

Emissionen aus Bitumen bei der Produktion und beim Schweißen von Bitumenbahnen

Reinhold Rühl und Uwe Musanke, BG BAU

Version 28. Oktober 2016

Bei der Produktion von Bitumenbahnen und beim Schweißen dieser Bahnen sind die Beschäftigten Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen ausgesetzt. Arbeitsplatzmessungen in Belgien, den Niederlanden und Luxemburg zeigen übereinstimmend sehr niedrige Expositionen, Messungen in vielen anderen europäischen Ländern bestätigen dies.

Einführung

Der Gesprächskreis BITUMEN führt seit vielen Jahren Arbeitsplatzmessungen beim Umgang mit heißem Bitumen in vielen europäischen Ländern durch. Nachdem bereits 2010/2011 in Belgien und den Niederlanden die Konzentrationen der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Produktion von Bitumenbahnen sowie beim Schweißen von Bitumenbahnen ermittelt wurden, erfolgten 2015 zwei weitere Messserien.

Der Gesprächskreis BITUMEN

Der Gesprächskreis BITUMEN initiiert und koordiniert seit 1997 umfassende Untersuchungen über Expositionen und mögliche Gefährdungen durch Dämpfe und Aerosole aus Bitumen sowie die notwendigen Schutzmaßnahmen. Im Gesprächskreis sind alle Institutionen und Verbände vertreten, die selbst oder deren Mitgliedsunternehmen für den Umgang mit Bitumen und bitumenhaltigen Materialien verantwortlich sind - Hersteller von Bitumen und Bitumenprodukten, Straßenbauer und Dachdecker, Gewerkschaften, Vertreter von Ministerien, Arbeitsschützer, Toxikologen sowie weitere Fachleute.



Damit ist die vollständige Bearbeitung der Thematik gewährleistet, zudem ist der Gesprächskreis BITUMEN der kompetente Ansprechpartner zu allen Fragen des Gesundheitsschutzes beim Umgang mit Bitumen und bitumenhaltigen Materialien. Seit vielen Jahren beteiligen sich Experten aus vielen europäischen Ländern sowie den USA an den Arbeiten des Gesprächskreises.

Herstellen von Bitumenbahnen

Bitumenbahnen werden in teilgekapselten, abgesaugten Fertigungsstraßen hergestellt (Abb. 1). Das Bitumen wird in einem geschlossenen Rührwerksbehälter bei etwa 160°C mit 5 bis 6-Gew.% Polymer und Zuschlagsstoffen gemischt.

Die Trägereinlage wird nach der Imprägnierung mit Bitumen beidseitig mit entsprechenden Deckmassen versehen. Außerdem erfolgt die jeweilige Belegung mit Oberflächenschutz, wie z.B. Sand, Schiefer, Talk, Granulat. Die fertige Bahn wird abgekühlt und konfektioniert.

Die höchsten Konzentrationen an Dämpfen und Aerosolen aus Bitumenbahnen liegen in der Nähe der Imprägnierung vor, hier werden die Bahnen durch das flüssige Bitumen gezogen. Allerdings sind hier keine ständigen Arbeitsplätze, die Beschäftigten kommen nur zu Wartungs- und Reparaturarbeiten an die Anlage.

