sind dabei die Spannbreiten für Stoffe mit eher geringerer Wirkpotenz (Acenaphthen, Naphthalin, Phenanthren, Pyren). Für Kokereiemissionen lässt sich feststellen, dass bei gegebener B[a]P-Konzentration der zusätzliche Gehalt der Expositionen an anderen PAK oft vergleichbar oder eher niedriger ist als in anderen Branchen. Folglich lassen sich die vorliegenden Daten keinesfalls dahingehend interpretieren, dass bei der Anwendung von B[a]P als Leitkomponente zur Beurteilung von PAK-Expositionen anderer Branchen als Kokereien, Gaswerken und Aluminiumhütten das Risiko für die dort tätigen Beschäftigten überbewertet wird.

**4.3 Expositionen**

**4.3.1 Datenlage**

Den folgenden Expositionsbeschreibungen (Tabelle 5) liegen von den insgesamt 2 193 Messwerten des ausgewerteten Datenzeitraums 2 021 Messwerte mit Schichtbezug zugrunde, die mittlere Expositionsdauer an den bemessenen Arbeitsplätzen beträgt 7,99 Stunden. 662 Messwerte liegen

<sup>3)</sup> Für Acenaphthylen liegen zu wenige Werte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze vor.

Tabelle 5. Datenlage zu B[a]P.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>
Gesamt	2021	1359	4130	182	a.B. !	360 +	2700	11500
Stationäre Probenahme	1282	1007	3500	116	a.B. !	a.B. !	898	2790
Personengetragene Probenahme	739	352	5230	400	200 +	1380	7710	23700
Erfassung vorhanden	733	440	1750	214	a.B. !	638 +	2370	5500
Erfassung nicht vorhanden	718	503	4990	184	a.B. !	295 +	5060	23400

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Tabelle 6. B[a]P – Branchengruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in ng/m <sup>3</sup>
Abfallentsorgung und Gebäudereinigung	145	114	608	74,2	a. B. !	a. B. !	385 +	1 450
Bauwesen	319	110	22 100	1 100	885	15 800	47 300	89 400
Chemische Industrie	48	40	270	103	a. B. !	a. B. !	276 +	544 +
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	198	54	1 890	603	720	1 790	5 180	6 540
Energiegewinnung	65	28	1 780	428	440 +	1 210	5 320	7 400
Glas	50	50	79,4	78,2	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Gummiherstellung	21	21	89,8	71,5	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Holz und Papier	37	34	180	81,6	a. B. !	a. B. !	a. B. !	270
Kunststoffindustrie	28	27	78,9	75,2	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Metallbearbeitung und Maschinenbau	363	346	830	80,7	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Metallerzeugung	261	202	724	113	a. B. !	a. B. !	449	1 400
Schifffahrt	73	73	55,9	38,2	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Stein- und keramische Industrie	338	189	622	190	a. B. !	465	1 600	2 500
Transport	109	107	62,1	45	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !

Erläuterungen siehe Tabelle 2

oberhalb der a. B., 246 davon (entsprechend 12 %) im Bereich mittleren und 414 (20 %) im Bereich hohen Risikos. Nur 132 Messwerte können eindeutig Expositionen niedrigen Risikos zugeordnet werden. 1 359 Messwerte überschreiten die jeweilige analytische Bestimmungsgrenze nicht, wobei diese meist größer ist als die Akzeptanzkonzentration (91 % der Messwerte < a. B.; in nur fünf Fällen ist die a. B. auch größer als die Toleranzkonzentration). Daher wird der tatsächliche Anteil der Expositionen mit mittlerem Risiko deutlich höher liegen. Keinesfalls sollte demzufolge bei Kollektiven, deren statistische Kenngrößen aufgrund des hohen Anteils von Messwerten unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze nicht ausgewiesen werden, generell von einem unbedenklichen Expositionsniveau ausgegangen werden.

Der 90-%-Wert der Gesamtheit der Messungen zu B[a]P-Expositionen liegt mit 2 700 ng/m<sup>3</sup> deutlich oberhalb der Toleranzkonzentration von 700 ng/m<sup>3</sup>. Der 75-%-Wert überschreitet die Akzeptanzkonzentration von 70 ng/m<sup>3</sup> um mehr als das Fünffache. Betrachtet man nur die Messungen mit personengetragenen Probenahmen, so liegt auch schon der 50-%-Wert mit 200 ng/m<sup>3</sup> im Bereich mittleren Risikos.

