



BK-Report 1/2022

Ermittlung der Benzo[a]pyren-Dosis (BaP-Jahre)

BK-Report 1/2022

**Ermittlung der Benzo[a]pyren-Dosis
(BaP-Jahre)**

Zusammengestellt von: Elfi Teich,
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Berlin.

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

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Glinkastr. 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– Mai 2022 –

Publikationsdatenbank: www.dguv.de/publikationen

ISBN (print): 978-3-948657-44-4

ISBN (online): 978-3-948657-45-1

ISSN: 2190-7994

3. aktualisierte Auflage des BK-Reports 2/1999 „BaP-Jahre“

Kurzfassung

Ermittlung der Benzo[a]pyren-Dosis (BaP-Jahre)

Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege sowie Lungenkrebs- und Kehlkopfkrebs, verursacht durch die arbeitsbedingte Einwirkung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK), können unter folgenden Berufskrankheiten-Nummern (BK-Nr.) anerkannt werden:

- BK-Nr. 1321
„Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 80 Benzo[a]pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “,
- BK-Nr. 4113
„Lungenkrebs und Kehlkopfkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 Benzo[a]pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “,
- BK-Nr. 4114
„Lungenkrebs durch das Zusammenwirken von Asbestfaserstaub und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis, die einer Verursachungswahrscheinlichkeit von mindestens 50 % nach der Anlage 2 entspricht“.

Bei der Arbeitsanamnese in Ermittlungsverfahren zu diesen BK-Nummern erstreckt sich die Recherche aufgrund der langen Latenzzeiten auf lange zurückliegende Arbeitsplatzverhältnisse und Tätigkeiten. Der in der 3. Auflage vorliegende BK-Report „Ermittlung der Benzo[a]pyren-Dosis (BaP-Jahre)“ soll den Unfallversicherungsträgern bei der Erstellung der qualifizierten Arbeitsanamnese gezielte Hinweise zu PAK-Expositionen an nicht mehr vorhandenen und auch nicht mehr reproduzierbaren Arbeitsplätzen liefern. Die hier aufgeführten Expositionsdaten stammen überwiegend aus der Expositionsdatenbank MEGA des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Weiterhin werden die Vorgaben für die qualifizierte Ermittlung der BaP-Jahre zusammenfassend dargestellt. Beiträge über das Vorkommen von PAK, Messverfahren sowie gesetzliche Regelungen wie Grenzwerte und Einstufungen runden den Report ab.

Die in diesem BK-Report zusammengestellten Hinweise sollen das Feststellungsverfahren beschleunigen und eine einheitliche Beurteilungspraxis sicherstellen. Grundlage der Ausführungen ist die Handlungsempfehlung „Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV, Stand: Mai 2021).

Abstract

Determination of benzo[a]pyrene exposure (BaP years)

Mucosal changes, cancer or other tumours in the urinary tract, lung cancer and larynx cancer, caused by work-related exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), can be recognised under the following occupational disease numbers (OD no.):

- OD no. 1321
“Mucosal changes, cancer or other tumours in the urinary tract caused by polycyclic aromatic hydrocarbons with evidence of exposure to a cumulative dose of at least 80 benzo[a]pyrene years [$(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{years}$]”.
- OD no. 4113
“Lung cancer and larynx cancer caused by polycyclic aromatic hydrocarbons with evidence of exposure to a cumulative dose of at least 100 benzo[a]pyrene years [$(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{years}$]”.
- OD no. 4114
“Lung cancer caused by the interaction between asbestos dust and polycyclic aromatic hydrocarbons with evidence of exposure to a cumulative dose that corresponds to a probability of causation of at least 50% in accordance with Annex 2”.

Due to the long latency times of the occupational diseases that fall under these OD numbers, investigations into suspected cases have to look far back in the work history of the affected person and take into account working conditions and tasks from many years back. The third edition

of the OD report “Determination of benzo[a]pyrene exposure (BaP years) is intended to provide German social accident insurance organisations with specific information regarding exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons at workplaces that no longer exist and can no longer be reproduced, in order to aid the process of generating qualified occupational health records. The exposure data listed here comes primarily from the MEGA exposure database of the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA). (MEGA stands for Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz [Measurement data relating to workplace exposure to hazardous substances]). The criteria for qualified assessment of BaP years were also summarised. The report is rounded off by information on the occurrence of PAHs, measurement methods and legal regulations, such as those governing threshold limit values and classifications.

The information compiled in this OD (occupational diseases) report is intended to accelerate the process of investigating suspected cases of occupational disease and ensure standardised assessment. The advice in the report is based on the German Social Accident Insurance’s (DGUV) good practice guidelines “Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren” (Identification and assessment of exposure in investigations into suspected cases of occupational disease), as at: May 2021.

Résumé

Évaluation de la dose de benzo[a]pyrène (BaP/années)

Les altérations des muqueuses, le cancer ou autres néoplasies des voies urinaires, ainsi que les cancers du poumon et du larynx, causés par l'exposition professionnelle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont classés dans les catégories de maladies professionnelles suivantes :

- Catégorie n° 1321
« Altérations des muqueuses, cancer ou autres néoplasies des voies urinaires causés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques lorsque l'exposition à une dose cumulée d'au moins 80 benzo[a]pyrène/années ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{années}$) est établie »,
- Catégorie n° 4113
« Cancers du poumon et du larynx causés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques lorsque l'exposition à une dose cumulée d'au moins 100 benzo[a]pyrène/années ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{années}$) est établie »,
- Catégorie n° 4114
« Cancer du poumon provoqué par les effets combinés de la poussière de fibres d'amiante et des hydrocarbures aromatiques polycycliques lorsque l'exposition à une dose cumulée correspondant à une probabilité de causalité d'au moins 50 % selon l'annexe 2 est établie ».

Lors de l'anamnèse professionnelle menée dans le cadre des procédures d'évaluation relatives à ces catégories de maladies professionnelles, la recherche s'étend aux

conditions de travail et aux activités exercées il y a longtemps, en raison des périodes de latence relativement longues. La troisième édition du rapport sur les catégories de maladies professionnelles « Évaluation de la dose de benzo[a]pyrène (BaP/années) » doit fournir aux organismes d'assurance sociale allemande des indications ciblées sur les expositions aux HAP à des postes de travail qui n'existent plus et ne sont plus reproductibles, lors de l'établissement de l'anamnèse professionnelle qualifiée. Les données d'exposition présentées ici proviennent principalement de la base de données d'exposition MEGA de l'Institut pour la sécurité et la santé au travail de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (IFA). Les consignes d'évaluation qualifiée du nombre de BaP/années y sont également résumées. Plusieurs textes traitant de la présence des HAP, des méthodes de mesure et des dispositions légales telles que les valeurs limites et les classifications complètent ce rapport.

Les recommandations contenues dans ce rapport sur les catégories de maladies professionnelles ont pour but d'accélérer la procédure d'évaluation et de garantir une pratique harmonisée. Ces explications se basent sur la recommandation pratique « Evaluation et estimation du degré d'exposition dans le cadre de la procédure relative aux maladies professionnelles » de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (DGUV), en date de : mai 2021.

Resumen

Determinación de la dosis de benzo[a]pireno (años de BP)

Las alteraciones de las mucosas, el cáncer u otras neoplasias de las vías urinarias, así como el cáncer de pulmón y el cáncer de laringe causados por la exposición laboral a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) pueden ser reconocidos como enfermedades profesionales con los siguientes números (N.º de enfermedad profesional):

- N.º de enfermedad profesional 1321
«Alteraciones de la mucosa, cáncer u otras neoplasias de las vías urinarias causadas por hidrocarburos aromáticos policíclicos si hay evidencia de exposición a una dosis acumulada de como mínimo 80 años de benzo[a]pireno $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{años}]$ »,
- N.º de enfermedad profesional 4113
«Cáncer de pulmón y cáncer de laringe causados por hidrocarburos aromáticos policíclicos si hay evidencia de exposición a una dosis acumulada de como mínimo 100 años de benzo[a]pireno $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{años}]$ »,
- N.º de enfermedad profesional 4114
«Cáncer de pulmón causado por la interacción de polvo de fibras de amianto e hidrocarburos aromáticos policíclicos si hay evidencia de exposición a una dosis acumulada correspondiente a una probabilidad de causalidad de al menos de al menos el 50 % según el apéndice 2».

Para efectuar la anamnesis laboral en los procedimientos de determinación de estos números de enfermedad pro-

fesional, la búsqueda abarca condiciones y tareas laborales muy remotas debido a los largos periodos de latencia. La 3.ª edición del presente informe sobre enfermedades profesionales «Determinación de la dosis de benzo[a]pireno (años de BP)» tiene por objeto proporcionar a las instituciones aseguradoras de accidentes información específica sobre las exposiciones a HAP en los puestos de trabajo que ya no existen y que tampoco pueden reproducirse al efectuar la anamnesis laboral cualificada. Los datos de exposición aquí recogidos provienen principalmente de la base de datos sobre exposiciones MEGA del Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (Instituto de la Seguridad Laboral del Seguro de Accidentes Legal Alemán). A continuación, se indican de forma resumida las especificaciones necesarias para calcular de forma cualificada los años de benzo[a]pireno. El informe se completa con contribuciones sobre la existencia de HAP, los métodos de medición, la normativa legal, los valores límite y las clasificaciones.

La información recopilada en este informe sobre enfermedades profesionales tiene el objetivo de agilizar el procedimiento de determinación y garantizar una práctica de evaluación uniforme. El fundamento de las declaraciones es la recomendación de acción «Determinación y evaluación del impacto en el procedimiento de enfermedades profesionales» del Seguro Social Alemán de Accidentes (DGUV), Actualización: mayo de 2021.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	10
1 Berufskrankheiten durch PAK	12
1.1 Allgemeines.....	12
1.2 BK-Nr. 4114.....	12
2 Statistische Daten zu BK	14
2.1 BK-Nr. 1321.....	14
2.2 BK-Nr. 4113.....	14
2.3 BK-Nr. 4114.....	16
3 Vorkommen	19
4 Grenzwerte, Einstufungen und Messverfahren	21
4.1 Bundesrepublik Deutschland.....	21
4.1.1 Einstufung.....	21
4.1.2 Grenzwerte.....	21
4.1.3 Exposition-Risiko-Beziehung, Akzeptanz- und Toleranzkonzentration.....	21
4.2 Ehemalige DDR.....	22
4.3 Andere Grenzwerte.....	22
4.4 Messverfahren.....	22
5 Hinweise zur Vorgehensweise bei der Ermittlung der BaP-Belastungen und Berechnung der BaP-Jahre	24
5.1 Inhalative Exposition.....	24
5.2 Dermale Exposition.....	25
5.3 Definition des BaP-Jahres.....	25
5.4 Normierung von Arbeitstagen pro Jahr und Schichtlänge.....	25
5.5 Berechnung der BaP-Jahre.....	25
5.5.1 Schichtexposition.....	25
5.5.2 Verkürzte und sporadische Exposition.....	25
5.5.3 Verlängerte Exposition.....	26
5.6 Verwendung von Schicht- und Tätigkeitswerten.....	26
5.7 Ermittlung bei ungünstigen aber realistischen Expositionsbedingungen.....	26
5.8 Beurteilung von Einwirkungen und Ermittlung der BaP-Dosis.....	27
6 Retrospektive Ermittlung der BaP-Exposition – Erläuterung der Daten	29
6.1 Datenquellen im BK-Fall.....	29
6.2 Betriebs- und Expositionsdaten aus der Expositionsdatenbank MEGA.....	29
6.3 Zusammenfassende Übersicht über die Expositionsdaten aus MEGA.....	31
6.4 Expositionsdaten aus weiteren Quellen.....	32
6.5 Erläuterungen zu den Expositionsdaten – Allgemein.....	32
7 Retrospektive Ermittlung der BaP-Exposition – Expositionsdaten zu branchenspezifischen Arbeitsbereichen und Tätigkeiten	34
7.1 Bauwirtschaft.....	34
7.1.1 Dachdecken.....	34
7.1.2 Bautenschutz.....	36
7.1.3 Steinkohlenteeröle als Holzschutzmittel.....	37
7.1.4 Schornsteinfegen.....	37
7.1.5 Korrosionsschutz.....	37
7.1.6 Holzpflaster-/Parkettverlegung.....	39
7.1.7 Feuerungsbau.....	40
7.1.8 Straßenbau- und Fugenverguss.....	40

7.1.9	Herstellung von Asphaltmischgut	46
7.1.10	Recycling von Straßenausbaumaterialien	46
7.1.11	Gussasphaltarbeiten.....	46
7.1.12	Fugenvergussmassen in der ehemaligen DDR.....	48
7.1.13	Sonstige Tätigkeiten in der Bauwirtschaft	48
7.2	Chemische Industrie	51
7.2.1	Elektrothermische Herstellungsverfahren	51
7.2.2	Holzkohle.....	51
7.3	Kohleverarbeitung.....	56
7.3.1	Steinkohlekokerei	56
7.3.2	Braunkohleveredelung.....	58
7.3.3	Herstellung von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrografit	59
7.4	Elektrotechnik – Produkte für Kabelisolierung und Vergussmassen.....	64
7.4.1	Erdkabelisolierungen.....	64
7.4.2	Vergussmassen.....	64
7.5	Entsorgung	66
7.5.1	Entsorgung und Recycling	66
7.5.2	Recycling von Bahnschwellen	66
7.6	Metallerzeugung	68
7.6.1	Roheisen- und Stahlerzeugung.....	68
7.6.2	Aluminium-Hütten	70
7.6.3	Gießereien.....	72
7.6.4	Walzen und Schmieden.....	73
7.7	Metallverarbeitung, Maschinen-/Fahrzeugbau, Feinmechanik	75
7.7.1	Tätigkeiten mit Ölen	75
7.7.2	Oberflächenbeschichtung, Schweißen und thermisches Schneiden	76
7.8	Transport und Kfz-Instandhaltung.....	79
7.8.1	Dieselmotoremissionen.....	79
7.8.2	Tätigkeiten mit gebrauchten Motorölen	79
7.8.3	Verarbeitung von Unterbodenschutz.....	80
7.8.4	Transport, Umschlag von Strangpech im Binnen- und Seehafen, Seeschifffahrt	80
7.9	Glas- und Keramikindustrie.....	84
7.9.1	Optikglas	84
7.9.2	Keramikindustrie	86
7.10	Holz- und Papiergewerbe	87
7.10.1	Holzimprägnierung mit Steinkohlenteerölen	87
7.10.2	Papier- und Pappenherstellung	88
7.11	Nahrungsmittelindustrie und Gastronomie	89
7.11.1	Fleisch- und Fischräucherei.....	89
7.11.2	Gastronomie (Tabakrauch).....	90
7.12	Schuhbranche.....	91
7.12.1	Verarbeitung von Schusterpech.....	91

7.13	Druckfarben	92
7.13.1	Einleitung	92
7.13.2	Vorkommen von PAK in Druckfarben allgemein	92
7.13.3	Exposition während des Druckprozesses in Zeitungsdruckereien und Illustrationstiefdruckereien	92
7.13.4	Exposition in anderen Druckverfahren	93
8	Musterbeispiel für die Berechnung der BaP-Jahre	94
8.1	Anleitung zur Ermittlung	94
8.2	Beispiel: Ermittlung der BaP-Jahre	94
9	Stichwortverzeichnis	96
10	Abkürzungsverzeichnis	100
11	Autorinnen und Autoren	102
Anhang 1: Messverfahren		103
Anhang 2: BaP – Vorkommen in der Umwelt		107
Anhang 3: Tabelle aus Anlage 2 der Zweiten Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung		110
Anhang 4: Auszug aus der Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten (VbgBK) vom 1. April 1997 in der Fassung vom 1. Januar 1997 (Arbeitshinweise/Erläuterungen, Stand Oktober 2021)		118

Einleitung

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Substanzklasse, die mehrere hundert Einzelverbindungen umfasst. Die erwiesene humankanzerogene Wirkung von PAK-Gemischen wird in erster Linie auf die polyzyklischen Aromaten mit 4 bis 7 Ringen zurückgeführt. Benzo[a]pyren (BaP) als ein kanzerogener Vertreter dieser Stoffgruppe wird als Leitsubstanz für die Beurteilung von Berufskrankheiten (BK) verwendet. Die Exposition weiterer krebserzeugender Stoffe im Arbeitsbereich muss gesondert betrachtet werden.

In den letzten Jahren sind die gesetzlichen Grundlagen zur Anerkennung von Schleimhautveränderungen, Krebs oder anderen Neubildungen der Harnwege, Lungenkrebs und Kehlkopfkrebs durch die Einwirkung von PAK erheblich verändert und ausgebaut worden. Diese Erkrankungen – verursacht durch die arbeitsbedingte Einwirkung von PAK – können nun unter folgenden Berufskrankheiten-Nummern (BK-Nr.) anerkannt werden:

- **BK-Nr. 1321**
„Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 80 BaP-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “ [1],
- **BK-Nr. 4110**
„Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Kokereirohgase“ [2],
- **BK-Nr. 4113**
„Lungenkrebs und Kehlkopfkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 BaP-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “ [3],
- **BK-Nr. 4114**
„Lungenkrebs durch das Zusammenwirken von Asbestfaserstaub und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis, die einer Verursachungswahrscheinlichkeit von mindestens 50 % nach der Anlage 2 entspricht“ [4].

Im BK-Verfahren zur BK-Nr. 1321 ist als Dosisgrenzwert für eine ausreichende Exposition der Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 80 BaP-Jahren erforderlich. Die kumulative Dosis ist das Produkt aus Arbeitsplatzkonzentration und Zeit $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ und wird in BaP-Jahren angegeben.

Im BK-Verfahren zur BK-Nr. 4113 ist als Dosisgrenzwert für eine ausreichende Exposition der Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 BaP-Jahren erforderlich.

Die BK-Nr. 4114 sieht einen kumulativen Grenzwert auf der Basis eines additiven Wirkungszusammenhanges von Asbestfaserstaub und BaP vor, wenn im Einzelfall bei Expositionen gegenüber beiden Noxen keiner der Grenzwerte – 25 Asbestfaserjahre, 100 BaP-Jahre – erreicht wird.

Im BK-Verfahren zur BK-Nr. 4110 wird keine Berechnung der BaP-Jahre benötigt.

BaP und andere PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung und beim Erhitzen von organischem Material unter Sauerstoffausschluss (Pyrolyse). An Arbeitsplätzen findet man PAK bei der Hochtemperaturbehandlung organischer Materialien zur großtechnischen Gewinnung von Destillaten und Rückständen für eine Reihe von Verwendungszwecken. Die größte technische Bedeutung hat hierbei die Verarbeitung der Steinkohle durch Verkokung zu Steinkohlenkoks und -teer sowie deren Weiterverarbeitung. Weitere Expositionsmöglichkeiten sind in Kapitel 7 dargestellt, in dem Arbeitsplatzmesswerte auf der Basis von BaP-Konzentrationen angegeben sind.

PAK-verursachte Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege, Kehlkopf- und Lungenkrebskrankungen zeichnen sich durch lange Latenzzeiten aus. Daher sind überwiegend Arbeitsplatzbedingungen zu ermitteln, die sehr lange zurückliegen. Dieser BK-Report soll den Unfallversicherungsträgern (UVT) bei der Erstellung einer qualifizierten Ermittlung und Beurteilung der arbeitsbedingten Einwirkungen gezielte Hinweise zu BaP-Expositionen an nicht mehr vorhandenen oder reproduzierbaren Arbeitsplätzen liefern.

Die zugrunde gelegten Messwerte stammen überwiegend aus Messungen im Rahmen des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU), dokumentiert in der Expositionsdatenbank MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) [5] des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Die Messungen der BaP-Konzentrationen an Arbeitsplätzen seit Einführung der Überwachungspflicht für krebserzeugende Stoffe im Jahr 1980 belegen die Expositionsverhältnisse branchen- und tätigkeitspezifisch. Darüber hinaus wurden Veröffentlichungen aus der nationalen und internationalen Literatur zu einzelnen Tätigkeiten sowie Messungen von inner- und außerbetrieblichen Messstellen berücksichtigt. Zur Sichtung und Bewertung dieser Daten wurde bei der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) ein interdisziplinärer Arbeitskreis gebildet, der einheitliche Beurteilungskriterien und Vorgaben zur qualifizierten Ermittlung der BaP-Jahre entwickelt hat. Weitere Grund-

lage der Arbeiten ist die DGUV Handlungsempfehlung „Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufs-krankheitenverfahren“ [6].

Die in diesem Report zusammengestellten Hinweise zur Ermittlung der kumulativen BaP-Dosis am Arbeitsplatz sollen das Feststellungsverfahren beschleunigen und eine einheitliche Beurteilungspraxis sicherstellen. Der Report ist eine aktuelle Bestandsaufnahme der zurzeit vorliegenden Daten. Eine Fortschreibung dieses Reports auf der Grundlage neuerer Erkenntnisse und Messdaten ist geplant.

Der Arbeitskreis ist auch als Beratungs- und Informationsstelle tätig, und zwar insbesondere für die UVT, die bisher in diesem Bereich wenig Erfahrungen sammeln konnten. Entsprechende Anfragen sind unter Beifügung anonymisierter Akten an folgende Anschrift zu richten:

**Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Clearingstelle BaP-Jahre
53754 Sankt Augustin**

Literatur:

- [1] Wissenschaftliche Begründung für die Berufs-krankheit „Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 80 Benzo(a)pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “. Bekanntmachung des BMAS vom 01.07.2016 GMBL. 26.08.2016, S. 659-665
- [2] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 4110 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Kokereiohgase“. Bekanntmachung des BMA vom 11. Oktober 1989. BArbBl. (1990) Nr. 2, S. 135-136
- [3] Bekanntmachung einer Empfehlung des Ärztlichen Sachverständigenbeirats, Sektion „Berufskrankheiten“: Lungenkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 Benzo[a]pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “. Bekanntmachung des BMA vom 5. Februar 1998. BArbBl. (1998) Nr. 4, S. 54-61
- [4] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Lungenkrebs durch das Zusammenwirken von Asbestfaserstaub und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen“. Bekanntmachung des BMAS vom 1. Februar 2007. GMBL. (2007) Nr. 23, S. 474-495
- [5] MGU – Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013
- [6] DGUV Handlungsempfehlung „Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren“

1 Berufskrankheiten durch PAK

1.1 Allgemeines

Durch die Zweite Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung (2. BKV-ÄndV) [7], in Kraft getreten am 1. Juli 2009, ist die Liste der BK um die Positionen Lungenkrebs durch PAK sowie Lungenkrebs durch das Zusammenwirken von Asbestfaserstaub und PAK ergänzt worden, durch die 4. BKV-ÄndV [8], in Kraft getreten am 1. August 2017, um die Positionen Schleimhautveränderungen, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege (BK 1321) und Kehlkopfkrebs (BK 4113) durch PAK.

Schon bisher konnten und können auch weiterhin Lungenkrebs und darüber hinaus andere bösartige Neubildungen der Atemwege, insbesondere Kehlkopfkrebs, unter der BK-Nr. 4110 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Kokereirohgase“ entschädigt werden. Hinweise zu Überlappungen zwischen den BK-Tatbeständen von BK-Nr. 4110 und BK-Nr. 4113 finden sich im Aufsatz „Aktuelle Änderungen der Verordnung über Berufskrankheiten“ [9].

Hautkrebserkrankungen nach Einwirkung von PAK sind unter der BK-Nr. 5102 „Hautkrebs oder zur Krebsbildung neigende Hautveränderungen durch Ruß, Rohparaffin, Teer, Anthrazen, Pech oder ähnliche Stoffe“ zu subsumieren [10].

1.2 BK-Nr. 4114

Bei der gleichzeitigen oder aufeinanderfolgenden Einwirkung von PAK und Asbest ist ein mindestens additives Zusammenwirken hinsichtlich der Verursachung von Lungenkrebs wissenschaftlich gesichert.

Werden im Rahmen der Arbeitsanamnese neben Einwirkungen von PAK auch Asbestexpositionen ermittelt oder enthält der Auftrag an den Präventionsdienst eine entsprechende Vorgabe, muss neben der Berechnung der BaP-Jahre auch eine Berechnung der Asbestfaserjahre erfolgen (vgl. BK-Report 1/2013 „Faserjahre“, Neuauflage in Vorbereitung). Der Begriff „Faserjahr“ bezeichnet eine Dosisangabe, d. h. ein Produkt aus Arbeitsplatzkonzentration und Zeit. Es handelt sich um eine Konvention zur Beschreibung der kumulativen Asbestfaserstaubdosis. Ein Faserjahr entspricht einer arbeitstäglichen achtstündigen Einwirkung über ein Jahr von 1×10^6 Asbestfasern/m³ der kritischen Abmessungen (Länge > 5 µm, Durchmesser < 3 µm, Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis > 3 : 1) bei 240 Arbeitstagen.

Die Ermittlung der Faserjahre muss entsprechend den Vorgaben und Konventionen des BK-Reports „Faserjahre“ erfolgen. Die Ergebnisse zu allen Beschäftigungsver-

hältnissen sind in einem Bericht zusammenzustellen (vgl. DGUV Formtexte J 6200-4104/4113/4114).

Die BK-Nr. 4114 wird nicht im Zusammenhang mit der BK-Nr. 1321 und BK 4113 (Kehlkopfkrebs) angewendet. Die Verursachung von Schleimhautveränderungen, Krebs oder anderen Neubildungen der Harnwege und Kehlkopfkrebs ist beim Zusammenwirken von PAK und Asbeststaub nicht wissenschaftlich gesichert.

Ermittlung der Verursachungswahrscheinlichkeit

Ergeben die Ermittlungen, dass sowohl PAK- als auch Asbest-Einwirkungen vorgelegen haben, sind die jeweiligen Dosiswerte zu berechnen. Wird bei Betrachtung der Einzelstoffeinwirkungen weder eine PAK-Dosis von 100 BaP-Jahren noch eine Asbestfaserdosis von 25 Faserjahren erreicht, ist zu prüfen, ob bei Kombination beider Dosiswerte die Verursachungswahrscheinlichkeit (VW) mindestens 50 % beträgt, so dass die Einwirkung im Sinne der BK-Nr. 4114 bejaht werden könnte. Der statistische Ansatz zur Bestimmung der relativen Risiken basiert auf dem additiven Risikomodell (vgl. Wissenschaftliche Begründung zur BK-Nr. 4114, Abschnitt 3 und 4). Zur Bestimmung ist die Tabelle der 2. BKV-ÄndV, Anlage 2 (Anhang 3 dieses Reports) zu verwenden.

Hinweise für die Praxis

Der statistische Ansatz, der zur Bestimmung der relativen Risiken verwendet wird, basiert auf einem additiven Risikomodell. Die in Anhang 3 wiedergegebenen VW basieren auf der Formel:

$$VW = (RR_{BaP} + RR_{Asbest} - 2) / (RR_{BaP} + RR_{Asbest} - 1) > 0,5$$

mit

$$RR_{BaP} = 1 + BaP\text{-Jahre}/100 \text{ und } RR_{Asbest} = 1 + Faserjahre/25$$

Feststellung der Zuständigkeit

Vorgaben für die Gefährdungsbeurteilung, die zur Feststellung des zuständigen UVT notwendig sein können, enthält die „Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten“ (VbgBK) [11] in Anhang 4 dieses Reports. Die in diesem Zusammenhang maßgebliche Regelung lautet: „Eine gefährdende Tätigkeit im Sinne der BK-Nr. 4114 liegt vor, wenn in einer Beschäftigung durch die Einwirkung von Asbest und PAK eine Verursachungswahrscheinlichkeit von 10 % nach der Tabelle zur BK-Nr. 4114 erreicht oder überschritten wird. Da die Tabelle nur volle Faser- und BaP-Jahre enthält, kann die Gefährdung auch nach folgender Summenformel ermittelt werden:

$$\Sigma = \frac{X \text{ AF-Jahre}}{25} + \frac{Y \text{ BaP-Jahre}}{100} \geq 1 \text{ oder } < 1$$

Die Summe muss den Wert 0,1 ergeben (10 % der erforderlichen Gesamtdosis).“ In diese Formel – die sogenannte

Indexberechnung – werden die ermittelten Dosiswerte für Asbest (X) und PAK (Y) eingesetzt.

Vergleicht man die Berechnungsergebnisse mit der Formel zur Bestimmung der VW einerseits und der Indexberechnung andererseits, stellt man abweichende Ergebnisse fest, wenn die VW von 50 % deutlich unterschritten wird. Erreicht die relevante VW wenigstens 50 %, wird jedoch mit beiden Berechnungsmethoden das gleiche Ergebnis ermittelt. Ein berechneter Index von 1 entspricht einer VW von 50 %. Die Berechnung der VW bzw. des Indexwertes ist erst dann durchzuführen, wenn sämtliche Einzeldosiswerte ermittelt und aufsummiert wurden.

Literatur

- [7] Zweite Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung. BGBl. I (2009) Nr. 30, S. 1273-1276; Begründung in Bundesrat-Drucksache (BR-Drs.) 242/09
- [8] Vierte Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung. BGBl. I (2017) Nr. 45, S. 2299; Begründung in Bundesrat-Drucksache
- [9] *Kranig, A.*: Aktuelle Änderungen der Verordnung über Berufskrankheiten. DGUV Forum (2009) Nr. 7-8, S. 50-60
- [10] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 5102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung. Bekanntmachung des BMA vom 18. Februar 1963. BArbBl., Fachteil Arbeitsschutz (1963), S. 25
- [11] Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten (VbgBK) vom 1. April 1994 in der Fassung vom 1. Januar 1997 (Arbeitshinweise/Erläuterungen, Stand Oktober 2021). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

2 Statistische Daten zu BK

2.1 BK-Nr. 1321

Die BK-Nr. 1321 wurde zum 1. August 2017 in die Liste der Berufskrankheiten (Anlage 1 der BKV) aufgenommen. Die Anzahl der Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 1321 belief sich im Jahr 2018 auf 402 und im Jahr 2020 auf 567. Im Mittel wurden im Zeitraum 2018 bis 2020 29 Fälle von BK-Nr. 1321 pro Jahr anerkannt. Hauptbetroffener UVT ist die BG BAU (Tabelle 1 bis 3).

2.2 BK-Nr. 4113

Die BK-Nr. 4113 wurde zum 1. Juli 2009 in die Liste der Berufskrankheiten (Anlage 1 der BKV) aufgenommen. Zum 1. August 2017 wurde die BK-Nr. 4113 um die Erkrankung „Kelchkopfkrebs“ erweitert. Die Anzahl der Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 4113 ist von 140 im Jahr 2010 auf 514 im Jahr 2020 relativ kontinuierlich angestiegen. Im Mittel wurden im Zeitraum 2010 bis 2020 13 Fälle von BK-Nr. 4113 pro Jahr anerkannt. Hauptbetroffener UVT ist die BG BAU (Tabelle 4 bis 6).

Tabelle 1:
Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 1321 nach UVT von 2017 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Verdachtsanzeigen BK-Nr. 1321											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2017	38	12	3	60	0	10	0	2	0	3	128
2018	171	38	17	107	8	28	2	14	2	15	402
2019	101	26	20	133	4	40	2	15	2	3	346
2020	159	36	15	244	18	47	2	14	4	28	567

Tabelle 2:
Anerkannte BK für die BK-Nr. 1321 nach UVT von 2017 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, Anerkannte BK*, BK-Nr. 1321											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2017	1	2	0	5	0	0	0	0	0	0	8
2018	3	13	2	14	0	0	0	0	0	0	32
2019	5	10	0	14	0	0	0	1	0	0	30
2020	5	8	1	8	0	0	0	1	0	1	24

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

Tabelle 3:
BK-Verdachtsanzeigen, entschiedene Fälle und Todesfälle für die BK-Nr. 1321 von 2017 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Nr. 1321						
Jahr	BK-Verdachtsanzeigen	Entschiedene Fälle			Neue BK-Renten	Todesfälle Berufserkrankter**
		Anerkannte Fälle*	Nicht bestätigte Fälle	Insgesamt		
2017	128	8	70	78	3	0
2018	402	32	342	374	24	3
2019	346	30	357	387	32	4
2020	567	24	636	660	22	5

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

** Todesfälle Berufserkrankter infolge der BK

Tabelle 4:
Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 4113 nach UVT von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Verdachtsanzeigen BK-Nr. 4113											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2009	6	2	2	32	2	2	0	0	1	2	49
2010	11	10	8	89	3	5	1	3	2	8	140
2011	22	19	4	88	1	6	0	1	1	15	157
2012	19	18	6	98	2	6	2	6	2	17	176
2013	14	16	11	112	2	16	1	3	0	25	200
2014	32	18	21	121	3	13	0	8	0	19	235
2015	21	21	16	112	3	11	3	7	0	24	218
2016	34	18	10	126	12	9	2	12	2	20	245
2017	35	21	23	152	9	11	2	8	3	24	288
2018	49	27	27	243	4	22	4	16	0	22	414
2019	35	32	19	207	3	26	4	7	0	17	350
2020	59	25	35	338	7	10	3	7	8	22	514

Tabelle 5:
Anerkannte BK für die BK-Nr. 4113 nach UVT von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, Anerkannte Berufskrankheiten* BK-Nr. 4113											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2009	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	4
2010	0	1	1	5	0	1	0	0	0	1	9
2011	2	7	0	4	0	0	0	0	0	1	14
2012	3	4	0	3	0	0	0	2	0	0	12
2013	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3
2014	3	5	0	12	0	0	0	0	0	0	20
2015	0	5	0	5	0	0	0	0	0	2	12
2016	0	3	1	7	0	0	0	0	0	1	12
2017	0	7	1	7	0	1	0	0	0	1	17
2018	2	4	0	12	0	1	0	0	0	0	19
2019	0	4	0	7	0	0	0	1	0	0	12
2020	1	4	2	11	0	0	1	0	0	1	20

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

Tabelle 6:

BK-Verdachtsanzeigen, entschiedene Fälle und Todesfälle für die BK-Nr. 4113 von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Nr. 4113						
Jahr	BK-Verdachts- anzeigen	Entschiedene Fälle			Neue BK-Renten	Todesfälle Berufserkrankter**
		Anerkannte Fälle*	Nicht bestätigte Fälle	Insgesamt		
2009	49	4	21	25	3	4
2010	140	9	112	121	7	6
2011	157	14	126	140	14	11
2012	176	12	153	165	11	10
2013	200	3	200	203	2	5
2014	235	20	220	240	18	7
2015	218	12	235	247	12	11
2016	245	12	253	265	11	4
2017	288	17	268	285	16	11
2018	414	19	440	459	17	8
2019	350	12	414	426	15	10
2020	514	20	601	621	14	11

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

** Todesfälle Berufserkrankter infolge der Berufskrankheit

2.3 BK-Nr. 4114

Die BK-Nr. 4114 wurde zum 1. Juli 2009 in die Liste der Berufskrankheiten (Anlage 1 der BKV) aufgenommen. Die Anzahl der Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 4114 ist von 89 im Jahr 2010 auf 242 im Jahr 2020 angestiegen. Im Mittel wurden im Zeitraum 2010 bis 2020 ca. 26 Fälle von BK-Nr. 4113 pro Jahr anerkannt. Hauptbetroffener UVT ist die BG BAU (Tabelle 7 bis 9).

Tabelle 7:
Anzeigen auf Verdacht einer BK-Nr. 4114 nach UVT von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Verdachtsanzeigen BK-Nr. 4114											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2009	4	5	1	23	2	4	0	0	0	3	42
2010	2	7	6	64	0	4	1	1	0	4	89
2011	8	15	2	65	0	4	3	2	0	10	109
2012	11	12	5	73	0	5	2	2	2	9	121
2013	3	17	3	89	2	9	2	3	1	9	138
2014	8	9	3	83	2	6	0	5	0	10	126
2015	20	9	1	80	1	7	1	2	0	16	137
2016	14	5	3	82	2	3	0	5	1	10	125
2017	18	6	0	97	3	5	0	7	2	9	147
2018	13	7	21	128	1	7	0	5	1	3	186
2019	9	17	4	116	1	6	1	5	1	3	163
2020	59	25	35	338	7	10	3	7	8	22	514

Tabelle 8:
Anerkannte Berufskrankheiten für die BK-Nr. 4114 nach UVT von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, Anerkannte Berufskrankheiten* BK-Nr. 4114											
Jahr	BG RCI	BGHM	BG ETEM	BG BAU	BGN	BGHW	BG Verkehr	VBG	BGW	UVTöH	Gesamt
2009	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
2010	1	5	0	9	0	0	0	0	0	0	15
2011	3	6	0	8	0	0	0	0	0	0	17
2012	0	6	2	8	0	2	1	0	0	0	19
2013	2	10	2	7	0	0	0	0	0	3	24
2014	0	6	1	15	0	1	0	0	0	0	23
2015	2	7	1	21	0	0	1	1	0	0	33
2016	2	3	1	14	0	0	1	1	0	0	22
2017	1	10	0	11	0	1	0	2	0	2	27
2018	2	11	1	22	0	0	1	1	0	1	39
2019	0	12	2	9	0	0	0	0	0	0	23
2020	1	15	3	20	0	0	0	0	0	1	40

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

Tabelle 9:

BK-Verdachtsanzeigen, entschiedene Fälle und Todesfälle für die BK-Nr. 4114 von 2009 bis 2020

Geschäfts- und Rechnungsergebnisse – Gewerbliche Berufsgenossenschaften und UVT der öffentlichen Hand, BK-Nr. 4114						
Jahr	BK-Verdachtsanzeigen	Entschiedene Fälle			Neue BK-Renten	Todesfälle Berufserkrankter**
		Anerkannte Fälle*	Nicht bestätigte Fälle	Insgesamt		
2009	42	2	21	23	1	2
2010	89	15	66	81	14	4
2011	109	17	78	95	16	11
2012	121	19	97	116	16	14
2013	138	24	125	149	24	26
2014	126	23	143	166	20	19
2015	137	33	137	170	28	12
2016	125	22	136	158	19	15
2017	147	27	138	165	24	17
2018	186	39	202	241	35	22
2019	163	23	178	201	26	24
2020	242	40	290	330	38	22

* Ab 2019: Erstmals anerkannte Fälle. Ab dem Berichtsjahr 2019 werden Fälle, die bereits in Vorjahren anerkannt wurden und in denen im aktuellen Berichtsjahr erstmalig eine Rente zuerkannt wird, nicht wie bisher als Anerkennungen gezählt.

** Todesfälle Berufserkrankter infolge der Berufskrankheit

3 Vorkommen

PAK treten in Pyrolyseprodukten aus organischem Material auf. Dies sind unter anderem Steinkohlen- und Braunkohlenteer, Kokereiöle, Öle aus der Pyrolyse von Erdölfraktionen, Altreifen und Kunststoffabfällen. Die größte technische Bedeutung hat Steinkohlenteer aus der Verkokung von Steinkohle.

Der Gehalt an PAK im Steinkohlenteer ist deutlich höher als im Braunkohlenteer [12]. Grund hierfür ist die unterschiedliche Art der Veredlung von Stein- und Braunkohle. Die Verkokung der Steinkohle bei Temperaturen von 1 250 bis 1 350 °C liefert neben Koks auch Steinkohlenteer, dessen PAK-Gehalt bei mehr als 50 % liegt. Die Braunkohle wird dagegen bei Temperaturen von 500 bis 550 °C verschwelt. Der dabei entstandene Braunkohlenschwelteer enthält nur etwa 9 % PAK. Diese zur Verkokung unterschiedliche Prozessführung hatte eine größtmögliche Ausbeute an aliphatischen Kohlenwasserstoffen und die Gewinnung von Kraftstoff und Paraffin zum Ziel. Auch der bei der Hochtemperaturverkokung von Braunkohle (Gaskombinat Schwarze Pumpe und Braunkohlenveredlung Lauchhammer) gewonnene Braunkohlenteer entsprach noch einem Schwelteer [13]. Weiter ist zu beachten, dass der PAK-Gehalt in Produkten aus Steinkohle um Größenordnungen höher liegt als in vergleichbaren Veredelungsprodukten aus Erdöl (z. B. Bitumen).

Pyrolyseprodukte aus organischem Material können unter besonderen Bedingungen, auch bei der Verarbeitung anderer Stoffe, unbeabsichtigt freigesetzt werden. Hierzu zählen unter anderem:

- Gießen von Eisen und Stahl bei Anwesenheit organischer Materialien,
- thermische Belastung von steinkohlenteerölimprägnierten Bahnschwellen beim Schweißen von Schienenstößen,
- Verbrennungsprozesse in Heizungsanlagen mit unvollständiger Verbrennung,
- elektrolytische Prozesse unter Einsatz kohlenstoffhaltiger Elektroden.

Einige technisch hergestellte Pyrolyseprodukte werden in Destillate und Destillationsrückstände aufgetrennt und in der Regel nach physikalischer und/oder chemischer Nachbehandlung technisch verwendet:

- Herstellung reiner Verbindungen in der chemischen Industrie, z. B. Benzol, Xylol, Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Pyren, Carbazol,
- Herstellung von technischem Ruß für Reifen,
- Herstellung von Holzschutz-, Extraktions- und Lösemitteln.

Die Destillationsrückstände (Peche) finden fast ausschließlich Verwendung in der metallurgischen Industrie, z. B. zur Herstellung von Kohlenstoffelektroden für die Aluminium- und Stahlerzeugung sowie von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrografit. In der Vergangenheit wurde Teerpech in größeren Mengen auch in der Bauwirtschaft eingesetzt. Teere und Peche fanden darüber hinaus unter anderem in der Feuerfestindustrie zum Herstellen feuerfester Steine, in der Eisen-Hüttenindustrie bei Verwendung besonderer Feuerfestprodukte sowie in der optischen Industrie als Kittmittel bei der Linsenherstellung Anwendung.

Teeröle verwendete man in der Bauindustrie als Plastifizierungs- und Bindemittel in Straßenbaustoffen und für Schwarzanstrichstoffe, z. B. beim Beschichten von Stauwehren und zum Isolieren.

Bitumen wird durch Destillationen aus Erdöl gewonnen. Es ist kein Pyrolyseprodukt und enthält selten mehr als 100 mg/kg PAK. In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) liegt der BaP-Gehalt in Bitumen sowie Naturasphalt (Trinidad-Epuré) bei 1 bis 3 mg/kg [14].

Aus der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) liegen Analysendaten zu BaP-Gehalten in Bitumen vor. Das Petrochemische Kombinat Schwedt führte 1972 in einem gemeinsamen Projekt mit dem Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke Untersuchungen zu BaP in Bitumen B 80 und B 200 durch. Bitumen aus sowjetischem Erdöl enthielt demnach 0,2 bis 0,5 mg/kg BaP. Aus sowjetischer Literatur waren ähnliche Zahlenwerte zu entnehmen [15]. In einer Literaturquelle wurde für Bitumenasphalt ein BaP-Gehalt von 4,67 mg/kg angegeben [16].

Bei BaP-Gehalten von über 5 mg/kg ist davon auszugehen, dass es sich nicht mehr um reines Bitumen, sondern um ein Gemisch mit Teer handelt. Mit der im IFA häufig angewandten Analytik (HPLC mit DAD/FLD, siehe Abschnitt 4.4 und Anhang 1) liegen bei der Auswertung von Arbeitsplatzmessungen auf PAK beim Umgang mit heißem Bitumen die Messwerte meist unter der Bestimmungsgrenze (BG).

Bitumen wird vor allem im Walzasphalt sowie in Bitumenbahnen eingesetzt, darüber hinaus beispielsweise im Gussasphalt und in Bitumenanstrichen.

Literatur

- [12] Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung, 2: Gaswerke/Kokereien. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden 2003
- [13] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Bd. 16, 1965, S. 699
- [14] *Knecht, U.; Stahl, S.; Woitowitz, H.-J.*: Handelsübliche Bitumensorten: PAH-Massengehalte und temperaturabhängiges Emissionsverhalten unter standardisierten Bedingungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 59 (1999) Nr. 11/12, S. 429-434
- [15] VEB Petrochemisches Kombinat Schwedt: Chemische Zusammensetzung von Bitumen B 80 und B 200. Schreiben an die Arbeitshygieneinspektion Karl-Marx-Stadt, 1973
- [16] *Schamp, N.; van Wassenhove, F.*: Determination of benzo[a]pyrene in bitumen and plants. J. Chromatogr. A 69 (1972), S. 421-425

4 Grenzwerte, Einstufungen und Messverfahren

Seit Jahren ist es gängige regulatorische Praxis, BaP als Leitsubstanz für eine Belastung durch PAK heranzuziehen. Dafür verantwortlich sind in erster Linie analytische Gründe. Aufgrund der guten Nachweisbarkeit von BaP liegen für diesen Stoff auch die meisten Messwerte vor. In vielen untersuchten PAK-Gemischen trägt BaP ca. 10 % zur krebserzeugenden Gesamtwirkung des Gemisches bei. Nachteil dieser Vorgehensweise sind die variablen Relationen zwischen BaP und den Anteilen höher siedender PAK. Daher ist man in der Vergangenheit dazu übergegangen, neben BaP weitere PAK zu bestimmen. Häufig verwendet wird die 16 PAK umfassende Liste der amerikanischen Umweltbehörde (Environmental Protection Agency, EPA), die jedoch für Umweltproben gedacht ist und neben BaP mit Dibenzo[a,h]anthracen nur noch eine weitere stark kanzerogene Substanz aufweist. So sind weitere Substanzen im Gespräch, die schon aufgrund ihrer hohen kanzerogenen Wirkung in Zukunft mit analysiert und in die Bewertung einbezogen werden sollen. Dabei sind auch Wirkungsäquivalenzmodelle in der Diskussion, wie sie bereits bei der Bewertung von Dioxinen erfolgreich angewendet werden. Solche Modelle stehen allerdings noch nicht zur Verfügung und somit liegt ein Bewertungsmaßstab unter Berücksichtigung mehrerer PAK (PAK-Profil) derzeit nicht vor.

4.1 Bundesrepublik Deutschland

4.1.1 Einstufung

Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 906 „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV“ [17] enthält eine Aufstellung von Tätigkeiten oder Verfahren, die in Anlage I der Richtlinie 2004/37/EG oder vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) als krebserzeugend Kategorie 1A oder 1B bezeichnet werden. Hier findet sich folgender Eintrag zu PAK:

„Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte krebserzeugenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen ausgesetzt sind, die in Pyrolyseprodukten aus organischem Material (z. B. Steinkohlenruß, Steinkohlenteer oder Steinkohlenteerpech) vorhanden sein können. Es ist zulässig, als Bezugssubstanz für Pyrolyseprodukte mit krebserzeugenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen den Stoff Benzo[a]pyren zu wählen.“

In der Europäischen Union (EU) sind durch die CLP-Verordnung 1272/2008 Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[j]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen, BaP, Benzo[e]pyren, Chrysen und Dibenz[a,h]anthracen als krebserzeugend in die Kategorie 1B eingestuft. In der

Verordnung (EU) 2020/217 (14. Anpassung der CLP-Verordnung) werden die Stoffe Benzo[r,s,t]pentaphen und Dibenz[a,h]pyren (Dibenzo[b,def]chrysen) als krebserzeugend Kategorie 1B und keimzellmutagen Kategorie 2 eingestuft. Im Entwurf zur 15. Anpassung der CLP-Verordnung wird der Stoff Dibenz[def,p]chrysen (Dibenzo[a,l]pyren) als krebserzeugend Kategorie 1B und keimzellmutagen Kategorie 2 geführt. Naphthalin ist als krebserzeugend in die Kategorie 2 nach GHS/CLP-Verordnung eingestuft.

4.1.2 Grenzwerte

1989 wurde erstmals ein Luftgrenzwert am Arbeitsplatz für BaP festgelegt, der bis Ende des Jahres 2004 gültig war. Dieser Grenzwert war als Technische Richtkonzentration (TRK) definiert. Es galten folgende Werte:

- 5 µg/m³ – Strangpechherstellung und -verladung
- 5 µg/m³ – Ofenbereich von Kokereien
- 2 µg/m³ – im Übrigen

Der Wert von 5 µg/m³ konnte in Kokereien an Arbeitsplätzen im Bereich des Oberofens (Einfeger, Steigrohrreiniger, Türmann) sowie bei der Strangpechherstellung und der Strangpechverladung in diesem Zeitraum zum Teil technisch nicht eingehalten werden. Deshalb waren hier zusätzliche organisatorische Maßnahmen und Maßnahmen des persönlichen Arbeitsschutzes erforderlich. Der Überschreitungsfaktor lag bei 4 x TRK als Mittelwert über 15 Minuten, wobei die Dauer der erhöhten Exposition während der Schicht eine Stunde nicht übersteigen durfte. Mit Inkrafttreten der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) am 1. Januar 2005 und der Einführung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) wurde den technikbasierten Grenzwerten nach dem TRK-Konzept die rechtliche Grundlage entzogen. Für BaP besteht seitdem kein Luftgrenzwert mehr. Für Naphthalin galt von 2011 bis 2017 ein AGW von 0,5 mg/m³ in der einatembaren Staubfraktion (E-Fraktion, E). 2018 wurde ein AGW von 2 mg/m³ (E) mit einer Ausnahme für die Schleifmittelindustrie bis zum 28. Februar 2023 in Höhe von 5 mg/m³ (E) festgelegt.