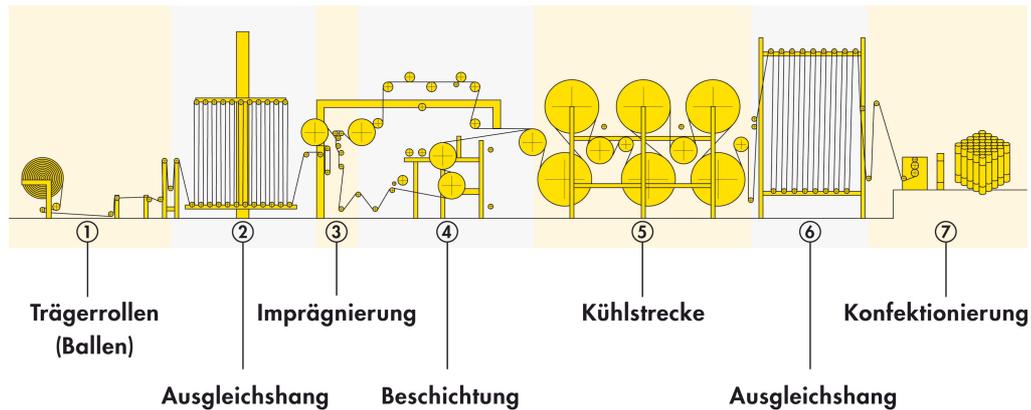


Abbildung 1: Herstellen von Bitumenbahnen

Eine Bitumenbahn enthält etwa 45 Gew.% Bitumen. Während früher im wesentlichen Oxidationsbitumen verwendet wurde (ohne Polymerzusatz), sind die Mehrzahl der Bitumenbahnen heute Polymerbitumenbahnen. Hier wird kein Oxidationsbitumen, sondern „straight run“ Bitumen und „air rectified“ Bitumen eingesetzt wird.

Schweißen von Bitumenbahnen

Die Bitumenbahnen werden als Rollenware auf die Baustelle gebracht. Die Rollen sind üblicherweise 1 m breit und enthalten 5 Meter Bahn. Beim Verarbeiten wird die Rolle kontinuierlich mit dem Gasbrenner erhitzt und auf dem dabei entstehenden flüssigen Bitumen abgerollt (Abb. 2). Neben diesen großflächigen Arbeiten sind an Ecken und Kanten, bei Entlüftungsschächten, Dachfenstern usw. auch Klein- und Teilarbeiten nötig. Dabei wird die Bitumenbahn auf das notwendige Maß zugeschnitten, erhitzt und verklebt.

Grenzwerte

Für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen haben die Hersteller einen DNEL von $2,9 \text{ mg/m}^3$ festgelegt. Dieser Wert bezieht sich auf eine Kalibrierung des Analyseverfahrens mit Bitumenkondensat. Der Gesprächskreis BITUMEN bezieht sich stets auf eine Kalibrierung mit dem Mineralölstandard. Die Umrechnung erfolgt mit einem Faktor von 1,45, sodass in Bezug auf die im Folgenden diskutierten Messwerte ein DNEL von $2,0 \text{ mg/m}^3$ heran zu ziehen ist.

Für Benzo(a)pyren als PAK-Leitkomponente wurde in Deutschland ein Wert von 70 ng/m^3 als Akzeptanzwert festgelegt, der 2018 auf 7 ng/m^3 abgesenkt werden soll. Für Naphthalin gibt es in Deutschland einen Arbeitsplatzgrenzwert in Höhe von $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Analyse-Verfahren

Es existiert kein weltweit einheitliches Verfahren für die Messung der Exposition gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen. Bei den vom Gesprächskreis Bitumen initiierten Messungen werden die Aerosole und Dämpfe aus Bitumen gleichermaßen ermittelt (Breuer und Engel, 2012). Für die Probenahme wird eine Modifikation des GGP-Sammelsystems für die Probenahme von Dampf/Partikel-Mischungen eingesetzt (BGIA, 2005).

Die Aerosole werden in einem 37mm Glasfilter gesammelt, die Dämpfe an 3g Amberlite™ XAD-2 adsorbiert mit einer Flussrate von $3,5 \text{ L/min}$. Filter und XAD-2 werden extrahiert mit Tetrachlorethylen und infrarotspektroskopisch analysiert (kalibriert wird mit Bitumen-Kondensat (Pohlmann et al., 2001).

Bei anderen Messverfahren erfolgt die Bestimmung der Aerosole und Dämpfe getrennt, oder es werden nur die nur die Aerosole aus Bitumen ermittelt. Ergebnisse solcher ausschließlicher Aerosol-Messungen ergeben daher sehr niedrige Expositionen. Dies gilt z.B. für die Methode 5042 "Benzol löslichen und partikulären insgesamt (Asphalt Rauch)", entwickelt vom US-Institut für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz NIOSH (1998).

