

Übertragung der technischen Kapitel in der IARC-Monographie 103

Bitumen und Emissionen aus Bitumen

auf die in Deutschland bzw. Europa üblichen Materialien und Arbeitsweisen.

Mit dieser Übertragung des technischen Teils (Abschnitt 1. ‚Exposure Data‘ im Kapitel ‚Bitumens and Bitumen Emissions‘) der IARC-Monographie 103 „Bitumens and Bitumen Emissions, and Some N- and S-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons“ stellt der Gesprächskreis BITUMEN die in Deutschland bzw. Europa üblichen Arbeitsweisen und Expositionen vor.

Soweit möglich wurde die Reihenfolge der Kapitel der IARC-Monographie beibehalten. Auf Verfahren und Materialien, die in Deutschland bzw. Europa nicht eingesetzt werden, wird aber nicht eingegangen.

Der größte Unterschied zur IARC-Monographie liegt in der Beschreibung der Gussasphalt-Anwendungen. Gussasphalt ist in den USA nicht bekannt. Die ‚Observers‘, die das IARC insbesondere für den hier übertragenen Abschnitt 1 ‚Exposure Data‘ eingeladen hatte, waren sechs Vertreter aus der Industrie (IARC, 2013, S. 5/6), fünf davon aus den USA. Auch die Mitglieder einer weiteren Gruppe von Industrievertretern, die diese Observer begleiteten, waren überwiegend aus den USA. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Gussasphalt in der Monographie 103 nicht eine seiner Bedeutung in Europa gemäße Rolle spielt.

Zudem wurden die zahlreichen Daten des Gesprächskreises zur Exposition gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen aufgenommen. Diese Daten beinhalten nicht nur Messungen in Deutschland, sondern in über zehn europäischen Ländern.

Der Gesprächskreis BITUMEN, Februar 2018



Inhalt

1 Produktion und Verwendung von Bitumen	3
2 Anwendungen	8
2.1 Herstellen von bitumenhaltigen Produkten.....	9
2.1.1 Herstellen von bitumenhaltigen Dachdeckungs- und –abdichtungsprodukten	9
2.1.2 Herstellen von Bitumendämpfungsfolien	10
2.1.3 Herstellen von anderen bitumenhaltigen Produkten	10
2.2 Herstellen und Einbau von Asphalt	10
2.3. Dachdeckungen und -abdichtungen mit bitumenhaltigen Produkten	12
2.4 Gussasphalt	14
2.5 Andere Anwendungen.....	15
3 Emissionen in der Umwelt	16
4 Anzahl der exponierten Arbeiter in Deutschland.....	16
5 Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen	17
5.1 Ermittlung von schichtbezogenen Expositionen aus den Tätigkeitswerten	18
5.2 Herstellen und Transport von Bitumen.....	18
5.3 Produktion von bitumenhaltigen Produkten (außer Dachbahnen)	19
5.4 Herstellen und Transport von Asphalt	19
5.5 Einbau von Walzasphalt im Freien	20
5.6 Einbau von Walzasphalt im Tunnel	21
5.7 Einbau von Gummiasphalt	22
5.8 Einbau von Gussasphalt	23
5.9 Einbau von Gussasphalt mit Naturasphalt	24
5.10 Herstellen von Bitumenbahnen	24
5.11 Schweißen von Bitumenbahnen	24
5.12 Heißvergießen von Bitumen.....	24
5.13 Herstellen von Bitumendämpfungsfolien	25
5.14 Fugenverguss mit Heißbitumen	25
5.15 Weitere Expositionen von ‚Bitumen-Arbeitern‘	25
6 PAK-Expositionen	26
6.1 PAK-Expositionen beim Umgang mit heißem Bitumen.....	26
6.2 PAK-Expositionen von Bitumenexponierten aus Teer	28
7 Zusammenfassung.....	29
8 Vorschriften und Leitlinien	32
8.1 Grenzwerte für den Arbeitsplatz.....	32
8.2 Ausbaupasphalt	32
8.3 Teer-/pechhaltige Ausbaumaterialien	33
9 Glossar	34
10 Literatur.....	35

1 Produktion und Verwendung von Bitumen

Bitumen werden großtechnisch bei der Destillation von geeigneten Rohölen gewonnen und liegen dann als dunkle, thermoviskose Flüssigkeiten vor. Bei üblicher Umgebungstemperatur sind sie fest bis springhart und nicht flüchtig, durch Erwärmung werden sie weich bis flüssig. In Nord-Amerika werden Bitumen üblicherweise als asphalt bezeichnet (s. 9 Glossar). In Europa wird unter Asphalt die Mischung aus Bitumen und feinen und groben Gesteinskörnungen verstanden.

Durch unterschiedliche Produktionsverfahren, Raffinerieprozesse, Rohölauswahl oder Mischungen können verschiedene Bitumenarten und -sorten erzeugt werden, die unterschiedliche, meist auf physikalischen Eigenschaften beruhende technische Spezifikationen oder Anforderungen erfüllen. Das Grundprodukt wird als Destillationsbitumen oder „straight-run Bitumen“ bezeichnet. Es kann weiterverarbeitet werden, zum Beispiel zu polymermodifizierten Bitumen oder indem bei hohen Temperaturen unter kontrollierten Bedingungen Luft eingeblasen wird. Dabei oxidiert das Bitumen und es entstehen air-rectified Bitumen (schwach angeblasenes Bitumen) bzw. Oxidationsbitumen (geblasenes Bitumen) (Abb. 1).

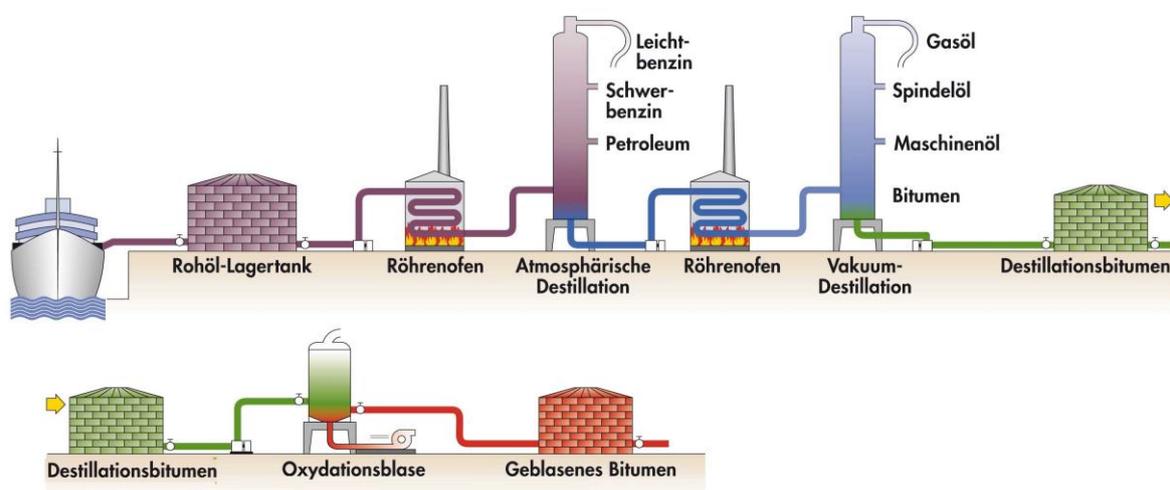


Abbildung 1: Herstellung von Bitumen (Quelle: ARBIT)

Diese drei Produkte werden in Europa am häufigsten verwendet. Die Einteilung in sechs Klassen wie in der IARC-Monographie ist in Europa unüblich. Entweder werden die Bitumen und bitumenhaltigen Bindemittel mit Blick auf die ihnen zugrunde liegenden, überwiegend europäischen Anforderungsnormen eingeteilt (Abb. 2) oder es wird, vorrangig im chemischen Kontext, Bezug genommen auf die CAS-Nummern, unter denen Bitumen unter REACH registriert wurde (Tabelle 1). Die in Abbildung 2 dargestellten Anforderungsnormen haben eine technische Grundlage, d.h. sie beziehen sich auf technische Eigenschaften, nicht auf Herstellungsprozesse. In dieser Übertragung wird v.a. mit Blick auf die Herstellung von Bitumen argumentiert. Daher wird beispielsweise nicht von Straßenbaubitumen gesprochen, denn dieses kann neben Destillationsbitumen auch air-rectified Bitumen enthalten.

Bitumen sind nicht zu verwechseln mit aus Kohle erzeugten Produkten wie (Stein-)Kohlenteer, die grundlegend andere Zusammensetzungen haben. Teere werden durch Pyrolyse aus Kohle gewonnen und enthalten deutlich höhere Konzentrationen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) als Bitumen. Bitumen enthält dagegen höhere Konzentrationen an paraffinischen und naphthenischen Kohlenwasserstoffen und ihren Derivaten.

Tabelle 1: CAS- und EINECS-Nummern für Bitumen (Asphalt Institute & Eurobitume, 2015)

CAS	EINECS	
8052-42-4	232-490-9	Asphalt A very complex combination of high molecular weight organic compounds containing a relatively high proportion of hydrocarbons having carbon numbers predominantly greater than C25 with high carbon-to-hydrogen ratios. It also contains small amounts of various metals such as nickel, iron, or vanadium. It is obtained as the non-volatile residue from distillation of crude oil or by separation as the raffinate from a residual oil in a deasphalting or decarbonization process
64741-56-6	265-057-8	Residues (petroleum), vacuum A complex residuum from the vacuum distillation of the residuum from atmospheric distillation of crude oil. It consists of hydrocarbons having carbon numbers predominantly greater than C34 and boiling above approximately 495°C
64742-85-4	265-188-0	Residues (petroleum), hydrodesulfurized vacuum A complex combination of hydrocarbons obtained by treating a vacuum residuum with hydrogen in the presence of a catalyst under conditions primarily to remove organic sulphur compounds. It consists of hydrocarbons having carbon numbers predominantly greater than C34 and boiling approximately above 495°C
64742-93-4	265-196-4	Asphalt, oxidized A complex black solid obtained by blowing air through a heated residuum, or raffinate from a deasphalting process with or without a catalyst. The process is principally one of oxidative condensation which increases the molecular weight
91995-23-2	295-284-8	Asphaltenes (petroleum) A complex combination of hydrocarbons obtained as a complex solid black product by the separation of petroleum residues by means of a special treatment of a light hydrocarbon cut. The carbon/ hydrogen ratio is especially high. This product contains a low quantity of vanadium and nickel
92062-05-0	295-518-9	Residues (petroleum), thermal cracked vacuum A complex combination of hydrocarbons obtained from the vacuum distillation of the products from a thermal cracking process. It consists predominantly of hydrocarbons having carbon numbers predominantly greater than C34 and boiling above approximately 495°C
94114-22-4	302-656-6	Residues (petroleum), dewaxed heavy paraffinic, vacuum A complex combination of hydrocarbons obtained as the residue from the molecular distillation of a dewaxed heavy paraffinic distillate. It consists of hydrocarbons having carbon numbers predominantly greater than C80 and boiling above approximately 450°C
100684-39-7	309-712-9	Residues (petroleum), distn. residue hydrogenation A complex combination of hydrocarbons obtained as a residue from the distillation of crude oil under vacuum. It consists predominantly of hydrocarbons having carbon numbers predominantly in the range above C50 and boiling in the range above approximately 360°C
100684-40-0	309-713-4	Residues (petroleum), vacuum distn. residue hydrogenation A complex combination of hydrocarbons obtained as a residue from the distillation of crude oil under vacuum. It consists predominantly of hydrocarbons having carbon numbers predominantly in the range above C50 and boiling in the range above approximately 500°C
64742-16-1	N/A	Petroleum Resins A complex combination of organic compounds, predominantly hydrocarbons, obtained as a fraction of the extract from solvent extraction of residuum. It consists predominantly of high molecular weight compounds with high carbon-to-hydrogen ratios
64742-07-0	N/A	Raffinates (petroleum), residual oil decarbonization A complex combination of hydrocarbons obtained as the solvent insoluble fraction from C5-C7 solvent decarbonization of a residual oil. It consists predominantly of aromatic hydrocarbons having carbon numbers predominantly higher than C34 and boiling above approximately 495°C

Neben den hier aufgeführten CAS-/EINECS-Nummern, unter denen Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel unter REACH registriert wurden, finden sich auf der Webseite der Europäischen Chemikalienagentur ECHA weitere Einträge wie „bitumen“ (EC-Nr. 928-294-4), „bitumen (asphalt flux)“ (EC 928-298-6), „shale oil bitumen“ (EC 447-780-2) sowie „asphalt, sulfurized“ (CAS-Nr. 90989-49-4) und verschiedene „sapon. products“ mit Tallöl oder Harz. Dabei handelt es sich um nach REACH vorregistrierte Stoffe, die derzeit nicht auf dem Markt sind (und evtl. nie auf den Markt kommen). Mit ‚sapon.‘ wird ‚saponified‘ abgekürzt, gemeint sind damit Stoffe, die zum chemischen ‚Verseifen‘ verwendet werden.

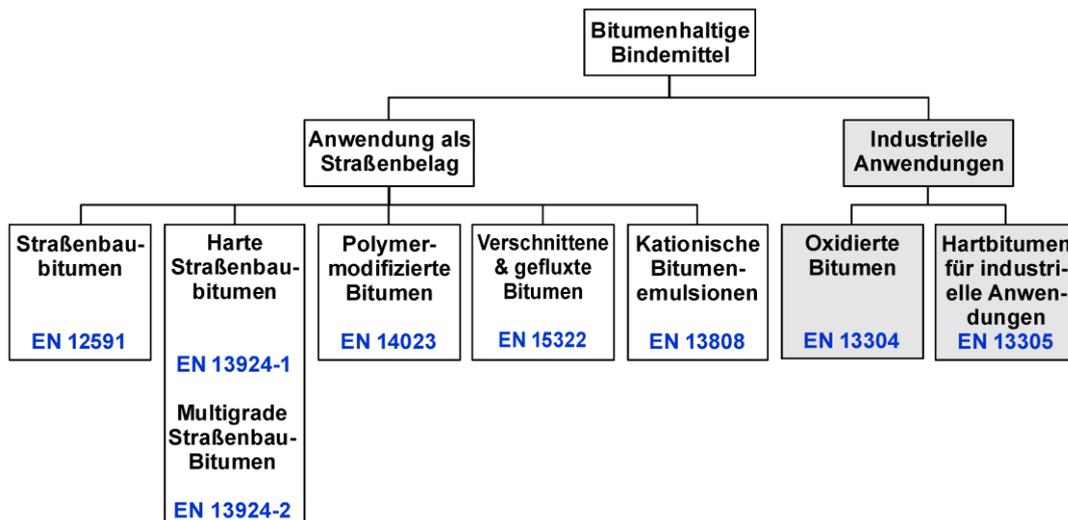


Abbildung 2: Europäische Anforderungsnormen für Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel

2014 wurden in Deutschland rund 3,5 Millionen Tonnen Bitumen hergestellt, davon rund 240.000 Tonnen zum Wiedereinsatz. Von den etwa 2,2 Millionen Tonnen Bitumen, die in Deutschland im Jahr 2014 abgesetzt wurden (ca. 1,2 Mio Tonnen wurden laut BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2014) ausgeführt), wurden ca. 1,6 Mio t im Straßenbau (ca. 75 %), etwa 346.000 t für den Bereich Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen (16 %) und knapp 189.000 t für sonstige Anwendungen (9 %) verwendet. Der Anteil polymermodifizierter Bitumen (PMB) liegt im Straßenbau in Deutschland bei über 26 % (AR-BIT, 2015).