4.1.3 Exposition-Risiko-Beziehung, Akzeptanz- und Toleranzkonzentration

Für BaP in bestimmten PAK-Gemischen wurde eine Exposition-Risiko-Beziehung (ERB) abgeleitet. Auf Basis der ERB wurden folgende Werte festgelegt:

- Akzeptanzkonzentration: 70 ng/m³ E (0,07 µg/m³)
- Toleranzkonzentration: 700 ng/m³ E (0,7 µg/m³)

Die in der TRGS 910 [18] ausschließlich zur Verwendung für Präventionsmaßnahmen veröffentlichten Risikowerte haben keine unmittelbare¹ Bedeutung in entsprechenden BK-Verfahren.

4.2 Ehemalige DDR

Bis zum Jahr 1981 wurde der sowjetische Grenzwert (Achtstundenschicht, 21 Arbeitstage pro Monat) für BaP verwendet. Er betrug $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und war messtechnisch nicht überprüfbar. Dieser Grenzwert diente gleichzeitig als Richtkonzentration bei der Bewertung der PAK-Exposition an Arbeitsplätzen, wobei man sich der Unzulänglichkeit dieser Verfahrensweise bewusst war [19]. Von 1981 bis Juli 1989 existierte in der ehemaligen DDR ein MAK-Grenzwert für BaP von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daneben galt ein Kurzzeitwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.3 Andere Grenzwerte

Die Untersuchung von Luftproben auf PAK erfordert einen relativ hohen analytischen Aufwand. Aus diesem Grund gehen einige Staaten wie Dänemark, die USA oder Australien einen anderen Weg, um Arbeitsplätze auf Belastungen durch PAK zu untersuchen. Als Maß für die Belastung durch PAK dient der Grenzwert Time-Weighted Average Theshold Limit Value (TWA-TLV, nach American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), der alle in Benzol oder Cyclohexan löslichen Anteile der E-Fraktion (Gesamtstaub) als PAK interpretiert: $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3 \text{ coal tar pitch volatiles}$ (CTPV).

Vorteil dieser Vorgehensweise ist die einfache Überprüfbarkeit des Grenzwertes, da es sich beim analytischen Bestimmungsverfahren lediglich um eine einfache Wägung nach vorangegangener Extraktion des Gesamtstaubs handelt. Aus arbeitsplatzhygienischen Gründen wurde Cyclohexan als Extraktionsmittel anstelle von Benzol vorgeschlagen. Nachteil des Verfahrens ist seine Unspezifität, denn alle organischen Substanzen, die im jeweiligen Extraktionsmittel löslich sind, werden neben den Steinkohlenteerbestandteilen miterfasst. So enthalten Lackaerosole, Dieselmotoremissionen oder Mehlstaub ebenfalls lösliche Bestandteile, die dem CTPV formal zugeordnet werden müssen.

4.4 Messverfahren

Die ersten Messungen von BaP erfolgten mit Papierfiltern zur Probenahme und mit Säulen- oder Papierchromatographie als Analysenmethode. Diese Verfahren hatten eine geringe Selektivität und relativ hohe BG. Ab den 1960er-Jahren wurden durch den Einsatz von Glasfaserfiltern und der Dünnschichtchromatographie (DC), vor allem mit Scanner-Auswertung, deutlich bessere Verfahren angewandt. Mit der Gaschromatographie (GC) und etwas später der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) standen seit den 1970er-Jahren Verfahren zur Verfügung, die neben der Bestimmung von BaP auch die weiterer PAK ermöglichten. Dies erforderte den Einsatz von Adsorptionsmitteln zur Erfassung des Dampfanteils der PAK bei der Probenahme.

Für die von den messtechnischen Diensten im MGU durchgeführten Arbeitsplatzmessungen gilt, dass bis 1999 die in Kapitel 7 angegebenen Messwerte mittels DC [20] in der E-Fraktion ermittelt wurden. Durch Verwendung eines kombinierten Probenträgers (PTFE-Filter/XAD-2) und anschließender HPLC-Analytik ließen sich ab 1995 dampfförmige Anteile ebenfalls erfassen [21]. Nach Ableitung von stoffspezifischen ERB für BaP hat das IFA ein leistungsstärkeres flüssigchromatographisches Verfahren für rein partikulär vorliegende PAK entwickelt [22]. Seit 2000 analysiert das IFA BaP und andere PAK nur noch mittels HPLC, seit 2013 prioritär mit dem empfindlicheren Verfahren für schwerer flüchtige PAK. Ausführlichere Angaben zu Messverfahren sind in Anhang 1 zu finden.

¹ Die der TRGS 910 zugrunde liegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse sind in BK-Verfahren unter den geltenden BK rechtlichen Gesichtspunkten, insbesondere mit Blick auf die erforderlichen Einzelfallentscheidungen, gesondert zu würdigen.

Literatur

- [17] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV (TRGS 906). Ausg. 7/2005. BArbBl. (2005) Nr. 7, S. 79-80
- [18] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen: Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (BekGS 910). Ausg. 6/2008; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 10, S. 194
- [19] *Otto, J.; Schmidt, E.*: Arbeitsplatz-Konzentration polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH). Z. ges. Hyg. 24 (1978) Nr. 12, S. 895-898
- [20] Berufsgenossenschaftliche Information: Verfahren zur Bestimmung von Benzo[a]pyren und anderen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) (ZH 1/120.25). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 1989
- [21] *Hahn, J. U.; Assenmacher-Maiworm, H.*: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) – Methode 2. In: Greim, H. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd.1. Luftanalysen. 13. Lfg. 2003. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim, Wiley-VCH (Losebl.-Ausg.)
- [22] *Assenmacher-Maiworm A., Hahn J.-U, Heinrich B., Schuh C., Hebisch R., Hartwig A.*: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), schwerer flüchtige – Methode zur Bestimmung schwerer flüchtiger PAH in der Luft am Arbeitsplatz mittels Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) – Methode 2. In: Greim, H. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd.1. Luftanalysen. 13. Lfg. 2017. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim, Wiley Online Library

5 Hinweise zur Vorgehensweise bei der Ermittlung der BaP-Belastungen und Berechnung der BaP-Jahre

Der vorliegende Report soll die BK-Bearbeitung im Zusammenhang mit PAK-Einwirkungen wesentlich vereinfachen und vereinheitlichen.

- Der Report ist vorrangig für eine fachkundige Ermittlung gedacht. Oft ist es von Vorteil, wenn die Ermittlung und Beurteilung einer PAK- bzw. BaP-Exposition solche Personen durchführen, die die zu beurteilenden Arbeitsplätze und Arbeitsverfahren möglichst aus eigener Anschauung kennen, da betroffene Betriebe oder Betriebsteile zum Zeitpunkt der Ermittlung häufig nicht mehr existieren.
- Art, Dauer, Häufigkeit und Höhe der Exposition gegenüber BaP sind individuell zu ermitteln. Die Ermittlung arbeitsbedingter Einwirkungen sollte vorrangig im Gespräch mit der versicherten Person erhoben werden. Die Ermittlung des Präventionsdienstes oder einer anderen, die Einwirkung ermittelnde Stelle (z. B. speziell ausgebildete BK-Ermittler/innen)² muss das gesamte Berufsleben der versicherten Person umfassen und nicht nur die ihr direkt als PAK-exponiert erinnerlichen Tätigkeiten. Auf diesem Wege können auch die nicht offensichtlichen Expositionen erkannt werden. Auch die Angabe und ggf. Befragung von Personen aus dem damaligen betrieblichen Umfeld kann im Rahmen des Ermittlungsverfahrens von Bedeutung sein.
- Zusätzlich zu erfassen sind unter anderem Vertretungen, Überstunden oder lange Fehlzeiten. Dabei versteht man unter letzterem Zeiträume von mehr als 20 Arbeitstagen pro Jahr.

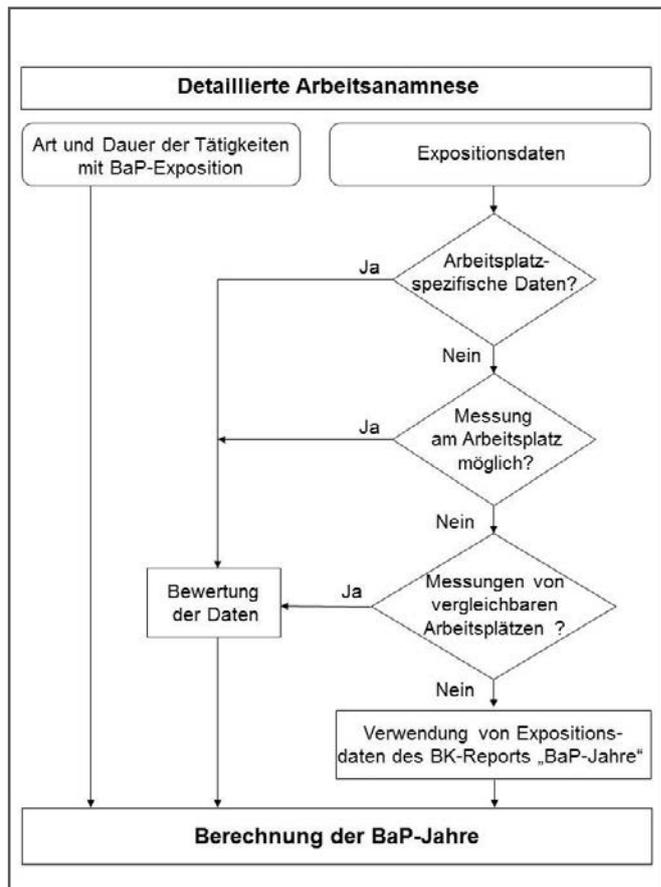
Am Ende soll eine detaillierte Arbeitsplatz- und Tätigkeitsbeschreibung mit nachvollziehbaren Angaben zur Beschäftigungs- und Expositionsdauer in den jeweiligen Mitgliedsunternehmen stehen. Diese ist Grundlage für die Berechnung der BaP-Jahre (siehe Abschnitt 5.3 und 5.5). Zur Berechnung der BaP-Jahre ist die ermittelte Expositionsdauer mit den ermittelten BaP-Konzentrationen zu multiplizieren (siehe Abschnitt 5.3 ff.). Es darf jedoch nicht ohne Weiteres auf die in diesem Report angegebenen Werte zurückgegriffen werden. Folgende Vorgehensweise ist einzuhalten (**Abbildung 1**):

- Liegen repräsentative Messungen für den betreffenden Arbeitsplatz vor bzw. können diese noch durchgeführt werden, sind diese heranzuziehen.
- Sind Messwerte von vergleichbaren Arbeitsplätzen vorhanden bzw. sind nachstellende Messungen realisierbar, die retrospektiv ein Bild über die jeweilige

Expositionssituation liefern könnten, sind die erhaltenen Daten heranzuziehen.

- Nur für den Fall, dass keine geeigneten Messdaten vom Arbeitsplatz der versicherten Person oder vergleichbarer Arbeitsplätze verfügbar sind, dürfen die Expositionsdaten aus diesem BK-Report zu vergleichbaren Arbeitsplätzen für die Ermittlung der BaP-Jahre verwendet werden.

Abbildung 1:
Vorgehen zur Ermittlung der BaP-Jahre



5.1 Inhalative Exposition

Die in den wissenschaftlichen Begründungen angegebenen kumulativen Dosiswerte von 80 bzw. 100 BaP-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ beziehen sich auf BaP-Konzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz und damit auf die inhalative Exposition. Bei der BK-Nr. 4113/4114 ist nur die inhalative Exposition zu berücksichtigen, da für diese Erkrankungen die inhalative Aufnahme von PAK und deren Deponierung auf der Bronchialschleimhaut bzw. Schleimhaut des Kehlkopfes maßgebend ist [23; 24]. Bei der BK-Nr. 1321 sind

² Da die Ermittlung der Einwirkung bei den meisten UVT durch den Präventionsdienst durchgeführt wird, werden nachfolgend generell die Begriffe Prävention bzw. Präventionsdienst für die ermittelnde Stelle verwendet – auch aus Gründen der besseren Lesbarkeit.

ebenfalls die inhalativen Expositionen zu ermitteln. Darüber hinaus spielen hier auch dermale Einwirkungen eine Rolle.

5.2 Dermale Exposition

Im Falle einer kombinierten Einwirkung (inhalativ und dermal) werden bei der BK-Nr. 1321 die Einwirkungen anhand des hier vorliegenden BK-Reports in Form der BaP-Jahre berechnet. In der Richtwertdosis von 80 BaP-Jahren ist bereits ein dermaler Anteil berücksichtigt, so dass dieser nicht separat beschrieben oder ausgewiesen werden muss.

Tätigkeiten mit ausschließlich dermaler Einwirkung sind von der wissenschaftlichen Begründung der BK-Nr. 1321 nicht erfasst. In solchen Fällen muss in der Stellungnahme der Prävention der dermale Kontakt qualitativ (Art, Dauer, Häufigkeit, betroffene Hautareale) beschrieben werden [25]. Die Hautresorption von PAK beim Menschen ist zwar gut dokumentiert, allerdings handelt es sich bei den Studien meist um Untersuchungen zu 1-Hydroxypyren, die keine Rückschlüsse auf die dermale BaP-Aufnahme erlauben [26]. Eine Quantifizierung der über die Haut aufgenommenen BaP-Mengen ist derzeit aufgrund fehlender wissenschaftlicher Daten noch nicht möglich.

Expositionen mit ausschließlich dermaler Exposition:

- BaP-Exposition durch Hautkontakt zu gebrauchten Motorölen in PKW-Werkstätten bis Mitte der 80er Jahre,
- Imprägnierung von Hölzern (z. B. Schwellen-Gleisbau, Masten-Freileitungsbau) mit Holzschutzmittel auf Teerbasis und Umgang mit den imprägnierten Hölzern (Transport, Einbau, Besteigen von Masten),
- Verarbeitung von Carbolineum im Handauftrag (Kaltverarbeitung),
- Verarbeitung von teerhaltigen Bautenschutzanstrichen im Handauftrag (Kaltverarbeitung).

5.3 Definition des BaP-Jahres

Der Begriff BaP-Jahr ist eine Dosisangabe – das Produkt aus Arbeitsplatzkonzentration und Zeit. Ein BaP-Jahr entspricht einer arbeitstäglich achtstündigen Einwirkung über ein Jahr von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP bei 240 Arbeitstagen (Schichten pro Jahr).

Beispiele:

- $1 \text{ BaP-Jahr} = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ BaP} \times 1 \text{ Jahr}$
- $10 \text{ BaP-Jahre} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ BaP} \times 1 \text{ Jahr}$ oder $5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ BaP} \times 2 \text{ Jahre}$

- $100 \text{ BaP-Jahre} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ BaP} \times 10 \text{ Jahre}$ oder $20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ BaP} \times 5 \text{ Jahre}$

5.4 Normierung von Arbeitstagen pro Jahr und Schichtlänge

Eine valide Ermittlung der BaP-Jahre ist nur möglich, wenn Art und Dauer der Tätigkeiten möglichst genau recherchiert werden. Für die Berechnung sind die individuellen Arbeitszeiten der versicherten Person heranzuziehen (siehe unten). Hilfreich können dabei z. B. Schichtzettel oder andere archivierte Betriebsdaten sein sowie belegte Arbeitszeiten aus vergleichbaren Betrieben oder den statistischen Taschenbüchern des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales [27]. Lassen sich Arbeitszeiten z. B. aufgrund fehlender Detailinformationen nicht mehr exakt ermitteln, so nimmt man für die retrospektive Berechnung der Arbeitszeit im Beurteilungszeitraum 240 Arbeitstage pro Jahr und acht Arbeitsstunden pro Schicht bzw. Arbeitstag an. Damit ergeben sich folgende Normierungen und Relationen:

- $1 \text{ Jahr} = 12 \text{ Monate} = 240 \text{ Arbeitstage (Schichten)} = 1920 \text{ Arbeitsstunden}$
- $1 \text{ Monat} = 20 \text{ Arbeitstage} = 1/12 \text{ Jahr} = 0,0833 \text{ Jahr}$
- $1 \text{ Arbeitstag} = 1/240 \text{ Jahr} = 0,00417 \text{ Jahr}$
- $\text{Arbeitsstunde} = 1/1920 \text{ Jahr} = 0,000521 \text{ Jahr}$

5.5 Berechnung der BaP-Jahre

Es soll unterschieden werden zwischen Schichtexposition (8 Stunden), verkürzter Exposition (< 8 Stunden) sowie verlängerter Exposition (> 8 Stunden) in BaP-exponierten Bereichen. Die Expositionszeit kann in Stunden, Tagen, Monaten oder Jahren angegeben sein. Sie ist jedoch zur Berechnung der BaP-Jahre stets auf Jahre umzurechnen. Eine ausführliche Darstellung mit Musterbeispielen ist in Kapitel 8 aufgeführt.

5.5.1 Schichtexposition

Beschäftigte sind über die gesamte Schicht einer BaP-Konzentration in Höhe eines Schichtmittelwertes exponiert. Damit lässt sich die Expositionszeit pro Schicht („Expositionsanteil“) bei einer Schichtlänge von acht Stunden durch den Bruch $8/8$ definieren.

5.5.2 Verkürzte und sporadische Exposition

Bei verkürzter oder sporadischer Exposition ist die versicherte Person nur eine bestimmte Zeit während ihrer Tätigkeit exponiert. In die Berechnung darf daher nur die tatsächliche Dauer der Exposition eingehen. Damit lässt sich die Expositionszeit pro Schicht bei einer angenom-

menen Exposition während vier Stunden durch den Bruch 4/8 beschreiben. Auch Angaben der Wochenarbeitszeit von z. B. 30 Stunden pro Woche lassen sich entsprechend ausdrücken. Im genannten Beispiel ergibt sich so der Expositionsanteil 30/40 (gemäß 1 Woche = 5 Schichten = 40 Stunden).

Unter bestimmten Umständen hält sich die versicherte Person (z. B. Betriebsschlosser oder -elektriker) nur sporadisch in exponierten Bereichen auf. Diese Zeiten sind bei der Berechnung der Expositionszeit pro Schicht zu berücksichtigen. Dies kann wie oben beschrieben geschehen, falls regelmäßig in jeder Schicht wiederkehrende Arbeiten im exponierten Bereich durchzuführen sind. In anderen Fällen ist es zweckmäßiger, die Zeiten summarisch über ein Jahr zusammenzufassen. Bei einer Exposition während 288 Stunden innerhalb eines Jahres lässt sich der Expositionsanteil durch den Bruch 288/1 920 (gemäß 1 Jahr = 240 Schichten = 1 920 Stunden) darstellen.

5.5.3 Verlängerte Exposition

Bei verlängerter Exposition liegt eine über die Normarbeitszeiten (siehe Abschnitt 5.4) hinausgehende Dauer der Exposition vor. Beispielsweise lässt sich eine Exposition während zehn Stunden pro Schicht durch den Bruch 10/8 beschreiben. Bei einer Exposition von z. B. 50 Stunden pro Woche ergibt sich als Expositionsanteil ein Bruch von 50/40.

5.6 Verwendung von Schicht- und Tätigkeitswerten

In diesem Report sind sowohl Schichtmittelwerte als auch Tätigkeitswerte angegeben. Erstere beschreiben Arbeiten, die auch mehrere Tätigkeiten umfassen können. Sind also Schichtmittelwerte in den Tabellen ausgewiesen, bedeutet dies, dass alle PAK- bzw. BaP-belasteten Tätigkeiten während den genannten Arbeiten auch in den Schichtmittelwert eingegangen sind. Da die Abschätzung des Anteils einzelner belasteter Tätigkeiten an einem Arbeitsspektrum oft schwierig ist, sind Schichtmittelwerten bei BaP-Jahre-Berechnungen zu bevorzugen.

Der Schichtmittelwert bezieht sich zwar generell auf eine 8-stündige Arbeitszeit, er ist aber auch dann anzuwenden, wenn die mit diesem Wert beschriebenen Arbeiten nur während eines Teils der Schicht ausgeübt wurden. Hat beispielsweise die versicherte Person jeweils eine halbe Schicht pro Tag in einem exponierten Bereich gearbeitet, so wird der entsprechende Schichtmittelwert mit einem Expositionsanteil von 4/8 Schicht in die Berechnung eingehen.

Tätigkeitswerte beziehen sich auf eine bestimmte Tätigkeit. Dabei wird vorausgesetzt, dass die angegebene Exposition nur während der Tätigkeit gegeben ist und außerhalb dieser Tätigkeit andere oder gar keine Expositionen gegenüber PAK bzw. BaP vorliegen. Erstreckt sich diese Tätigkeit über die ganze Schicht, kann auch ein Tätigkeitswert wie ein Schichtmittelwert verwendet werden. Anderenfalls kommt der Ermittlung der Dauer der einzelnen Tätigkeiten während einer Schicht im Rahmen der Arbeitsanamnese große Bedeutung zu. Im Einzelfall lässt sich eine Schicht rekonstruieren, wenn konkrete Angaben zur individuellen Arbeitszeit und der Dauer einzelner Tätigkeiten der versicherten Person ermittelt werden können. Die einzelnen Tätigkeiten werden dann entsprechend ihrer Schichtanteile berücksichtigt.

Im Rahmen der Arbeitsanamnese sind Angaben zur Dauer bestimmter Tätigkeiten mit BaP-Exposition stets kritisch auf ihre Plausibilität zu prüfen.

5.7 Ermittlung bei ungünstigen aber realistischen Expositionsbedingungen

Liegen die Arbeitsverhältnisse, die für eine Berechnung der BaP-Jahre herangezogen werden sollen, sehr weit zurück, führt dies häufig zu Unschärfen bei den ermittelten Expositionsbedingungen (z. B. Expositionsanteile, Verwendungszeiten teerhaltiger Arbeitsstoffe). In solchen Fällen kann die Situation mit ungünstigen, aber realistischen Bedingungen beschrieben werden. In der Regel werden dazu Begriffe wie „ungünstiger Fall“ oder „Reasonable Worst Case“ verwendet – früher auch fälschlicherweise „Worst Case“, also „ungünstigster Fall“. In der Version der TRGS 402 [28] ab 2022 oder später wird der ungünstige Fall (Reasonable Worst Case) beschrieben werden. Dementsprechend können Reasonable-Worst-Case-Situationen vorliegen, wenn in Folge besonderer Randbedingungen höhere inhalative Expositionen als üblich zu erwarten sind oder waren. Die höhere inhalative Exposition kann z. B. durch stark staubende Stoffe, höhere Einsatzkonzentration, besondere klimatische Bedingungen, schlechte Lüftungsbedingungen, sehr hohe Auslastungen, sehr großen Materialverbrauch, kurze Taktzeiten oder ungünstige ergonomische Situation hervorgerufen werden.

Die besonderen Randbedingungen ergeben dann in dem zu beurteilenden Arbeitsbereich bzw. bei den zu beurteilenden Tätigkeiten unter ungünstigen, aber realistischen Betriebsbedingungen eine Obergrenze für die Exposition.

Solche Betriebsbedingungen, die Einfluss auf die Exposition haben, sind z. B. hohe Auslastung, großer Materialverbrauch, kurze Taktzeiten, schlechte Lüftungsbedingungen oder eine ungünstige ergonomische Situation. Theoretische Extrembedingungen, z. B. das vollkommene Fehlen eines Luftaustausches oder ganzjährig hohe Raumtemperaturen, sind keine realistischen Bedingungen.

Für die Ermittlung und Bewertung der stattgehabten Einwirkungen ist jeweils ein realitätsgerechter Maßstab zugrunde zu legen, weil die Einwirkungen im Sinne des Vollbeweises – also mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit – vorliegen müssen. Der UVT hat deshalb eine möglichst an den tatsächlichen Verhältnissen angelehnte Berechnung vorzunehmen. Aus diesem Grunde hat das Bundessozialgericht (BSG)³ für den Bereich des BK-Rechts eine sogenannte „Worst-Case-Betrachtung“ für die positive Feststellung einer stattgehabten Einwirkung grundsätzlich abgelehnt. Allerdings lässt das BSG im Einzelfall eine solche Schätzung der Einwirkungen ausreichen, wenn mit ihr eine Einwirkungsdosis errechnet wird, die auf keinen Fall geeignet ist, die BK zu verursachen. Das bedeutet, dass im Falle einer „Worst-Case-Betrachtung“ weitere Ermittlungen zur Feststellung der Einwirkung unterbleiben können, wenn eine Einwirkung nicht als Ursache der Erkrankung in Betracht kommt. Kommt allerdings eine Einwirkung bei einer „Worst-Case-Betrachtung“ als Ursache der Erkrankung in Betracht, ist eine konkrete Beweisführung zum nachweisbaren Umfang der Einwirkung erforderlich.

Der Betrachtung ungünstiger, aber realistischer Bedingungen bei der Expositionsermittlung wird auch dadurch Rechnung getragen, dass aus den Messwert-Verteilungen in Kapitel 7 das 90. Perzentil der BaP-Konzentration (Expositionshöhe) herangezogen wird.

Im Einzelfall ist jeweils festzulegen, welche Daten in die Berechnung einfließen. Unzulässig sind Berechnungen, die auf nicht nachvollziehbaren Annahmen basieren. Bei mangelnder Datenlage kann auch die Situation eintreten, dass keine Berechnung der BaP-Jahre möglich ist.

5.8 Beurteilung von Einwirkungen und Ermittlung der BaP-Dosis

Zu jeder Ermittlung und jeder BaP-Jahre-Berechnung muss eine Stellungnahme des Präventionsdienstes verfasst werden. Diese muss neben allen relevanten Fakten hinreichende Begründungen für die zur Berechnung eingesetzten Tätigkeits- und Expositionsdauern enthalten. Ergänzt wird die Stellungnahme durch die tabellarische Auflistung der Einzelexpositionen, die zur Berechnung der kumulativen BaP-Dosis herangezogen wurden. Die Berechnung der BaP-Dosis sollte mit der IFA Software „BK-Anamnese“ in der aktuellen Version erfolgen.

War die versicherte Person auch gegenüber Asbestfaserstaub exponiert, ist zusätzlich zur Berechnung der BaP-Jahre eine Faserjahr-Berechnung durchzuführen (siehe Abschnitt 1.2). Typische Arbeitsbedingungen, in denen beide Expositionen auftreten, finden sich z. B. in folgenden Berufen bzw. Branchen (Betriebsarten): Dachdecker, Schornsteinfeger, Korrosionsschützer (insbesondere im Stahlwasserbau), Feuerungsmaurer, Parkettleger (im Rahmen von Abbrucharbeiten), Isolierer, Gießerei- und Stahlwerksarbeiter, Betriebsschlosser in Aluminiumhütten, Kokereiarbeiter sowie in Betrieben zur Herstellung von Carbid.

Werden Expositionen gegenüber weiteren krebserzeugenden Stoffen (z. B. Chrom(VI)- oder Nickelverbindungen) festgestellt, sind diese in der Stellungnahme zu beschreiben.

Für die Stellungnahme des Präventionsdienstes stehen die Formblätter J6200-1321, J6200-4104/4113/4114 zur Verfügung.

³ Urteil des BSG vom 15.09.2011, B 2 U 25/10 R: Aufhebung und Zurückverweisung des LSG-Urteils für das Saarland vom 11.11.2010.

Literatur

- [23] Bekanntmachung einer Empfehlung des Ärztlichen Sachverständigenbeirates, Sektion Berufskrankheiten: „Lungenkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 Benzo[a]pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “ (Bek. des BMA vom 5. Februar 1998 – IVa 4-45206-4110, Bundesarbeitsblatt 4/1998, S. 54 ff.)
- [24] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Kehlkopfkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 Benzo(a)pyren-Jahren $[(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{Jahre}]$ “ (Bek. des BMAS vom 01.07.2016 – IVa4-45222-4113 - GMBL. 26.08.2016, 653-659)
- [25] DGUV-Handlungsempfehlung ‚Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren‘ Stand: Mai 2021
- [26] *Greim, H.*: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologischer arbeitsmedizinischer Begründungen von MAK-Werten, Loseblattsammlung, 45. Lfg. DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft, WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2008
- [27] Statistisches Taschenbuch 2010 – Arbeits- und Sozialstatistik. Hrsg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Bonn 2010
- [28] TRGS 402 Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition Technische Regel für Gefahrstoffe Ausgabe: Februar 2010 GMBL 2010, S. 231 253 [Nr. 12] vom 25.02.2010, zuletzt geändert und ergänzt: GMBL 2016 S. 843-846 vom 21.10.2016 [Nr. 43]

6 Retrospektive Ermittlung der BaP-Exposition – Erläuterung der Daten

6.1 Datenquellen im BK-Fall

Die Art, Dauer und Intensität der Exposition durch die versicherte Tätigkeit muss im Feststellungsverfahren gezielt, z.B. durch Befragung der versicherten Person, aber auch von Zeugen oder Arbeitgebenden ermittelt werden. Seit 2005 sind Unternehmen nach § 14 GefStoffV verpflichtet, ein Expositionsverzeichnis der gegenüber krebserzeugenden PAK gefährdend exponierten Beschäftigten zu führen. Dieses kann hausintern oder alternativ durch Nutzung der DGUV Datenbank zur zentralen Erfassung gegenüber krebserzeugenden Stoffen exponierter Beschäftigter – Zentrale Expositionsdatenbank (ZED) geschehen [29]. Expositionsdaten zur versicherten Person aus der ZED oder aus dem hausinternen Expositionsverzeichnis sollten im BK-Ermittlungsverfahren herangezogen werden. Sie geben Auskunft über Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit der versicherten Person und enthalten im Idealfall auch quantitative Angaben zur Expositionshöhe.

Unternehmen haben jederzeit Zugriff auf die von ihnen erfassten Daten in der ZED. Da die versicherte Person oft aber nicht nur bei einem Unternehmen gearbeitet hat, kann sie im BK-Ermittlungsverfahren schriftlich einen Auszug über ihre gesamte Expositionshistorie bei der ZED anfordern und diese dem UVT weitergeben. Die versicherte Person kann außerdem im BK-Ermittlungsverfahren einer Weitergabe ihrer Daten an die UVT zustimmen. Liegt die Zustimmung vor, kann der UVT die Daten zu dieser versicherten Person direkt bei der ZED anfordern.

Für die Ermittlung der Expositionshöhe im BK-Fall existieren folgende Datenquellen:

- Messungen an betroffenen oder vergleichbaren Arbeitsplätzen,
- Auswertung aus der IFA Expositionsdatenbank MEGA zu vergleichbaren Arbeitsplätzen finden sich im vorliegenden BK-Report (Validitätskategorien 1 und 2),
- Daten aus dem Expositionsverzeichnis (ZED oder hausintern) zu Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit, ggf. zur Expositionshöhe,
- Literaturangaben, hier insbesondere der vorliegende BK-Report.

6.2 Betriebs- und Expositionsdaten aus der Expositionsdatenbank MEGA

Der größte Teil der in Kapitel 7 beschriebenen und ausgewerteten Messwerte zu BaP wurde über vier Jahrzehnte im Zeitraum von 1979 bis 2019 im Rahmen des MGU (vormals BGMG) ermittelt [30; 31]. Die Messwerte wurden im Rahmen von Arbeitsplatzmessungen nach

TRGS 402 ermittelt. Die gewählte Probenahmedauer ist repräsentativ für die angegebene Expositionsdauer. Die Dokumentation erfolgt für alle beteiligten UVT übergreifend in der IFA Expositionsdatenbank MEGA [32]. Die UVT erhalten regelmäßig Updates für ihre eigenen Expositionsdaten, auf deren Basis dann auch UVT-spezifische Auswertungen erfolgen.

Die betrieblichen Messungen fanden unter Einsatz von MGU-Standardverfahren in rund 3 340 Betrieben statt. Die Analytik im IFA erfolgte ebenfalls mit MGU-Standardverfahren. Für diesen Report stehen etwa 10 360 Messwerte zur Verfügung. Alle Messwerte wurden branchen- und arbeitsbereichsspezifisch ermittelt und in MEGA dokumentiert. Die Zuordnung zu Betriebsarten (Branchen) und Arbeitsbereichen erfolgte über Schlüsselverzeichnisse. Das Schlüsselverzeichnis für Betriebsarten basiert auf dem Verzeichnis „Klassifikation der Wirtschaftszweige“ des Statistischen Bundesamts [33].

In MEGA wurden die Expositionsdaten branchen- und arbeitsbereichsspezifisch selektiert und statistisch ausgewertet. Die Auswertungen wurden unter Mitarbeit von Experten der jeweiligen Branche gesichtet und einem fachlichen Qualitätscheck unterworfen. Zur Charakterisierung der Expositionshöhe wurden ab mindestens zehn Messwerten die 90. Perzentile unabhängig vom Verteilungstyp der ermittelten Messwerte errechnet. Insbesondere für länger zurückliegende Zeiträume kann ein entsprechend hohes Expositionsniveau nicht ausgeschlossen werden – falls nicht zu der betreffenden BK-Anzeige und den jeweiligen Arbeitsplätzen konkrete Expositionsinformationen vorliegen. Das 90. Perzentil besagt, dass 90 % der ausgewerteten Messwerte zu der entsprechenden Tätigkeitsbeschreibung unterhalb der angegebenen Konzentration, die restlichen 10 % oberhalb dieser Konzentration liegen. Bei weniger als zehn Messwerten wurde der doppelte arithmetische Mittelwert zur Charakterisierung der Expositionshöhe angegeben.

Die Messwerte aus dem Datenzeitraum von 1979 bis 1995 waren bereits elementarer Bestandteil des BK-Reports 2/1999 „BaP-Jahre“. Darüber hinaus enthält dieser Report aktuelle Messwerte aus dem Datenzeitraum 1996 bis 2009. Für einzelne Bereiche konnten sowohl vom IFA als auch von den UVT Daten bis 2019 ausgewertet werden. Bei den statistischen Auswertungen wurden ab 1996 in der Regel nur Messwerte mit einer Probenahmedauer von ≥ 1 h und einer Expositionsdauer von ≥ 6 h einbezogen. Diese Messwerte können als mit Schichtmittelwerten vergleichbar angesehen werden. **Tabelle 10** stellt weitere Faktoren zur groben Charakterisierung der Daten in den drei unterschiedlichen Datenzeiträumen nebeneinander dar.

Tabelle 10:
Überblick über die Expositionsdaten

Datenzeitraum	1979 bis 1995		1996 bis 2009		2010 bis 2019	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Datensätze	4 187	-	3 481	-	2 561	-
Betriebe	1 054	-	995	-	716	-
Probenahmesysteme						
VC 25 G	3 046	72,7	537	15,4	-	-
PAS GSP	702	16,7	2 744	78,8	2 561	100
G Viellochkopf	376	9	-	-	-	-
PM 4 G	-	-	139	4	-	-
Probenahmeart						
stationär	3 325	79,4	2 256	64,8	1 291	50,4
an der Person	862	20,6	1 225	35,2	1 249	48,8
Analysesysteme						
DC	4 038	96,4	883	25,4	-	-
HPLC	118	2,8	2 598	74,6	2 554	99,7
Messwerte						
Werte unter der BG	2 604	62,2	2 395	68,9	1 577	61,6

Betriebliche Messungen fanden von 1979 bis 1995 zu rund 73 % mit dem ausschließlich für stationäre Messungen einsetzbaren Gesamtstaubprobenahmegerät VC 25 G statt. Im Zeitraum 1996 bis 2009 wurden rund 79 % der Messungen mit dem personentragbaren Gesamtstaubprobenahmegerät GSP durchgeführt. Seit 2010 kommen diese nur noch zum Einsatz, überwiegend mit einem Volumenstrom von 2 oder 10 l/min. Im Datenzeitraum 1996 bis 2009 wurden rund 57 % der Messungen mit dem GSP stationär und 43 % an der Person durchgeführt. Auch im Datenzeitraum 2010 bis 2019 überwiegt der Anteil stationärer Messungen noch leicht. Die stationären Messungen mit dem GSP wurden im Atembereich der Beschäftigten vorgenommen und sind somit personenbezogene Expositionsmessungen. Da neben BaP zum Teil weitere Gefahrstoffe ermittelt wurden, konnten nicht immer alle Messungen gleichzeitig an der Person erfolgen. Aufgrund der Datenlage wurde bei den statistischen Auswertungen keine Differenzierung zwischen stationären Messungen und Messungen an der Person vorgenommen.

Die Analytik bediente sich im ersten Datenzeitraum fast ausschließlich der DC, im zweiten Datenzeitraum wurden hingegen nur noch 25 % der Analysen mit der DC vorgenommen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass seit 2002 ausschließlich die HPLC eingesetzt wird.

62 % der ausgewerteten Daten lagen im Datenzeitraum von 1979 bis 1995 unterhalb der BG und sind in MEGA mit dem Vorzeichen < versehen. Diese Messdaten wurden bis 1995 bei der statistischen Auswertung zum BK-Report 2/1999 „BaP-Jahre“ in der Regel nicht berücksichtigt. Lagen zu einem Arbeitsverfahren oder -bereich nur Messwerte unter der BG vor, so wurde in den Tabellen „nicht bestimmbar“ (n. b.) vermerkt, was auch im vorliegenden Report für den ersten Datenzeitraum beibehalten wird.

Ab 1996 sind Messwerte unter der BG mit der Hälfte ihres Betrages in die statistischen Auswertungen einbezogen worden. Liegen mehr als 89,9 % der Messwerte unterhalb der BG, wird auch n. b. anstelle eines berechneten 90. Perzentils angegeben. Sofern weniger als zehn Messwerte vorliegen, wird in den Tabellen der doppelte arithmetische Mittelwert des Datenkollektivs als Expositionshöhe angegeben und die Validitätskategorie 2 zugeordnet.

Allen Messwerten in diesem Report werden wegen der fachlichen Transparenz Validitätskategorien – kurz VK – zugewiesen (Tabelle 11).

Tabelle 11:
Validitätskategorien von Messwerten

Validitätskategorie	Bezeichnung der Validitätskategorie
VK 1	Es liegen mindestens zehn repräsentative Messwerte aus MEGA oder von Institutionen mit vergleichbaren Qualitätsstandards vor. Das 90. Perzentil wurde aus dem Datenkollektiv errechnet.
VK 2	Es liegen weniger als zehn repräsentative Messwerte aus MEGA oder von Institutionen mit vergleichbaren Qualitätsstandards vor. Aus dem Datenkollektiv wurde der doppelte arithmetische Mittelwert berechnet.
VK 3	Es liegen Einzelwerte oder arithmetische Mittelwerte aus Literaturveröffentlichungen oder nachgestellten Messungen vor. Die Expositionshöhe wurde aus diesen Werten abgeschätzt.
VK 4	Es liegen keine Messdaten vor. Die angenommenen Expositionen wurden durch Analogiebetrachtungen ähnlicher Arbeitsbereiche bzw. Tätigkeiten und nachgestellte Messungen abgeschätzt.

6.3 Zusammenfassende Übersicht über die Expositionsdaten aus MEGA

In den **Abbildungen 2 und 3** sind Messdaten zu BaP aus der IFA Expositionsdatenbank MEGA als Punktwolke dargestellt. Diese Abbildungen sollen einen allgemeinen Überblick der Expositionshöhen pro Jahr ermöglichen. Abbildung 2 zeigt die BaP-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf, die mit GSP als Personal Air Sampler (PAS) ermittelt wurden. Abbildung 3 zeigt die BaP-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf, die mit VC 25 G ermittelt wurden.

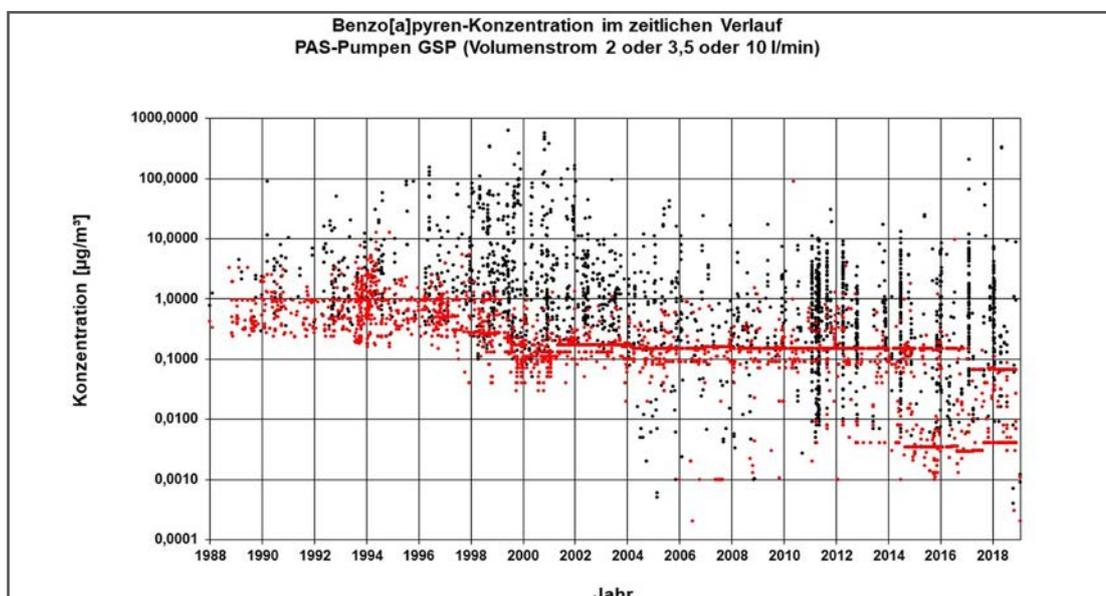
Die BG, unter anderem als Funktion der Probenahmedauer und des Volumenstroms in l/min, ist bei den mit dem GSP ermittelten BaP-Konzentrationen uneinheitlich. Visuell lassen sich verschiedene Phasen unterscheiden.

- 1989 bis ca. 1999: GSP-Pumpen mit 3,5 l/min in Kombination mit der DC
- 1999 bis ca. 2017: überwiegend GSP-Pumpen mit 2 l/min in Kombination mit der HPLC
- Ab 2011: Einsatz von GSP-Pumpen mit 10 l/min in Kombination mit der HPLC

Die sinkende BG beim GSP ist also durch höhere Volumenströme und durch das im Vergleich zur DC leistungsfähigere HPLC-Verfahren zu erklären. Die BG bei den Messungen mit VC 25 begründet sich aus dem wesentlich höheren Volumenstrom von 375 l/min. Aus diesen Darstellungen alleine lässt sich kein zeitlicher Trend der Expositionsentwicklung, etwa eine Verringerung der arbeitsbedingten Exposition, ableiten. Zeitliche Trends von Expositionen können nur für vergleichbare Tätigkeiten erstellt werden.

Abbildung 2:

BaP-Konzentration im zeitlichen Verlauf: Die schwarzen Punkte repräsentieren Messwerte oberhalb der BG, die roten Punkte unterhalb der BG, d. h. die Messwerte mit $<$ als Vorzeichen.



Die Exposition gegenüber BaP ist wesentlich von den eingesetzten Produkten, den Verarbeitungsparametern (z. B. Reaktionstemperatur), aber auch – bei Arbeitsplätzen im Freien (z. B. Koksofendecke) – von meteorologischen Parametern abhängig. Des Weiteren kann BaP als Nebenprodukt chemischer Reaktionen oder als Verunreinigung auftreten.

Aus diesen Gründen lassen sich aus den Übersichtsdarstellungen der Messwerte keine Rückschlüsse auf einen einzelnen, konkreten Arbeitsplatz ziehen.

6.4 Expositionsdaten aus weiteren Quellen

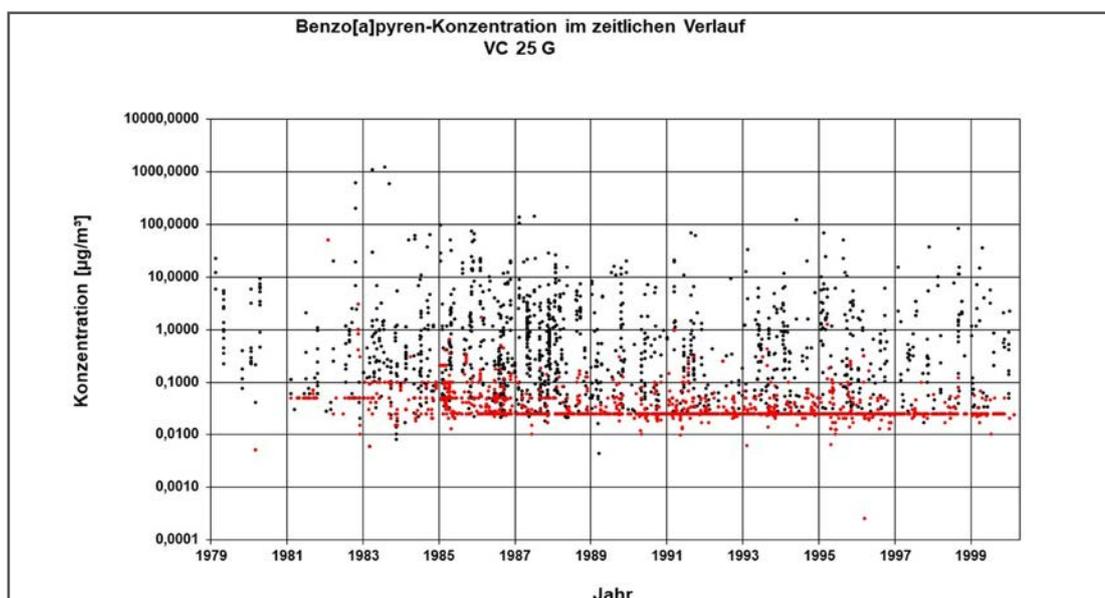
Für den Zeitraum vor 1981 ermittelten Experten Werte aus der Literatur oder aus Analogiebetrachtungen. Bei diesen Werten standen im Allgemeinen arithmetische Mittelwerte oder Einzelwerte zur Verfügung. Die Abschätzung der Expositionshöhe erfolgte durch Verdopplung des arithmetischen Mittelwertes. Diese Werte erhielten die VK 3. In den Fällen, in denen keine Messdaten zu ermitteln waren, wurden durch Analogiebetrachtungen ähnlicher Arbeitsbereiche bzw. Tätigkeiten Expositionshöhen abgeschätzt, die die VK 4 erhielten (siehe Tabelle 11).

6.5 Erläuterungen zu den Expositionsdaten – Allgemein

Da die Entstehung der Exposition gegenüber BaP sehr stark von den Randbedingungen des Arbeitsverfahrens und den eingesetzten Produkten abhängt, wurden die Arbeitsbereiche und Tätigkeiten branchenspezifisch ausgewertet (Abschnitt 7).

Abbildung 3:

BaP-Konzentration im zeitlichen Verlauf: Die schwarzen Punkte repräsentieren Messwerte oberhalb der BG, die roten Punkte unterhalb der BG, d. h. die Messwerte mit < als Vorzeichen.