Inhaltsstoffe von Bitumen enthalten viele Kohlenstoff-Wasserstoff-(C-H)-Bindungen. Das BGIA-Verfahren bestimmt diese C-H-Bindungen und hat eine höhere Selektivität als die NIOSH-Methode. Aufgrund dieser unterschiedlichen Verfahren sind die Messwerte für Bitumen nach dem BGIA-Verfahren deutlich höher als nach dem NIOSH-Verfahren. Dennoch sind die Ergebnisse der NIOSH-Methode vergleichbar mit denen der BGIA-Methode (Kriech et al., 2010).

Für die Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden die partikelförmigen PAK mit einem GSP-Sammelkopf mit 37mm Membran-Filter und einem daran angeschlossenen Röhrchen mit einer XAD-2-Füllung zur Sammlung des flüchtigen Anteils der PAK bei 2,5 l/min gesammelt. Die Analyse erfolgt mittels GC/MS oder HPLC/DAD. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit werden häufig vier Probenahme-Systeme gleichzeitig eingesetzt, deren Probenträger gemeinsam analysiert werden.

Messstrategie

Entsprechend Artikel 6(4) der EU-RL 98/24 muss der Arbeitgeber „in Bezug auf chemische Arbeitsstoffe, die für die Gesundheit der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz ein Risiko darstellen können“ „die erforderlichen regelmäßigen Messungen“ durchführen. Er kann aber auch „mittels anderer Beurteilungen eindeutig nachweisen, dass in angemessener Weise Vorbeugung und Schutz erzielt worden sind“.

Auf nicht stationären Arbeitsplätzen wie bei Dachdeckerarbeiten sind die Rahmenbedingungen aufgrund unterschiedlicher Räumlichkeiten oder Wetterbedingungen sehr inhomogen. Mit Messungen auf vielen unterschiedlichen Baustellen wird daher ein großes Datenkollektiv erzeugt, das verlässliche Aussagen über die üblichen Expositionen erlaubt. Der 95%-Wert (TRGS 420, 4.2 (4)) eines solchen Datenkollektives bezieht auch ungünstige Rahmenbedingungen ein und charakterisiert somit eine auf der sicheren Seite liegende Exposition für diese Tätigkeit. Die auf Basis dieser Expositionsdaten festgelegten Schutzmaßnahmen gewährleisten einen ausreichenden Schutz der Beschäftigten.

Diese Messstrategie entspricht der europäischen Norm EN 689 "Arbeitsplatzatmosphäre - Empfehlungen für die Beurteilung der inhalativen Exposition gegenüber chemischen Stoffen zum Vergleich mit Grenzwerten und Messstrategie" (April 1995).

In Deutschland sind die Berufsgenossenschaften für die Unfallversicherung, aber auch die Prävention zuständig. Da die Berufsgenossenschaften branchenorientiert ausgerichtet sind, kennen sie die Tätigkeiten ihrer Branche sehr gut. Die Messtechniker der Berufsgenossenschaften haben oft vorher in diesen Branchen gearbeitet. Sie können somit bei den Messungen erkennen, ob typische Situationen oder Ausnahmefälle an den Arbeitsplätzen vorliegen.

Entscheidend ist, dass die Expositionsdaten zu jeder Tätigkeit für sich allein ausgewertet werden. Dies ermöglicht Tätigkeiten mit besonders hoher Exposition zu identifizieren und im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung gezielte Maßnahmen zur Minderung der Exposition festzulegen.

Werden die Expositionen einer bestimmten Tätigkeit (Dachbahnschweißen, Fertigerfahrer beim Walzasphalt, Heißvergießen von Bitumen) auf verschiedenen Baustellen wiederholt

ermittelt, gelangt man zu einer repräsentativen Beschreibung der Exposition bei diesen Tätigkeiten. Mit Hilfe solcher Expositionsbeschreibungen ist es möglich, für kommende Baustellen die zu erwartende Exposition abzuschätzen. Der Gesprächskreis hat für alle Tätigkeiten mit heißem Bitumen entsprechende Expositionsbeschreibungen veröffentlicht (www.gisbau.de/bitumen.html; Expositionsdaten).

