

The MAK Collection for Occupational Health and Safety

Tri-n-butylphosphat

Beurteilungswerte in biologischem Material

E. Ochsmann¹, W. Weistenhöfer², K. Klotz², H. Drexler^{3,*}, A. Hartwig^{4,*}, MAK Commission^{5,*}

¹ Institut für Arbeitsmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck

² Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

³ Leitung der Arbeitsgruppe „Beurteilungswerte in biologischem Material“ der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

⁴ Vorsitz der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁵ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* E-Mail: H. Drexler (hans.drexler@fau.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Keywords: Tri-n-butylphosphat; Di-n-butylphosphat; Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert; BAR; Hintergrundbelastung

Citation Note: Ochsmann E, Weistenhöfer W, Klotz K, Drexler H, Hartwig A, MAK Commission. Tri-n-butylphosphat. Beurteilungswerte in biologischem Material. MAK Collect Occup Health Saf [Original-Ausgabe. Weinheim: Wiley-VCH; 2018 Apr;3(2):894-901]. Korrigierte Neuveröffentlichung ohne inhaltliche Bearbeitung. Düsseldorf: German Medical Science; 2025. https://doi.org/10.34865/bb12673d0023_w

Neuveröffentlichung (Online): 12 Dez 2025

Vormals erschienen bei Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; <https://doi.org/10.1002/3527600418.bb12673d0023>

Manuskript abgeschlossen: 18 Jan 2017

Erstveröffentlichung (Online): 24 Apr 2018

Zur Vermeidung von Interessenkonflikten hat die Kommission Regelungen und Maßnahmen etabliert.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.

Tri-n-butylphosphate

[Tri-n-butylphosphat]

BAT Value Documentation in German language

E. Ochsmann¹, W. Weistenhöfer², K. Klotz², H. Drexler^{3,*}, A. Hartwig^{4,*}, MAK Commission^{5,*}

DOI: 10.1002/3527600418.bb12673d0023

Abstract

The German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area has evaluated tri-n-butyl phosphate [CAS No. 126-73-8] in 2016 and derived a biological reference value ("Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert", BAR) for dibutyl phosphate in urine. Available publications are described in detail.

In a study with persons of the general population occupationally not exposed to tri-n-butyl phosphate a 95th percentile of 0.67 µg dibutyl phosphate/l urine was measured. Further studies with not exposed people resulted in maximum levels of 0.45 µg and 0.26 µg dibutyl phosphate/l urine. Taking these results together with other investigations into consideration, a BAR for tri-n-butyl phosphate of 0.5 µg dibutyl phosphate/l urine was established. Sampling time is at the end of exposure or the end of the working shift.

Keywords

Tri-n-butylphosphat; Phosphorsäuretributylester; Celluphos 4; TBP; BAT-Wert; BAR; Toxizität

Author Information

¹ Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Institut für Arbeitsmedizin, Prävention und betriebliches Gesundheitsmanagement, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck

² Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Schillerstraße 25 und 29, 91054 Erlangen

³ Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Schillerstraße 25 und 29, 91054 Erlangen

⁴ Vorsitzende der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁵ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* Email: H. Drexler (hans.drexler@fau.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Tri-n-butylphosphat

BAR (2016)

0,5 µg Dibutylphosphat/L Urin

Probenahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende

MAK-Wert (2000) $1 \text{ mL/m}^3 \triangleq 11 \text{ mg/m}^3$

Spitzenbegrenzung (2000) Kategorie II, Überschreitungsfaktor 2

Hautresorption (2000) H

Sensibilisierende Wirkung –

Krebsverzeugende Wirkung (2000) Kategorie 4

Fruchtschädigende Wirkung (2000) Gruppe C

Keimzellmutagene Wirkung –

Synonyma Phosphorsäuretributylester

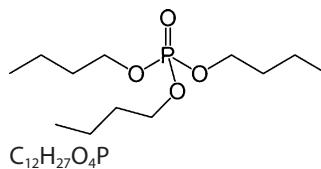
Celluphos 4

TBP

Chemische Bezeichnung Tri-n-butylphosphat

CAS [126-73-8]