In dieser Übertragung werden die Bitumen beschrieben, die in Europa heiß verarbeitet werden. Auf die ausführliche Beschreibung der Bitumenemulsionen (IARC-Klasse 4) wird verzichtet. Bitumenemulsionen sind feine Dispersionen von Bitumentropfen in Wasser. Zur Herstellung werden Destillationsbitumen (IARC-Klasse 1), verschnittene Bitumen (IARC-Klasse 3) und modifizierte Bitumen (IARC-Klasse 5) verwendet. Bitumenemulsionen werden selten bei Temperaturen über 100°C eingesetzt, sodass bei ihrem Einsatz keine wärmebedingten Dämpfe und Aerosole aus Bitumen auftreten. Die EN 13808 beschreibt kationische Bitumenemulsionen, die im Straßenbau in Europa am häufigsten verwendet werden. Daneben gibt es auch anionische und nicht-ionische Bitumenemulsionen, für die es aber keine europäische Anforderungsnorm gibt.

Tabelle 2 zeigt die in Europa eingesetzten Bitumen mit ihren Anwendungsgebieten. Die in Abbildung 2 aufgeführten ‚Multigrade Straßenbau-Bitumen‘ werden in einigen europäischen Ländern und Regionen, beispielsweise Frankreich oder Benelux, für spezielle Anwendungen im Straßenbau verwendet. Ausgewählte Produkte der Gruppe ‚Verschnittene und gefluxte Bitumen‘ sind in Deutschland Grundlage von besonderen Bauweisen, beispielsweise Oberflächenbehandlungen; sie werden in anderen europäischen Ländern durchaus anders verwendet.

Tabelle 2: In Europa eingesetzte Bitumen mit ihren Anwendungen

	Destillations-bitumen	Air-rectified Bitumen	Oxidations-bitumen
Straßenbau, Walz- und Gussasphalt	ja	ja	nein
Gussasphalt, Estriche	ja, selten	ja	nein
Dach- und Dichtungsbahnen			
Polymermodifizierte Bahnen	ja	nein	nein
Oxidbitumenbahnen	nein	nein	ja
Bitumendämpfungsfolien	ja	nein	ja
Bitumenemulsionen	ja	nein	nein
Hartbitumen für industrielle Anwendungen (EN 13305), z.B. Schaumglasverklebung	nein	nein	ja

Destillationsbitumen

Destillations- oder straight-run Bitumen (IARC-Klasse 1; CAS Nr. 8052-42-4; EINECS Nr. 232-490-9) werden üblicherweise aus dem Rückstand der atmosphärischen Destillation von Rohölen durch anschließende Destillation unter Vakuum hergestellt.

In Europa wird Destillationsbitumen vor allem im Straßenbau eingesetzt. Die meisten der in EN 12591 spezifizierten Straßenbaubitumen werden durch den jeweils oberen und unteren Grenzwert der Spannweite der Nadelpenetration (Abb. 3; Kasten 1) bezeichnet. Beispielsweise hat ein Bitumen 160/220 nach EN 12591 eine Nadelpenetration zwischen 160 und 220 von 0,1 mm. In Deutschland nicht verwendete, weichere Bitumen nach EN 12591 werden bezeichnet nach der Spannweite ihrer Nadelpenetration, wobei die eigentliche Prüfung bei niedrigen Temperaturen erfolgt, oder nach ihrer kinematischen Viskosität bei 60°C.

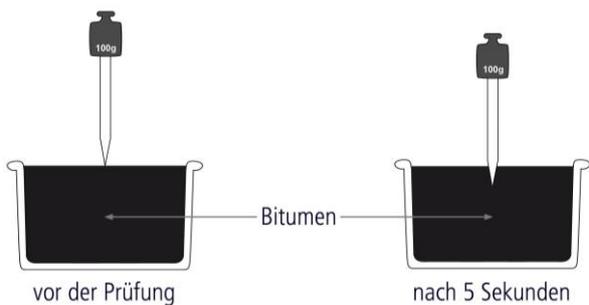


Abbildung 3: Nadelpenetration

Die Anforderungen an die Nadelpenetration werden kombiniert mit Anforderungen an den Erweichungspunkt Ring und Kugel (Abb. 4; Kasten 1) bzw. bei weicheren Straßenbaubitumen an die Dynamische Viskosität bei 60°C. Aus den Werten der Nadelpenetration und des Erweichungspunktes Ring und Kugel kann der Penetrationsindex errechnet werden, an den in einigen Ländern Europas Anforderungen gestellt werden.

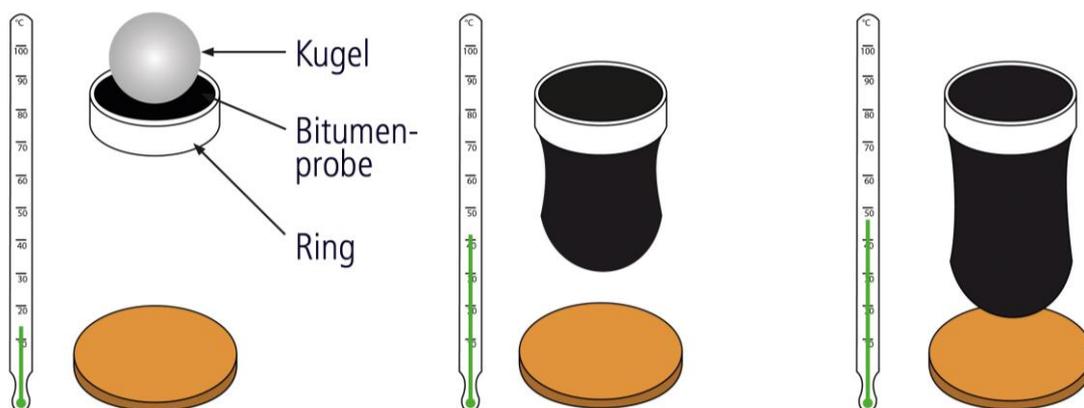


Abbildung 4: Erweichungspunkt Ring und Kugel

Der Erweichungspunkt Ring und Kugel ist die Temperatur, bei der sich eine in einen Metallring gegossene und mit einer Metallkugel belastete Bitumenprobe um 25 mm verformt hat. Das Bitumen wird kontrolliert erwärmt und verformt sich dabei unter seiner Auflast. Der Erweichungspunkt gibt Aufschluss über das Verhalten des geprüften Bitumens bei erhöhten Gebrauchstemperaturen.

Die Nadelpenetration bezeichnet die Eindringtiefe einer genormten Nadel in Bitumen unter einer definierten Last. Sie gibt Aufschluss über die Härte des geprüften Bitumens bei mittleren Gebrauchstemperaturen. Die Nadelpenetration wird auch als Bezeichnung der Bitumensorten verwendet.

Kasten 1: Beschreibung von Nadelpenetration sowie Erweichungspunkt Ring und Kugel

Auch die harten Straßenbaubitumen (EN 13924-1) sind keine Oxidationsbitumen. Sie werden bezeichnet nach ihrer Penetrationsspanne bei 25°C. Harte Straßenbaubitumen nach EN 13924-1 werden in Deutschland nicht standardmäßig im Straßenbau verwendet.

In den vergangenen zehn Jahren wurden Technologien entwickelt, um Asphalte bei niedrigeren Temperaturen einzusetzen. Beim Walzasphalt bei bis zu 100 – 140°C im Vergleich zu den üblichen 140 – 180°C, beim Gussasphalt unter 230°C statt der früher üblichen 250°C. Diese temperaturabgesenkten Asphalte werden aus Destillationsbitumen durch Zugabe von Additiven hergestellt, in Deutschland vor allem Zeolith, Fischer-Tropsch-Paraffin oder Amidwachs (Beer et al., 2014).

Air-rectified (angeblasenes) Bitumen

Angeblasenes bzw. air-rectified Bitumen (CAS Nr. 64742-93-4; EINECS Nr. 265-196-4) wird durch kurzzeitige Zuführung von Luft durch heißes, weiches Bitumen unter kontrollierten, moderaten Bedingungen (232 – 277°C) hergestellt. Dadurch können die Härte und Steifigkeit des Bitumens gezielt beeinflusst werden und die Einsatzbereiche der Destillationsbitumen im harten Bereich erweitert werden. In Europa sind air-rectified Bitumen definiert als solche mit einem Penetrationsindex $PI \leq 2,0$ (EN 12597). Die Anwendungsbereiche sind die gleichen wie die von Destillationsbitumen (Asphalt Institute & Eurobitume, 2015).

Oxidationsbitumen

Oxidationsbitumen für industrielle Anwendungen (d.h. nicht für den Straßenbau) werden in Europa in der EN 13304 spezifiziert und heißen dort oxidierte Bitumen. Sie werden durch intensive Oxidation (bei 232 – 277°C mit einer Luftzufuhr von 85 – 140 m³/min; Asphalt Institute & Eurobitume, 2015) zu voll-oxidierten Produkten mit Penetrationsindices PI zwischen +2,0 und +8,0 hergestellt. Oxidationsbitumen werden für Dach- und Dichtungsbahnen sowie zur Abdichtung verwendet (Asphalt Institute & Eurobitume, 2011). Oxidationsbitumen hat die gleiche CAS-Nummer wie air-rectified Bitumen (CAS Nr. 64742-93-4; EINECS Nr. 265-196-4, wie air-rectified Bitumen IARC-Klasse 2).

Ferner werden Hartbitumen nach EN 13305 für industrielle Anwendungen oxidativ produziert. Sie werden bezeichnet durch die Spannweite ihres Erweichungspunktes Ring und Kugel mit vorgestelltem Buchstaben H. Beispielsweise hat ein Bitumen H 80/90 einen Erweichungspunkt Ring und Kugel zwischen 80 und 90°C.

Verschnittene oder gefluxte Bitumen (IARC-Klasse 3)

Verschnittene oder gefluxte Bitumen nach EN 15322 werden hergestellt durch Zugabe von Fluxmittel zu Destillations- bzw. Oxidationsbitumen zum Zweck der Verringerung der Viskosität, damit die Produkte bei geringeren Verarbeitungstemperaturen verwendet werden können. Da verschnittene und gefluxte Bitumen unterschiedliche Kombinationen verschiedener Produkte (Blends) beinhalten, kann für sie keine CAS-Nummer angegeben werden.

Gefluxte Bitumen sind Bitumen, deren Viskosität durch Zugabe von Fluxölen reduziert wurde (EN 12597: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Terminologie, 2013; Abschnitt 2.9). Fluxmittel oder Fluxöle sind relativ schwerflüchtige Flüssigkeiten (Öle; EN 12597; Abschnitt 2.7.1) und können mineralölbasiert oder pflanzlichen Ursprungs sein. Als Fluxbitumen werden nur solche Bitumen bezeichnet, die durch Zugabe mineralölstämmiger Fluxmittel hergestellt wurden, die typischerweise Öle verschiedener Destillationsbereiche sind (EN 12597; Abschnitt 2.9.3).

Bei verschnittenen Bitumen (cut-back bitumen) wird die Viskosität durch Zugabe eines Verschnittmittels reduziert (EN 12597; Abschnitt 2.8), z.B. für Reparaturasphalt. Verschnittmittel sind relativ leichtflüchtige Flüssigkeiten (EN 12597; Abschnitt 2.7.2).

Modifizierte Bitumen (IARC-Klasse 5)

Modifizierte Bitumen enthalten üblicherweise 3 – 15 Gew-% spezieller Additive, wie Polymere oder Gummigranulat, die zur Veränderung ihrer technischen Eigenschaften verwendet werden. Modifizierte Bitumen sind nach REACH Mischungen (Preparations), für die keine eigenen CAS Nr. existieren, sondern vielmehr die der Einsatzstoffe angegeben werden.

Üblich sind in Europa vor allem polymermodifizierte Bitumen (PMB), die vielfach im Straßenbau (EN 14023) sowie in Dach- und Dichtungsbahnen eingesetzt werden. Gummimodifizierungen machen bisher nur einen geringen Teil der polymermodifizierten Bitumen aus und werden meist in nationalen Regelwerken beschrieben.

Hartbitumen

Harte Straßenbaubitumen sind laut DIN EN 12597 Bitumen, die hauptsächlich für den Bau hochfesten Asphaltes verwendet wird.

Hartbitumen sind nach DIN EN 12597 Bitumen für industrielle Anwendungen, die bei Umgebungstemperatur charakteristische harte und spröde Eigenschaften besitzen.

Harte Straßenbaubitumen sind für den Einsatz im Straßenbau geeignet und im Vergleich mit anderen Straßenbaubitumen als ziemlich hart zu bezeichnen. Im direkten Vergleich mit Hartbitumen für industrielle Anwendungen sind sie allerdings wesentlich weicher.“

IARC-Klasse 6

Thermisch gecrackte Bitumen (CAS Nr. 92062-05-0; EINECS Nr. 295-518-9) werden durch erweiterte Destillation eines Ölrückstandes bei hohen Temperaturen (440 -500 °C) hergestellt (Asphalt Institute & Eurobitume, 2011).

Thermisch gecrackte Bitumen sind spezielle Produkte, die in Deutschland in geringem Umfang produziert werden. Der Vakuumrückstand aus diesem Prozess wird als Komponente zum Mischen verschiedener Bitumen-Grundstoffe verwendet, um daraus lieferfertige Bitumen herzustellen, die i.d.R. ebenfalls eher Produkte mit geringem Einsatzvolumen sind. Mit thermisch gecracktem Bitumen kann der Erweichungspunkt Ring und Kugel bzw. die Nadelpenetration von Bitumen-Grundstoffen entsprechend den technischen Anforderungen eingestellt werden.

2 Anwendungen

Die Hauptanwendungsgebiete von Bitumen sind Befestigungen für Straßen und Flughäfen, Wasserbau (Dämme, Wasserspeicher und Flutwellenschutz), Dächer, Fußböden und der Schutz von Metall gegen Korrosion. Rund 75% des Bitumens werden in Deutschland in den verschiedenen Formen des Straßenbaus und der Straßenerhaltung eingesetzt.

Zu den in der IARC-Monographie erwähnten Teer und Carbobitumen heißt es im BaP-Jahres-Report (2013) „Der Einsatz von ‚reinem‘ Straßenteerpech als Bindemittel endete praktisch gegen Ende der 1960er-Jahre, der Einsatz von Carbobitumen dauerte zu dieser Zeit noch an. Im Jahre 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.“

2.1 Herstellen von bitumenhaltigen Produkten

In der IARC-Monographie ist dieser Abschnitt überschrieben mit „Manufacture of products containing bitumen“, geht aber ausschließlich auf Dachbahnen ein.

2.1.1 Herstellen von bitumenhaltigen Dachdeckungs- und -abdichtungsprodukten

Zur Herstellung von Polymerbitumenbahnen beziehen die Hersteller von bitumenhaltigen Dachdeckungs- und -abdichtungsprodukten in Deutschland und Nordamerika Destillationsbitumen von der Raffinerie und stellen daraus durch Beimischen von Polymeren im eigenen Unternehmen Polymerbitumen her.

Die Produktion von Oxidationsbitumen selbst ist in den USA und in Europa identisch, die Einsatztemperaturen sind unterschiedlich (siehe 2.3). Die beim Blasen eingesetzten Additive sind weder in den USA noch in Europa geregelt.

