

Bitumendämpfe und Bitumenaerosole

Methodennummer	1
Anwendbarkeit	Luftanalyse
Analyt. Messprinzip	Infrarotspektrometrie
Abgeschlossen im	Juni 2008

Zusammenfassung

Mit dieser Analysenmethode können Bitumendämpfe und Bitumenaerosole in einem Konzentrationsbereich von 0,2 mg/m³ bis 25 mg/m³ in der Luft am Arbeitsplatz bestimmt werden. Zur Probenahme wird die Raumluft mit einer geeigneten Probenahmepumpe durch ein GGP-Probenahmesystem gesaugt, das sowohl Aerosole als auch Dämpfe sammelt [1]. Die Bitumenaerosole werden dabei auf einem binderfreien Glasfaserfilter abgeschieden und die Bitumendämpfe an XAD-2 adsorbiert. Nach der Probenahme werden der Filter und das XAD-2 Adsorberharz in Schraubdeckelgläschen überführt und mit Tetrachlorethen überschichtet. Nach Desorption im Ultraschallbad werden die Elutionslösungen filtriert und in einem Messbereich von 2800 bis 3000 cm⁻¹ infrarotspektrometrisch untersucht.

Kenndaten des Verfahrens

Präzision:	Standardabweichung (rel.): $s = 0,6\text{--}6,8 \%$ Streubereich: $u = 1,7\text{--}17,4 \%$ Erweiterte Messunsicherheit: $U = 20,4\text{--}24,5 \%$ im Konzentrationsbereich von 0,2 bis 25 mg/m ³ und $n = 6$ Bestimmungen
Bestimmungsgrenze:	absolut: 200 µg Bitumen entspricht 0,2 mg/m ³ bei einem Probeluftvolumen von 1050 L
Wiederfindung:	> 95 %

Probenahmeempfehlung:	Probenahmedauer:	5 h
	Probeluftvolumen:	1050 L

Bitumendämpfe und Bitumenaerosole [8052-42-4]

Bitumen ist ein bei der Aufarbeitung geeigneter Erdöle gewonnenes schwerflüchtiges dunkelfarbiges, klebriges Gemisch verschiedener Substanzen (Destillationsrückstand), dessen elastoviskoses Verhalten sich mit der Temperatur ändert. Je nach Herstellungsverfahren unterscheidet man Destillationsbitumen, Hochvakuumbitumen, Oxidationsbitumen oder Polymerbitumen. Es ist unlöslich in Wasser, löst sich aber gut in organischen Lösemitteln wie z. B. Toluol. Bitumen besteht hauptsächlich aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen (langkettig und aromatisch), heterocyclischen Verbindungen und enthält darüber hinaus auch Spuren von Metallen. Physikalisch gesehen gehört Bitumen zu den thermoplastischen Stoffen, das heißt, seine Eigenschaften sind temperaturabhängig.

Hauptanwendungen für Bitumen sind Straßenbaumaterialien, Dachabdichtungen und Abdichtungsmittel gegen Grundwasser. So werden ca. 80 % des in Deutschland produzierten Bitumens zusammen mit unterschiedlichen Mineralstoffen, wie z. B. Sand und Split, als Bindemittel bei der Asphaltherstellung verwendet. Darüber hinaus wird Bitumen als Anstrichstoff, im Bautenschutz sowie als Vergussmasse oder als elektrisches Isoliermaterial verwendet.

In der MAK- und BAT-Werte-Liste [2] ist Bitumen (Dampf und Aerosol) in die krebserzeugende Kategorie 2 eingestuft. Zudem ist es mit „H“ markiert, weil die Hautgängigkeit der in Bitumen enthaltenen kanzerogenen Substanzen nachgewiesen wurde. Zur Toxizität von Bitumen (Dampf und Aerosol) siehe Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten [3].

