



Informationen zu besonders besorgniserregenden Stoffen

Benzo(a)pyren

Dieses Informationsblatt beschreibt den Stoff Benzo(a)pyren, sein Vorkommen, chemikalienrechtliche Aspekte, Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit sowie Möglichkeiten der Vermeidung von Expositionen.

1 Vorkommen

Benzo(a)pyren [weitere gleichbedeutende Bezeichnungen sind: Benzo(def)chrysen, Benzo-alpha-pyren, 3,4-Benzopyren oder 4,5-Benzochrysen; CAS-Nummer: 50-32-8, EG-Nr.: 200-028-5] wird normalerweise nicht absichtlich hergestellt. Der Stoff gehört – wie auch Anthracen [1] - zur Gruppe der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), die aus mehr als 200 Einzelverbindungen besteht. Diese sind Bestandteile insbesondere des Hochtemperatur-Steinkohlenteers, der bei der trockenen Destillation von Steinkohle unter Luftabschluß in Kokereien oder Gasfabriken gewonnen wird [2]. Die im Steinkohlenteer enthaltenen Teeröle können mit Benzo(a)pyren verunreinigt sein. Bei der Verwendung von Teerölen als Weichmacheröle oder der Verwendung von kontaminiertem Ruß als Farb- bzw. Füllstoff kann Benzo(a)pyren in Kunststoff-Produkte gelangen.

PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Materialien z. B. in Feuerungsanlagen, Verbrennungsmotoren, bei Bränden, beim Grillen, Räuchern und Rauchen. Sie gelangen in die Luft und über Niederschläge in Gewässer bzw. über die Deposition von Partikeln, an denen sie adsorbiert sind, auf den Boden.

2 Eigenschaften

Benzo(a)pyren kommt stets im Gemisch mit anderen PAK vor. Nach einem Vorschlag der amerikanischen Umweltbehörde Environmental Protection Agency (EPA) bezeichnet man eine Gruppe von 16 PAK, die besonders giftig, krebserzeugend oder gentoxisch sind und häufig gemeinsam in der Umwelt nachgewiesen werden, als EPA-PAK. Benzo(a)pyren wird oft als Leitsubstanz herangezogen. D. h. einerseits wird die Benzo(a)pyren-Konzentration ggf. als Maß für die Konzentration der ganzen Gruppe der EPA-PAK angegeben. Andererseits wird die Benzo(a)pyren-Konzentration als Maß zur Bewertung der Wirkungsstärke eines vorliegenden PAK-Gemisches verwendet. Diese Ansätze sollten im Einzelfall kritisch hinterfragt werden, weil die Zusammensetzung von PAK-Gemischen stark variieren kann.

Die Molekülstruktur von Benzo(a)pyren besteht aus fünf jeweils über eine gemeinsame Ringbindung miteinander verknüpften Benzolringen (Abb. 1). Sie enthält ausschließlich Kohlenstoff- und Wasserstoffatome.

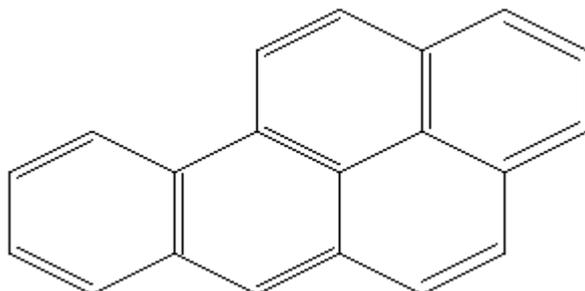


Abb. 1: Strukturformel von Benzo(a)pyren

Bei Raumtemperatur ist Benzo(a)pyren ein Feststoff in Form gelblicher Nadeln oder Plättchen mit einer Dichte von $1,282 \text{ g/cm}^3$ [3]. Der Schmelzpunkt wird mit $177\text{-}179 \text{ }^\circ\text{C}$ angegeben und der Siedepunkt mit $495 \text{ }^\circ\text{C}$ bei $1013,25 \text{ hPa}$ [2]. Entsprechend beträgt der Dampfdruck nur $7,32 \cdot 10^{-9} \text{ hPa}$ bei $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Deshalb wird angenommen, daß Benzo(a)pyren in der Atmosphäre hauptsächlich gebunden an Partikeln (Feinstaub) vorkommt.