Für die Herstellung von Dachdeckungs- und -abdichtungsprodukten aus Oxidationsbitumen produzieren die Hersteller von Dachbahnen in Nordamerika aus Rohbitumen („roofers flux“) in eigenen Blasanlagen Oxidationsbitumen. Aufgrund unterschiedlicher Additive kommen unterschiedliche Oxidationsbitumen mit gleichen technischen Parametern vor. Das zur Hauptpinselungsstudie (Freeman et al., 2011) verwendeten BURA-Typ III-Oxidationsbitumen ist ein solches, von einem amerikanischen Dachbahnen-Hersteller produziertes Oxidationsbitumen. In Deutschland beziehen die Hersteller von Dachdeckungs- und -abdichtungsprodukten Oxidationsbitumen direkt von der Raffinerie bzw. von der Produktionsstätte des Bitumenlieferanten.

Die Herstellung der Bitumenbahnen erfolgt in einer teilgekapselten, abgesaugten Fertigungsstraße. In einem geschlossenen Rührwerkbehälter wird Bitumen bei etwa 160°C vorgelegt, Polymer und Zuschlagstoffe werden zugegeben. Bei 180 – 190°C folgt die beidseitige Imprägnierung der Trägereinlage (Abb. 5). Außerdem erfolgt die jeweilige Belegung mit dem Oberflächenschutz, wie z. B. Sand, Schiefer, Talk, Granulat. In einem Abkühlungsgehänge wird die fertige Bahn abgekühlt. Im Anschluss daran wird konfektioniert.



Abbildung 5: Bei der Herstellung von Dachbahnen taucht das Trägermaterial (links, weiß) in die heiße Bitumenmasse

2.1.2 Herstellen von Bitumendämpfungsfolien

Die Herstellung von Bitumendämpfungsfolien gleicht dem Verfahren zur Herstellung von Bitumenbahnen. Bei der Konfektionierung werden keine Bahnen hergestellt, sondern die benötigten Folien für die die Automobilindustrie (Fahrzeugkarosserie) und die Weiße-Ware-Industrie (Haushaltsgeräte, z.B. Geschirrpülmaschinen) wird ausgestanzt.

2.1.3 Herstellen von anderen bitumenhaltigen Produkten

Bitumenbeschichtungen (Bitumendickbeschichtungen, Schwarzanstriche und Spachtelmasen) werden in stationären Mischanlagen hergestellt. Dazu wird Heißbitumen im geschlossenen System in Vorratstanks für Heißbitumen aus dem Tankfahrzeug gepumpt. Das Personal steuert und überwacht den Prozess. Im weiteren Prozess erfolgt die Emulgierung oder Dosierung in einer voll- oder teilautomatisierten Anlage.

Die Zugabe der Rohstoffe und der Mischvorgang erfolgen in einem weitgehend geschlossenen System. Der Mischvorgang wird aus einem in räumlicher Entfernung zur Anlage angeordneten Leitstand gesteuert.

Bitumenbeschichtungen enthalten oft Lösemittel (Kohlenwasserstoffgemische) sowie kleine Mengen anderer Materialien. Bitumenbeschichtungen auf Basis von Bitumenemulsionen ersetzen immer mehr die lösemittelhaltigen Bitumen-Produkte für diese Anwendung. Bitumenemulsionsbasierte Produkte enthalten einen hohen Anteil Wasser.

2.2 Herstellen und Einbau von Asphalt

Asphalt wird aus erhitzten groben Gesteinskörnungen hergestellt einschließlich Sand und Füller, sowie 4 bis 10 Gew.-% Destillations-, air-rectified und/oder polymermodifizierte Bitumen, die als Bindemittel die Gesteinskörnungen zusammenhalten.

Mittels besonderer technischer Verfahren können Gesteinskörnungen oder Sande mit Bitumenemulsionen (IARC-Klasse 4) gemischt werden. Dieser Kaltasphalt wird mit nur wenig Erwärmung (max. 70°C) oder bei Umgebungstemperatur hergestellt und eingesetzt.

Destillations-, air-rectified sowie polymermodifizierte Bitumen sind die Hauptsorten im Asphaltstraßenbau. Um eine Abdichtungsschicht unter neuen Asphaltsschichten anzubringen oder zur Verbesserung des Verbundes zwischen unterschiedlichen Schichten werden auch verschnittene oder gefluxte Bitumenprodukte (IARC-Klasse 3) und Bitumenemulsionen (IARC-Klasse 4) genutzt. Sie werden ebenso bei einigen Oberflächenversiegelungen und Oberflächenbehandlungen genutzt oder um kaltes Asphaltmischgut zum Flickern von Schlaglöchern herzustellen.

Walzasphalte werden auf der Straße von einer Fertiger- und Walzkolonne von 5 bis 9 Mitarbeitern heiß verlegt. Diese Arbeitsplätze umfassen Fertigerfahrer, Bohlenführer, weitere Arbeiter und Walzenfahrer (Abb. 6). Fertigerfahrer fahren den Straßenfertiger, der den Asphalt vom Lkw aufnimmt und ihn auf der Straße verteilt, bevor er anschließend mit den Walzen verdichtet wird. Der Bohlenführer arbeitet hinter dem Straßenfertiger und kontrolliert die gleichmäßige Verteilung des Asphaltmischgutes durch die Einbaubohle. Arbeiter hinter dem Fertiger verteilen im Handeinbau Asphalt in Fehlstellen und Anschlussbereiche und bereiten Nähte und Anschlüsse vor dem Verdichten vor. Diese Arbeiter übernehmen aber auch andere Aufgaben die weiter entfernt von der Einbaubohle sind, wo sie keinen weiteren Dämpfen und Aerosolen aus der Heißverarbeitung von Bitumen ausgesetzt sind. Ein Vorarbeiter, oft ist dies der Bohlenführer, überwacht die Kolonne.



Abbildung 6: Asphaltfertiger mit Fertigerfahrer (unter dem Fertigerdach), Bohlenführer (links neben der Bohle) und Walzenfahrer

Die Temperaturen von heißem Walzasphaltemischgut liegen üblicherweise zwischen 140°C (niedrigste Verarbeitungstemperatur) und 190°C (höchste Herstellungstemperatur). Für Gussasphalte liegt diese Spanne bei der Verarbeitung bei 200°C bis 230°C. Die in Deutschland üblichen Asphaltemischgüter sind Asphaltbetone (DIN EN 13108-1), Splittmastixasphalt (DIN EN 13108-5), Offenporiger Asphalt (DIN EN 13108-7) und Gussasphalt (DIN EN 13108-6).

Asphaltbeton ist hohlraumarm und besteht aus groben und feinen Gesteinskörnungen, Füller sowie Destillations- und air-rectified Bitumen bzw. polymermodifiziertem Bitumen. Asphaltbeton wird im Straßenbau und bei Bauwerken, insbesondere zur Abdichtung von Talsperren, verwendet. Walzasphalt kann auch Gummigranulat oder Naturasphalt enthalten.

Splittmastixasphalt (kurz SMA) ist eine spezielle Sorte des Asphalts für Deckschichten mit einem höheren Bitumen- und Splittgehalt mit Destillations- und air-rectified Bitumen bzw. polymermodifiziertem Bitumen. Zusätzlich müssen noch stabilisierende Zusätze (z. B. Zellulose- oder synthetische Fasern) beigemischt werden. Diese Zusätze haben die Aufgabe, das sozusagen „überdosierte“, in dieser Menge aber benötigte Bitumen während Herstellung, Transport und Einbau an den Mineralstoffen festzuhalten und am Abfließen zu hindern.

Offenporiger Asphalt (kurz OPA bzw. PA von der englischen Bezeichnung „porous asphalt“) wird auch als Drainasphalt (teilweise auch Dränasphalt) oder lärmoptimierter Asphalt bezeichnet. Die Zusammensetzung zeichnet sich durch ihren hohen Anteil von groben Gesteinskörnungen (> 2mm) aus, der einen hohen Gehalt an zusammenhängenden Hohlräumen zur Folge hat. Durch diese Hohlräume kann das Regenwasser nach unten abgeleitet werden.

Bei Oberflächenbehandlungen an untergeordneten Straßen (z.B. mit wenig Verkehr) oder um Straßenoberflächen zu ertüchtigen, die unter Abrieb oder Griffigkeitsverlust leiden, werden Destillationsbitumen (IARC-Klasse 1), verschnittene oder gefluxte Bitumenprodukte (IARC-Klasse 3; für bauliche Erhaltungsmaßnahmen, hier Instandsetzung, werden diese Bitumenprodukte als Porenfüllmassen bezeichnet) oder Bitumenemulsionen (IARC-Klasse 4) auf die Oberfläche gesprüht, um ihr einen gleichmäßigen Film zu geben. Es wird Abstreumaterial aufgestreut, welches mit einer leichten Walze angedrückt wird

Tabelle 3: Niedrigste und höchste Temperatur des Asphaltmischgutes (aus TL Asphalt-StB 07/13 und ZTV Asphalt-StB 07/13)

Art und Sorte des Bindemittels im Asphaltmischgut	Asphaltbeton (AC)	Splittmastixasphalt (SMA)	Gussasphalt (MA)	Offenporiger Asphalt (PA)
20/30	-	-	210 bis 230	-
30/45	155 bis 195	-	200 bis 230	-
50/70	140 bis 180	150 bis 190	-	-
70/100	140 bis 180	140 bis 180	-	-
160/220	130 bis 170	-	-	-
40/100-65	-	-	-	140 bis 170
10/40-65	160 bis 190	-	210 bis 230	-
25/55-55	150 bis 190	150 bis 190	200 bis 230	-
45/80-50	140 bis 180	140 bis 180	-	-

Multigrade-Straßenbaubitumen sind laut DIN EN 12597 spezielle Bitumen für den Straßenbau die weniger temperaturempfindlich sind als Straßenbaubitumen und einen positiven Penetrationsindex Ip aufweisen. Sie werden z.B. in Frankreich oder der Schweiz für spezielle Asphalt verwendet; in Deutschland keine Anwendung.

2.3. Dachdeckungen und -abdichtungen mit bitumenhaltigen Produkten

Im Bereich der Bedachungen werden je nach Anforderungen an die Funktion (Dachabdichtung oder Dachdeckung) und den jeweiligen Verarbeitungstemperaturen Polymer- und Oxidationsbitumenbahnen bzw. -schindeln verwendet. Bei den bahnenförmigen Produkten (Dachabdichtung) ist seit Jahren ein Wandel von früher häufig verwendeten Oxidationsbitumenbahnen zu Polymerbitumenbahnen zu beobachten (Abb. 7). Auf massiven Untergründen (z.B. Stahlbeton) können bei flach oder flach geneigten Dächern temperaturstabile Dämmstoffe, z.B. Schaumglasplatten mit heißflüssiger Bitumenmasse aufgeklebt werden. Hierzu wird Heißbitumen (Oxidbitumen) verwendet, welches in Kochern auf dem Dach erhitzt wird. Die Verlegung der Abdichtung erfolgt dann auf diesem Dämmstoff gemäß den im Folgenden beschriebenen Verarbeitungsverfahren.

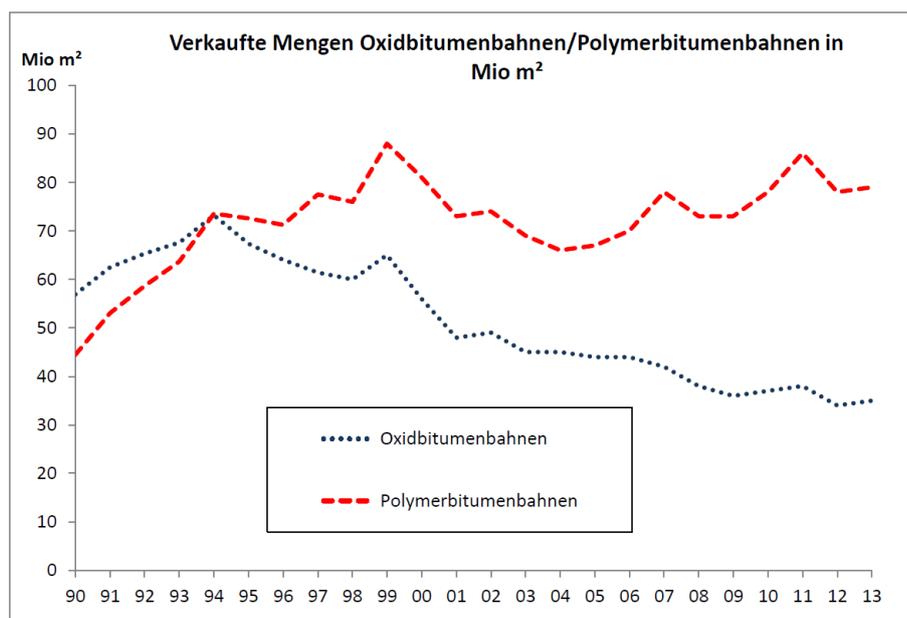


Abbildung 7: Entwicklung der Verkaufsmengen von Oxid- bzw. Polymerbitumenbahnen in Deutschland (Industrieverband Bitumen-Dach- und -Dichtungsbahnen, vdd)

Die Verarbeitung von Bitumenbahnen erfolgt

- im Kaltselbstklebverfahren mit kaltselbstklebenden Bitumenbahnen bei Umgebungstemperaturen bei Dachabdichtungen (flach- oder flach geneigte Dächer); ebenfalls bei Umgebungstemperatur werden kaltselbstklebende Bitumenbahnen bei Unterdeckungen/-spannungen (unter Dachdeckungen bei geneigten Dächern) verwendet. Kaltselbstklebende Bitumenschindeln werden bei Dachdeckungen, häufig in Kombination mit mechanischer Befestigung (Nägeln) eingesetzt.
- durch mechanische Befestigung; hierbei werden vornehmlich Polymerbitumenbahnen bei Umgebungstemperatur mit Befestigungsmitteln (z.B. Tellerdübeln) mit dem Untergrund befestigt; die Nähte und Stöße der Bahnen werden, z.B. mit einem Heißluftföhn, erwärmt und verklebt;
- durch Schweißverfahren; Anschmelzen der Bitumendeckschicht/en von Bitumenschweißbahnen mit einem Gasbrenner oder einem Heißluftföhn (in der IARC Monographie wird dieses Verfahren „soft-applied“ genannt) und Verklebung mit dem Untergrund bei Dachabdichtungen;
- durch die Verklebung von Bitumendichtungsbahnen mit dem Untergrund mit Heißbitumen im Gieß- und Einrollverfahren (früher auch das heute nicht mehr übliche Bürstenstreichverfahren) bei Dachabdichtungen; anders als in den USA wird das Heißbitumen nicht mit Hilfe von Rohrleitungen auf das Dach gepumpt, sondern der Bitumenkocher steht zumeist auf dem Dach, das Heißbitumen wird mit Hilfe von Kannen ausgegossen, die Bitumenbahn darin eingerollt; ein Mopp, wie in den USA üblich, wird in Deutschland nicht verwendet.

In der Praxis der vergangenen 20 Jahre wurden im Bereich der Dachabdichtungen überwiegend das Schmelz- und Kaltklebverfahren gegenüber dem Gieß- oder Bürstenstreichverfahren vorgezogen. In Europa werden 9 % der hergestellten bitumenhaltigen Dachdeckerprodukte „kalt“, 82 % im Schmelzverfahren und 9 % „heiß“ verarbeitet (Abb. 8). Das Einschwebmen von temperaturstabilen Dämmstoffen erfolgt nur in wenigen Fällen.