Autoren: *D. Breuer, C. Engel*
Prüfer: *C.-P. Maschmeier*

Bitumendämpfe und Bitumen-aerosole

Methodennummer	1
Anwendbarkeit	Luftanalyse
Analyt. Messprinzip	Infrarotspektrometrie
Abgeschlossen im	Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlage des Verfahrens
2	Geräte, Chemikalien und Lösungen
2.1	Geräte
2.2	Chemikalien
2.3	Lösungen
2.4	Vorbehandlung von XAD-2
3	Probenahme und Probenaufarbeitung
3.1	Vorbereitung der Probenträger
3.2	Probenahme
3.3	Probenaufbereitung und analytische Bestimmung
4	Infrarotspektrometrische Arbeitsbedingungen
5	Kalibrierung
6	Berechnung des Analysenergebnisses
7	Beurteilung
7.1	Präzision
7.2	Wiederfindung
7.3	Bestimmungsgrenze
7.4	Lagerfähigkeit
7.5	Störeinflüsse
8	Diskussion
9	Literatur

1 Grundlage des Verfahrens

Mit dieser Analysenmethode können Bitumendämpfe und Bitumenaerosole in einem Konzentrationsbereich von $0,2 \text{ mg/m}^3$ bis 25 mg/m^3 in der Luft am Arbeitsplatz bestimmt werden. Zur Probenahme wird die Raumluft mit einer geeigneten Probenahmepumpe durch ein GGP-Probenahmesystem gesaugt, das sowohl Aerosole als auch Dämpfe sammelt [1]. Die Bitumenaerosole werden dabei auf einem binderfreien Glasfaserfilter abgeschieden und die Bitumendämpfe an XAD-2 adsorbiert. Nach der Probenahme werden der Filter und das XAD-2 Adsorberharz in Schraubdeckelgläschen überführt und mit Tetrachlorethen überschichtet. Nach Desorption im Ultraschallbad werden die Elutionslösungen filtriert und in einem Messbereich von 2800 bis 3000 cm^{-1} infrarotspektrometrisch untersucht.

2 Geräte, Chemikalien und Lösungen

2.1 Geräte

- Pumpe zur personengetragenen Probenahme, Förderleistung 210 L/h
- Gasmengenzähler
- GGP Probenahmesystem zur Erfassung einatembarer Aerosole und Dämpfe (z. B. Fa. GSM GmbH, 41469 Neuss)
- Glasfaserfilter, binderfrei (z. B. Fa. Macherey-Nagel, MN 85/90 BF, 37 mm , 52355 Düren)
- XAD-2 Adsorberharz (z. B. Fa. Supelco, 82041 Deisenhofen)
- Laborsieb, Maschenweite $0,5 \text{ mm}$
- Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer mit Datenauswerteeinheit
- 30-mL -Schraubdeckelgläschen mit PTFE kaschierter Dichtung
- 10-mm -Quarzglasküvetten
- Messkolben, Nennvolumen 10 mL
- Spritzenvorsatzfilter zur Reinigung von Lösemitteln, z. B. Minisart SRT 15, $0,45 \mu\text{m}$ (Fa. Sartorius, 37075 Göttingen)
- Dispenser, Nennvolumen 10 ml
- 10-mL -Glasspritze mit Luer-Lock Anschluss

Anmerkung:

Es sind in jedem Fall Glasgeräte zu verwenden, da Kunststoffmaterialien zu Störungen im IR-Spektrum führen. Die Glasfaserfilter für die Probenahme sind auf Blindwerte zu prüfen und ggf. durch Spülen mit Tetrachlorethen zu reinigen.

2.2 Chemikalien

- Tetrachlorethen (PER), reinst (zur Aufarbeitung des XAD-2 Adsorberharzes)
- Tetrachlorethen (PER), hochrein* (zur Elution von XAD -2 und zur Elution der Glasfaserfilter), z. B. Uvasol®, Fa Merck KGaA, 64271 Darmstadt
- Ethanol absolut, zur Analyse (zur Aufarbeitung des XAD-2 Adsorberharzes)
- Mineralöl für die Spektroskopie
- Bitumenkondensate:

Die Bitumenkondensate wurden nach einem vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (Fraunhofer ITEM) entwickelten Verfahren gewonnen [4]. Bei dem Bitumenkondensatgemisch, mit dem die Kenndaten dieses Verfahrens ermittelt wurden, handelt es sich um ein Gemisch aus gleichen Teilen von vier unterschiedlichen Bitumenkondensaten; zwei Straßenbaubitumen und zwei Bitumensorten, die bei Dachdeckerarbeiten verwendet werden.

** Anmerkung:*

Selbst hochreines PER enthält Stabilisatoren, die einen infrarotspektrometrischen Blindwert bewirken. Der Blindwert ist bei jeder verwendeten Charge zu prüfen und sollte eine Konzentration von 0,005 mg/mL (bezogen auf Bitumen) nicht übersteigen.