Formel



Molmasse 266,32 g/mol

Schmelzpunkt -79°C

Siedepunkt bei 1013 hPa 293°C

Dichte bei 20°C $0,98 \text{ g/cm}^3$

Dampfdruck bei 20°C $0,008 \text{ hPa}$

Log P_{ow} 4,0

Die schwerflüchtige Verbindung Tri-n-butylphosphat (Phosphorsäuretributylester, TBP) ist ein polares Lösungsmittel, das zur Herstellung von Kunststoffen, als flammhemmende Komponente in Hydraulikölen für die Flugzeugindustrie, als Kühl- schmierstoff, als Extraktionsmittel bei der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen und seltenen Erden, als entschäumender Zusatz für Betonverflüssiger, als Netzmittel beim Textilfärben, als Flammenschutzmittel und Weichmacher verwendet wird. So wird TBP z.B. in festen und flexiblen Polyurethanschäumen eingesetzt (Schindler 2009). Einträge in die Hydrosphäre können bei der Herstellung und durch Freisetzung aus Kunststoffprodukten erfolgen. Die Produktionsmenge von TBP wurde 2001 mit bis zu 5000 Tonnen pro Jahr beziffert (OECD SIDS 2001). TBP kommt nicht natürlich vor. Die Hintergrundbelastung der Allgemeinbevölkerung mit TBP ergibt sich daher ausschließlich aus der Einbringung der industriell gefertigten Substanzen (z. B. der Flammenschutzmittel) in die Umwelt. Organophosphorhaltige Flammenschutzmittel, zu denen auch TBP zählt, wurden in verschiedenen Studien in umwelt-assozierten Matrices nachgewiesen (Boden, Wasser, Hausstaub, Luft) (Andresen und Bester 2006; Andresen et al. 2004; Fries und Püttmann 2001, 2003; Ingerowski et al. 1997; Kersten und Reich 2003; Martinez-Carballo et al. 2007; Nagorka und Ullrich 2003; Reemtsma et al. 2008).

1 Metabolismus und Toxikokinetik

1.1 Aufnahme und Verteilung

Die Aufnahme von TBP durch die Allgemeinbevölkerung kann oral, dermal oder inhalativ erfolgen. Aus Tierexperimenten ist bekannt, dass TBP oral gut resorbiert wird. Die dermale Resorption ist für den Menschen relevant (H-Markierung). Zur inhalativen Resorption liegen keine aussagekräftigen Daten vor (Schindler 2009).

Bei Ratten finden sich sieben Tage nach oraler und intraperitonealer Gabe von ¹⁴C-markiertem TBP die höchsten Konzentrationen in Muskel-, Haut- und Fettgewebe mit einer Restradioaktivität von weniger als 1 % in sämtlichem Gewebe und 1,5 % im Restkörper. Es ist daher nicht von einer relevanten Akkumulation von TBP im Körper auszugehen (Greim 2000).

1.2 Metabolismus

TBP wird fast vollständig metabolisiert. Weniger als 1 % unmetabolisiertes TBP wird mit Urin und Fäzes ausgeschieden (Greim 2000). Nach intraperitonealer Applikation von ¹⁴C-TBP werden bei Ratten 70 % der Dosis als Metaboliten im Urin, 7 % im Kot und 4 % in der ausgeatmeten Luft innerhalb von einem Tag nachgewiesen. Die Gesamtausscheidung beträgt bis zu 90 % der applizierten Dosis innerhalb von 5 Tagen (Suzuki et al. 1984).

Metaboliten von TBP sind u.a. Dibutylphosphat (DBP), Monobutylphosphat (MBP) und Butyl-bis-(3-hydroxybutyl)-phosphat (Suzuki et al. 1984).

