



Aktuelle Bewertung von Bitumen in regulatorischen Gremien

MAK-Kommission evaluiert Dämpfe und Aerosole bei der Heißverarbeitung von Bitumen neu

Peter Welge, Heiko U. Kafferlein, Dirk Pallapies, Thomas Brüning

Welches krebserzeugende Potenzial haben verschiedene Bitumensorten? Ab welchen Konzentrationen von Bitumen-Dämpfen und -Aerosolen in der Luft sind Effekte auf die Atemwege von exponierten Beschäftigten zu befürchten? Mit diesen Fragen hat sich die MAK-Kommission in einer Neubewertung von Bitumen beschäftigt, weil seit der letzten Bewertung 2001 neue wissenschaftliche Erkenntnisse publiziert wurden. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des IPA und des IFA haben ihre Expertise – unter anderem aus der Humanstudie Bitumen – bei der Erstellung des Begründungspapiers eingebracht. Aktuell prüft der Ausschuss für Gefahrstoffe, wie mit der Bewertung der MAK-Kommission in Bezug auf das staatliche Regelwerk umgegangen werden soll.

Was ist Bitumen?

Bitumen entsteht bei der Refination von Erdöl durch Destillation. Weitere Verarbeitungsschritte können sich anschließen. Bitumen fungiert bei der Herstellung von Asphalt als Bindemittel für die Gesteinskörnungen und wird im Bereich Dachabdichtung, unter anderem bei der Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen, eingesetzt. Neben diesen beiden großen Anwendungsfeldern gibt es zahlreiche andere Einsatzmöglichkeiten. Festes Bitumen ist weitgehend wasserunlöslich, sodass es sogar im Wasserbau, zum Beispiel

in Talsperren verwendet wird. Bei der Heißverarbeitung von Bitumen entstehen jedoch Dämpfe und Aerosole, denen Beschäftigte ausgesetzt sein können.

Gesundheitliche Effekte, die bei der Exposition gegenüber den Emissionen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung diskutiert werden, sind irritative Beeinträchtigungen der Atemwege und ein erhöhtes Risiko für Lungenkrebs.

Reevaluierung von Bitumen durch die MAK-Kommission

Die MAK-Kommission hat sich nun erneut mit Bitumen beschäftigt (Nies et al. 2019), nachdem die letzte Evaluation aus dem Jahr 2001 stammt (Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft 2001). Einerseits sollten die Ergebnisse neuerer Studien, insbesondere eine neue Langzeit-Kanzerogenitätsstudie an Ratten und die Humanstudie Bitumen, die federführend vom IPA durchgeführt wurde, einbezogen werden (Raulf-Heimsoth et al. 2011a). Andererseits sollte geprüft werden, ob auf Basis aktueller Daten verschiedene Bitumensorten arbeitsmedizinisch-toxikologisch unterschiedlich behandelt werden sollen. Konkret stellt sich die Frage, ob unterschiedliche Einstufungen und Grenzwerte für verschiedene Bitumensorten festgelegt werden müssen.

Das Ergebnis der neuen Evaluierung fand bereits Eingang in die MAK- und BAT-Werte-Liste 2018 (Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft 2018). Ganz aktuell publiziert wurde auch das 119-seitige Begründungspapier, an dem Mitarbeiter des IPA und des IFA maßgeblich beteiligt waren (Nies et al. 2019).

Die MAK-Kommission hat aktuell eine Bewertung von Destillationsbitumen und den sogenannten Air-Rectified-Bitumen (auch als „angeblasene Bitumen“ bezeichnet) sowie von Oxidationsbitumen (auch als „geblasene Bitumen“ bezeichnet) vorgenommen. Andere Bitumensorten beziehungsweise bitumenhaltige Produkte wurden bei der Bewertung nicht berücksichtigt, da hierfür nicht genügend arbeitsmedizinisch-toxikologische Daten vorliegen.

Destillations- und Air-Rectified-Bitumen und Gemische davon werden hauptsächlich im Straßenbau verwendet. Oxidationsbitumen werden vorwiegend im Bereich Dachabdichtung eingesetzt. Aktuell wird allerdings aufgrund neuer technologischer Entwicklungen der Einsatzbereich von Destillations- und Air-Rectified-Bitumen auf Bereiche ausgedehnt, in denen früher ausschließlich Oxidationsbitumen eingesetzt wurde.