#### 4.3.2 Branchen

In zahlreichen Branchengruppen konnten Expositionen ermittelt werden, die statistische Kenngrößen im Bereich hohen Risikos aufweisen (Tabelle 6). Die 50-%-Werte der Messungen im Bauwesen und in der Branchengruppe Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik liegen oberhalb der Toleranzkonzentration. In der Abfallentsorgung und Gebäudereinigung, der Energiegewinnung, der Metallerzeugung sowie der Stein- und keramischen Industrie gilt dies noch mindestens für den 95-%-Wert. Schwerpunktmäßig fallen Expositionen mittleren und hohen Risikos in folgende Branchen: Arbeiten in kontaminierten Bereichen (Abfallentsorgung und Gebäudereinigung), Sanierungen, Korrosionsschutz, Feuerungs- und Industrieofenbau (Bauwesen), allgemeine

Arbeitsbereiche Elektrotechnik (Branchengruppe Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik), Kokereien (Energiegewinnung), Aluminiumhütten, E-Stahlwerke und Eisengießereien (Metallerzeugung) sowie Herstellung von feuerfesten Waren (Stein- und keramische Industrie).

#### 4.3.3 Arbeitsbereiche

In Tabelle 7 sind Arbeitsbereichsgruppen dargestellt, die sich aus den vorliegenden Expositionsdaten bilden lassen. Wenn möglich, wurden diese Gruppen noch auf personengetragene Messungen zurückgeführt, die meist höhere Messwerte aufweisen als das Kollektiv ohne diese Selektion. Es zeigt sich, dass vielfach Arbeitsplätze mit einem erhöhten Gesundheitsrisiko mechanische Tätigkeiten betreffen: Strahlen (verschiedene Methoden) im Korrosionsschutz, Fräsen im Straßenbau, Stemmen und Meißeln bei Sanierungsarbeiten oder Mischen und Pressen bei der Herstellung von Elektrokohle und feuerfesten Waren. Dies trifft ebenso zu für die Gruppen Sanierung, Altlasten sowie Bau, diverse Arbeiten. Messwerte oberhalb der Akzeptanzkonzentration der Gruppe Steuer-/Bedienstand stammen überwiegend aus Kokereien. Derzeit werden die Expositionen in deutschen Kokereien in einem Messprogramm überprüft, um daraus Präventionsmaßnahmen abzuleiten.

## 5 Ethylenoxid

### 5.1 Krebs erzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Nach inhalativer Aufnahme wird Ethylenoxid im Körper gut verteilt. Daher besteht der Verdacht, dass es aufgrund seiner genotoxischen Eigenschaften in einer Vielzahl von Geweben eine kanzerogene Wirkung entfalten kann. Der Ableitung der ERB wurde die Bildung von Lungentumoren im Tierversuch an Mäusen zugrunde gelegt. Auch das Auftreten von Hirntumoren bei Ratten nach inhalativer Gabe wird als relevant für den Menschen angesehen. Das Toleranzrisiko (4 : 1 000) liegt bei TK = 2 mg/m<sup>3</sup> (= 1,1 ppm), das Akzeptanz-

Tabelle 7. B[a]P – Arbeitsbereichsgruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in ng/m <sup>3</sup>	50%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	75%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	90%-Wert in ng/m <sup>3</sup>	95%-Wert in ng/m <sup>3</sup>
	104	76	3 210	103	a. B. !	140 +	3 570	11 100
Altlasten, Sanierung (personengetragene Probenahme)	24	7	12 800	1 310	700	7 160	47 700	65 900
Bau, diverse Arbeiten	25	3	8 680	1 610	2 010	7 310	24 400	38 500
Fertigmachen zum Brand	56	12	1 400	543	730	1 400	2 600	3 760
Fräsen	36	19	2 420	192	a. B. !	490	6 140	11 200
Fräsen (personengetragene Probenahme)	11	7	5 960	351	a. B. !	2 140	23 300	28 200
Gießen, Schmelzen	150	128	1 040	104	a. B. !	a. B. !	180 +	1 430
Gießen, Schmelzen (personengetragene Probenahme)	30	22	3 940	185	a. B. !	110 +	4 570	6 260
Härterei	31	31	68,9	65,3	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Mischen	104	22	2 350	659	680	2 520	5 440	7 980
Mischen (personengetragene Probenahme)	69	3	3 330	1 340	1 280	3 960	6 440	10 400
Montage	23	21	66,7	60,8	a. B. !	a. B. !	a. B. !	149 +
Öfen	49	38	307	117	a. B. !	a. B. !	793	1 090
Öfen (personengetragene Probenahme)	23	15	493	148	a. B. !	295	1 090	1 950
Pressen	190	94	770	257	150 +	905	2 400	4 110
Pressen (personengetragene Probenahme)	96	23	1 280	560	770	1 300	3 700	5 010
Reinigen	20	15	1 090	271	a. B. !	670 +	2 700	5 580
Reinigen (personengetragene Probenahme)	12	9	892	278	a. B. !	670 +	1 750	3 340
Schmieden	26	21	190	108	a. B. !	a. B. !	388	682
Schweißen	99	99	70,4	67	a. B. !	a. B. !	a. B. !	a. B. !
Stemmen, Meißeln	37	2	10 400	1 960	1 290	15 700	34 200	37 700
Stemmen, Meißeln (personengetragene Probenahme)	28	2	12 000	2 320	1 430	16 900	35 100	40 500
Steuer-/Bedienungsstand	45	21	1 400	354	320 +	1 070	3 640	5 360
Steuer-/Bedienungsstand (personengetragene Probenahme)	32	8	1 930	636	690	1 300	4 960	5 440
Strahlen	100	13	59 600	6 940	19 400	58 500	141 000	300 000
Strahlen (personengetragene Probenahme)	44	10	43 100	3 510	2 500	33 300	86 400	127 000