2 Kritische Toxizität

Zielorgane der toxischen Wirkung von TBP sind im Tierversuch vor allem Harnblase und Leber (Greim 2000; Hartwig 2012). Die akute Toxizität ist gering (Mitomo 1980). Die LC₅₀ liegt bei der Maus nach 4-stündiger Exposition unter 1991 mL/m³, bei der Ratte bei ca. 380 mL/m³ (Greim 2000). Beim Menschen wird von Übelkeit und Kopfschmerzen bei beruflich gegen 15 mg TBP/m³ exponierten Personen berichtet (ACGIH 2013). Diese Beobachtung ist jedoch nur als persönliche Mitteilung ohne weitere Daten dokumentiert und daher nur bedingt bewertbar. Ebenso werden Reizeffekte an Haut, Auge und Respirationstrakt beobachtet (Greim 2000). Darüber hinaus erweist sich TBP im Tierexperiment als krebserzeugend und reproduktions-toxisch (Greim 2000; Hartwig 2012). Für weiterführende, ausführlichere Informationen zum Stoffwechsel und zur Toxizität von TBP wird auf die Toxikologisch-arbeitsmedizinischen Begründungen von MAK-Werten verwiesen (Greim 2000; Hartwig 2012).

3 Auswahl der Indikatoren und Untersuchungsmethoden

Di-n-butylphosphat (DBP) ist einer der Hauptmetaboliten von TBP im Menschen (Schindler 2009; Schindler et al. 2009). Für die Bestimmung und den Nachweis von DBP im biologischen Material (Urin) stehen GC-MS/MS-Verfahren zur Verfügung (Mach 2014; Schindler 2009). Die Nachweisgrenzen liegen im Bereich von 0,1 µg DBP/L Urin (Dodson 2014; Mach 2012, 2014) bis 0,25 µg/L Urin (Schindler et al. 2009).

4 Hintergrundbelastung

In den Arbeiten von Schindler (2009) und Schindler et al. (2009) wurde ein beruflich nicht gegen TBP exponiertes Kollektiv der Allgemeinbevölkerung (n = 25; 12 Frauen, 13 Männer) aus Süddeutschland untersucht, um die umweltbedingte Flammenschutzmittel-Hintergrundbelastung in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland zu bestimmen. Das Alter der Probanden dieses Kollektivs lag im Median bei 41 Jahren, ein Proband war Raucher. Dibutylphosphat (DBP) als Metabolit von TBP konnte nur in einer Probe mit einem Wert oberhalb der Nachweisgrenze (NWG) bestimmt werden (Maximum: 0,26 µg/L Urin). Das 95. Perzentil der Stichprobe lag unterhalb der NWG von 0,25 µg/L Urin.

In einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe (Mach et al. 2012) wurde der Urin von 47 Mitarbeitern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ohne berufliche Exposition gegenüber Flammenschutzmitteln (30 Frauen, 17 Männer; Alter: 19–69 Jahre (Median: 40 Jahre); 11 Raucher) untersucht. Die Bestimmungsgrenze für DBP lag bei 0,1 µg/L. Für DBP wurde ein Median von 0,22 µg/L und ein 95. Perzentil von 0,67 µg/L Urin bestimmt. Der Messbereich des Metaboliten im Urin lag zwischen < 0,1 µg/L bis 1,03 µg/L (Mach et al. 2012).

In der Dissertation von Mach (2014) wird für dasselbe Kollektiv für DBP ein Median von 0,23 µg/L und ein 95. Perzentil von 2,5 µg/L Urin bestimmt. Der Messbereich des Metaboliten im Urin wird zwischen < 0,1 µg/L und 4,08 µg/L Urin angegeben. Ein statistisch signifikanter Unterschied in der Metabolitausscheidung zwischen Männern und Frauen bzw. Rauchern und Nichtrauchern konnte nicht festgestellt werden, wobei Raucher tendenziell höhere Metabolitenkonzentrationen im Urin aufwiesen (95. Perzentil: Raucher: 2,10 µg/L, Nichtraucher: 1,55 µg/L). In der Dissertation von Mach (2014) liegen außerdem die 95. Perzentile eines Kollektivs aus Mutter-Kind-Paaren vor (45 Mütter). Das 95. Perzentil an DBP im Urin der Mütter wurde bei 1,92 µg/L Urin ermittelt, das der Kinder bei 1,72 µg/L Urin.