2.3 Lösungen

Stammlösung: $c(\text{Bitumen}) = 1 \text{ mg/mL}$

Für die Stammlösung werden ca. 100 mg Bitumenkondensat in einen 100-mL-Messkolben eingewogen und in Tetrachlorethen gelöst. Anschließend wird der Kolben bis zur Marke mit Tetrachlorethen (Ultrapure) aufgefüllt und geschüttelt.

Kalibrierlösungen: $c(\text{Bitumen}) = 0,05 - 0,5 \text{ mg/mL}$

In 10-mL-Messkolben wird eine entsprechende Menge an Stammlösung gemäß Tabelle 1 vorgelegt, mit Tetrachlorethen bis zur Marke aufgefüllt und geschüttelt. Die Kalibrierlösungen sind vor jeder Kalibrierung frisch anzusetzen.

Tab. 1. Pipettierschema zur Herstellung der Kalibrierlösungen für einen Konzentrationsbereich von 0,05 – 5,0 mg/mL

Kalibrierlösung	Volumen der Stammlösung	Endvolumen der Kalibrierlösung	Konzentration an Bitumen in der Kalibrierlösung
Nr.	[mL]	[mL]	[mg/mL]
1	0,5	10	0,05
2	1,0	10	0,10
3	1,5	10	0,15
4	2,0	10	0,20
5	2,5	10	0,25
6	3,0	10	0,30
7	3,5	10	0,35
8	4,0	10	0,40
9	4,5	10	0,45
10	5,0	10	0,50

2.4 Vorbehandlung von XAD-2

Bei neuem XAD-2 Adsorberharz, das eine Korngröße von 0,2 bis 0,9 mm besitzt, müssen die Feinanteile vor seiner Verwendung abgetrennt werden. Dazu wird neues XAD-2 bei 50 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend die Anteile mit einer Korngröße < 0,5 mm mit Hilfe eines Laborsiebes abgetrennt. Das so erhaltene XAD-2 besitzt eine Korngrößenverteilung von 0,5 bis 0,9 mm.

Anschließend wird die entsprechende XAD-2 Fraktion zweimal für jeweils 1 Stunde mit frischem absoluten Ethanol extrahiert. Zur Trocknung wird das gereinigte XAD-2 über Nacht stehen gelassen und anschließend für 24 Stunden im Umlufttrockenschrank bei 50° C getrocknet. Danach werden ca. 200 g XAD-2 in einen 1000-mL-Erlenmeyerkolben mit Schliff überführt mit ca. 600 mL Tetrachlorethen überschichtet, über Nacht stehengelassen und anschließend für 1 Stunde im Ultraschallbad bei 60 °C behandelt. Der Erlenmeyerkolben wird dabei mit einem Übergangsstück (mit Olive) verschlossen, wobei der Hahn geöffnet sein sollte, um einen Überdruck zu vermeiden. Die Dämpfe sind in den Abzug zu leiten.

Nach der Behandlung im Ultraschallbad wird das abgekühlte XAD-2 über 125 mm Rundfilter (Blauband) abgesaugt. Das Überschichten und Reinigen im Ultraschallbad muss dreimal wiederholt werden; beim letzten Reinigungsvorgang ist Tetrachlorethen der höchsten Reinheit einzusetzen. Das gereinigte XAD-2 wird im Abzug über Nacht stehengelassen und abschließend noch einmal über Nacht im Umlufttrockenschrank

bei 50 °C getrocknet.

Gebrauchtes XAD-2 Adsorberharz wird analog wie neues XAD-2 vorbehandelt, wobei einzig der Vorgang des Extrahierens mit Ethanol entfällt.

Vor der Verwendung ist der Blindwert der Charge zu überprüfen. Der Blindwert darf in 10 mL Messlösung eine Konzentration von 0,01mg/mL (bezogen auf Bitumen) nicht überschreiten.

3 Probenahme und Probenaufarbeitung

3.1 Vorbereitung der Probenträger

Das Glasfaserfilter wird in die Filterkapsel eingesetzt und mit den dafür vorgesehenen Deckeln verschlossen.

3 g gereinigtes XAD-2 werden in die Glas- oder Kunststoffkartuschen gefüllt und mit den Spezialsieben verschlossen. Anschließend werden die XAD-2 Kartuschen mit Polyethylenkappen verschlossen. Die so hergestellten Probenträger sind 1 Monat haltbar.