Unter simulierten Bedingungen, die einen typischen, bewölkten Himmel über dem Süden Großbritanniens nachstellten, wurden atmosphärische Lebensdauern von 15 Minuten bis zu 2,5 Tagen gemessen [4].

Die Löslichkeit von Benzo(a)pyren in Wasser ist mit ca. $1,6 \text{ } \mu\text{g/L}$ bei $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sehr gering [5]. Benzo(a)pyren ist stabil gegen Hydrolyse.

Der Octanol-Wasser Verteilungskoeffizient $\log K_{ow}$ beträgt ca. $6,35$ [2]. Benzo(a)pyren neigt stark dazu, an Partikeln und organischem Material zu adsorbieren.

Das Bioakkumulationspotential von Benzo(a)pyren hängt stark von der Fähigkeit des betreffenden Organismus ab, PAK abzubauen (d. h. zu *metabolisieren*). Generell können Fische und andere Wirbeltiere Benzo(a)pyren metabolisieren, da sie über Cytochrom P450-ähnliche Enzyme verfügen.

Hierdurch sind die moderaten Biokonzentrationsfaktoren (BCF) des Sonnenbarsches *Lepomis macrochirus* von ca. 380 bei $13 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. ca. 600 bei $23 \text{ }^\circ\text{C}$ [6] zu erklären.

Vielen Wirbellosen (z. B. Muscheln und Krustentieren) fehlen geeignete Enzyme für diese Metabolisierung. An ihnen wurden BCF von 3680 bei der Eintagsfliege *Hexagenia limbata* [8] bis 140700 L/kg bei der Zebrauschel *Dreissena polymorpha* bestimmt [8].

Aus einem Belebtschlamm-Pilotreaktor verschwanden innerhalb von 36 Tagen 64% des ursprünglich enthaltenen Benzo(a)pyrens. Dies wurde auf biologischen Abbau zurückgeführt [9].

In einer Feldstudie betrug die Halbwertszeit des Benzo(a)pyren-Abbaus 8,2 Jahre [10]. Die Halbwertszeiten in einer Mikrokosmos-Studie an verschiedenen Böden ergaben Unterschiede, je nachdem, ob Belebtschlamm zugegeben wurde oder nicht. Mit Belebtschlamm wurden die kürzesten Halbwertszeiten im Bereich von 120 – 270 Tagen bestimmt [11].

Benzo(a)pyren wird also unter natürlichen Bedingungen in Wasser, Sedimenten und Böden sehr langsam abgebaut.

3 Rechtliches

Für Benzo(a)pyren existiert eine harmonisierte Einstufung nach Tabelle 3.1 EG-Verordnung Nr. 1272/2008 (CLP):

<u>Gefahrenklasse:</u>	<u>-kategorie:</u>	<u>H-Satz:</u>	<u>Bedeutung:</u>
karzinogen	1B	H350	kann Krebs erzeugen
keimzellmutagen	1B	H340	kann genetische Defekte verursachen
reproduktionstoxisch	1B	H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen
Haut sensibilisierend	1	H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen
akut aquatisch toxisch	1	H400	Sehr giftig für Wasserorganismen
chronisch aquatisch toxisch	1	H410	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Diese harmonisierte Einstufung ist zwingend anzuwenden.

Wegen dieser harmonisierten Einstufung und, weil die Kriterien für die Einstufung als sehr persistenter und sehr bioakkumulativer (vPvB) sowie persistenter, bioakkumulativer und toxischer Stoff erfüllt sind [12], wurde Benzo(a)pyren am 20.06.2016 in die Kandidatenliste der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) für das chemikalienrechtliche Zulassungsverfahren nach der Verordnung EG Nr. 1907/2006 (REACH) aufgenommen [13]. Daraus ergeben sich Informationspflichten für Hersteller und Importeure von Stoffen und Gemischen sowie für Händler von Erzeugnissen, in denen Benzo(a)pyren in Konzentrationen von mehr als 0,1 Gew.-% enthalten ist [14].

Laut Anhang XVII Nr. 50 REACH besteht folgende Beschränkung:

Weichmacheröle dürfen nicht für die Herstellung von Reifen oder Reifenbestandteilen in Verkehr gebracht oder verwendet werden, wenn

- sie mehr als 1 mg/kg (0,0001 Gew.-%) Benzo(a)pyren enthalten oder
- der Gehalt aller aufgeführten PAK zusammen mehr als 10 mg/kg (0,001 Gew.-%) beträgt.