In einer Arbeit von Dodson et al. (2014) wurden 16 nicht rauchende Erwachsene aus Nord-Kalifornien (Probenahme 2011) mit der von Schindler (2009) beschriebenen Methode (GC-MS/MS) untersucht. Die Nachweisgrenze wurde in dieser Arbeit mit 0,08 µg/L Urin angegeben. Hier konnte in 56 % der Proben DBP nachgewiesen werden, wobei der Median bei 0,11 µg/L Urin lag, der Mittelwert bei 0,16 µg/L Urin und das Maximum bei 0,45 µg/L Urin.

In einer weiteren Arbeit aus Deutschland (Fromme et al. 2014) wurde die Aufnahme und Ausscheidung von Metaboliten von Organophosphat-Flammschutzmitteln bei Kindern (Probenahme 2011), die eine Kindertagesstätte aufsuchten, mit der von Mach (2014) beschriebenen GC-MS/MS-Methode (Nachweisgrenze von DBP: 0,1 µg/L) untersucht. Das Studienkollektiv setzte sich aus 312 Kindern aus 63 Kindertagesstätten in Bayern, Berlin und Nordrhein-Westfalen zusammen. Bei den Kindern wurden bei einer im Vergleich zu anderen Messungen zweifach höheren externen TBP-Belastung folgende Ergebnisse für DBP beschrieben: Bei 71 % der Proben wurde ein DBP-Wert über der Nachweisgrenze festgestellt. Dabei lag der Median bei 0,2 µg/L, der Mittelwert bei 0,3 µg/L und das 95. Perzentil bei 0,9 µg/L Urin.

5 Berufliche Exposition

Schindler et al. (2014) untersuchten in einer Pilotstudie 5 Flugzeugwartungstechniker hinsichtlich ihrer beruflichen Exposition gegenüber Organophosphaten in Hydraulikflüssigkeiten und Turbinenöl. Am Schichtbeginn wurden im Median 12,5 µg DBP/L Urin (Bereich 11,0–37,2 µg DBP/L Urin), im Nachschichturin 23,5 µg DBP/L Urin (Bereich 6,0–51,6 µg DBP/L Urin) gemessen.

6 Evaluierung

Wie die in Abschnitt 4 dargestellten Studien aufzeigen, kann die Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber dem Arbeitsstoff Tri-n-butylphosphat über einen seiner Hauptmetaboliten Dibutylphosphat (DBP) im Urin nachgewiesen werden. Für die Bestimmung des Metaboliten liegen geeignete Nachweisverfahren mit GC-MS/MS vor.

Der Referenzwert der Hintergrundbelastung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, z. B. von Geschlecht, Sozialstatus, Wohnumfeld und Lebensstilfaktoren

(Rauchen), wobei einige der in Abschnitt 4 genannten Arbeiten keinen geschlechts-spezifischen und keinen Raucher-spezifischen Unterschied belegen. Da die ubiquitäre Verteilung von TBP von regionalen und wirtschaftlichen Besonderheiten abhängen kann (Baugesetze, Industrialisierungsgrad), werden für die Ableitung des BAR vorwiegend Messwerte von Studienteilnehmern aus Deutschland oder Ländern mit ähnlichem Industrialisierungsgrad berücksichtigt. Im vorliegenden Fall stehen dafür die Untersuchungen von Schindler (2009), Mach et al. (2012), Mach (2014), Dodson et al. (2014) und Fromme et al. (2014) zur Verfügung.