Unterschiedliche Einstufung verschiedener Bitumensorten hinsichtlich ihrer Kanzerogenität.

Oxidationsbitumen erwies sich auch in zwei neueren Studien bei dermalen Verabreichung bei der Maus („Hautpinselungsstudien“) als kanzerogen. Dies steht in Übereinstimmung mit den älteren Studien. Inhalationsstudien an Labortieren liegen weiterhin nicht vor. Dämpfe und Aerosole bei der Heißverarbeitung von Oxidationsbitumen, wie es üblicherweise bei Dachabdichtungsarbeiten eingesetzt wird, wurden

deshalb in Kanzerogenitäts-Kategorie 2 (krebserzeugend im Tierversuch) eingestuft. Da Oxidationsbitumen als krebserzeugend eingestuft wurden, kann für sie kein MAK-Wert abgeleitet werden.

Für Destillations- und Air-Rectified-Bitumen wurden 2007 die Ergebnisse einer neueren Zwei-Jahres-Inhalationsstudie veröffentlicht, die gemäß OECD-Prüfrichtlinie 451 durchgeführt wurde (Fuhst et al. 2007). Ratten wurden über 104 Wochen sechs Stunden täglich an fünf Tagen pro Woche gegenüber bis zu etwa 150 mg/m³ Dämpfen und Aerosolen aus einem Gemisch von Destillations- und Air-Rectified-Bitumen exponiert. Diese Werte beziehen sich auf den Bitumenkondensat-Standard und entsprechen bis zu 100 mg/m³ bezogen auf den Mineralölstandard. In der Studie wurden insgesamt keine statistisch signifikant erhöhten Tumorraten bei den Versuchstieren im Vergleich zu nicht exponierten Ratten gefunden, auch wenn in der höchsten Dosisgruppe bei den männlichen exponierten Tieren ein singular auftretendes, schwach differenziertes Adenokarzinom in der Nase beobachtet werden konnte. Aktuelle Studien mit dermalen Applikation waren ebenfalls negativ; auch in Studien bis zum Jahr 2001 waren die Befunde überwiegend negativ.

Die negativen Kanzerogenitätsbefunde aus der Inhalationsstudie mit Ratten werden gestützt durch überwiegend negative Genotoxizitätsbefunde in Studien am Menschen. So wurden in der Humanstudie Bitumen, die das IPA von 2001 bis 2008 durchführte, bei über 200 Gussasphalt-Exponierten keine expositionsbedingt erhöhten DNA-Strangbruchraten und keine erhöhten Mikrokernraten in Lymphozyten gefunden (Marczynski et al. 2011, Welge et al. 2011).

Auch in epidemiologischen Studien an Asphaltierern zeigten sich keine oder nur schwach erhöhte Lungenkrebsrisiken.

Trotz dieser überwiegend negativen Befunde wurde von der MAK Kommission festgehalten, dass wegen der großen Spannweite der chemischen Zusammensetzung von Bitumen, die unter anderem auch in geringen Mengen krebserzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) enthalten können, zumindest Verdachtsmomente hinsichtlich eines kanzerogenen Potenzials bestehen bleiben. Die MAK-Kommission trägt diesem Sachverhalt durch die Einstufung in die Kanzerogenitätskategorie 3B, der sog. „Verdachtskategorie“ Rechnung. Dies bedeutet, dass aus *In-vitro*- oder Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen, die jedoch zur Einordnung in eine andere Kategorie nicht ausreichen. Zur endgültigen Entscheidung sind weitere Untersuchungen erforderlich.



Beschäftigte tragen eine bitumenhaltige Asphaltdecke auf.

Sofern der Stoff keine genotoxischen Wirkungen aufweist, kann dennoch ein MAK-Wert festgelegt werden. Letzteres ist für Destillations- und Air-Rectified-Bitumen der Fall.

MAK-Wert für Destillationsbitumen/Air-Rectified-Bitumen

Für Destillations- und Air-Rectified-Bitumen sind irritative Effekte auf die Atemwege der empfindlichste und damit grenzwertbestimmende Endpunkt.