Erläuterungen zu den Tabellen in diesem Abschnitt:

- Überschriften der Tabelle beschreiben die Betriebsart (Branche)
- Arbeitsbereich, Tätigkeiten (Spalte 1), Angabe des Arbeitsbereichs und der Tätigkeit
- Expositionszeitraum (Spalte 2)
Zeitraum, in dem Expositionen in der angegebenen Höhe aufgrund der verwendeten Produkte und Verfahren der Regelfall waren bzw. sind. Ist kein Zeitraum angegeben, so ist im Einzelfall zu überprüfen, ob die für den Datenzeitraum angegebene Expositionshöhe übertragbar ist.
- Expositionshöhe (Spalte 3)
Angabe der Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Erläuterungen siehe Abschnitt 6.2 bis 6.4). Ausschließlich die in den Tabellen genannten Werte dienen zur Berechnung der inhalativen Exposition, n. b. = nicht bestimmbar.
- Bewertungsart (Spalte 4)
Angaben zur Expositionsdauer, auf die sich die angegebene Expositionshöhe bezieht. Bei der Angabe „Schicht“ ist zu unterstellen, dass in der Regel eine gleichförmige Exposition vorliegt. Bei der Angabe „Tätigkeit“ wird vorausgesetzt, dass die angegebene Exposition nur während dieser bestimmten Tätigkeit gegeben ist (Erläuterungen siehe Abschnitt 5.6).
- Datenzeitraum (Spalte 5)
Angabe des Zeitraums, in dem die Expositionsmessungen stattfanden. Den VK 3 und 4 ließen sich nicht immer Datenzeiträume zuordnen.
- Validitätskategorie (Spalte 6)
Angabe der VK (Erläuterungen siehe Abschnitt 6.2 bis 6.4)

Literatur

- [29] Zentrale Expositionsdatenbank (ZED), Datenbank zur zentralen Erfassung gegenüber krebserzeugenden Gefahrstoffen exponierter Beschäftigter. Hrsg.: Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). <https://zed.dguv.de> (abgerufen am 18. Jan 2021)
- [30] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU). 7. akt. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Sankt Augustin 2013
- [31] *Gabriel, S.; Voitl, S.; Charissé, M.; Deppe, D.:* Das Qualitätsmanagementsystem im Berufsgenossenschaftlichen Messsystem Gefahrstoffe – BGMG. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 66 (2006) Nr. 1/2, S. 33-37
- [32] *van Gelder, R.:* IFA-Expositionsdatenbank MEGA. Aus der Arbeit des IFA, Nr. 0207. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin 2019
- [33] Klassifikation der Wirtschaftszweige. Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. SFG Servicecenter Fachverlage, Reutlingen 2008

7 Retrospektive Ermittlung der BaP-Exposition – Expositionsdaten zu branchenspezifischen Arbeitsbereichen und Tätigkeiten

7.1 Bauwirtschaft

Grundlegende Informationen zu Teer, Steinkohle und Bitumen

Es wird vorab darauf verwiesen, dass selbst in Fachkreisen die Bezeichnung „Teer“ noch heute sowohl für den früher verwendeten Teer (kohlestämmig) als auch fälschlicherweise umgangssprachlich für das seit Jahrzehnten eingesetzte Bitumen (petrostämmig) verwendet wird. Insofern können die Bezeichnungen „Teer“ und „teerhaltig“ irreführend sein. Eine Berechnung der BaP-Jahre bei einer Exposition gegenüber ausschließlich bituminösen Materialien ist nicht sinnvoll, da eine solche Exposition nur unwesentlich zur BaP-Dosis beiträgt. Daher ist im ersten Schritt der Ermittlungen festzustellen, ob ein Umgang mit Teer oder teerhaltigen Materialien vorlag.

Baustoffe aus Braunkohle

In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) gab es keine Baustoffe auf der Basis von Braunkohle. Sie wurde als Brennstoff in Hausfeuerungsanlagen und Kraftwerken verwendet. In der ehemaligen DDR hingegen wurden in den 1950er- und 1960er-Jahren Teerpech und Teeröle aus der Verschwelung und Verkokung von Braunkohle versuchsweise zur Herstellung von Bauprodukten eingesetzt. Die produzierten Materialien haben sich jedoch als untauglich erwiesen. So konnte Braunkohlenteerpech nur in Kombination mit Steinkohlenteerpech, Steinkohlenteerölen wie Anthracenöl oder mit Bitumen als Straßenbaubindemittel Verwendung finden. Deshalb wurde noch in den 1960er-Jahren von einer Verwendung der Teeröle und Teerpeche aus der Braunkohleveredlung zur Herstellung von Baumaterialien abgesehen. Ausgenommen sind lediglich Dachklebmassen und zwei in der ehemaligen DDR produzierte Holzschutzmittel, die Braunkohlenschwelöle enthielten.

7.1.1 Dachdecken

Eine mögliche Exposition gegenüber BaP bestand beim Abdichten von Flachdächern, Abdichten von Bauwerken, der Verarbeitung von Voranstrichen und Dachlacken sowie beim Abbruch von Flachdachabdichtungen. In der Flachdachabdichtung wurden Teerdachbahnen in Heißteer-

pech oder Bitumendachbahnen in Heißbitumen verlegt. Die in Rollen angelieferten Dachbahnen, auch Dachpapen genannt, wurden dazu aufs Dach transportiert und ausgerollt. Zur vollflächigen Verklebung diente in Kochern erhitztes Heißteerpech oder Heißbitumen. Beides wurde mit Eimern, Holzbottich oder Gießkannen auf das Dach gebracht und mit Besen vor der Dachbahnenrolle verteilt. Die Dachbahnen wurden in die heiße Klebmasse eingerollt. Um Undichtigkeiten zu vermeiden, wurden in der Regel zwei bis drei Lagen Dachbahnen übereinander verlegt. Da eine Materialunverträglichkeit zwischen Teer und Bitumen besteht, wurden Teerdachbahnen nie mit Heißbitumen und Bitumendachbahnen nie mit Heißteer verklebt. Aus dem gleichen Grund konnten Dächer mit undichten Teerdachbahnen nicht direkt mit Bitumenbahnen überklebt werden. Lediglich beim vorherigen Aufbringen eines Gewebes oder einer Dämmung auf die Teerbahn ließ sich anschließend das Dach mit Bitumenbahnen reparieren. Dieses Verfahren war insgesamt aufwändig und nicht gängige Praxis.

Für die Wärmedämmung von Flachdächern, aber auch zur Isolierung von Kühlräumen (Brauereien, Gaststätten), wurden teer- oder bitumengebundene Korkdämmplatten verwendet, die wie die Dachbahnen mit Heißteerpech oder Heißbitumen verklebt wurden. Bis 1964 stellte der Hauptproduzent diese Korkdämmplatten mit Teer als Bindemittel her, danach nur noch mit Bitumen und ab 1976 wurde die Produktion eingestellt. Zur Abdichtung von Flachdächern dienten auch Bitumen- und Polymerbitumen-Schweißbahnen, die mit Propangasbrennern angeschmolzen und auf diese Weise mit dem Untergrund verklebt wurden. Teerdachbahnen wurden zu keinem Zeitpunkt verschweißt.

Flachdachabdichtung und Isolierung – BRD

Bereits in den 1930er-Jahren begann die Produktion von Bitumendachbahnen. In den 1950er-Jahren wurden die Teerdachbahnen zunehmend von Bitumendachbahnen abgelöst. Einen Überblick über die von 1956 bis 1970 in der BRD produzierten und verkauften Teerdachbahnen und Bitumendachbahnen gibt **Tabelle 12** wieder [34]. Ab 1979 wurden keine teerhaltigen Dach- und Dichtungsbahnen mehr hergestellt.

Tabelle 12:

Überblick der von 1956 bis 1970 in der BRD produzierten und verkauften Teerdachbahnen und Bitumendachbahnen

Zeitraum	Anteil Teerbahnen und mit Teer verschnittene Bitumenbahnen* in %	Anteil Bitumenbahnen in %
1956	24,0	76,0
1957	24,4	75,6
1958	25,0	75,0
1959	21,1	78,9
1960	20,6	79,4
1961	18,8	81,2
1962	18,7	81,3
1963	14,6	85,4
1964	13,9	86,1
1965	12,0	88,0
1966	9,5	90,5
1967	9,4	90,6
1968	8,3	91,7
1969	6,1	93,9
1970	4,8	95,2

* Mit Teer verschnittene Bitumenbahnen hatten nur geringe Bedeutung. Sofern Versicherte und Arbeitgeber keine Informationen zur Art der verwendeten Dachbahnen liefern können, lassen sich die Daten aus Tabelle 13 für die Berechnung der BaP-Jahre verwenden.

Flachdachabdichtung und Isolierung – DDR

Wie in vielen Bereichen, so waren auch Dachdeckerarbeiten in der DDR nach Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL-Vorschriften) auszuführen. Zur Abdichtung von Flachdächern sahen diese Vorschriften in den 1960er- und 1970er-Jahren Dachpappen sowohl auf der Basis von Steinkohlenteer als auch auf der Basis von Bitumen vor [35]. Ab 1981 wurden für Dachdeckungen nur Bitumendachpappen und Schindeln nach TGL 22317/01 „Dachpappen“ produziert [36]. Die Verwendung der Bitumenmaterialien für Dachdeckerarbeiten regelte die TGL 22317/08 „Bituminöse Bahnen und Schindeln – Anwendung und Verarbeitung für Dachdeckungen“ [37], die zum 1. Februar 1981 verbindlich eingeführt wurde.

Für Dachklebmassen gab es die TGL 4137 „Dachklebmassen“, die ab 1966 gültig war [38]. Danach waren als Klebmassen Steinkohlenteerpech, Braunkohlenteerpech, Bitumen und Gemische dieser Klebmassen zugelassen. In den 1950er- und 1960er-Jahren durften also neben Steinkohlenteerpech und Bitumen auch noch Braunkohlenteerpech und Carbobitumen verwendet werden.

Ferner gab es die TGL 21231/01 „Dämmdach-Klebstoff 80, heiß zu verarbeiten“ von 1969 [39]. Diese Bitumenklebmasse war für Dächer mit einer Dämmschicht vorgesehen. Die TGL 21234/01 „Heißklebstoffe auf Bitumenbasis“ [40] ergänzte die TGL 22317/01 „Dachpappen“ [36], die beide ab 1981 gültig waren.

Auch lösungsmittelhaltige Kaltklebstoffe gab es bis in die 1970er-Jahre auf der Basis von Bitumen und Steinkohlenteerpech. Ab 1981 waren für Dachabdichtungsarbeiten nur noch Dachbahnen und Klebmassen auf der Basis von Bitumen vorgesehen.

Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Rohstoffe Braunkohle, Steinkohle und Erdöl in der ehemaligen DDR und der eingeschränkten Verwendbarkeit von Produkten aus der Braunkohleveredelung wurden Dachdeckerarbeiten jedoch vorwiegend mit Produkten auf Bitumenbasis erledigt. Teerprodukte hatten nur geringe Bedeutung [41]. Teerdachpappen wurden mit Heißteer und Bitumendachpappen mit Heißbitumen verklebt. Bitumendachpappen mit Aufschmelzschicht entsprachen den in der BRD vorhandenen Bitumenschweißbahnen.

Tabelle 13:

Baugewerbe – Dachdecken, Bautenschutz

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Dachdecken, Bautenschutz	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Dachdeckerarbeiten: Dachabdichtungen					
Verarbeitung von Heißteer und teerverschnittenem Heißbitumen Kochen, Ausgießen, Verteilen, Dachbahn einlegen	BRD bis 1978* DDR bis 1980*	10	Schicht		3
Verarbeitung von Heißbitumen Kochen, Ausgießen, Verteilen, Dachbahn einlegen	zeitlich unbegrenzt	0,1	Schicht		3
Verlegen von Polymerbitumen: Schweißbahn/Dachdichtungsbahn	ab 1981	0,02	Tätigkeit		3
Dachdeckerarbeiten: Abbrucharbeiten					
Manuelles Entfernen teerhaltiger Flachdachabdichtungen (Dach- und Dichtungsbahnen, Korkdämmungen)	zeitlich unbegrenzt	23**	Schicht	1997 bis 2006	1
Bautenschutz: Abdichtung von Bauwerken bzw. Bauwerksteilen					
Verlegen von Bitumen-Schweißbahnen in Räumen	zeitlich unbegrenzt	0,7	Schicht	1991 bis 1996	2
Abdichten von Bauwerksteilen (Kaltverarbeitung im Handanstrich)	zeitlich unbegrenzt	keine inhalative Exposition			
Bauwerkisolierung ehemalige DDR	bis 1989*	10	Schicht		3

* sofern Teerdachbahnen/Teerpappen verlegt wurden

** entfernen von Dachbahnen ohne Kork-Teer-Dämmung: Maximal-Wert von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Dachdeckerbetriebe haben neben Flachdachabdichtungen auch Bauwerksabdichtungen im Erdbereich (Terrassen, Spezialbauwerke) und im Innern von Gebäuden (Keller, Nassräume) erledigt. In der ehemaligen DDR standen für diese Zwecke sogenannte nackte Teer- und Bitumpappen zur Verfügung. Dies bedeutet, dass die Materialien „unbesandet“ waren. Nackte Teerpappen wurden bis Ende der 1980er-Jahre produziert [42].

7.1.2 Bautenschutz

Bauteschutanstriche gab es schon seit den 1930er-Jahren sowohl auf der Basis von Steinkohlenteerpech als auch von Bitumen. Sie wurden hauptsächlich kalt (lösemittelhaltig) und nur selten heiß (lösemittelfrei) verarbeitet. Kellerwände aus Mauerwerk und Beton hat man bis

etwa Mitte der 1960er-Jahre mit Bauteschutanstrichen sowohl auf der Basis von Bitumen als auch von Steinkohlenteerpech isoliert, danach nur noch mit Bitumen. Bei der Isolierung von Innenräumen, Trinkwasserbehältern oder sonstigen Anlagen mit Kontakt zu Trinkwasser, von Stallungen sowie von Bereichen mit Kontakt zu Lebensmitteln und Futtermitteln wurden stets Produkte auf Bitumenbasis eingesetzt.

Auf Industriebauten, Ingenieurbauwerken, in der Abwasserwirtschaft mit Kläranlagen, den Unterwasserbereich von Brückenpfeilern, Streusalzsilos, an Hafenanlagen und in Schleusen wurden bis etwa Mitte der 1960er-Jahre ebenfalls Steinkohlenteerprodukte aufgebracht, danach wurden verstärkt Produkte aus Teerölen mit Petroharzen (Gehalt an BaP in den Produkten ca. $6\,000 \text{ mg}/\text{kg}$)

sowie Produkte auf Bitumenbasis eingesetzt. Für die Isolierarbeiten in diesen Bereichen standen sowohl ein-komponentige Materialien als auch zweikomponentige Teer-Epoxidharze zur Verfügung. Ab Ende der 1980er-Jahre gab es zusätzlich bereits Zweikomponenten-Epoxidharze mit modifizierten Teerölen. Diese Materialien haben weniger als 50 mg/kg BaP enthalten, da Teerpech und Teeröle durch verfahrenstechnisch aufbereitete Teeröle ersetzt wurden. Neben diesen Ersatzprodukten wurden im Stahlwasserbau jedoch bis Ende der 1990er-Jahre noch zu ca. 30 bis 50 % steinkohlenteerpechbasierte Produkte verwendet (siehe auch Abschnitt 7.1.5).

7.1.3 Steinkohlenteeröle als Holzschutzmittel

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die Konservierung von Holz mithilfe von Steinkohlenteerölen (im allgemeinen Sprachgebrauch Carbolineum) in großem Stil betrieben. Besonders geeignet erwiesen sich die Steinkohlenteeröle als Holzschutzmittel für Hölzer mit ständigem Erdkontakt (Bahnschwellen, Pfähle, Masten) oder ständigem Kontakt zu Wasser (Wasserbauhölzer). Die Imprägnierung erfolgte üblicherweise in Becken nach verschiedenen Einbringverfahren (siehe Abschnitt 7.10.1). Ferner haben Beschäftigte im Malerbereich Zäune, Pergolabalken oder landwirtschaftliche Scheunen mit Carbolineum imprägniert. Das Carbolineum wurde meist von Hand aufgetragen, nur bei großen Flächen wurde eine Druckluft-Handspritze benutzt.

Dachbalken, Dachuntersichten und Wandverkleidungen wurden dagegen nicht mit Carbolineum behandelt. Für Dachbalken und -latten standen anorganische Holzschutzsalze, für Dachuntersichten und Holzverkleidungen an Gebäuden Holzschutzmittel mit fungiziden Wirkstoffen zur Verfügung. Im Innenbereich waren Teeröle als Holzschutzmittel unnötig und wurden schon wegen des als unangenehm empfundenen Geruchs nicht benutzt. Seit Anfang der 1970er-Jahre war die Verwendung von Carbolineum im Malerbereich stark rückläufig, da vermehrt auf die Holzschutzmittel mit fungiziden Wirkstoffen zurückgegriffen wurde. Die Beschäftigten verbrachten allerdings in der Regel ohnehin weniger als 1 % ihrer Arbeitszeit mit der Verarbeitung von Carbolineum. Manche hatten sogar nie beruflichen Umgang mit Carbolineum. Neben den Malerbetrieben gab es Betriebe des Holz- und Bautenschutzes, die Imprägnierarbeiten mit Teerölen durchgeführt haben. Holzbauteile wie Kühlturmhölzer, Holzeinhausungen von Industrieanlagen und andere industriell genutzte Holzflächen wurden mit Teerölen imprägniert, sofern diese noch nicht werksseitig behandelt worden waren. Wegen der großen zu imprägnierenden Flächen wurde das Spritzverfahren meist der Anwendung im Handanstrich vorgezogen.

Für den Spritzauftrag von Carbolineum kann die Exposition für Spritzauftrag von Teerpech-Beschichtungsstoffen aus Tabelle 15 verwendet werden. Bei Verwendung im Handauftrag lag nur eine dermale Exposition vor.

7.1.4 Schornsteinfegen

Zu den Tätigkeiten des Schornsteinfegerhandwerks gehören das Kehren von Schornsteinen, die Rußentnahme, das Reinigen von Feuerungsanlagen, die Reinigung von Schornsteinen vom Dach oder Dachboden aus, das Ausbrennen und Austrocknen von Schornsteinen sowie Reparaturen an Schornsteinköpfen. Die Expositionen gegenüber BaP können bei diesen Tätigkeiten in Abhängigkeit von der Feuerungsart und dem Brennstoff – z. B. Braunkohle, Steinkohle, Holz, Öl, Gas oder Mischfeuerung – unterschiedlich sein (Tabelle 14). Die Verwendung von Steinkohle ist seit Anfang der 1970er-Jahre, die des Brennstoffes Braunkohle seit etwa 1992 stark rückläufig. Der Expositionszeitraum kann aufgrund regional unterschiedlicher Verwendungszeiträume der Brennstoffe nicht festgelegt werden.

Auch bei Heizungsmonteuren können bei der Wartung und Reparatur von kleineren Anlagen zu geringen Zeiteinheiten Reinigungsarbeiten an Kesseln von Öl- oder Gasheizungen anfallen. Dabei ist nicht von einer BaP-Exposition auszugehen. Bei einzelnen Messungen während dieser Tätigkeiten in einem Wohnhaus, einer Schule und einem Altenheim aus dem Jahr 1995 lagen alle BaP-Konzentrationen unterhalb der BG (höchste BG 0,066 µg/m³).

7.1.5 Korrosionsschutz

Neben Bleimennige und chromathaltigen Beschichtungsstoffen wurden für erdberührende Stahlkonstruktionen (unterirdisch verlegte Rohre, im Schiffbau, Stahlwasserbau) Beschichtungsstoffe auf der Basis von Steinkohlenteerpech, Teer-/Epoxidharz- oder Teer-/Polyurethansystemen als Schutzanstriche eingesetzt (Tabelle 15).

Seit Ende der 1980er-Jahre wurden für diese Bereiche zunehmend Produkte auf der Basis BaP-ärmerer Teerersatzstoffe hergestellt. Die Härterkomponente eines Zweikomponenten-Epoxidharzes aus dem Jahr 2016 enthielt weniger als 0,005 % BaP. Neben diesen Ersatzprodukten wurden jedoch bis Ende der 1990er-Jahre noch zu ca. 30 bis 50 % steinkohlenteerpechbasierte Produkte verwendet. Nach 2001 wurden teerpechhaltige Beschichtungsstoffe bis auf Ausnahmen (Tabelle 15) nicht mehr eingesetzt [43]. Die Verarbeitung teerpechhaltiger Beschichtungen im Spritzauftrag führte zu hohen BaP-Expositionen. Expositionsdaten zur Verarbeitung der Materialien mit Pinsel oder Rolle liegen nicht vor. Da beim Streichen oder Rollen der Beschichtungsstoffe keine Aero-

sole entstehen, ist nicht mit einer inhalativen Exposition gegenüber BaP zu rechnen. Im Bereich der Gas- und Wasserversorgung wurden bis etwa Mitte der 1960er-Jahre vor allem bei der Erdverlegung von Stahlrohren auch Umhül-

lungen auf Basis von Steinkohleteer für den passiven Korrosionsschutz verwendet. Blechdächer und Dachrinnen wurden stets mit Bitumenprodukten beschichtet (siehe Abschnitt 7.1.2).

Tabelle 14:
Baugewerbe – Schornsteinreinigung

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Schornsteinreinigung	Expositionszeit- raum*	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Feuerung mit Braunkohle					
Hausanlagen		3,3	Schicht	1994 bis 1997	1
Kesselreinigung		2,2	Schicht		3
Großanlagen		5,1	Schicht	1994 bis 1997	2
Feuerung mit Steinkohle**					
Hausanlagen		5,4	Schicht	1994 bis 1997	2
Kesselreinigung		6,6	Schicht		3
Feuerung mit anderen Brennstoffen oder in speziellen Bereichen					
Feuerung mit Holz		2,5	Schicht		3
Feuerung mit Öl		0,8	Schicht	1994 bis 1997	2
Feuerung mit Gas		0,1	Schicht	1994 bis 1997	2
Feuerung von Räuchereien		n. b.	Schicht	1994	1
Feuerung von Kaffeeröstereien		n. b.	Schicht	1994	1

* Expositionszeitraum kann aufgrund regional unterschiedlicher Verwendungszeiträume der Brennstoffe nicht festgelegt werden

** bei „Hausmüllverbrennung“ Werte in gleicher Größenordnung

Tabelle 15:
Baugewerbe – Korrosionsschutz

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Korrosionsschutz	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Spritzauftrag von Teerpech- bzw. Teer-/Epoxid-Beschich- tungsstoffen	bis 2001*	36	Schicht	1991 bis 1994	1
Entfernen teerhaltiger Altbeschichtungen					
Trockenstrahlen	zeitlich unbegrenzt	162	Schicht	1998 bis 2002	2
Feuchtstrahlen	zeitlich unbegrenzt	118	Schicht	1999 bis 2007	1
Schlammstrahlen	zeitlich unbegrenzt	63	Schicht	1999 bis 2002	2
Hochdruckwasserstrahlen	zeitlich unbegrenzt	43	Schicht	1998 bis 2002	2

* Bis Oktober 2020 war dies noch in speziellen Industriebereichen (Kläranlagen) möglich.

Tabelle 16:
Baugewerbe – Holzpflaster verlegen/entfernen, Parkettsanierung

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Holzpflaster/Parkett	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Holzplaster- und Parkettverlegung mit Steinkohlenteerpech-Heißkleber					
Mosaikparkett	bis 1959	4,1	Schicht		4
Stabparkett	bis 1969	4,1	Schicht		4
Holzplaster	bis 2001	4,1	Schicht	1986 bis 1989	2
Holzplaster- und Parkettsanierung					
Entfernen von Holzplaster und Parkettboden, Abfräsen des alten Teerpechklebers	zeitlich unbegrenzt	54	Schicht	1998 bis 2007	1

Das Entfernen teerhaltiger Altbeschichtungen war mit zum Teil sehr hohen BaP-Expositionen verbunden. Bei Korrosionsschutzmaßnahmen auf Baustellen kamen folgende Entschichtungsverfahren zur Anwendung:

- mechanische Entschichtung mit Handwerkzeugen wie Drahtbürste oder Spachtel,
- mechanische Entschichtung mit maschinell angetriebenen Werkzeugen wie Rotationsdrahtbürsten, Schleifwerkzeuge oder Nadelpistolen,
- mechanische Entschichtung durch Strahlen; in der Vergangenheit wurde fast ausschließlich das Druckluft-Trockenstrahlen angewandt, ab Mitte der 1990er-Jahre kamen in zunehmendem Maße auch emissionsärmere Strahlverfahren (Feucht-, Nassstrahlen, Schlammstrahlen, Hochdruckwasserstrahlen) zum Einsatz,
- thermische Entschichtung durch Flammstrahlen, Ausführung mit Flammstrahlbrennern unter Einsatz einer Acetylen-Sauerstoff-Flamme,
- Entschichtung mit Abbeizmitteln; nach Auftragen des Abbeizmittels und anschließender Einwirkzeit wurde die angelöste Altbeschichtung mit Spachtel oder Hochdruckwasserstrahl entfernt.

7.1.6 Holzplaster-/Parkettverlegung

Bei der Holzplasterverlegung wurden steinkohlenteerpechhaltige Materialien als Voranstriche, Heißkleber, Vergussmassen und Unterlagsbahnen eingesetzt. Nach

DIN 68701 (Holzpflaster GE für gewerbliche und industrielle Zwecke) war der Einsatz von Steinkohlenteerpech-Heißklebern und Vergussmassen noch bis 2001 für eine normgerechte Holzplasterverlegung vorgesehen. Außerhalb der Anwendung für den gewerblichen und industriellen Bereich wurden bei der Verlegung von Holzplaster nach DIN 68702 (Holzpflaster RE für Räume in Versammlungsstätten, Schulen, Wohnungen (RE-V), für Werkräume im Ausbildungsbereich (RE-W) und ähnliche Anwendungsbereiche) teerfreie Materialien eingesetzt. Je nach Verlegebetrieb ist der jeweilige Anteil der Verlegarten sehr unterschiedlich.

Zum Verkleben von Parkettböden wurden bis in die 1950er-Jahre üblicherweise Teerklebstoffe verwendet. Zum Einsatz kamen sowohl Heißklebstoffe als auch kaltflüssige Klebstoffe, beide auf der Basis von Steinkohlenteerpech. Das Verkleben des Parkettbodens entsprach ebenso wie die Ausführung als „genageltes“ Parkett dem damaligen Stand der Technik. Mosaikparkett wurde seit Anfang der 1960er-Jahre nicht mehr mit Teerklebstoffen, sondern mit Kunstharzklebstoffen verlegt. Bei Stabparkett dauerte die Umstellung auf Kunstharzklebstoffe bis Ende der 1960er-Jahre.

Das Entfernen von Parkettböden, die mit Teerklebstoffen verlegt wurden, sowie das Entfernen des am Unterboden anhaftenden Teerklebstoffs (z. B. durch Fräsen oder Kugelstrahlen) sind mit erheblicher Freisetzung PAK-haltiger Stäube verbunden (Tabelle 16).

Tabelle 17:

Baugewerbe – Feuerungsbau (Verarbeitung geformter und ungeformter Erzeugnisse mit Teerpechbindung)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Feuerungsbau	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Zustellung Gießrinne					
Mischer füllen	zeitlich unbegrenzt	50	Schicht	1990	2
Spritzen	zeitlich unbegrenzt	16	Schicht	1990	2
Konverterzustellung					
Stampfen Ringfuge	zeitlich unbegrenzt	29	Schicht	1995 bis 2003	1
Schneiden Steine (Trockenschnitt mit Absaugung)	zeitlich unbegrenzt	6,1	Schicht	1994	2
Hochofenzustellung					
Verlegung von Grafitblöcken in Ausgleichsmasse	zeitlich unbegrenzt	1,2	Schicht	1996	2

7.1.7 Feuerungsbau

Geformte und ungeformte Feuerfestmaterialien mit einer Teer- oder Teerpechbindung kommen als Auskleidung und Ausmauerung vor allem in den Bereichen Hochofen (Stichlochstopfmassen, Ausgleichsmassen, feuerfeste Steine bei der Neuzustellung), Stahlerzeugung (Konverterausmauerung, Ofenausmauerung etc.) sowie bei anderen metallurgischen Prozessen zum Einsatz. Bei Verwendung dieser Produkte besteht nach wie vor die Möglichkeit einer hohen Belastung der Atemluft mit PAK.

Seit den 1990er-Jahren werden auch Produkte mit Kunstharzbindung eingesetzt. Diese enthalten keine PAK, sodass bei der Kaltverarbeitung keine Belastung zu erwarten ist. Feuerfestmaterialien mit Kunstharzbindung können aufgrund der technischen Eigenschaften nicht überall eingesetzt werden. Besonders an stark verschleißenden Stellen müssen teerpechgebundene Produkte eingesetzt werden. Für die Betriebsart Feuerungsbau stehen nur wenige Messwerte zur Verfügung, die sich über einen weiten Messbereich erstrecken. In **Tabelle 17** sind für drei Arbeitsbereiche Expositionen angegeben.

Es sollte in jedem Einzelfall eine Expositionsbestimmung erfolgen. Hierbei sind folgende Randbedingungen der Tätigkeit, des Arbeitsverfahrens und -bereichs zu ermitteln: Wie wurden Feuerfeststeine verarbeitet? Wie wurden z. B. die Feuerfestmaterialien zugeführt und eingebracht? Welche Einsatzmaterialien wurden verwendet (pech-/teerhaltige oder kunstharzgebundene Feuerfestmaterialien, Art und Bezeichnung der Steine)? Falls möglich, muss man den BaP-Gehalt im Material ermitteln.

Auf dieser Grundlage ist aus ggf. im Betrieb vorliegenden oder vergleichbaren externen Einzelmessungen die Exposition abzuschätzen (siehe Abschnitt 7.3.1).

7.1.8 Straßenbau- und Fugenverguss

Schon Anfang der 1950er-Jahre hat man damit begonnen, Straßenteere durch Bitumen zu ersetzen. Straßenteere und Bitumen wurden von da an zunächst parallel verwendet. Die Absatzkurve für Straßenteere verzeichnet für das Jahr 1960 mit 460 000 t ihr Maximum. Dieser Menge stand jedoch ein vier- bis fünffacher Verbrauch an Bitumen gegenüber [44]. Zu diesem Zeitpunkt gab es eine große Nachfrage nach Straßenbaubindemitteln. Aus den Verbrauchszahlen wird deutlich, dass der hohe Bedarf zunehmend von Bitumen gedeckt wurde und Straßenteere trotz ihres Absatzmaximums bereits 1960 stark zurückgedrängt worden waren. Entscheidend für die – für sich betrachtet dennoch hohe – Absatzmenge an Straßenteer war die damalige Einführung des Carbobitumens. Es wurde auch als Verschnittbitumen bezeichnet und besteht zu 75 bis 80 % aus Bitumen und zu 20 bis 25 % aus Straßenteerpech [45].

Der Einsatz von „reinem“ Straßenteerpech als Bindemittel endete praktisch gegen Ende der 1960er-Jahre. Der Einsatz von Carbobitumen dauerte zu dieser Zeit noch an [46]. Im Jahr 1974 hatte der Absatz von Straßenteer mit ca. 50 000 t die Tiefststände aus den Jahren 1926 und 1946 erreicht. Mitte bis Ende der 1970er-Jahre spielten Teerpech und Carbobitumen so gut wie keine Rolle mehr, als Bindemittel war fast nur noch Bitumen gefragt. Der Grund für die Verdrängung von Teerpech durch Bitu-

men war zunächst nicht die Gesundheitsgefährdung, die vom Teerpech ausgeht, sondern dessen technische Nachteile. Straßenbeläge auf Teerpechbasis waren weicher als Asphalt auf Bitumenbasis. Im Sommer kam es viel schneller zu Verformungen von Teerpechstraßenbelägen als von Belägen auf Bitumenbasis. Aber nicht nur die mangelnde Qualität des Straßenteers allein führte zur Ablösung durch Bitumen als Straßenbaubindemittel. Auch der Gesetzgeber stoppte die Verwendung teerpechhaltiger Materialien bzw. ließ sie nur noch für Ausnahmefälle zu. So hat der Bundesminister für Verkehr mit dem Allgemeinen Rundschreiben Nr. 04/1974 die Technischen Vorschriften für Teerbeton im Heißeinbau (TV bit 4/58) und für Teer- und Asphaltmakadam (TV bit 2/56) für den Bereich der Bundesfernstraßen außer Kraft gesetzt.

Mit Inkrafttreten der TRgA 551 „Pyrolyseprodukte aus organischem Material“ im September 1984 wurde die Verwendung von Steinkohlenteerpech, Braunkohlenteerpech, Carbobitumen oder sonstigen Substanzen mit einem BaP-Gehalt von über 50 mg/kg als Bindemittel im Straßenbau untersagt, ebenso wie den Einsatz von PAK-haltigen Fugenvergussmassen, z. B. im Flughafen- und Straßenbau. Vom Verbot ausgenommen hat man die Ausbesserung bestehender treibstoffbeständiger Fugenvergussmassen, den Ausbau und die Wiederverwendung von Straßenbelägen unter Beachtung und Anwendung spezieller technischer Maßnahmen. Zu diesem Zeitpunkt wurden in den alten Bundesländern nur noch geringe Mengen Carbobitumen im Straßenbau verwendet. Mit der Neufassung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTVbit-StB 84, Ausgabe 1990) wies der Bundesminister für Verkehr die Straßenbauverwaltungen der Länder nochmals an, auf den Einsatz pechhaltiger Bindemittel zu verzichten.

Der Einsatz von Teer als Bindemittel im Mischgut wurde jedoch regional sehr unterschiedlich gehandhabt. Darüber hinaus war der Materialeinsatz auch vom Anwendungsbereich abhängig: Im Autobahnbau wurde schon in den 1950er-Jahren Mischgut auf Bitumenbasis verarbeitet. Für Landschafts- und Wirtschaftswege sowie im Deichbau wurde dagegen noch in den 1980er-Jahren teerhaltiges Mischgut genutzt, da Teer im Vergleich zu Bitumen resistenter gegen Pflanzenwuchs ist. Es ist somit grundsätzlich möglich, dass bis Ende der 1960er-Jahre reine Teerdecken und bis Mitte der 1970er-Jahre bzw. in ländlichen Bereichen auch bis 1984 noch Teer-Bitumen-Decken hergestellt wurden. Pauschale Aussagen sind jedoch nicht möglich. Der Teerexpositionszeitraum muss möglichst konkret ermittelt werden.

Sind durch Aussagen des Erkrankten, seiner Angehörigen oder Arbeitskollegen bzw. durch Ermittlungen im Beschäftigungsbetrieb keine Informationen über das verwendete Bindemittel zu erhalten, ist es in vielen Fällen erfolgreich, aus den Ausschreibungen der für die Region zuständigen Bauämtern die Art des Bindemittels zu ermitteln. Generelle Angaben über das Ausmaß der Verwendung teerhaltiger Bindemittel sind nicht möglich, da große regionale Unterschiede bestanden.

Asphalt enthält nur Bitumen als Bindemittel und keine kohlestämmigen Anteile. Bituminöse Materialien können dagegen sehr wohl Teeranteile besitzen. Die Expositionsdaten der BRD sind in **Tabelle 18** zusammengefasst.

Straßenbau in der ehemaligen DDR

Für den Straßenbau wurden in der ehemaligen DDR keine reinen Produkte aus der Veredlung von Braunkohle verwendet. Zu dieser Thematik lautet ein Zitat aus dem Laboratoriumsbuch für die Braunkohlenteer-Industrie [47]: *„Es ist immer wieder versucht worden, aus Braunkohlenteerpech, vor allem den Spaltpechen (Rositz), erhalten durch gelinde Druckbehandlung und Abscheidung in besonderen Spritzblasen, ein brauchbares, festhaftendes Straßenbaubindemittel herzustellen. Es scheint jedoch nach vielfachen Versuchen nunmehr festzustehen, daß Braunkohlenteerpech allein, d. h. ohne Mitverarbeitung eines erheblichen Anteils an Erdölbitumen oder Steinkohlenteerpech, diesen Anforderungen nicht genügt; für die Spaltpeche fehlen immer noch geeignete Weichmacher. Die offenkundigen Nachteile sind bisher:*

- *Der Paraffingehalt des Braunkohlenteerpeches macht dasselbe im Sommer weich, im Winter spröde und risig; Erdölbitumen und Steinkohlenteerpeche verhalten sich demgegenüber besser.*
- *Die Lichtempfindlichkeit bewirkt eine allmähliche Abnahme der Bindekraft unter Erhöhung des Gehaltes an Benzolunlöslichem und Versprödung (Sol-Gel-Umwandlung).*
- *Infolge der merklichen Wasserlöslichkeit auch höherer Braunkohlenteerphenole tritt teilweise Auslaugung und Aufräuhung der Oberfläche ein, Wasser durchzieht das kapillare Gefüge und zersprengt bei Frost die Oberfläche.“*

Tabelle 18:

Baugewerbe – Straßenbau – Mischguteinbau, Makadam, Fugenvergießen, Ausbau (bei teerhaltigen Bindemitteln) – BRD

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Straßenbau in der BRD	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Mischguteinbau					
Spritzer: Füllen des Spritzgerätes	bis 1965	45	Schicht		4
Spritzer: Haftvermittler spritzen	1966 bis 1984	15	Schicht		4
Abweiser: Abweisen des Sprühnebels von Randsteinen	bis 1965	45	Schicht		4
	1966 bis 1984	15	Schicht		4
Einbauer (von Hand): Herstellen von Anschlüssen	bis 1965	35	Schicht		4
	1966 bis 1984	10	Schicht		4
Fertigerfahrer: Führen des Einbaugerätes	bis 1965	35	Schicht		4
	1966 bis 1984	10	Schicht		4
Schaufelmann: Verteilen des Mischgutes von Hand, Randausgleich	bis 1965	25	Schicht		4
	1966 bis 1984	5,0	Schicht		4
Walzenfahrer: Führen der Straßenwalze	bis 1965	5,0	Schicht		4
	1966 bis 1984	1,0	Schicht		4
Polier (Bohlenführer): Überwachung, Steuerung am Fertiger	bis 1965	35	Schicht		4
	1966 bis 1984	10	Schicht		4
Makadam					
Kesselmann: Heizen, Füllen und Be- dienen des Teerkochers	bis 1965	50	Schicht		4
Kesselmann: Füllen, Heizen des Spritzgerätes, Führen von Handspritze und Motorspritzwagen	bis 1965	45	Schicht		4
Einbauer: Verteilen von Hand, Splitstreuen etc.	bis 1965	25	Schicht		4
Verdichter: Führen der Handwalze, Stampfeisen, Motorwalze	bis 1965	5,0	Schicht		4
Fugenvergießen					
Fugengießer: Befüllen des Kessels von Hand	bis 1965	5,0	Schicht		4
Fugengießer: Befüllen des Kessels mit Fugenvergussmaschine	1966 bis 1991	1,5	Schicht		3
Spritzen (teerhaltiger Haftvermittler), Befüllen des Spritzgerätes, Führen des Gerätes	1965 bis 1991	1,5	Schicht		4
Ausbau					
Ausbauer: manuell	bis 1950	5,0	Schicht		4
Ausbauer: manuell, Bagger	1951 bis 1965	2,0	Schicht		4
Ausbauer: manuell, Bagger, Fräse	1966 bis 1969 ab 1970	2,0	Schicht		4
		0,7	Schicht	1995 bis 2008	1

TGL-Vorschriften für den Straßenbau der ehemaligen DDR gab es bereits 1956 mit der TGL 2835-56 „Straßenbaubitumen“ [48] und der TGL 2838-56 „Straßenteere“ [49]. Mit der TGL 2838-01 „Straßenteere“ [50], der TGL 2835 „Straßenbaubitumen“ [51] und der TGL 2836/01 „Verschnittbitumen“ [52] – alle von 1966 – waren als Straßenbaubindemittel Steinkohlenteerpech, Bitumen und Verschnittbitumen zugelassen. Die TGL 2836/01 [52] verweist auf Verschnittmittel nach TGL 21609 „Steinkohlenteeröle“ [53].

Die TGL 2836 „Verschnittbitumen“ [54], die ab 1981 gültig war, gibt die zwei verschiedenen Verschnittmittel VM-S und VM-M an und verweist auf TGL 21199 „Verschnittmittel“ von 1970 bzw. 1975 [55; 56], wonach Verschnittmittel keine Steinkohlenteeröle sondern Erdödestillate sind. Der Buchstabe S steht für schnellabbindend, nicht für Steinkohle wie man etwa vermuten könnte, der Buchstabe M für mittelschnellabbindend. In der ehemaligen DDR wurde der Begriff ‚Verschnittbitumen‘ demnach nicht nur für teerhaltige Verschnitte verwendet. Die TGL 2835 „Straßenbaubitumen“ [57] war seit 1978 gültig und hat

die Ausgabe vom Januar 1966 ersetzt. Die TGL 2836 „Verschnittbitumen“ [58] hat ebenfalls die Ausgabe von 1966 abgelöst und galt verbindlich ab 1981. Nach den TGL-Vorschriften waren im DDR-Straßenbau folgende Materialien zugelassen:

- Bindemittel bis 1965: Steinkohlenteer und Bitumen – (Braunkohlenteer in den 1950er-Jahren nur in Kombination mit Bitumen, Steinkohlenteerpech oder Steinkohlenteerölen).
- Bindemittel 1966 bis 1969: Steinkohlenteer, Bitumen und Bitumen mit Steinkohlenteeröl verschnitten.
- Bindemittel 1970 bis 1980: Steinkohlenteer und Bitumen oder Bitumen mit Erdödestillaten verschnitten.
- Bindemittel ab 1981: Bitumen oder Bitumen mit Erdödestillaten verschnitten. Von diesem Zeitpunkt an waren Straßenbaubindemittel frei von Material aus der Steinkohleverarbeitung.

Ab 1981 ist im Straßenbau in der ehemaligen DDR dann die Expositionshöhe mit $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anzunehmen. Die Expositionsdaten sind in **Tabelle 19** zusammengefasst.

Tabelle 19:

Baugewerbe – Straßenbau – Mischguteinbau, Makadam, Fugenvergießen, Ausbau (bei teerhaltigen Bindemitteln) – DDR

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Straßenbau in der DDR	Expositions- zeitraum	Bindemittel	Expositionsdaten			
			Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungs- art	Daten- zeitraum	VK
Straßenbau – Mischguteinbau						
Spritzer: Füllen des Spritzgerätes, Haftvermittler spritzen	bis 1965	Steinkohlenteer Carbositumen	45	Schicht		4
	1966 bis 1969		45	Schicht		4
	1970 bis 1980		15	Schicht		4
			45	Schicht		4
Abweiser: Abweisen des Sprühnebels von Randsteinen	bis 1965	Steinkohleteer Carbositumen	45	Schicht		4
	1966 bis 1969		45	Schicht		4
	1970 bis 1980		15	Schicht		4
			45	Schicht		4
Einbauer (manuell): Herstellen von Anschlüssen	bis 1965	Steinkohleteer Carbositumen	35	Schicht		4
	1966 bis 1969		35	Schicht		4
	1970 bis 1980		10	Schicht		4
			35	Schicht		4
Fertigerfahrer: Führen des Einbaugerätes	bis 1965	Steinkohleteer Carbositumen	35	Schicht		4
	1966 bis 1980		35	Schicht		4
	1970 bis 1980		10	Schicht		4
			35	Schicht		4
Schaufelmann: Verteilen des Mischgutes von Hand	bis 1965	Steinkohleteer Carbositumen	25	Schicht		4
	1966 bis 1969		25	Schicht		4
	1970 bis 1980		5,0	Schicht		4
			25	Schicht		4

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Straßenbau in der DDR	Expositions- zeitraum	Bindemittel	Expositionsdaten			
			Expositionshöhe in µg/m³	Bewertungs- art	Daten- zeitraum	VK
Walzenfahrer: Führen der Straßenwalze	bis 1965	Steinkohleteer Carbobotumen	5,0	Schicht		4
	1966 bis 1969		5,0	Schicht		4
	1970 bis 1980		1,0	Schicht		4
			5,0	Schicht		4
Polier: Überwachung, Steuerung am Fertiger	bis 1965	Steinkohleteer Carbobotumen	35	Schicht		4
	1966 bis 1969		35	Schicht		4
	1970 bis 1980		10	Schicht		4
			35	Schicht		4
Straßenbau – Makadam						
Kesselmann: Heizen, Füllen und Bedienen des Teerkochers	bis 1965		50	Schicht		4
Kesselmann: Füllen, Heizen des Spritzgerätes, Führen von Hand- spritze und Motorspritzwagen	bis 1965		45	Schicht		4
Einbauer: Verteilen von Hand, Splitstreuen etc.	bis 1965		25	Schicht		4
Verdichter: Führen der Handwalze, Stampfeisen, Motorwalze	bis 1965		5,0	Schicht		4
Straßenbau – Fugenvergießen						
Fugengießer: Befüllen des Kessels, Gießen von Hand	bis 1965		5,0	Schicht		4
Fugengießer: mit Fugengussmaschine	1966 bis 1980		5,0	Schicht		3
Spritzen (teerhaltiger Haftvermitt- ler), Befüllen des Spritzgerätes, Führen des Gerätes	1965 bis 1991		1,5	Schicht		4
Straßenbau – Ausbau						
Ausbauer: manuell	bis 1950		5,0	Schicht		4
Ausbauer: manuell, Bagger	1951 bis 1965		2,0	Schicht		4
Ausbauer: manuell, Bagger, Fräse	1966 bis 1969		2,0	Schicht		4
	ab 1970		0,7	Schicht	1995 bis 2008	1

Straßenbau – Mischguteinbau von Hand und maschinell

Es wird vorgefertigtes Mischgut (mineralische Bestandteile und Bindemittel) eingebaut.

- **Spritzer:**
Spritzer verteilen mithilfe von Spritzgeräten für Straßenbaubindemittel Haftvermittler-Substanzen fein vernebelt auf Untergründe, die mit Mischgut überbaut werden sollen. Dazu müssen Spritzgeräte aus Haftmittelfässern gefüllt werden. Nach der Spritzarbeits sind die Spritzen und Spritzschläuche zu reinigen, damit sie für den nächsten Einsatz wieder brauchbar

sind. Das Ausbringen des Spritznebels erfolgt mithilfe langer Spritzrohre, an deren vorderem Ende die Spritzdüsen angebracht sind. Damit soll verhindert werden, dass der Spritzrohrführer in unmittelbarer Nähe des ausspritzenden Haftmittelnebels steht.

- **Abweiser:**
Abweiser sind Hilfsarbeiter im Straßenbau, die Schutzschilde aus Holz und leichten Materialien vor Randsteine und andere zu schützende Bauteile halten, um zu verhindern, dass der Spritznebel sie verunreinigt. Abweiser helfen gelegentlich beim Reinigen des

Spritzgerätes. Die Abweiseschilde werden im Normalfall nicht gereinigt, sondern bei zu starker Verschmutzung entsorgt.

- **Einbauer (von Hand):**
Hand-Einbauer verteilen mithilfe von Rechen und Schaufeln das Mischgut derart, dass es sich für einen ebenen Einbau und anschließende Verdichtung eignet. Der Handeinbau kommt für kleinere Flächen infrage. Außerdem wird er beim Herstellen von unregelmäßigen Feldweganschlüssen und ähnlichen Aufweitungen neben der eigentlichen Straße verwendet. Hand-Einbauer stehen im Normalfall auf kaltem Untergrund und haben das Mischgut, das verteilt wird, vor sich.
- **Fertiger-Fahrer:**
Fertiger-Fahrer sind die Maschinenführer der Straßenfertiger, die das vorgemischte Mischgut maschinell einbauen. Sie haben vor sich die Mulde, in die Lkw das Mischgut abkippen, und hinter sich die Einbaubohe, die das Mischgut verteilt und verdichtet.
- **Schaufelmann:**
Schaufelmann ist ein Beschäftigter im Straßenbau, der neben dem Fertiger das Mischgut von Hand zum Randausgleich verteilt. Er ist ein unabdingbarer Begleiter des Einbaus mit Straßenfertigern. Dabei muss er nicht ständig Mischgut mit der Schaufel von Hand verteilen. Er hat vielmehr auch die Aufgabe zu beobachten, ob der Straßenfertiger das Mischgut der Höhe nach richtig einbaut.
- **Walzenfahrer:**
Walzenfahrer sind die Maschinenführer, die mit Straßenwalzen unterschiedlicher Bauweise das Mischgut verdichten. Übliche Straßenwalzen für den Schwarzdeckenbau sind: Doppelvibrationswalzen mit aufsitzendem Fahrer, Gummiradfahrer mit aufsitzendem Fahrer und Glattradwalzen mit stehendem Fahrer. Für kleine Maßnahmen (insbesondere beim reinen Handeinbau) verdichten Walzenfahrer die Schwarzdecken häufig mit kleinen Verdichtungsgeräten, z. B. Walzen für den Mitgängerbetrieb.
- **Polier (Bohlenführer):**
Polier oder Bohlenführer sind Beschäftigte, die den Einbau überwachen. Sie haben darauf zu achten, dass das Mischgut in Richtung und Höhe richtig eingebaut wird, und bedienen dazu – häufig auf der Einbaubohe stehend – Steuerungselemente am Heck des Fertigers, mit denen die Höhe der Bohle variiert werden kann. Sie stehen somit auf der Verteilerbohle und haben vor sich im Schacht das zu verteilende Mischgut.