Erläuterungen siehe Tabelle 2

risiko bei AK I = 0,2 mg/m<sup>5</sup> (= 0,11 ppm) bzw. AK II = 0,02 mg/m<sup>5</sup> (= 0,01 ppm). Wie die Toleranzkonzentration lag auch der TRK-Wert von 2004 bei 2 mg/m<sup>5</sup> [3].

## 5.2 Expositionen

### 5.2.1 Datenlage

Bei Expositionen von Ethylenoxid sind sowohl Messungen mit als auch ohne Schichtbezug von Bedeutung (**Tabelle 8**).

Tabelle 8. Datenlage zu Ethylenoxid.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetische Mittel in mg/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
<b>Schichtbezug: Expositionsdauer ≥ 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 8,083 Stunden)</b>								
Gesamt	144	55	3,351	0,479	0,4	1	4	8
Stationäre Probenahme	82	25	2,234	0,533	0,4	1,25	4	7,8
Personengetragene Probenahme	62	30	4,83	0,416	0,3	0,9	2,48	8,18
<b>Kein Schichtbezug: Expositionsdauer &lt; 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 1,465 Stunden)</b>								
Gesamt	76	30	12,292	1,282	1	3	9,76	28,8

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Tabelle 9. Ethylenoxid – Branchen- und Arbeitsbereichsgruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetische Mittel in mg/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
<b>Branchengruppen</b>								
Chemische Industrie	79	31	3,765	0,418	0,35	0,8	2,61	6
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	25	3	3,84	1,0464	1	2,3	4,25	24,375
<b>Arbeitsbereichsgruppen</b>								
Lager	47	11	3,0429	0,885	1	2,6	6,6	8
Sterilisieren, Desinfizieren	41	14	6,485	0,584	0,45	0,875	2,63	5,86

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Insgesamt liegen 144 Werte mit Schichtbezug und einer mittleren Expositionsdauer von ca. 8 Stunden vor, wobei stationäre und personengetragene Probenahme nicht allzu deutlich differierende Messergebnisse liefern. Schon die 50-%-Werte liegen oberhalb der Akzeptanzkonzentration, die 90-%-Werte (je nach Probenahmeart zwischen 2,5 und 4 mg/m<sup>3</sup>) weisen auf Expositionen im Bereich hohen Risikos hin. Im Vergleich dazu zeigt die Auswertung der 76 Messdaten ohne Schichtbezug, deren mittlere Expositionsdauer bei etwa 1,5 Stunden liegt, dass die %-Werte insgesamt höher sind und die Toleranzkonzentration oftmals um das Vielfache überschritten wird. So beträgt der 90-%-Wert nahezu 10 mg/m<sup>3</sup>. Luftkonzentrationen von Ethylenoxid in dieser Größenordnung können auch bei kurzen Expositionsdauern ein hohes Risiko darstellen. In den zugehörigen Arbeitsbereichen wird Ethylenoxid zur Sterilisation eingesetzt oder z. B. in Lagern aus Produkten (medizinische Geräte) freigesetzt, die zuvor andernorts ebenfalls zur Sterilisation begast wurden. Drei als Expositionsspitzen dokumentierte Messwerte fließen nicht in die Auswertung mit ein.