Der MAK-Wert wurde auf der Basis der bereits oben vorgestellten Zwei-Jahres-Inhalationsstudie an Ratten abgeleitet (Fuhst et al. 2007). Bei einer Expositionskonzentration von 30,4 mg/m³ wurden vermehrt Hyperplasien in der Lunge und Entzündungszellen im nasalen Epithelgewebe gefunden, die bei 6 mg/m³ noch nicht auftraten (beide Werte bezogen auf Bitumenkondensat-Standard). 30,4 mg/m³ stellt also die niedrigste Expositionskonzentration dar, bei der adverse Effekte gefunden wurden, auch LOAEC („Lowest Observed Adverse Effect Concentration“) genannt. Die höchste Konzentration von 6 mg/m³, bei der noch keine adversen Effekte beobachtet wurde, auch NOAEC („No Observed Adverse Effect Concentration“) genannt, wurde durch den Faktor zwei

dividiert, um eine mögliche höhere Empfindlichkeit des Menschen im Vergleich zum Versuchstier zu berücksichtigen. Ein weiterer Faktor zwei wurde angewendet, um einer im Vergleich zur ruhenden Ratte höheren Exposition des Menschen aufgrund körperlicher Aktivität und längerer täglicher Exposition, acht Stunden beim Menschen im Vergleich zu sechs Stunden bei der Ratte, Rechnung zu tragen. Daraus resultiert schließlich ein MAK-Wert von 1,5 mg/m³, bezogen auf den aktuell für Arbeitsplatzmessungen verwendeten Bitumenkondensat-Standard. Bis 31.12.2006 wurde ein Mineralölstandard für die Kalibrierung eingesetzt. Bezogen auf diesen würde ein MAK-Wert von 1 mg/m³ resultieren.

Humanstudie des IPA

In der Humanstudie des IPA wurden bei 320 gegenüber Gussasphalt exponierten Beschäftigten und 118 nicht gegenüber Bitumen exponierten Referenzpersonen frühe Entzündungsmarker im induziertem Sputum (repräsentativ für die unteren Atemwege) und in der Nasenspülflüssigkeit (Nasallavage, repräsentativ für die oberen Atemwege) untersucht (Raulf-Heimsoth et al. 2011b). Bei drei (Gesamtprotein, Interleukin-8 und Matrix-Metalloproteinase 9) von insgesamt zwölf unter-

	Destillations- und Air-rectified-Bitumen	Oxidationsbitumen
Hauptanwendungsbereich	Asphalt im Straßenbau (“Paving”)	Dachabdichtung (“Roofing”)
Einstufung MAK: Kanzerogenität	K3B (Verdachtskategorie)	K2 (krebserzeugend im Tierversuch)
MAK-Wert	1,5 mg/m ³ (bezogen auf Bitumenkondensat-Standard, entspricht 1,0 mg/m ³ , bezogen auf Mineralölstandard)	Nicht festgelegt (wegen Kanzerogenität)

suchten Parametern wurden im Sputum auf Gruppenbasis erhöhte Werte bei den Exponierten gefunden. Es gab jedoch keinen Bezug zur Expositionshöhe in der aktuellen Arbeitsschicht, zur Expositionsdauer oder zu bestimmten Tätigkeiten („Job Tasks“). Da kein Schichtbezug bestand, können die Befunde als erste Hinweise auf beginnende entzündliche Veränderungen, und zwar subchronischer oder chronischer Natur interpretiert werden auch wenn letztendlich die Bedeutung der einzelnen Marker hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz noch wenig untersucht ist. Die Exposition in der Humanstudie des IPA betrug im Median $5,1 \text{ mg/m}^3$ (bezogen auf Bitumenkondensat-Standard). Der MAK-Wert beträgt etwa ein Drittel dieser Konzentration. Die MAK-Kommission hält diesen Abstand für ausreichend. Insgesamt stützt die Humanstudie des IPA den aus dem Tierexperiment abgeleiteten MAK-Wert.