Außerdem dürfen Erzeugnisse nicht für die allgemeine Öffentlichkeit in Verkehr gebracht werden, wenn einer ihrer Bestandteile aus Kunststoff oder Gummi, der bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung unmittelbar, länger oder wiederholt für kurze Zeit mit der menschlichen Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommt, mehr als 1 mg/kg Benzo(a)pyren enthält. Zu diesen Erzeugnissen zählen unter anderem:

- Sportgeräte wie Fahrräder, Golfschläger, Schläger,
- Haushaltsgeräte, mit Rädern versehene Wagen, Laufhilfen,
- Werkzeuge für den privaten Gebrauch,
- Bekleidung, Schuhe, Handschuhe und Sportkleidung,
- Uhrenarmbänder, Armbänder, Masken, Stirnbänder.

Des Weiteren ist es verboten, Spielzeug in Verkehr zu bringen, wenn ein Bestandteil aus Kunststoff oder Gummi, der bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung unmittelbar, länger oder wiederholt für kurze Zeit mit der menschlichen Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommt, mehr als 0,5 mg/kg Benzo(a)pyren enthält.

Als krebserzeugender Stoff der Kategorie 1B darf Benzo(a)pyren gemäß der Beschränkung Nr. 28 nicht in Verkehr gebracht oder verwendet werden:

- als Stoff,
- als Bestandteile anderer Stoffe oder
- in Gemischen, die zum Verkauf an die breite Öffentlichkeit bestimmt sind, wenn die Konzentration des Stoffs oder Gemischs mindestens 0,01 Gew.-% beträgt.

In Anlage 7 Tabelle 1 der Oberflächengewässerverordnung [15] sind als Umweltqualitätsnormen für den Jahresdurchschnitt (JD-UQN) 0,05 µg/L angegeben und als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) 0,1 µg/L.

Ebenfalls wegen der harmonisierten Einstufung als krebserzeugender Stoff der Kategorie 1B darf laut Abschnitt 5.2.7.1.1 der immissionsschutzrechtlichen Verwaltungsvorschrift „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ („TA Luft“)[16] als Mindestanforderung in Abgasen insgesamt eine Benzo(a)pyren-Konzentration von 0,05 mg/m³ oder ein Massenstrom von 0,15 g/h nicht überschritten werden.

In § 10 der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) ist ein Benzo(a)pyren-Zielwert von 1 Nanogramm pro Kubikmeter Luft als Gesamtgehalt in der PM10-(Feinstaub-)Fraktion über ein Kalenderjahr gemittelt festgesetzt.

Im Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sind folgende Prüfwerte für Benzo(a)pyren abhängig von der beabsichtigten Nutzung der betreffenden Fläche definiert. Diese Prüfwerte (in mg/kg Trockenmasse Feinboden) gelten ausschließlich für den Parameter Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz:

Nutzung	Prüfwert
1. Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt)	
Kinderspielflächen	2
Wohngebiete	4
Park- u. Freizeitanlagen	10
Industrie- und Gewerbegrundstücke	12
2. Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze	
Ackerbau, Nutzgarten	1

Zur Bewertung von PAK-Gemischen wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes [17] für den Wirkungspfad Boden – Mensch folgende Prüfwerte (in mg/kg Trockenmasse Feinboden) für Benzo(a)pyren als Leitsubstanz für PAK-Gemische abgeleitet:

<u>Kinderspielflächen:</u>	<u>Wohngebiete:</u>	<u>Park-und Freizeitanlagen:</u>	<u>Industrie- und Gewerbegrundstücke:</u>
0,5	0,5	1,0	5,0

Diese Werte sind bis auf weiteres in Bayern als Prüfwerte zur Bewertung von PAK-Gemischen anzuwenden [18]. Ergänzende Ausführungen zu den Prüf- und Maßnahmenwerten für Benzo(a)pyren als Leitsubstanz für PAK-Gemische wurden vom Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit veröffentlicht [19].