### 5.2.2 Branchen und Arbeitsbereiche

Die überwiegende Anzahl der ermittelten Expositionen stammen aus Betrieben der chemischen Industrie und der Branchengruppe Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik. Betroffene Arbeitsbereiche stehen in beiden Fällen überwiegend in Verbindung mit der Sterilisation und Lagerung von medizinischen Geräten. Für die bei Sterilisationsarbeiten ermittelten Messwerte liegt der 90-%-Wert oberhalb der Toleranzkonzentration, für Lagerarbeiten gilt dies schon für den 75-%-Wert. Die statistischen Kenngrößen finden sich zusammengefasst in **Tabelle 9**.

## 6 Trichlorethen

### 6.1 Krebserzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Trichlorethen wirkt in der Niere genotoxisch. Darüber hinaus kann die Auslösung von Leberkrebs und Non-Hodgkin-Lymphomen aufgrund lokaler Genotoxizität nicht ausgeschlossen werden. Die Ableitung der Risikogrenzen erfolgte aus epidemiologischen Studien und experimentellen Befunden an männlichen Ratten für die Erkrankung an Nierentumoren. Das Toleranzrisiko (4 : 1 000) liegt bei TK = 60 mg/m<sup>3</sup>, das Akzeptanzrisiko bei AK I = 33 mg/m<sup>3</sup> bzw. AK II = 3,3 mg/m<sup>3</sup>. Demgegenüber lag der TRK-Wert bei 165 mg/m<sup>3</sup>. Bei Hautkontakt mit flüssigem Trichlorethen liefert der dermale Aufnahmepfad einen deutlichen Beitrag zur Belastung [3].

### 6.2 Datenlage

Ausgewertet wurden insgesamt 624 Messwerte (**Tabelle 10**). Auch für Trichlorethen existieren Messungen von Arbeitsplätzen, an denen die Beschäftigten nur zeitweise exponiert werden. Bei der Auswertung dieser Messwerte ohne Schichtbezug berechnet sich der 75-%-Wert zu 285 mg/m<sup>3</sup>. Unter Berücksichtigung der mittleren Expositionsdauer von etwa zwei Stunden kann bei diesen und höheren Schadstoffkonzentrationen ein hohes Risiko nicht ausgeschlossen werden. Betroffen sind überwiegend Laborarbeitsplätze in Bildungseinrichtungen und Asphaltmischanlagen. Gleiches gilt für weitere 52 Messwerte, die als Expositionsspitzen dokumentiert wurden. Von den 469 Messwerten mit Schichtbezug (mittlere Expositionsdauer 7,881 Stunden) liegen 112 unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Die 75-%-Werte überschreiten die Toleranzkonzentration deutlich. Nachfolgende Differenzierungen nach Branchen und Arbeitsbereichen beziehen nur noch Messdaten mit Schichtbezug ein.



Tabelle 10. Datenlage zu Trichlorethen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	75%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
<b>Schichtbezug: Expositionsdauer ≥ 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 7,881 Stunden)</b>								
Gesamt	469	112	110,00128	22,556	24 +	92,75	192,2	308,4
Stationäre Probenahme	240	76	125,778	17,338	17 +	82	177	293
Personengetragene Probenahme	229	36	93,467	29,718	37 +	94	201,1	339,95
Erfassung vorhanden	273	69	109,973	20,603	21 +	87,25	160	237,1
Erfassung nicht vorhanden	98	23	133,325	28,506	30 +	126,5	283,2	701,8
<b>Kein Schichtbezug: Expositionsdauer &lt; 6 Stunden (mittlere Expositionsdauer 2,182 Stunden)</b>								
Gesamt	103	17	282,143	64,564	87	284,5	543,7	1089,35
<b>Expositionsspitzen (keine Dokumentation der Expositionsdauer)</b>								
Gesamt	52	20	186,288	75,898	78	179	422,2	816

Erläuterungen siehe Tabelle 2

Tabelle 11. Trichlorethen – Branchengruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	75%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
Bauwesen	19	5	325,874	84,662	167,5	386,75	701,8	773
Bildungseinrichtungen	81	4	59,794	26,621	45	75	112,7	228,5
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	18	8	43,275	11,127	6	48,5	116,8	145,6
Gummiherstellung	28	0	274,357	80,649	110	270	773,8	1 192,6
Kunststoffindustrie	22	4	44,925	9,422	13	39,5	79,8	88,2
Metallbearbeitung und Maschinenbau	50	14	38,431	14,723	11	60	98	128,5
Stein- und keramische Industrie	203	54	75,0667	24,874	21 +	109,25	169,5	256

Erläuterungen siehe Tabelle 2

### 6.3 Branchen

Alle Branchengruppen (Tabelle 11) weisen 75%-Werte auf, die oberhalb der Akzeptanzkonzentration liegen. Die höchsten Expositionen stammen aus dem Bauwesen und der Gummiherstellung. Alle 81 Messungen in Bildungseinrichtungen entfallen auf Laborarbeitsplätze. Der Schwerpunkt der Messaktivitäten in der Branchengruppe Stein- und keramische Industrie (175 Datensätze von insgesamt 205 Messwerten) lag in Asphaltmischanlagen, wobei es sich auch überwiegend um Messungen in den dort ansässigen Laboren handelt.

