

PAK in verbrauchernahen Produkten müssen so weit wie möglich minimiert werden

Aktualisierte Stellungnahme Nr. 025/2009 des BfR vom 8. Juni 2009*

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind organische Verbindungen, die in der Umwelt oft in komplexen Gemischen vorliegen. Sie entstehen bei unvollständigen Verbrennungsprozessen aus Kohle, Kraftstoffen, Tabak, aber auch beim Grillen. Zahlreiche PAK sind zudem natürliche Bestandteile von Rohöl. Als giftige Umweltchemikalien sind die Substanzen allgegenwärtig und werden von Verbrauchern über die Atemluft und die Nahrung aufgenommen. Bereits in den 1980er Jahren hat die amerikanische Umweltbehörde (EPA) aus den über hundert Einzelverbindungen 16 Substanzen in einer Liste der am häufigsten in Umweltproben nachgewiesenen PAK zusammengestellt. Leitsubstanz dieser Stoffgruppe ist Benzo[a]pyren (BaP). In verbrauchernahen Produkten wie Werkzeuggriffe oder Badesandalen treten diese Substanzen hauptsächlich durch die Verwendung PAK-haltiger Weichmacheröle bei der Herstellung von Gummi und Kunststoffen auf und können so über die Haut aufgenommen werden. Einige Vertreter der PAK wirken mit großer Wahrscheinlichkeit beim Menschen erbgutverändernd, beeinträchtigen die Fortpflanzung oder sind krebserzeugend.

Die Stiftung Warentest hatte 2005 zum Teil hohe PAK-Gehalte in Werkzeuggriffen und Kabelummantelungen nachgewiesen [1]. Zur Minimierung des Gesundheitsrisikos wurden daraufhin Orientierungswerte für technisch unvermeidbare PAK-Gehalte vorgeschlagen, die auf freiwilliger Basis von den Herstellern eingehalten werden sollen. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) wurde gebeten, diese Orientierungswerte sowie das Auftreten von PAK in verbrauchernahen Produkten zu bewerten. Das BfR kam auf Grundlage verschiedener Messdaten unterschiedlicher Prüfinstitute zu dem Ergebnis, dass die Einhaltung der vorgeschlagenen Werte für Werkzeuggriffe und andere Bedarfsgegenstände mit Hautkontakt technisch möglich ist. Die Werte sollten aber nicht grundsätzlich auf andere Produkte und Produktgruppen übertragen werden, da die Herstellungsprozesse durchaus unterschiedlich sein können und somit sowohl niedrigere, als auch in speziellen Fällen nur höhere technisch unvermeidbare Gehalte erreichbar sind. Zudem sollte bei der Festsetzung von Orientierungswerten neben der technischen Vermeidbarkeit auch immer die mögliche Exposition von Verbrauchern berücksichtigt werden. Für die Abschätzung des Gesundheitsrisikos sind weniger die PAK-Gehalte in einem Produkt relevant, als vielmehr die Mengen, die bei Hautkontakt freigesetzt und vom Verbraucher aufgenommen werden.

Der TÜV Rheinland hat im Frühjahr 2009 verschiedene Produkte wie Werkzeuggriffe, Badesandalen und Ballhupen aus dem Baumarkt und Billigläden auf ihren PAK-Gehalt untersucht. Das Ergebnis: In den auf PAK untersuchten Bedarfsgegenständen werden zum Teil nach wie vor die Orientierungswerte erheblich überschritten. Nach jetzigem Kenntnisstand muss das BfR von einer andauernden Vermarktung mangelhafter Produkte ausgehen, die gesundheitlich bedenklich sind und einer guten Herstellungspraxis nicht entsprechen.

Generell sollten Hersteller die PAK-Gehalte in Produkten so weit wie möglich senken, da für einige PAK keine Schwellenwerte angegeben werden können, unterhalb derer ein Gesundheitsrisiko ausgeschlossen werden kann. Um Verbraucher vor gesundheitlichen Gefahren zu schützen, schlägt das BfR die Festlegung von gesetzlichen Grenzwerten für PAK und BaP vor, deren Einhaltung eine Voraussetzung für die Verkehrsfähigkeit von verbrauchernahen Produkten mit Hautkontakt sein sollte.