Die Ergebnisse dieser Messungen während exponierter Zeiten erlauben es, jede konkrete Schicht-Exposition aus verschiedenen tätigkeitsbezogenen Expositionen zusammen zu stellen. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 3 dargestellt.

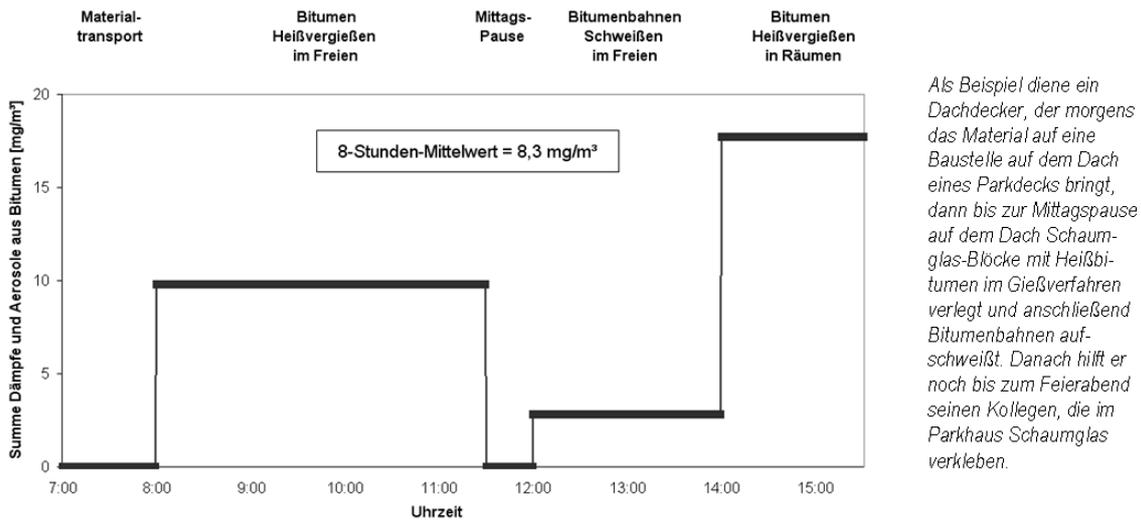


Abbildung 3: Beurteilung einer Schicht mit verschiedenen Tätigkeiten mit heißem Bitumen. Die Expositionen stammen aus den jeweiligen Expositionsbeschreibungen. Der 8-Stunden-Mittelwert berechnet sich nach $(1h \times 0\text{mg/m}^3 + 3,5h \times 9,8\text{mg/m}^3 + 0,5h \times 0\text{mg/m}^3 + 2h \times 2,8\text{mg/m}^3 + 1,5h \times 17,7\text{mg/m}^3) / 8h = 8,3\text{mg/m}^3$ (die halbe Stunde Mittagspause geht nicht in Summierung der Dauern (8h) ein).

Messungen 2015

2015 wurden zwei Messkampagnen in Belgien, den Niederlanden und Luxemburg durchgeführt. Im Juni erfolgten in Belgien und den Niederlanden 6 Messungen beim Schweißen (fünf Werte unter der Nachweisgrenze, ein Wert beim Einsatz einer Schweißmaschine von $0,41 \text{ mg/m}^3$ Dämpfe und Aerosole) und 7 Messungen bei der Produktion von Bitumenbahnen bzw. Schindeln (max. $4,29 \text{ mg/m}^3$ Dämpfe und Aerosole).

Im November wurden in Belgien, den Niederlanden und Luxemburg 4 Messungen bei Dacharbeiten (zwei Messungen beim Heißvergießen, zwei Messungen beim Schweißen, alle unter der Nachweisgrenze) und 12 Messungen (max. $3,5 \text{ mg/m}^3$ Dämpfe und Aerosole) bei der Produktion durchgeführt.