Vergleich mit anderen Beurteilungswerten

Neben den wissenschaftlich abgeleiteten, zunächst rechtlich nicht bindenden MAK-Werten der MAK Kommission gibt es weitere Beurteilungskriterien. Dazu zählen die von der Industrie abgeleiteten, rechtlich ebenfalls nicht bindenden DNEL („Derived no effect level“) der europäischen Chemikalienagentur (ECHA) im Rahmen der Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH; „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“). So beträgt der DNEL für die berufliche inhalative Langzeitexposition gegenüber Asphalt $2,88 \text{ mg/m}^3$ (ECHA 2019). In diesem Zusammenhang bezieht sich die Registrierung (und damit der DNEL) auf den im angelsächsischen Bereich gebräuchlichen Begriff „Asphalt“, der gleichzusetzen ist mit dem in Deutschland bewerteten Destillations- und Air-Rectified Bitumen. MAK-Kommission und Industrie gehen bei der Ableitung ihrer jeweiligen Beurteilungswerte zunächst von der gleichen toxikologischen Studie an Ratten aus (Fuhst et al. 2007). Identisch zur MAK-Kommission werden von der Industrie die bei der niedrigsten Exposition von 6 mg/m^3 beobachteten Effekte als sehr gering angesehen. Während die MAK-Kommission jedoch von dieser experimentell bestimmten NOAEC ihre Ableitung des MAK-Wertes aus vornimmt, startet die DNEL-Berechnung bei einer höheren NOAEC von $8,64 \text{ mg/m}^3$. Außerdem sieht das europäische Regelwerk für die DNEL-Ableitung etwas andere Übertragungsfaktoren vor (DNEL: Faktor 3 für Vergleich Tier/Mensch; MAK jeweils Faktor 2 für Vergleich Tier/Mensch und körperliche Aktivität/erhöhtes Atemvolumen Mensch). Aus toxikologischer Sicht ist jedoch zu betonen, dass trotz geringfügiger Unterschiede in der Ableitung beide Beurteilungswerte (MAK, DNEL) in der gleichen Größenordnung liegen.

Wie geht es jetzt weiter?

MAK-Werte und Einstufungen werden von der MAK-Kommission nach rein wissenschaftlichen Kriterien und entsprechend dem Regelwerk dieser Kommission festgelegt. Letztendlich obliegt es dem Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) am Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), ob und in welcher Form die Bewertung der MAK-Kommission in das rechtlich verbindliche staatliche Regelwerk übernommen wird. Hier können auch Übergangsfristen, d.h. ab wann dieser MAK-Wert in Form eines rechtlich verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) gilt, zum Tragen kommen. Unabhängig von der Übernahme des MAK-Wertes als AGW kann er bereits zum jetzigen Zeitpunkt zur Beurteilung der inhalativen Exposition in der Gefährdungsbeurteilung gemäß TRGS 402 verwendet werden.

MAK-Wert stellt Industrie vor große Herausforderungen

Eine Übernahme des MAK-Wertes für Destillations-/Air-Rectified-Bitumen als AGW in die TRGS 900 würde die bitumen-beziehungsweise asphaltverarbeitende Industrie hinsichtlich des Arbeitsschutzes vor große Herausforderungen stellen. Wie man unter anderem den Expositionsbeschreibungen der BG BAU entnehmen kann, liegen die Expositionen in vielen Arbeitsbereichen derzeit noch oberhalb des MAK-Wertes von $1,5 \text{ mg/m}^3$ (BG BAU 2019).

In Deutschland sind etwa 95 % aller Straßen Asphaltstraßen und eine Substitution von Asphalt beziehungsweise Bitumen ist nicht möglich. Eine Expositionsreduktion durch technische, organisatorische oder persönliche Schutzmaßnahmen steht daher im Fokus der derzeitigen Bemühungen. So kann grundsätzlich durch die Verwendung von temperaturabgesenkten Asphalten (Niedrigtemperaturasphalte, NTA) eine geringere Expositionshöhe erreicht werden. NTA sind durch viskositätsverändernde Zusatzstoffe so modifiziert, dass sie bei geringeren Temperaturen eingebaut werden können. Dabei entstehen weniger Emissionen. Es wird zurzeit kontrovers diskutiert, ob die Dauerhaftigkeit und Belastbarkeit dieser neuen Asphalte der von herkömmlichen Asphalten entspricht. Eindeutige belastbare Langzeitergebnisse dazu liegen noch nicht vor. Möglicherweise wird die dadurch erzielbare Expositionsreduzierung jedoch alleine nicht ausreichen, um einen AGW in Höhe des MAK-Wertes einzuhalten. Daher werden weitere technische Maßnahmen, u.a. Absaugeinrichtungen an Straßenfertigern, geprüft. Als ultima ratio wird, wenn andere Maßnahmen nicht ausreichen, auch das konsequente Tragen von Atemschutz bei entsprechenden Tätigkeiten in Betracht gezogen werden müssen.