Anmerkung:

Es ist darauf zu achten, dass das XAD-2 nicht zu dicht gepackt ist, um einen zu hohen Strömungswiderstand und damit ein Abschalten der Pumpen zu vermeiden. Es wird empfohlen, mit dem zur Probenahme verwendeten Pumpentyp Probenahmeversuche durchzuführen.

3.2 Probenahme

Für die Probenahme werden geeignete durchflussstabilisierte Pumpen eingesetzt. Mit Hilfe eines repräsentativen Probenträgers der gleichen Herstellungsladung wird der Volumenstrom auf 210 L/h (3,5 L/min) eingestellt. Unmittelbar vor der Probenahme werden die Filterkapsel und die Glaskartusche bzw. die Kunststoffkartusche geöffnet, in den Probenhalter GGP eingesetzt und mit der Pumpe verbunden.

Der Volumenstrom während der Probenahme beträgt 210 L/h für eine Probenahmedauer von 5 Stunden. Nach der Probenahme werden die Filterkapsel und die Kartusche aus dem Probenhalter entnommen, mit den dafür vorgesehenen Kappen verschlossen und gemeinsam der Analyse zugeführt. Die beaufschlagten Probenträger sind möglichst innerhalb von drei Wochen zu analysieren.

3.3 Probenaufbereitung und analytische Bestimmung

Filter und XAD-2 Adsorberharz werden getrennt in 30-mL-Schraubdeckelgläser gegeben und mit jeweils 10 mL Tetrachlorethen der höchsten Reinheit überschichtet. Die Gläser werden fest verschlossen und über Nacht stehen gelassen. Vor der analytischen Bestimmung werden die Probengläser geschüttelt. Danach wird die Probenlösung mit einer 10 mL Glasspritze mit Luer-Lock Anschluss aus dem Schraubdeckelglas aufgezogen und wenn nötig über einen Spritzenvorsatzfilter filtriert. Anschließend wird die Probenlösung in eine IR - Küvette überführt und infrarotspektrometrisch analysiert.

4 Infrarotspektrometrische Arbeitsbedingungen

Die Kenndaten des Verfahrens wurden unter den nachfolgend aufgeführten Arbeitsbedingungen ermittelt.

Gerät:	IR - Spektrometer, z. B. Avatar 370/DTGS (z. B. Fa. Thermo Electron Corporation, 63303-Dreieich)
Software:	Omnic 7.0, KSS Base
Küvette:	10-mm-Quarzglasküvette
Spektren-Addition:	16-fach
Auflösung:	4 cm ⁻¹

5 Kalibrierung

Zur Erstellung der Kalibrierfunktion werden die unter Abschnitt 2.4 beschriebenen Kalibrierlösungen verwendet.

Die Kalibrierlösungen werden nacheinander in die Quarzglasküvette überführt und wie die Probelösungen analysiert. Die ermittelten Peakflächen werden gegen die jeweilige Konzentration aufgetragen. Die Kalibrierkurve ist in dem untersuchten Konzentrationsbereich in der Regel linear. Zur Überprüfung der Kalibrierfunktion ist arbeitstäglich eine Kontrollprobe zu analysieren. Die Kalibrierung ist neu zu erstellen, wenn die analytischen Bedingungen sich ändern oder die Qualitätskontrolle dazu Anlass gibt.

6 Berechnung des Analysenergebnisses

Die Berechnung der Konzentration an Bitumendampf und Bitumenaerosol in der Luft in Arbeitsbereichen erfolgt mit Hilfe der von der Datenauswerteeinheit berechneten Konzentration der Substanz in der Messlösung. Ist die ermittelte Kalibrierfunktion nicht linear, wird eine quadratische Auswertung empfohlen.