* Die Neufassung ersetzt die Stellungnahme 035/2007 vom 29. Juni 2006 unter Berücksichtigung neuer Untersuchungen

1 Gegenstand der Bewertung

Der TÜV Rheinland hat im Frühjahr 2009 Gehalte von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in verbrauchernahen Produkten wie Werkzeuggriffen, Badesandalen und Ballhupen veröffentlicht [2]. Laboruntersuchungen hatten gezeigt, dass diese Produkte zum Teil hohe PAK-Konzentrationen aufwiesen. Ähnliche Befunde der Stiftung Warentest hatten bereits im Jahr 2005 ein Handelsunternehmen dazu veranlasst, Orientierungswerte für PAK abzuleiten, um so ein von diesen Produkten ausgehendes mögliches Risiko zu minimieren. Bei diesen Orientierungswerten wird eine Einteilung in folgende Produktgruppen vorgenommen: Für Produkte bzw. relevante Bauteile, die wie Werkzeuggriffe für den Hautkontakt vorgesehen sind, soll die Summe aller PAK 10 mg pro kg Produkt bzw. Teil und der Gehalt an Benzo[a]pyren (BaP) 1 mg pro kg Produkt bzw. Teil nicht überschreiten. Für Produkte, bei denen nur von einem kurzzeitigen Hautkontakt auszugehen ist (z.B. Kabelummantelungen), wurden Orientierungswerte von 200 mg PAK und 20 mg BaP pro kg Produkt bzw. Teil festgesetzt. Die Summe aller PAK umfasst dabei die 16 von der Umweltbehörde der USA (EPA) gelisteten Verbindungen (siehe unten).

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hatte damals und erneut im Jahr 2007 diese Werte aus Sicht des vorsorgenden Verbraucherschutzes kommentiert und eine Stellungnahme zur Problematik der PAK in verbrauchernahen Produkten abgegeben. Die neuen Ergebnisse und die Bewertung des TÜV Rheinland sind Anlass für eine aktualisierte Stellungnahme des BfR.

2 Ergebnis

Der Begriff der PAK beschreibt eine mehr als 100 Einzelverbindungen umfassende Gruppe von Stoffen, die in der Umwelt als komplexe Gemische vorkommen. Bei einigen PAK handelt es sich um im Tierversuch krebserzeugende Stoffe, die mit großer Wahrscheinlichkeit auch im Menschen entsprechend wirken. Für solche Stoffe können keine Schwellenwerte angegeben werden, unterhalb derer ein Risiko für die menschliche Gesundheit ausgeschlossen werden kann. Das BfR ist deshalb der Auffassung, dass die Gehalte an PAK in verbrauchernahen Produkten so weit wie möglich minimiert werden müssen und fordert deshalb geeignete Maßnahmen (Grenzwerte), um die diesbezügliche Exposition zu verringern.

Die Messdaten, die dem BfR vorliegen, belegen, dass es in einigen Produkten zu erheblichen Überschreitungen der genannten Orientierungswerte kommt. Gleichzeitig verdeutlichen die Messungen aber auch, dass die vorgeschlagenen Orientierungswerte für Werkzeuggriffe und weitere verbrauchernahe Produkte eingehalten werden können.

Das BfR weist darauf hin, dass die technisch unvermeidbaren PAK-Gehalte in verschiedenen verbrauchernahen Produkten durchaus unterschiedlich sein können. Orientierungswerte sollten sich deshalb auf bestimmte Produkte bzw. Produktgruppen beziehen. Die Orientierungswerte sollten neben der technischen Vermeidbarkeit auch die mögliche Exposition der Verbraucher berücksichtigen. Eine erhebliche Überschreitung dieser Werte, wie sie durch die Stiftung Warentest und den TÜV Rheinland festgestellt wurde, ist jedoch gesundheitlich bedenklich und nicht mit einer guten Herstellungspraxis vereinbar.