Bei der Dachabdichtung werden zunehmend die als krebserzeugend eingestuft Oxidationsbitumen durch andere Bitumensorten ersetzt, für die ein AGW in Höhe des MAK-Wertes gelten kann. Die vorhandenen Arbeitstechniken bei der Dachabdichtung lassen jedoch eine Grenzwerteinhal- tung, im Gegensatz zum Straßenbau, als weniger proble- matisch erscheinen.

Die Ableitung von Luftgrenzwerten und die Einstufung von Stoffen hinsichtlich ihrer Kanzerogenität erfolgt häufig auf der Basis von Tierversuchen. Dies ist auch bei der Evaluie- rung von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen durch die MAK-Kommission der Fall. Die Absicherung durch Befunde

am Menschen ist ein wichtiger Gesichtspunkt, um die Rele- vanz der tierexperimentellen Studienergebnisse für den Ar- beitschutz zu erhöhen. Hier hat die Humanstudie Bitumen des IPA durch Untersuchung von irritativen und möglichen genotoxischen Effekten bei exponierten Beschäftigten einen wichtigen Beitrag geleistet.

Die Autoren:
Prof. Dr. Thomas Brüning
Dr. Heiko U. Käfferlein
Dr. Dirk Pallapies
Peter Welge
 IPA

Literatur

BG BAU – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Expositionsbeschreibungen, <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefährstoffe/gisbau/expositionsbeschreibungen/>, letzter Zugriff: 23.8.2019

Nies E, Brüning T, Steinhausen M, Welge P, Werner SCM, Pallapies D, Bartsch R, Brinkmann B, Schriever-Schwemmer G, Hartwig A, MAK Commission. Bitumen (Dampf und Aerosol bei der Heißverarbeitung). MAK value documentation in German language. The MAK-collection for occupational health and safety. Part 1, MAK value documentations/Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area. 2019; 4: 1253-1371 DOI: 10.1002/3527600418. MB805242D0067

Europäische Chemikalienagentur (ECHA). Asphalt, <https://echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/15585/7/1>, letzter Zugriff 18.10.2019

Fuhst R, Creutzenberg O, Ernst H, Hansen T, Pohlmann G, Preiss A, Rittinghausen S. 24 Months Inhalation Carcinogenicity Study of Bitumen Fumes in Wistar (WU) Rats. J Occup Environ Hyg 2007; 4: 20-43 DOI: 10.1080/15459620701326257

Marczynski B, Raulf-Heimsoth M, Spickenheuer A, Pesch B, Kendzia B, Mensing T, Engelhardt B, Lee E-H, Schindler BK, Heinze E, Welge P, Bramer R, Angerer J, Breuer D, Käfferlein HU, Brüning T. DNA adducts and strand breaks in workers exposed to vapours and aerosols of bitumen: associations between

exposure and effect. Arch Toxicol 2011; 85 Suppl 1: S53-64 DOI: 10.1007/S00204-011-0682-5

Raulf-Heimsoth M, Pesch B, Rühl R, Brüning T. The Human Bitumen Study: executive summary. Arch Toxicol 2011a; 85: 3-9. DOI: 10.1007/S00204-011-0679-0

Raulf-Heimsoth M, Pesch B, Kendzia B, Spickenheuer A, Bramer R, Marczynski B, Merget R, Brüning T. Irritative effects of vapours and aerosols of bitumen on the airways assessed by non-invasive methods. Arch. Toxicol 2011b; 85 Suppl 1: S 41-52 DOI: 10.1007/S00204-011-0681-6

Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bitumen (Dampf und Aerosol). Weinheim 2001

Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). MAK- und BAT-Werte-Liste 2018. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Mitteilung 54. Weinheim, 2018

Welge P, Marczynski B, Raulf-Heimsoth M, Spickenheuer A, Kendzia B, Heinze E, Angerer J, Käfferlein HU, Pesch B, Brüning T. Assessment of micronuclei in lymphocytes from workers exposed to vapours and aerosols of bitumen. Arch Toxicol 2011; 85 Suppl 1: S65-71 DOI: 10.1007/S00204-011-0683-4