Straßenbau in Makadambauweise (Schichtweiser Aufbau der mineralischen Bestandteile und jeweiliges Besprühen mit Bindemittel)

- **Kesselmann:**
„Kesselmann“ ist der Beschäftigte, der – etwa bis 1965 – Teer- und Bitumenkocher mit Rohmaterial (Teer, Bitumen oder Mischungen daraus) befüllte, die Kessel heizte und die Schmelze des Bindemittels überwachte. Sie waren dafür verantwortlich, dass ständig spritzfähiges, dünnflüssiges, heißes Bindemittel für den Spritzer zur Verfügung stand. Da das Bedienen und Befüllen der Teerkocher keinen großen Zeitaufwand erforderten, arbeiteten die Kessel Männer zeitlich überwiegend auch als Spritzer.
- **Spritzer:**
Spritzer halfen beim Füllen und Heizen des Spritzgerätes und führten zudem das Spritzrohr, aus dessen Düsen das heiße Bindemittel fein vernebelt ausgespritzt wurde. Bei der Makadambauweise wurden Schicht für Schicht von unten nach oben immer feiner werdender Schotter und Splitt angespritzt und verdichtet. So entstand schichtweise auf der Packlage aus Steinen ein Asphalt, der am Einbauort hergestellt wurde.
- **Einbauer:**
Einbauer hatten die Aufgabe, Schotter und Splitt (überwiegend von Hand) zu verteilen, nachdem es durch Lkw und andere Fuhrwerke angeliefert wurde. Gelegentlich halfen sie beim Spritzen aus. Außerdem wiesen sie die Spritzer an, wie dicht ihre Spritzschicht sein musste, um einen brauchbaren Makadam herstellen zu können. Der Handeinbau in Makadambauweise war eine körperlich enorm schwere Arbeit. Die Einbauer gingen mit Schottergabeln und Splittgabeln um.

Fugenverguss

- **Fugengießer:**
Fugengießer befüllen die Kessel mit Gussmasse, beheizen die Kessel und beobachten das Aufschmelzen des Vergussmaterials. Sie bringen anschließend das Vergussmaterial entweder von Hand aus Gießgefäßen oder mithilfe von Fugenvergussmaschinen mit Vergussrohren aus. Als Nebenarbeiten haben sie die Vorbereitung der Fugen evtl. mit Haftvermittlern vorzunehmen. Dies geschieht im Regelfall mit Pinsel oder Beschichtungsmaschinen.
- **Spritzer:**
Spritzer haben das Spritzgerät zum Ausbringen von Haftvermittlern mit Spritzmaschinen zu befüllen und

führen dann das Spritzrohr. Da die Haftvermittler in Fugen einzubringen sind, ist der Spritznebel, der frei wird, nicht erheblich.

Die angegebenen Schichtmittelwerte stellen die Belastung von Schwarzdeckenbauern dar, die über eine gesamte Arbeitsschicht von acht Stunden weitgehend ununterbrochen Teerdämpfen ausgesetzt waren (z. B. Arbeiter in einer Teerkolonne auf Schwarzdecken-Großbaustellen). Bei kleineren Arbeiten im Schwarzdeckenbau (z. B. Bau von Nebenstraßen oder Plätzen) muss der zeitliche Anteil für die anfallenden Nebentätigkeiten ohne Teerexposition ermittelt werden. Auch erhöhte Arbeitszeiten – mehr als acht Stunden pro Schicht – sind entsprechend zu berücksichtigen. Die Expositionsangaben beziehen sich auf den Einsatz teerhaltiger Bindemittel (Tabelle 18 und 19). Bei Einsatz von Bitumen sind die Expositionen vernachlässigbar gering ($< 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

7.1.9 Herstellung von Asphaltmischgut

Bis Anfang der 1980er-Jahre wurden offene oder teilweise geschlossene Mischmaschinen in Asphaltmischanlagen eingesetzt. Der Anlagenbediener überwachte und steuerte den Mischvorgang von einem in unmittelbarer Nähe der Mischanlage angeordneten Steuerpult aus, teilweise auch aus der offenen Kabine heraus.

Der Mischanlagenbediener war gegenüber den aufsteigenden Dämpfen exponiert und aufgrund der Verwendung kohlestämmiger Bindemittel (Teer, Teeröle) potenziell gefährdet. Die Aufheiztemperaturen des Bindemittels betragen bis zu 135 °C. Die Herstellung von teerhaltigem Mischgut wurde seit den 1950er-Jahren stetig reduziert, da Straßenteer zunehmend durch Bitumen ersetzt wurde. Spätestens mit Inkrafttreten der TRgA 551 „Pyrolyseprodukte aus organischem Material“ im September 1984 erfolgte keine Verarbeitung bzw. Herstellung von teerhaltigem Mischgut mehr. Die TRgA untersagt die Verwendung von Steinkohlenteerpech, Carbobitumen oder sonstigen Substanzen mit einem BaP-Gehalt von über 50 mg/kg als Bindemittel im Straßenbau sowie den Einsatz von PAK-haltigen Fugenvergussmassen, z. B. im Flughafen- und Straßenbau. Die Herstellung von teerhaltigem Mischgut ab diesem Zeitpunkt beschränkte sich allenfalls auf Ausnahmen für spezielle Anwendungsbereiche.

Zur Herstellung von kalteinbaufähigem Mischgut und für Sondermischgut wurden Teeröle als Plastifizierungsmittel zugemischt. Beim Mischen, Abfüllen und Verpacken des Mischgutes in Säcke kann eine Gefährdung durch Teerdämpfe in geringem Umfang ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Etwa ab Mitte der 1970er-Jahre fand Zug um Zug eine Umgestaltung der Asphaltmischanlagen statt. Der Arbeitsplatz des Anlagenbedieners wurde in eine Arbeitskabine in einiger räumlicher Entfernung zur Mischmaschine verlegt, und es wurden zunehmend vollständig geschlossene Mischmaschinen eingesetzt. Der Anlagenbediener war möglicherweise auch als Anlagenschlosser im Rahmen der Störungsbeseitigung und Reparatur während des Anlagenbetriebs tätig und je nach Aufenthaltsort und -dauer in der Mischanlage entsprechend exponiert.

7.1.10 Recycling von Straßenausbaumaterialien

Das Recycling von Straßenausbaumaterialien ist heute ein gängiges Verfahren der umweltverträglichen Wiedernutzbarmachung der Straßenbaustoffe, die für die Befestigung von Verkehrsflächen verwendet werden. Auf der Baustelle ausgebautes Material wird in mobilen oder stationären Brecheranlagen zu Granulat zerkleinert und bei der Herstellung von Asphaltmischgut zu einem bestimmten Anteil wiederverwendet. Die Möglichkeiten der Wiederverwendung richten sich nach dem Gehalt an PAK nach der amerikanischen Umweltbehörde EPA.

Zur Herstellung von Asphalt im Heißmischverfahren darf Ausbaumaterial nur eingesetzt werden, wenn dessen PAK-Gehalt 25 mg/kg nicht überschreitet. Unter bestimmten Voraussetzungen kann auch eine Verwendung des Granulats bei der Herstellung von ungebundenen Recyclingbaustoffen erfolgen. Die Wiederverwendung von Straßenausbaumaterialien mit einem höheren PAK-Gehalt ist nur zulässig, wenn das Granulat zuvor mit Zement oder einem Bindemittel auf Bitumenbasis im Kaltmischverfahren ummantelt wurde.

Die Expositionsangaben in **Tabelle 20** beziehen sich ausschließlich auf das Zerkleinern sowie die hiermit verbundenen Nebentätigkeiten Verladen, Transportieren und Lagern von Straßenausbaumaterialien mit teer-/pechtypischen Bestandteilen und des daraus hergestellten Granulates. Beim Recycling bitumengebundener Straßenausbaumaterialien sind die Expositionen gegenüber BaP vernachlässigbar gering.

7.1.11 Gussasphaltarbeiten

Gussasphalt besteht aus Gesteinskörnungen, Füller und Bitumen sowie gegebenenfalls weiteren Zusätzen. Teerprodukte (z. B. Teerpech, Teeröle) wurden zur Herstellung von Gussasphalt niemals verwendet. Gussasphalt wird vielseitig eingesetzt, beispielsweise als Estrich im Wohn- und Industriebau sowie als Deckschicht auf Brücken und Straßenverkehrsflächen.

Im Wohn- und Industriebau wird Gussasphalt in der Regel von Hand verarbeitet. Der Gussasphalt wird mit beheizbaren Rührwerkskesseln vom Asphaltmischwerk zur Baustelle geliefert und dort heiß umgefüllt. Sein Zwischentransport vom Rührwerkskessel zur Einbaustelle erfolgt mit Dumper, Schubkarre oder Eimer, der Einbau mit dem Streichbrett oder der Harke. Die Oberfläche wird in noch warmem Zustand mit Sand abgerieben oder mit einer groben Gesteinskörnung (Feinsplitt) abgestreut. Auf größeren Flächen wie im Straßenbau wird Gussasphalt maschinell verarbeitet. Die Gussasphaltmasse wird aus dem Rührwerkskessel direkt auf den Untergrund gegossen und mit einer höhengeführten Bohle eingebaut. Randarbeiten

und Ausbesserungen werden manuell ausgeführt, z. B. mit einer Schaufel. Gussasphalt bedarf keinerlei Verdichtung, um seine Endfestigkeit zu erreichen. Die Oberfläche wird im Regelfall mit grober Gesteinskörnung abgestreut. Gussasphalt wurde in der Regel bei Temperaturen von 240 bis 260 °C, in Ausnahmefällen auch bis über 275 °C, verarbeitet. Seit 2008 ist in Deutschland der Einbau von Gussasphalt nur noch temperaturabgesenkt mit viskositätsverändernden Zusätzen oder viskositätsveränderten Bindemitteln bei Verarbeitungstemperaturen bis maximal 230 °C erlaubt [59]. Die Expositionsdaten für Gussasphaltarbeiten im Baugewerbe zeigt **Tabelle 21**.

Tabelle 20:
Baugewerbe – Straßenbau – Asphaltmischanlagen, Recycling

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Straßenbau, Asphaltmischanlagen, Recycling	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Asphaltmischanlagen, Verwendung kohlestämmiger Bindemittel (Teer/Teeröle)					
Steuerpult, offene Steuerkabine an offener Mischmaschine: Bedienen, Überwachen des Mischvorgangs, Reinigen des Mixers	bis 1989	2,5	Schicht	1987 bis 1989	2
Sondermischgut, kalteinbaufähiges Mischgut: Mischen, abfüllen, verpacken	bis 1990	1,0	Schicht		4
Anlagenschlosser Reparatur und Wartung	bis 1990	0,1	Schicht		4
Geschlossener Leitstand: Bedienen, Überwachen des Mischvorgangs	ab 1979	0,01	Schicht	1979	2
Mischwerker: Aufenthalt innerhalb der Mischanlage (z. B. zu Kontrollgängen)	1950 bis 1965	15	Schicht		4
	1966 bis 1975	3,0	Schicht		4
	1976 bis 1991	0,2	Schicht		4
Transport	1950 bis 1965	2,0	Schicht		4
	1966 bis 1975	1,0	Schicht		4
	1976 bis 1991	0,5	Schicht		4
Straßenbau – Recycling (von Straßenausbaumaterialien mit teer-/pechtypischen Bestandteilen)					
Verladen, Brechen, Lagern	ab 1994	0,7	Schicht	1994 bis 2008	1

Tabelle 21:
Baugewerbe – Gussasphaltarbeiten

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Gussasphaltarbeiten	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Gussasphaltarbeiten im Freien und in Räumen	zeitlich unbegrenzt	n. b	Tätigkeit	1992 bis 2008	1

7.1.12 Fugenvergussmassen in der ehemaligen DDR

Es ist zu unterscheiden zwischen Fugenvergussmassen für Bauwerke, Straßenbau und Rohrleitungsbau.

Bauwerke

Die TGL 141-014 „Fugenvergußstoffe für Bauwerke“ vom Mai 1967 [60] hat Bitumen, Steinkohlenteerpech und ihre Gemische zugelassen, d. h. Carbobitumen. Eine Unterscheidung zwischen Fugenvergussmassen auf Teerpechbasis und Bitumen kann nach dem Einsatzbereich getroffen werden. Produkte auf der Basis von Steinkohlenteerpech ergaben nur einen thermisch und dynamisch nicht beanspruchbaren Fugenvergußstoff für frost- und erschütterungsfreie Fundamente oder Bauteile. Sofern einer der Parameter nicht erfüllt war, waren Fugenvergussmassen auf der Basis von Bitumen zu verwenden.

Ab Dezember 1971 gab es Fugenvergussmassen für den Betonfertigteilebau auf der Basis organischer Polymere. Diese Materialien waren frei von Teer oder Bitumen. Die Plattenbauweise war die damals in der ehemaligen DDR hauptsächlich praktizierte Bauweise. Gemauerte und verputzte Häuser haben ohnehin keine nennenswerten Fugendichtungen benötigt.

Straßenbau

Die TGL 141-015-01 „Fugenvergußstoffe für Straßenverkehrsflächen aus Pflaster oder Zementbeton“ von September 1967 [61] hat für Deckschichten aus Pflaster Vergussmassen auf der Basis von Bitumen und von Steinkohlenteerpech zugelassen, für Fugen von Betonstraßen dagegen nur Vergussstoff auf Bitumenbasis, ab 1981 nur Bitumenprodukte.

Rohrleitungen

Zunächst waren Materialien auf der Basis von Steinkohlenteerpech und Bitumen möglich. Die TGL 21232 „Muffenvergußstoff“ von Januar 1978 [62] hat zur Abdichtung der Rohrmuffen von Abwasserrohren ein Vergussmaterial auf der Basis von Bitumen zugelassen. Ab 1978 wurden Rohrabdichtungen mit Bitumen durchgeführt. Zusätzlich standen ab 1983 organische Polymere zur Verfügung.

7.1.13 Sonstige Tätigkeiten in der Bauwirtschaft

Die Messwerte zum Schweißen von Schienenstößen (**Tabelle 22**) stammen aus nachstellenden Untersuchungen im Jahr 2006 im Rahmen einer BK-Ermittlung. Nachgestellt wurde die Exposition des Schweißers im Weichen- und Kreuzungsbau, da durch das häufig notwendige Schweißen von Schienenstößen über Koppelschwellen höhere Emissionen erwartet wurden.

Eine Tagesschicht beinhaltete ca. drei Stunden Rüstzeiten, etwa vier bis fünf Stunden Schweißarbeiten sowie ca. eine Stunde Schleifvorgänge. Vor dem eigentlichen Verschweißen wurden die Schienenstöße mittels Flamme auf ca. 200 bis 300 °C erwärmt. Beim Vorwärmen der Schienen und beim abschließenden Schweißvorgang werden die steinkohlenteerpechimprägnierten Holzschwellen thermisch stark belastet. Das Verschweißen erfolgte bis 1975 durch Gasschmelzschweißen (Autogenschweißen) und später durch KB-Elektrodenschweißverfahren. Nachgestellt werden konnte nur letzteres. Arbeiten fanden im Freien statt, es wurde kein Atemschutz getragen. Die verwendeten Holzschwellen stammten aus den frühen 1970er-Jahren und wiesen einen BaP-Gehalt von ca. 470 mg/kg auf.

Tabelle 22:
Baugewerbe – Abbruch/Demontage, Stollen-, Tunnel-, Schacht-, Gleisbau

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Abbruch, Stollenbau, Gleisbau	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Abbruch/Demontage					
Entfernen Kork-Teer Dämmungen (Innenbereiche)	zeitlich unbegrenzt	87	Tätigkeit	1991 bis 1996	2
Brennschneidarbeiten an mit Teer oder Teer-/Epoxid-Beschichtung versehenen Stahlkonstruktionen	zeitlich unbegrenzt	siehe Tabelle 31			
Stollen-, Tunnel-, Schachtbau					
Stollen-, Tunnel-, Schachtbau, Durchpressungen	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	1983 bis 1987	1
Gleisbau					
Ein-/Ausbau, Instandhaltung, Transport von Holzschwellen (z.B. Eisenbahn), mit Steinkohlenteeröl imprägniert	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht		3
Schweißen von Schienenstößen auf Carbolineum-imprägnierten Schwellen					
KB-Elektrodenschweißverfahren	ab 1975	0,4	Tätigkeit		3
KB-Elektrodenschweißverfahren, kurzzeitig entflammte Schwelle (Worst Case)	ab 1975	1,5	Tätigkeit		3

Literatur

- [34] VDD – Verband der Dach- und Dichtungsbahnen-Industrie e. V., Geschäftsbericht von 1970
- [35] TGL 118-0154 „Dachdeckungsarbeiten“ in Verbindung mit TGL 22317/01 „Teer-Sonderdachpappen und Bitumendachpappen“ - Januar 1974
- [36] TGL 22317/01 ‚Dachpappen‘ Ausgabe Dezember 1979, gültig ab 1.1.1981
- [37] TGL 22317/08 ‚Bituminöse Bahnen und Schindeln – Anwendung und Verarbeitung für Dachdeckungen‘ Ausgabe Mai 1980, gültig ab 1.2.1981
- [38] TGL 4137 ‚Dachklebmassen‘ Ausgabe Mai 1965, gültig ab 1.1.1966
- [39] TGL 21231/01 ‚Dämmdach-Klebstoff 80, heiß zu verarbeiten‘ Ausgabe Dezember 1968, gültig ab 1.1.1969
- [40] TGL 21234/01 ‚Heißklebstoffe auf Bitumenbasis‘, Ausgabe Dezember 1979, gültig ab 1.1.1981
- [41] *Bleichert, J.; Ebert, R.*: Teer, Bitumen, Benzpyren – eine Abschätzung des Gesundheitsrisikos am Arbeitsplatz. *Z. gesamte Hyg.* 34 (1988) Heft 10, S. 567-569
- [42] Schreiben der Arbeitshygieneinspektion des Rates des Kreises Sangerhausen vom 06.07.1987.
- [43] Leitfaden für die Entschichtung von Asbest- bzw. PAK-haltigen Altanstrichen im Stahlwasserbau und auf Betonbauwerken der WSV (Asbest-/PAK-Leitfaden). Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2007
- [44] Wiederverwertung von pechhaltigen Straßen- aufbruchmaterialien. BayFORREST-Projekt F 189, Schlussbericht Nr.: F 5009. Hrsg.: Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, München 2006
- [45] *Knecht, U.; Woitowitz, H.-J.*: Krebsgefährdung bei Verwendung von Pechbitumen im Straßenbau. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht Fb 612. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1990
- [46] *Rühl, R.*: Die Bedeutung der Leitsubstanz B[a]P für die Gefährdungsbeurteilung bei PAK-Exposition. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 34 (1999) Nr. 2, S. 59-64
- [47] *Graefe, E, Hellthaler, T.*: Laboratoriumsbuch für die Braunkohlenteer-Industrie‘ 1958, S. 209
- [48] TGL 2835-56 ‚Straßenbaubitumen‘, Ausgabe 1956
- [49] TGL 2838-56 ‚Straßenbauteere ‘, Ausgabe 1956
- [50] TGL 2838/01 ‚Straßenteere‘, Ausgabe Januar 1966
- [51] TGL TGL 2835 ‚Straßenbaubitumen‘, Ausgabe 1966
- [52] TGL 2836/01 ‚Verschnittbitumen‘, Ausgabe Januar 1966
- [53] TGL 21609 ‚Steinkohlenteeröle‘, Ausgabe Januar 1966
- [54] TGL 2836 Verschnittbitumen, Ausgabe September 1979
- [55] TGL 21199 Ausgabe April 1970, verbindlich ab 1.10.1970
- [56] TGL 21199 Ausgabe März 1975, verbindlich ab 1.7.1975
- [57] TGL 2835 ‚Straßenbaubitumen‘, Ausgabe Februar 1977, gültig ab 1. Januar 1978
- [58] TGL 2836 ‚Verschnittbitumen‘, Ausgabe September 1979, gültig ab 1. Januar 1981
- [59] Temperaturabgesenkte Asphalte. Hrsg.: Gesprächskreis Bitumen. LAUCK – Druckprodukte und mehr, Flöhrsheim am Main 2009
- [60] TGL 141-014 ‚Fugenvergußstoffe für Bauwerke‘, Ausgabe Mai 1967
- [61] TGL 141-015-01 ‚Fugenvergußstoffe für Straßenverkehrsflächen aus Pflaster oder Zementbeton‘ Ausgabe September 1967
- [62] TGL 21232 ‚Muffenvergußstoff‘ vom Januar 1978

7.2 Chemische Industrie

7.2.1 Elektrothermische Herstellungsverfahren

In der chemischen Industrie werden elektrothermische Öfen zur Herstellung von Reinmetallen, Carbiden, Silicium, Grafit oder Korund eingesetzt. Durch Lichtbögen oder bei Siliciumcarbid alleine durch den Widerstand des Einsatzgutes wird die notwendige Wärme von weit über 1 000 °C zur Umsetzung der Rohstoffe erzeugt. Selbstbrennende Söderbergelektroden wurden in der ehemaligen DDR bis zur Wende verwendet. Elektroden kommen heutzutage nur noch als vorgeformte Elektroden zum Einsatz (siehe auch Abschnitt 7.6.2).

Siliciumcarbid

Siliciumcarbid wird aus Quarzsand und Petrolkoks bei ca. 1 400 °C in einem Widerstandsofen gewonnen (Tabelle 23a). Dabei kann BaP aus dem Petrolkoks (Gehalt 20 bis 45 mg/kg) freigesetzt werden, es entsteht nicht durch Pyrolyse. Die Tätigkeit der Mitarbeiter an den Öfen wird durch den Auf- und Abbau der Seitenwände, das Räumen von Material und Reparaturen geprägt. Synthesenanlagen unter freiem Himmel haben sich in den letzten Jahren bewährt.

Calciumcarbid

Die Umsetzung von Calciumoxid und Kohle erfolgt bei etwa 2 000 °C in offenen, halbgedeckten oder vollständig gedeckten Miguet-Elektrolyseöfen. Vorwiegend wurden selbstbrennende Söderbergelektroden eingesetzt, deren Blechmantel bei laufendem Ofenbetrieb erneuert und angeschweißt werden muss. Dabei, wie auch beim Einfüllen der Söderbergmasse, besteht auf den Öfen eine

erhöhte Exposition gegenüber den aus der Elektrode ausgasenden Stoffen (Tabelle 23b).

Die personenbezogene Einzelmessung „Elektroden-schweißer“ erfasst eine Worst-Case-Situation, da der Schweißer den Arbeitsplatz mehrmals wegen Gasausbruch verlassen musste.

Phosphor

Phosphate werden zu weißem Phosphor in ähnlichen Öfen reduziert, wie sie auch für die Gewinnung von Calciumcarbid Verwendung finden (Lichtbogen-Reduktionsöfen). Die Elektrodenmasse für die selbstbrennenden Söderbergelektroden wurde in einer separaten Produktionshalle hergestellt. Sie wurde mit Kübeln zum Ofenhaus gebracht und dort von einer Bühne (Stampfraumbühne) in die Blechmäntel der drei Elektroden gefüllt (z. B. zweimal pro Woche). Zur Reparatur der Abstichrinnen wurde auch Söderbergmasse verwendet (Tabelle 23c).

7.2.2 Holzkohle

Holzkohle entsteht bei der thermischen Zersetzung von Holz unter Luftabschluss. In geschlossenen industriellen Anlagen werden bei diesem Prozess auch flüssige und gasförmige Produkte wie Holzgas, Holzessig und Holzteer gewonnen. Dazu kommen hauptsächlich kontinuierlich arbeitende Großraumretorten zum Einsatz. Auf traditionelle Weise wird Holzkohle in Meilern erzeugt. In den Tabellen 23 bis 25 sind die Expositionsdaten für verschiedene Tätigkeiten in der chemischen Industrie zusammengestellt.

Tabelle 23a:

Chemische Industrie – Siliciumcarbid-Herstellung (elektrothermische Herstellung aus Quarzsand und Petrolkoks)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Siliciumcarbid-Herstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Schmelzofen	1989 bis 1993	0,9	Tätigkeit	1989 bis 1993	2
Härteofen	1989 bis 1993	n. b.	Tätigkeit	1989 bis 1993	2

Tabelle 23b:

Chemische Industrie – Calciumcarbid-Herstellung (wird elektrothermisch aus Kalk und Kohle hergestellt)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Calciumcarbid-Herstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Söderbergelektrode (siehe Abschnitt 7.6.2)					
Einfüllen der Söderbergmasse		3,1	Tätigkeit	1985	3
Anschweißen des Elektrodenmantels auf Bühne (Miguet-Ofen)		7,3	Tätigkeit	1991 bis 1993	2
Elektrodenschweißer (Arbeiten an Elektrodenmantel bei gestörtem Ofenbetrieb)		17	Tätigkeit	1993	3
Kollerfahrer		n.b.	Schicht	1991	3
Abstich (Verfahren ohne Söderbergelektroden) (siehe Abschnitt 7.6.2)					
Anlagenfahrer		n.b.	Tätigkeit	2005	2

Tabelle 23c:

Chemische Industrie – Phosphor-Herstellung (nach einem elektrothermischen Verfahren unter Einsatz von Söderbergelektroden wird aus Phosphaten Phosphor hergestellt)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Phosphor-Herstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Söderbergmassen-Herstellung					
Mischeranlage	bis 1985	8,2	Tätigkeit	1985	3
	1986 bis 1987	0,4	Tätigkeit	1987	3
	bis 1989	0,2	Tätigkeit	1989	3
Anlagenfahrer (Zugabe von Weichpech)	1985 bis 1987	n. b.	Schicht	1985 bis 1987	2
Abfüllung	1987 bis 1989	0,6	Tätigkeit	1987 bis 1989	2
Abfüller	1985 bis 1987	n. b.	Schicht	1985 bis 1987	2
Nachfüllen der Söderbergelektrode					
Nachfüllen der Söderbergelektrode	1985 bis 1989	0,1	Tätigkeit	1986	3
Elektrodenbefüller	1985 bis 1987	n. b.	Schicht	1987	3
Stampfraumbühne					
	1985 bis 1989	n. b.	Tätigkeit	1987	3
Abstichrinne im Ofenhaus					
Reinigung nach Abstich	1985 bis 1989	1,9	Tätigkeit	1986	3
Auskleiden der Abstichrinne mit Söderbergmasse	1985 bis 1989	63	Tätigkeit	1986	2
Ausbesserung mit Siliciumcarbid	1985 bis 1989	n. b.	Tätigkeit	1989	3

Tabelle 24a:

Chemische Industrie – Teerverarbeitung, kontinuierliche Teerdestillation (Carbostämmiger Rohteer und andere petrostämmige Rohstoffe werden in Destillationskolonnen unter Vakuum aufgetrennt)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Teerverarbeitung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Destillierkolonnen					
Anlagenfahrer	zeitlich unbegrenzt	0,5	Tätigkeit	1987	2
		0,2	Schicht	1987	2
Öl-Aufarbeitung	zeitlich unbegrenzt	0,2	Tätigkeit	1987	2
Laboratorien	zeitlich unbegrenzt	0,4	Schicht	1987 bis 1992	2

Tabelle 24b:

Chemische Industrie – Pechanlagen/-kokerei

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Pechanlagen/-kokerei	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Strangpechanlage (heißes Flüssigpech wird durch Eindüsen in Wasser zu Strangpech erstarren lassen, das gebrochen und verladen wird)					
Anlagenfahrer (Überwachung, Probenahme, Kontrollgänge)	bis 2006	2,4	Schicht	1987 bis 1992	2
Pechgranulierung (Hartpech wird durch Wasserkühlung erstarren lassen und gebrochen)					
Anlagenfahrer (Kontrolle, Störungsbeseitigung)	1987 bis 1995	1,3	Schicht	1987 bis 1995	2
Kontinuierliche Hartpechanlage (aus Weichpech wird durch Verblasen (Flashen) Hartpech hergestellt)					
Anlagenfahrer (Messwarte, Kontrollgänge, Probenahme)	bis 1995	0,3	Schicht	1987 bis 1995	2
Diskontinuierliche Pechanlage (Weichpech wird in Retorten mit Luft verblasen, um einen höheren Erweichungspunkt zu erhalten)					
Anlagenfahrer (Messwarte, Kontrollgänge, Probenahme)	bis 1993	0,4	Schicht	1987 bis 1993	2
Pechkokerei (Heißflüssiges Steinkohlenteerpech wird bei ca. 1 200 °C unter Luftabschluss in Horizontalkammeröfen zu Pechkoks verkocht)					
Druckmaschinen- und Koksseite (Kokereiarbeiter)	bis 1990	24	Schicht	1987	3
Koksofendecke (Kokereiarbeiter)	bis 1990	38	Tätigkeit	1986	3
Betriebslabor: (Probenehmer, gesamte Anlage)	bis 1990	0,9	Schicht	1987	3

Tabelle 24c:

Chemische Industrie – Holzkohle-Herstellung

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Holzkohle-Herstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Press- und Knetanlage von Formkohle, Teerdestillation, Schwelanlage					
Kontrollarbeiten	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1990	2
Holzkohlenmeiler im Freien					
Befüllen, Beräumen, Köhler	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1992 bis 1994	2

Tabelle 25a:

Chemische Industrie – Teer- und Dachpappe

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Teer- und Dachpappe	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Teerpappenfabrik					
Teerkocherabteilung halbgekapselt	bis 1978	2,6	Tätigkeit	1976	3
Dachpappe, Bitumendachbahnen, Herstellung					
Mischer, Beschichtungsanlage (Tauchbad, Abscheider, Beschichtung, Kühlband, Aufwicklung, Kleben, Kontrolle, Steuerstand)	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1993 bis 2006	1

Tabelle 25b:

Chemische Industrie – Ruß-Herstellung (Verbrennen von Steinkohlenteeröl in offenen Pfannen)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Ruß-Herstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Arbeiten im Ofenraum	ab 1980	n. b.	Tätigkeit	1988 bis 1990	2
Reinigen der Pfannen und Ablöschen mit Wasser	ab 1980	3,6	Tätigkeit	1988	3
Anlagenfahrer (Schaltwarte, Kontrollgänge, Pfannenreinigen)	ab 1980	n. b.	Schicht	1990 bis 2001	3
Abfüllen, Abwiegen von Ruß	ab 1980	n. b.	Tätigkeit	1990 bis 1991	3

Tabelle 25c:

Chemische Industrie – Sonstige Bereiche

Tätigkeiten im Arbeitsbereich ...	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Anstrich-, Klebemittel, Fug- und Spachtelmassen, Herstellung					
Einwiegen, Einfüllen, Mischen, Kneten, Rühren, Abfüllen, Dosieren	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1985 bis 1999	1
Mineralölraffinerie					
	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	1989 bis 2007	1
Kohlehydrierung/Kohleverflüssigung					
	bis 1956	17	Tätigkeit	1956	3
Entsorgung der Rückstände aus der Kohleverflüssigung (Anlagenfahrer)	1989 bis 1992	n. b.	Schicht	1989 bis 1992	2
Kunststoffverarbeitung					
Mischen, Pressen, Funkenerodieren, thermische Trennverfahren, Herstellen und Bearbeiten von Phenolharzartikeln, Beschichten von Polystyrol mit Bitumen	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1981 bis 2006	1
Herstellung und Verarbeitung von Gummiwaren					
Herstellung von Gummimischungen (Mischen, Kneten), Vulkanisation in Pressen, Spritzgießmaschinen, Gravur mit Laser	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1983 bis 2002	1
Herstellung und Verarbeitung von Reifen					
Herstellung von Gummimischungen (Mischen, Kneten), Vulkanisation, Runderneuerung (Reifenrauh)	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1981 bis 2007	1

7.3 Kohleverarbeitung

7.3.1 Steinkohlekokerei

Unter Verkokung versteht man die thermische Zersetzung von Kohle unter Luftabschluss. Bei der Hochtemperaturverkokung von Steinkohle bei Temperaturen von 1 000 bis 1 400 °C entsteht Koks, der für die Roheisenerzeugung im Hochofen benötigt wird. Eines der Nebenprodukte ist Steinkohlenteer. Beim Verkokungsprozess findet in den Ofenkammern eine Pyrolyse statt, die flüchtigen Bestandteile der Kohle werden freigesetzt und gelangen über das Steigrohr in die Gassammelvorlage. Ein Teil der Dämpfe kann durch Ofenundichtigkeiten entweichen und führt in den entsprechenden Arbeitsbereichen zu Expositionen gegenüber sogenannten Kokereirohgasen. Dies sind komplexe Gemische verschiedener Komponenten, die neben PAK auch andere krebserzeugende Stoffe wie Benzol und aromatische Amine enthalten. Kokereirohgasen stellen Einwirkungen im Sinne der BK-Nr. 4110 dar, wobei eine Berechnung der BaP-Jahre nicht erforderlich ist. Falls Ermittlungen zu den BK-Nr. 1321, 4113 oder 4114 erfolgen, ist eine Quantifizierung der inhalativen BaP-Exposition notwendig.

Ab den 1980er-Jahren wurden in mehreren Messkampagnen äußerst umfangreiche Datenkollektive zur Exposition der Beschäftigten im Bereich von Kokereiofen erhoben. Grundsätzlich ist dabei festzuhalten, dass jede Einzelmessung mit großen Unsicherheiten behaftet ist, weil es sich um Messungen im Freien und damit im Einflussbereich meteorologischer Faktoren handelt. Aufgrund der großen Zahl der Messwerte lässt sich jedoch auf eine durchschnittliche Exposition schließen [65 bis 68]. Infolge technischer Neuerungen, z. B. im Nachgang zur Umsetzung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), hat sich die Expositionssituation der Beschäftigten etwa seit Mitte der 1980er-Jahre verbessert. Darüber hinaus wurde durch Einführen des umfangreichen Maßnahmenkataloges nach Anlage der TRGS 551 (Ausgabe 1999) die persönliche Exposition der Beschäftigten drastisch gesenkt. Seit der Jahrtausendwende wurden weitergehende Maßnahmen zur Emissionsminderung auf der Koksofendecke vorgenommen. Von 2011 bis 2015 wurde ein umfangreiches Messprogramm zur Expositionsermittlung an Arbeitsplätzen im Oberofenbereich von Kokereien durchgeführt. Die Ergebnisse können in der Regel als repräsentativ für den Zeitraum ab 2001 angesehen werden. Expositionsdaten für Tätigkeiten in Kokereien sind **Tabelle 26** zu entnehmen. Die Koksproduktion ist abhängig von der Qualität der Einsatzkohle [63; 64]. Zu unterscheiden ist, ob es sich um eine Kokerei mit Schütt- oder Stampfbetrieb handelt.

Schüttbetrieb

Die resultierende Koksqualität hängt maßgeblich von den eingesetzten Kohlen und den Verkokungsbedingungen (z. B. Aufheizgeschwindigkeit) ab. Aus „klassischen“, gut backenden Koks-kohlen lässt sich qualitativ hochwertiger Koks im sogenannten Schüttverfahren erzeugen [69]. Die Ofenkammern werden mithilfe von Füllwagen von oben befüllt. Anschließend schließt und vergießt der Einfeger bzw. Deckenmann die Fülldeckel und fegt die Ofendecke sauber. In modernen Kokereien bestreicht einer der Füllwagenfahrer die Deckel mit einer speziellen Dichtmasse. Die Rohgase gelangen über die Steigrohre in die Gassammelvorlage, wo sie abgekühlt werden. Durch Kondensationsprozesse kommt es unter anderem zur Teerabscheidung [70; 71]. Nach Abschluss der Garungszeit (12 bis 25 Stunden) wird der Koks mit einer Koksandrückmaschine (Maschinenseite) aus der Kammer gedrückt. Früher wurde der glühende Koks auf der Koksseite direkt vor den Öfen mit Wasser aus Schläuchen gelöscht. Heute wird der Koks-kuchen von der Koksüberleitungsmaschine (KÜM) aufgenommen und in den Löschwagen gefördert.

Stampfbetrieb

Um auch weniger hochwertige, schwachbackende Kohlesorten verwenden zu können, ohne die Koksqualität zu beeinträchtigen, ist eine Vorbehandlung zur Erhöhung der Schüttdichte der Einsatzmischung erforderlich. Eine Möglichkeit dafür ist eine mechanische Verdichtung im Stampfverfahren [69], das schon seit langem neben dem Schüttbetrieb im Saarland Anwendung findet. Beim Stampfbetrieb wird die Koks-kohlemischung im Vergleich zum Schüttbetrieb feiner aufgemahlen und in einem Stampfkasten durch Fallhämmer verdichtet. Der sogenannte Stampfkuchen wird dann von der Maschinenseite her in den Horizontalkammerofen eingeschoben (Arbeitsbereich Stampf-, Beschick- und Ausdrückmaschine, SBA). Während des Befüllens der Ofenkammern entwickeln sich Füllgase [65]. Die Absaugung der Gase im Bereich der Ofendecke erfolgte bis November 2013 über eine Füllgasabsaugvorrichtung (FAV). Ab Januar 2010 gab es parallel auch eine Füllgasüberleitmaschine (FÜM) mit geschlossener Kabine. Nach Abschluss der Messungen im Rahmen des Messprogrammes in diesem Arbeitsbereich (2013) wurde die letzte FAV durch eine FÜM ersetzt. Die Belüftung der Kabinen wurde verbessert und ein Filter für die Zuluft eingesetzt. Der anschließende Verkokungsprozess erfolgt wie im Schüttbetrieb [64]. Beim Türensetzen (sowohl im Bereich der SBA als auch auf der Koksseite an der KÜM) arbeiten die Beschäftigten vor den Türen des Koksofens (Ofenbühne). Die Türrahmen werden von Koksresten oder Teeranbackungen gereinigt und heruntergefallenes Material zusammengekehrt.

Tabelle 26:
Steinkohlekokerei

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Steinkohlekokerei	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Schütt- und Stampfbetrieb					
Oberofenbereich gesamt ¹⁾	bis 1988	10 ¹⁾	Schicht	1985 bis 1988	1
	1989 bis 1999	6,0	Schicht	1989 bis 1999	1
alle Arbeitsbereiche ²⁾	bis 1988	6,8	Schicht	1985 bis 1988	1
	1989 bis 2005	5,6	Schicht	1999 bis 2005	1
Schüttbetrieb					
Einfegen, Deckenmann	ab 2006	3,4	Schicht	2011 bis 2018	1
Füllwagen fahren	ab 2006	4,2	Schicht	2011 bis 2018	1
Steigrohr reinigen	ab 2006	0,8	Schicht	2012 bis 2013	1
Druckmaschine fahren	ab 2006	2,8	Schicht	2011 bis 2018	1
Koksüberleitmaschine fahren	ab 2006	0,5	Schicht	2011 bis 2018	1
Reinigen, Maschinenseite	ab 2006	1,4	Schicht	2011 bis 2018	1
Reinigen, Koksseite	ab 2006	4,0	Schicht	2011 bis 2018	1
Servicemann	ab 2006	2,9	Schicht	2012 bis 2018	1
Stampfbetrieb					
Fahren und Begleiten der Füllgasabsaugvorrichtung	1989 bis 2013 ³⁾	8,0	Schicht	2005 bis 2012	1
Fahren und Begleiten der Füllgasüberleitmaschine	2006 bis 2012 ⁴⁾	3,0	Schicht	2012	1
Vorlage/Steigrohr reinigen	2006 bis 2012 ⁴⁾	4,0	Schicht	2012	1
Temperaturmessen	2006 bis 2012 ⁴⁾	1,7	Schicht	2012	1
Fahren, Stampf-, Beschick- und Ausdrückmaschine sowie Koksüberleitmaschine	2006 bis 2012 ⁴⁾	0,1	Schicht	2012	1
Türsetzen an der Stampf-, Beschick- und Ausdrückmaschine sowie Koksüberleitmaschine	2006 bis 2012 ⁴⁾	0,3	Schicht	2012	1

1) Zum Oberofenbereich gehören Tätigkeiten auf der Ofendecke sowie auf der Maschinen- und Koksseite der Ofenkammern [1]. Um 1980 wurde für einen älteren Schüttbetrieb aus den 1950er-Jahren für Beschäftigte auf der Ofendecke eine Grundbelastung von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP ermittelt (bezogen auf eine 8-Stunden-Schicht) [65], in einem modernisierten Schüttbetrieb lediglich für den Deckenmann 22 bis $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP [66; 68]. Stationäre Messungen im Stampfbetrieb lagen bei maximal $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP [65; 68].

2) Diese Werte können bis 1999 für Tätigkeiten mit BaP-Expositionen außerhalb des Oberofenbereiches angewendet werden, darüber hinaus für wechselnde Tätigkeiten oder für Arbeitsbereiche, für die keine anderen Expositionsdaten vorliegen.

3) Im Dezember 2013 wurde der Betrieb der letzten FAV im Stampfbetrieb in Deutschland eingestellt.

4) Ab 2013 wurden in zahlreichen Arbeitsbereichen im Stampfbetrieb Verbesserungen von Schutzmaßnahmen vorgenommen. Falls keine betrieblichen Messungen vorliegen, können die Expositionsdaten auch für Beschäftigungszeiten nach 2012 angewendet werden.

7.3.2 Braunkohleveredelung

Braunkohle unterscheidet sich von der Steinkohle durch den sogenannten Inkohlungsgrad. Sie hat einen hohen Wassergehalt von ca. 50 % und im Vergleich zur Steinkohle einen geringeren Kohlenstoffanteil und damit geringeren Heizwert. Während die Braunkohle in Westdeutschland fast ausschließlich zur Wärme- und Energieerzeugung in Hausfeuerungsanlagen (Braunkohlebriketts) oder Kraftwerken verbrannt wurde, erfolgte in der ehemaligen DDR darüber hinaus auch eine Nutzung als chemische Rohstoffquelle. Zu den Prozessen der Braunkohleveredelung gehören neben der Pyrolyse bei der Verschwelung und Verkokung (Entgasungsverfahren) auch die Direktverflüssigung bzw. Hydrierung und die Vergasung [72]. Bei der Pyrolyse handelt es sich um eine thermische Zersetzung unter Sauerstoffausschluss. Welche Pyrolyseprodukte, zu denen auch die PAK zählen, in welchen Mengen gebildet werden, hängt sowohl von den Einsatzstoffen als auch von der Prozessführung ab. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Pyrolysetemperatur [68].

Braunkohlerverschwelung

Bei der Verschwelung von Braunkohle liegt die Prozess-temperatur unterhalb von 600 °C [72, 73]. Es entstehen Braunkohlenschwelteer und Schwelgase, als Nebenprodukt der sogenannte Grudekoks, der als Heizmaterial verwendet wurde [74]. In der BRD wurde die Braunkohlerverschwelung bereits 1967 eingestellt [70, 73]. In der ehemaligen DDR kamen Verfahren zur Braunkohlentief-temperaturverschwelung in großtechnischen Anlagen bis 1990 zum Einsatz. Dabei wurde die Braunkohle zum Zwecke der Veredelung dem Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren bei 500 bis 550 °C unterzogen. Bei diesem Prozess zur Herstellung von Teer bzw. Teerprodukten sind etwa 25 % als Mittelöl und ca. 18 % als Leichtöl angefallen. Das Verfahren hatte eine größtmögliche Ausbeute an aliphatischen Kohlenwasserstoffen zum Ziel, aus denen Kraftstoffe und Paraffin gewonnen werden konnten. Der Braunkohlenschwelteer enthielt nur etwa 5,5 % niedere und 9 % höhere aromatische Kohlenwasserstoffe [73], unter denen PAK zu verstehen sind. In einer anderen Veröffentlichung werden < 10 % PAK [75] angegeben. Zum BaP-Gehalt von Braunkohlenteer liegen keine Informationen vor. Die Analyse einer 2007 entnommenen Braunkohlenteerprobe in einem Labor der BG RCI ergab 61 mg/kg BaP.

Vergleichende experimentelle Untersuchungen zum Abdampfverhalten von BaP aus Steinkohlenteer, Braunkohlenschwelteer und Bitumen in 1988 haben ergeben, dass die unter gleichen Temperaturverhältnissen und genormter Oberfläche abgedampfte BaP-Menge aus

Braunkohlenschwelteer nur etwa 20 % der Menge aus Steinkohlenteer entspricht [73].

In einer Schwelerei, die nach dem beschriebenen Braunkohlentief-temperatur-Spülgasverfahren arbeitete, wurden an Arbeitsplätzen mit unmittelbarer Einwirkung von Schwelgasen (Schwelerleitstand, Ofenfahrer Bühne) BaP-Konzentrationen um 0,25 µg/m³ [73] gemessen. Dieser Wert entsprach der analytischen BG des damals verwendeten Mess- und Analyseverfahrens [14]. An allen anderen Arbeitsplätzen der Schwelöfen ohne direkte Schwelgas-einwirkung (z. B. Teerkeller, EGR-Reinigung, Filterpressenhaus) lagen die Messwerte unterhalb der BG [73]. Die Expositionsdaten wurden in **Tabelle 27** aufgenommen.

Braunkohlenteerverkokung

Die Herstellung von Elektrodenkoks aus Braunkohlenschwelteerpech erfolgte in einem diskontinuierlichen Verkokungsprozess unter leichtem Vakuum in gusseisernen Blasen unter Zugabe von Wasserdampf. Die Blasenwand wurde auf 800 °C aufgeheizt, die anfallenden Gase und Dämpfe über einen Kühler abgesaugt. Einzelne Phasen des Verkokungsprozesses, insbesondere das Abfeuern und Öffnen der Blasen zum Entleeren, waren mit relativ hohen Emissionen von Kokereiohgasen verbunden. Die Höhe der Exposition war neben dem Verkokungsverlauf und der Betriebsphase auch von den Windverhältnissen abhängig [73]. Aufgrund einer anderen Prozessführung und deutlich niedrigeren Temperaturen als bei der Steinkohlenverkokung sind die PAK-Expositionen an Arbeitsplätzen in der Braunkohlenteerverkokung deutlich geringer als in der Steinkohleveredelung.

An ausgewählten Arbeitsplätzen einer solchen Anlage zur Braunkohlenteerverarbeitung wurden personengetragene Messungen der BaP-Konzentrationen über sieben Stunden durchgeführt, die damit die durchschnittliche Exposition innerhalb einer Arbeitsschicht widerspiegeln [73]. Laut ergänzenden Informationen der Gewerbeaufsicht Halle handelte es sich bei den BaP-Konzentrationen zwischen < 0,25 µg/m³ (unterhalb der BG) und 5,6 µg/m³ um Werte aus mehr als siebenstündigen Messungen [14]. Daraus ergibt sich bezogen auf eine Arbeitsschicht ein doppelter arithmetischer Mittelwert von 4,7 µg/m³ BaP. Bei Kurzzeitmessungen unter extremen Expositionsbedingungen wurden BaP-Konzentrationen von 13,0 und 54,7 µg/m³ nachgewiesen. Wenn man diese einbezieht, auf Schichtmittelwerte umrechnet und das 90. Perzentil ermittelt, ergibt sich für Tätigkeiten am Koksstand, Heizer und Kokser eine Expositionshöhe von 5,1 µg/m³ BaP (Tabelle 27). Die BaP-Konzentrationen im Bereich der Teerentladung lagen bei allen Messungen unterhalb der BG (< 0,25 µg/m³) [76].

Tabelle 27:
Braunkohleveredlung in Betrieben der ehemaligen DDR

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Braunkohleveredlung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Braunkohlentiefemperatur-Verschwelung					
Schwelerleitstand, Ofenfahrer Bühne	bis 1990	0,3	Schicht	1980er-Jahre	3
Arbeitsplätze an Schwelöfen ohne direkte Einwirkung von Schwelgasen (z.B. Teerkeller, EGR-Reinigung, Filterpressenhaus)	bis 1990	n. b.	Schicht	1980er-Jahre	3
Braunkohlenteerverkokung					
Koksstand, Kokser, Heizer	bis 1990	5,1	Schicht	1980er-Jahre	3
Teerentladung	bis 1990	n. b.	Schicht	1980er-Jahre	3

Braunkohlenhochtemperatur (BHT)-Verkokung

Neben den Braunkohleschwelanlagen gab es in der ehemaligen DDR in Lauchhammer und Schwarze Pumpe Braunkohlekokereien, die hüttentauglichen Koks in einem Hochtemperaturverfahren hergestellt haben. Dieser für die Hüttenindustrie benötigte Braunkohlenhochtemperatur-Koks (BHT-Koks) war hier im Gegensatz zur Braunkohlenverschwelung das Hauptprodukt, Teer das Nebenprodukt.

Die BHT-Verkokung erfolgte bei 900 bis 1100 °C. Aus den Verkokungskammern wurden die gasförmigen Produkte abgesaugt und durch Kondensation Teer und Mittelöl abgeschieden. Das Mittelöl wurde zu Kraftstoff weiterverarbeitet [77; 78]. Da die Teerdämpfe nicht durch eine Hochtemperaturzone geführt wurden, entsprach der bei der Hochtemperaturverkokung gewonnene Braunkohlenteer noch einem Schwelteer [74]. Es waren 5,6 % einfache mehrkernige Aromaten enthalten [77], was den PAK nach der amerikanischen Umweltbehörde EPA entsprechen müsste und mit den Angaben zum Braunkohlenschwelteer übereinstimmt. Expositionsdaten aus der BHT-Verkokung liegen nicht vor.