Für eine wissenschaftliche Expositionsabschätzung sind Daten zur Freisetzung der PAK aus den entsprechenden Produkten notwendig. Für Produkte oder Teile von Produkten, die mit der Haut in Kontakt kommen (z.B. Werkzeuggriffe), sollte die Migration der PAK vom Produkt in eine Schweißsimulanzlösung bestimmt werden, um eine solidere Expositionsabschätzung durchführen zu können. Dazu existiert jedoch bis jetzt keine standardisierte bzw. normierte

Untersuchungsmethode. Weiterhin sind Daten zum Übergang der PAK von der Hautoberfläche in den Körper erforderlich.

3 Begründung

3.1 Gehalte

Folgende Eintragsquellen, durch die PAK in verbrauchernahe Produkte gelangen, konnten bisher identifiziert werden:

- Weichmacheröle, welche Gummiprodukten zur Erzielung entsprechender funktioneller Eigenschaften zugesetzt werden (PAK-arme Varianten dieser Öle sind erhältlich, jedoch im Vergleich teurer. PAK bilden einen natürlichen Bestandteil von Rohöl.)
- Ruße, welche Elastomeren zur Erzielung bestimmter Produkteigenschaften (u. a. Elastizität, Dämpfung, Löslichkeit in der Polymermatrix) zugesetzt werden.

Weichmacheröle und Ruße können potenziell auch in Kunststoffen sowie in Lacken und Überzügen eingesetzt werden.

Das BfR hat eine Reihe von Daten zu PAK-Gehalten in unterschiedlichen verbrauchernahen Produkten ausgewertet, die von einem Handelsunternehmen zur Verfügung gestellt wurden. Die Auswertung ergab, dass in ca. 23 % der über 1.400 untersuchten Proben keine PAK nachweisbar waren, während 27 % gering (0 bis 1 mg/kg) und 13 % stärker (>10 mg/kg) belastet waren.

PAK sind ubiquitär vorhanden. Die US-EPA hat folgende 16 Verbindungen benannt, die in Umweltproben relevante Anteile am Gesamtgehalt der PAK haben: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benz[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen, BaP, Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen und Indeno[1,2,3-cd]pyren. Diese Liste berücksichtigt hauptsächlich Umweltaspekte und Emissionen und beinhaltet eine Auswahl von leicht bis schwer flüchtigen Verbindungen. Die bei der Bewertung von PAK-Belastungen herangezogene Leitkomponente ist BaP.

3.2 Exposition

Der TÜV Rheinland unterschied in seiner Studie die untersuchten Gegenstände nach der Dauer des Hautkontaktes. Dabei ist die Kategorie der Materialien mit vorhersehbarem Hautkontakt (länger als 30 Sekunden) von besonderer Bedeutung für den Verbraucher. In dieser Kategorie wurden 15 Gegenstände (verschiedene Werkzeuge, Clogs, Badesandalen, Fahrradlenker, Uhrarmband u. a.) untersucht. Einige der Produkte lagen klar unter den Orientierungswerten von 10 mg PAK pro kg Produkt bzw. Teil und 1 mg BaP pro kg Produkt und Teil. Andererseits wurden Maximalwerte von mehr als 9.900 mg PAK und mehr als 500 mg BaP pro kg Produkt bzw. Teil bestimmt. Diese Studie bestätigte eine frühere Untersuchung der Stiftung Warentest, in der in Werkzeuggriffen Maximalgehalte von 2.000 mg PAK und 87 mg BaP pro kg Produkt nachgewiesen worden waren [1].

Um die Exposition von Verbrauchern abschätzen und eine gesundheitliche Bewertung vornehmen zu können, sind aber nicht die PAK-Konzentrationen im Material, sondern die daraus freigesetzten PAK-Mengen relevant. Das BfR hat folgende Expositionsabschätzung durchgeführt:

Geht man von einem Werkzeuggriff mit einem Gehalt von 500 mg BaP/kg und einem Griffgewicht von 200 g aus sowie der Annahme, dass bei Hautkontakt innerhalb von einer Stunde 1 % des im Griff enthaltenen BaP migriert¹, ergibt sich pro einstündiger Anwendung eine externe Exposition von 1 mg BaP.