<u>North America</u>			
	<u>Cold-Applied Products</u>	<u>Soft-Applied Products</u>	<u>Hot-Applied Products</u>
Shingles	3403	0	0
Built Up Roofing	39	0	259
Bitumen Membranes & Underlayments	1418	0	0
Polymer Modified Bitumen Roofing	235	35	39
Total	5095	35	298
Market Shares by Application temperature	94%	1%	5%

<u>Europe</u>			
	<u>Cold-Applied Products</u>	<u>Soft-Applied Products</u>	<u>Hot-Applied Products</u>
Shingles	40	0	0
Built Up Roofing	0	0	2
Bitumen Membranes & Underlayments	14	256	14
Polymer Modified Bitumen Roofing	32	514	64
Total	86	770	80
Market Shares by Application temperature	9%	82%	9%

* All figures are millions of square meters (M m2) of roofing produced. Equivalent values for roof area coverage are lower by factors that differ according to specific products or systems depending on the overlap used in installation and the number of layers or plies.

Abbildung 8: Herstellung von Bitumen-Produkten für den Dachbereich in Nordamerika und Europa, 2006 (ARMA et al.)

Das zur Hauptinselungsstudie (Freeman et al., 2011) verwendete Material wurde aus einem BURA-Typ III-Oxidbitumen bei der in den USA üblichen Anwendungstemperatur von 320°C gewonnen. BURA steht für „Built up roofing application“, Typ III ist auf die Anwendung bezogen (ASTM D 312). Es gibt Typ I - IV für unterschiedlich steile Dächer, Typ IV

für die steilsten Dächer. Das Oxidationsbitumen muss bei einem steileren Dach eine höhere Viskosität haben, damit es bei warmem Wetter nicht ‚herunterfließt‘. In Europa wird Heißbitumen bei dieser Anwendung bei deutlich niedrigeren Temperaturen eingesetzt. Abbildung 8 macht deutlich, dass „Built up roofing“ in Europa im Vergleich zu Nordamerika kaum eine Rolle spielt.

2.4 Gussasphalt

Gussasphalt (EN 13108-6) enthält Destillationsbitumen, ggf. auch air-rectified Bitumen, grobe Gesteinskörnungen, Sand, Kalksteinfüller und/oder andere Füller. Gussasphalt kann auch weitere Zusätze enthalten (Polymere, Naturasphalt (DIN EN 13108-4, Anhang B), Wachse oder Pigmente). Das Besondere am Gussasphalt ist, dass sein Gesteinskörnungsgestüt hohlraumarm konzipiert ist und er einen hohen Bitumengehalt hat. Daher kommt er ohne Verdichtung aus und wird zum Einbau quasi gegossen.

Seine Verarbeitungstemperatur ist seit 2008 in Deutschland auf maximal 230 °C begrenzt. Gussasphalt ist gießfähig, lässt sich heiß gut verteilen und bildet eine wasserundurchlässige dauerhafte Oberfläche (European Mastic Asphalt Association, 2009).

Gussasphalte werden vor allem in Deutschland eingesetzt, auch in den meisten EU-Ländern, außer Grönland, Finnland, Slowakei, Rumänien, Albanien. Des Weiteren wird Gussasphalt u.a. in Russland, China, Kanada, im Nahen Osten, Indien, Australien und Neuseeland verwendet. In Asien steigert sich der Einsatz seit einiger Zeit. Die einzigen Länder, die Gussasphalt nicht kennen sind die USA und größere Teile von Südamerika und Afrika (bga, 2015).

Gussasphalte werden eingesetzt für Brückenbeläge, als Estriche in Häusern und Industriegebäuden, bei schwer belasteten Autobahnen, Parkhäusern, im Wasserbau (Kanal und Flussufer) und als Abdichtung für Flachdächer (European Mastic Asphalt Association, 2009).

Gussasphalt wird in speziell hierfür ausgestatteten Asphaltmischanlagen produziert. Von den Asphaltmischanlagen wird er in beheizbaren Rührwerkskesseln zur Baustelle transportiert. Im Straßenbau wird der Gussasphalt vom Rührwerkskessel in der Regel direkt vor die Verteilerbohle bzw. Einbaubohle (Abb. 9) gekippt. Diese Bohlen werden im Straßenbau für große Flächen genutzt, bei kleineren Flächen bzw. um Hindernisse wird der Gussasphalt per Hand mit dem Streichbrett verteilt.



Abbildung 9: Maschineller Einbau von Gussasphalt

Im Hochbau wird der Gussasphalt zur Herstellung des Estrichs vom Rührwerkskessel in Kipper oder Karren umgefüllt (Abb. 10). Wenn notwendig, wird er auch in metallenen oder hölzernen Eimern bzw. Schubkarren an die Einbaustelle transportiert. Vereinzelt werden Pumpen eingesetzt, um den Gussasphalt zur Einbaustelle zu transportieren. Die Weiterverarbeitung im Innen- und Außenbereich erfolgt oft manuell. Gussasphalt wird mit einem Streichbrett bis zur gewünschten Höhe verteilt. Gussasphaltestriche werden üblicherweise mit Sand abgerieben. Die Oberflächen von Gussasphaltdeckschichten werden mit groben Gesteinskörnungen ab gestreut, um eine gewünschte Rauigkeit zu erreichen.



Abbildung 10: Umfüllen des Gussasphaltes vom Rührwerkskessel in einen Schubkarren

Vor allem im Rahmen von Übersetzungen wird oft Gussasphalt und Mastic Asphalt verwechselt. In der europäischen Produktnorm DIN EN 12970 „Gussasphalt und Asphaltmastix für Abdichtungen“ werden beiden Anwendungen beschrieben.

Der wesentliche Unterschied besteht in der Zusammensetzung der Gesteinskörnungsmische. Asphaltmastix enthält keine groben Gesteinskörnungen über 4 mm (in Deutschland über 2 mm). Durch die feinere Gesteinskörnung ergibt sich ein höherer Bindemittelbedarf bei der Asphaltmastix, da die zu ummantelnde Gesteinsoberfläche bei vielen kleinen Steinen größer ist als bei größeren Körnern (fiktive Gesteinsoberfläche).

Gussasphalt wird richtig mit „Mastic asphalt“ übersetzt. Asphaltmastix wird im englischen als „asphaltmastic“ bezeichnet.

2.5 Andere Anwendungen

Abdichtungen

Für Abdichtungen werden polymermodifizierte Bitumenbahnen und polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (Schwarzanstriche und Spachtelmassen) eingesetzt. Die Dickbeschichtungen werden verstrichen oder verspachtelt, ggf. werden Bitumenbahnen darauf verschweißt.

Bitumendickbeschichtungen enthalten oft Lösemittel (Kohlenwasserstoffgemische) sowie kleine Mengen anderer Materialien. Bitumendickbeschichtungen auf Basis von Bitumenemulsionen ersetzen immer mehr die lösemittelhaltigen Bitumen-Produkte für diese Anwendung.

Elektrische und akustische Isolierung

Die elektrischen Eigenschaften von Bitumen ermöglichen einen Einsatz als Umhüllung und Vergußmassen für Kabel mit hoher Beanspruchung (hauptsächlich Oxidationsbitumen oder Hartbitumen für industrielle Anwendungen).

Im Bereich der akustischen Isolierung finden Bitumen (Oxidationsbitumen, modifizierte Bitumen) breite Anwendung. Entdröhnmatte (Bitumendämpfungsfolien) auf Bitumenbasis (Bitumen mit diversen Füllstoffen) werden überall dort eingesetzt, wo Schwingungen einer Struktur eine akustische Belastung erzeugen. Haupteinsatzgebiete von Bitumenmatten sind die Automobilindustrie (Fahrzeugkarosserie) und Weiße-Ware-Industrie (Haushaltsgeräte, z.B. Geschirrspülmaschinen). Bitumenmatten wirken hierbei als Körperschalldämpfung, d. h. sie verringern den durch die Karosserie bzw. durch den Spülbottich übertragenen Schall.

In der Automobilindustrie werden die Bitumenmatten im Boden des Fahrzeuginnenraumes, den Seitenwänden, der Wand zum Motorraum (Stirnwand), in den Türen und an der Dachinnenseite verwendet. Das Einlegen der Matten erfolgt manuell in unterschiedlichen Produktionsstufen der Automobilherstellung. Durch Anschmelzen an die Karosserie während der Ofendurchgänge in der Lackstraße werden die Matten fixiert. Bitumenmatten, die erst während der Endmontage ins Fahrzeug eingebaut werden, sind selbstklebend ausgerüstet.

In der Weiße-Ware-Industrie kommen die Bitumenmatten vornehmlich in Geschirrspülmaschinen zur Entdröhnung des Spülbottichs zum Einsatz. Die Bitumenmatten werden maschinell auf die Außenseite der Spülbottiche aufgelegt und durch Anschmelzen am Blech fixiert.

Rohrumhüllungen aus Bitumen

Auch nach längerer Recherche (u.a. Deutsche Bauchemie; Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie) wurde kein Hersteller gefunden. Vermutlich gibt es diese Anwendung in Deutschland nicht mehr.

Briketts

Diese Anwendung gibt es in Deutschland nicht.

3 Emissionen in der Umwelt

Nur an sehr heißen Tagen werden Asphalttemperaturen auf den Straßen bis 80°C erreicht sowie auf Dächern Temperaturen der Dachbahnen bis 100°C. Bei diesen Temperaturen treten keine Emissionen aus Bitumen auf (Knecht et al., 1999). Zudem verhärtet Bitumen durch UV- und Luftsauerstoffbeanspruchung an der Oberfläche und macht ‚dicht‘; ein weiterer Grund dafür, dass keine Emissionen bei eingebauten Bitumenprodukten auftreten.

Wasser eluiert keine Stoffe aus Bitumen und Asphalt. Daher werden bitumenhaltige Abdichtungen in Bereichen bevorzugt eingesetzt, die zur Speicherung oder Rückhaltung von Trinkwasser dienen. Bitumen wird von Pflanzen oder Organismen nicht abgebaut.

4 Anzahl der exponierten Arbeiter in Deutschland

- Beschäftigte in den Raffinerien (in den Raffinerien ist niemand regelmäßig gegenüber Dämpfen und Aerosolen exponiert; lediglich bei Probenahmen und Verladevorgängen können kurzzeitige Expositionen vorkommen).
- Transport von Bitumen (es gibt etwa 600 Bitumen-Tank-LKW).

- In Asphalt-Mischanlagen arbeiten ca. 2.000 Personen (DAV, 2014).
- Transport von Asphalt (im Prinzip kann jeder LKW zum Asphalt-Transport eingesetzt werden, eine Abschätzung ist hier nicht möglich).
- Gussasphalt (etwa 1.000 Exponierte; Rumler et al., 2007).
- Walzasphalt (3.000 - 4.000 Exponierte (Führling, 2016).
- Bei der Herstellung von Dachbahnen sind in 20 Betrieben etwa 600 Personen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen exponiert (vdd, 2014).
- Im Dachdecker-Handwerk arbeiten 65.000 Dachdecker sowie 8.000 Auszubildende (Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, 2013).
- Mit der Herstellung von Antidrönmatten sind etwa 100 bis 150 Mitarbeiter beschäftigt (FAIST ChemTec GmbH, 2014).

5 Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen

Gegenüber der IARC-Monographie werden hier weitere Expositionen aufgeführt, u.a. bei der Herstellung von Anti-Drönmatten und der Herstellung von Asphalt. Daher weicht die Nummerierung in diesem Kapitel von der Monographie ab.

Die beschriebenen Expositionen wurden durch zahlreiche, in der Regel personenbezogene Arbeitsplatzmessungen beim Umgang mit heißem Bitumen ermittelt. Dabei wurden die bei der Heißverarbeitung frei werdenden Dämpfe und Aerosole aus Bitumen gemessen. Das Messverfahren erfasst alle organischen Stoffe mit aliphatischen C—H-Bindungen (BIA-Arbeitsmappe) und damit ggf. auch andere Stoffe wie Emissionen aus Verbrennungsmotoren (z.B. unverbrannte Treibstoffanteile).

Bei den Messdaten handelt es sich in der Regel um tätigkeitsbezogene Expositionsdaten; Baustellenwechsel, Umrüstungen oder andere expositionsfreie Zeiten sind nicht berücksichtigt. In der Praxis können exponierte Tätigkeiten über die ganze Schicht andauern (dann ist der Tätigkeitswert gleich dem Schichtwert). Im Sommer können die Tätigkeiten auch deutlich länger wie acht Stunden ausgeübt werden (dann ist der Schichtwert = Tätigkeitswert x Expositionsdauer / 8). Vor allem auf Baustellen sind die Beschäftigten jedoch häufig weniger als 8 Stunden exponiert. Dann ist der Schichtwert zum Teil deutlich niedriger als der Tätigkeitswert.

Bei der Humanstudie Bitumen wurde die Exposition während der Schicht gemessen, um einen Abgleich mit den biologischen Daten zu ermöglichen. Die Messpumpe lief somit auch bei expositionsfreien Zeiten. Ermittelt wurde daraus für Gussasphaltarbeiter eine Schicht-Exposition von 15,3 mg/m³ (95%-Wert des Kollektivs von Breuer et al., 2011). Dies ist deutlich niedriger als die damaligen Tätigkeitswerte. Bis 2008 wurde Gussasphalt bei Temperaturen bis 250 °C eingebaut, die Messungen zur Humanstudie wurde 2001 – 2008 durchgeführt. Die Tätigkeitswerte lagen damals bei bis zu 57,8 mg/m³ (Zapfer, maschineller Gussasphalteinbau) bzw. 34,0 mg/m³ (Streicher, händischer Gussasphalteinbau).

Die Expositionsdaten für Gussasphaltarbeiter im Kapitel 5.8 beziehen sich auf die seit 2008 vorgeschriebenen max. Einbautemperaturen von 230°C (Rühl, 2008).

Im Folgenden werden Expositionsdaten sowie grundsätzliche Erläuterungen zu den Kollektiven und Techniken aufgeführt. Die jeweils aktuellen Daten sowie weitere Hinweise finden sich unter www.bgbau.de/koop/gesprachskreis-bitumen/expositionsbeschreibungen. Wenn ein Messwert unterhalb der Nachweisgrenze lag, wurde für die Berechnung der Percentile die halbe Nachweisgrenze als Messwert verwendet.

41 Messungen wurden im Umfeld von Baustellen durchgeführt, auf denen keine Heißverarbeitung von Bitumen erfolgte (Tabelle 4). Damit kann z.B. der Einfluss des Straßenverkehrs auf die Ergebnisse der Expositionsmessungen bei Walzasphaltarbeiten abgeschätzt werden.

Tabelle 4: Expositionen im unbelasteten Umfeld von Baustellen (mg/m³)

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Im Freien	40	0,07	0,30	1,72	2,30
Im Tunnel	1	5,60			

5.1 Ermittlung von schichtbezogenen Expositionen aus den Tätigkeitswerten

Mit den hier angegebenen tätigkeitsbezogenen Expositionen lassen sich die Schichtwerte jeder beliebigen Schicht mit Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus heißem Bitumen ermitteln. Entsprechend der Formel $= \sum (\text{Exposition (mg/m}^3) / \text{Dauer (h)})$ werden die Dauer und die Höhen der Expositionen bei den einzelnen Tätigkeiten addiert.

Abbildung 11 erläutert die Vorgehensweise für einen Beschäftigten, der morgen zuerst eine Kupferfolie mit heißem Bitumen verklebt (2 Stunden), anschließend Bitumenbahnen verschweißt (1 Stunde) und nachmittags Gussasphalt einbaut (als Streicher, 3 Stunden). Als Schichtwert ergibt sich hier 6,4 mg/m³ (9,8 mg/m³ x 2/8 + 2,8 mg/m³ x 1/8 + 9,5 mg/m³ x 3/8 + 0 mg/m³ x 2/8).