### 6.4 Arbeitsbereiche

Aus den diversen Arbeitsbereichen (Tabelle 12) lassen sich mehrere Gruppen bilden, wobei sich Laborarbeitsplätze zahlenmäßig deutlich von den anderen Gruppen abheben. Überschreitungen der Akzeptanzkonzentration lassen sich bei den Arbeitsbereichsgruppen Kleben, Labor und Oberflächenbearbeitung in mehr als 50 % der Messungen feststellen, mehr als 25 % der Messwerte aus diesen Arbeitsbereichen liegen deutlich oberhalb der Toleranzkonzentration.

## 7 Acrylamid

### 7.1 Krebs erzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Acrylamid ist ein Kanzerogen, dessen genotoxische sowie kanzerogene Eigenschaften *in vivo* nachgewiesen wurden. In zwei Langzeitstudien an Ratten löste die Gabe von Acrylamid Tumoren an verschiedenen Lokalisationen (weibliche

Brust, Schilddrüse, Hoden, Zentrales Nervensystem) aus. Der ERB zugrunde gelegt wurde die Bildung von Mammatumoren, aber auch die Berechnung aus dem Risiko für Schilddrüsentumoren liefert Werte in gleicher Größenordnung. Die Akzeptanzkonzentration beträgt 0,07 mg/m<sup>5</sup> (4 : 10 000) bzw. 0,007 mg/m<sup>5</sup> (4 : 100 000) ab 2018. Die ermittelte Toleranzkonzentration von 0,7 mg/m<sup>5</sup> greift nicht, da ein niedrigerer AGW von 0,15 mg/m<sup>5</sup> gilt. Dieser schützt vor der (nicht kanzerogenen) neurotoxischen Wirkung von Acrylamidexpositionen auf Menschen. Zum Vergleich: Der TRK-Wert für Acrylamid betrug 0,06 mg/m<sup>5</sup> beim Einsatz von festem Acrylamid und 0,03 mg/m<sup>5</sup> im Übrigen (jeweils E-Fraktion).

Neben dem inhalativen Pfad ist auch die dermale Aufnahme von Bedeutung. So gilt der AGW nur unter Ausschluss des direkten Hautkontakts. Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) belegt Acrylamid mit der Markierung H für hautresorptive Stoffe, wobei die Kommission die Resorptionsrate immer relativ zum Luftgrenzwert betrachtet [3].

### 7.2 Expositionen

Zu Expositionen gegenüber Acrylamid liegen nur 75 Messungen vor, ohne dass ein Wert die Akzeptanzkonzentration überschreitet. Die Messungen verteilen sich wie folgt auf Branchen und Arbeitsbereiche:

- Häufigste Branchen: Chemische Industrie (24); Glasindustrie (25); Metallbearbeitung und Maschinenbau (10); Bildungseinrichtungen (6).

Tabelle 12. Trichlorethen – Arbeitsbereichsgruppen.

Kollektiv	Anzahl Messdaten	Anzahl der Werte < a. B.	Arithmetisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	Geometrisches Mittel in mg/m <sup>3</sup>	50-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	75-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	95-%-Wert in mg/m <sup>3</sup>
Entfettungsanlage	36	5	82,715	21,741	19	57	114,4	163,2
Entfettungsanlage (personengetragene Probenahme)	21	4	100,502	19,215	13,5	48,75	112,9	127,35
Kleben	28	2	136,732	31,238	38	123	319,2	642,8
Kleben (personengetragene Probenahme)	18	2	160,372	30,818	23	111	555,6	751,9
Labor (gesamt)	248	52	85,245	29,7	37 +	104	173	304,4
Labor (gesamt) (personengetragene Probenahme)	129	20	72,259	32,718	45	91,75	156,8	237,2
Labor (Asphaltmischanlagen)	156	42	81,625	26,119	23 +	112	171,4	270,6
Labor (Asphaltmischanlagen) (personengetragene Probenahme)	63	15	66,192	25,587	23,5 +	109,75	154,2	171,85
Labor (Forschungslabors)	71	4	61,79	35,831	46,5	75,25	112,5	213,5
Labor (Forschungslabors) (personengetragene Probenahme)	55	2	70,596	43,499	51	83,5	131	231,25
Oberflächenbearbeitung	23	4	215,783	51,00935	53	234,75	686,5	715,3
Oberflächenbearbeitung (personengetragene Probenahme)	13	4	267,385	45,151	49,5	357,5	699,1	940,95
Reinigung	18	5	22,231	8,342	10	27,5	45,2	94,4