Das 95. Perzentil des TBP-Metaboliten Dibutylphosphat in der Arbeit von Schindler (2009) lag unterhalb der Nachweisgrenze, die mit dieser Methode bei 0,25 µg/L Urin angegeben wurde. Der Maximalwert betrug 0,26 µg/L Urin. In der Studie von Dodson et al. (2014) wird bei einer Stichprobenstärke von $n = 16$ ein Median von 0,11 µg DBP/L Urin, ein Mittelwert von 0,16 µg DBP/L Urin und ein maximaler Messwert von 0,45 µg DBP/L Urin berichtet (Nachweisgrenze: 0,08 µg/L Urin). Das 95. Perzentil des TBP-Metaboliten Dibutylphosphat lag in der Arbeit von Mach et al. (2012) ($n = 47$, 86 % der Proben oberhalb der Nachweisgrenze von 0,1 µg/L Urin) bei 0,67 µg/L Urin bei einem Median von 0,22 µg DBP/L Urin und einem Maximalwert von 1,03 µg DBP/L Urin. Bei Fromme et al. (2014) wurde in einem Kollektiv von $n = 312$ Kindern ein 95. Perzentil von 0,9 µg DBP/L Urin beobachtet. Die Messungen von Fromme et al. (2014) beruhen zwar auf einem Kollektiv von Kindern im Alter zwischen 20 und 80 Monaten, bestätigen jedoch die vorliegenden Daten.

In der Dissertationsschrift von Mach (2014) wurde bei $n = 47$ Personen der Allgemeinbevölkerung ein 95. Perzentil von 2,1 µg DBP/L Urin bei Rauchern bzw. 1,6 µg/L Urin bei Nichtrauchern festgestellt sowie in einem weiteren Kollektiv ein 95. Perzentil von 1,9 µg DBP/L Urin bei 45 Frauen berichtet. Diese Messergebnisse fallen im Vergleich zu den übrigen publizierten Daten hoch aus. Da widersprüchliche Ergebnisse publiziert wurden, werden diese für die Ableitung des BAR nicht berücksichtigt.

Damit wird der BAR auf die Arbeiten von Schindler (2009), Mach et al. (2012) und Dodson et al. (2014) gestützt. Die Ergebnisse von Fromme et al. (2014) unterstützen diese Daten. Für Tri-n-butylphosphat wird ein

BAR von 0,5 µg Dibutylphosphat/L Urin

festgelegt.

Die Probenahme erfolgt am Expositionsende bzw. Schichtende.

7 Interpretation der Untersuchungsdaten

Beruflich gegenüber Tri-n-butylphosphat exponierte Personen wiesen einen Median bei Schichtbeginn von 12,5 µg DBP/L Urin und im Nachschichturin von 23,5 µg DBP/L Urin auf (Schindler et al. 2014).

Der BAR bezieht sich auf normal konzentrierten Urin, bei dem der Kreatiningehalt im Bereich von 0,3–3,0 g/L Urin liegt (WHO 1996). In der Regel empfiehlt sich bei Urinproben außerhalb der oben genannten Grenzen die Wiederholung der Messung beim normal hydrierten Probanden.

8 Literatur

ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) (2013) Tributyl phosphate. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Edition, ACGIH, Cincinnati, OH

Andresen J, Bester K (2006) Elimination of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in drinking water purification. *Water Res* 40: 621–629

Andresen JA, Grundmann A, Bester K (2004) Organophosphorus flame retardants and plasticizers in surface waters. *Sci Total Environ* 332: 155–166

Araki A, Saito I, Kanazawa A, Morimoto K, Nakayama K, Shibata E, Tanaka M, Takigawa T, Yoshimura T, Chikara H, Sajio Y, Kishi R (2014) Phosphorus flame retardants in indoor dust and their relation to asthma and allergies of inhabitants. *Indoor Air* 24: 3–15

Dodson RE, Van den Eede N, Covaci A, Perovich LJ, Brody JG, Rudel RA (2014) Urinary biomonitoring of phosphate flame retardants: levels in California adults and recommendations for future studies. *Environ Sci Technol* 48: 13 625–13 633

Fries E, Püttmann W (2001) Organophosphate esters in surface water and ground water of Germany: Analytical method and occurrence. *J Environ Monit* 3: 621–626

Fries E, Püttmann W (2003) Monitoring of the three organophosphate esters TBP, TCEP and TBEP in river water and ground water (Oder, Germany). *J Environ Monit* 5: 346–352

Fromme H, Lahrz T, Kraft M, Fembacher L, Mach C, Dietrich S, Burkhardt R, Völkel W, Göen T (2014) Organophosphate flame retardants and plasticizers in the air and dust in German day-care centers and human biomonitoring in visiting children (LUPE 3). *Environ Int* 71: 158–163