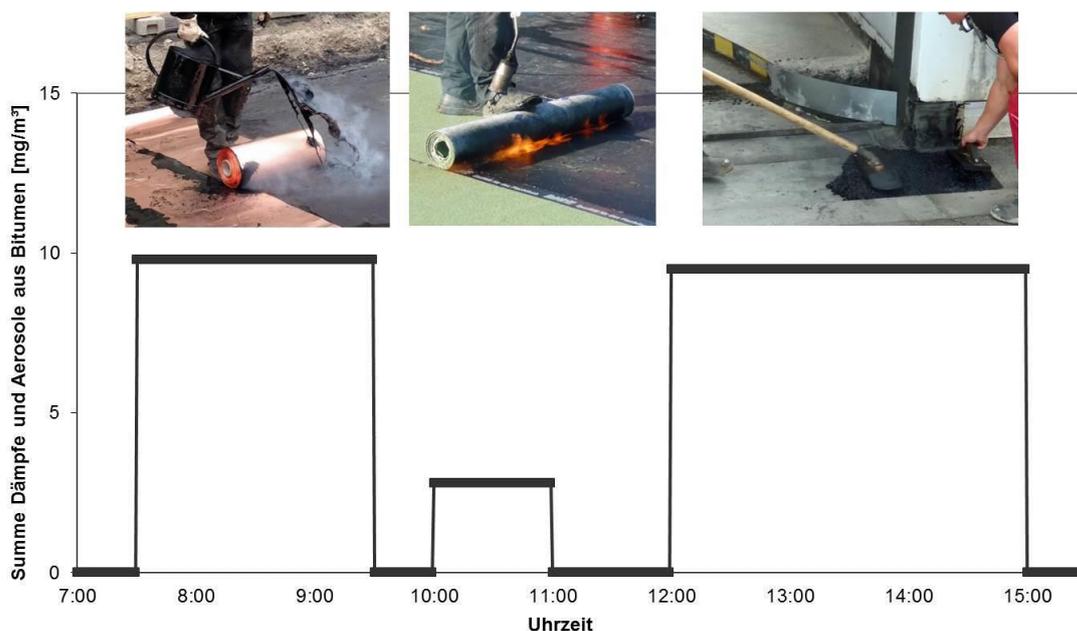


Abbildung 11: Ermittlung der Exposition über eine Schicht

5.2 Herstellen und Transport von Bitumen

Bitumen wird in geschlossenen Anlagen hergestellt. Kontakt mit dem Produkt besteht nur bei den Probenahmen sowie bei der Verladung. Stand der Technik bei der Verladung ist eine Absauganlage für Dämpfe und Aerosole. Im Umkreis von 6 m um die Ladestelle darf niemand anders als der Ladende sein. Sowohl bei der Verladung in der Produktionsstätte als auch am Bestimmungsort wird eine Schlauchverbindung zwischen Tankwagen und Tank geschaffen, dann wird das Bitumen gepumpt.

Die Messungen wurden in den Jahren 1997 - 1999 durchgeführt (Tabelle 5). Die Messungen erfolgten an den Verladestationen (Abb. 12) und in den Anlagen einschließlich Probenahme.

Bei der Verladung wird der eigentliche Befüllvorgang von den Mitarbeitern der Speditionen durchgeführt. Hierzu zählen das Öffnen des Domdeckels und das Einführen des Füllrohres, ggf. eine Probenahme.

Tabelle 5: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Herstellen und Transport von Bitumen [mg/m³]

Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
10 (Verladung)	0,51	3,1	9,6	10,00
7 (Anlage)	1,30	1,8	3,24	3,30

5.3 Produktion von bitumenhaltigen Produkten (außer Dachbahnen)

Die Produktion von Schwarzanstrichen und Spachtelmassen erfolgt in weitgehend geschlossenen Anlagen. Eine Exposition gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen besteht daher praktisch nicht.



Abbildung 12: Abfüllstutzen mit Eimer unter der Oxidationsblase und leere Eimer zum Auffangen von Tropfverlusten

5.4 Herstellen und Transport von Asphalt

Asphalt wird in der Regel in stationären Mischanlagen hergestellt. Die Zugabe der Rohstoffe und der Mischvorgang erfolgen in einem weitgehend geschlossenen System. Der Mischvorgang wird aus einem in räumlicher Entfernung zur Anlage angeordneten Leitstand gesteuert. Zur Aufrechterhaltung der Produktion ist die kontinuierliche Beschickung der Anlage mit Mineralstoffen erforderlich. Hierzu wird ein Radlader eingesetzt, der die Mineralstoffe vom Freilager aufnimmt und Doseuren zuführt. Der Fahrer des Radladers ist bei diesen Arbeiten in der Regel keinen Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen ausgesetzt.

Auf dem Gelände einer Asphaltmischanlage besteht eine gewisse Grundbelastung (Tab. 6). Diese Grundbelastung kann aus Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bestehen, v.a. aber aus Substanzen, die das Messverfahren beeinflussen.

Für den Transport von Walzasphalt werden in der Regel Lastkraftwagen eingesetzt, deren Ladefläche zum Schutz des Mischgutes mit einer Plane abgedeckt werden muss. Zukünftig wird Walzasphalt in thermoisolierten Fahrzeugen auf Baustellen transportiert. Gussasphalt wird im Speziallastkraftwagen, bestehend aus einem geschlossenen und beheizten Tank mit Rührwerk, zum Einbauort befördert.

Die beschriebenen Expositionen beziehen sich auf Arbeiten, bei denen kein Diesel als Trennmittel eingesetzt wird.

Tabelle 6: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Herstellen und Transport von Asphalt (mg/m³)

	Messwerte	Minimalwert	50-Percentil	95-Percentil	Maximalwert
Asphaltherstellung, Leitstand	10	0,50	0,90	2,50	2,50
Radladerfahrer/Außenbereich	6	0,50	-	-	0,90
Grundbelastung	24	0,40	0,90	2,51	3,90
Beförderung von Asphalt	18	0,15	1,20	4,03	5,30

5.5 Einbau von Walzasphalt im Freien

Konventioneller Walzasphalt wird bei Temperaturen von 160 ±20 °C in Abhängigkeit von der Viskosität des Bitumens eingebaut. Das Material wird abgedeckt auf Lkw vom Mischwerk heiß zur Einbaustelle transportiert und zum Einbau in den Materialbunker des Beschickers, bzw. Fertigers übergeben. Der Fertiger verteilt den Asphalt mit einer beheizten Bohle in der eingestellten Dicke in variabler Bohlenbreite auf der Fahrbahn. Nach dem Einbau wird die Asphaltsschicht durch Straßenwalzen durch Oszillation und Vibration verdichtet.

In den Jahren 1993 – 2015 wurden 498 Messungen beim Einbau von konventionellem Walzasphalt durchgeführt (Tabelle 7). Dabei wurden nur Messergebnisse von Baustellen im Freien einbezogen, bei denen die Einbautemperatur bei 160 ±20°C lag.

Die beschriebenen Expositionen beziehen sich auf Arbeiten, bei denen kein Teer oder Pech im Bindemittel enthalten ist und kein Diesel als Trennmittel eingesetzt wird.

Tabelle 7: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen (mg/m³) beim Einbau von konventionellem Walzasphalt im Freien

	Messwerte	Minimalwert	50-Percentil	95-Percentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	255	0,12	2,72	12,42	20,80
Fertigerfahrer	178	0,12	2,40	8,90	17,60
Walzenfahrer	65	0,17	0,80	2,38	3,10

Die Messungen erfolgten in der Regel tätigkeitsbezogen während der Exposition. Tätigkeiten ohne Exposition gegen Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung sind Einrichten der Baustelle, Umsetzen der Geräte, Wartezeiten, usw.

Das Messdatenkollektiv wurde hinsichtlich verarbeiteter Menge, Einbaubreite, Beschaffenheit des Mischgutes und des Untergrundes ausgewertet. Eine Abhängigkeit der Höhe der Exposition von diesen Parametern konnte nicht festgestellt werden.

Messungen in Frankreich und Slowenien ergaben für den Fertigerfahrer (5 Messwerte; 0,25 - 3,8 mg/m³), Bohlenführer (0,4 - 9,4 mg/m³; 8 Messwerte) und Walzenfahrer (0,5 und 1,7 mg/m³) ähnliche Expositionen. Diese Messdaten sind im Kollektiv der Tabelle 7 enthalten.

In den USA wird seit 1997 die Exposition des Fertigerfahrers durch Absaugsysteme am Straßenfertiger verringert. Auch in Frankreich werden diese Systeme eingesetzt. Allerdings wird mit diesen Systemen nur die Exposition des Fertigerfahrers beeinflusst. Der höher belastete Bohlenführer wird dadurch nicht entlastet, evtl. wird durch die von dem Absaugsystem ungefiltert ausgeblasenen Dämpfe und Aerosole seine Exposition sogar noch erhöht.

Da die abgesaugten Substanzen ungefiltert ins Freie gegeben werden, stellen die Absaugsysteme auch keine Umweltschutzmaßnahme dar. Es erfolgt lediglich eine Umverteilung der abgesaugten Dämpfe und Aerosole. Insgesamt hält daher der Gesprächskreis BITUMEN Absaugsysteme an Straßenfertigern für wenig sinnvoll (Rühl, 2013; Rühl et al., 2014).

In den Jahren 2000 - 2015 wurden 178 Messungen beim Einbau von Walzasphalt mit temperaturabsenkenden Zusätzen durchgeführt (Tabelle 8). Die Einbautemperaturen lagen zwischen etwa 120 und 160°C. Im Kollektiv der Tabelle 8 sind auch Messungen in Frankreich und Slowenien enthalten.

Tabelle 8: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen (mg/m³) beim Einbau von Walzasphalt im Freien mit temperaturabsenkenden Zusätzen

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	99	0,18	1,20	5,17	13,00
Fertigerfahrer	57	0,25	1,20	7,29	17,40
Walzenfahrer	38	0,18	0,27	2,70	7,10

5.6 Einbau von Walzasphalt im Tunnel

Auf elf Tunnelbaustellen wurden insgesamt 124 Messungen beim Einbau von konventionellem Walzasphalt durchgeführt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Einbau von konventionellem Walzasphalt auf Tunnelbaustellen (mg/m³)

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	78	0,23	3,20	18,42	28,80
Fertigerfahrer	37	0,75	2,60	18,54	19,90
Walzenfahrer	20	0,70	1,35	7,00	8,80

Auf elf Tunnelbaustellen konnte der Einbau von temperaturabgesenktem Walzasphalt (TA Asphalt) messtechnisch begleitet werden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Einbau von temperaturabgesenktem Walzasphalt auf Tunnelbaustellen (mg/m³)

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	22	< 0,3	1,39	3,85	3,88
Fertigerfahrer	12	0,68	2,73	5,93	6,60
Walzenfahrer	12	0,68	1,67	3,12	3,27

Abbildung 13 zeigt die Expositionen (95%-Werte) beim konventionellen Einbau von Walzasphalt bzw. TA Asphalt im Freien bzw. im Tunnel.

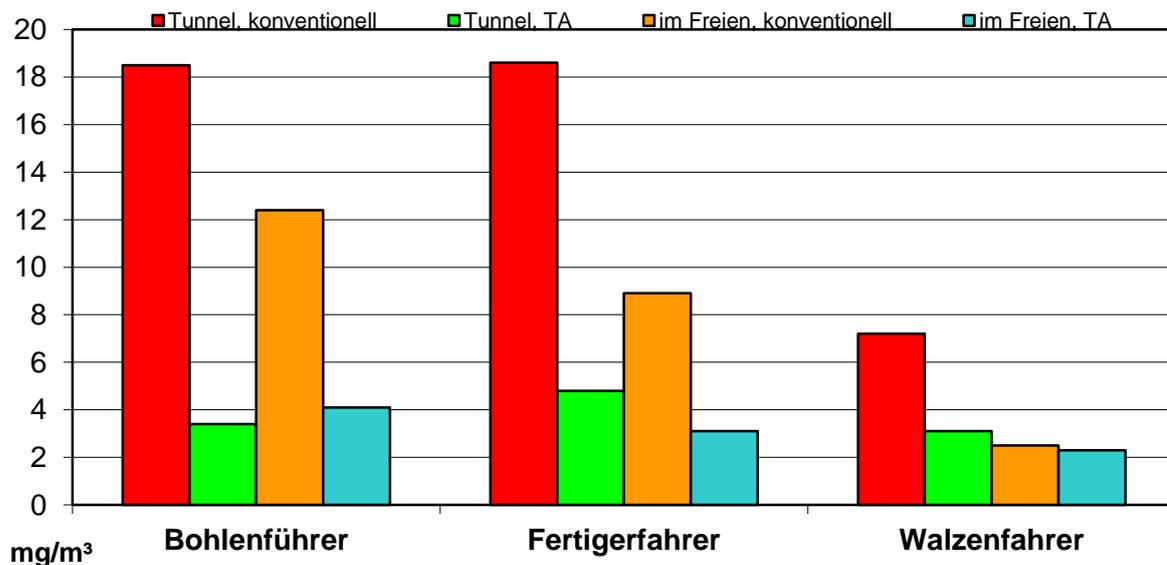


Abbildung 13: Expositionen beim Einbau von konventionellem Walzasphalt bzw. TA-Asphalt

5.7 Einbau von Gummiasphalt

Gummiasphalt enthält etwa 8 – 15% Gummigranulat aus Altreifen, das z.T. das Bitumen ersetzt. Von einzelnen Baustellen wurden Beschwerden (Atemwegs- und Augenreizungen) bei den Einbaukolonnen gemeldet. Daher hat der Gesprächskreis BITUMEN diese Thematik mehrfach diskutiert. Vermutlich sind die Beschwerden unabhängig von der Einbautemperatur, sondern können dann auftreten, wenn während der Produktion Temperaturen über 180°C auftreten. Daher wurde auf Initiative des Gesprächskreises Bitumen in den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2012) zu Gummiasphalt eine maximale Mischtemperatur von 170°C aufgeführt.

Auf 7 Baustellen, auf denen Gummiasphalt eingebaut wurde, wurden insgesamt 34 Messungen durchgeführt: Die Ergebnisse (Tabelle 11) zeigen Expositionen in der Größenordnung wie beim konventionellen Walzasphalt.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Messungen beim Einbau von Gummiasphalt (mg/m³)

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Bohlenführer	17	0,25	4,30	12,92	17,40
Fertigerfahrer	14	1,10	3,15	5,16	6,20
Walzenfahrer	1	1,20			
Sonstige	2	3,30 – 7,20			

Messungen beim Einbau von Gummiasphalt, um evtl. die Ursache der Beschwerden zu finden, sind nicht sinnvoll, da nicht bekannt ist, welche Stoffe die Beschwerden auslösen. Bei der Vielzahl der Bestandteile der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen sowie der möglichen Emissionen aus dem Gummigranulat ist eine Identifizierung einzelner Stoffe sehr schwierig. Vor allem, wenn sie in vermutlich sehr geringen Konzentrationen auftreten.