Vergasung und Hydrierung von Braunkohle

Die Vergasung und Hydrierung von Braunkohle sind grundlegend andere technische Verfahren als die Verkokung und Verschwelung. Expositionsdaten liegen nicht vor.

7.3.3 Herstellung von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrografit

Die vorrangige Nutzung von künstlichem Grafit sind Grafit-elektroden. Es werden weltweit mehrere Millionen Tonnen im Jahr zur Produktion von Elektro Stahl verbraucht. Werkstoffe aus Kohlenstoff werden durch Pyrolyse unter Zugabe von Bindemitteln wie Teer und Pech hergestellt. Hierzu werden feste Füller und Bindemittel zunächst aufbereitet und gemischt. Die Formgebung erfolgt durch Pressvorgänge unter hohem Druck zu sogenannten grünen Formkörpern. In einem weiteren Schritt werden diese Formkörper unter Luftausschluss bei bis zu 1300 °C zu Hartbrandkohlen gebrannt und anschließend ggf. imprägniert. In einem letzten Schritt erfolgt die eigentliche Grafitierung durch eine Temperaturbehandlung bei ca. 2800 °C. Die Umwandlung vom amorphen zum grafitierten Zustand erfolgt durch die zugeführte Wärme unter Sauerstoffausschluss. Die hohen Temperaturen bewirken eine weitgehende Ordnung der Kohlenstoff-Schichtebenen im intrakristallinen Bereich.

Als Feststoff (feste Füller) werden vor allem hochgeglühter Petrol- und Pechkoks sowie Anthrazit, aber auch Grafit und Ruß eingesetzt. Als Binde- und Imprägniermittel kommen Steinkohlenteerpech, Petrolpech und Kunstharze zum Einsatz. Als Imprägniermittel werden zusätzlich Petrolfraktionen und härtende Öle verwendet. Hilfsstoffe sind neben einigen Zuschlagstoffen, die in geringeren Prozentmengen verwandt werden, vor allem kohlenstoffhaltige Schüttmaterialien wie Zechenkoks, Braunkohlekoks, Anthrazit, Petrolkoks und Ruß. Aber auch mineralische Schüttmaterialien wie Siliciumcarbid und Sand werden eingesetzt. Der Herstellungsprozess wird in mehrere Schritte gegliedert:

Lagern/Aufbereiten von festen Füllern

Die angelieferten Füller wie Koks werden zunächst eingelagert und anschließend gemahlen, z. B. in Backen- und Kegelbrechern, durch Hammer- oder Walzenmühlen oder in Sonderfällen durch Spezialmühlen wie Jet-Mühlen. Binde- und Imprägniermittel werden immer flüssig eingesetzt. Die Anlieferung kann eventuell in fester Form, z. B. als Pellet, erfolgen. Flüssiges Bindepech wird bei Temperaturen von über 90 °C gelagert, Pech wird vor der Verarbeitung auf > 90 °C erhitzt. Feste Binde- und Imprägniermittel werden in der Regel vor dem Einsatz aufgeschmolzen. Im Allgemeinen werden heute jedoch Flüssigpeche eingesetzt.

Mischen von Füller und Bindemittel

Beim Mischen werden die festen Füller entsprechend den Rezepturen und der Herstellungstechnologie mit Bindemitteln versetzt und in Mixern bei Raumtemperatur bzw. bei Temperaturen bis 200 °C, in Sonderfällen > 300 °C, zu einer plastischen Masse gemischt. Hierbei kommen für verschiedene Produktgruppen und je nach Ansatzgröße entweder ein manuelles Befüllen oder ein automatisches Chargieren zum Einsatz. Des Weiteren werden je nach Herstellungstechnologie geschlossene oder offene Mischer mit Absaugung bzw. Belüftung verwendet. Nach dem Mischen werden die plastischen Massen entweder unmittelbar zum Formen transportiert und weiterverarbeitet oder aus produktionstechnischen Gründen zwischengelagert.

Formgebung von Kohlenstoff-Formkörpern

Die Formgebung der grünen Formkörper erfolgt durch isostatisches Pressen, Stampfen, Gesenkpressen, Kolben-, Strang- oder Schneckenpressen, Rütteln oder Extrudieren. Dabei werden die gewünschten Formkörper aus einer Trockenmischung oder plastischen „grünen Masse“ bei Temperaturen bis 170 °C gefertigt. Die Beschickung der Formgebungseinrichtungen kann, je nach Produktionsart, sowohl automatisch als auch manuell erfolgen. In der Regel werden bei großformatigen Produkten wie Elektroden, Kathoden und Anoden automatische Füllleinrichtungen benutzt. Bei Sonderprodukten, kleinen Ansatzgrößen und häufigen Rezepturwechseln wird auch manuell oder halbautomatisch befüllt.

Brennen der grünen Formkörper

Die Grünlinge werden bei Temperaturen von ca. 600 °C bis zu ca. 1 300 °C gebrannt. Dabei erfolgt eine Umwandlung in eine amorphe Struktur als gebrannte Carbonelektrode. Beim Brennen werden „grüne Formkörper“ zur Verkokung des Bindemittels je nach Bedarf bis auf 1 300 °C in geschlossenen bzw. abgedeckten Brenneinheiten erhitzt. Das Bindemittel wandelt sich hierbei in festen hochgeglühten Kohlenstoff um. Es entsteht ein poröser keramischer Kohlenstoff-Formkörper. Diese Hochtemperaturbehandlung führt nicht zur Umwandlung in Grafitstrukturen.

Imprägnieren von porösen gebrannten Kohlenstoff-Formkörpern

Beim Imprägnieren werden die porösen Formkörper durch eine Tränkung oder durch Druck- bzw. Vakuum-Druck-Imprägnierung verdichtet. Die Poren werden mit dem Imprägniermittel gefüllt. Die Imprägnierung geschieht mit oder ohne nachfolgende thermische Behandlung (Brennen bzw. Grafitieren). Bei der Herstellung von großformatigen Kohlenstoff-Formkörpern folgt dem Imprägnierschritt das erneute Brennen. Dabei wird das Imprägniermittel in festen hochgeglühten Kohlenstoff umgewandelt.

Grafitieren von Kohlenstoff-Formkörpern

Produkte, für die eine hohe elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit oder Gleitfähigkeit anwendungsseitig verlangt wird, werden nach dem Brennen grafitiert. Die Grafitierung der Formkörper erfolgt durch indirekte oder direkte Widerstandserhitzung auf ca. 2 800 °C. Hierbei entsteht durch Strukturumwandlung des Kohlenstoffgiters Elektrografit.

Endbearbeiten von Formkörpern

Ein mechanisches, manuelles oder halbautomatisches Bearbeiten der Produkte, z. B. durch Drehen, Fräsen, Sägen oder Schleifen bzw. bei Sonderprodukten durch Polieren und Läppen, kann anschließend erfolgen.

Grünbruchrecycling

Grüne Mischungen und Formkörper, die für die Weiterverarbeitung nicht geeignet sind, können in den Herstellungsprozess, meist nach vorheriger Zerkleinerung, zurückgeführt werden.

Die Expositionsdaten zeigen in **Tabelle 28a** und **b** die Elektrodenherstellung für den Datenzeitraum bis 2009, in **Tabelle 29** für den Datenzeitraum 2010 bis 2019.

Tabelle 28a:
Elektrodenherstellung (Kleinkörper) für den Datenzeitraum bis 2009

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrodenherstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Herstellung von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrographit (Kleinkörper)	1981 bis 1987	20	Schicht	1981 bis 1987	1
	1988 bis 1995	6,6	Schicht	1988 bis 1995	1
	1996 bis 2000	4,8	Schicht	1996 bis 2000	1
	2001 bis 2005	5,9	Schicht	2001 bis 2005	1
	2006 bis 2009	4,5	Schicht	2006 bis 2009	1
Mischen					
Ansetzen der Mischungen, Einfüllen von Bindemitteln und Füllern, Ent- leeren des Mixers, Kontrolle und Überwachung	1981 bis 1987	16	Schicht	1981 bis 1987	1
	1988 bis 1995	8,4	Schicht	1988 bis 1995	1
	1996 bis 2000	14	Schicht	1996 bis 2000	1
	2001 bis 2005	9,3	Schicht	2001 bis 2005	1
	2006 bis 2009	7,5	Schicht	2006 bis 2009	1
Formen (Pressen)					
Befüllen, Formen, Kontrolle und Überwachung	1981 bis 1987	26	Schicht	1981 bis 1987	2
	1988 bis 1995	5,7	Schicht	1988 bis 1995	1
	1996 bis 2000	3,7	Schicht	1996 bis 2000	1
	2001 bis 2005	4,7	Schicht	2001 bis 2005	1
	2006 bis 2009	0,9	Schicht	2006 bis 2009	1

Tabelle 28b:
Herstellung von GroÙelektroden aus Kohlenstoff und Elektrographit für den Datenzeitraum bis 2009

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrodenherstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Festpechlagere					
Anlieferung, Transport	bis 1984	50	Tätigkeit	1984	3
Kran-Steuerstand	bis 1984	28	Tätigkeit	1983 bis 1984	3
Anodenbetrieb					
alle Tätigkeiten	1998 bis 2006	0,7	Tätigkeit	1998 bis 2006	2
Mischen					
Mischerhalle	1998 bis 2004	1,4	Tätigkeit	1998 bis 2004	2
Mischer (Arbeitsbühne)	1983 bis 1987	1,5	Tätigkeit	1983 bis 1987	2
	1990 bis 1993	0,6	Tätigkeit	1990 bis 1993	2
Rüttelmaschine	1998 bis 2004	0,4	Tätigkeit	1998 bis 2004	2

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrodenherstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Mischerfahrer (Einfüllen von Teer und Koks, Entleeren des Mixers, Kontrolle und Überwachung)	1983 bis 1987	3,0	Tätigkeit	1983 bis 1987	2
	1990 bis 1993	0,5	Tätigkeit	1990 bis 1993	2
Meister in der Mischerei	bis 1983	0,6	Schicht	1983	2
Presse					
	bis 1983	0,2	Tätigkeit	1983	2
	1991 bis 1993	n. b.	Tätigkeit	1991 bis 1993	2
Pressefahrer	1991 bis 1993	0,2	Schicht	1991 bis 1993	2
Imprägnierung					
am Autoklaven		0,2	Tätigkeit	1994	2
Beladen der Körbe		0,3	Tätigkeit	1993	3
Reinigung leerer Pfannen		1,6	Tätigkeit	1993	3
Schichtführer		n. b.	Schicht	1993	3
Brennofen für Anoden					
	1993 bis 2000	0,1	Tätigkeit	1993 bis 2000	2
Zerkleinern pechhaltigen Materials					
Ausschussaufbereitung, Zerschlagen von Elektroden per Hand, Einfüllen in Brecher		5,0	Tätigkeit	1999	3

Tabelle 29:
Elektrodenherstellung für den Datenzeitraum 2010 bis 2019

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrodenherstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Herstellung von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrographit					
Brecher, Mühle	2010 bis 2019	0,82	Schicht	2010 bis 2019	1
Mischen, Kneten	2010 bis 2019	3,3	Schicht	2010 bis 2019	1
Pressen	2010 bis 2019	1,5	Schicht	2010 bis 2019	1
Öfen	2010 bis 2019	1,2	Schicht	2010 bis 2019	1
Imprägnierung	2010 bis 2019	1,5	Schicht	2010 bis 2019	2
Innerbetrieblicher Transport	2010 bis 2019	0,96	Schicht	2010 bis 2019	2

Literatur

- [63] Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 14, Kohle, Schwelung und Verkokung von Steinkohle S. 505-569, Verlag Chemie GmbH, Weinheim 1977
- [64] *Franck, H.-G., Knop, A.:* Kohleveredelung. Chemie und Technologie. Springer-Verlag, Berlin 1979
- [65] *Thielen, R. G.:* Arbeitsmedizinische Untersuchungen von Flugstäuben einer Koksanlage unter besonderer Berücksichtigung der Benzo[a]pyrene. Werksärztlicher Dienst der Neunkirchner Eisenwerke AG. Forschungsprogramm unterstützt durch die Arbeitsgemeinschaft der Eisen- und Metall-Berufsgenossenschaft und die Neunkircher Eisenwerke AG. 1980
- [66] *Blome, H.:* Messungen polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe an Arbeitsplätzen – Beurteilung der Ergebnisse. Staub – Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr.6, S. 225-229
- [67] *Blome, H., Baus, K.:* Konzentrationen polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH) bei der Herstellung und Verwendung von Pyrolyseprodukten aus organischem Material. Staub – Reinhalt. Luft 43 (1983) Nr. 9, S. 367-372
- [68] *Blome, H.:* Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) am Arbeitsplatz. BIA-Report 3/83, Hrsg. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, St. Augustin 1983
- [69] *Sander, S.:* Untersuchungen zur Stabilität gestampfter und gepresster Kohlekuchen für den Kokereieinsatz, Dissertation, Fakultät III Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin, 2019
- [70] *Saathoff, G.; Schecker, H.-G.:* Teer, Pech, Teeröl, Bitumen. Verbreitung, Verwendung, Arbeitsplatzbelastungen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Gefährliche Arbeitsstoffe GA14, Wirtschaftsverlag NW Bremerhafen, 1985
- [71] *Kuhna, M.:* Die Koks-Bäcker, RAG-Magazin 1/2006, S. 26-32
- [72] *Krzack, S.:* Prozesse der thermochemischen Konversion. In: Krzack S., Gutte H., Meyer B. (Eds.) Stoffliche Nutzung von Braunkohle. Springer Vieweg, Berlin 2018, S.197-203
- [73] *Bleichert, J.:* Zur Kanzerogenität von Braunkohlenschwelteer. Zbl. Arbeitsmed. 48 (1998) Nr. 2, S. 144-149
- [74] Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 16, Teer und Pech, S. 699, Urban & Schwarzenberg, München, Berlin, 3., völlig neu gestaltete Auflage 1965
- [75] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung, 2. Gaswerke/Kokereien, Stand: 09/1996 (aktualisiert 07/2003)
- [76] Persönliche Mitteilung der AHI/Gewerbeaufsicht Halle an die BGRCI
- [77] Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 14, Kohle, S. 497. Verlag Chemie, Weinheim 1977
- [78] Patentschrift 4630, *Bilkenroth, G., Rammler, E.:* „Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines stückigen Hochtemperaturkokses von hoher Druck-, Abrieb- und Sturzfestigkeit aus Braunkohlenbriketts“. DDR Amt für Erfindungs- und Patentwesen, Leitverlag „DAS NEUE BERLIN“ Verlagsgesellschaft mbH, Berlin 1953

7.4 Elektrotechnik – Produkte für Kabelisolierung und Vergussmassen

7.4.1 Erdkabelisolierungen

Der Aufbau von Erdkabeln ist je nach Art unterschiedlich. Gemeinsam ist, dass ein hoher Potentialunterschied auf sehr kurzer Entfernung abgebaut werden muss. Daher wurde als Isoliermaterial Papier in Verbindung mit Masse (Ölharz hoher Viskosität) oder Öl verwendet. Die Materialien unterliegen hohen mechanischen und klimatischen Belastungen. Ein klassisches Papier-Blei-Kabel für den 10-kV-Bereich ist das sogenannte Gürtelkabel mit massegetränkter Papierisolierung der Einzeladern sowie gemeinsamer Gürtelisolierung um die drei Adern. Über der Gürtelisolierung befindet sich ein Bleimantel und darüber eine Armierung aus Stahlbändern, der Außenmantel ist Kunstjute zum Korrosionsschutz. Bei dem Dreibleimantelkabel (NEKBA) für den 20- und 30-kV-Bereich sind die Adern einzeln mit leitfähigem Rußpapier, Bleimantel und Korrosionsschutzhülle (ggf. mit Teer oder Bitumen) versehen. Die Adern werden verseilt und mit einer gemeinsamen Hülle versehen. Die äußere Stahlbandbewehrung wird nochmals mit einer Korrosionsschutzhülle aus Kunstjute geschützt. Die genannten Kabelarten wurden seit den 1980er-Jahren durch Kunststoff isolierte Kabel verdrängt [79].

Sowohl zum Bitumieren des Papiere als auch für die äußere Schutzhülle kamen Destillationsbitumen (z. B. Ebano 80) oder Oxidationsbitumen (z. B. Panmex 85/40) zum Einsatz [80]. Bei Reparaturen an defekten Kabeln mussten die vorhandenen Umhüllungen entfernt werden. Bei Kabeln, die bis Mitte der 1960er-Jahre verbaut wurden, kann es sich dabei auch um teerhaltige Gewebe gehandelt haben. Bevor man beispielsweise die beiden Enden der Starkstromkabel über eine Muffe miteinander verbinden konnte, mussten diese abisoliert werden. Das Entfernen der Isolierung erfolgte entweder mechanisch oder mit einer Gasflamme. Dabei wurde das Material mit der Flamme angelöst und mit einer Zange abgezogen. Bei nachstellenden Messungen in einem Graben (3,6 x 0,75 m und 0,72 m tief) einer Versorgungsstation wurde das Erstellen einer Muffe simuliert. Bei dem mit Teer isoliertem Kabel wurde eine Luftkonzentration von $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für BaP ermittelt. Die Vergleichsmessung an einer Bitumen-Isolierung ergab einen Wert von $< 0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7.4.2 Vergussmassen

Bei der Erdverlegung von Stromkabeln werden die Verbindungen von Kabeln durch sogenannte Muffen hergestellt. Dies gilt sowohl beim Verlegen von Kabeln (Verbinden zweier Kabel) als auch bei Reparaturen, wenn beschä-

digte Kabel erneuert werden müssen. Je nach Umfang des Schadens werden dann eine oder mehrere Muffen (mit neuem Kabelzwischenstück) gesetzt. Im Bereich der Muffe muss die Verbindung die gleichen Eigenschaften haben wie im intakten Kabel. Sie gewährleistet Isolation und Schutz gegen äußere Einflüsse wie mechanische Belastungen, Feuchtigkeit und Sauerstoff. Dazu wurden unter anderem Verbindungsmuffen aus Metallguss eingesetzt. Um das Muffeninnere dauerhaft vor allem gegen Feuchtigkeit abzudichten, wurden sie mit einer Füllmasse abgedichtet. Die Vergussmassen wurden häufig innerbetrieblich als Teermassen oder Teervergussmassen bezeichnet. Als Vergussmassen wurden bis Anfang der 1960er-Jahre fast ausschließlich Destillationsprodukte fossiler Rohstoffe (Teer oder Bitumen) eingesetzt. Teerpech aus Steinkohleteer war der erste großtechnisch verwendete Vergusswerkstoff. Der Grund für die Verdrängung von Teerpech durch Bitumen war zunächst nicht die Gesundheitsgefährdung, die vom Teerpech ausgeht, sondern dessen technische Nachteile. Wegen der besseren Verarbeitungseigenschaften, der höheren Beständigkeit und der mit der Verarbeitung verbundenen Geruchsbelästigung wurde Teer etwa ab 1930 allmählich von Bitumen substituiert [81].

Die Norm DIN VDE 0291-1 „Bestimmungen für Füllmassen für Kabelzubehöerteile sowie Abbrühmassen“ aus dem Jahr 1972 [82] macht hierzu folgende Angaben: Die Füllmassen zum Füllen von Kabelzubehöerteilen für Starkstromkabel sind Massen auf Bitumenbasis. Helle Füllmassen für Fernmeldekabel sowie Abbrühmassen (zum Abbrühen der Kabelenden) sind auf Paraffin-/Wachsbasis. Der Arbeitsvorgang lief in etwa wie folgt ab: Die Teer- oder Bitumenstücke wurden in einem Teerkocher mit einem Gasbrenner auf der Baustelle erhitzt und dadurch verflüssigt. Die flüssige Masse wurde in Eimer gefüllt und über eine Leiter in die Baugrube transportiert. Die Baugruben waren zum Schutz vor Sonne und Regen mit einem Schutzzelt überbaut. Anschließend wurde die Füllmasse nach und nach in die Schutzmuffe überführt. Je nach Muffengröße [81] waren ein bis zwanzig Liter Füllmasse erforderlich.

Messwerte zu diesen Tätigkeiten liegen nicht vor. Zur Einschätzung der Expositionshöhe können die Expositionsdaten aus Tabelle 13 (Baugewerbe – Dachdecken, Bautenschutz) für eine Dosisberechnung herangezogen werden. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich um einen Schichtwert handelt. Der eigentliche Kontakt mit heißer Füllmasse lag erfahrungsgemäß bei ein bis zwei Stunden pro Woche, wenn man alle Arbeitsschritte (Fehlerortung, Einrichten der Baugrube, Hochspannungsprüfung etc.) mit einbezieht.

Bereits ab Mitte der 1960er-Jahre wurden von den Stromversorgern bitumenhaltige Vergussmassen eingesetzt. Eine 1964 von den Vereinigten Elektrizitätswerken verbaute Gussmuffe enthielt weniger als 0,6 µg/g BaP und war somit auf Basis von Bitumen. In 9 von 10 untersuchten historischen (1964 bis 1995) Vergussmassen und Isoliermaterialien lagen die Gehalte an BaP unterhalb der BG von 0,6 µg/g. Eine Probe hatte einen erhöhten Gehalt von 750 µg/g (Tabelle 30). Es ist daher davon auszugehen,

dass spätestens ab Mitte der 1960er-Jahre keine teerhaltigen Vergussmassen mehr verarbeitet wurden. Im Bereich Normen/Regelwerk taucht Teer seit 1970 nicht mehr auf [84]. Dieser zeitliche Verlauf steht im Einklang mit anderen Branchen, in denen Teer im Verlauf der 1960er-Jahre durch Bitumen verdrängt wurde. Mit der Entwicklung geeigneter technischer Kunststoffe wurden ab etwa Mitte der 1980er-Jahre vor allem Polyesterharze und Polyurethanharze (PUR) als Vergussmassen eingesetzt.

Tabelle 30:
BaP-Gehalte in Vergussmassen und Isoliermaterialien

Nr.	Probe	Baujahr	BaP in µg/g
1	1 KV Verbindungskabel Verbindungsmuffe 95/95	1995	< 0,5
2	X Kab 12 KV 3x95 NKBA ¹⁾ 3m	1972	< 0,5
3	1 KV-Kabel (HA-Kabel)	genaues Baujahr nicht bekannt	750
4	10 KV-Kabel	1969	< 0,5
5	Abzweigmuffe 95/K16 (1 KV)	1988	< 0,5
6	1-kV-Verbindungsmuffe	1964	< 0,6
7	Papierisolierung: 10-kV-Kabel NKBA ¹⁾ 3x120 mm ²	1979	< 0,3
8	Papierisolierung: 10-kV-Kabel NKBY ²⁾ 3x120 mm ²	1995	< 0,3
9	1-kV-Verbindungsmuffe (NKBA 4x95 – NVV 4x95)	genaues Baujahr nicht bekannt	< 0,1
10	1-kV-Verbindungsmuffe(NKBA 4x95 – NVV 4x95)	genaues Baujahr nicht bekannt	< 0,1

¹⁾ NKBA: Bleimantel, außen Faserstoffe, z. B. Jute

²⁾ NKBY: Bleimantel, außen PVC

Literatur

- [79] Energiekabel im EVU. Expert Verlag 1994
- [80] Anwendungsleitfaden der Fa. ESSO BITUMEN aus dem Jahr 1990 (Erstausgabe 1977)
- [81] *Reiner, S.:* Die Verwendung von Bitumen in der Kabel- und Gummiindustrie. Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie e.V., 10. Jahrgang, Mai 1940, Heft 4
- [82] DIN VDE 0291-1 „Bestimmungen für Füllmassen für Kabelzubehöerteile sowie Abbrühmassen“ (Februar 1972)
- [83] DIN 47600-1 „Verbindungsmuffen aus Metallguß für Starkstromkabel bis 10 kV - Schutzmuffen“ (Oktober 1974)
- [84] *Heim, T.:* Entwicklung von Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien für Stahlrohre, 3R international (44) Heft 11/2005, S. 1-13

7.5 Entsorgung

7.5.1 Entsorgung und Recycling

Die Expositionsdaten für die Tätigkeiten in der Entsorgung sind in **Tabelle 31** zusammengestellt.

7.5.2 Recycling von Bahnschwellen

In eine Studie [85] wurden zwei Recycling-Betriebe einbezogen, die mit Steinkohlenteeröl imprägnierte Bahnschwellen und somit PAK-haltige Materialien aufbereiten. Beim Recycling der Bahnschwellen wurden die Schwellen

entweder für eine Wiederverwendung aufgearbeitet oder geschreddert und der Entsorgung zugeführt. Die Bahnschwellen wurden zunächst abgeplattet, d. h. die auf ihnen befestigten Metallhalterungen, Schrauben und Rippenplatten wurden entfernt. Dies erfolgte mit Druckluft, Elektroschraubern oder Schraubern mit Verbrennungsmotor. Die danach als Rohlinge vorliegenden Schwellen wurden dann entweder durch Fräsen und Bohren aufbereitet oder geschreddert. Nach der Aufbereitung wurden beim sogenannten Aufplatten wieder neue oder recycelte Rippenplatten aufgelegt und verschraubt (**Tabelle 32**). Expositionsdaten dieser Studie für das Recycling von Bahnschwellen sind in **Tabelle 33** zusammengestellt.

Tabelle 31:
Entsorgung

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Entsorgung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Abfallverbrennung, Recyclinganlagen	1990 bis 2005	0,6	Schicht	1990 bis 2005	1
	2006 bis 2019	n. b.	Schicht	2006 bis 2019	1
Entsorgung von Altanlagen					
Brennschneidarbeiten an teerbehafteten Teilen (z. B. Rohre, Behälter), in Hallen oder im Freien	zeitlich unbegrenzt	38	Tätigkeit	1987 bis 1995	2
Trennschneidarbeiten an teerbehafteten Teilen	zeitlich unbegrenzt	0,1	Tätigkeit	1992	2
Erwärmen teerbehafteter Teile auf maximal 1100C	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1992	2

Tabelle 32:
Erläuterungen zu den Tätigkeiten

Arbeitsbereich	Tätigkeit
Mechanische Tätigkeiten (Fräse/Bohrer)	Aufarbeitung in erster Linie gebrauchter, wieder verwendbarer Bahnschwellen
Transport für mechanische Tätigkeiten (im Stapler)	Zur Bedienung der Fräse/des Bohrers wurden die Bahnschwellen durch einen schutzbelüfteten Radlader im Arbeitsbereich transportiert
Aufplattung	Aufgearbeitete Schwellen werden mit Rippenplatten und Schrauben versehen
Aufplattung (neue Aufplattanlage)	Beheizbare Aufplattkabine mit Förderband, Erfassung von Aerosolen, Schutzbelüftung, Zu-/Abführung der Schwellen von außen mit Staplern
Abplattung und Sortierung (im Freien oder in der Halle)	Abplatten mit druckluft-/kraftstoffbetriebenen Schraubern in überdachten, teils seitlich offenen Bereichen oder einer Halle, Sortieren und Ab-/Verladen mit Staplern
Abplattung und Sortierung (schutzbelüftete Abplattanlage)	Geschlossene, klimatisierte Abplattkabine mit Transportband, Schrauben werden über Teleskoparme aus der Kabine heraus mit Elektroschraubern gelöst
Schredderanlage (Radlader oder im Freien)	Zur Entsorgung werden nicht mehr verwendbare Schwellen in offen aufgebauten Schreddern zu sogenannten Hackschnitzeln (Brennstoff für Heizkraftwerke) verarbeitet
Umsetzarbeiten (Teleskoplader, Greifbagger)	Auslegen/Sortieren der Bahnschwellen, Entladen von Waggons, Stapeln der Bahnschwellen

Tabelle 33:
Recycling von Bahnschwellen

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Recycling von Bahnschwellen	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Mechanische Tätigkeit (Fräse/Bohrer)		0,3	Tätigkeit	2013 bis 2015	1
Transport für mechanische Tätigkeiten (im Stapler)		0,3	Tätigkeit	2013 bis 2015	1
Aufplattung (neue Kabine)		0,05	Tätigkeit	2013 bis 2015	1
Abplattung und Sortierung (im Freien)		0,05	Tätigkeit	2013 bis 2015	1
Abplattung und Sortierung (in Halle)		0,27	Tätigkeit	2013 bis 2015	1
Abplattung und Sortierung (schutzbelüftete Abplattanlage)		0,03	Tätigkeit	2013 bis 2015	2
Schredderanlage Radlader		0,03	Tätigkeit	2013 bis 2015	2
Schredderanlage (im Freien)		0,57	Tätigkeit	2013 bis 2015	2
Umsetzarbeiten (Greifbagger/Teleskop- lader)		0,04	Tätigkeit	2013 bis 2015	2

Literatur

- [85] M. Hagmann, R. Hebisch, A. Baumgärtel, S. Beelte, J. Karmann, M. Krug et al.: Belastung durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe beim Recycling von Bahnschwellen und der Aufarbeitung kontaminierter Böden. ASU (2017) Nr. 52, S. 670-681

7.6 Metallherzeugung

7.6.1 Roheisen- und Stahlerzeugung

Im Hochofen wird zunächst aus Eisenerz mithilfe von Koks und Zuschlagstoffen Roheisen hergestellt. Im Roheisen ist der Gehalt an Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel relativ hoch, sodass es sehr spröde und nicht zum Schmieden oder Schweißen geeignet ist. Um aus Roheisen Stahl zu erzeugen, müssen diese und weitere enthaltene Begleitelemente entfernt werden. Der Kohlenstoffgehalt wird auf unter 2 % reduziert. Meist wird bei der Stahlerzeugung auch Schrott eingeschmolzen [86]. Für die Auskleidung von Öfen zur Eisen- oder Stahlerzeugung wurden vor allem in der Vergangenheit teer- oder teerpechhaltige Feuerfestmassen verwendet (siehe Abschnitt 7.1.7). Bei der Verwendung solcher Produkte ist daher sowohl beim Ausmauern bzw. Auskleiden als auch beim Betreiben der Öfen eine inhalative PAK-Belastung gegeben. Die Expositionsdaten für verschiedene Tätigkeitsbereiche der Roheisen- und Stahlerzeugung sind in **Tabelle 34a** und **34b** aufgelistet.

Blasstahlwerke

Bei den Blasverfahren wird zum Roheisen in Konvertern Sauerstoff oder Luft zugeblasen – das sogenannte Frischen. Dabei werden Verunreinigungen oxidiert und entweichen als Gase oder werden in der Schlacke gebunden [86]. Eine externe Wärmezufuhr ist nicht notwendig.

Siemens-Martin-Stahlwerke

Bei den Herdfrischverfahren, zu denen das Siemens-Martin-Verfahren gehört, wird der notwendige Sauerstoff über die Zugabe von Schrott und Erz zugeführt. Außerdem ist eine externe Wärmequelle erforderlich. Beim Siemens-Martin-Ofen wurde ein oxidierendes Brenngas-Luft-Gemisch über die Schmelze geleitet. Als Brennstoff diente Generatorgas oder Öl.

Während in der BRD Anfang der 1960er-Jahre ca. 50 % aller in den Hüttenwerken erzeugten Stähle mit dem Siemens-Martin-Verfahren hergestellt wurden [87], hatte es bereits Mitte der 1980er-Jahre kaum noch Bedeutung. In der ehemaligen DDR kam es noch bis 1990 zum Einsatz. Der letzte Siemens-Martin-Ofen in Brandenburg wurde Ende 1993 stillgelegt [88]. Expositionsdaten aus Siemens-Martin-Werken liegen nicht vor. Für Dosisabschätzungen können die Daten für Blasstahlwerke verwendet werden (Tabelle 34a) bzw. für den Feuerungsbau die Konverterzustellung (Tabelle 17).

Elektrostahlwerke (E-Stahlwerke)

Bei den Elektrostahlverfahren wird überwiegend Stahlschrott eingeschmolzen. Darüber hinaus können auch Eisenschwamm (Produkt der Direktreduktion von Eisenerz) oder Roheisen chargiert werden. Die zum Schmelzen erforderliche Wärme wird durch einen Lichtbogen oder durch Induktion erzeugt [89].

Tabelle 34a:

Metallerzeugung – Roheisen- und Stahlerzeugung: Hochofen- oder Ofenbereich im E- und Blasstahlwerk

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Hochofen- oder Ofenbereich E- und Blasstahlwerk	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Ofenbühne allgemein					
Kontrolle, Überwachung, Steuerung, Probenahme	bis 1980	2,0	Schicht		3
	1981 bis 1991	1,0	Schicht	1981 bis 1991	1
Schmelzer					
Kontrolltätigkeiten, Überwachung, Her- richten der Abstich-/Schlackenrinne, Probenahme und Temperaturmessung, Mitarbeit bei Reparaturen	bis 1985	18	Schicht		3
	1986 bis 1991	7,0	Schicht	1986 bis 1991	1
Abstechen	bis 1985	35	Tätigkeit		3
	1986 bis 1991	10	Tätigkeit	1986 bis 1991	1
Verschiedene Arbeitsbereiche					
Ofenbühne, Schmelzer, Transport und weitere Tätigkeiten im Ofenbereich	1992 bis 2009	0,6	Schicht		3
	ab 2010	0,1	Schicht	2010 bis 2019	1

Tabelle 34b:

Metallerzeugung – Stahlerzeugung, allgemein

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Stahlerzeugung, allgemein	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Pfannenfeuerplatz					
BaP-reiche Feuerfestmaterialien	bis 1985	60	Tätigkeit		4
	1986 bis 1991	30	Tätigkeit		4
	1992 bis 2009 ¹⁾	10,3	Tätigkeit	2000 bis 2009	2
bei der Verwendung von BaP-freien oder niedrig belasteten Feuerfestmate- rialien (bis 10 ppm bzw. 10 mg/kg)	1992 bis 2010	0,3	Schicht	2010	2
	ab 2011	n. b.	Schicht	2011 bis 2014	2
Feuerungsmaurer BaP-reiche Feuerfestmaterialien	(siehe Tabelle 17 „Feuerungsbau“)				
Dolomitanlage					
Bedienen, Überwachen, Befüllen des Kollergangs mit mit Dolomitgestein, Zugabe von halbfesten teerhaltigen Bindemitteln, seit 1992 harz- bzw. bitu- mengebundenes Feuerfestmaterial	bis 1991	2,0	Schicht	1986 bis 1991	2
	1992 bis 2009	0,5	Schicht		3
Stranggussanlage					
Gießhalle allgemein, Abgießen	bis 2009	2,5	Schicht	1983 bis 2009	1
	ab 2010	0,9 ²⁾	Schicht	2010 bis 2019	2
Transport, Reinigung, sonstige Tätigkeiten	bis 2009	1,0	Schicht	1983 bis 2009	2
	ab 2010	³⁾	Schicht		
Erhaltung, Instandhaltung (alle Arbeitsbereiche)		⁴⁾	Tätigkeit		
Andere Arbeitsbereiche	ab 2010	n. b.	Schicht	2010 bis 2019	1

1) Ab 1992 wurden verstärkt BaP-freie Feuerfestmaterialien oder Produkte mit reduziertem BaP-Gehalt eingesetzt. Die Expositionshöhe von $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist ausschließlich bei der Verarbeitung BaP-reicher Feuerfestmaterialien anzuwenden.

2) Ab 2010 liegen nur wenige Messwerte zwischen $0,04$ und $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vor. Nach Möglichkeit sollten betriebliche Messungen herangezogen werden.

3) Ab 2010 liegen nur wenige Messwerte unterhalb der BG vor. Nach Möglichkeit sollten betriebliche Messungen herangezogen werden.

4) Arbeitsplatzkonzentration entsprechend den Belastungen im jeweiligen Arbeitsbereich

7.6.2 Aluminium-Hütten

Das aus dem Mineral Bauxit gewonnene Aluminiumoxid (Tonerde) wird durch Schmelzflusselektrolyse nach dem Kryolith-Tonerde-Verfahren zu metallischem Aluminium reduziert. Dazu versetzt man das Aluminiumoxid mit Schmelzpunkt senkenden Hilfsmitteln (z. B. Kryolith) und schmilzt es in einer Wanne auf, die als Kathode im Elektrolyseprozess dient. Hier entsteht im unteren Teil das flüssige Aluminium, das regelmäßig abgesaugt wird. Von oben in die Wanne taucht die Anode aus Kohlenstoff, die mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoffmonoxid reagiert, also abbrennt. Ein ständiger Ersatz des Anodenmaterials ist daher notwendig.

Heute verwendet man in Deutschland als Anode ausschließlich vorgebrannte Formkörper aus Grafit. Ihre Herstellung erfolgt meist, getrennt von den Elektrolyseöfen, in eigenen Fabrikationsanlagen (siehe Abschnitt 7.3.3, Expositionsdaten Tabelle 35a). Im diskontinuierlichen Betrieb (Ofen mit Wechselanoden) werden bei laufendem Prozess die an der anodischen Stromschiene verschraubten Anodenreste entnommen und durch neue, vorgebrannte Blöcke ersetzt. In diese wird in der Anodenschlagerei eine gabelartige Haltestange („Geweih“) mit Gußeisen vergossen, die als Stromanschluß dient. Teilweise wurde anschließend zum Schutz der Anschlüsse ein ringförmiger Aluminiumblechstreifen („Kragen“) aufgelegt und mit einer kohlenstoffhaltigen Stampfmasse befüllt, die auf dem erstarrenden Gusseisen verkockt.

Der kontinuierliche Betrieb mit vorgebrannten Elektroden erfolgte im sogenannten Erftwerkofer (VAW-Werke) maximal bis 2005. Die kontinuierlichen Anoden hatten ihre Stromzufuhr (Nippel) an der Seite und konnten während des laufenden Prozesses von oben mit einem Kran neu aufgesetzt werden. Um ein Abbrennen an den Seiten zu verhindern, füllte man die Zwischenräume zwischen den Elektroden mit Oxid. Diese Tätigkeit wurde „Gassenstopfen“ genannt. Die Beschäftigten mussten dabei auf den neu eingesetzten Anodenblöcken ca. 2 m oberhalb der Schmelzwanne arbeiten und waren somit hohen Temperaturen sowie den Gasen und Stäuben der Öfen ausgesetzt. In den letzten Jahren trugen sie bei diesem ca. zehn Minuten dauernden Vorgang geeigneten Atemschutz.

Söderbergöfen

In der Vergangenheit wurden in Deutschland bis ca. 1989 auch selbstbrennende (selbstbackende) Elektroden

(Söderbergelektroden) eingesetzt. Das Verfahren beruht darauf, dass ein Eisenblechmantel (einzelne Rahmen) von oben kontinuierlich mit der grünen Söderbergmasse befüllt wird. Diese erweicht durch die Temperatur im Schmelzbad und verbackt in den tieferen Zonen durch Verkockung.

Die Söderbergmasse bestand aus Petrol- oder Pechkoks, später auch aus ascheärmer geglähter Anthrazitkohle, die mit Pech oder Teer als Bindemittel angemischt wurde. Die so erhaltene „grüne“ Masse enthielt auch einen bestimmten Prozentsatz Mittelöle, Schweröle und Anthracenöle zur Moderierung der Entgasung. Der Bindemittelanteil in der Söderbergmasse betrug etwa 25 bis 30 %. Im Steinkohlenteerpech sind hohe Mengen PAK zu finden. Teeröle und Pech enthalten auch in unterschiedlicher Konzentration aromatische Amine. Durch die Selbstverbrennung der Söderbergelektrode entstanden daher nicht nur Kohlenstoffdioxid und -monoxid, sondern es entwichen auch beträchtliche Mengen von flüchtigen Teerbestandteilen.

Das Mischen der Söderbergmassen geschah meist in Nebenbetrieben (Elektrodenmassefabrik, Söderberganlage). Der Massefahrer brachte die Zubereitung kontinuierlich über die Schicht in die Ofenhalle. Dort wurde diese mithilfe eines Krans über den Anodenschächten der Öfen positioniert und die Bodenklappen zum Entleeren geöffnet. Die Ofenarbeiter oder Ofenmänner kontrollierten den geregelten Ablauf des Elektrolyseprozesses. Brannte eine Anode unregelmäßig ab und tauchte nicht mehr gleichmäßig in den flüssigen Elektrolyten ein (Spitzenbildung), musste die Türe des Ofens (Absaugung) geöffnet und die Anode hochgezogen werden. Der Ofenarbeiter hatte dann die schwierige Aufgabe, die Spitze abzuschlagen und mit Haken aus dem Ofen zu ziehen. Auch das Umhängen der Stromzuführungen (Laschen) führten die Ofenmänner bei geöffneter Ofentür durch. Am dichtesten an bzw. im Ofen mussten die Verbauer arbeiten. Der untere Rahmen des Anodenschachtes (Eisenblechmantel) konnte nur durch Betreten des Ofenraums entfernt und oben wieder montiert werden. Eine weitere Tätigkeit im Ofenraum war die des Nippelziehers. Er musste die in die verbackene Elektrode eingebrachten Stromzuführungen vor der Entfernung des unteren Rahmens mit einer Maschine entfernen. Bis in die 1970er-Jahre wurden die Tätigkeiten des Nippelziehens und des Verbauens von ein und derselben Arbeitsgruppe vorgenommen. Expositionsdaten für Tätigkeiten an Söderbergöfen zeigt **Tabelle 35 b**.

Tabelle 35a:

Metallerzeugung – Aluminiumhütten: Aluminiumgewinnung durch Elektrolyse mit gebrannten Formkörpern (Einsatz von vorgebrannten Kohleelektroden als Wechselanoden oder als kontinuierlich abbrennende Anoden in Erftwerköfen)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrolyse mit gebrannten Fremdkörpern	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Anodenanschlagerei					
Gießler (Gießen, Kragen befüllen)	¹⁾	10	Tätigkeit	1987	3
Elektrolyseofenbetrieb					
Kran, Kontrolle, Überwachung	bis 1983	0,5	Tätigkeit	1966 bis 1979	3
	ab 1984	n. b.	Tätigkeit	1984	3
Anfahren des Ofens, Metallsaugen, Nippelumsetzen und -ziehen	ab 2001 ²⁾	0,2	Schicht	2001 bis 2004	2
Gassenstopfen (während des Ofenbetriebs) ³⁾	bis 2005	49	Tätigkeit	1998 bis 2000	3
Reparaturbetrieb					
Herstellen von Kathodenmasse, Knetmaschine	bis 1984	8,9	Tätigkeit	1984	3
	ab 1984	0,7	Tätigkeit	1984 bis 2000	3
Kathodenmasse einstampfen	ab 1984	0,8	Tätigkeit	1984 bis 2002	2

1) Expositionsdaten sind nur anzuwenden bei Wechselanoden, bei denen ein Krage gesetzt und befüllt wurde. Dies erfolgte vor allem bis Anfang der 1990er-Jahre.

2) Laut BIA-Report 8/83 [91] kann der Wert auch für das Anodensetzen, Anfahren des Ofens und Metallziehen vor 2001 verwendet werden. Für das Nippelumsetzen/-ziehen bei Erftwerköfen liegen vor 2001 keine Expositionsdaten vor. Die Expositionsdaten aus Tabelle 35b sind auf diesen Arbeitsbereich nicht übertragbar!

3) Tätigkeit ausschließlich bei kontinuierlichem Betrieb an Erftwerköfen

Tabelle 35b:

Metallerzeugung – Aluminiumhütten: Aluminiumgewinnung durch Elektrolyse mit Söderbergelektroden (als Anoden werden kontinuierlich abbrennende, selbstbackende Elektroden aus nicht vorgebranntem Material eingesetzt)

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Elektrolyse mit Söderbergelektroden	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Ofenmann (Kontrolle, Beseitigung von Störungen, Krustenbrechen)	bis 1989	13	Tätigkeit	1987 bis 1989	2
Nippelzieher (Kontaktbolzen an Anode mit Maschine ziehen)	bis 1979	85	Tätigkeit	1978	3
	bis 1989	35	Tätigkeit	1987	3
Verbaukolonne	bis 1989	106	Tätigkeit	1987	3
Oxidfahrer (Anlieferung, Befüllen der Öfen mit Oxid)	bis 1989	2,0	Tätigkeit	1988	3
Massefahrer (Anlieferung, Befüllen der Anode)	bis 1989	5,2	Tätigkeit	1987 bis 1988	3

7.6.3 Gießereien

In Gießereien werden bei der Verwendung organischer Bindemittel durch Pyrolyse PAK freigesetzt. Auch im Kokillenguss können aus Sandkernen oder den verwendeten Trennmitteln PAK entstehen. Bei vollschichtigem Aufenthalt in Gießereihallen ist von einer vollschichtigen BaP-Exposition auszugehen. Die Expositionshöhe ist abhängig von der konkreten Tätigkeit (Tabelle 36). Bei Tätigkeiten in wechselnden Arbeitsbereichen (z. B. Instandhalter, Staplerfahrer) sind die Expositionsdaten für alle Arbeitsbereiche für die Zeitdauer zu verwenden, in der der Aufenthalt in den Gießereihallen erfolgt.

Wenn Arbeitsbereiche vollständig aus dem Gieß- und Schmelzbereich ausgegliedert sind (z. B. Kernmacherei oder Putzerei in separaten Gebäuden) ist zu prüfen, ob dort die Möglichkeit der Bildung oder Freisetzung von PAK besteht. In der Kernmacherei kann es bei der Anwendung von Hot-Box-Verfahren zu pyrolytischen Prozessen kommen, jedoch nicht bei Cold-Box-Verfahren. In der Putzerei ist beispielsweise beim Entkernen von einer BaP-Exposi-

tion auszugehen, bei Schleifarbeiten an bereits entsandeten Teilen dagegen nicht.

In Tabelle 36 sind die Expositionsdaten für Gießereien zusammengestellt. Die Werte für den Kokillenguss ohne Sandkerne sind im Sandformen-/Kokillenguss mit enthalten, da die BaP-Konzentrationen in vergleichbarer Größenordnung lagen. Quelle für die PAK-Freisetzung sind bei diesen Verfahren nicht die organischen Bindemittel in den Formsanden, sondern Formentrennmittel auf der Basis von Kohlenwasserstoffgemischen. Zu Tätigkeiten an Druckgussmaschinen liegen nur wenige personengetragene Messungen vor, alle Werte unterhalb der BG (Datenzeitraum 1990 bis 2019). Die Auswertung von stationären Messungen im Datenzeitraum 1981 bis 1999 ergab 0,07 µg/m³ (90. Perzentil). Beim Feinguss ist in der Regel nicht von einer BaP-Exposition auszugehen.

Das Stranggießen im Bereich der Eisen- und Stahlerzeugung (siehe Abschnitt 7.6.1) ist in Tabelle 34b enthalten.

Tabelle 36:

Gießereien: Sandformen- und Kokillenguss

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Sandformen- und Kokillenguss	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Verschiedene Arbeitsbereiche ¹⁾	bis 1972	1,0	Schicht		3
Alle Arbeitsbereiche ¹⁾	1973 bis 1995	0,4	Schicht	1973 bis 1995	1
	1996 bis 2000	0,2	Schicht	1996 bis 2000	1
	2001 bis 2009	0,1	Schicht	2001 bis 2009	1
	ab 2010	n. b.		2010 bis 2019	
Kernmacher Manuelle/maschinelle Kernherstellung, Montage, Trocknen	bis 1984	²⁾			
	1985 bis 1996	0,4	Schicht	1985 bis 1996	1
	ab 1997	n. b.	Schicht	1997 bis 2019	2
Former Handformen, Formmaschinen, Mischen, Kerneinlegen	bis 1982	1,5	Schicht		3
	1983 bis 1990	0,3	Schicht	1983 bis 1990	1
	1991 bis 2000	0,2	Schicht	1991 bis 2000	1
	ab 2001	n. b.	Schicht	2001 bis 2019	1
Schmelzer Bedienen/Überwachen der Öfen (verschiedene Typen), Abstich, Gichtbühne	bis 1982	1,5	Schicht		3
	1983 bis 1990	0,3	Schicht	1983 bis 1990	1
	1991 bis 2000	0,2	Schicht	1991 bis 2000	1
	2001 bis 2009	0,1	Schicht	2001 bis 2009	2
	ab 2010	0,08	Schicht	2010 bis 2019	1

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Sandformen- und Kokillenguss	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Gießen mit ton-/kunstharzgebundenen Formsanden sowie im Kokillenguss	bis 1972	4,5	Tätigkeit		3
	1973 bis 1982	1,5	Tätigkeit		3
	1983 bis 1990	0,5	Schicht	1983 bis 1990	1
	1991 bis 1995	0,2	Schicht	1991 bis 1995	1
	1996 bis 2006	0,1	Schicht	1996 bis 2006	1
	ab 2007	n. b.	Schicht	2010 bis 2019	1
Auspacken/Putzen Ausleeren mit und ohne Rüttelrost, Entsanden/Ausschlagen, Brenn-/Trennschneiden, Schleifen, Putzmaschine	bis 1972	3,5	Schicht		4
	1973 bis 1984	2,0	Schicht		4
	1985 bis 1994	0,5	Schicht	1986 bis 1994	1
	ab 1995	n.b.	Schicht	1995 bis 2019	1
Kranführer Transport der Kokillen und Gießpfannen, Überwachung Gießhalle	bis 1972	3,5	Schicht		4
	1973 bis 1985	2,0	Schicht		4
	1986 bis 2009	0,07	Schicht	1986 bis 2005	1
	ab 2010	²⁾			
Kranführer/Transport: andere Arbeitsbereiche		³⁾			

1) Diese Werte sind anzuwenden, wenn Tätigkeiten in häufig wechselnden Arbeitsbereichen erfolgten oder eine Zuordnung zu konkreten Arbeitsbereichen nicht möglich ist (z.B. Instandhaltung, Transport).