Erläuterungen siehe Tabelle 2

● Häufigste Arbeitsbereiche: Labor (22); Flachglas, Herstellung und Verarbeitung (12); Glasfasern, Herstellung und Verarbeitung (7); Schweißen (7).

## 8 Acrylnitril

### 8.1 Krebszerzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Acrylnitril (bzw. dessen Metabolit 2-Cyanoethylenoxid) gilt als genotoxisch. Für die kanzerogene Wirkung könnten aber auch andere Mechanismen relevant sein. Im Tierversuch an Ratten verursacht die inhalative Exposition Tumoren des Zentralen Nervensystems und anderer Lokalisationen. Zur Ableitung einer ERB wurden diese Daten herangezogen, da epidemiologische Untersuchungen keine quantifizierbare Information zur Kanzerogenität erbrachten. Die ermittelten Risikogrenzen liegen bei 280 µg/m<sup>5</sup> (AK I) bzw. 28 µg/m<sup>5</sup> (AK II) für die Akzeptanzkonzentration und 2 800 µg/m<sup>5</sup> für die Toleranzkonzentration. Der TRK-Wert lag mit 7 mg/m<sup>5</sup> deutlich höher [5].

Auch nicht kanzerogene Wirkungen von Acrylnitril sind von Bedeutung. Die metabolische Freisetzung von Cyanid hat neurotoxische Schädigungen zur Folge. Acrylnitril wirkt zudem reizend, sensibilisierend und ist hautgängig. Eine Unterschreitung der Akzeptanzkonzentration (AK I) schützt jedoch nach einer Bewertung des Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) aus dem Jahre 2003 vor anderen, nicht krebsartigen Gesundheitseffekten.

### 8.2 Expositionen

Von den 337 vorliegenden Messwerten liegt nur einer oberhalb der Akzeptanzkonzentration. Von den Messwerten, die kleiner sind als die analytische Bestimmungsgrenze, sind 23 nicht einem bestimmten Risikobereich zuzuordnen. Acrylnitril kann zur Abschätzung der Exposition gegenüber Tabakrauch in der Raumluft als Leitsubstanz herangezogen werden. Zu diesem Zweck erfolgten Messungen in den Arbeits-

bereichen der Gastronomie (s. u.). Die Expositionsdaten können selbstverständlich nicht unter Zuhilfenahme der ERB für Acrylnitril zur gesundheitlichen Bewertung der rauchbelasteten Luft dienen.

Da aufgrund der in MEGA dokumentierten Messungen von Acrylnitrilkonzentrationen keine Gefährdungen für Arbeitnehmer ausgemacht werden können, werden lediglich zugehörige Branchen und Arbeitsbereiche benannt.

● Häufigste Branchen: Kunststoffindustrie (125); Gastronomie (78); Metallbearbeitung und Maschinenbau (44); Lederindustrie, Textilindustrie (31); Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik (21); Gummiherstellung (12).

● Häufigste Arbeitsbereiche: Gastronomie (78); Formteile (65); Extruder (45); Vulkanisation (12); Kunststoffschweißen (10); Kleben (7).

## 9 1,3-Butadien

### 9.1 Krebszerzeugende Wirkung und Risikogrenzen

1,3-Butadien wirkt aufgrund seiner genotoxischen Eigenschaften kanzerogen. Es existieren zahlreiche epidemiologische Studien zur Frage der Kanzerogenität von 1,3-Butadien, die sowohl an Arbeitern in der Kunstgummi- als auch der Monomerproduktion durchgeführt wurden. Bei den Betroffenen wurde ein vermehrtes Auftreten von Leukämien bzw. bösartiger Neubildungen der lymphatischen bzw. blutbildenden Gewebe beobachtet. Die Basis für die Ableitung einer ERB bilden Leukämie-Sterberaten einer nordamerikanischen Kohorte von Beschäftigten in der Produktion von Kunstgummi. Daraus ergeben sich stoffspezifische Konzentrationswerte von 5 mg/m<sup>5</sup> für das Toleranzrisiko und für das Akzeptanzrisiko von 0,5 mg/m<sup>5</sup> (AK I) bzw. 0,05 mg/m<sup>5</sup> (AK II). Die durch TRK-Werte geregelten Expositionsobergrenzen lagen bei 34 mg/m<sup>5</sup> für die Aufarbeitung nach Polymerisation sowie Verladung und bei 11 mg/m<sup>5</sup> im Übrigen [5].