Tabelle 1: Ergebnisse der 19 Messungen von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen 2015 in Belgien und den Niederlanden bei der Produktion [mg/m^3]

	< NWG*	Minimalwert	50 % Wert	95 % Wert	Maximalwert
Aerosole	14	<0,27	0,15	0,52	0,75
Dämpfe und Aerosole	2	<0,30	0,70	3,58	4,29

*Bei Messwerten < NWG wurde die halbe NWG für die Statistik verwendet

Die Messzeiten lagen zwischen 53 und 156 Minuten. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse der Messungen bei der Produktion zusammen. Da nur 10 Messungen bei Dacharbeiten vor-

liegen von denen 9 unter der Nachweisgrenze liegen, entfällt hier die statistische Auswertung.

Bei den Messkampagnen wurden bei der Produktion auch Messungen der PAK vorgenommen. Im Juni wurden bei 4 Messungen auf jeweils 17 PAK nur in 2 Fällen Konzentrationen für einen Stoff über der Nachweisgrenze gefunden. Daher wurde bei den November-Messungen die Messstrategie angepasst und jeweils vier Probenahmesysteme für PAK parallel beaufschlagt. Die erhaltenen vier Sampler wurden "gepoolt", d.h. gemeinsam analysiert. Die damit erhaltenen PAK-Konzentrationen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse der PAK-Messungen im November 2015 (ng/m³)

	Herstellen von Bitumenbahnen						Vergießen	Schweißen
Acenaphthen	72,1	30,4	47,5	28,7	12,3	34,3	239	16,3
Acenaphthylen	16,2	12,2	11	7,58	7,77	8,57	20,7	47,3
Anthracen	7,72	<5,4	<6,4	5,54	<5,3	8,3	55,2	6,39
Benzo(a)anthracen	16,3	7,02	<4,1	18,4	15,9	8,17	283	<4,5
Benzo(k)fluoranthen	<4,1	<4,2	<4,1	8,21	4,42	<4,2	124	<4,5
Benzo(b,j)fluoranthen	13,3	5,26	<4,1	28,8	17,4	9,97	404	8,72
Benzo(g,h,i)perylene	<4,1	<4,2	<4,1	11,3	8,1	<4,3	166	<4,5
Benzo(a)pyren	6,23	<4,2	<4,1	14,5	11,3	4,29	221	<4,5
Benzo(e)pyren	15,5	4,56	<4,1	16,5	10,3	4,8	205	6,27
Chrysen	17,9	<4,2	<4,1	15,1	8,67	5,4	229	<4,5
Dibenz(a,h)anthracen	<4,1	<4,2	<5,1	<5,3	<4,2	<4,8	58,7	<4,5
Fluoranthen	29,6	18,3	18,7	37,9	21,6	28,6	683	22,4
Fluoren	127	30,6	56,1	40,4	30,6	38,5	193	64,6
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	<4,1	<4,2	<4,1	12	9,33	<4,7	154	<4,5
Naphthalin	502	377	316	229	135	242	1970	391
Phenanthren	112	65,2	71,6	71,4	17,1	58,6	602	56,5
Pyren	36,9	35,4	32,3	33	36,4	36,1	488	40
Triphenylen	18	<14	<4	<4	<4	<4	33	<15
Benzo(b)thiophen	102	21	51	54	42	14	161	33
Dibenzothiophen	63	<14	30	45	27	<14	64	23
4,6Dimethyldibenzothiophen	49	14	19	32	22	<14	<30	<15
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	22	15	<4	<4	<4	<4	33	<5
Dämpfe und Aerosole aus Bitumen (mg/m ³)	3,1	1,1	1,1	0,6	0,7	<0,3	<0,8	<0,4

Expositionen bei der Produktion von Bitumenbahnen

Zwischen 1995 und 2009 wurden in acht europäischen Ländern (Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Österreich, Schweden, Spanien) 87 Messungen bei der Bitumenbahnen-Produktion durchgeführt (Tab. 3).

Tabelle 3: In Europa 1995 – 2009 ermittelte tätigkeitsbezogene Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen an der Produktionsanlage von Bitumenbahnen [mg/m³]

87 Messwerte	Anteil < NWG	Minimalwert	50 % Wert	95 % Wert	Maximalwert
Aerosole*	80%	0,1	0,3	0,4	0,6
Dämpfe und Aerosole	0%	0,2	1,4	3,7	6,1

*Bei Messwerten < NWG wurde die halbe NWG für die Statistik verwendet

Expositionen beim Schweißen von Bitumenbahnen

Beim Schweißen von Bitumenbahnen wurden 2005 - 2009 in sieben europäischen Ländern 77 Messungen durchgeführt, u.a. auch in Belgien und den Niederlanden (Tabelle 4).