Die Daten zur Hautpenetration von BaP und PAK differieren je nach Spezies, Individuum, Untersuchungsart (*in vivo*, *in vitro*, Auftragsstelle) und Matrix beträchtlich. Die Literaturangaben zur dermalen Resorption von PAK variieren zwischen 3-43 % [3]. Allerdings wurde bei einigen der Untersuchungen, die niedrige Werte ergaben, ausschließlich die vollständige Penetration durch die Haut bestimmt; der in der Haut verbliebene PAK-Anteil blieb dabei unberücksichtigt. Das BfR hält deshalb die Einbeziehung eines Resorptionsfaktors von 22 %, der auch auf der ersten Sitzung der ad hoc Arbeitsgruppe PAK der vorläufigen Kunststoffkommission des BfR vorgestellt wurde, für gerechtfertigt [4]. Legt man diesen Faktor von 22 % zugrunde, ergibt sich für einen Erwachsenen mit einem Körpergewicht von 60 kg eine interne Exposition von 220 µg BaP bzw. 3,67 µg BaP/kg Körpergewicht und einstündiger Nutzung. Generell sieht das BfR zur Frage der dermalen Exposition gegenüber PAK aus verbrauchernahen Produkten jedoch noch erheblichen Forschungsbedarf.

Verbraucher sind nicht nur über Bedarfsgegenstände mit Hautkontakt, sondern auch über die Nahrung und ggf. Tabakrauch gegen PAK und insbesondere BaP exponiert. Die Sektion Toxikologie der Deutschen Gesellschaft für experimentelle und klinische Pharmakologie und Toxikologie (DGPT) schätzt die tägliche Aufnahme von BaP (als Referenzverbindung für PAK-Gemische) u. a. wie folgt ein: Aufnahme mit der Nahrung 0,2 bis 0,5 µg sowie durch Tabakrauchen 0,4 µg [5]. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) nennt eine durchschnittliche tägliche Aufnahme für die allgemeine Bevölkerung von 0,001-0,005 µg/kg Körpergewicht [6], das Scientific Committee on Food (SCF) eine maximale tägliche Aufnahme von 0,42 µg/Person, was in etwa 0,006 µg/kg Körpergewicht entspricht [7].

Insgesamt kann die zusätzliche Exposition gegenüber BaP aus Werkzeuggriffen unter ungünstigen Bedingungen also deutlich höher sein als die Menge, die ein Erwachsener täglich mit der Nahrung oder als Raucher aufnimmt. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass eine derartige Exposition über Werkzeuggriffe bei Verbrauchern nicht täglich erfolgt und die Mengen, die auf die Haut übergehen, während der Gebrauchsdauer des Werkzeuges abnehmen. Das BfR hält Vergleiche der geschätzten BaP-Exposition aus Werkzeuggriffen oder anderen verbrauchernahen Produkten über die Haut mit einer Exposition gegen BaP im Tabakrauch, wie sie vom TÜV Rheinland vorgenommen wurde, aus folgenden Gründen nicht für sinnvoll: Zum einen enthält Tabakrauch nicht nur BaP und PAK, sondern auch noch tausende von weiteren Verbindungen, die unterschiedliche Krankheiten verursachen können

¹ Die Annahmen für den Übergang auf die Haut berücksichtigen folgende experimentelle Ergebnisse: Die Stiftung Warentest hat Untersuchungen zur Migration von PAK in Isooctan als Fettsimulanz vorgenommen. Für einen Fenstergriff mit einem PAK-Gehalt von 10.707 mg/kg wurden in der Summe für alle PAK Werte zwischen 89.924 µg/dm² und 131.014 µg/dm² für die Einzelverbindung BaP Werte zwischen 4.673 µg/dm² und 7.417 µg/dm² in Abhängigkeit von Temperatur (20°C, 37°C) und Extraktionsdauer (20 bzw. 120 Minuten) ermittelt. Nimmt man für den Griff eine Masse von 100 g und eine Oberfläche von 1 dm² an, bedeutet dies, dass maximal ca. 12 % der PAK unter den Versuchsbedingungen migriert sind. Bei der Verwendung von Wasser als Extraktionsmittel verringert sich die Summe der maximal migrierten PAK auf 33,97 µg/dm² bzw. ca. 0,003 %. Beide Extraktionsmedien lassen jedoch nur bedingt eine Übertragung auf die Haut zu. Bei Untersuchungen des TÜV zum Übergang von PAK aus einem Werkzeuggriff auf einen mit Schweißsimulanz behandelten Latexhandschuh fanden sich 1,3 % des Gesamtgehaltes sowie 0,7 % des BaP-Gehaltes im Handschuh wieder. Für die Expositionsabschätzung geht das BfR im Rahmen einer *worst-case* Schätzung von einer Migration von 1 % aus.