## 9.2 Expositionen

Für den ausgewerteten Datenzeitraum wurden 257 Messwerte von 1,3-Butadienexpositionen dokumentiert. Davon liegt nur ein Messwert oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze, die in Abhängigkeit von Probenahmedauer und -volumen in der Regel bei  $1 \text{ mg/m}^3$  liegt. Folglich kann für die Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze nur die Aussage getroffen werden, dass die Toleranzkonzentration nicht überschritten wird. Ein mittleres Risiko durch Expositionen gegenüber 1,3-Butadien ist daher nicht auszuschließen. Die weitere Auswertung der Messwerte erscheint daher nicht sinnvoll, sodass nur eine Auflistung von beprobten Branchen und Arbeitsbereichen erfolgt.

- Häufigste Branchen: Kunststoffindustrie (94); Metallbearbeitung und Maschinenbau (49); Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik (30); Lederindustrie, Textilindustrie (28).
- Häufigste Arbeitsbereiche: Extruder (34); Formteile (46); Kunststoffschweißen (10); Labor (9).

## 10 4,4'-Methyldianilin

### 10.1 Krebserzeugende Wirkung und Risikogrenzen

Für 4,4'-Methyldianilin (MDA) ist an Arbeitsplätzen aufgrund von dessen geringer Flüchtigkeit mit einer inhalativen Exposition nur in Form von Staub oder Flüssigaerosolen zu rechnen. Darüber hinaus ist der dermale Aufnahmeweg von Bedeutung.

Bei oraler Gabe von MDA resultiert im Tierversuch an Ratten die Entstehung von Leber- und Schilddrüsentumoren. Darüber hinaus wurden auch einige seltenere Tumore beobachtet, die jedoch bei der Risikobetrachtung als weniger relevant angesehen werden. Als nicht kanzerogene Effekte sind Schilddrüsen- und Lebertoxizität nach oraler Exposition von Ratten relevant, für die ein Beitrag an der kanzerogenen Wirkung nicht ausgeschlossen erscheint. Weiterhin wirkt MDA beim Menschen sensibilisierend.

Den Ausgangspunkt zur Bewertung des Krebsrisikos nach MDA-Exposition bildet die Entstehung von Lebertumoren bei Ratten. Danach lassen sich die spezifischen Konzentrationswerte von  $741 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  für das Toleranzrisiko und  $75 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  bzw.  $7,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  für das Akzeptanzrisiko (AK I bzw. AK II) herleiten. Für nicht kanzerogene gesundheitsschädigende Wirkungen wird ein gegenüber der Toleranzkonzentration nur leicht höherer Schwellenwert von  $1 \text{ mg/m}^3$  geschätzt. Der bisher geltende TRK-Wert lag mit  $0,1 \text{ mg/m}^3$  nicht wesentlich höher als die durch die ERB ermittelte Akzeptanzkonzentration (Risiko 4 : 10 000) [3].

### 10.2 Expositionen

Für den untersuchten Datenzeitraum liegen lediglich 97 Messwerte vor, zwei davon im Bereich des mittleren Risikos. Aufgrund der Datenlage sind keine Gefährdungen für Arbeitnehmer auszumachen. Branchen und Arbeitsbereiche, in denen Messungen stattfanden, werden nachstehend aufgeführt.

- Häufigste Branchen: Metallerzeugung (44); Chemische Industrie (17); Kunststoffindustrie (16); Metallbearbeitung und Maschinenbau (10).
- Häufigste Arbeitsbereiche: Gießereien (43); Kunststoffbe- und -verarbeitung (23).

## 11 Diskussion

Mit den Exposition-Risiko-Beziehungen der BekGS 910 stehen neue Beurteilungsmaßstäbe für Expositionen von krebserzeugenden Gefahrstoffen zur Verfügung. Durch eine Gegenüberstellung der daraus hervorgehenden Risikogrenzen mit den Expositionsdaten aus der Datenbank MEGA ist es möglich, Arbeitsplätze zu identifizieren, an denen die Beschäftigten potenziell einem höheren als dem akzeptierten Risiko, an einem berufsbedingten Krebsleiden zu erkranken, ausgesetzt sind. So ist festzustellen, dass für Aluminiumsilikat-Fasern, Ethylenoxid und Trichlorethen jeweils über 50 % der Messwerte oberhalb der jeweiligen Akzeptanzkonzentration (AK I) liegen. In vielen Fällen überschreiten die 75-%-Werte oder gar die 50-%-Werte von Branchen- oder Arbeitsbereichsgruppen selbst die Toleranzkonzentration.