5.8 Einbau von Gussasphalt

Die Verarbeitung von Gussasphalt mit Temperaturen bis zu 250°C führte in der Vergangenheit zu Expositionen, die etwa 3 bis 5 mal so hoch waren wie bei Walzasphaltarbeiten (bis 60 mg/m³). Seit 2008 wird in Deutschland Gussasphalt mit viskositätsverändernden Zusätzen bzw. mit viskositätsveränderten Bindemitteln mit einer Höchsttemperatur von 230 °C hergestellt und eingebaut. Dabei liegen die Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen in vergleichbarer Größenordnung wie bei Walzasphaltarbeiten.

Für den maschinellen Einbau von viskositätsverändertem Gussasphalt ist die Expositionsreduzierung durch eine genügend große Anzahl an Messdaten belegt (Tab. 12). Beim manuellen Einbau sind viele Firmen noch etwas vorsichtig und bauen den viskositätsveränderten Gussasphalt oft bei Temperaturen knapp über 230°C ein. Aber selbst dann liegen die Expositionen (Tabelle 13) deutlich unter denen beim konventionellen Einbau. Beim manuellen Einbau unter 230°C konnten bisher erst wenige Messungen durchgeführt werden (Tab. 14).

Die beschriebenen Expositionen beziehen sich auf Arbeiten, bei denen kein Diesel als Trennmittel eingesetzt wird.

Tabelle12: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim maschinellen Einbau bis 230°C von Gussasphalt mit viskositätsverändernden Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln (mg/m³)

im Freien	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Zapfer	60	0,3	2,9	12,1	17,8
Bohlenführer	105	0,2	3,3	11,9	28,5
Nacharbeiten	60	0,1	0,4	3,6	6,4

Tabelle 13: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim händischen Einbau von viskositätsverändertem Gussasphalt bei Einbautemperaturen oberhalb 230°C (mg/m³)

in Räumen	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Abfüllen	26	1,4	5,0	11,1	12,8
Glätten	30	0,6	5,3	9,8	10,8
Abstreuen	9	1,3	-	-	10,2

Tabelle 14: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim händischen Einbau von Gussasphalt bis 230°C mit viskositätsverändernden Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln (mg/m³)

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien					
Abfüllen	3	0,3	-	-	3,1
Karrentransport	3	0,6	-	-	1,1
Glätten	7	0,4	-	-	1,3
in Räumen					
Abfüllen	12	0,2	2,5	6,3	8,6
Eimertransport	3	0,5	-	-	7,3
Karrentransport	6	2,0	-	-	43,6
Glätten	24	0,2	4,6	8,8	9,5
Abstreuen	3	2,3	-	-	4,2

5.9 Einbau von Gussasphalt mit Naturasphalt

Beim maschinellen Einbau von Gussasphalt kann ein Teil des Bitumens durch Naturasphalt ersetzt werden. Der in Deutschland am häufigsten eingesetzte Trinidad-Asphalt besteht aus Mineralstoffen sowie zu etwa 55 Gew. % aus Bitumen. Naturasphalt wird im Gussasphalt verwendet, um eine Verbesserung der technischen Eigenschaften zu erreichen.

Die ermittelten Expositionen beim Einsatz von mit Naturasphalt versetztem Gussasphalt liegen am oberen Ende der jeweiligen Expositionsbereiche.

5.10 Herstellen von Bitumenbahnen

In der IARC Monographie wurden Messungen in Deutschland nur bis 2005 berücksichtigt. Seitdem sind in Deutschland und in sechs anderen europäischen Ländern weitere Messungen durchgeführt worden (Tab. 15; Rühl et al., 2012; Ziegler et al., 2012). Diese Messungen wurden an der Anlage, neben den offenen Bädern (Abb. 5) durchgeführt. Hier ist kein ständiger Arbeitsplatz, nur gelegentlich kommen die Beschäftigten vorbei. Daher sind diese Messwerte worst case-Werte.

Tabelle 15: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Herstellen von Bitumenbahnen in Europa [mg/m³]

Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
109	0,1	1,3	3,8	6,1

5.11 Schweißen von Bitumenbahnen

In der IARC Monographie wurden Messungen in Deutschland nur bis 2005 berücksichtigt. Seitdem sind in Deutschland und fünf anderen europäischen Ländern weitere Messungen durchgeführt worden (Tab. 16; Rühl et al., 2012; Ziegler et al., 2012). Die Messungen seit 2005 zeigen v.a. für das Schweißen von Bitumenbahnen im Freien mit 2,8 mg/m³ Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen deutlich niedrigere Expositionen als für die Zeit vor 2005. Ursache hierfür ist v.a. ein sorgfältigeres Arbeiten der Beschäftigten.

Tabelle 16: In Europa 2005 - 2015 ermittelte Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosole aus Bitumen beim Schweißen von Bitumenbahnen [mg/m³]

Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
87	0,1	0,2	2,7	6,4

5.12 Heißvergießen von Bitumen

Beim Gießverfahren wird heißes Bitumen aus einer Gießkanne ausgegossen und ggf. mit einem Besen oder einer Bürste verstrichen („Bürstenstreichverfahren“). Mit diesem flüssigen Bitumen können Bitumenbahnen sowie Dämmplatten aus Schaumglas oder Polyurethan verklebt werden. Dieses geschieht bei Bitumenbahnen in der Regel vollflächig, bei Schaumglas vollflächig und vollfugig sowie bei Polyurethandämmstoffen in der Regel teilflächig.

Die personenbezogenen Messwerte wurden in den Jahren 1997 bis 2015 erhalten (Tab. 17).

Tabelle 17: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen beim Heißvergießen von Bitumen (mg/m³)

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien	114	0,3	2,4	9,7	18,2
in Räumen	19	0,8	4,8	17,2	19,6

5.13 Herstellen von Bitumendämpfungsfolien

Die Herstellung von Bitumendämpfungsfolien aus Trägermaterial, Bitumen und Bestreumaterial erfolgt in abgesaugten Fertigungsstraßen. Die Bitumendämpfungsfolien werden bei max. 190 °C aus Destillationsbitumen, polymermodifizierte Bitumen bzw. Oxidationsbitumen gefertigt. In einem Abkühlungsgehänge wird die fertige Bahn abgekühlt. Im Anschluss daran erfolgt die Konfektionierung. Diese Messungen wurden an der Anlage, neben den offenen Bädern (Abb. 5) durchgeführt. Hier ist kein ständiger Arbeitsplatz, nur gelegentlich kommen die Beschäftigten hier vorbei. Daher sind diese Messwerte worst case-Werte.

Die personenbezogenen Messwerte wurden in den Jahren 2003 bis 2005 erhalten (Tab. 18).

Tabelle 18: Dämpfe und Aerosole aus Bitumen in beim Herstellen von Bitumendämpfungsfolien (mg/m³)

Anzahl	Minimalwert	50 % Wert	95 % Wert	Maximalwert
10	0,5	1,1	5,4	5,5

5.14 Fugenverguss mit Heißbitumen

Die Fugen zwischen Betonflächen werden mit Bitumen ausgegossen. Dazu wird das heiße Bitumen aus einem Kessel über eine Schlauchleitung zur Düse geführt. Mit dieser Düse wird das heiße Bitumen vom 'Gießer' direkt in die Fuge gebracht. Die Vergusstemperatur liegt zwischen 160 und 170°C. In den Kessel wird bei Bedarf bei kurzzeitigem Öffnen des Deckels Material in fester Form eingebracht. Die personen- und tätigkeitsbezogenen Messwerte wurden in den Jahren 2000 und 2001 erhalten (Tabelle 19).

Tabelle 19: Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen beim Fugenverguss mit Heißbitumen (mg/m³)

	Anzahl	Minimalwert	50 % Wert	95 % Wert	Maximalwert
Kesselmann	10	0,32	1,25	3,01	3,10
Gießer	12	0,64	1,25	3,80	5,50
am Kesselwagen	20	0,27	2,10	4,82	5,10

5.15 Weitere Expositionen von ‚Bitumen-Arbeitern‘

Neben Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen können die Beschäftigten, die mit heißem Bitumen umgehen, weiteren Stoffen ausgesetzt sein. Die früher sowohl beim Einbau von Walzasphalt als auch bei Dachdeckerarbeiten üblichen Expositionen gegenüber Emissionen aus Teer gibt es seit mehr als 30 Jahren nicht mehr (Gussasphalt wurde nie mit Teer eingebaut). PAK sind - in etwa 1.000fach geringerer Konzentration als beim Teer – auch im Bitumen enthalten, sodass eine sehr geringe Exposition der Beschäftigten besteht.

Die Beschäftigten können auch Dieselmotoremissionen ausgesetzt sein, wobei in Tunneln, Hallen und beengten Verhältnissen die Dieselfahrzeuge und -maschinen mit Dieselpartikelfiltern ausgestattet sein müssen.

Quarzhaltiger Staub ist beim Straßenbau immer vorhanden, ebenso in Mischanlagen. Gussasphalt wird im Innenbereich teilweise mit Quarzsand ab gestreut, sodass dadurch auch eine Quarzstaub-Belastung gegeben sein kann.

Beim Fräsen von Asphaltstraßen ist beim Einsatz von Groß- als auch von Kleinfräsen nicht mit einer nennenswerten Belastung durch Quarzstaub zu rechnen. Sollte das im Asphalt ent-

haltene Gestein asbesthaltig sein, verhindern die bei Großfräsen übliche Absaugung bzw. die großen Wassermengen zur Kühlung der Meißel bei Kleinfräsen eine Asbestbelastung der Beschäftigten (Rühl et al.; 2013).

6 PAK-Expositionen

6.1 PAK-Expositionen beim Umgang mit heißem Bitumen

Bitumen enthält auch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Der Gehalt an Benzo[a]pyren (BaP) der in Deutschland verwendeten Bitumensorten liegt zwischen 1,2 und 2,7 mg/kg BaP (Knecht et al., 1999; dort weitere Angaben zu polycyclischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und S-PAK). Dies ist mehr als eine Zehnerpotenz unter der stoffspezifischen Grenze von 100 mg/kg BaP für die Einstufung als krebserzeugend nach Anhang I der RL 67/548/EWG.

Bei den ersten Arbeitsplatz-Messungen Ende der 90er Jahre wurden neben Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen auch verschiedene PAK gemessen. Das damals übliche Mess- und Analyseverfahren der Unfallversicherungsträger lieferte aber fast immer Werte unter einer relativ hohen Bestimmungsgrenze. Daher wurden keine PAK mehr bestimmt.

Seit 2007 wurden auf den Baustellen auch wieder PAK gemessen, die Analytik erfolgte in einem externen Labor. Ab 2012 wird die Analytik wieder bei dem Institut für Arbeitssicherheit (IFA) der DGUV mit einem empfindlicheren Verfahren vorgenommen. Die Probenahme erfolgt in der Regel mit mehreren Pumpen, die parallel arbeiten, um genügend PAK ‚auf die Filter‘ zu bekommen. Es wird stationär an einer Stelle der Kolonne gemessen, an der eher hohe Expositionen vorliegen. Bei Walzasphalтарbeiten am Fertiger, beim händischen Gussasphalteinbau in der Nähe der Zapfer, ...

Nachdem abermals hohe Bestimmungsgrenzen aufgetreten waren, werden die Analysen seit 2015 wieder in einem externen Labor vorgenommen.

Hier werden beispielhaft die Ergebnisse einiger PAK-Messungen dargestellt. Dabei werden in den Tabellen 20 – 22 die Konzentrationen der PAK bei einigen Anwendungen von heißem Bitumen zusammengestellt.

Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse der PAK-Messungen auf Tunnelbaustellen beim Einbau von temperaturabgesenktem Walzasphalt (die entsprechenden Konzentrationen der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen sind in Tabelle 10 enthalten). Tabelle 21 gibt die PAK-Konzentrationen an der Anlage beim Herstellen von Bitumenbahnen bzw. Bitumenschindeln an (die entsprechenden Konzentrationen der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen sind in Tabelle 15 enthalten). Hier handelt es sich nicht um Konzentrationen an permanenten Arbeitsplätze, an diesen Anlagen halten sich nur kurzfristig Personen auf.

Tabelle 22 gibt die PAK-Expositionen bei Einbau von Bitumenbahnen mit unterschiedlichen Techniken (Verschweißen von Hand, mit der Schweißmaschine bzw. Heißvergießen an (die entsprechenden Konzentrationen der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen sind in Tabelle 16 enthalten). Bei der Messung beim Verlegen von Bitumenbahnen im Gießverfahren mit Heißbitumen traten erhöhte PAH-Messwerte auf (221 ng/m³ Benzo(a)pyren). Ursache dafür war, dass vor diesen Bitumenbahnen Teerbahnen auf dem Dach lagen (s. Abschnitt 6.2).

	2009/07	2010/05	2010/08	2011/07	2012/11	2014/07	2015/03	2015/04
Aerosole (mg/m³)	<0,2	0,34	0,27	<0,08	<0,27	0,14	<0,14	<0,14
Dämpfe und Aerosole (mg/m³)	1,5	3	2,25	1,02	1,7	2,79	2,66	0,68
	ng/m ³							
Acenaphthen	50	180	347	128	2200	<70	<150	1000
Acenaphthylen	<8,64	70,3	33,8	15,2	<680	<80	<190	250
Anthracen	2,62	43,3	57,4	50,2	430	240	<50	310
Benz(e)acephenanthrylen					<60	<8	<24	<18
Benzo(a)anthracen	55,8	14	16,5	7,92	110	19	<22	<17
Benzo(b+j+k)fluoranthen	112	9,15	<16,5	6,36				
Benzo(k)fluoranthen					<60	<8	<23	<18
Benzo(g,h,i)perylene	22,6	<1,91	<4,22	3,58	<70	<11	<30	<23
Benzo(a)pyren	24	<3,04	<4,22	2,73	<50	7	<20	<15
Benzo(e)pyren					<80	<13	<36	<28
Chrysen-Triphenylen	576	57,2	43,3	9,87				
Chrysen					80	15	<8	<13
Dibenz(a,h)anthracen	14,7	<1,62	<4,22	<0,49	<20	<4	<9	<7
Fluoranthen	33	62,4	145	54,6	830	1100	<53	200
Fluoren	22,4	230	325	132	1600	740	<50	1100
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	8,09	<2,41	4,46	2,19	<40	<7	<18	<14
Naphthalin	290	1360	1450	339	6000	650	740	2200
Phenanthren	154	526	908	310	2500	2000	<100	2500
Pyren	113	49,1	116	37,9	700	1000	<43	210
1-Benzothiophen	87	646	224	49,2				
Benzo(b)naphtho(2,1-d)-thiophen	346	86,1	45,5	<0,49				
Dibenzothiophen	103	706	762	80				

Tabelle 20: PAK-Expositionen beim temperaturabgesenkten Einbau von Walzasphalt im Tunnel