und zum Teil ebenfalls krebserzeugend sind, wie z.B. Acrolein, Benzol, Blausäure, Formaldehyd und das radioaktive Polonium-210. Zum anderen wird BaP nach inhalativer Aufnahme sehr schnell resorbiert. Dies zeigen Daten aus Tierversuchen an Ratten [8]. Es ist daher bei der Einatmung von Tabakrauch sehr schnell mit vergleichsweise hohen Spitzenspiegeln von BaP im Blut und den Geweben zu rechnen.

3.3 Gefährdungspotenzial und Risikocharakterisierung

Vertreter aus der Gruppe der PAK weisen kanzerogene Eigenschaften auf. Daher wurden Teer und Teeröle (Pyrolyseprodukte aus organischem Material) von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission) als krebserzeugend in die Kategorie 1 eingestuft (die Kategorie enthält Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen und bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten). Einige PAK, darunter auch BaP, können Hauttumore induzieren. BaP ist außerdem als erbgutverändernd für den Menschen (EU-Kategorie M2) sowie beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit des Menschen (EU-Kategorie RE2) eingestuft. PAK besitzen ferner ein hohes Potenzial, über die Haut aufgenommen zu werden (MAK-Kennzeichnung H) [9].

3.4 Regulatorische Situation

PAK in verbrauchernahen Produkten unterliegen derzeit gesetzlich weitgehend keinen speziellen Bestimmungen. Gemäß dem Gesetz zur Neuordnung der Sicherheit von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten müssen Produkte den vorgesehenen Anforderungen an Sicherheit und Gesundheit entsprechen und dürfen die Gesundheit von Verwendern und Dritten bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung nicht gefährden, wenn sie in den Verkehr gebracht werden. Für Bedarfsgegenstände ist es gemäß § 30 des Lebens- und Futtermittelgesetzbuches (LFGB) verboten, diese derart herzustellen oder zu behandeln, dass sie bei bestimmungsgemäßem oder vorhersehbarem Gebrauch geeignet sind, die Gesundheit durch ihre stoffliche Zusammensetzung, insbesondere durch toxikologisch wirksame Stoffe oder durch Verunreinigungen, zu schädigen. Es ist ferner verboten, Gegenstände oder Mittel, die bei bestimmungsgemäßem oder vorausgehendem Gebrauch geeignet sind, die Gesundheit durch ihre stoffliche Zusammensetzung zu schädigen, als Bedarfsgegenstände in den Verkehr zu bringen.

Stoffspezifische Regelungen für Teeröle oder PAK in Bedarfsgegenständen und sonstigen verbrauchernahen Produkten existieren nicht. Die Chemikalienverbotsverordnung sieht ein Anwendungsverbot für Teeröle in Holzschutzmitteln und Erzeugnissen aus Holz und Holzwerkstoffen vor, sofern diese nicht ausschließlich gewerblich oder industriell genutzt werden. Ferner dürfen Weichmacheröle nicht für die Herstellung von Reifen oder Reifenbestandteilen in den Verkehr gebracht und verwendet werden, wenn sie mehr als 1 mg BaP pro kg enthalten oder der Gehalt aller aufgeführten PAK zusammen mehr als 10 mg/kg beträgt (Richtlinie 69/2005/EG; die daraus hervorgehenden nationalen Vorschriften sind ab dem 1. Januar 2010 von den Mitgliedsstaaten anzuwenden). Die Aromenverordnung enthält einen Grenzwert für BaP von 0,03 µg/kg Lebensmittel. Die Verordnung 208/2005 der EG schreibt Höchstmengen für PAK in verschiedenen Lebensmitteln vor, die bei 1 bis 10 µg pro kg Frischgewicht liegen.