Tabelle 4: In Europa 2005 - 2009 ermittelte tätigkeitsbezogene Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosole aus Bitumen beim Schweißen von Bitumenbahnen [mg/m³]

77 Messwerte*	Anteil < NWG	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Aerosole	82%	0,1	0,2	1,2	2,8
Dämpfe und Aerosole	60%	0,1	0,3	2,8	6,4

*Bei Messwerten < NWG wurde die halbe NWG für die Statistik verwendet

Diskussion

Die Messungen an der Produktionsanlage erfolgen an Stellen, an denen sich zumindest zeitweise Beschäftigte aufhalten. Dies sind keine Dauerarbeitsplätze, hier sind die Beschäftigten in der Regel nur wenige Minuten tätig, bzw. sind dort nur kurz anwesend. Die aktuellen Messungen bestätigen die früheren Daten (95%-Werte: 3,58mg/m³ gegenüber 3,7mg/m³), sie liegen insgesamt etwas niedriger. Berücksichtigt man die geringen Zeiträume, in denen sich die Beschäftigten in diesen Bereichen aufhalten, ergeben sich schichtbezogene Expositionen deutlich unter dem DNEL-Wert von 2mg/m³.

Beim Schweißen von Bitumenbahnen sind die Unterschiede zwischen dem Messdatensatz 2005 - 2009 (2,8 mg/m³) und den wenigen aktuellen Messungen (max. 0,41 mg/m³) deutlicher. Allerdings sind die Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei diesen Arbeiten ohnehin sehr niedrig. Schichtbezogen dürfte kaum ein Dachdecker über 2mg/m³ exponiert sein.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der PAK-Messungen. Die Resultate beim Herstellen und beim Verschweißen von Bitumenbahnen sind vergleichbar, die Unterschiede bewegen sich in einem Rahmen, der bei auf natürlichen Rohstoffen basierenden Produkten wie Bitumen üblich ist. Bis auf die Konzentrationen beim Vergießen liegen die Benzo(a)pyren-Messwerte unter dem Akzeptanzwert von 70 ng/m³, meist auch unter dem zukünftigen Wert von 7 ng/m³. Alle Naphthalin-Messwerte liegen um Größenordnungen unter dem Arbeitsplatzgrenzwert von 500.000 ng/m³.

Auffällig sind die deutlich höheren Werte beim Vergießen. Dies liegt nicht am Arbeitsverfahren, denn die Konzentrationen von Dämpfen und Aerosolen waren hier vergleichbar wie beim Schweißen von Bitumenbahnen. Ursache für die relativ hohen PAK-Expositionen war der Untergrund. Die Arbeiten fanden auf einem Dach statt, auf dem vorher Bitumenbahnen entfernt worden waren. Allerdings lagen vor diesen Bitumenbahnen Teerbahnen auf dem Dach. Diese Teerbahnen waren zwar damals ebenfalls entfernt worden, allerdings blieben an einzelnen Stellen Teerreste auf dem Beton zurück (Foto?).

Dies macht deutlich, dass bei einer erhöhten PAK-Belastung beim Umgang mit Bitumen immer nach einer Quelle gesucht werden muss. Bitumen kann nicht die Ursache dieser erhöhten Belastung sein. Ähnliches wurde u.a. beim Einbau von Gussasphalt auf Teerplatten beobachtet (Raulf-Heimsoth, 2008).

Zusammenfassung

Bei der Produktion von Bitumenbahnen und beim Schweißen dieser Bahnen sind die Beschäftigten Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen ausgesetzt. 2015 in Belgien, den Niederlanden und Luxemburg durchgeführte Arbeitsplatzmessungen zeigen sehr niedrige

Expositionen. Diese Ergebnisse bestätigen die Messungen in vielen anderen europäischen Ländern in den Jahren 2005 – 2009.