2) Keine Daten vorhanden, Werte von verschiedene bzw. alle Arbeitsbereiche verwenden

3) Arbeitsplatzkonzentration entsprechend den Belastungen im jeweiligen Arbeitsbereich

7.6.4 Walzen und Schmieden

Walzen, Schmieden und Pressen sind wichtige Fertigungsverfahren der Umformtechnik. Bei der Warmumformung wird das Material im Gegensatz zur Kaltumformung vor der Bearbeitung erwärmt. Dadurch können große Formänderungen bei relativ geringem Kraftaufwand erreicht werden. Die Warmumformung erfolgt vor allem beim Warmwalzen, Schmieden und Strangpressen [90].

Für Walzwerke wurden Ende der 1960er-Jahre BaP-Konzentrationen im Bereich von 1 bis $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben [91]. In der MEGA-Datenbank gibt es für Walzwerke, Rohr- und Profilwalzwerke nur wenige Messwerte aus personengetragenen Messungen, deren Konzentrationen meist unterhalb der BG liegen. Expositionen sind vor allem für Bereiche anzunehmen, in denen PAK-reiche Öle verwendet bzw. PAK durch Pyrolyse aus Ölen gebildet wurden (Tabelle 37).

Unter Einbeziehung von stationären Messungen im Datenzeitraum 1989 bis 2009 ergab sich für die BaP-Konzentration in Walzwerken, Rohr- und Profilwalzwerken ein Wert von $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (90. Perzentil). In Drahtwalzwerken wurden BaP-Konzentrationen oberhalb der BG bei Tätigkeiten im Bereich der Glühöfen registriert (siehe Tabelle 39). Das Kaltwalzen zählt zur Kaltumformung (siehe Abschnitt 7.7.1).

In Hammerwerken, die mit Gesenkschmieden vergleichbar sind, wurden Anfang der 1980er-Jahre BaP-Konzentrationen zwischen $< 0,05$ und $0,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefunden [91]. In diesen Arbeitsbereichen wurden $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ heiße Stahlblöcke mit einer Öl-Graphit-Emulsion bestrichen und anschließend geschlagen. Darüber hinaus wurde der Stahlkörper in regelmäßigen Abständen mit Sägemehl bestreut. Als Öl wurde größtenteils stark verschmutztes Altöl verwendet [91], welches PAK-haltig sein konnte (siehe Abschnitt 7.7.1). Expositionsdaten zum Schmieden sind Tabelle 37 zu entnehmen.

Tabelle 37:
Walzwerke, Schmieden

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Walzwerke, Schmieden	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Walzwerke					
Walzwerke allgemein, Rohrwalzwerke, Profilwalzwerke: verschiedene Arbeits- bereiche	ab 1989	n. b	Schicht	1989 bis 2019	2
Formpresse: Auftragen von Schmierstof- fen, Überwachen, Grobarbeiten	bis 1983	5,0	Tätigkeit		3
	1984 bis 1999 ¹⁾	1,0	Tätigkeit	1989 bis 1993	2
Schmieden					
Schmieden allgemein, Freiformschmie- de, Handschmiede, Schmiedepresswerk, Gesensschmiede: Schmieden, Pressen, Heiß-Pressen	bis 1999	0,43	Tätigkeit	1990 bis 1999	1
	2000 bis 2009	0,36	Tätigkeit	2000 bis 2009	1
	ab 2010	0,08	Tätigkeit	2010 bis 2019	1

1) Nach 1999 können für solche Tätigkeiten die Werte vom Heiß-Pressen (Schmieden) für die Expositionsabschätzung verwendet werden.

Literatur

- [86] *Oeters, F.*: Metallurgie der Stahlherstellung, Springer-Verlag, Berlin 1989
- [87] *Mayer, K. E.*: Was der Siemens-Martin-Stahlwerker von seiner Arbeit wissen muss. Stahleisen-Schriften, Heft 3. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1963
- [88] Technologie „Siemens-Martin-Verfahren“ in Brandenburg. Industriemuseum Brandenburg an der Havel, 2002
- [89] *Heinen, K.-H.* (Hrsg.): Elektrostahlerzeugung, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1997
- [90] *Ischer, B.; Singer, R. F.*: Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik. Springer-Verlag, Berlin 2002
- [91] *Blome, H.*: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) am Arbeitsplatz. BIA-Report 3/83, Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, St. Augustin 1983

7.7 Metallverarbeitung, Maschinen-/Fahrzeugbau, Feinmechanik

7.7.1 Tätigkeiten mit Ölen

Die breiteste Anwendung finden Öle in der Metallindustrie bei der spanabhebenden Metallbearbeitung, als Härte- oder Umformöle und als Schmierstoffe (z. B. Motoren-, Getriebeöle, Maschinenschmierfette). Auch in der Feinmechanik werden Öle für die Schmierung und Kühlung von Werkzeugen und Werkstoffen an Dreh- und Fräsmaschinen eingesetzt. Für die Belastung der Atemluft mit Gefahrstoffen aus kontaminierten Ölen spielen fast nur die Anwendungen eine Rolle, bei denen die Öle offen gehandhabt und stark verwirbelt oder hoch erhitzt werden, da nur hierbei eine nennenswerte Aerosol- oder Dampfbildung im Arbeitsbereich möglich ist.

Erdöl enthält BaP in der Größenordnung von etwa 1 mg/kg (je nach Lagerstätte 0,1 bis 3,6 mg/kg) [92]. Vor 1970 wurden die Grundöle häufig auf der Basis säurebehandelter Öle hergestellt, die auch aus der Steinkohleveredelung gewonnen wurden. Diese wiesen teilweise BaP-Konzentrationen in Größenordnungen von 30 bis 300 mg/kg (30 bis 300 ppm bzw. 0,003 bis 0,03 Gew.-%) auf [93]. Die nach 1970 verwendeten Öle (Lösemittelraffinate) enthielten nur noch sehr geringe BaP-Konzentrationen (PAK-Gehalt unterhalb von 1 ppm bzw. 1 mg/kg) [92].

Bei direktem Hautkontakt mit PAK-haltigen Ölen (vor 1970 oder thermisch belastete Öle, z. B. Walz- oder Härteöle) müssen die Art, Dauer und Häufigkeit der Einwirkungen sowie die betroffenen Hautareale beschrieben werden [94]. Bei Untersuchungen zur dermalen Penetration von BaP zeigte sich, dass diese maßgeblich vom Applikationsmedium abhängig ist. Die Aufnahme von BaP aus Öl war vergleichsweise gering (z. B. zehnmal niedriger als aus Aceton) [95] bzw. gar nicht nachweisbar [96]. Eine genauere Quantifizierung ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich.

Auch bei der Verwendung von Ölen als Motorschmiermittel in Ottomotoren kommt es zu einer Anreicherung von PAK (siehe Abschnitt 7.8.2). Expositionsdaten für den Einsatz von Ölen bei der Metallbearbeitung zeigt **Tabelle 38**, für die Ölbadhärtung **Tabelle 39**.

Kühlschmierstoffe (KSS)

PAK spielen als Inhaltsstoffe vor allem bei den nicht-wassermischbaren KSS eine Rolle. Für die Zeit vor 1970 liegen keine Daten für die inhalative Exposition vor. Ausgehend von einer geschätzten KSS-Aerosolkonzentration von 10 mg/m³ in der Luft und einem BaP-Gehalt von 0,003 bis 0,03 Gew.-% im Öl errechnet sich für diesen Zeitraum eine

inhalative BaP-Belastung von 0,3 bis 3,0 µg/m³ für Tätigkeiten mit nicht wassergemischten KSS.

In der IARC-Monographie [97] wird von einer französischen Studie berichtet, in der die Beschäftigten mit Schneidölen gearbeitet haben, die 0,6 bis 170 mg BaP/kg enthielten (Expositionen überwiegend vor 1970). Außerdem wurden im Rahmen dieser 1975 von *Thony* et al. veröffentlichten Studie je 15 neue und gebrauchte Schneidöle hinsichtlich ihrer BaP-Gehalte analysiert. Diese lagen bis 0,2 mg/kg bei den neuen und bis 0,3 mg/kg bei den gebrauchten Ölen [97; 98]. Laut einer 1993 veröffentlichten Untersuchung erhöhte sich der BaP-Gehalt eines neuen Schneidöls von 0,003 mg/kg nach 6 bis 9 monatigem Gebrauch auf 0,05 mg/kg [99]. Aus dieser Erhöhung des BaP-Gehaltes um 0,1 mg/kg oder weniger (max. 0,1 ppm bzw. 0,00001 Gew.-%) würde bei einer KSS-Aerosolkonzentration von 10 mg/m³ eine Erhöhung der BaP-Konzentration in der Luft um 0,001 µg/m³ resultieren. Damit führt auch die Verwendung gebrauchter KSS nicht zu einer messbaren Erhöhung der inhalativen BaP-Dosis.

Spindelöl

Im Merkblatt zur BK-Nr. 4113 wird in Tabelle I zu den Gefahrenquellen unter dem Stichwort Textilindustrie die Verwendung von PAK-haltigen Spindelölen genannt. Diese dienen ganz allgemein zur Schmierung der Spindellager. Sie sollen Spindeln vor Korrosion und Verschleiß schützen. Spindeln werden in vielen Bereichen eingesetzt, es handelt sich hierbei nicht um eine textilspezifische Anwendung. Motorspindeln finden sich beispielsweise auch in Bohr-, Schleif- und Fräsmaschinen. Zur Einschätzung der PAK-Belastung können die Angaben zu Ölen/Kühlschmierstoffen herangezogen werden.

Öleinsatz bei der Kaltumformung

Neben dem Walzen und Schmieden (siehe Abschnitt 7.6.4) gehören auch das Pressen und Biegen zu den Umformverfahren. Bei der Kaltumformung wird das Material vor der Bearbeitung nicht erwärmt [100]. Um die unmittelbare Berührung zwischen Werkzeug und Werkstück und damit eine Stoffübertragung vom Werkzeug auf das Werkstück (sogenannte Kaltschweißung) zu verhindern, werden Schmierstoffe verwendet. Diese sollen außerdem die Reibung zwischen den aufeinander gleitenden Flächen und die bei der Umformung entstehende Wärmemenge reduzieren [101].

Bei geringen und mittleren Schmieranforderungen eignen sich Kalk- oder Seifenlösungen als Schmiermittel. Bei hohen Anforderungen kommen beim Kaltumformen Mineralöle – sogenannte Pressöle – zum Einsatz [98]. Sie übernehmen neben der Schmierung auch eine Kühlfunktion. Vor allem beim Pressen mit hoher mechanischer

Umformenergie kann es zur Erwärmung und Freisetzung von Öldämpfen kommen, die zu einer inhalativen Belastung führen. Expositionsdaten für BaP finden sich in Tabelle 38. Diese lassen sich auch auf das Kaltwalzen übertragen.

In Warmwalzwerken, beim Schmieden und beim Strangpressen findet in der Regel eine Warmumformung statt (siehe Abschnitt 7.6.4). Beim Drahtziehen ist eine BaP-Exposition nur bei Tätigkeiten an den Glühöfen anzunehmen (Tabelle 39).

Härteöl

In Ölabschreckbädern zur Metallhärtung können sich durch die thermische Belastung unter extremen Bedingungen (z. B. häufiges Abschrecken großer glühender Werkstücke) gewisse Mengen an PAK bilden. Bei allen Arbeitsverfahren liegt die Konzentration von BaP in der Luft am Arbeitsplatz verfahrensbedingt so niedrig, dass sie nur zu einer relativ geringen inhalativen Exposition führt. Bis 1970 werden aufgrund der Verwendung PAK-reicher Grundöle höhere Expositionen unterstellt. Tabelle 39 zeigt die Expositionsdaten für das Härten und andere Verfahren zur Oberflächenveredelung.

7.7.2 Oberflächenbeschichtung, Schweißen und thermisches Schneiden

In Lacken und Farben für die Oberflächenbeschichtung sind in der Regel keine PAK enthalten. Eine Ausnahme bilden Beschichtungsstoffe, die auf der Basis von Steinkohlenteer hergestellt wurden und vor allem im Stahlwasserbau, Schiffbau und Säureschutzbau zum Einsatz kamen (siehe Abschnitt 7.1.5). Diese sind von schwarzen Industrie- und Kfz-Lacken, die als Farbpigmente häufig Ruß oder Eisenoxidschwarz enthielten, und von bitumenhaltigen Produkten zu unterscheiden.

Bei Unterbodenschutz oder Produkten für die Hohlraumkonservierung im Kfz-Gewerbe handelt es sich nicht um teerhaltige Beschichtungen (siehe Abschnitt 7.8.3).

Schweißen oder thermisches Schneiden von unbeschichteten Metallteilen führt nicht zu einer PAK-Freisetzung. Bei Schweiß- oder Schneidarbeiten an ölbehafteten Teilen ist bis maximal 1985 eine BaP-Exposition anzunehmen (siehe Tabelle 38). Bei Werkstücken mit Beschichtungen auf organischer Basis (z. B. Farben, Lacke, Primer) entstehen beim Überschweißen oder thermischen Schneiden in Abhängigkeit von den Beschichtungsstoffen verschiedene Zersetzungsprodukte. Das sind neben Gasen vor allem aliphatische Aldehyde, Alkohole und Carbonsäuren oder Benzolderivate [102]. PAK wurden ausschließlich bei teerhaltigen Beschichtungsstoffen nachgewiesen [103].

Das Schweißen beschichteter Teile ist aufgrund qualitativer Anforderungen an die Schweißnähte nicht üblich. Beschichtungen werden daher in der Regel vor dem Schweißen entfernt, sodass keine Expositionsdaten zum Überschweißen teerhaltiger Beschichtungen vorliegen. Expositionsdaten zum Trennen von teerbehafteten Teilen (Brennschneiden, Trennschneiden) sind in Tabelle 31 zu finden.

Ein weiteres thermisches Verfahren ist das Funken-erodieren. Dabei erfolgt ein Materialabtrag mithilfe von elektrischem Strom und einem nichtleitenden Medium, dem sogenannten Dielektrikum (meist Öl oder deionisiertes Wasser). Das Verfahren eignet sich besonders zur Bearbeitung von schwer zerspanbaren leitfähigen Werkstoffen – z. B. gehärteter Stahl, Titanlegierungen, Hartmetall – oder für die Fertigung von komplexen Formen bzw. Oberflächenstrukturen. Zu messbaren BaP-Belastungen kommt es dabei nicht (siehe Tabelle 38).

Tabelle 38:
Metallverarbeitung, Maschinen-/Fahrzeug-/Apparatebau, Feinmechanik

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Maschinen-/Fahrzeug-/Apparatebau, Feinmechanik	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Umformen					
Pressen: Kaltumformung bei Öleinsatz und hoher mechanischer Umformenergie	bis 1970	3,0	Schicht		4
	1971 bis 1980	0,5	Schicht	1971 bis 1980	1
	ab 1981	n. b.	Schicht	1996 bis 2019	1
Warmumformung	(siehe Tabelle 36 „Walzwerke, Schmieden“)				
Mechanische Trenn- und Bearbeitungsverfahren					
Fräsen, Drehen, Hobeln, Schleifen, Stanzen, unter Einsatz von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen (Öle)	bis 1970	3,0	Schicht		4
	1971 bis 1980	0,1	Schicht	1971 bis 1980	1
	ab 1981	n. b.	Schicht	1981 bis 2019	1
Fräsen, Drehen, Hobeln, Schleifen und Stanzen unter Einsatz wassergemischter Kühlschmierstoffe (KSS) (Wasser + Konzentrat = Emulsion)	bis 1970	0,1	Schicht		4
	ab 1971	n. b.	Schicht	1981 bis 2019	1
Schweißen und thermisches Schneiden					
Schweißen und thermisches Schneiden unbeschichteter Teile	unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1981 bis 2019	1
Schweißen ölbehafteter Bleche (unabhängig vom Verfahren)	bis 1970	3,0	Tätigkeit		4
	1971 bis 1985	0,5	Tätigkeit		4
	ab 1986	n. b.	Schicht	1986 bis 2019	1
Brenn- und Trennschneiden teerbehafteter Teile	(siehe Tabelle 31 „Recycling“)				
Schweißen von Schienenstößen	(siehe Tabelle 22 „Gleisbau“)				
Weitere thermische Verfahren					
Funkenerodieren	unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1981 bis 2019	1
Laserstrahlschneiden: Oberflächenbearbeitung und Schneiden metallischer Werkstoffe mittels Laserstrahl	unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	2010 bis 2019	1
Oberflächenbeschichtung					
Farbspritzen und andere Beschichtungsverfahren (keine teerhaltigen Produkte)	unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1981 bis 2019	1
Spritzauftrag von teerhaltigen ¹⁾ Produkten	(siehe Tabelle 15 „Korrosionsschutz“)				
Tauchverfahren: Tauchen von Teilen in flüssige teerhaltige ¹⁾ Massen bei 50 bis 60 °C	bis 1995 ¹⁾	2,0	Tätigkeit	1981 bis 1995	2

1) Laut § 35 der GefStoffV von 1993 (laut Teerölverordnung bereits früher) waren Produkte als krebserzeugend anzusehen, wenn der Massengehalt $\geq 0,005\%$ (= 50 mg/kg) BaP beträgt. Deshalb wurden spätestens ab Mitte der 90er-Jahre verstärkt Produkte auf der Basis von Bitumen, Kunstharzen oder BaP-reduzierten Steinkohlenteeren eingesetzt.

Tabelle 39:

Metallverarbeitung – Oberflächenveredelung, Härtung und Glühen

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Oberflächenveredelung, Härtung und Glühen	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Härtung					
Härteöfen: Beschicken/Entladen der Öfen (große Distanz zum Abschreckbad)	unbegrenzt	n. b.	Tätigkeit	1986 bis 1995	1
Härteöfen: im Bereich des Ölabschreckbads	bis 1970	3,0	Tätigkeit		4
	1971 bis 1995	0,5	Tätigkeit		4
Härterei allgemein, Härteöfen, Beschicken/Entladen, Ölabschreckbad, Induktionshärteanlage	bis 1995	0,2	Schicht	1983 bis 1995	1
	ab 1996	0,08	Schicht	1996 bis 2019	1
Oberflächenveredelung, Glühen					
Glühen, Vergüten, Anlassen	bis 2009	0,5	Tätigkeit	1983 bis 2009	1
	ab 2010	0,08	Tätigkeit	2010 bis 2019	1

Literatur

- (Lubricant Base Oils and Derived Products) and Some Nitroarenes (1984)
- [92] *Grimmer, G.; Jacob, J.; Naujack, K.-W.*: Profile of the Polycyclic Aromatic Compounds from Crude Oils. Part 3. Inventory by GCGC/MS. – PAH in Environmental Materials. *Fresenius Z Anal Chem* (1983) 314, p. 29-36
- [93] *Stork, J.; Heger, M.; Nöring, R.; Thamm, H.*: Inhalative Belastung durch Kühlschmierstoffaerosole – arbeitsmedizinische Aspekte, *Zbl. Arbeitsmed.* 45 (1995), S. 228-236
- [94] DGVU Handlungsempfehlung "Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren". Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2019
- [95] *Ingram, A. J.; Phillips, J. C.*: The dermal bioavailability of radiolabelled benzo[a]pyrene from acetone or from oil of differing viscosity, assessed by DNA and protein binding. *Journal of applied toxicology* 13(1) (1993), p. 25-32
- [96] *Sartorelli, P.; Cenni, A.; Matteucci, G.; Montomoli, L.; Novelli, T. M.; Palmi, S.*: Dermal exposure assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons: in vitro percutaneous penetration from lubricating oil. *Int Arch Occup Environ Health* (1999) 72, p. 528-532
- [97] IARC Monographs Volume 33: Polynuclear Aromatic Compounds, Part 2: Carbon Blacks, Mineral Oils
- [98] *Fay, H. T.*: Risk factors in scrotal epithelioma, *Journal of the Royal Society of Medicine* 71 (1978), p. 741-747
- [99] *Apostoli, P.; Crippa, M.; Fracasso, M. E.; Cottica, D.; Alessio, L.*: Increases in polycyclic aromatic hydrocarbon content and mutagenicity in a cutting fluid as a consequence of its use, *Int Arch Occup Environ Health* (1993) 64, p. 473-477
- [100] *Ilischer, B.; Singer, R. F.*: Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 3. Auflage (2002)
- [101] *Dietrich J.*: Reibung und Schmierung beim Umformen. In: *Praxis der Umformtechnik*. Springer Vieweg, Wiesbaden (2018), S. 20-22
- [102] *Engström, B.; Henriks-Eckerman, M.-L.; Ånäs, E.*: Exposure to paint degradation products when welding, flame cutting, or straightening painted steel. *American Industrial Hygiene Association Journal* 51 (1990) Issue 10
- [103] *Spiegel-Ciobanu, V. E.*: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Expositionen, Gefährdungen und Schutzmaßnahmenkonzept. *Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 149*, DVS-Media-GmbH, Düsseldorf 2020

7.8 Transport und Kfz-Instandhaltung

7.8.1 Dieselmotoremissionen

Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, in denen Dieselmotoremissionen (DME) freigesetzt werden, sind nach TRGS 906 und EU-Richtlinie 2019/130 krebserzeugend [104]. Für die Lungenkrebs auslösende Wirkung von DME wird der partikelförmige Rußkern verantwortlich gemacht. Daran haften auch PAK, die allerdings aufgrund ihres geringen Anteils nicht ursächlich für die krebserzeugende Wirkung der DME sind [105; 106].

In der Literatur wurden für Arbeitsbereiche mit DME Ende der 1980er-Jahre allgemein BaP-Konzentrationen im Bereich von 0,001 bis 0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben [107]. Bei Wartungsarbeiten an Dieselfahrzeugen wurden bis zu 0,025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP gemessen (bei zeitweise laufenden Motoren), bei Staplerverkehr in geschlossenen Räumen bis zu 0,027 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und an Lkw-Kontrollstellen bei hohem Verkehrsaufkommen (100 Lkw in 0,37 h) kurzzeitig bis zu 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ BaP [108]. Bei der Lkw-Instandsetzung wurden Ende der 1990er- bzw. Anfang der 2000er-Jahre PAK-Konzentrationen zwischen 0,005 und 0,045 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in zwei Einzelfällen 0,09 bzw. 0,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt [109]. Im Durchschnitt der 25 Messungen ergaben sich 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90. Perzentil lag bei 0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PAK. Der in PAK-Gemischen enthaltene BaP-Anteil variiert und liegt unter 10 % [110]. Insofern sind für Lkw-Reparaturwerkstätten aufgrund von DME Luftkonzentrationen von weniger als 0,004 μg BaP/ m^3 anzunehmen. In Pkw-Werkstätten war der Anteil an Dieselfahrzeugen vor allem in den 1970er- und 1980er-Jahren gering. In den letzten Jahren ist etwa von einem Drittel der Fahrzeuge auszugehen. Insofern sind hier niedrigere Werte als bei der Lkw-Reparatur zu erwarten.

Messungen von PAK im Messprogramm 9178 „Abgase von Dieselmotoren“ des MGU weisen auf keine relevanten Konzentrationen an BaP im Abgas von Dieselmotoren hin. Im Datenzeitraum 2014 bis 2017 wurden von den UVT 126 Arbeitsplatzmessungen zu PAK durchgeführt. Alle Messwerte für BaP – 121 Proben aus 46 Betrieben – lagen unterhalb der BG der angewandten Probenahme- und Analyseverfahren. In den meisten Fällen kam das Messverfahren zur Überwachung der Akzeptanzkonzentration von BaP zum Einsatz, bei dem die BG 0,0034 μg BaP/ m^3 beträgt (Probenahmevolumen 1,2 m^3) [111; 112].

BaP ist ubiquitär in der Umwelt zu finden. Die mittleren Konzentrationen betragen bis in die 1990er-Jahre 0,001 bis 0,04 μg BaP/ m^3 [113] (siehe auch Anhang 2). Damit liegt die BaP-Belastung durch die berufliche Einwirkung

von DME im Bereich der allgemeinen Umweltbelastung [105]. Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte DME ausgesetzt sind, leisten keinen relevanten Beitrag im Hinblick auf die Ermittlung der kumulativen BaP-Dosis. Eine Berechnung der BaP-Jahre kann entfallen.

7.8.2 Tätigkeiten mit gebrauchten Motorölen

Da Grundöle ab 1970 keine nennenswerten BaP-Anteile mehr enthielten (siehe Abschnitt 7.7.1), sind Tätigkeiten mit ungebrauchten Motorölen ab dieser Zeit nicht mit einer BaP-Exposition verbunden.

Bei der Verwendung von Ölen als Schmiermittel in Ottomotoren kommt es zu einer Anreicherung von PAK [114; 115]. Um 1980 lagen die BaP-Konzentrationen von gebrauchten Motorölen aus Fahrzeugen mit Ottomotoren im Durchschnitt bei etwa 20 mg/kg [115; 116]. Bei fünf Fahrzeugen mit Ottomotoren (Taxen, viele Kaltstarts) wurden etwas höhere Werte zwischen 52 und 71 mg/kg gemessen. Bei Konzentrationen von 220 bis 240 mg/kg BaP (240 ppm bzw. 0,024 %) handelt es sich lediglich um extrem hohe Einzelwerte [115; 116], die nicht allgemein übertragbar sind. Altöle von Lkw und Bussen (Dieselmotoren) enthielten keine nennenswerten BaP-Anteile [115].

Von einer BaP-Exposition durch Hautkontakt zu gebrauchten Motorölen ist vor allem in Pkw-Werkstätten bis Mitte der 1980er-Jahre auszugehen, da der überwiegende PAK-Anteil aus PAK-reichen Ottokraftstoffen stammte [114], die später nicht mehr auf dem Markt waren. Ende der 1980er-Jahre lagen die BaP-Konzentrationen im Altöl bereits um Zehnerpotenzen niedriger [116].

Motoröl wird über einen Trichter in eine Auffangwanne oder ein Altölfass abgelassen. In der Regel ist lediglich beim Öffnen der Motorölablassschraube eine kurzzeitige Verschmutzung der Hand mit Altöl zu erwarten, das erfahrungsgemäß sofort wieder abgewischt wird. Die Dauer, Häufigkeit und Hautfläche der dermalen Einwirkung sind zu beschreiben. Eine Berechnung der kumulativen BaP-Dosis kann dafür nicht vorgenommen werden (siehe Abschnitt 5.2).

Der normale Umgang mit gebrauchten Motorölen im Rahmen von Kfz-Wartungsarbeiten führt nicht zu einer Kontamination der Atemluft. Gelegentlich werden inhalative Belastungen durch das Aufspritzen von Altöl als Unterbodenschutz (siehe Abschnitt 7.8.3) oder bei Reinigungsarbeiten mit Druckluft beschrieben. Werden bei üblichen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten verschmutzte und ölige Teile mit Druckluft abgeblasen, handelt es sich dabei überwiegend um Staub sowie Öle und Fette, die der Schmierung von Fahrzeugteilen dienen. Diese Öle

waren nicht PAK-haltig, sodass hierbei nicht von einer BaP-Exposition auszugehen ist. Auch in gebrauchten Kfz-Getriebe- und Hydraulikölen kam es nicht zu einer PAK-Anreicherung.

7.8.3 Verarbeitung von Unterbodenschutz

Bei Unterbodenschutz handelt es sich nicht um Teerbeschichtungen. Es wurden in der Regel Produkte auf der Basis von Bitumen (kein Carbobitumen), Wachs oder Kunststoffen verwendet. Beispielsweise enthielt Teroson-Unterbodenschutz laut Herstellerangabe in den 1960er-Jahren bis Anfang der 1990er-Jahre in der Regel Bitumen [117]. Die BaP-Exposition bei der Kaltverarbeitung bitumenhaltiger Produkte ist vernachlässigbar gering ($< 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (siehe Abschnitt 7.1.2).

Auch in der ehemaligen DDR wurden für den Unterbodenschutz oder die Hohlraumkonservierung keine teerhaltigen Produkte verwendet. Meist kamen Ubotex (enthielt Fettpech, Rückstände aus der Destillation von Fettsäuren, kein kohlestämmiges Pech) und Elaskon (Mischung aus Wachs, Propanharz und Paraffin oder Nadelbaumharz) zum Einsatz. Ubotit enthielt Bitumen (28 %, B 40), andere schwarze Produkte waren in der Regel mit Eisenoxid-schwarz, Ruß oder Graphit eingefärbt [118 bis 121].

Die Verwendung von Altöl als Unterbodenschutz war in den 1970er-Jahren bereits nicht mehr erlaubt. Mit dem Inkrafttreten des Altölggesetzes in 1969 mussten Altöle gesammelt und einer unschädlichen Beseitigung bzw. Wiederaufbereitung zugeführt werden. Über ihren Verbleib war durch die Unternehmen ein Nachweisbuch zu führen [116; 122]. Trotzdem wurde in der Vergangenheit z. B. bei Landmaschinen oder im privaten Bereich gelegentlich Altöl auf den Unterboden gespritzt. Es wurde empfohlen, anschließend über einen trockenen Feldweg oder Acker zu fahren, damit sich der Staub mit dem Öl zu einer haltbareren Schutzschicht verbindet. Insofern war diese Art des Unterbodenschutzes nicht allgemeiner Standard in Kfz-Werkstätten, schon gar nicht bei der offiziellen Pkw-Instandsetzung für Kunden.

Beim Spritzauftrag von Ölen kommt es zur Aerosolbildung. Eine inhalative BaP-Einwirkung ist dabei nur dann anzunehmen, wenn PAK-haltige Öle verwendet wurden (siehe Abschnitt 7.7.1). In Reparaturwerkstätten für Lkw, Busse oder Nutzfahrzeuge mit Dieselmotoren war dies ab den 1970er-Jahren nicht mehr der Fall. Bei gesammelten Altölen in Kfz-Werkstätten handelte es sich in der Regel

um eine Mischung aus Motor-, Getriebe- und Hydraulikölen, so dass in der Pkw-Instandsetzung in den 1970er- und 1980er-Jahren von einem geringeren PAK-Gehalt als in reinen gebrauchten Motorölen (Abschnitt 7.8.2) auszugehen ist. Messwerte oder Informationen zur Höhe der beim Spritzen von PAK-haltigen Ölen auftretenden BaP-Konzentrationen liegen nicht vor. Die BaP-Belastung ist auf jeden Fall deutlich niedriger als beim Spritzauftrag teerhaltiger Produkte einzuschätzen, da letztere im Vergleich zu Altöl um zwei bis drei Zehnerpotenzen höhere BaP-Konzentrationen enthalten [123].

„Stockholmer Teerspray“ ist ein Schmier- und Konservierungsmittel auf der Basis von Nadelbaumharz. Es enthält Dimethylether, Ethanol und Isopropanol, aber kein Steinkohlenteer [124].

7.8.4 Transport, Umschlag von Strangpech im Binnen- und Seehafen, Seeschifffahrt

Bisher lagen keine Daten für den Betrieb von Dampflokomotiven vor. Während einer fahrplanmäßigen zweistündigen Fahrt einer Schmalspurbahn wurden daher Messungen zur Ermittlung der Exposition gegenüber BaP und weiteren PAK auf dem Führerstand einer steinkohlefeuerten Dampflokomotive durchgeführt. Die Messungen erfolgten personengetragen (Lokführer und Heizer) sowie stationär (über der Feuerbüchse). Es konnten weder BaP noch andere PAK nachgewiesen werden.

Strangpech (Elektrodenbinder) wurde als Schüttgut (in loser Form) in abgedeckten Eisenbahnwaggons zum Binnenhafen gebracht und dort mithilfe eines mit Greifschaufeln ausgestatteten Portal Drehkrans in Motorschiffe oder Schubleichter verladen. Die Kabine des Kranfahrers besaß keine maschinelle Belüftung und befand sich ca. 10 m oberhalb des Erdbodens. Zu den Seehäfen gelangte das Produkt ebenfalls in Eisenbahnwaggons oder – weit häufiger – mit Binnenschiffen. Im Seehafen erfolgte entweder ein direkter Umschlag vom Binnen- auf das Seeschiff (Bord-Bord-Umschlag) oder das Produkt wurde auf Leichtern bzw. Halden zwischengelagert. Außerdem wurde Strangpech auch in Großsäcke, sogenannte Big Bags, abgefüllt. Der Hafenarbeiter reinigte von Hand den Bereich um die Eisenbahnwaggons und die Zone zwischen dem Gleis und dem Schiff. Er führte keine Arbeiten auf dem Wasserfahrzeug durch. **Tabelle 40** zeigt Expositionsdaten zum Transport, zum Umschlag von Strangpech im Binnen- und Seehafen sowie zur Seeschifffahrt.

Tabelle 40

Transport und Umschlag von Strangpech im Binnen- und Seehafen, Seeschifffahrt

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Transport und Umschlag von Strangpech	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Betrieb von Dampflokomotiven					
Lokführer	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	2010	3
Heizer	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	2010	3
Führerhaus	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	2010	3
Umschlag von Strangpech im Seehafen					
Konzentration im Bereich ruhender Halden bei Lagerung im Freien ohne Umschlagfähigkeit¹⁾:					
Aufenthalt auf Verkehrswegen zwischen Halden im Lee der Halden	1968 bis 1992	0,5	Schicht	1984 bis 1989	3
Aufenthalt im Lee geräumter Halden in deren unmittelbarer Nähe	1968 bis 1992	0,5	Schicht	1984 bis 1989	3
Laden und Löschen von Strangpech auf bzw. von Schiffen mit Portalbrückenkränen mit Kragarmausleger und Greifer:					
Signalmann (früher: Wahrschauer) an Bord eines Seeschiffes bei der Beladung	1968 bis 1992	40	Tätigkeit	1984 bis 1989	3
Radladerfahrer in Kabine beim Zufahren und Zusammenfahren von Strangpech zum Greifer an Land	1968 bis 1992	25	Tätigkeit	1984 bis 1989	3
Trimmer (Rester, Schaufelmann) beim Zusammenschaufeln von Resten von Strangpech im Laderaum von Binnenschiffen	1968 bis 1992	61	Tätigkeit	1984 bis 1986	3
Kranführer in Kabine eines Brückenkrans beim Löschen aus einem Schiff und Verladen in einen Trichter (an Kranbrücke befestigt)	1968 bis 1992	10	Schicht	1984 bis 1989	3
Aufenthalt und Tätigkeiten im direkten Umschlagsbereich	1968 bis 1992	52	Schicht	1984 bis 1989	3
Aufenthalt im Lee von Schiffsbeladungen bzw. Schiffsentladungen von und auf Halden an der Kaianlage in Abständen von 30 bis 50 m von der Verladestelle	1991 bis 1992	0,9	Tätigkeit	1991 bis 1992	2

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Transport und Umschlag von Strangpech	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Abfüllen von Strangpech in Big Bags					
Umfüllen im Freien aus Schiffen mittels Krangreifer über Trichter an Kranbrücke in Bags, die von einem Gabelstapler unter den Trichterauslauf gehalten werden (ohne Absaugung):					
Person, die Big Bags verschließt/zubindet (Zubinder)	01.10.1981 bis 28.02.1988 ²⁾	76	Tätigkeit	1984 bis 1986	2
Staplerfahrer	01.10.1981 bis 28.02.1988 ²⁾	25	Tätigkeit	1984 bis 1986	2
Umfüllen im Freien aus Schiffen mittels Krangreifer über eine Siloanlage (Trichter mit Direktabsaugung) in Big Bags:					
Staplerfahrer	1991 bis 1992 ²⁾	0,6	Tätigkeit	1991 bis 1992	2
Zubinder	1991 bis 1992 ²⁾	0,4	Tätigkeit	1991 bis 1992	2
Verladen von Eisenbahnwaggons auf Binnenschiffe					
Kranführer	bis 2006	n. b.	Schicht	1997	2
Hafenarbeiter	bis 2006	2,5	Schicht	1997	2
Schiffsgangway (Landseite)	bis 2006	1,1	Tätigkeit	1997	2
Ladeluke während des Verladens	bis 2006	1,9	Tätigkeit	1997	2
Seeschifffahrt					
Reparatur-, Reinigungs- und Wartungsarbeiten	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	1994 bis 1997	1

1) Das Strangpech wurde in einem Seehafenbereich in Halden von etwa 20 bis 30 m Breite gelagert. Die Länge der Halden betrug von 30 bis 220 m. Die Halden waren etwa zu 50 % abgeplant.

2) Die entsprechenden Tätigkeiten und Expositionsdaten wurden bei einer Mitgliedsfirma ermittelt.

Literatur

- [104] Richtlinie (EU) 2019/130 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Januar 2019 zur Änderung der Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit
- [105] Begründung zu Dieselmotoremissionen (DME) in TRGS 900, Ausschuss für Gefahrstoffe, AGS-Geschäftsführung, Juli 2017
- [106] BIA-Handbuch 120 270: Dieselmotoremissionen: Sicherheitstechnische und arbeitshygienische Informationen, 18. Lieferung, VI/1992
- [107] *Blome, H.; Heidermanns, G.; Timmer, J.*: Beurteilung von Arbeitsbereichen bei Vorliegen von Dieselmotoremissionen. Staub – Reinhalt. Luft 50 (1990) Nr. 3, S. 93-97
- [108] *Lehmann, E.* et al.: Messung der beruflichen Exposition gegenüber Dieselabgas. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz – Gefährliche Arbeitsstoffe GA 33 (1989)
- [109] *Schaaf, A.; Kohl, A.*: Berücksichtigung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Bewertung von Dieselmotoremissionen, Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 6
- [110] *Greim, H.* (Hrsg): Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten (DFG), Loseblattsammlung, 45. Lieferung. Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 2008
- [111] *Assenmacher-Maiworm, A.; Hahn J.-U.; Heinrich, B.; Schuh, C.; Hebisch, R.; Hartwig, A.*: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), schwere flüchtige – Methode zur Bestimmung schwerer flüchtiger PAH in der Luft am Arbeitsplatz mittels Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) – Methode 2. In: *Greim, H.* (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd.1. Luftanalysen. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Weinheim 2017
- [112] *Koch, U.; Willer, E.; Radtke, R.*: MGU-Messprogramm 9178 „Abgase von Dieselmotoren“ am Arbeitsplatz. Teil 2: Ergebnisse, Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 80 (2020) Nr. 3
- [113] *Reichl, F.-X.*: Taschenatlas der Toxikologie; Substanzen, Wirkungen, Umwelt. Georg Thieme Verlag, 2002
- [114] *Behn, U.; Meyer, J.-P.; Grimmer, G.*: PAH-Kumulierung in Motorenschmieröl, PAH-Emission aus Ottomotoren, Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie 33 (1980) Nr. 3
- [115] *Grimmer, G.; Naujack, K.-W.; Dettbarn, G.; Brune, H.; Deutsch-Wenzel, R.; Misfeld, J.*: Untersuchungen über die carcinogene Wirkung von gebrauchtem Motorschmieröl aus Kraftfahrzeugen, Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie, Bd. 35, Heft 10, 1982
- [116] *Möller, U. J.*: Altölsorgung durch Verwertung und Beseitigung, expert verlag, 2004
- [117] Persönliche Information. Henkel Teroson GmbH 2000
- [118] TGL 39-771 (Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen, DDR Fachbereichsstandard): Temporärer Korrosionsschutz von Kraftfahrzeugen. Verlag für Standardisierung, Leipzig 1975/1981/1987
- [119] *Gießner, H.; Schneider, R.* (Autorenkollektiv): Produktkatalog Teil 3, Korrosionsschutzstoffe, Industriereiniger. Kammer der Technik, Karl-Marx-Stadt 1985
- [120] Datensammlung DDR-Produkte. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Berlin 2009
- [121] Rezepturkarteien der ehemaligen Arbeitshygieneinspektionen Leipzig und Magdeburg
- [122] Gesetz über Maßnahmen zur Sicherung der Altölbeseitigung (Altölgesetz), BGBl. I, Nr. 97 vom 23.12.1968, S. 1419-1422
- [123] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit Nr. 4113 (Bek. des BMA vom 5. Februar 1998 – IVa 4-45206-4110, Bundesarbeitsblatt 4/1998, S. 54 ff.)
- [124] MOTIP® Stockholmer Teerspray. Sicherheitsdatenblatt 2015

7.9 Glas- und Keramikindustrie

7.9.1 Optikglas

Für die Bearbeitung von bestimmten Linsenmaterialien in der optischen Industrie wurden – neben vielen anderen Produkten – auch pechhaltige Zubereitungen zum temporären Kitt (Optikkitt) oder Polieren von Linsen eingesetzt. Zum Einkitten der Linsen beim Schleifprozess wurden hauptsächlich verschiedene Holzpeche [125], aber auch Steinkohlenteerpech verwendet. Die BaP-Gehalte der in der optischen Industrie eingesetzten Peche lagen je nach Herkunft zwischen 1 µg/g (Holzpech) und 5 500 µg/g (Steinkohlenteerpech) [126]. Ein Buchenholzteerpech wies z. B. einen BaP-Gehalt von 4 µg/g auf. Die Untersuchung von Materialproben der BG ETEM im Jahr 1979 ergab vergleichbare Ergebnisse (siehe **Tabelle 41**).

Die Prozesse werden im BIA-Report 3/1983 [126] folgendermaßen beschrieben: „Zunächst wird das angelieferte Pech in kleine Barren gegossen. Beim Kittvorgang wird heißes Pech in Formen gegossen, die Linse in die Form gegeben und nach dem Erkalten des Peches geschliffen. Das Abschlagen des Peches erfolgt am Abkittplatz. Je nach Linsengröße und verwendetem Pech kommt es hierbei zu unterschiedlich starker Staubeentwicklung“.

Je nach Arbeitsbereich und eingesetztem Pech resultierten gemäß BIA-Report 3/1983 [126] sehr unterschiedliche Luftkonzentrationen für BaP (**Tabelle 42**). Im Vergleich zu **Tabelle 43** (Optikglas, Herstellung und Verarbeitung) zeigen sich insbesondere beim Abkitten erhebliche Unterschiede. Diese Unterschiede sind auf die Verwendung unterschiedlicher Pechsorten zurückzuführen, die allerdings nicht dokumentiert sind. Nur bei Verwendung von Steinkohlenteerpech können aufgrund des hohen BaP-Gehaltes auch hohe Atemwegsbelastungen resultieren. Luftkonzentrationen unterhalb der BG wurden dagegen bei der Verwendung von Holzteeren gemessen.

Aufgrund der Bandbreiten ergeben sich für die BK-Ermittlung im Einzelfall Schwierigkeiten. Grundsätzlich muss die Verwendung kohlestämmiger Produkte im Rahmen der Arbeitsanamnese mit der erforderlichen Wahrscheinlichkeit nachgewiesen werden. Aufgrund der sehr lange zurückliegenden Tätigkeiten kann oft nicht mehr zwischen

Steinkohlenteerpech mit sehr hoher Belastung und Holzpech mit niedriger Belastung differenziert werden. Für die Dosisermittlung bis Ende der 1980er-Jahre wird daher bei Fehlen konkreter Informationen ein pragmatischer Ansatz im Sinne des Versicherten gewählt, um den Umstand der Beweislosigkeit zu vermeiden. Als Expositionszeit werden 50 % der ermittelten Arbeitszeit mit direkter Pechverwendung (Schmelzen bzw. Pechkochen, Kitten oder Abkitten) angesetzt. Erfahrungsgemäß wurden diese Tätigkeiten nicht über die gesamte Schicht ausgeführt, sondern nur anteilig. Als Expositionshöhe wird die jeweilige Obergrenze des Schwankungsbereiches aus **Tabelle 42** herangezogen, 0,95 µg/m³ für Schmelzen, bzw. Pechkochen, 2,5 µg/m³ für Kitten und 20 µg/m³ für Abkitten.

In **Tabelle 43** sind die Expositionsdaten für Tätigkeiten im Bereich der Glasindustrie zusammengestellt.

Tabelle 41:
BaP-Gehalte in Pechen für die optische Industrie

Probe	BaP-Konzentrationen in µg/m ³
Steinkohlenteerpech Verkaufsgesellschaft für Teererzeugnisse, Essen	3 700
Nadelholzpech Nr. 8216 Fa. Tivoli AG, Hamburg	3,9
Nadelholzpech Nr. 8220 Fa. Tivoli AG, Hamburg	1,3
Gugolzpech Nr. 73 Fa. Gugolz AG, Winterthur/Schweiz	1,4

Tabelle 42:
Luftkonzentrationen für BaP bei der Verarbeitung von pechhaltigen Zubereitungen in der optischen Industrie

Arbeitsbereich	BaP-Konzentrationen in µg/m ³
Pechkocherei	0,115 bis 0,95
Kittplatz	< 0,05 bis 2,5
Abkittplatz	< 0,05 bis 19,7

Tabelle 43:
Glasindustrie

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Glasindustrie	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Hohlglas, Herstellung und Verarbeitung					
Formgebung und Vergütung: Presse, IS-Maschine; Ölen der heißen Formen mittels Quast (Schwabbeln)		n. b.	Schicht	ab 1986	1
Flachglas, Herstellung und Verarbeitung					
Pressen, Schmelzen, Schleifen		n. b.	Schicht	ab 1986	1
Optikglas, Herstellung und Verarbeitung					
Pressen, Schmelzen, Vergüten	1981 bis 1993	0,2	Schicht	1981 bis 1993	2
Kleben	1983 bis 1995	n. b.	Schicht	1983 bis 1995	2
Kittarbeiten	1982 bis 1983	2,2	Tätigkeit	1982 bis 1983	2
Abkittarbeiten	ab 1982	n. b.	Tätigkeit	1982	2

Literatur

[125] Brocksiepe, H.G.: Holzverkohlung in Ullmann Bd. 12,
1976, S. 703-708

[126] Blome, H.: Polyzyklische aromatische Kohlenwas-
serstoffe (PAH) am Arbeitsplatz, BIA-Report 3/83.
Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossen-
schaften, Sankt Augustin 1983

7.9.2 Keramikindustrie

Die Expositionsdaten für die Herstellung feuerfester Waren und von Korksteinplatten sind in **Tabelle 44** zusammengestellt.

Tabelle 44:
Keramikindustrie

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Keramikindustrie	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Feuerfeste Waren					
Aufbereitung, Zubereitung, Mischer: Automatische und ggf. manuelle Zugabe der Mischungskomponenten, Überwachen des Mischvorgangs					
– mit Absaugung	siehe Abschnitt 6.4	7,3	Tätigkeit	ab 1982	1
– ohne Absaugung	siehe Abschnitt 6.4	9,4	Tätigkeit	ab 1982	2
Presse: Verpressen von heißen teer-/pechhaltigen Massen zu Fertigprodukten, Absetzen der Fertigprodukte von Hand, Überwachen	siehe Abschnitt 6.4	2,5	Tätigkeit	ab 1982	1
Tränkanlage: Be- und Entladung der Tränkgestelle, Überwachen des Tränkvorgangs	siehe Abschnitt 6.4	6,0	Tätigkeit	ab 1982	1
Brand: Be- und Entladen der Ofenwagen, Fahren und Überwachen der Ofenanlage	siehe Abschnitt 6.4				
– mit Absaugung		2,6	Tätigkeit	ab 1982	1
– ohne Absaugung		5,1	Tätigkeit	ab 1982	1
Nachbearbeiten, Reinigen: Nachbearbeitung (Bohren, Sägen, Abdrehen, Absieben, Schleifen), Reinigen mittels Kratzwerkzeugen	siehe Abschnitt 6.4	5,5	Tätigkeit	ab 1982	1
Qualitätskontrolle, Verpacken: Kontrolle, Absetzen der Fertigprodukte auf Paletten	siehe Abschnitt 6.4	0,7	Tätigkeit	ab 1982	1
Steinkohlenteerpechhaltige Isoliermittel					
Korksteinplatten	bis 1965	7,0	Tätigkeit		4

7.10 Holz- und Papiergewerbe

7.10.1 Holzimprägnierung mit Steinkohlenteerölen

Steinkohlenteeröle (Kreosote) werden seit Mitte des 19. Jahrhunderts zur Holzimprägnierung eingesetzt, insbesondere für Hölzer mit ständigem Erd- oder Wasserkontakt wie Masten, Pfähle, Zäune und Bahnschwellen. Die üblichen Verfahren für die Holzimprägnierung waren bzw. sind die Trogränkung und die Druckimprägnierung in Kesseldruckanlagen.