	2008/05	2009/08	2009/08	2009/09	2009/09	2015/06	2015/06	2015/06	2015/11	2015/11	2015/11	2015/11	2015/11	2015/11	2015/11	2015/06
Aerosole (mg/m³)	<0,17	0,14	<0,12	<0,3	<0,12	0,27	<0,27	0,75	0,5	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,27	
Dämpfe und Aerosole (mg/m³)	1,36	0,68	0,27	1,77	0,95	1,16	0,54	4,29	3,2	1,1	1,1	0,6	0,7	<0,3	0,48	
	ng/m ³															
Acenaphthen	< 200	118	28,8	65,2	< 13,3	< 900	< 900	< 980	72,1	30,8	47,5	28,7	12,3	34,3	< 980	
Acenaphthylen	< 300	< 5,43	< 4,7	< 45	< 5,01	< 1100	< 1100	< 1200	16,2	12,2	11	7,58	7,77	8,57	< 1200	
Anthracen	< 10	8,48	4,62	39,4	10,8	< 30	< 30	< 30	7,72	<5,44	<6,42	5,54	<5,31	8,3	< 30	
Benz(e)acephenanthrylen	< 30					< 150	< 150	< 160							< 160	
Benzo(a)anthracen	< 30	< 2,91	< 1,1	< 6	10,9	< 130	< 130	< 150	16,3	7,02	<4,1	18,4	15,9	8,17	< 150	
Benzo(k)fluoranthen	< 30					< 140	< 140	< 150	<4,1	<4,2	<4,1	8,21	4,42	<4,2	< 150	
Benzo(b,j)fluoranthen									13,3	5,26	<4,1	28,8	17,4	9,97		
Benzo(b)fluoranthen	< 30															
Benzo(b+j+k)fluoranthen (Koelut.)		< 2,18	< 2,15	< 9,12	< 4,19											
Benzo(g,h,i)perylene	< 30	< 0,727	< 0,718	< 1,82	1,12	< 180	< 180	< 200	<4,1	<4,2	<4,1	11,3	8,1	<4,28	< 200	
Benzo(a)pyren	< 20	< 1,67	< 1,28	< 4,41	1,03	< 120	< 120	< 130	6,23	<4,2	<4,1	14,5	11,3	4,29	< 130	
Benzo(e)pyren	< 40					< 220	< 220	< 240	15,5	4,56	<4,1	16,5	10,3	4,8	< 240	
Chrysen	<10					< 50	< 50	< 60	17,9	<4,2	<4,1	15,1	8,67	5,4	< 60	
Dibenz(a,h)anthracen	< 10	< 0,727	< 0,718	< 1,82	< 0,699	< 60	< 60	< 60	<4,1	<4,2	<5,08	<5,31	<4,19	<4,77	< 60	
Chrysen-Triphenylen (Koelution)		9,39	< 0,718	< 20,1	14,6											
Fluoranthen	< 50	25,4	13,2	23,5	10,5	< 320	< 320	< 350	29,6	18,3	18,7	37,9	21,6	28,6	< 350	
Fluoren	< 40	115	52,2	293	86,8	< 300	< 300	< 320	127	30,6	56,1	40,4	30,6	38,5	< 320	
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	< 20	< 0,727	< 0,718	< 2,03	< 0,741	< 110	< 1100	< 120	<4,1	<4,2	<4,1	12	9,33	<4,7	< 120	
Naphthalin	< 230	422	353	562	297	< 820	< 820	7500	502	377	316	229	135	242	< 890	
Phenanthren	< 20	231	118	316	108	< 80	< 70	250	112	65,2	71,6	71,4	17,1	58,6	< 80	
Pyren	< 60	29,5	11,8	39,7	15,5	< 260	< 260	< 280	36,9	35,4	32,3	33	36,4	36,1	< 280	
Triphenylen									18	<14	<4	<4	<4	<4		
Benzo(b)thiophen									102	21	51	54	42	14		
Dibenzothiophen		102	24,2	249	83,5				63	<14	30	45	27	<14		
4,6-Dimethyldibenzothiophen									49	14	19	32	22	<14		
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen		< 5,36	< 0,718	17,5	12,5				22	15	<4	<4	<4	<4		

Tabelle 21: PAK-Konzentrationen an der Produktion von Bitumenbahnen bzw. Bitumenschindeln (letzte Spalte)

	Bahnen- schweißen	Bahnen- schweißen	Schweiß- maschine	Heiß- vergießen	Bahnen- schweißen
	2015/06	2015/06	2015/06	2015/11	2015/11
Aerosole (mg/m³)	<0,41	<0,34	0,41	< 1,1	<0,4
Dämpfe und Aerosole (mg/m³)	<0,41	<0,34	0,41	< 1,1	<0,4
	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
Acenaphthen	< 1300	< 1100	< 1300	239	16,3
Acenaphthylen	< 1600	< 1400	< 1600	20,7	47,3
Anthracen	< 40	< 40	< 40	55,2	6,39
Benz(e)acephenanthrylen	< 210	< 180	< 210		
Benzo(a)anthracen	< 190	< 160	<190	283	<4,5
Benzo(k)fluoranthen	< 200	< 170	< 200	124	<4,5
Benzo(b,j)fluoranthen				404	8,72
Benzo(g,h,i)perylen	< 260	< 220	< 260	166	<4,5
Benzo(a)pyren	< 170	< 140	< 170	221	<4,5
Benzo(e)pyren	< 310	< 260	< 310	205	6,27
Chrysen	< 70	< 60	< 70	229	<4,5
Dibenz(a,h)anthracen	< 80	< 70	< 80	58,7	<4,5
Fluoranthen	< 440	< 380	< 440	683	22,4
Fluoren	< 420	< 350	< 420	193	64,6
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	< 150	< 130	< 150	154	<4,5
Naphthalin	< 1200	< 970	< 1200	1970	391
Phenanthren	< 100	< 80	< 100	602	56,5
Pyren	< 360	< 310	< 360	488	40
Triphenylen				33	<15
Benzo(b)thiophen				161	33
Dibenzothiophen				64	23
4,6-Dimethyldibenzothiophen				<30	<15
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen				33	<5

Tabelle 22: PAK-Expositionen beim Verschweißen bzw. Vergießen von Bitumenbahnen

6.2 PAK-Expositionen von Bitumenexponierten aus Teer

Beschäftigte, die mit heißem Bitumen umgehen, sind PAK-Expositionen ausgesetzt, die deutlich geringer sind, wie die PAK-Expositionen beim Umgang mit heißem Teer. Sollten einmal höhere PAK-Expositionen beim Umgang mit heißem Bitumen auftreten, sollte immer nach anderen PAK-Quellen gesucht werden. Die zeigen die beiden folgenden Beispiele.

Im Rahmen der Humanstudie Bitumen wurden erhöhte PAK-Expositionen bei einer Gussasphaltpflanzung festgestellt. Sowohl die Arbeitsplatzmessungen als auch das Biomonitoring ergaben Hinweise auf eine erhöhte PAK-Belastung (beim Biomonitoring wurde eine mehr als 12fache PAK-belastung gegenüber dem Wert beim Umgang mit Bitumen festgestellt). Ursache waren Teerplatten, auf die der Gussasphalt verlegt worden war (Raulf-Heimsoth et al., 2008). Abbildung 14 zeigt den Aufbau des Bodens.



Abbildung 14: Bohrkern mit Teerplatte (unten), Gussasphalt (mitte) und Teppichboden (oben)

2015 wurden bei zwei Messkampagnen in Belgien, den Niederlanden und Luxemburg die Expositionen beim Schweißen von Bitumenbahnen und beim Heißvergießen ermittelt. Bei einer Messung beim Verlegen von Bitumenbahnen im Gießverfahren mit Heißbitumen traten erhöhte PAH-Messwerte auf (Tabelle 22; 221 ng/m³ Benzo(a)pyren). Ursache dafür war der Untergrund: Die Arbeiten fanden auf einem Dach statt, auf dem zuvor Bitumenbahnen entfernt worden waren. Allerdings lagen vor diesen Bitumenbahnen Teerbahnen auf dem Dach. Diese Teerbahnen waren zwar vor Jahrzehnten ebenfalls entfernt worden, allerdings blieben an einzelnen Stellen Teerreste auf dem Beton zurück, aus denen durch das heiße Bitumen die PAK ‚ausgetrieben‘ wurden. Die Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen war bei diesen Arbeiten im üblichen Rahmen.

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.

7 Zusammenfassung

Mit dieser Übertragung des technischen Teils (Abschnitt 1. ‚Exposure Data‘ im Kapitel ‚Bitumens and Bitumen Emissions‘) der IARC-Monographie 103 ‚Bitumens and Bitumen Emissions, and Some N- and S-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons‘ stellt der Gesprächskreis BITUMEN die in Deutschland bzw. Europa üblichen Arbeitsweisen und Expositionen vor.

Der größte Unterschied zur IARC-Monographie liegt in der Beschreibung der Gussasphalt-Anwendungen. Gussasphalt ist in den USA nicht bekannt. Die ‚Observers‘, die das IARC insbesondere für den hier übertragenen Abschnitt 1 ‚Exposure Data‘ eingeladen hatte, waren sechs Vertreter aus der Industrie (IARC, 2013, S. 5/6), fünf davon aus den USA. Auch die Mitglieder einer weiteren Gruppe von Industrievertretern, die diese Observer begleiteten, waren überwiegend aus den USA. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Gussasphalt in der Monographie 103 nicht eine seiner Bedeutung in Europa gemäße Rolle spielt.

Es ist dem Gesprächskreis wichtig, deutlich zu machen, dass es in Europa im Prinzip nur drei Bitumensorten gibt

- straight run (Destillationsbitumen)

- air-rectified (angeblasenes Bitumen) und
- Oxidationsbitumen (Oxidbitumen).

Alle anderen als Bitumen bezeichneten 'Sorten' enthalten neben einem dieser drei Bitumen bzw. einem Gemisch (v.a. von straight run und air-rectified), Additive wie Fluxöle, Gummi-Granulat, ... Diese Additive bestimmen dann die technischen Eigenschaften, vermutlich auch die Toxikologie dieser Sorten.

Auch bei den Expositionsdaten wird sich in dieser Übertragung auf Messungen in Europa konzentriert. Die dargestellten Messdaten wurden fast vollständig vom Gesprächskreis BITUMEN ermittelt, mit identischen Messstrategien und analytischen Methoden. In Kriech et al. (2010) wird die Äquivalenz dieser Vorgehensweise mit dem in den USA überwiegend eingesetzten Heritage-Verfahren beschrieben.

Die Mehrzahl der in den Tabellen 4 bis 19 angegebenen Expositionen sind tätigkeitbezogen ermittelt worden, wobei vor allem beim Walz- und Gussasphalt die Tätigkeiten auch über eine Schicht dauern können (in den Sommermonaten im Straßenbau auch länger). Bei der Herstellung der Bitumenbahnen und der Bitumendämpfungsfolien wurden Messungen an der Produktionsanlage vorgenommen, an der sich nicht kontinuierlich Beschäftigte aufhalten. Diese Werte sind daher als Maximalwerte zu betrachten.

Der Gesprächskreis hat 2014 bis 2017 zahlreiche Messungen durchgeführt, um die z.T. schon etwas älteren Messkollektive zu aktualisieren. Dabei wurden im Wesentlichen die früher ermittelten Expositionen bestätigt. Auch weiterhin werden Messungen durchgeführt und die Ergebnisse in die Messkollektive aufgenommen. Die neuesten Daten sind unter www.bgbau.de/koop/gespraechskreis-bitumen zu finden.

Die Expositionen gegenüber den Emissionen aus Bitumen beim Umgang mit Heißbitumen sind vor allem vom Arbeitsverfahren und der Verarbeitungstemperatur abhängig. Zudem haben die auf Baustellen oft sehr unterschiedlichen Raum- und Windverhältnisse Einfluss. Daher ist die Streubreite der Expositionsdaten insbesondere auf nichtstationären Arbeitsplätzen, bei den einzelnen Tätigkeiten oft sehr groß.

Abbildung 15 macht deutlich, dass die Verarbeitungstemperatur einen großen Einfluss auf das Dampf/Aerosol-Verhältnis aus Bitumen hat. Während bei den beim konventionellen Walzasphalteinbau üblichen Temperaturen (um 160°C) vor allem Dämpfe vorliegen, bestimmten beim früher üblichen konventionellen Einbau von Gussasphalt (um 250°C) die Aerosole die Exposition. Dies zeigt, dass immer Beides gemessen werden muss, Dämpfe und Aerosole, um eine Aussage zur Belastung der Beschäftigten durch Emissionen aus Bitumen machen zu können. Grenzwerte, die sich nur auf Aerosole beziehen, ignorieren daher, v.a. bei den Verarbeitungstemperaturen von Walzasphalt, den wesentlichen Anteil der Emissionen aus Bitumen.

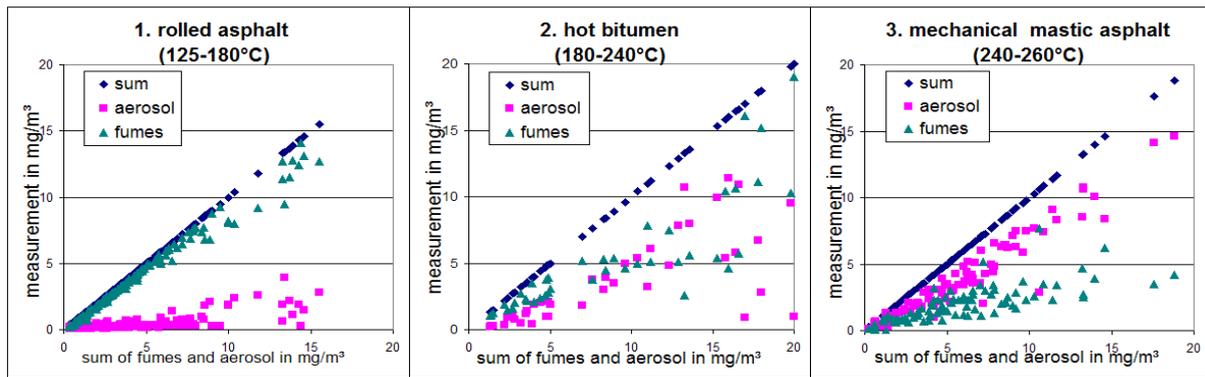


Abbildung 15: Verteilung von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen je nach Verarbeitungstemperatur (Rühl et al., 2006; Gussasphalt wird seit 2008 nicht mehr bei 240 – 260°C eingebaut)

8 Vorschriften und Leitlinien

8.1 Grenzwerte für den Arbeitsplatz

Grenzwerte für die Exposition gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen sind in mehr als 50 Ländern festgelegt, viele Länder haben aber keinen Grenzwert. Der Rechtsstatus der Grenzwerte variiert zwischen rechtlich bindenden und freiwilligen Werten. Die Grenzwerte basieren auf unterschiedlichen Messmethoden und analytischen Verfahren. Mehr als die Hälfte der Länder verwenden einen Grenzwert von 5 mg/m^3 für den 8-Stunden zeitgewichteten Durchschnitt (TWA, time-weighted average), in der Regel als ‚total particulate matter‘ (TPM). Etwas weniger als die Hälfte der Länder haben einen TWA von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für die benzollösliche Fraktion (BSF) der Aerosole aus Bitumen festgelegt (damit wird bei den üblichen Verarbeitungstemperaturen von Walzasphalt über 80% der Emissionen aus Bitumen (Abb. 16) nicht berücksichtigt). Zehn Länder haben einen Kurzzeitwert (Spitzenbegrenzung) neben dem TWA festgelegt.

Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz sind auch in vielen Ländern für einige Stoffe festgelegt, die in Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen auftreten können. Es handelt sich um Stoffe wie PAK, Naphthalin, Benzo[a]pyren und Aldehyde.

Nachdem die Hersteller von Bitumen im Rahmen ihrer Pflichten nach der europäischen Chemikalienverordnung REACH einen DNEL von $2,0 \text{ mg/m}^3$ für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen abgeleitet haben und diesen Wert in ihren Sicherheitsdatenblättern angeben, hat sich der Gesprächskreis BITUMEN erneut mit der Thematik beschäftigt. DNEL steht für Derived No Effect Level, also hergeleiteter „Null-Effekt-Wert“. Die Erfahrungen der Praxis zeigen, dass beim konventionellen Einbau von Walzasphalt im Freien die Effekte nicht auftreten, die in Tierversuchen zu dem DNEL geführt haben. Um dies zu belegen, werden die Asphaltarbeiter alle zwei Jahre arbeitsmedizinisch untersucht.