Greim H (Hrsg) (2000) Tri-n-butylphosphat. *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten*, 31. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim

Hartwig A (Hrsg) (2012) Tri-n-butylphosphat. *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten*, 52. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim

Ingerowski G, Friedle A, Thumulla J, Sagunski H (1997) Tris(2-chloroisopropyl)-phosphat als Flammenschutzmittel und Weichmacher im Wohninnenraum, Vorkommen und Risikoabschätzung. *Umweltmed Forsch Prax* 2: 233–235

Kersten W, Reich T (2003) Schwerflüchtige organische Umweltchemikalien in Hamburger Hausstäuben. *Gefahrstof Reinhalt Luft* 63: 85–91

Lammintausta K, Zimerson E, Hasan T, Susitaival P, Winhoven S, Gruvberger B, Beck M, Williams JD, Bruze M (2010) An epidemic of furniture-related dermatitis: searching for a cause. *Br J Dermatol* 162: 108–116

Mach C, Drexler H, Göen T (2012) Neue Untersuchungsergebnisse zur Belastung der Allgemeinbevölkerung mit Organophosphat-Flammschutzmitteln. 52. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., 14.–17.03.2012, Göttingen, Tagungsband online abrufbar unter https://www.dgaum.de/fileadmin/PDF/Tagungsbaende/DGAUM_Tagungsband_2012.pdf (zuletzt aufgerufen am 22.02.2018)

Mach C (2014) Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zum Human-Biomonitoring von Flammschutzmitteln auf Basis von Phosphorsäureetriestern. Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Martinez-Carballo E, Gonzalez-Barreiro C, Sitka A, Scharf S, Gans O (2007) Determination of selected organophosphate esters in the aquatic environment of Austria. *Sci Total Environ* 388: 290–299

Mitomo T (1980) Toxicological studies on tributyl phosphate. I: Acute and subacute toxicities. *J Toxicol Sci* 5: 270–271

Nagorka R, Ullrich D (2003) Nachweis von phosphororganischen Flammschutzmitteln im Staub-niederschlag und im Schwebstaub: Screening mit GC/NPD. *Gefahrst Reinhalt Luft* 63: 79–84

OECD SIDS (Organisation for Economic Cooperation and Development Screening Information Data Set) (2001) Tributyl phosphate. CAS No: 126-73-8, SIDS Initial Assessment Report for 12th SIAM, Paris/France, June 2001, UNEP Publications <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/126-73-8.pdf> (zuletzt aufgerufen am 22.02.2018)

Reemtsma T, García-López M, Rodríguez I, Quintana JB, Rodil R (2008) Organophosphorus flame retardants and plasticizers in water and air. Part I: Occurrence and fate. *TrAC Trends Anal Chem* 27: 727–737

Schindler B (2009) Erarbeitung und Anwendung einer analytischen Methode zur Bestimmung der Metabolite von Flammschutzmitteln auf der Basis von Phosphorsäureetriestern in menschlichen Körperflüssigkeiten. Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Schindler BK, Förster K, Angerer J (2009) Quantification of two urinary metabolites of organophosphorus flame retardants by solid-phase extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem* 395: 1167–1171

Schindler BK, Koslitz S, Weiss T, Broding HC, Brüning T, Bünger J (2014) Exposure of aircraft maintenance technicians to organophosphates from hydraulic fluids and turbine oils: a pilot study. *Int J Hygiene Environ Health* 217: 34–37

Suzuki T, Sasaki K, Takeda M, Uchiyama M (1984) Metabolism of tributyl phosphate in male rats. *J Agric Food Chem* 32: 603–610

WHO (World Health Organization) (1996) Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. Volume 1, World Health Organization, Genf

Autoren: E. Ochsmann, W. Weistenhöfer, K. Klotz, H. Drexler (Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“, Deutsche Forschungsgemeinschaft), A. Hartwig (Vorsitzende der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft), MAK Commission (Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft)

Von der Arbeitsgruppe verabschiedet: 18. Januar 2017