Zunächst werden die Blindwerte des Lösungsmittels und des Adsorbens (XAD-2) abgezogen. Für die Blindwertkorrektur gelten folgende Gleichungen (1, 2):

$$\Delta E_{XAD} = E_0 - E_{b1} - E_{b2} \quad (1)$$

Da die binderfreien Glasfaserfilter zu keinem Blindwert führen, reduziert sich Gleichung (1) zu:

$$\Delta E_{Filter} = E_0 - E_{b1} \quad (2)$$

Bei computergesteuerten FTIR-Spektrometern erfolgt die Subtraktion der integralen Extinktion über die Subtraktion der Spektren des Lösemittels und des XAD-2 Probenspektrums. Für die Konzentration an Bitumendampf und Bitumenaerosol in der Luft am Arbeitsplatz gelten folgende Gleichungen (3a, 3b, 3c):

$$\rho_{XAD} = \frac{\Delta E_{XAD} - b}{k_{Bi} \times V_{Luft}} \cdot V \quad [\text{mg/m}^3] \quad (3a)$$

$$\rho_{Filter} = \frac{\Delta E_{Filter} - b}{k_{Bi} \times V_{Luft}} \cdot V \quad [\text{mg/m}^3] \quad (3b)$$

$$\rho = \rho_{XAD} + \rho_{Filter} \quad [\text{mg/m}^3] \quad (3c)$$

Sollte kein Bitumenkondensat für die Kalibrierung zur Verfügung stehen, kann die Basiskalibrierung mit einem Mineralöl für die Spektroskopie erfolgen. In diesem Fall können die Werte über einen Umrechnungsfaktor (s. Anmerkung) leicht ineinander umgerechnet werden.

Anmerkung:

Bitumenkondensate haben im Vergleich zu Mineralölen für die Spektroskopie eine reduzierte infrarotspektrometrische Empfindlichkeit. Die Unterschiede der Bitumenkondensate untereinander sind jedoch relativ gering (< 10 %), so dass es zulässig ist,

das verwendete Gemisch (vgl. Abschnitt 2.2) als Grundlage zur Auswertung für alle Bitumenmessungen zu verwenden. Der Umrechnungsfaktor (k_{Min}/k_{Bi}) für die integrale Extinktion von einer Mineralölkalibration zur Kalibration mit dem Bitumengemisch beträgt 1,47.

Unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors ergibt sich folgende Gleichung (4):

$$\rho = \frac{\Delta E - b}{\frac{k_{Min}}{1,47} \times V_{Luft}} \cdot V \quad [\text{mg/m}^3] \quad (4)$$

Es bedeuten:

ΔE_{XAD} gemessene integrale Extinktion, vermindert um die Blindwerte für Lösungsmittel und XAD-2

ΔE_{Filter} gemessene integrale Extinktion, vermindert um die Blindwerte für Lösungsmittel

E_{b1} Blindwert für das Lösungsmittel

E_{b2} Blindwert für XAD-2 Adsorberharz

ρ_{XAD} Massenkonzentration an Bitumendämpfen in der Luft am Arbeitsplatz in mg/m^3

ρ_{Filter} Massenkonzentration an Bitumenaerosole in der Luft am Arbeitsplatz in mg/m^3

ρ Massenkonzentration an Bitumendämpfen und Bitumenaerosole in der Luft am Arbeitsplatz in mg/m^3

b Ordinatenabschnitt der Kalibrierfunktion

k_{Bi} spezifischer, bitumenabhängiger Responsefaktor in mL/mg

k_{Min} spezifischer Responsefaktor für Mineralöl für die Spektroskopie

V_{Luft} Probeluftvolumen in m^3

V Lösungsmittelvolumen in mL

Bei der Ergebnisangabe sind die Konzentrationen an Bitumenaerosol (3b) sowie die Summe aus Bitumendampf und Bitumenaerosol (3c) gesondert auszuweisen.

7 Beurteilung

Die Kenndaten der Methode wurden nach Maßgaben der DIN EN 482 [5] und der DIN 32645 [6] ermittelt.

7.1 Präzision

Zur Ermittlung der Präzision wurden die Mengen an Bitumenkondensat (bezogen auf 1050 L Probeluftvolumen und einen Konzentrationsbereich von 0,2 bis 23,8 mg/m³) auf den Glasfaserfilter eines Probenahmesystems gegeben und anschließend 1000 L Laborluft durchgesaugt. Die Proben wurden wie unter Abschnitt 3.3 beschrieben aufgearbeitet und analysiert. Je Konzentration wurden sechs Probenträger beaufschlagt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2. Standardabweichung (rel.) und erweiterte Messunsicherheit U [5] für $n = 6$ Bestimmungen

Masse an Bitumenkondensat [mg]	Konzentration [mg/m ³]	Standard- abweichung (rel.) [%]	Erweiterte Messunsicherheit U [%]
0,2	0,2	6,8	24,5
5,0	4,8	2,6	21,1
8,4	8,0	0,6	20,4
25,0	23,8	0,6	20,4

7.2 Wiederfindung

Die Wiederfindungen von Bitumen wurden im Zuge der Ermittlung der Präzision im Mindestmessbereich mit ausgewertet. Die mittlere Wiederfindung $\bar{\eta}$ liegt im Bereich von $1,0 \pm 0,05$ (100 ± 5 %). Ein Einfluss höherer Luftfeuchte wurde nicht festgestellt.