Durch die Richtlinie 67/548/EWG, Anhang I werden Zubereitungen mit einem Gehalt von $\geq 0,01\%$ ($100\text{ mg/kg} = 100\text{ ppm}$) BaP als krebserzeugend eingestuft. Darüber hinaus existieren „Technische Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS) als nationale Vorschriften zum Schutz der

Beschäftigten. Die TRGS 551 (Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material) legt Verwendungsverbote fest, die sich auf unterschiedliche PAK-haltige Produkte mit einem bestimmten Gehalt an BaP beziehen, wie z.B. Bindemittel im Straßenbau, Beschichtungsmittel zum Korrosionsschutz oder auch Klebstoffe. In der TRGS 905 (Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe) werden Zubereitungen ab einem Gehalt von 0,005 % (50 mg/kg = 50 ppm) BaP als krebserzeugend eingestuft. Weiterhin gelten PAK nach dem UN/ECE-Protokoll von 1998 [10] als persistente organische Verbindungen (POP) und unterliegen somit der Verpflichtung zur Reduzierung der jährlichen Emissionsmengen.

4 Handlungsoptionen

Die vom TÜV Rheinland ermittelten Daten zum Gehalt an PAK in unterschiedlichen verbrauchernahen Produkten sind zum Teil extrem hoch, obwohl die Herstellung geringer belasteter Produkte bekanntermaßen in der Regel technisch möglich ist. Aus Sicht des BfR sollten deshalb verbindliche Regelungen zum Gehalt an PAK geschaffen werden, die alle relevanten verbrauchernahen Produkte abdecken. Dabei sollten nicht nur Gegenstände aus Elastomermaterialien (wie z. B. die diskutierten Werkzeuggriffe) berücksichtigt werden, sondern auch betroffene Produkte aus Kunststoffen und solche mit entsprechenden Lackierungen, insbesondere auch Spielzeug. Entsprechende Regelungen sollten sich am ALARA-Prinzip (as low as reasonable achievable – so gering wie technisch möglich) orientieren.

Die im Jahr 2005 etablierten Orientierungswerte bilden diesbezüglich einen ersten Schritt in Richtung einer Regulation. Sie sind aber nicht verpflichtend und sollten zudem regelmäßig dem Stand der Technik angepasst werden. Die Prüfung der Einhaltung der Orientierungswerte ist mittlerweile zwar eine Voraussetzung zum Erhalt des GS-Zeichens. Dieses aber wird nur dann vergeben, wenn der Hersteller bzw. Importeur es beantragt, wozu er aber nicht verpflichtet ist. Insofern ist hierdurch kein umfassender Schutz des Verbrauchers gewährleistet.

5 Referenzen

- [1] Stiftung Warentest 2005: online vom 1.7.2005 und vom 17.8.2005
- [2] TÜV Rheinland: Risikofaktor PAK: Konzentration in Produkten alarmierend hoch: http://www.tuv.com/de/news_pak_in_produkten.html?lan=1
- [3] GESTIS-Stoffdatenbank, Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften: <http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-hit-h.htm&2.0>
- [4] http://www.bfr.bund.de/cm/216/1_sitzung_der_ad_hoc_arbeitsgruppe_pak_der_vorlaeufigen_kunststoff_kommission.pdf
- [5] DGPT 2000: Stellungnahme der Sektion Toxikologie der Deutschen Gesellschaft für experimentelle und klinische Pharmakologie und Toxikologie (DGPT) zur möglichen Gesundheitsgefährdung durch erhöhte Konzentrationen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) im Trinkwasser
- [6] WHO 1998: Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; Environmental Health Criteria 202
- [7] European Commission 2002: Scientific Committee on Food, Opinion on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food
- [8] Ramesh A, Greenwood M, Inyang F, Hood DB (2001) Toxicokinetics of inhaled benzo[a]pyrene: plasma and lung bioavailability. *Inhal. Toxicol.* 13: 533-555
- [9] Deutsche Forschungsgemeinschaft 2004: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitstoffe, MAK- und BAT-Werte-Liste 2004

[10] UN/ECE-Protokoll 1998: SCADPlus. Protokoll von 1998 zu dem Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung betreffend persistente organische Schadstoffe