Bei der Imprägnierung in offenen oder geschlossenen Trogränkanlagen werden die Hölzer in dem Imprägnieröl vollständig oder – z. B. bei Weinbaupfählen – nur teilweise eingetaucht. Häufig wird die Heiß-Kalt-Trogränkung verwendet, bei der die Pfähle zunächst in ein heißes Bad (z. B. 100 bis 120 °C) und anschließend ein kälteres Bad (z. B. 30 bis 40 °C) eingetaucht werden. Bei der höheren Temperatur wird Luft aus dem Holz verdrängt und im kälteren Bad das Teeröl verstärkt aufgenommen. Bei der Kesseldruckimprägnierung werden die zu imprägnierenden Hölzer auf Loren oder Wagen gestapelt und in den Imprägnierzylinder gefahren. Nach dem druckfesten Verschließen des Imprägnierzylinders erfolgt die Imprägnierung mit dem Teeröl. Hierbei werden verfahrensabhängig mehrere Vakuum- und Druckphasen durchlaufen. Die Arbeitstemperatur liegt üblicherweise in einer Größenordnung von ca. 100 bis 120 °C. Buchenholzschwellen werden beispielsweise meist im Doppel-Rüping-Verfahren imprägniert, bei dem zwei mehrstufige Vakuum-Überdruck-Zyklen stattfinden und bis zu ca. 15 kg Teeröl pro Schwelle (ca. 2,6 x 0,26 x 0,16 m³) in das Holz eindringen.

Entwicklung des BaP-Gehaltes in Steinkohlenteerölen zur Holzimprägnierung – Chemikalienrechtliche Regelungen

Materialanalysen im Zeitraum 1984 bis 1992 lieferten BaP-Gehalte, die teilweise deutlich über 500 mg/kg lagen. In der Spitze wurden 1987 Gehalte bis 2 200 mg/kg gefunden. Durch die Verordnung zur Beschränkung des Herstellens, des Inverkehrbringens und der Verwendung von Teerölen zum Holzschutz – Teerölverordnung (TeerölV) wurde 1991 die Herstellung und Verwendung von Teerölen im Bereich der Holzimprägnierung in Abhängigkeit vom BaP-Gehalt eingeschränkt (**Tabelle 45**).

Im Zusammenhang mit der Novellierung der GefStoffV wurden die Stoffverbote 1993 durch die Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) neu geregelt. Mit der Vierten Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen vom 13. August 2002 (BGBl. I S. 3185) wurden die Vorschriften zu Teerölen geändert. Seit dem 1. September 2002 dürfen für die Holzimprägnierung nur

Teeröle mit einem BaP-Gehalt von weniger als 50 mg/kg (50 ppm bzw. 0,005 Gew.-%) in geschlossenen Anlagen und nur für gewerbliche Zwecke verwendet werden.

Tabelle 45:

Herstellungs- und Verwendungsbeschränkung für Teeröle zum Holzschutz (1991)

Gehalt an BaP	Verwendung zulässig
maximal 5 mg/kg	in geschlossenen Anlagen
> 5 bis 50 mg/kg	Druckimprägnierung mit Schlussvakuum
> 50 bis 500 mg/kg	zur Druckimprägnierung von Bahnschwellen

Mit Inkrafttreten des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) durch die Verordnung (EG) Nr. 552/2009 (EU-ABl. L 164 vom 22. Juni 2009, S. 7) sind die Beschränkungen für Teeröle nach Anlage XVII Nr. 31 der Verordnung als unmittelbar geltendes Recht anzuwenden. Die entsprechenden nationalen Vorschriften zu Teerölen wurden mit der Neufassung der GefStoffV 2010 (BGBl. I, S. 1643) und der ChemVerbotsV 2017 (BGBl. I, S. 94) aufgehoben. Seit Juni 2009 ist in der EU damit das Verwenden und Inverkehrbringen von Teerölen und damit behandelten Hölzern – mit Ausnahmen – verboten. Zulässig ist weiterhin der Einsatz von Teerölen in industriellen Anlagen, wenn der BaP-Gehalt unter 50 mg/kg liegt und das behandelte Holz ausschließlich gewerblich verwendet wird, z. B. für Eisenbahn, Stromtransport, Telekommunikation, Zäune und Pfähle in der Landwirtschaft oder Häfen und Wasserwege. Mit dem Durchführungsbeschluss (EU) 2021/1839 vom 15.10.2021 wurde der Ablauf der Genehmigung von Kreosot zur Verwendung in Biozidprodukten (Produktart 8 Holzschutz) auf den 31.10.2022 verschoben.

In der „Datenbank der zugelassenen Biozidprodukte“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) sind mit Stand Januar 2022 keine zugelassenen kreosothaltigen Produkte aufgeführt.

Die Expositionsdaten aus der Expositionsdatenbank-MEGA sind in **Tabelle 46** zusammengestellt. Ab 2003 lagen alle Messwerte unterhalb der BG.

Die BAUA hat in einem Forschungsprojekt die Arbeitsplatzbelastung bei der Verwendung von Holzschutzmitteln von 2005 bis 2007 untersucht (Forschungsbericht F 1809). Bei 51 Messungen bei der Teerölprägnierung in Kesseldruckanlagen in vier Betrieben sowie 17 Messungen bei der Heiß-Kalt-Trogränkung in zwei Betrieben

leisteten Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Acenaphthen, Fluoren und Phenanthren den wesentlichen Beitrag zur PAK-Belastung. Bei keiner der Messungen wurde BaP in der Luft am Arbeitsplatz nachgewiesen.

Carbolineum

Die Bezeichnung Carbolineum geht auf ein im Jahre 1888 patentiertes Holzschutzmittel zurück. Seit Mitte der 1950er-Jahre wurde der Begriff als Sammelbezeichnung für Steinkohlenteeröle verwendet, die für den manuellen Auftrag hergestellt wurden. Es kam ausschließlich im Außenbereich zum Einsatz. Die Verarbeitung im Spritzverfahren erfolgte eher selten (bei der Bearbeitung größerer Holzflächen). Sie war mit einer dermalen und inhalativen Exposition verbunden (siehe Abschnitt 7.1.3). Beim Streichverfahren bestand nur eine dermale Einwirkung. Es waren

größere Hautflächen wie Arme betroffen und pro Arbeitstag kann Carbolineum in der Größenordnung von 1 ml bzw. 1 g (Dichte von Carbolineum liegt bei ca. 1 g/cm³) auf die Haut gelangt sein [127].

7.10.2 Papier- und Pappenherstellung

Bei der Papierherstellung oder -veredelung kamen einzelne Vertreter aus der Gruppe der PAK oder deren Derivate zum Einsatz. Beispielsweise wurden Fluoren und Phenanthren als Sensibilisator bei der Papierveredlung und Beschichtung von Thermopapieren verwendet. Das BK-relevante BaP kam nicht zur Anwendung [128]. Auch im Produktionsprozess kommt es nicht zur Bildung von BaP (Tabelle 46). In der Vergangenheit wurde das Papier für den Versand teilweise in Teerpapier verpackt, um es vor Feuchtigkeit zu schützen.

Tabelle 46:
Holz- und Papiergewerbe

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Holz- und Papiergewerbe	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in µg/m ³	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Holzbe- und -verarbeitung					
Holzprägnierung Steinkohlenteerölen in Trogränk- und Kesseldruckanlagen: Be- und Entladen, Bedienen, Überwachen	siehe Abschnitt 7.1.3	0,03	Schicht	1985 bis 2002	1
	siehe Abschnitt 7.1.3	n. b.	Schicht	2003	1
Papier- und Pappenherstellung					
	zeitlich unbegrenzt	n. b.	Schicht	1985 bis 1989	2

Literatur

[127] BK-Report 1/2019 „Aromatische Amine – Eine Arbeitshilfe in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2019

[128] *Baumann, W.; Herberg-Liedtke, B.:*
Papierchemikalien. Springer-Verlag, Berlin 1993

7.11 Nahrungsmittelindustrie und Gastronomie

7.11.1 Fleisch- und Fischräucherei

Die thermische Behandlung von Nahrungsmitteln mit pyrolytisch erzeugtem Heiß- oder Kaltrauch kann mit einer Belastung des räuchernden Personals durch BaP verbunden sein. So wurden im Räucherrauch von vermuteten 200 verschiedenen PAK mindestens 47 Vertreter eindeutig nachgewiesen, darunter neben BaP auch Chrysen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[a]anthracen, Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen und Indeno[1,2,3-c,d]pyren. Der Gehalt von BaP im Rauch ist primär abhängig von der Verbrennungstemperatur des Holzes (Glimmtemperatur) und steigt im Bereich von 400 bis 1 000 °C von 5 µg auf 20 µg pro 100 g Holz. Eine Kühlung oder elektrostatische Filtration des Räucherrauches sowie die Minimierung des Rußanteils bewirkt eine erhebliche Reduzierung der PAK-Bildung [129].

Im Rahmen eines in den 1990er-Jahren durchgeführten Projekts der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN) wurde die chemische Zusammensetzung der Luft am Arbeitsplatz in Räuchereien mit unterschiedlichen Technologien untersucht. Das Personal hat hierbei folgende Aufgaben:

- Beschicken der Räucheröfen/Raucherzeuger mit Holzscheiten/-spänen/-mehl,
- Anzünden des Holzes; Kontrolle von Flamme, Glut, Rauchentwicklung und Temperatur,
- Einbringen der gesplitteten oder aufgelegten Räucherwaren,
- Qualitätsprüfung des Räucher- und Garzustandes und prozessbegleitende Arbeiten im Rauch,
- Ausbringen des fertigen Räuchergutes,
- Ablöschen der Glut, Reinigen der Räucheröfen und Raucherzeuger.

Im Projekt konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Konzentration an BaP und der Summe an PAK in der Luft nachgewiesen werden. Relativ hohe PAK-Konzentrationen wurden in herkömmlichen Räucheröfen – z. B.

in Altonaer Öfen, wo über offenem Holzfeuer geräuchert wird – mit dem Heißrauchverfahren gemessen. Die höchsten Werte wurden bei verschlissenen Öfen oder schlecht gewarteten Lüftungsanlagen gefunden. Die beim Kalträuchern gemessenen PAK-Konzentrationen waren dagegen deutlich niedriger. In Automatenanlagen mit externer Raucherzeugung wurden tendenziell die niedrigsten Werte ermittelt. Insbesondere in modernen Automatenanlagen bei sachgerechtem Betrieb war keine PAK-Belastung in der Atemluft nachweisbar [130].

Neben den PAK wurde eine Vielzahl weiterer luftfremder Stoffe mit unterschiedlichen toxikologischen sowie chemisch-irritativen Ausprägungen nachgewiesen, darunter Aldehyde, Ketone, Amine, Phenole, organische Säuren sowie Kohlenstoff- und Stickstoffoxide. Im Gegensatz zu Prozessen wie Grillen mit Holzkohle oder Räuchern, bei denen die PAK über den Rauch eingetragen werden, ist ihre Entstehung auch endogen, also durch die bloße thermische Behandlung der Nahrungsmittel möglich. Dies ist beispielsweise der Fall bei der Röstung von Kaffee oder anderen pflanzlichen Produkten, bei der Zuckerwarenherstellung, beim Grillen (vor allem mit Holzkohle), Braten oder Backen von Lebensmitteln oder beim Darren von Malz oder Tabak. In Küchen können PAK auch dann kurzzeitig freigesetzt werden, wenn Fette oder fetthaltige Speisen (z. B. Soßen) auf heiße Oberflächen von Wärmeerzeugern (Holz, Holzkohle, Lavasteine, Herdplatten usw.) tropfen und unvollständig verbrennen. **Tabelle 47** zeigt die Expositionsdaten bei der Nahrungs- und Genussmittelherstellung.

Literatur

[129] *Tóth, L.*: Chemie der Räucherung, DFG, Verlag Chemie (1983)

[130] *Andrejs, B.; Fehlauer, M.; Waga, N.-C.*: Bestimmung der in Arbeitsbereichen von Räuchereien vorhandenen Gase, Dämpfe und Aerosole. Forschungsbericht F-01-9031. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin, Mannheim 1998

Tabelle 47:

Nahrungs- und Genussmittelherstellung

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Nahrungs- und Genussmittelherstellung	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Räucheranlagen zur Nahrungsmittelbehandlung					
Fleischverarbeitung, Räuchern von Fleisch	zeitlich unbegrenzt	0,4	Tätigkeit	1981 bis 1996	1
Fischverarbeitung, Räuchern von Fisch	zeitlich unbegrenzt	0,4	Tätigkeit	1990 bis 1995	1
Thermische Behandlung von Lebensmitteln					
Endogene Bildung, z.B. Rösten von Kaffee, Tabakverarbeitung, Mälzereien, Küchen (Grillen, Braten), Bäckereien (Tätigkeit am Backofen)	zeitlich unbegrenzt	0,01	Tätigkeit	1990 bis 1995	1
	zeitlich unbegrenzt	0,01	Tätigkeit	1996 bis 2009	1
Imbiss/Bratwurstgrill		< 0,09	Tätigkeit	2010	1

Tabelle 48:

Gastronomie

Tätigkeiten im Arbeitsbereich Gastronomie	Expositionszeitraum	Expositionsdaten			
		Expositionshöhe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bewertungsart	Datenzeitraum	VK
Gastronomie (Servicebereich)	zeitlich unbegrenzt	0,006	Schicht	2007 bis 2011	1

7.11.2 Gastronomie (Tabakrauch)

Im Servicebereich gastronomischer Betriebe können die Mitarbeiter je nach Betriebsart in unterschiedlich hohem Maße gegenüber Tabakrauch exponiert sein. Tabakrauch ist ein komplexes Gemisch aus Partikeln und flüchtigen Verbindungen und enthält unter anderem auch BaP. So enthält der Hauptstromrauch einer Zigarette ca. 20 bis 40 ng BaP [131]. Eine groß angelegte, über mehrere Jahre durchgeführte Studie der BGN untersuchte die Tabakrauchbelastung von Beschäftigten in Raucherbereichen verschiedener Kategorien gastronomischer Betriebe. Die Messungen wurden bevorzugt in der kalten Jahreszeit an Tagen mit hoher Gästezahl und während der Hauptbetriebszeit durchgeführt. Bis auf wenige Ausnahmen lag die BaP-Konzentration im einstelligen ng/m^3 -Bereich. Im Einzelfall wurde in einer Gaststätte der Höchstwert von $0,083 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Ursache hierfür war der in der Küche befindliche Holzkohlegrill mit defekter Abzugshaube [132]. Dies bedeutet, dass bei der Betrachtung der BaP-Belastung in der Gastronomie auch andere Quellen als Küchenluft und ggf. Straßenverkehr einen Beitrag leisten können, da BaP nicht tabakspezifisch ist. **Tabelle 48** zeigt die Expositionsdaten für Tätigkeiten im Servicebereich der Gastronomie.

Literatur

- [131] Hoffmann, D.; Wynder, E. L.: Aktives und passives Rauchen. In: Marquardt, H.; Schäfer, S. G.: Lehrbuch der Toxikologie. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim 1994
- [132] Hüner, H.; Andrejs, B.; Dannenbaum, C.; Rietschel, P.; Schuh, C.; Weigl, M.: BGN-Studie zur Messung der ETS-Exposition in gastronomischen Betrieben. In: Grieshaber, R.; Stadeler, M.; Scholle, H.-C.: Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen (14. Erfurter Tage). S 147-147. Busert und Stadeler, Jena 2008

7.12 Schuhbranche

Obwohl in der Schuhbranche keine kohlestämmigen Hochtemperaturfolgeprodukte verwendet oder freigesetzt werden, wurde das mögliche Vorkommen von PAK in der Schuhbranche immer wieder diskutiert. PAK können als Verunreinigungen insbesondere von Weichmacherölen und Industrieruß in Kunststoff- und Gummimaterialien enthalten sein, die zu Sohlen für Schuhe verarbeitet werden. Es gibt eine Reihe von Arbeitsplätzen, an denen übliche Schuhmaterialien geschliffen oder gefräst werden. Diese Arbeitsplätze sind seit den 1960er-Jahren grundsätzlich abgesaugt. In sehr geringem Umfang besteht dabei Atemwegsexposition gegenüber Stäuben der verarbeiteten Materialien. Es wurde daher geprüft, ob die Exposition gegenüber PAK an diesen Arbeitsplätzen in der Schuhbranche über der ubiquitären Belastung liegt. Zu diesem Zweck wurden Schleifstaubgemische aus Absaugfiltern verschiedener Arbeitsbereiche entnommen, da sie im Vergleich zu Einzelmaterialproben einen repräsentativen Querschnitt der am Arbeitsplatz verarbeiteten Materialien bieten. Die Probenahme mit anschließender Analyse auf PAK erfolgte in den Jahren 2017 und 2018. Die Gehalte an BaP lagen in fast allen Filterstaubproben unterhalb der BG von 0,02 µg/g und konnten nicht quantifiziert werden. Lediglich bei zwei von 63 Proben wurden BaP-Gehalte von 0,02 µg/g bzw. 0,04 µg/g (ppm) bestimmt. Die Proben wurden in drei Arbeitsbereichen ermittelt (**Tabelle 49**).

Tabelle 49:
Schleifstaubproben aus der Schuhbranche

Arbeitsbereich	Anzahl der Proben
Schuhherstellung	17
Orthopädie-Schuhmacherei	23
Schuhmacherei-Schuhreparatur	23

Arbeitsplatzmessungen auf BaP nach TRGS 402 aus diesen Arbeitsbereichen sind nicht bekannt. Aus vorliegenden Schichtmittelwerten der E-Fraktion kann mithilfe der ermittelten BaP-Gehalte von Filterstaubproben eine mögliche Belastung abgeschätzt werden. Das 90. Perzentil von 45 Schichtmittelwerten der einatembaren Staubfraktion in der Orthopädieschuhmacherei aus den Jahren 2002 bis 2012 beträgt 0,71 mg/m³ E-Staub. Für alle drei Arbeitsbereiche zusammen ist im IFA-Staubreport aus den Jahren 2005 bis 2016 ein 90. Perzentil in Höhe von 2,17 mg/m³ E-Staub dokumentiert. Legt man bei den Staubfraktionen der Orthopädieschuhtechnik den oben genannten BaP-Gehalt von < 0,04 µg/g zugrunde, errechnet sich eine BaP-Konzentration von < 0,00003 µg/m³ bzw. < 0,03 ng/m³ für Arbeiten an der Schleifmaschine. Unter Heranziehung der Werte des Staubreports ergibt sich eine etwa um den Faktor 3 höhere

BaP-Konzentration. Diese Werte liegen im Bereich der ubiquitären Konzentration für BaP-Vorkommen in der Umwelt (siehe Anhang 2). Auf Basis der oben genannten Ergebnisse ist davon auszugehen, dass in der Schuhbranche keine relevanten PAK-Belastungen vorliegen. Auch für früher (vor 1960) vorhandene Arbeitsplätze mit in wenigen Einzelfällen fehlender Absaugung oder ungünstigen Lüftungsbedingungen resultieren keine wesentlichen BaP-Konzentrationen.

7.12.1 Verarbeitung von Schusterpech

Schusterpech wurde vereinzelt bis Anfang der 1980er-Jahre zum Pechen von Hanfgarn vor allem in der handwerklichen Orthopädie- und Maßschuhfertigung verwendet. Früher wurde das Hanfgarn vom Schuhmacher von Hand aus Hanffasern zu einem Faden gedreht. Dieser wurde bei Raumtemperatur mehrfach schnell durch einen Klumpen Schusterpech gezogen. Durch die entstehende Reibung umschloss das Pech den Faden und konservierte diesen. Mit dem so entstandenen Garn wurden Laufsohlen aus Leder an den Schuhboden genäht. Missverständlich bei der Einschätzung einer möglichen Gefährdung im Umgang mit Schusterpech ist, dass die Bezeichnung Pech sowohl für Folgeprodukte der Baumharzdestillation als auch für Folgeprodukte aus Kokereien verwendet wird. Trotz aufwendiger Recherche konnten keine Belege dafür gefunden werden, dass es sich bei Schusterpech um ein kohlestämmiges Material handelt. Dagegen finden sich Hinweise darauf, dass das früher durch Harzen der Bäume gewonnene Baumharz von sogenannten Pechern gesammelt und anschließend durch Destillation von leichtflüchtigem Terpentin getrennt wurde. Das zurückbleibende Kolophonium wurde als Ausgangsstoff für Schusterpech verwendet. Es prägt in Farbe, Geruch und Konsistenz das fertige Schusterpech. Auch eine belegte Rezeptur von 1957 [133] bestätigt Kolophonium als Basisharz. In den Jahren 2017 und 2018 wurden historische Schusterpech-Proben aus den 1960er- bis 1980er-Jahren auf PAK untersucht. Die BaP-Gehalte der neun Schusterpech-Proben und zwei Proben Pechdraht lagen unterhalb der BG von 0,4 µg/g (ppm). Aufgrund der ermittelten PAK- bzw. BaP-Gehalte ist davon auszugehen, dass es sich bei Schusterpech nicht um ein kohlestämmiges Produkt handelt. Aus Tätigkeiten mit Schusterpech lassen sich somit keine Belastungen durch PAK ableiten. Auch der Ärztliche Sachverständigenbeirat „Berufskrankheiten“ kommt in 2020 zu dem Ergebnis, dass bei der Verarbeitung von Schusterpech keine Gefährdung im Sinne der BK-Nr. 1321 und Nr. 4113 besteht [134].

Literatur

[133] Bundesgesetzblatt Teil II vom 30.12.1957, S.1894

[134] IVa 4-45222-1321/4113/5102 zur Einwirkung durch Schusterpech. GMBL. (2020) S. 449

7.13 Druckfarben

7.13.1 Einleitung

Im ärztlichen Merkblatt zur BK-Nr. 4113 wird eine Exposition gegenüber PAK durch Verwendung PAK-haltiger Druckfarben aufgeführt, ohne dass spezifische Angaben zur Belastung oder dem Anwendungszeitraum gegeben werden. Im Folgenden werden die PAK-Exposition in Hinblick auf die unterschiedlichen Druckverfahren spezifiziert und – soweit möglich – Angaben zur Expositionshöhe gemacht.

7.13.2 Vorkommen von PAK in Druckfarben allgemein

Entsprechend ihrem Anwendungszweck und den Erfordernissen der verschiedenen Druckverfahren sind Druckfarben unterschiedlich zusammengesetzt. Grundsätzlich bestehen alle Druckfarben aus den Bestandteilen Farbmittel, Bindemittel, Verdüner und Hilfsstoffe. In den drei erst genannten Substanzklassen können theoretisch aufgrund des Herstellungsprozesses PAK enthalten sein. Diese werden daher näher betrachtet.

Die als Farbmittel verwendeten Schwarzpigmente sind speziell hergestellte technische Ruße (Carbon Black), die nicht mit Kaminrußen aus unkontrollierter Verbrennung zu verwechseln sind. Die für Druckfarben eingesetzten technischen Farbrüße waren verfahrensbedingt immer kennzeichnungsfrei, d. h. der BaP-Gehalt lag unter 50 mg/kg (ppm). Eventuell im Ruß enthaltene Spuren organischer Materialien sind durch Adsorption an der Oberfläche immobilisiert und in der fertigen Druckfarbe zusätzlich vom Bindemittel umhüllt [135 bis 137].

Bei der Erdölraffination anfallendes Bitumen wird bei schwarzen Zeitungsdruckfarben als Bindemittel eingesetzt. Das Rohbitumen wird zahlreichen Oxidations- und Hochvakuum-Behandlungsprozessen unterzogen, um unangenehm riechende Komponenten zu entfernen. Hierbei werden auch die polyzyklischen Aromaten entfernt und/oder zersetzt. Seit den 1980er-Jahren lag die Kennzeichnungsgrenze bei 50 ppm BaP. Mitte der 1980er-Jahre durchgeführte Analysen bei Rohstoffen und Schwarzfarben ergaben einen BaP-Gehalt von deutlich unter 50 ppm. Da auch in den Jahrzehnten davor keine wesentliche Änderung des Herstellungsprozesses für Bitumen für Schwarzfarben erfolgte, sind diese Ergebnisse auch auf diesen Zeitraum übertragbar [137]. Mineralöle werden als Verdünnungsmittel in Druckfarben eingesetzt. Insbesondere für Zeitungsdruckfarben wurden hochsiedende, manchmal dunkle aromatenhaltige Mineralöle verwendet. Die seit 1970 verwendeten Öle weisen Konzentrationen

von weniger als 1 ppm BaP auf. Vor 1970 wurden die Grundöle häufig auf der Basis säurebehandelter Mineralöle hergestellt und wiesen BaP-Konzentrationen von 30 bis 300 ppm auf. Heute werden unterschiedlich hydrierte Öle und pflanzliche Öle in den Druckfarben eingesetzt, so dass hierdurch praktisch kein Beitrag zu einer PAK-Belastung mehr entsteht [137; 138].

7.13.3 Exposition während des Druckprozesses in Zeitungsdruckereien und Illustrationstiefdruckereien

Die zu betrachtenden krebserzeugenden PAK siedeln zwischen 380 und 530 °C. Bei dem Druckprozess entstehen keinerlei Temperaturen dieser Größenordnung, sodass keine PAK-Dämpfe entstehen können. In Abhängigkeit vom eingesetzten Druckverfahren, der Temperatur, Druckgeschwindigkeit und Maschinenkonstruktion kann es zu einer Farbnebelbildung kommen. Die in den 1960er- bis 1980er-Jahren im Zeitungshochdruck eingesetzten Farben waren deutlich niedriger viskos, also dünnflüssiger, und wurden in deutlich dickeren Schichten auf das Papier übertragen als die heutigen Zeitungsoffsetdruckfarben.

In den 1970er-Jahren und Anfang der 1980er-Jahre wurden zahlreiche Untersuchungen in Zeitungsdruckereien in Großbritannien und den USA hinsichtlich Art und Menge der auftretenden Farbnebel und der in Druckfarben enthaltenen BaP-Gehalte vorgenommen [139 bis 143]. Hierbei wurde folgendes festgestellt: Der Gehalt an BaP der in Großbritannien in den 1970er-Jahren verwendeten Zeitungsdruckfarben (sogenannte Coldsetfarben) schwankte je nach Lieferanten und Farbe zwischen 2 und 59 µg/g (entspricht 2 bis 59 ppm). Die Menge des Farbnebels variiert sehr stark im Bereich 95 bis 2 854 µg/m³. Dies führte bei der Analyse des aufgefangenen Farbnebels zu BaP-Gehalten von 4,7 bis 76 ng/m³ (0,0047 bis 0,076 µg/m³).

Wegen der Größenverteilung der Farbnebeltröpfchen ist nur ein Teil als E-Fraktion (lungengängig) anzusehen. Dieser Anteil beträgt zwischen 7 und 26 % [140]. Betrachtet man Tröpfchen mit einem Durchmesser ≤ 11,4 µm als E-Fraktion, so führt dies zu BaP-Gehalten in der Atemluft von 1,1 bis 11 ng/m³ (0,0011 bis 0,011 µg/m³) bzw. bei einem Durchmesser ≤ 8,2 µm resultieren als E-Fraktion Werte von 0,4 bis 6 ng/m³ (0,0004 bis 0,006 µg/m³). Dementsprechend ergibt die Berechnung der kumulativen Dosis für eine 45-jährige Tätigkeit an einer Zeitungsrotation einen Wert von 0,05 bis 0,5 BaP [(µg/m³) x Jahre], wobei Tröpfchen mit einem Durchmesser ≤ 11,4 µm als E-Fraktion betrachtet wurden. Selbst unter Einbeziehung auch der nicht einatembaren Tröpfchen des Farbnebels errechnet sich maximal ein Wert von 3,5 BaP [(µg/m³) x Jahre]. In schwarzen Illustrationstiefdruckfarben wurde als Binde-

mittel unter anderem auch Naturasphalt (Gilsonite) verwendet. In Altunterlagen zu ehemaligen DDR-Produkten finden sich auch Hinweise auf einen Bitumeneinsatz, sodass die obigen Betrachtungen und die Beurteilung der Exposition auch auf den Illustrationstiefdruck weitestgehend übertragbar sind.

7.13.4 Exposition in anderen Druckverfahren

In obigen Druckverfahren wird und wurde nahezu ausschließlich bei der Erdölraffination anfallendes Bitumen verwendet. Lediglich im heute kaum noch verwendeten Buchdruck wurde früher in geringen Anteilen von 2 bis 3 % Asphaltlösung in Mineralöl als Additiv zugesetzt. An den langsam laufenden Buchdruckmaschinen traten jedoch keine Farbnebel auf, sodass eine Atemwegsexposition auszuschließen ist. Bei allen anderen Druckverfahren, wie Tampondruck, Siebdruck, Bogenoffsetdruck, Heatset sowie im Verpackungstief- und -flexodruck, wurde und wird in den Druckfarben kein Bitumen verwendet [144].

Literatur

- [135] MAK-Werte, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen der DFG, Industrieruße (Carbon Black) in Form atembare Stäube, 1999
- [136] *Watson, A. Y.; Valberg, P. A.*: Carbon Black and Soot: Two Different Substances. *American Indust. Hyg. Assoc. J.* 62 (2001) Issue 2, p. 218-228
- [137] Mitteilung des Verbandes der Druckfarbenindustrie auf Basis einer Expertenanhörung, März 2005
- [138] Mitteilung des Bundesverbandes Druck e.V. und des Verbandes der Druckfarbenindustrie, November 1989
- [139] *Lawther, P. J.*: A Report on Ink Mist in Newspaper Press Rooms. IFRA-Symposium, Copenhagen 1979
- [140] *Leon, D. A.; Thomas, P.; Hutchings, S.*: Lung Cancer among newspaper printers exposed to ink mist. *Occupational and Environmental Medicine* 51 (1994), p. 87-94
- [141] *Ridell, G. L.*: The Structure of the printing industry. *Ann. Occup. Hyg.* 16 (1973), p. 141-148
- [142] *Lippmann, M.; Goldstein, D. H.*: Oil-mist studies, environmental evaluation and control. *Arch. Environ. Health* 21 (1970), p. 591-599
- [143] *Casey, P.; Hagger, R.; Harper, P. A.*: A collaborative study of ink mist in UK newspaper pressrooms. *Ann. Occup. Hyg.* 27 (1983), p. 127-135
- [144] *Baumann, W.; Herber-Liedtke, D.*: Druckereichemikalien. Springer-Verlag 1999

8 Musterbeispiel für die Berechnung der BaP-Jahre

8.1 Anleitung zur Ermittlung

Die Ermittlung der BaP-Jahre basiert auf der Auftragserteilung der BK-Sachbearbeitung an den Präventionsdienst. Hier sind entsprechende Angaben zur versicherten Person (ggf. Sterbedatum), zu den ermittelnden Berufskrankheiten (BK 1321 oder 4114) sowie zu allen Mitgliedunternehmen mit Anschrift, Beschäftigungszeiträumen und Tätigkeiten vollständig anzugeben. Um eine realitätsnahe Berücksichtigung der Zeiträume, in denen eine Einwirkung stattgefunden hat, zu ermöglichen, sind längere Fehlzeiten (z. B. Elternzeit, AU-Zeiten) – besonders bei Dosisberechnungen – vorab durch die BK-Sachbearbeitung so genau wie möglich zu ermitteln und müssen im Auftrag aufgelistet werden [145]. Die BK-Sachbearbeitung stellt die Daten der Spalten 1 und 2 sowie der Anlage Fehlzeiten der in diesem Kapitel vorgestellten Tabelle zur Verfügung. Die Berechnung der BaP-Dosis erfolgt mit der BK-Anamnese-Software in der aktuellen Version.

Bei der Ermittlung der BaP-Arbeitsanamnese ist zu folgenden Punkten Stellung zu nehmen:

- Art der Tätigkeit mit BaP-Exposition (Spalte 4)
- Art der BaP-Exposition (Spalte 4); hier sind ggf. die Einsatzprodukte einzutragen, die bei der fachkundigen Ermittlung festgestellt wurden.
- Sonstige Lungenschadstoffe (Spalte 4); hier können Hinweise auf andere zum Erkrankungsfall relevante Lungenschadstoffe, z. B. Asbest, gegeben werden.
- Beschäftigungsdauer (Spalte 3); die aufgeführte Beschäftigungszeit wird in Jahre umgerechnet.
- Expositionsanteil (Spalte 5)
 - Tägliche Exposition: Eine tägliche BaP-Exposition kann hier berücksichtigt werden zwischen der gesamten Schicht (8/8) bis zu Schichtanteilen von mindestens 1/8 Schicht.

- Wöchentliche Exposition: Die wöchentliche Exposition ist dann gegeben, wenn sich die Tätigkeit innerhalb einer Woche regelmäßig (z. B. jede Woche 3 h) wiederholt. Der zeitliche Bezug ist dann $8 \text{ h} \times 5 \text{ Tage} = 40 \text{ h/Woche}$.
- Sporadische Exposition: Eine sporadische BaP-Exposition ist dann zu unterstellen, wenn einmalige, sich nicht regelmäßig wiederholende Tätigkeiten vorliegen. Dabei kommen zum Ansatz:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Jahr} &= 12 \text{ Monate} = 48 \text{ Wochen} \\ 1 \text{ Jahr} &= 240 \text{ Arbeitstage (Schichten)} = \\ &1920 \text{ Arbeitsstunden} \\ 1 \text{ Monat} &= 8,33 \times 10^{-2} \text{ Jahre} \\ 1 \text{ Woche} &= 1,9 \times 10^{-2} \text{ Jahre} \\ 1 \text{ Tag} &= 4,17 \times 10^{-3} \text{ Jahre} \\ 1 \text{ Arbeitsstunde} &= 5,21 \times 10^{-4} \text{ Jahre} \end{aligned}$$

- Expositionsdauer (Spalte 6; das Produkt von Spalte 3 und 5)
- Expositionshöhe (Spalte 7); die Expositionshöhe wird gemäß den Vorgaben in den Kapiteln 5 bis 7 ermittelt.
- BaP-Jahre (Spalte 8); die BaP-Jahre ergeben sich durch Multiplikation der Werte von Spalte 6 und 7.

8.2 Beispiel: Ermittlung der BaP-Jahre

Die Angaben zur Expositionshöhe basieren auf den Daten des BK-Reports „BaP-Jahre“ Tabelle 13, Baugewerbe – Dachdecker, Bautenschutz.

Erkrankter: Herr Manfred Müller
Geboren am: 19.12.1930
BKV-Nr.: 1321 bzw. 4113
AZ: Beispiel BK-Report BaP
Erstellt am: 27. Juli 2021

Tabelle 50:
Berechnungsbeispiel (BK-Anamnese-Software Version 1.2.0)

BA	Beschäftigungsabschnitte (BA)		Art der Exposition, sonstige relevante Schadstoffe	Expositionsanteile	Expositionsdauer [Jahre]	Expositionshöhe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Datenherkunft	Dosis [$\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$]
	Betrieb, Tätigkeit	Zeitraum					
1	Fa. Peter Müller Dachdeckermeister Dachdeckerlehre Dachdecker Dachabdichtungen	01.04.1947 bis 27.05.1961; 14,156 Jahre (davon Fehlzeit 0,403 Jahre)	Verarbeitung von Heißteer (Kochen, Ausgießen, Verteilen, Dachbahn einlegen); Asbest	0,3000 (72 d/J)	4,126	10,00 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	41,26
2	Fa. Peter Müller Dachdeckermeister Dachdeckerlehre Dachdecker Abbrucharbeiten	01.04.1947 bis 27.05.1961; 14,156 Jahre (davon Fehlzeit 0,403 Jahre)	Manuelles Entfernen teerhaltiger Flachdachabdichtungen; Asbest	0,0208 (5 d/J)	0,286	12,00 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	3,43
3	Fa. Lutz Lehmann Dachdeckermeister Dachdecker Abbrucharbeiten	01.06.1961 - 31.12.1995; 34,586 Jahre	Manuelles Entfernen teerhaltiger Flachdachabdichtungen	0,0417 (10 d/J)	1,442	12,00 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	17,30
4	Fa. Lutz Lehmann Dachdeckermeister Dachdeckerlehre Dachdecker Dachabdichtungen	01.06.1961 bis 31.12.1978; 17,586 Jahre	Verarbeitung von Heißteer (Kochen, Ausgießen, Verteilen, Dachbahn einlegen); Asbest	0,2333 (56 d/J)	4,103	10,00 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	41,03
5		01.01.1979 bis 31.12.1989; 11,000 Jahre	Verarbeitung von Bitumen (Kochen, Ausgießen, Verteilen, Dachbahn einlegen); Asbest	0,2333 (56 d/J)	2,566	0,10 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	0,26
6		01.01.1990 bis 31.12.1995; 6,000 Jahre	Verarbeitung von Polymerbitumen; Asbest	0,1500 (36 d/J)	0,900	0,02 (BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13)	0,02
Kumulative Dosis (BaP-Jahre):							103,3

Entsprechend BK-Report „BaP-Jahre“, Tabelle 13: Entfernen von Dachbahnen ohne Kork-Teer-Dämmung: Maximal-Wert von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Berechnung ergab ein Ergebnis im Grenzbereich von 100 BaP-Jahren, deshalb wurde die Verarbeitung von Bitumen in die Berechnung einbezogen. In den meisten Fällen tragen Werte von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht wesentlich zu einem zielführenden Ergebnis bei.

Anlage Fehlzeiten

Lfd	Beschäftigungsabschnitt	Zeitraum der Fehlzeit	Dauer der Fehlzeit	Grund der Fehlzeit
1	01.04.1947 bis 27.05.1961	05.04.1954 bis 29.08.1954	0,403 Jahre	Krankheit
2	01.04.1947 bis 27.05.1961	05.04.1954 bis 29.08.1954	0,403 Jahre	Krankheit

Literatur

[145] DGUV Handlungsempfehlung „Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren“, Mai 2021

9 Stichwortverzeichnis

Symbole

90. Perzentil 27, 29, 31, 58, 72, 73, 79, 91

A

Abbeizmittel 39
Abbrucharbeiten 27, 36, 95
Abfallverbrennung 66
Abfüllen von Strangpech 82
Abplattung 66, 67
Abstich 52, 68, 72
Abstichrinne 52
Abweiser 42, 43, 44
Aluminiumhütten 27, 71
Analogiebetrachtungen 31, 32
Anlagenschlosser 46, 47
Anoden 60, 62, 70, 71
Anodenanschlagerei 70, 71
Anstrich-, Klebemittel, Fug- und Spachtelmassen 55
Arbeitsplatzmessungen 19, 22, 29, 79, 91
Arithmetischer Mittelwert 58
Asphalt 41, 45, 46
Asphaltmischanlagen 46, 47
Aufplattung 66, 67
Ausbauer 42, 44

B

Bahnschwellen 19, 37, 66, 67, 87
BaP-Gehalte 19, 40, 41, 46, 48, 58, 65, 69, 75, 84, 87, 91, 92, 103
Bautenschutz 36, 64, 94
Benzo[a]pyren 3, 10, 11, 21, 23, 28, 105, 106
Benzo[a]pyren-Jahre 1
Beschäftigungsdauer 94
Beschichtungsstoffe 37, 38, 76
Betriebslabor 53
Betriebsschlosser 26, 27
BG 2, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 30, 31, 32, 37, 58, 59, 65, 69, 72, 73, 79, 84, 87, 91, 104
Big Bags 80, 82
Bitumen 19, 20, 34, 35, 36, 40, 41, 43, 45, 46, 48, 50, 55, 58, 63, 64, 65, 77, 80, 92, 93, 95
Bitumenanstriche 19
Bitumenbahnen 19, 34, 35
Bitumenkocher 45
Bitumensorten 20
BK-Anamnese-Software 95
Blasstahlwerke 68
Blasverfahren 68
Bohlenführer 42, 45

Braunkohle 19, 34, 35, 37, 38, 41, 58, 59, 63
Braunkohlenhochtemperatur (BHT)-Verkokung 59
Braunkohlenteer 19, 41, 43, 50, 58, 59
Braunkohlenteerverkokung 58, 59
Braunkohlentiefemperatur-Verschmelzung 59
Braunkohleveredelung 35, 58
Braunkohleverschmelzung 58
Brennschneidarbeiten 49, 66
Brennstoff 34, 37, 66, 68, 83

C

Calciumcarbid 51, 52
Calciumcarbid-Herstellung 52
Carbobotumen 35, 40, 41, 43, 44, 46, 48, 80
Carbolineum 25, 37, 49, 88
Chemikalien-Verbotsverordnung 87
Coal Tar Pitch Volatiles (CTPV) 22, 105, 106

D

Dachabdichtungen 36, 95
Dachdecker 27, 94, 95
Dampflokotiven 80, 81
Demontage 49
Destillierkolonnen 53
Dieselmotoremissionen 22, 79, 83
Diskontinuierliche Pechanlage 53
Dosisangabe 12, 25
Druckfarben 92, 93
Druckprozesses in Zeitungsdruckereien und Illustrations-tiefdruckereien 92
Druckverfahren 92, 93
Dünnschichtchromatographie 22, 104

E

Einbauer 42, 43, 44, 45
Einfeger 21, 56
Elektroden 19, 51, 60, 62, 70, 71
Elektrografit 19, 59, 60, 61
Elektrolyseofenbetrieb 71
Elektrolyseprozess 70
Elektrotechnik 64
Entschichtungsverfahren 39
Entsorgung 55, 66
Epoxidharze 37
Erdkabelisolierungen 64
Erdöl 19, 35, 75, 83
E-Stahlwerke 68
Exposition 24, 25
Expositionsdaten 29, 31, 32

Expositionsdauer 24
 Expositionshöhe 27
 Extraktion 22, 103, 104, 106

F

Fehlzeiten 24, 94, 95
 Feinmechanik 75, 77
 Fertigerfahrer 42, 43
 Feuerfeste Waren 86
 Feuerfestindustrie 19
 Feuerfestprodukte 19
 Feuerungsanlagen 37, 107
 Feuerungsbau 40, 68, 69
 Feuerungsmaurer 27, 69
 Flachglas 85
 Fleisch- und Fischräucherei 89
 Former 72
 Formgebung von Kohlenstoff-Formkörpern 60
 Formkörper 59, 60, 70
 Formpresse 74
 Fugengießer 42, 44, 45
 Fugenverguss 40, 45
 Funkenerodieren 55, 76, 77

G

Gaschromatographie 22, 103, 104
 Gassenstopfen 70, 71
 Gastronomie 89, 90
 Gefahrstoffverordnung 21
 Gießereien 72
 Gießrinne 40
 Gleisbau 25, 49, 77
 Grafitelektroden 59
 Grafitieren von Kohlenstoff-Formkörpern 60
 Grenzwerte 3, 10, 21, 22
 Grünbruchrecycling 60
 Gussasphalt 19, 46, 47
 Gussasphaltarbeiten 46, 47

H

Haftvermittler 42, 43, 44, 46
 Härteöfen 78
 Härtung 78
 Hausfeuerungsanlagen 34, 58. *Siehe* Feuerungsanlagen
 Heizer 58, 59, 80, 81
 Herstellung und Verarbeitung von Gummiwaren 55
 Herstellung und Verarbeitung von Reifen 55
 Herstellung von Asphaltmischgut 46

Herstellung von Elektrodenkoks 58
 Herstellung von Werkstoffen aus Kohlenstoff und Elektrographit 62
 Hochleistungsflüssigkeitschromatographie 22, 103, 104
 Hochofen 40, 56, 68
 Hochofenzustellung 40
 Hohlglas 85
 Holzbe- und -verarbeitung 88
 Holzimprägnierung 87, 88
 Holzkohle-Herstellung 54
 Holzpflasterverlegung 39
 Holzschutzmittel 25, 34, 37, 88
 Holzschwellen 48, 49

I

Imbiss/Bratwurstgrill 90
 Isolieren 19
 Isolierer 27
 Isoliermittel 86

K

Keramikindustrie 84, 86
 Kernmacher 72
 Kesseldruckanlagen 87, 88
 Kesselmann 42, 44, 45
 Kohlehydrierung 55
 Kokereiarbeiter 27, 53
 Kokereiöle 19
 Kokereirohgase 10, 11, 12, 56, 58
 Koksofendecke 32, 53, 56
 Kontinuierliche Hartpechanlage 53
 Konverterzustellung 40, 68
 Korkdämmplatten 34
 Korksteinplatten 86
 Korrosionsschutz 37, 38, 64, 65, 77, 83
 Korrosionsschützer 27
 Kunststoffverarbeitung 55
 Kurzzeitwert 22

L

Laboratorien 53
 Lokführer 80, 81
 Lungenschadstoffe 94

M

Makadambauweise 45
 MAK-Grenzwert 22

Maschinen-/Fahrzeugbau 75
Massefahrer 70, 71
Mechanische Trenn- und Bearbeitungsverfahren 77
MEGA 3, 4, 5, 6, 10, 29, 30, 31, 33, 73, 87
Messverfahren 3, 21, 22, 79, 103, 105
Metallerzeugung 68, 69, 71
Metallverarbeitung 75, 77, 78
Mineralölraffinerie 55
Mischen von Füller und Bindemittel 60
Mischer 40, 54, 60, 61, 86
Mischwerker 47
Motoröle 25, 79, 80
Motorschmiermittel 75
Musterbeispiele 25, 94

N

Nahrungs- und Genussmittelherstellung 89, 90
Nickelverbindungen 27
Nippel 70
Nippelzieher 71

O

Oberflächenbeschichtung 76, 77
Oberflächenveredelung 76, 78
Oberofenbereich 56, 57
Ofenbühne 56, 68
Ofenmann 71
Ölabschreckbäder 76, 78
Öl-Aufarbeitung 53
Öleinsatz bei der Kaltumformung 75
Optikglas 84, 85
Oxidfahrer 71

P

Papierchromatographie 22, 104
Papier- und Pappenherstellung 88
Parkettleger 27
Pechgranulierung 53
Pechkokerei 53
Phosphor 51, 52, 68
Phosphor-Herstellung 52
Polier 42, 44, 45
Polymerbitumen-Schweißbahnen 34
Polyurethanharze 65
Polyurethansystemen 37
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe 3, 10, 11, 28, 67
Presse 62, 85, 86
Probenaufarbeitung 103
Putzerei 72

Pyrolyse 10, 19, 51, 56, 58, 59, 72, 73
Pyrolyseprodukte 19, 21, 41, 46, 58

R

Randausgleich 42, 45
Räucheranlagen 90
Recycling 46, 47, 66, 67, 77
Recyclinganlagen 66
Ruß 12, 19, 54, 59, 76, 80, 92

S

Sandformen- und Kokillenguss 72
Säulenchromatographie 104
Schachtbau 49
Schaufelmann 42, 43, 45, 81
Schichtexposition 25
Schichtwert 64
Schmelzer 68, 72
Schmieden 68, 73, 74, 75, 76, 77
Schornsteinfeger 27
Schornsteinreinigung 38
Schredderanlage 66, 67
Schuhbranche 91
Schusterpech 91
Schüttbetrieb 56, 57
Schwarzanstrichstoffe 19
Schweißen und thermisches Schneiden 76, 77
Schweißen von Schienenstößen 19, 48, 49, 77
Seeschifffahrt 80, 81, 82
Siemens-Martin-Stahlwerke 68
Siliciumcarbid 51, 52, 59
Söderbergelektrode 52, 70
Söderbergmassen 52, 70
Sondermischgut 46, 47
Spindelöl 75
Sporadische Exposition 25, 94
Spritzer 42, 43, 44, 45
Stahlerzeugung 19, 40, 68, 69, 72
Stahlwasserbau 27, 37, 50, 76
Stampfbetrieb 56, 57
Stampfraumbühne 51, 52
Steigrohrreiniger 21
Steinkohle 10, 19, 34, 35, 37, 38, 43, 56, 58, 63
Steinkohlekokerei 56, 57
Steinkohlenteer 19, 21, 35, 43, 56, 58, 76, 80
Steinkohlenteeröl 43, 49, 54, 66
Strangpechanlage 53
Straßenbau 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50
Straßenbaubindemittel 34, 41, 43, 44
Straßenfertiger 45

T

Tabakrauch 90, 107
 TA Luft 56
 Tätigkeitswert 26
 Tauchverfahren 77
 Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 21, 22, 23, 26,
 28, 29, 56, 79, 83, 91
 Technische Richtkonzentration 21
 Teerdestillation 53, 54
 Teerklebstoffe 39
 Teerkocher 45, 64
 Teerölverordnung 77, 87
 Teerpappen 36
 Teerpappenfabrik 54
 Teerverarbeitung 53
 Thermische Behandlung von Lebensmitteln 90
 Thermische Trennverfahren 55
 Transport und Kfz-Instandhaltung 79
 Trennschneidarbeiten 66
 Trimmer 81
 Trogtränkanlagen 87
 Türmann 21

U

Überstunden 24
 Umformen 77, 78
 Umgebungsluft 107, 108, 109
 Umschlag von Strangpech 80, 81
 Umwelt 20, 63, 79, 83, 91, 106, 107
 Unterbodenschutz 76, 79, 80

V

Validitätskategorie 30, 31, 32
 Verbaukolonne 71
 Verdichter 42, 44
 Vergussmassen 39, 48, 64, 65
 Verkürzte Exposition 25
 Verladen von Eisenbahnwaggons auf Binnenschiffe 82
 Verlängerte Exposition 26
 Verschnittbitumen 40, 43, 50

W

Walzenfahrer 42, 44, 45
 Walzen und Schmieden 73, 75
 Walzwerke 73, 74, 77
 Walzwerken 73, 76
 Worst Case 26, 49

10 Abkürzungsverzeichnis

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
BaP	Benzo[a]pyren
BaP-Jahre	Benzo[a]pyren-Dosis
BG	Bestimmungsgrenze
BGBL	Bundesgesetzblatt
BHT	Braunkohlenhochtemperatur
BK	Berufskrankheit
BKV	Berufskrankheiten-Verordnung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BSG	Bundessozialgericht
ChemVerbotsV	Chemikalien-Verbotsverordnung
CLP	Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures
CTPV	Coal tar pitch volatiles
DAD	Diodenarray-Detektion
DC	Dünnschichtchromatographie
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DME	Dieselmotoremissionen
ECD	Elektronen-Einfang-Detektion
E-Fraktion	einatembare Staubfraktion
EPA	United States Environmental Protection Agency
ERB	Exposition-Risiko-Beziehung
FLD	Fluoreszenz-Detektion
GC	Gaschromatographie
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
IARC	International Agency for Research on Cancer
KSS	Kühlschmierstoffe
MEGA	Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz
MGU	Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger
n. b.	nicht bestimmbar
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
SFE	Supercritical Fluid Extraction

TeeröIV	Verordnung zur Beschränkung des Herstellers, des Inverkehrbringens und der Verwendung von Teerölen zum Holzschutz
TGL	Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
TRK	Technische Richtkonzentration
TWA	Time Weighted Average Threshold Limit Value
UVT	Unfallversicherungsträger
VbgBK	Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten
VK	Validitätskategorie
VW	Verursachungswahrscheinlichkeit

11 Autorinnen und Autoren

Dr. Stefan Auras
Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik

Kathleen Barduna
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

Dr. Jürgen Fauss
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe

Dr. Carsten Fritz
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Christine Guba
Berufsgenossenschaft Verkehr

Dr. Michael Heger
Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Saarbrücken

Birgit Heinrich
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Ludger Hohenberger
Unfallkasse Nordrhein-Westfalen

Dr. Antje Isringhausen
Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Dr. Uwe Kern
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Dr. Andreas Kleineweischede
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft

Dr. Katrin Moeller
Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Volker Neumann
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Dr. Wolfgang Pflaumbaum
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Dr. Daniela Pucknat
Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Dr. Christina Spassova
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Elfi Teich
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

Rainer Van Gelder
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Dr. Tobias Weiß
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA)

Dr. Berndt Zier
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse

Weitere Autoren früherer Auflagen:

Dr. Reinhold Rühl
Dr. Thorsten Reinecke
Heinz Assenmacher-Maiworm
Prof. Dr. Helmut Blome
Otto Blome
Wolfgang Bock
Margret Böckler
Dr. Dirk Dahmann
Dr. Michael Fehlauer
Dr. Ulrich Goergens
Dr. Claus-Dietrich Grimm
Stefan Gabriel
Dr. Karlheinz Guldner
Dr. Jens-Uwe Hahn
Dr. Andreas Hammel
Dr. Günter Klein
Kurt Kolmsee
Dr. Peter Kredel
Dr. Norbert Lichtenstein
Dr. Wolfgang Marschner
Harald Metge
Dr. Jörg Otto
Karin Praefke
Rüdiger Schmidt
Dr. Jürgen Schürmann
Günter Sonnenschein
Dr. Roger Stamm
Margret Stückrath
Klaus-Eckart Sinner
Dr. Heino Slupinski
Adolf Tigler
Dr. Matthias Weigl
Dr. Valerie Wilms
Dr. Wolfgang Woeste
Gerd Zoubek

Anhang 1: Messverfahren

Unter der Stoffgruppe der PAK versteht man aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen aus kondensierten Ringsystemen. Im Gegensatz zu zwei- bis vierkernigen Vertretern der Stoffklasse, die in der Luft am Arbeitsplatz überwiegend dampfförmig anzutreffen sind, liegen schwerer flüchtige PAK ab fünf Ringsystemen fast ausschließlich partikulär vor. Das vergleichsweise leicht analysierbare BaP dient seit langem als Indikatormittel für PAK-Gemische. Hier gibt es relativ viele Messwerte und die Erfahrung der vergangenen Jahre hat gezeigt, dass die Höhe der BaP-Konzentration als ungefähre Maßstab für die kanzerogene Potenz eines PAK-Gemisches herangezogen werden kann.