§ 3 Abs. 4 BBodSchV schreibt vor: „Konkrete Anhaltspunkte, die den hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast begründen (§ 9 Abs. 2 Satz 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes), liegen in der Regel vor, wenn Untersuchungen eine Überschreitung von Prüfwerten ergeben oder wenn auf Grund einer Bewertung nach § 4 Abs. 3 eine Überschreitung von Prüfwerten zu erwarten ist. Besteht ein hinreichender Verdacht im Sinne des Satzes 1 oder auf Grund sonstiger Feststellungen, soll eine Detailuntersuchung durchgeführt werden.“

4 Risiken für die Umwelt

Aufgrund seiner Eigenschaften wird angenommen, daß Benzo(a)pyren stark an Partikeln, Sedimente oder auch Böden bindet und in Böden äußerst geringe bis keine Mobilität aufweist. Eine Verflüchtigung aus der Wasserphase in die Luft wird wegen der geringen Löslichkeit und Flüchtigkeit als unwahrscheinlich angesehen.

Das „Unterstützungs-Dokument zur Identifizierung von Benzo(a)pyren als besonders besorgniserregender Stoff“ [12] listet u. a. folgende ökotoxikologische Wirkungsdaten:

<u>Spezies</u>	<u>Dauer</u>	<u>Endpunkt</u>	<u>Effekt</u>	<u>Konzentration</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Quelle</u>
Chronische Fischtoxizität						
Regenbogenforelle <i>Oncorhynchus mykiss</i>	36 Tage	Abnormalitäten	NOEC*	1,5 µg/L	Frühes Lebensstadium	[20]
Akute Toxizität bei Wirbellosen						
Wasserfloh <i>Daphnia magna</i>	27 h	Immobilität	EC ₅₀ **	1,2 µg/L	2 h Exposition mit UV A/B-Strahlung, 1 h Erholung	[21]
	48 h			0,89 µg/L	Sichtbares Licht + UV A + UV B	[22]
				1,67 µg/L	Sichtbares Licht + UV A	
Chronische Toxizität bei Wirbellosen						
Wasserfloh <i>Ceriodaphnia dubia</i>	7 Tage	Fortpflanzung	EC ₁₀ ***	0,5 µg/L	Laborlicht Photoperiode je 16 h Licht : 8 h Dunkelheit bei < 500 lux	[23]

Chronische Toxizität bei Algen						
Algen <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>			EC ₁₀ ***	0,78 µg/L	Laborlicht ohne UV-Anteil	[23]

* NOEC: Die höchste Konzentration, bei der noch kein Effekt festgestellt wurde.

** EC₅₀: Die Konzentration, bei der 50 % der getesteten Individuen den Effekt zeigen.

***EC₁₀: Die Konzentration, bei der 10 % der getesteten Individuen den Effekt zeigen.

5 Risiken für die menschliche Gesundheit

Die Bevölkerung ist Benzo(a)pyren in Außenluft, Wasser, Boden, Essen, in pharmazeutischen Produkten sowie Zigarettenrauch ausgesetzt. Benzo(a)pyren kann inhalativ, dermal und über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen werden [24], wobei die inhalative Aufnahme aus Autoabgasen und Tabakrauch am bedeutendsten ist. Die World Health Organization (WHO) formuliert einen lebenslangen Risikowert von $8,7 \cdot 10^{-5}$ pro ng/m³ Benzo(a)pyren. Das Risiko an Lungenkrebs zu erkranken, ist in schlecht gelüfteten Raucherhaushalten und in Haushalten mit Verbrennungsprozessen (z.B. offene Feuerstellen), markant erhöht [25]. Benzo(a)pyren-haltige PAK-Gemische wie Steinkohlenteer oder Kokereiemissionen sind beim Menschen eindeutig krebserzeugend (z.B. Lungen-, Kehlkopf-, Hautkrebs). Die Möglichkeit der Fruchtschädigung oder Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit besteht.

Für die Raumluft stellt der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR, vormals Ad-hoc-AG), u.a. zur Bewertung der Innenraumluft in Wohnungen, Kitas und Schulen, gesundheitlich begründete Richtwerte und hygienisch orientierte Leitwerte zur Verfügung. Derzeitig wird vom AIR ein vorläufiger Leitwert von 1 ng/m³ für BaP in der Innenraumluft diskutiert.

Laut der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) besteht bei einer Konzentration von 7 ng/m³ in der Luft am Arbeitsplatz (spätestens ab dem Jahr 2018) ein Akzeptanzrisiko [26] von 4 : 100.000. Bis zu dieser Konzentration wird demnach ein Restrisiko toleriert, daß statistisch von 100.000 während des gesamten Arbeitslebens exponierten Personen 4 an Krebs erkranken. Damit entspricht dieses Restrisiko der Krebswahrscheinlichkeit außerhalb des Arbeitsplatzes ("allgemein verbleibendes Umweltrisiko"). Oberhalb dieses Grenzwertes sind Maßnahmen des Arbeitgebers gefordert, die die Konzentrationen kontinuierlich absenken.