Expositionen gegenüber B[a]P bzw. PAK nehmen bei diesen Betrachtungen eine Sonderstellung ein, da sie zum Teil ungewollt und unkontrolliert entstehen, was emissionsmindernde Maßnahmen erschwert. Auch wenn die zur Beurteilung herangezogenen Akzeptanz- bzw. Toleranzkonzentrationen ausdrücklich nur für Kokerei-, Gaswerk- und Aluminiumhüttenemissionen aufgestellt wurde, sollten darüber liegende Expositionen gegenüber B[a]P ernst genommen werden. Denn wie gezeigt wurde, unterscheiden sich die Verteilungsmuster der PAK-Expositionen in den untersuchten Branchen nicht grundlegend von denen an Kokereiarbeitsplätzen. Leider werden Luftkonzentrationen gerade der PAK, für die eine stärker krebserzeugende Wirkung als die durch B[a]P diskutiert wird (z. B. verschiedene Dibenzopyrene [11]), nicht standardmäßig erfasst. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass sich die Auswahl der stellvertretend für die Stoffgruppe analysierten Einzelverbindungen nach der Liste der „Priority Pollutants“ [12] der amerikanischen Bundesumweltbehörde United States Environmental Protection Agency (US EPA) richtet und umwelttoxikologisch basiert ist. Eine Diskussion über die für die routinemäßige Bestimmung relevanten PAK ist jedoch im Gange [11]. Folglich gilt es bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse, an Arbeitsplätzen, die durch hohe B[a]P-Konzentrationen auffallen, die Expositionen zu verringern und ausreichende Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu treffen.

Im Rahmen der hier vorgestellten Expositionsdaten – aber auch im Hinblick auf noch zu erstellende ERB – zeigt sich, dass die zu überwachenden Luftkonzentrationen in vielen Fällen deutlich niedrigere analytische Bestimmungsgrenzen erfordern, als die derzeit – standardmäßig – erreichten. Dies gilt besonders für 1,3-Butadien, für das die Messwerte fast ausschließlich unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, Letztere aber die Akzeptanzkonzentration überschreitet. Aber auch bei Messungen von B[a]P können über 60 % der Werte nicht sicher dem Bereich niedrigen Risikos zugeordnet werden.

Für einige Stoffe mit ERB liegen nur sehr wenige oder gar keine Expositionsdaten vor. In diesen Fällen ist es ratsam zu prüfen, ob diese Wissenslücken über mögliche Risiken für die Beschäftigten z. B. durch das Auflegen von Messprogrammen zu schließen sind.

## Literatur

- [1] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen: Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (Bek. GS 910). *Ausg.* 6/2008. *GMBI.* (2008) Nr. 43/44, S. 883-935; *zul. geänd.* *GMBI.* (2010) Nr. 43, S. 914.
- [2] *Wriedt, H.:* Das Risikoakzeptanzkonzept für krebserzeugende Gefahrstoffe. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 70 (2010) Nr. 9, S. 351-355:
- [3] Begründungen zu Exposition-Risiko-Beziehungen. [www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Begrundungen-910.html](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Begrundungen-910.html)
- [4] *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.
- [5] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. *Hrsg.:* Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989.
- [6] Stoffe mit Akzeptanz- und Toleranzkonzentration. *Hrsg.:* Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode d120656.
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). *Ausg.* 10/2000. *Zul. geänd.* *BArbBl.* (2004) Nr. 5; *berichtigt* *BArbBl.* (2004) Nr. 7-8.
- [8] Gefahrstoffdatenbanken (GESTIS). *Hrsg.:* Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode d3380.
- [9] Autorenkollektiv: Faserjahre. *BK-Report* 1/2007. *Hrsg.:* Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2007.
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material (TRGS 551). *Ausg.* 7/1999. *BArbBl.* (1999) Nr. 7-8, S. 39-45, *zul. geänd.* *BArbBl.* (2003) Nr. 6, S. 90.
- [11] *Greim, H.:* Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten.* 45. Lfg. *Hrsg.:* Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2008 – Losebl.-Ausg.
- [12] Priority Pollutants. *Hrsg.:* United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington D. C., USA. <http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/pollutants.cfm>