Zur Messung von PAK in der Luft an Arbeitsplätzen steht eine Reihe von Analysenverfahren zur Verfügung. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über diese Methoden gegeben, deren Messergebnisse in eine Fülle von Publikationen eingeflossen sind. Dabei entsprechen nicht mehr alle erwähnten Verfahren dem Stand der Technik. Für die differenzierende Bestimmung einzelner PAK werden heute überwiegend hochauflösende Trennverfahren wie die Gaschromatographie gekoppelt mit einem massenselektiven Detektor (GC-MS) oder die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit Diodenarray- oder Fluoreszenzdetektion (HPLC-DAD bzw. HPLC-FLD) angewendet.

In der Regel wird heute nicht mehr BaP allein, sondern eine breite Palette von PAK quantifiziert, z. B. die 16 PAK nach EPA [1]. Die PAK aus der EPA-Liste gelten als „Priority Pollutants“ für den Umweltbereich und werden stellvertretend für die ganze Stoffgruppe analysiert. Naturgemäß ist die Zusammenstellung nicht repräsentativ für den Bereich des Arbeitsschutzes, so dass seit einigen Jahren auch andere Listen diskutiert werden, deren Zusammenstellung stärker Aspekten wie Kanzerogenität, Mutagenität und Reproduktionstoxizität Rechnung tragen [2].

1 Probenahmeverfahren

BaP, das in der Luft in Arbeitsbereichen nahezu vollständig partikelförmig oder an Partikeln adsorbiert vorliegt, wird seit Anfang der 1950er-Jahre analysiert. Bei den ersten Messungen wurden großflächige Papierfilter eingesetzt [3 bis 5]. Ab den 1960er-Jahren wurden überwiegend Glasfaserfilter für die Probenahme von BaP und für andere partikuläre oder an Partikeln gebundene PAK benutzt [6 bis 9]. Seit den 1990er-Jahren kommen zunehmend Filter aus Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon) und teflonisierte Glasfaserfilter zum Einsatz [10 bis 12].

Die Probenahme sollte nach der Definition für die E-Fraktion erfolgen. Um die zur Überwachung der Akzeptanzkonzentration von BaP notwendige Empfindlichkeit des Messverfahrens zu gewährleisten, sind hohe Luftvolumina bei der Probenahme notwendig. In der Regel genügen Bestimmungsverfahren, bei denen die Dampfphase unberücksichtigt bleibt, um kanzerogen relevante PAK zu erfassen. Soll auf eine Erfassung des Dampfanteils der PAK nicht verzichtet werden, muss hinter den Partikelfilter ein Adsorbens geschaltet sein. Die ursprüngliche Methode, eine gekühlte Waschflasche mit Ethanol zu benutzen [13; 14], war störanfällig und schwierig zu handhaben. Deshalb hat sich XAD-2 als festes Adsorptionsmittel durchgesetzt [10 bis 12; 15; 16]. Bei Probenahmen mit Kombinationsprobenträger begrenzen geringere Luftdurchsätze allerdings die Empfindlichkeit des Messverfahrens.

Für die Bestimmung der BaP-Gehalte in der Luft am Arbeitsplatz wurden in den USA und in Kanada häufig Probenahmesysteme verwendet, die als sogenannte „total dust sampler“ nicht die Anforderungen der Norm DIN EN 481 erfüllen. In Deutschland sind hingegen Probenahmesysteme gebräuchlich, die im Bereich geringer und mittlerer Umgebungsluftgeschwindigkeiten der DIN EN 481 gehorchen. *Notø* [17] berichtet in diesem Zusammenhang, dass mit „total dust sampler“ deutlich niedrigere BaP-Konzentrationen gefunden werden. Dieser Befund konnte durch vergleichende Messungen mit beiden Systemen, die das IFA durchführte, nicht bestätigt werden.

2 Probenaufbereitung

BaP und andere PAK werden mit einem Lösemittel vom Filter und gegebenenfalls zusätzlich vom Adsorptionsmittel extrahiert. Abhängig von Probenmatrix und Analysenverfahren schließt sich eine Probenaufarbeitung zur Reinigung und Anreicherung an.

2.1 Extraktion

Es kommen verschiedene Verfahren, wie die Soxhlet-Extraktion oder die Extraktion unterstützt mit Ultraschall, zum Einsatz [9 bis 12; 15; 18; 19]. Während früher auch Benzol als Lösemittel verwendet wurde [12], kommen heute z. B. Toluol, Cyclohexan und Dichlormethan oder Lösemittelgemische, z. B. Acetonitril/Methanol, in Betracht [15; 16; 18, 20]. Das geeignete Lösemittel ist abhängig von der Zusammensetzung der Probe und muss für jede Matrix experimentell bestimmt werden. Seit den 1990er-Jahren werden auch zunehmend neuere Verfahren der Extraktion mit superkritischen Fluiden (SFE) wie Kohlendioxid eingesetzt [21].

2.2 Anreicherung und Reinigung

Abhängig von der Zusammensetzung der Probe und dem angewandten Analysenverfahren sind Anreicherung und Reinigung der Probe notwendig. Die einfachsten Schritte hierbei sind Einengen und Filtration. Neben der Filtration wird auch die Reinigung z. B. über eine Kieselgel- oder eine Sephadex-LH-20-Säule angewandt [9]. Beide Verfahren können auch nacheinander durchgeführt werden. Die Flüssig/Flüssig-Verteilung, z. B. im System Dimethylformamid/Wasser, ist ebenfalls eine bewährte Methode zur Reinigung [13]. Bei allen Aufarbeitungsschritten ist die Wiederfindungsrate zu bestimmen.

3 Analysenverfahren

BaP und andere PAK werden mithilfe chromatographischer Analysenverfahren bestimmt. Während bei den ersten Messungen hierfür die Säulenchromatographie oder die Papierchromatographie eingesetzt wurde, kamen seit den 1960er-Jahren die Dünnschichtchromatographie und seit den 1970er-Jahren zunehmend leistungsstarke gaschromatographische und flüssigchromatographische Analysensysteme zum Einsatz. Heute haben sich je nach Aufgabenstellung GC-MS-Verfahren oder HPLC-Verfahren mit verschiedenen Detektoren durchgesetzt [15; 16; 18].

3.1 Dünnschichtchromatographie

Die Probe wird auf einer Celluloseacetat-Platte mit verschiedenen Laufmitteln zweidimensional getrennt [8; 9; 22]. BaP wird fluoreszenzspektroskopisch entweder direkt mit einem Scanner oder nach Extraktion des abgeschabten Fleckes bestimmt. Die BG betragen bei der direkten Bestimmung ca. $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bei der Bestimmung nach Extraktion des Fleckes ca. $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [9].⁴ Der Vorteil des dünn-schichtchromatographischen Verfahrens liegt darin, dass bei den meisten Proben keine Vorreinigungsschritte notwendig sind. Der Nachteil des Verfahrens ist seine geringe Spezifität. Neben BaP können andere PAK nicht oder nur mit eingeschränkter Aussagekraft bestimmt werden.

3.2 Hochauflösende chromatographische Trennverfahren

Der Vorteil hochauflösender chromatographischer Verfahren besteht darin, neben BaP eine ganze Reihe weiterer PAK bestimmen zu können. Bei Einsatz eines Kombinationsprobenträgers aus Partikelfilter und Adsorbens werden auch die dampfförmigen Vertreter der Stoffklasse erfasst. Je nach Wahl des Detektors werden sehr niedrige BG für BaP erreicht. In Abhängigkeit von der Probenmatrix ist jedoch unter Umständen eine Vorreinigung notwendig, die höhere BG zur Folge haben kann.

3.2.1 Gaschromatographie

Die Probe wird auf einer Kapillarsäule mit einem Temperaturprogramm getrennt [9; 12; 16; 23]. BaP und andere PAK wurden zunächst mittels Flammenionisation (FID) detektiert [9; 12; 20]. Die BG für BaP beträgt bei CC-FID Analyse ca. $0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹ bzw. ca. $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁵ [9]. In den letzten Jahren hat sich zunehmend das Massenspektrometer als Detektor durchgesetzt [16; 23]. Dieses ist in Abhängigkeit vom Detektionsmodus deutlich nachweisstärker als ein Flammenionisationsdetektor, wodurch sich die BG von BaP erheblich erniedrigen lässt, sie liegt z. B. bei ca. $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁶ [16].

3.2.2 Hochleistungsflüssigkeitschromatographie

Die Probe wird auf einer Reversed-Phase-Säule isokratisch oder mit einem Gradientenprogramm getrennt. BaP und andere PAK werden mit einem UV-Detektor bzw. DAD oder einem FLD bestimmt [9; 11; 15; 18; 24]. Mit einem DAD lässt sich eine Reinheitskontrolle der Peaks mithilfe der Darstellung der UV-Spektren durchführen. Wird statt des UV-Detektors oder DAD ein FLD eingesetzt, so kann die BG für BaP weiter erniedrigt werden, sie liegt dann bei ca. $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁷ [18].

4 Die BG beziehen sich auf eine zweistündige Probenahme mit dem stationären Staubsammelgerät VC 25 G; bei einer Ansaugrate von $22,5 \text{ m}^3/\text{h}$ entspricht dies einem Probeluftvolumen von 45 m^3 . Das Gerät erlaubt nur die Anreicherung schwer flüchtiger PAK und wird heute nicht mehr eingesetzt.

5 Die BG bezieht sich auf eine zweistündige Probenahme mit einer für einen Volumenstrom von $3,5 \text{ L}/\text{min}$ geeigneten, durchflussstabilisierten Pumpe mit dem Staubsammelgerät GSP und Sammlung auf einem PTFE-Filter. Dies entspricht einem Probeluftvolumen von $0,42 \text{ m}^3$. Bestimmt werden nur schwerflüchtige PAK.

6 Die BG bezieht sich auf eine sechsstündige Probenahme mit einer für einen Volumenstrom von $1 \text{ L}/\text{min}$ geeigneten, durchflussstabilisierten Pumpe mit XAD-2-Adsorbstionsröhrchen. Dies entspricht einem Probeluftvolumen von $0,36 \text{ m}^3$.

7 Die BG bezieht sich auf eine zweistündige Probenahme mit einer für einen Volumenstrom von $10 \text{ L}/\text{min}$ geeigneten, durchflussstabilisierten Pumpe mit dem Staubsammelgerät GSP-10 und Sammlung auf einem PTFE-Filter. Dies entspricht einem Probeluftvolumen von $1,2 \text{ m}^3$. Bestimmt werden nur schwerflüchtige PAK.

4 Messverfahren für Coal Tar Pitch Volatiles

Außerhalb Deutschlands (insbesondere in den USA und Kanada) erfolgte früher die Beurteilung der PAK-Exposition durch die Bestimmung der Coal Tar Pitch Volatiles (CTPV). Das einfache gravimetrische Verfahren erfasste neben den PAK alle in Benzol oder Cyclohexan löslichen Anteile der einatembaren Staubfraktion (Gesamtstaub). Die Gesamtstaubprobenahme erfolgte mit Filtern, wobei die OSHA-Methode [25] die Verwendung von Glasfaserfiltern vorschreibt, während bei der NIOSH-Methode [26] PTFE-Filter eingesetzt werden. Nach der Probenahme wurde das Filter nach OSHA mit Benzol geschüttelt und anschließend filtriert. Nach NIOSH wurde das Filter mit Benzol oder Cyclohexan im Ultraschall extrahiert. Abschließend wurde der Extrakt filtriert, ein Aliquot im Vakuumofen getrocknet und der Rückstand gewogen.

In einer Studie konnte das IFA für verschiedene Arbeitsbereiche BaP-Anteile am CTPV zwischen 0,7 bis 1 % ermitteln [27]. In den 1990er Jahren wurden auch in den USA und Kanada hochauflösende gas- und flüssigchromatographische Trennverfahren zur Bestimmung von PAK eingeführt [11; 12].

Literatur

- [1] Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Compendium Method TO-13A. Hrsg.: Environmental Protection Agency (EPA) of the United States of America, Cincinnati, Ohio, USA (1999)
- [2] Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Spielzeug. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 051/2009 des BfR vom 14. Oktober 2009, Abschnitt 3.1.3 „Exposition“. Hrsg.: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin
- [3] *Tanimura, H.; Kitakyushu, B. S.:* BaP in iron and steel works. Arch. Environm. Health 17 (1968), S. 172-177
- [4] *Ketchan, N. H.; Norton, R. W.:* The hazards to health in the hydrogenation of coal; III The industrial hygiene studies. Arch. Environm. Health 1 (1960), S. 194-207
- [5] *Kreyberg, I.:* 3,4-Benzopyrene in industrial air pollution: some reflections. Br. J. Cancer 13 (1959), S. 618-622
- [6] *Jackson, J. O.; Warner, P. O.; Mooney, T. F.:* Profiles of BaP and coal tar volatiles in the immediate vicinity of a coke oven battery. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 5 (1974), S. 276-281
- [7] *Lawther, P. J.; Commins, B. T.:* A study of the concentrations of PAH in gas work retort houses. Brit. J. Ind. Med. 22 (1965), S. 13-20
- [8] *Blome, H.:* Benzo[a]pyren – Methode 1. In: *Greim, H.* (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd. 1. Luftanalysen. Juni 1982. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim Wiley-VCH (Losebl.-Ausg.)
- [9] Berufsgenossenschaftliche Information: Verfahren zur Bestimmung von Benzo[a]pyren und anderen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) (ZH 1/120.25). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 1989
- [10] *Wolff, M. S.; Herbert, R.; Marcus, M.:* PAH residues on skin in relation to air levels among roofers. Arch. Environm. Health 44 (1989), S. 157-163

- [11] Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by HPLC. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4th ed. Method 5506. Hrsg.: Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, USA 1998
- [12] Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by GC. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4th ed. Method 5515. Hrsg.: Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, USA 1994
- [13] Bjorseth, A.; Fjeldstad, P. E.: PAH in the work atmosphere, II. Determination in a coke plant. *Scand. J. Work. Environm. Health* 4 (1978), S. 224-236
- [14] Bjorseth, A.; Fjeldstad, P. E.: PAH in the work atmosphere, I. Determination in a aluminium plant. *Scand. J. Work. Environm. Health* 4 (1978), S. 212-223
- [15] Hahn, J. U.; Assenmacher-Maiworm, H.: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) – Methode 2. In: Greim, H. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd.1. Luftanalysen. 13. Lfg. 2003. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim, Wiley-VCH (Losebl.-Ausg.)
- [16] Meyer zu Reckendorf, R.: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) – Methode 3. In: Greim, H. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd. 1. Luftanalysen. 13. Lfg 2003. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim Wiley-VCH (Losebl.-Ausg.)
- [17] Notø, H.; Halgard, K.; Daae, H. L.; Bentsen, R. K.; Eduard, W.: Comparative study of an inhalable and total dust sampler for personal sampling of dust and polycyclic aromatic hydrocarbons in the gas and particulate phase. *Analyst* 121 (1996) Nr. 9, S. 1191-1196
- [18] Assenmacher-Maiworm A., Hahn J.-U, Heinrich B., Schuh C., Hebisch R., Hartwig A.: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), schwerer flüchtige – Methode zur Bestimmung schwerer flüchtiger PAH in der Luft am Arbeitsplatz mittels Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) – Methode 2. In: Greim, H. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd.1. Luftanalysen. 13. Lfg. 2017. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim, Wiley Online Library
- [19] Andersson, K.; Levin, J. O.; Nilsson, C. A.: Sampling and analyses of particulate and gaseous aromatic hydrocarbons from coal tar sources in the working environment. *Chemosphere* 12 (1983) Nr. 2, S. 197-207
- [20] Grimmer, G.: Qualitätssicherung bei der Probenahme von Stoffen am Beispiel der PAK. *Staub – Reinhalt. Luft* 48 (1988) Nr. 11, S. 401-404
- [21] Schwedt, G.; Enders, B.: Super-fluid-Extraktion am Beispiel PAK-kontaminierter Böden. *Umwelt-Magazin* 2 (1993), S. 92-94
- [22] Schimberg, W.; Skyttä, E.; Falck, K.: Belastung von Eisengießereiarbeitern durch mutagene polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. *Staub* 41 (1981) Nr. 11, S. 421-424
- [23] Petry, T., Schmid, P., Schlatter, C.: Exposure of PAH in two different Silicon Carbide plants. *Ann. Occup. Hyg.* 38 (1994) Nr. 5, S. 741-752
- [24] Katschani, D. T.; Brauns, A.: Bestimmung von PAH's in Kraftfahrzeugabgasen durch HPLC, Teil 2. *GIT Spezial, Chromatographie* (1991) Nr. 2, S. 66-76
- [25] Coal Tar Pitch Volatiles (CTPV) – Coke Oven Emissions (COE) – Selected Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs). In: OSHA Sampling & Analytical Methods. Method 58. Hrsg.: American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati
- [26] Coal Tar Pitch Volatiles. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4th ed. Method 5023. Hrsg.: Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, USA 1993
- [27] Hahn, J.-U.; Assenmacher-Maiworm, H.: Beurteilung von Arbeitsplätzen auf der Basis von CTPV und Benzo[a]pyren beim Umgang mit Pyrolyseprodukten aus organischem Material. *Staub – Reinhalt. Luft.* 55 (1995) Nr. 12, S. 441-444

Anhang 2: BaP – Vorkommen in der Umwelt

BaP entsteht zusammen mit anderen PAK bei der unvollständigen Verbrennung nahezu aller organischer Stoffe, sodass Gebäudeheizungen, industrielle Feuerungsanlagen, Brände (z. B. von Wohngebäuden und Vegetation) oder Verbrennungsmotoren als potenzielle Emissionsquellen infrage kommen. Auch beim Tabakrauchen werden PAK freigesetzt. Tabakrauch als hochkomplexes Stoffgemisch enthält darüber hinaus weitere krebserzeugende Substanzen wie insbesondere Nitrosamine und aromatische Amine. In Deutschland gab es in den 2000er-Jahren mehrere Untersuchungen in mit Tabakrauch belasteten Bereichen wie Diskotheken, Bars oder Gaststätten [1; 2]. In der Luft bayerischer Gaststätten lagen die Messwerte von BaP bei maximal 12 ng/m^3 ($0,012 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) [1]. Unter besonderen Umständen können diese Werte z. T. auch überschritten werden (siehe Abschnitt 7.11.2).

Darüber hinaus können PAK auch beim Grillen, Kochen oder Räuchern entstehen. Ebenso ist die Bildung biogener PAK durch Mikroorganismen, Pilze, Pflanzen und Tiere möglich. Es gibt also auch eine allgemeine PAK-Belastung der Umwelt (Boden, Wasser, Luft). Die Höhe der ubiquitären Belastung durch die Umgebungsluft in Deutschland kann mittels Messdaten von PAK-Messstellen bewertet werden. Für den Zeitraum 1968 bis 1990 sind in **Tabelle 51** einige typische BaP-Jahresmittelwerte angegeben [3].

Für die Jahre 1996 bis 2001 ergaben Messungen folgende, nach Stationskategorien untergliederte PAK-Emissionen: In ländlichen Gebieten lagen die Hintergrundbelastungen bei BaP-Jahresmittelwerten zwischen $0,1$ und 1 ng/m^3 ($0,0001$ bis $0,001 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). In vorstädtischen und städtischen Gebieten lagen die Emissionen zwischen $0,5$ und 3 ng/m^3 ($0,0005$ bis $0,003 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), wobei hier die höheren Konzentrationen an verkehrsintensiven Standorten ermittelt wurden. In der näheren Umgebung bestimmter Industrieanlagen wurden bis zu 30 ng/m^3 ($0,03 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)

BaP gemessen. Insgesamt konnte von Anfang bis Ende des Datenzeitraumes für alle betrachteten Stationskategorien ein deutliches Absinken der Jahresmittelwerte festgestellt werden. Messungen in den Wintermonaten ergaben – bedingt durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe während der Heizperiode – deutlich höhere Konzentrationen als im Sommer. Dieser Jahresgang der BaP-Belastung konnte für alle Stationskategorien festgestellt werden, die Wintermonatsmittel (November bis Februar) lagen bis zu einem Faktor 20 über denen der Sommermonate (Juni bis August) [4].

Seit Dezember 2004 wurde mit der 4. Tochterrichtlinie (Richtlinie 2004/107/EG) zur Rahmenrichtlinie 96/62/EG als Zielwert ein Gehalt von 1 ng/m^3 ($0,001 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) für BaP in der PM₁₀-Fraktion als Durchschnittswert eines Kalenderjahres festgelegt, der seit dem 31. Dezember 2012 möglichst einzuhalten ist. In **Tabelle 52** sind für die Jahre 2007, 2013 und 2019 die BaP-Jahresmittelwerte von Messstellen in Deutschland bezogen auf verschiedene Stationskategorien aufgelistet [5]. Diese Werte weisen überwiegend die Einhaltung der Richtlinie 2004/107/EG nach; Überschreitungen des Zielwertes von 1 ng/m^3 ($0,001 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) werden nur äußerst vereinzelt gemessen und treten dann hauptsächlich an städtischen Messstellen mit industriell geprägter Umgebung auf.

Hauptquelle für eine ubiquitäre Belastung von Mensch und Tier durch PAK ist jedoch nicht die inhalative, sondern die orale Aufnahme. PAK können in zahlreichen Lebensmitteln pflanzlicher Natur (z. B. in Gemüse, Obst, Salat, pflanzlichen Fetten und Ölen) nachgewiesen und auch über gebratene und geräucherte Lebensmittel, gerösteten Kaffee, Toastbrot oder Kartoffelchips aufgenommen werden. Insgesamt liegt die tägliche Pro-Kopf-Aufnahme über die Nahrung zwischen 200 und 500 ng ($0,2$ und $0,5 \text{ } \mu\text{g}$) BaP [6].

Tabelle 51:
Belastung der Umgebungsluft durch BaP, Jahresmittelwerte [3]

Stationskategorie/Ort	Jahr	BaP-Konzentration (Mittelwert)	
		ng/m ³	µg/m ³
ländliche Gebiete	ca. 1985	1 bis 2	0,001 bis 0,002
Ballungsgebiete	ca. 1985	5 bis 12	0,005 bis 0,012
Emittenten-Nahbereiche	ca. 1985	5 bis 30	0,005 bis 0,03
quellferne Gebiete	1984	0,5 bis 1	0,0005 bis 0,001
Frankfurt am Main, Innenstadt – Rand	1980	2	0,002
Westberlin, Stadtluft	1982/1983	8,3	0,0083
Ostberlin, Stadtluft, Straßenverkehr	1968 bis 1971	19	0,019
Ruhrgebiet	1981	3,2	0,0032
Ruhrgebiet, Stadt, wenig belastet	1981	1,1	0,0011
Essen-Bredeney, Villenviertel, Öl-Hausbrand, KFZ-Verkehr	1978/1979	5,6	0,0056
Essen-Vogelheim, Bergwerkssiedlung, Kohle-Hausbrand, KFZ-Verkehr	1978/1979	14,5	0,0145
Essen-Katernberg, nahe Kokerei, KFZ-Verkehr	1978/1979	38	0,038
Ennepetal, dörflich, wenig belastet	1978/1979	1,8	0,0018
Feldberg, unbelastet	1989/1990	0,35	0,00035

Literatur

- [28] Bolte, G.; Heitmann, D.; Kiranoglu, M.; Schierl, R.; Diemer, J.; Koerner, W.; Fromme, H.: Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques, J. Expo. Sci. Environm. Epidemiol. 18 (2008) Nr. 3, S. 262-271
- [29] Hüner, H.; Andrejs, B.; Dannenbaum, C.; Rietschel, P.; Schuh, C.; Weigl, M.: BGN-Studie zur Messung der ETS-Exposition in gastronomischen Betrieben. In: Grieshaber, R.; Stadeler, M.; Scholle, H.-C.: Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen (14. Erfurter Tage). S 147-157. Busert und Stadeler, Jena 2008
- [30] Rippen, G.: Handbuch Umweltchemikalien. 20. Erg.-Lfg. 7/93. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech 1993
- [31] Ihle, P.; Fritsche, B.: Erfassung der Luftbelastung durch Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in der Bundesrepublik Deutschland anhand von Messdaten. UBA-Forschungsbericht 20 04 22 66, S. 65-66, S. 69-71. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2003
- [32] Aktuelle Luftdaten, Luftschadstoff: Benzo(a)pyren im Feinstaub (BaP), Jahresbilanzen 2007, 2013, 2019. Hrsg.: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen/ejxrWpScv9B8UWXqEiMDA3MAMOYFvA==> (abgerufen Juni 2021)
- [33] Classen, H. G.; Elias, P. S.; Hammes, W. P.; Winter, M.: Toxikologisch-hygienische Beurteilung von Lebensmittelinhaltsstoffen und Zusatzstoffen, S. 214-215, B. Behr's Verlag, Hamburg 2001

Tabelle 52:

Belastung der Umgebungsluft durch BaP, Jahresmittelwerte 2007, 2013 und 2019 [5]

Stationskategorie	Jahr	Anzahl Werte	BaP-Konzentration					
			Minimum in		Maximum in		Mittelwert in	
			ng/m ³	µg/m ³	ng/m ³	µg/m ³	ng/m ³	µg/m ³
Hintergrundbelastung ländliche Gebiete	2007	14	0,04	0,00004	0,61	0,00061	0,17	0,00017
	2013	14	0,02	0,00002	0,59	0,00059	0,15	0,00015
	2019	13	0,01	0,00001	0,34	0,00034	0,11	0,00011
Hintergrundbelastung vorstädtische Gebiete	2007	6	0,16	0,00016	0,64	0,00064	0,32	0,00032
	2013	11	0,16	0,00016	1,3	0,0013	0,41	0,00041
	2019	13	0,09	0,00009	0,74	0,00074	0,25	0,00025
Hintergrundbelastung städtische Gebiete	2007	15	0,20	0,00020	0,69	0,00069	0,38	0,00038
	2013	22	0,08	0,00008	0,55	0,00055	0,26	0,00026
	2019	22	0,10	0,00010	0,66	0,00066	0,21	0,00021
Industrie ländliche Gebiete	2007	2	0,20	0,00020	0,64	0,00064	0,42	0,00042
	2013	2	0,14	0,00014	0,35	0,00035	0,25	0,00025
	2019	2	0,10	0,00010	0,52	0,00052	0,31	0,00031
Industrie vorstädtische Gebiete	2007	6	0,17	0,00017	0,32	0,00032	0,25	0,00025
	2013	3	0,14	0,00014	0,33	0,00033	0,20	0,00020
	2019	6	0,10	0,00010	0,48	0,00048	0,19	0,00019
Industrie städtische Gebiete	2007	4	0,25	0,00025	1,6	0,0016	0,62	0,00062
	2013	8	0,10	0,00010	1,2	0,0012	0,32	0,00032
	2019	4	0,23	0,00023	2,2	0,0022	0,77	0,00077
Verkehr ländliche Gebiete	2007	-	-	-	-	-	-	-
	2013	1	1,3*	0,0013*	1,3*	0,0013*	1,3*	0,0013*
	2019	-	-	-	-	-	-	-
Verkehr vorstädtische Gebiete	2007	-	-	-	-	-	-	-
	2013	6	0,52	0,00052	0,87	0,00087	0,71	0,00071
	2019	2	0,37	0,00037	0,42	0,00042	0,40	0,00040
Verkehr städtische Gebiete	2007	46	0,17	0,00017	0,97	0,00097	0,45	0,00045
	2013	50	0,15	0,00015	1,2	0,0012	0,41	0,00041
	2019	48	0,09	0,00009	0,69	0,00069	0,26	0,00026

* einzelner Jahresmittelwert, Verkehr ländlich, stadtnahes Gebiet

Anhang 3: Tabelle aus Anlage 2 der Zweiten Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung

BK-Nr.4114, Verursachungswahrscheinlichkeit in Prozent (gerundet)

BaP Jahre	Asbestfaserjahre											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	4	7	11	14	17	19	22	24	26	29	31
1	1	5	8	12	15	17	20	22	25	27	29	31
2	2	6	9	12	15	18	21	23	25	28	30	32
3	3	7	10	13	16	19	21	24	26	28	30	32
4	4	7	11	14	17	19	22	24	26	29	31	32
5	5	8	12	15	17	20	22	25	27	29	31	33
6	6	9	12	15	18	21	23	25	28	30	32	33
7	7	10	13	16	19	21	24	26	28	30	32	34
8	7	11	14	17	19	22	24	26	29	31	32	34
9	8	12	15	17	20	22	25	27	29	31	33	35
10	9	12	15	18	21	23	25	28	30	32	33	35
11	10	13	16	19	21	24	26	28	30	32	34	35
12	11	14	17	19	22	24	26	29	31	32	34	36
13	12	15	17	20	22	25	27	29	31	33	35	36
14	12	15	18	21	23	25	28	30	32	33	35	37
15	13	16	19	21	24	26	28	30	32	34	35	37
16	14	17	19	22	24	26	29	31	32	34	36	38
17	15	17	20	22	25	27	29	31	33	35	36	38
18	15	18	21	23	25	28	30	32	33	35	37	38
19	16	19	21	24	26	28	30	32	34	35	37	39
20	17	19	22	24	26	29	31	32	34	36	38	39
21	17	20	22	25	27	29	31	33	35	36	38	39
22	18	21	23	25	28	30	32	33	35	37	38	40
23	19	21	24	26	28	30	32	34	35	37	39	40
24	19	22	24	26	29	31	32	34	36	38	39	40
25	20	22	25	27	29	31	33	35	36	38	39	41
26	21	23	25	28	30	32	33	35	37	38	40	41

Asbestfaserjahre													
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
32	34	36	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50
33	35	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50
33	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50
34	35	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51
34	36	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51
35	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51
35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51
35	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52
36	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52
36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52
37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53
38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53
38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53
39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54
39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54
40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55
42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55
42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56

BaP Jahre	Asbestfaserjahre											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	21	24	26	28	30	32	34	35	37	39	40	42
28	22	24	26	29	31	32	34	36	38	39	40	42
29	22	25	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42
30	23	25	28	30	32	33	35	37	38	40	41	43
31	24	26	28	30	32	34	35	37	39	40	42	43
32	24	26	29	31	32	34	36	38	39	40	42	43
33	25	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42	44
34	25	28	30	32	33	35	37	38	40	41	43	44
35	26	28	30	32	34	35	37	39	40	42	43	44
36	26	29	31	32	34	36	38	39	40	42	43	44
37	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42	44	45
38	28	30	32	33	35	37	38	40	41	43	44	45
39	28	30	32	34	35	37	39	40	42	43	44	45
40	29	31	32	34	36	38	39	40	42	43	44	46
41	29	31	33	35	36	38	39	41	42	44	45	46
42	30	32	33	35	37	38	40	41	43	44	45	46
43	30	32	34	35	37	39	40	42	43	44	45	47
44	31	32	34	36	38	39	40	42	43	44	46	47
45	31	33	35	36	38	39	41	42	44	45	46	47
46	32	33	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47
47	32	34	35	37	39	40	42	43	44	45	47	48
48	32	34	36	38	39	40	42	43	44	46	47	48
49	33	35	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48
50	33	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48
51	34	35	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49
52	34	36	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49
53	35	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49
54	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49

Asbestfaserjahre													
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56
43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57
44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57
45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58
47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58
47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58
47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58	59
47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58	59
48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58	59
48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58	59
48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58	59	59
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58	59	59
49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58	59	60
49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58	59	60
49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58	59	59	60
49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58	59	59	60
50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58	59	60	60
50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58	59	60	60
50	51	52	53	54	55	56	56	57	58	59	59	60	60
50	51	52	53	54	55	56	57	57	58	59	59	60	61

BaP Jahre	Asbestfaserjahre											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
55	35	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
56	36	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50
57	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50
58	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50
59	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51
60	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51
61	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51
62	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51
63	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52
64	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52
65	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52
66	40	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
67	40	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53
68	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53
69	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
70	41	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
71	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53
72	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54
73	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
74	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
75	43	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54
76	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
77	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
78	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
79	44	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55
80	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55
81	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
82	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56

Asbestfaserjahre													
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
51	52	53	53	54	55	56	57	57	58	59	60	60	61
51	52	53	54	55	55	56	57	58	58	59	60	60	61
51	52	53	54	55	56	56	57	58	59	59	60	60	61
51	52	53	54	55	56	57	57	58	59	59	60	61	61
52	53	53	54	55	56	57	57	58	59	60	60	61	61
52	53	54	55	55	56	57	58	58	59	60	60	61	62
52	53	54	55	56	56	57	58	59	59	60	60	61	62
52	53	54	55	56	57	57	58	59	59	60	61	61	62
53	53	54	55	56	57	57	58	59	60	60	61	61	62
53	54	55	55	56	57	58	58	59	60	60	61	62	62
53	54	55	56	56	57	58	59	59	60	60	61	62	62
53	54	55	56	57	57	58	59	59	60	61	61	62	62
53	54	55	56	57	57	58	59	60	60	61	61	62	63
54	55	55	56	57	58	58	59	60	60	61	62	62	63
54	55	56	56	57	58	59	59	60	60	61	62	62	63
54	55	56	57	57	58	59	59	60	61	61	62	62	63
54	55	56	57	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63
55	55	56	57	58	58	59	60	60	61	62	62	63	63
55	56	56	57	58	59	59	60	60	61	62	62	63	63
55	56	57	57	58	59	59	60	61	61	62	62	63	64
55	56	57	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64
55	56	57	58	58	59	60	60	61	62	62	63	63	64
56	56	57	58	59	59	60	60	61	62	62	63	63	64
56	57	57	58	59	59	60	61	61	62	62	63	64	64
56	57	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64
56	57	58	58	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64
56	57	58	59	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64
56	57	58	59	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64
57	57	58	59	59	60	61	61	62	62	63	64	64	65

BaP Jahre	Asbestfaserjahre											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
83	45	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56
84	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56
85	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56
86	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
87	47	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57
88	47	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57
89	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57
90	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57
91	48	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57
92	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58
93	48	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58
94	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58
95	49	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58
96	49	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58
97	49	50	51	52	53	54	55	56	56	57	58	59
98	49	50	51	52	53	54	55	56	57	57	58	59
99	50	51	52	53	53	54	55	56	57	57	58	59
100	50	51	52	53	54	55	55	56	57	58	58	59

Asbestfaserjahre													
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
57	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65
57	58	58	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65
57	58	59	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65
57	58	59	59	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65
57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65
58	58	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65
58	59	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65
58	59	59	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66
58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65	66
58	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66
59	59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66
59	59	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66
59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65	66	66
59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66
59	60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66
59	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	66
60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67
60	60	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67

Anhang 4: Auszug aus der Vereinbarung über die Zuständigkeit bei Berufskrankheiten (VbgBK) vom 1. April 1997 in der Fassung vom 1. Januar 1997 (Arbeitshinweise/Erläuterungen, Stand Oktober 2021)

§ 2 – Gefährdende Tätigkeit

Als gefährdende Tätigkeit im Sinne der Vereinbarung gelten alle Arbeiten in einem Unternehmen unter Einwirkungen/Bedingungen, die ihrer Art nach geeignet waren, die Berufskrankheit zu verursachen. Die Beurteilung erfolgt nach objektiven Kriterien entsprechend dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse

Arbeitshinweise:

1. Maßgeblich für die Annahme einer gefährdenden Tätigkeit im Sinne der Vereinbarung ist, dass im Arbeitsbereich der versicherten Person Einwirkungen bzw. Bedingungen vorhanden waren, die die Berufskrankheit hätten verursachen können.
2. Für den Nachweis von Art und Ausmaß der Einwirkung reichen allgemein-technische oder arbeitsmedizinische Erkenntnisse aus. Soweit Gefährdungskataster vorhanden sind, die für spezielle Tätigkeiten/Arbeitsbereiche Angaben über eine allgemein bestehende Berufskrankheitsgefährdung enthalten, soll bei Anwendung der Vereinbarung hierauf zurückgegriffen werden. Zur Beurteilung der Gefährdung sollen in besonders gelagerten Fällen gemeinsame örtliche Feststellungen durch die Aufsichtspersonen der beteiligten Unfallversicherungsträger erfolgen.
3. Der Annahme einer gefährdenden Tätigkeit kann insbesondere nicht entgegengehalten werden, dass
 - eine messtechnische Erfassung für den konkreten Arbeitsplatz nicht erfolgt ist,
 - persönliche Schutzausrüstungen (PSA) Art und Ausmaß der Einwirkung am konkreten Arbeitsplatz beeinflusst haben, es sei denn, es ist im Einzelfall die Wirksamkeit der PSA und/oder der (Schutz-) Kleidung und deren tatsächliche, richtige Nutzung nachgewiesen,
 - arbeitsmedizinische Vorsorge nicht durchgeführt wurde oder nicht durchzuführen war,
 - es nicht zu BK-typischen Krankheitserscheinungen während des Zeitraumes der Tätigkeit gekommen ist.

Erläuterungen:

1. Grundsätzliches zum Gefährdungsbegriff

- 1.1 Maßgebend bei der Betrachtung von gefährdenden Tätigkeiten nach der Vereinbarung sind ausschließlich nach dem SGB VII versicherte Tätigkeiten, d. h. dass Gefährdungszeiten ohne Versicherungsschutz (z. B. Selbstständige ohne freiwillige Versicherung) unberücksichtigt bleiben. Dies gilt auch für die seit 2015 über § 134 Abs. 2 SGB VII (vgl. 5. Änderungsgesetz zum SGB VII zum 15.04.2015) ermöglichte Berücksichtigung/Anrechnung unfallversicherungsrechtlich unversicherter Expositionen aus anderen Rechtskreisen, beispielsweise aus einem Beamtenverhältnis (DGUV-Rundschreiben 0176/2015 vom 27.04.2015).
- 1.2 Die Beurteilung der Gefährdung verlangt über die rein abstrakte Betrachtungsweise hinaus konkrete Anhaltspunkte dafür, dass schädigende Einwirkungen auch tatsächlich vorliegen, d. h. es kommt nicht auf Berufsbezeichnungen an, sondern auf die im Einzelnen verrichteten Tätigkeiten. Deren Berücksichtigungsfähigkeit bei der Zuständigkeitsbestimmung kann je nach Berufskrankheit an Grenzwertüberschreitungen festgemacht werden (siehe Punkt 2).
- 1.3 Für die Beurteilung einer gefährdenden Tätigkeit ist unerheblich - ob nach dem Ergebnis des Feststellungsverfahrens tatsächlich ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Einwirkung und Erkrankung besteht, - die Dauer der ausgeübten Tätigkeiten; hier greift nur die 3-Monats-Frist im Rahmen der Zuständigkeitsprüfung (§ 3 VbgBK).
- 1.4 Die sich aus der Zuständigkeitsvereinbarung ergebende alleinige Leistungsverpflichtung des zuständigen UVT erfordert eine Beurteilung der tatsächlichen Expositionsverhältnisse. Im Einzelfall ist der Präventionsdienst mit Ermittlungen vor Ort zu beauftragen oder um eine Einschätzung nach dem Gefährdungskataster zu bitten. Stellungnahmen der Aufsichtspersonen der für die Beschäftigung zuständigen UVT sind grundsätzlich zu akzeptieren. In begründeten Ausnahmefällen, z.B. bei widersprüchlichen Angaben zur Arbeitsanamnese, können gemeinsame

Ermittlungen der Aufsichtspersonen der beteiligten Träger vor Ort durchgeführt werden, um dadurch zu einer einheitlichen Beurteilungsgrundlage zu gelangen, die das Feststellungsverfahren beschleunigt.

- 1.5 Eine Addition von Gefährdungen, die in zwei oder mehreren Unternehmen im Zuständigkeitsbereich eines UVT oder im Rahmen nicht unmittelbar aneinander anschließender Beschäftigungsverhältnisse in demselben Unternehmen aufgetreten sind, erfolgt im Rahmen der Zuständigkeitsprüfung nicht. Als unmittelbar anschließend gilt auch, wenn das Beschäftigungsverhältnis durch Arbeitslosigkeit unterbrochen wurde.

6. BK-Nr. 1321

- 6.1 Ermittlung der Gefährdung von einer gefährdenden Tätigkeit im Sinne des § 2 VbgBK ist auszugehen, wenn versicherte Personen einer beruflichen Einwirkung mit einer kumulativen Dosis in Höhe von mindestens 8 [(µg BaP/m³) x Jahre] ausgesetzt waren.

6.2 Zuständigkeit des UVT

- 6.2.1 Zuständig ist der UVT, in dessen Mitgliedsbetrieb zuletzt vor der Meldung eine Belastung von einer kumulativen Dosis in Höhe von mindestens 8 [(µg BaP/m³) x Jahre] am Arbeitsplatz vorgelegen hat.
- 6.2.2 Wird eine kumulative Belastung von mindestens 8 [(µg BaP/m³) x Jahre] in keinem Beschäftigungsverhältnis erreicht, ist der UVT zuständig, in dessen Betrieb zuletzt eine die ubiquitäre Exposition übersteigende Einwirkung vorlag. Eine solche Einwirkung stellt auch eine reine dermale Exposition dar, bei der eine Dosisberechnung nicht möglich ist.
- 6.2.3 Ist eine Einwirkung in keiner Tätigkeit festzustellen, bleibt der erstangegangene UVT für die abschließende Bearbeitung zuständig

20. BK-Nr. 4113 und 4114

20.1 Ermittlung der Gefährdung

- 20.1.1 Von einer gefährdenden Tätigkeit im Sinne des § 2 VbgBK ist bei der BK-Nr. 4113 auszugehen, wenn eine PAK-Belastung von mindestens 10 BaP-Jahren vorgelegen hat. Es gelten die Ausführungen im jeweils aktuellen BK-Report „BaP-Jahre“.

- 20.1.2 Von einer gefährdenden Tätigkeit nach § 2 VbgBK ist bei der BK-Nr. 4114 auszugehen, wenn eine Verursachungswahrscheinlichkeit durch Asbest und PAK von 10 % nach der Tabelle zur BK-Nr. 4114 erreicht wird. Da die Tabelle nur volle Faser- und BaP-Jahre enthält, kann die Gefährdung auch nach folgender Summenformel ermittelt werden. Die Summe muss mindestens den Wert 0,1 ergeben (10 % der Verdopplungsdosis).

$$\Sigma = \frac{X \text{ AF-Jahre}}{25} + \frac{Y \text{ BaP-Jahre}}{100} \geq 1 \text{ oder } < 1$$

20.2 Zuständigkeit des UV-Trägers

- 20.2.1 Zuständig ist der UV-Träger, in dessen Zuständigkeitsbereich vor der Meldung zuletzt eine PAK-Belastung ab 10 BaP-Jahren (BK-Nr. 4113) oder eine Belastung durch Asbest und/oder PAK mit einer Verursachungswahrscheinlichkeit von mindestens 10 % (BK-Nr. 4114) vorgelegen hat.
- 20.2.2 Ist eine Belastung dieses Ausmaßes in keinem Beschäftigungsverhältnis festzustellen, ist der UV-Träger zuständig, in dessen Mitgliedsbetrieb zuletzt eine PAK-Belastung < 10 BaP-Jahren (BK-Nr. 4113) bzw. eine Belastung durch Asbest und/oder PAK mit einer Verursachungswahrscheinlichkeit < 10 % vorlag (BK-Nr. 4114).
- 20.2.3 Ist eine Einwirkung in keiner Tätigkeit festzustellen, bleibt der erstangegangene UV-Träger für die abschließende Bearbeitung zuständig.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de