Auch die 6 Messungen von 22 PAK und S-PAK beim Herstellen sowie eine Messung beim Schweißen von Bitumenbahnen ergaben sehr niedrige Werte, bei den beiden PAK mit Grenzwerten in Deutschland, Benzo(a)pyren und Naphthalin, lagen die Konzentrationen deutlich unter diesen Grenzwerten.

Die PAK-Expositionen beim Heißvergießen von Bitumenbahnen lagen z.T. um mehr als das 10fache über den Werten bei den anderen Messungen. Bei dieser Messung waren die Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen gegenüber den anderen Messungen nicht erhöht. Die Ursache für die erhöhte PAK-Belastung liegt hier bei einer früheren Teerbahn auf diesem Dach, die nicht vollständig entfernt worden war. Das heiße Bitumen hat aus den Teerresten die PAK ausgetrieben und die hohen PAK-Expositionen verursacht.

Literatur

1. BIA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“. 40. Lfg. IV/2008, 63051/ und 63052. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit- IFA, Sankt Augustin, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
2. BGIA Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“; Vol. 34 „Geräte zur Probenahme von Stoffen, die gleichzeitig partikel- und dampfförmig vorliegen“. Blatt 3040 und Blatt 3014, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld, 2005.
3. Breuer, D. und Engel, C.: Bitumen (vapor and aerosol) [Air Monitoring Methods, 2011]. The MAK Collection for Occupational Health and Safety, 2012, 38–47
4. DIN EN 689: Arbeitsplatzatmosphäre – Anleitung zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber chemischen Stoffen zum Vergleich mit Grenzwerten und Messstrategie, April 1995
5. Directive 98/24/CE du conseil du 7 avril 1998 concernant la protection de la sant. et de la s.curit. des travailleurs contre les risques li.s . des agents chimiques sur le lieu de travail (quatorzi.me directive particuliere au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE)
6. Kenny L C, Aitken R, Chalmers C, Fabries J F, Gonzales-Fernandez E, Kromhout H, Liden G, Mark D, Riediger G and Prodi V: A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. Ann Occup Hyg, 1997, 41(2) 135
7. Kriech A J, Emmel C, Osborne L V, Breuer D, Adam P, Redman A P, Hoeber D, Bochmann F and Rühl R: Side-by-Side Comparison of Field Monitoring Methods for Hot Bitumen Emission Exposures: The German IFA Method 6305, U.S. NIOSH Method 5042, and the Total Organic Matter Method. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 7 2010, 712 — 725
8. NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health: Benzene-soluble fraction and total particulate (asphalt fume). Method 5042, in NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., No. 98-119; P.M. Eller and M.E. Cassinelli (eds.). Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1998.
9. Pohlmann G, Koch W, Levsen K, Fuhst R, Muhle H, Heinrich U: Sammlung von Kondensat aus Bitumendampf und Erzeugung von Atmosphären zur tierexperimentellen Inhalation. Gefahrstoffe – Reinh. Luft, 61 (2001) 507–509.
10. Raulf-Heimsoth, Monika; Angerer, Jürgen; Pesch, Beate; Marczynski, Boleslaw; Hahn, Jens Uwe; Spickenheuer, Anne; Preuss, Ralf; Rühl, Reinhold; Rode, Peter and Brüning, Thomas: Biological Monitoring as a Useful Tool for the Detection of a Coal-Tar Contamination in Bitumen-Exposed Workers. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 71: 767–771, 2008
11. Rühl R, Musanke U, Kolmsee K, Prieß R, Zoubek G and Breuer D: Vapours and aerosols of bitumen: exposure data obtained by the German Bitumen Forum. Ann Occup Hyg; 50 (2006) 459–68

12. Rühl R, Musanke U, Kolmsee K, Prieß R and Breuer D: Bitumen Emissions on Workplaces in Germany. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 4(S1) 2007, 77–86
13. TRGS 402: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. GMBI 2010 Nr. 12, 231-253
14. Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) (Abl. L 136 vom 29.05.2007)