7.3 Bestimmungsgrenze

Die Proben zur Absicherung der Bestimmungsgrenze wurden wie unter Abschnitt 7.1 beschrieben hergestellt. Die Bestimmungsgrenze von 0,2 mg/mL wurde mittels der Kalibriergeradenmethode nach DIN 32645 berechnet, was bezogen auf 1050 L Probeluftvolumen einer relativen Bestimmungsgrenze von 0,2 mg/m³ entspricht.

7.4 Lagerfähigkeit

Zur Ermittlung der Lagerfähigkeit wurden eine niedrige (1 mg/m^3) und eine hohe Konzentration (10 mg/m^3) an Bitumenkondensat, wie unter Abschnitt 7.1 beschrieben, auf den Probenträger aufgegeben. Nach der Probenherstellung wurden die Probenträger zunächst für sieben Tage bei Raumtemperatur und anschließend im Kühlschrank bei $+4^\circ\text{C}$ aufbewahrt. Am 1., 7., 14. und 21. Tag wurde jeweils eine Doppelbestimmung vorgenommen. In den angegebenen Zeiträumen konnten keine Änderungen der Bitumenkonzentrationen festgestellt werden.

7.5 Störeinflüsse

Das infrarotspektrometrische Bestimmungsverfahren ist nicht spezifisch für Bitumen.

8 Diskussion

Die infrarotspektrometrische Bestimmung basiert auf Messung der C-H-Valenzschwingungen im Wellenzahlbereich von 2800 bis 3000 cm^{-1} . Dies bedeutet, dass mit diesem Verfahren sämtliche Verbindungen erfasst werden, die ebenfalls im angegebenen Wellenzahlbereich Absorptionen zeigen. Aus diesem Grund sollte in jedem Fall überprüft werden, ob bitumenfremde Emissionsquellen im Arbeitsbereich vorhanden sind. Dies gilt insbesondere für leichtflüchtige Stoffe wie z. B. Dieselöl, Benzinkohlenwasserstoffe oder Lösungsmittel, deren Gegenwart zu starken Verfälschungen der Ergebnisse führen kann. Bei der Durchführung von Messungen ist sicherzustellen, dass derartige Fremdquellen nicht vorhanden sind oder ein Einfluss ausgeschlossen werden kann.

Es wird empfohlen, parallel eine Messung auf organische Stoffe (z. B. Sammlung auf Aktivkohle mit anschließender gaschromatographischer Auswertung) durchzuführen, um mögliche Querbeeinflussungen zu erkennen bzw. ausschließen zu können.

9 Literatur

- [1] Messung von Gefahrstoffen – BGIA-Arbeitsmappe (2007) Geräte zu Probenahme von Stoffen, die gleichzeitig partikel- und dampfförmig vorliegen, Kennzahl 3040, 39. Lieferung. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- [2] Deutsche Forschungsgemeinschaft (2008) MAK- und BAT-Werte-Liste 2008.

Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 44. Wiley-VCH Verlag, Weinheim

- [3] *Greim H (Hrsg.)* (2001) Bitumen (Dampf und Aerosol). Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 32. Lieferung. Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [4] *Pohlmann G, Koch W, Levsen K, Fuhst R, Muhle H, Heinrich, U* (2001) Sammlung von Kondensat aus Bitumendampf und Erzeugung von Atmosphären zur tierexperimentellen Inhalation. Gefahrstoffe - Reinh. Luft, 61 (11/12): 507 – 509
- [5] DIN EN 482 (2006) Arbeitsplatzatmosphäre – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung von chemischen Arbeitsstoffen. Beuth Verlag, Berlin
- [6] DIN 32645 (2008) Chemische Analytik; Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze. Ermittlung unter Wiederholbedingungen; Begriffe, Verfahren, Auswertung. Beuth Verlag, Berlin

Autoren: *D. Breuer, C. Engel*

Prüfer: *C.-P. Maschmeier*