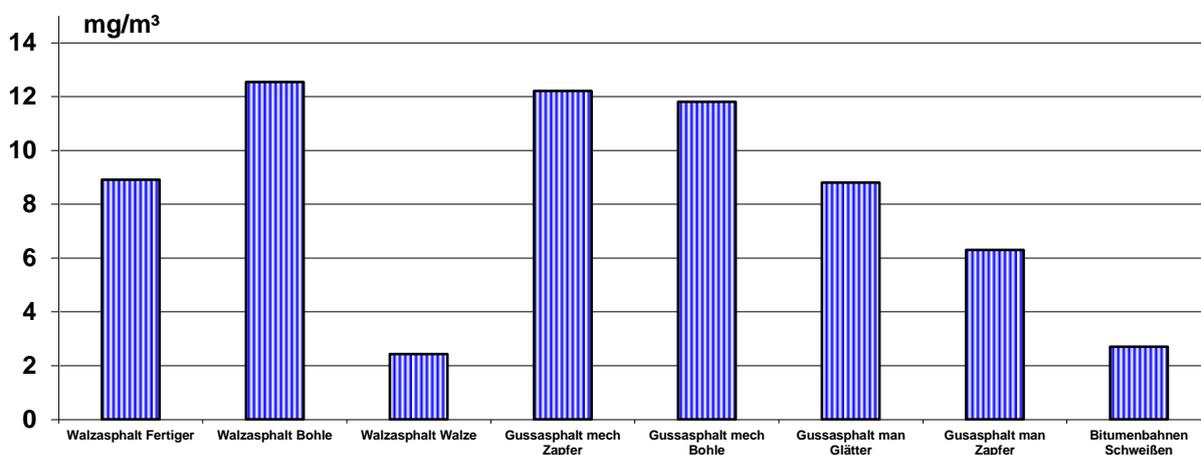


Abbildung 16: Heute übliche Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung

8.2 Ausbauasphalt

Ausbauasphalt wird regelmäßig anstelle frisch gewonnener Gesteinskörnungen und Bitumen bei der Herstellung von Asphaltmischgut verwendet. Der Anteil der Zugabe von Ausbauasphalt hängt von mehreren Faktoren ab. Üblicherweise liegt der Anteil der Zugabe bei 20 bis 40%. Vereinzelt wurden schon Baumaßnahmen mit sehr hohen Anteilen (95%) realisiert. Die Wiederverwendungsrate von Asphalt liegt seit einigen Jahren bei knapp 85%. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland damit in der Spitzengruppe (Abb. 17; Nolle, 2014).

Ausbauasphalt ist ein europäisch genormter Baustoff (DIN EN 13108-8). Das nationale Umsetzungsdokument zu dieser europäischen Norm sind die „Technischen Lieferbedingungen für Asphaltgranulat“ (TL AG-StB 09). Für die Verwertung von Ausbauasphalt ist auch das „Merkblatt für die Wiederverwendung von Asphalt“ (M WA) zu berücksichtigen. In diesem Merkblatt sind die verschiedenen Möglichkeiten und Verfahren der Zugabe von Ausbauasphalt in den Prozess der Asphaltherstellung beschrieben. In allen Fällen ist darauf zu achten, dass die thermische Belastung des Bindemittels begrenzt wird. Neben der Schonung des Bindemittels wird so auch eine Reduktion der Emission erreicht.

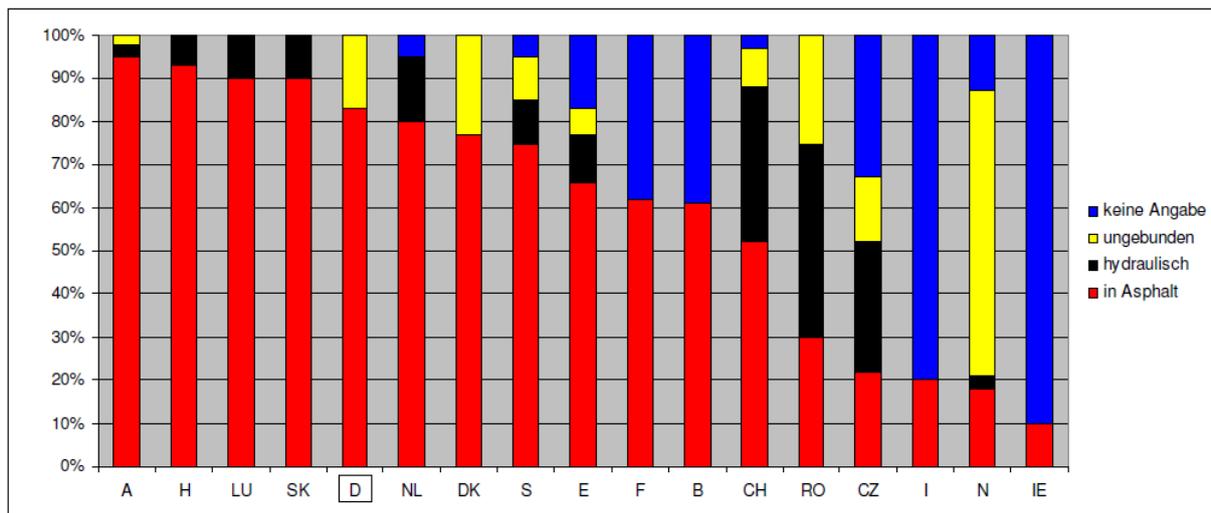


Abbildung 17: Asphaltwiederverwendung/-verwertung in Europa (Nolle, 2014, nach EAPA)

8.3 Teer-/pechhaltige Ausbaumaterialien

Teer- bzw. pechhaltige Ausbaumaterialien können noch vorkommen. Sie dürfen nur kalt verarbeitet werden. Gemäß „Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen“ (M VB-K) ist die „pechhaltige“ Schicht nach Herstellung zu Versiegeln und Abzustreuen. Das Aufbringen einer heißen Asphaltschicht erwärmt die Versiegelung, führt aber nicht zu einer Freisetzung von PAK.

Derzeit wird zunehmend diskutiert, ob teer-/pechhaltige Ausbaumaterialien einer thermischen Verwertung zugeführt werden sollen, um auf diesem Wege die Problematik mittelfristig zu lösen.

9 Glossar

Im Folgenden werden einige Begriffe erläutert, die zu Verwirrung führen können. Dies auch, da im (amerikanischen) Englisch oft andere Namen verwendet werden als im Deutschen.

air-rectified oder angeblasenes Bitumen	Bitumen, dem bei hohen Temperaturen (ca. 232 – 277°C) kurze Zeit Luft eingeblasen wird, um das Bitumen an zu oxidieren (Air-rectified oder Semiblow); die CAS-Nr. ist mit 64742-93-4 die Gleiche wie für Oxidbitumen
Asphalt	natürlich vorkommendes oder technisch hergestelltes Gemisch aus Gesteinskörnung (Splitt, Sand, Gesteismehl) und dem Bindemittel Bitumen; in den USA steht Asphalt für Bitumen
Bitumen	bei der Erdöldestillation erhaltener Rückstand (Destillationsbitumen; „straight-run bitumen“); Bitumen ist Ein- wie Mehrzahl; verwendet werden auch die Begriffe ‚Bitumina‘ bzw. ‚Bitumensorten‘ um Bitumen aus Erdölen verschiedener Herkunft zu bezeichnen; in den USA wird Bitumen als Asphalt bezeichnet
Bitumenemulsion	Emulsion mit Bitumen als dispergierte Phase
Bitumen-Dach-/Dichtungsbahn	Polymerbitumen- und Bitumenbahnen werden bei der Ausführung von flachen, geneigten und/oder genutzten Dachaufbauten mit Abdichtungen verwendet
Destillationsbitumen / straight run Bitumen	bei der Destillation von Erdölen, unter Anwendung eines Vakuums, verbleibendes weiches bis mittelhartes Produkt
Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK)	Temperatur, bei der das Bitumen unter genormten Prüfbedingungen eine bestimmte Konsistenz erreicht (vgl. DIN EN 1427)
Estrich	auf einem festen Untergrund oder einer zwischen liegenden Trenn- oder Dämmschicht hergestelltes Bauteil, welches mittelbar nutzfähig ist oder mit einem Belag versehen werden kann, z. B. Gussasphaltestrich
Flux-Bitumen	Lösemittelhaltige Bitumen werden als gefluxte Bitumen bezeichnet
Gießverfahren	Klebetchnik, bei der Bitumenbahnen in eine vor die Rolle gegossene erhitzte Bitumen-Klebmasse eingerollt werden
Gussasphalt	in heißem Zustand gieß- und streichbare Masse aus Gesteinskörnungen und Bitumen, deren Gesteinskörnungsgemisch hohlraumarm zusammengesetzt ist
Hartbitumen	Bitumen für industrielle Anwendungen, das bei Umgebungstemperatur charakteristische harte und spröde Eigenschaften besitzt
Nadelpenetration (Eindringtiefe)	Konsistenz, ausgedrückt als Wegstrecke in Zehntel-Millimeter, die eine genormte Nadel unter festgelegten Bedingungen von Temperatur, Belastung und Belastungsdauer senkrecht in einer Probe des zu untersuchenden Materials zurücklegt (vgl. DIN EN 1426)
Naphtenbasische Rohöle	Erdöle, deren Eigenschaften von ringförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen, sog. Naphtenen, bestimmt werden
Oxidationsbitumen	Bitumen, dem bei hohen Temperaturen (ca. 232 – 277 °C) Luft eingeblasen wird, um das Bitumen durch zu oxidieren; Oxidationsbitumen wird auch als Oxidbitumen bezeichnet; die CAS-Nr. 64742-93-4 ist die Gleiche wie für angeblasenes Bitumen
Paraffinbasische Rohöle	Erdöle, deren Eigenschaften von kettenförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen, sog. Paraffinen, bestimmt werden
Polymermodifizierte Bitumen (PmB)	mit einem oder mehreren organischen Polymeren modifiziertes Bitumen
Schweißverfahren	Verfahrenstechnik für Bitumenbahnen, bei der die Deckschichten durch Wärmeeinwirkung angeschmolzen und die Bahnen dadurch mit dem Untergrund verbunden werden

10 Literatur

Hier werden nur Quellen aufgeführt, die nicht in der IARC-Monographie stehen.

1. ARBIT e.V.: www.arbit.de/uploads/tx_arbitmediacentre/ARBIT_Pressemitteilung_2014_03.pdf
2. ARMA (The Asphalt Roofing Manufacturers Association), BWA (The Bitumen Waterproofing Association), NRCA (The National Roofing Contractors Association) und RCMA (The Roof Coatings Manufacturers Association): *The Bitumen Roofing Industry – A Global Perspective.*, März 2011
3. Asphalt Institute & Eurobitume: *The Bitumen Industry – A Global Perspective. Third Edition*, Asphalt Institute und Eurobitume, 2015
4. ASTM D 312: *Standard Specification for Asphalt used in Roofing.* ASTM international, 2006
5. BaP-Jahre-Report: BK-Report 2/2012, BaP-Jahre. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), März 2013, www.dguv.de
6. Breuer, Dietmar; Hahn, Jens-Uwe; Höber, Dieter; Emmel, Christoph; Musanke, Uwe; Rühl, Reinhold; Spickenheuer, Anne; Raulf-Heimsoth, Monika; Bramer, Rainer; Seidel, Albrecht, Schilling, Bernd; Heinze, Evelyn; Kendzia, Benjamin; Marczynski, Boleslaw; Welge, Peter; Angerer, Jürgen; Brüning, Thomas und Pesch, Beate: *Air sampling and determination of vapours and aerosols of bitumen and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Human Bitumen Study.* Arch Toxicol (2011) 85 (Suppl 1) S. 11 - 20
7. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhr (BAFA), Amtliche Mineralöl-daten; www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel_rohoel/amtliche_mineraloeldaten/2013/index.html
8. European Mastic Asphalt Association, 2009
9. FGSV: *Empfehlungen zu Gummimodifizierten Bitumen und Asphalten.* FGSV-Nr. 724, ISBN 978-3-86446-040-1, 2012, www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?products_id=3171
10. Freeman JJ, Schreiner CA, Beazley S, Burnett DM, Clark CR, Mahagaokar S, Parker CM, Stewart CW, Swanson MS, Arp EW: *Asphalt fume dermal carcinogenicity potential: II. Initiation-promotion assay of Type III built-up roofing asphalt.* Regul Toxicol Pharmacol. 2011 Okt; 61(1):17-22. doi: 10.1016/j.yrtph.2011.05.008. Epub 2011 May 27.
11. Führling, S.: *Angabe zur Zahl der Walzasphaltarbeiter in Deutschland*, Sitzung des Gesprächskreises BITUMEN, November, 2016
12. Knecht, U., Stahl, S. und Woitowitz, H.-J.: *Handelsübliche Bitumensorten: PAH-Massengehalte und temperaturabhängiges Emissionsverhalten unter standardisierten Bedingungen.* Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 59 (1999) 429 – 434
13. Kriech, Anthony J.; Emmel, Christoph; Osborn, Linda V.; Breuer, Dietmar; Redman, Adam P.; Hoerber, Dieter; Bochmann, Frank and Ruehl, Reinhold: *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
14. Nolle, Bernd: *„Asphaltrecycling - gestern, heute, morgen“.* Berchtesgadener Asphalttage, 2014
15. *Coal-Tar Contamination in Bitumen-Exposed Workers* Raulf-Heimsoth¹, M., Angerer, J.; Pesch, B.; Marczynski, B.; Hahn, J.; Spickenheuer, A.; Preuss, R.; Rühl, R.; Rode, P.; and Brüning, T.: *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
16. RL 67/548/EWG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe, Anhang I
17. Rühl, Reinhold: *Nur noch mit abgesenkter Temperatur - Gussasphalt zwischen Gefahrstoff- und REACH-Verordnung.* asphalt, 4/2008, S. 9 - 13
18. Rühl, Reinhold: *Absaugsysteme an Straßenfertigern - Eine Arbeits- und Umweltschutzmaßnahme?* asphalt, 5/2013, 34 - 35
19. Rühl, Reinhold; Citrich, Gerhard und Reifig, Jürgen: *Helpen Absaugsysteme an Straßenfertigern dem Arbeits- und Umweltschutz?* BauPortal, 5/2014, 36 - 37
20. Rühl, Reinhold; Musanke, Uwe; Kolmsee, Kurt; Prieß, Renate, Zoubek, Gerd und Breuer, Dietmar: *Vapours and Aerosols of Bitumen: Exposure Data obtained by the German Bitumen Forum.* Ann. Occup. Hyg., Vol. 50, No. 5, 459–468, 2006
21. Rühl, Reinhold; Sieber, Ralph; Citrich, Gerhard; Dietz, Jutta und Höber, Dieter: *Zwischen Branchenlösung und TRGS 517.* asphalt, 8/2013, S. 39 - 40
22. Rühl, Reinhold; Ziegler, Corinne und Musanke, Uwe: *ÉMISSIONS DU BITUME LORS DE LA FABRICATION ET DU SOUDAGE DE MEMBRANES BITUMINEUSES.* INRS - Hygiène et sécurité du travail - 1er trimestre 226 / 35 – 38, 2012
23. Ziegler, Corinne; Rühl, Reinhold und Musanke, Uwe: *Emissionen aus Bitumen.* DDH, 14.2012, 26 - 29