Diese Konzentrationsangabe bezieht sich auf Benzo(a)pyren als Leitsubstanz und ein Gemisch mit gegebenem PAK-Profil (ähnlich Kokerei-Emissionen)[27].

Arbeitsschutz-relevante Expositionen können sich ergeben beim Arbeiten mit Teer-haltigen Produkten beispielsweise im Straßenbau [28] oder bei Abrissarbeiten von Gebäuden, bei denen teer-haltige Materialien wie Dachpappen oder Fugenvergussmassen freigelegt werden [29]. Die dermale und inhalative Aufnahme von BaP spielt, z.B. bei Kokereiarbeitern oder Schornsteinfegern, eine wichtige Rolle.

Benzo(a)pyren wurde adsorbiert an Ruß-Partikeln aus Verbrennungsmotoren nachgewiesen [30, 31]. Diese meist lungengängige Feinstaub-Fraktion wird insbesondere in Ballungsgebieten als Problem angesehen [32].

6 Umweltrelevanz in Bayern

In der Luft hat das LfU im Jahr 2010 an verschiedenen Orten Gesamtgehalte von Benzo(a)pyren von 0,2 – 0,8 ng/m³ in der Feinstaub-Fraktion PM₁₀ bestimmt [30]. Diese Gehalte liegen unter dem laut § 10 der 39. BImSchV ab dem 1. Januar 2013 einzuhaltenden Zielwert von 1 ng/m³.

Für die Jahre 2005 - 2010 hat das LfU mediane Depositionsraten für Benzo(a)pyren im Alpenraum bestimmt. Diese waren jeweils im Winterhalbjahr deutlich höher als im Sommerhalbjahr und lagen in der Größenordnung von ca. 15 - 25 ng/(m²·Tag). In Fichtennadeln lag die Mehrzahl der Benzo(a)pyren-Konzentrationen der Jahre 2004 - 2009 zwischen 50 und 150 pg/g Frischgewicht [33].

Das LfU hat Benzo(a)pyren-Hintergrundwerte in Böden bestimmt und deren Verteilung über die Landesfläche in Karten dargestellt [34]. In Auflagen unter Forst sind die höchsten Konzentrationen angegeben mit maximalen Gehalten von 0,28 mg/kg in der Trockensubstanz. Der Vorsorgewert für Böden mit einem Humusgehalt > 8% liegt bei 1 mg/kg. Für Äcker und Grünland, bei denen aufgrund des fehlenden räumlichen Zusammenhangs keine Abgrenzung in Teilräume vorgenommen werden konnte, sind für Oberboden 0,017 mg/kg, für Unterboden 0,0017 mg/kg und für Untergrund 0,001 mg/kg angegeben. Der Vorsorgewert für Böden mit einem Humusgehalt ≤ 8% liegt bei 0,3 mg/kg. Da diese Vorsorgewerte in der Fläche deutlich unterschritten werden, besteht - abgesehen von besonders kontaminierten Flächen wie z. B. Altlasten – im Allgemeinen keine Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen durch Benzo(a)pyren.

Die Konzentrationen in vom LfU untersuchten Klärschlämmen lagen stets unter 1 mg/kg Trockensubstanz [35].

7 Möglichkeiten der Vermeidung von Expositionen

Um die Exposition der Bevölkerung von Innenstädten in Ballungsgebieten zu begrenzen, wurden vielfach „Umweltzonen“ eingerichtet, in die nur Kraftfahrzeuge einfahren dürfen, die bestimmte Grenzwerte im Abgas einhalten.

Nach dem Kontakt mit Produkten, die möglicherweise PAK enthalten, wie z. B. Ruß oder alte Autoreifen sollte man die betroffenen Hautstellen gründlich mit Seife waschen.

8 Weiterführende Literatur

- [1] vergleiche Informationsblatt über Anthracen, http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/abschlussbericht_svhc.pdf
- [2] Stichwort „Steinkohlenteer“ im RÖMPP-Online Chemielexikon: <https://roempp.thieme.de>, [abgerufen 20.06.2016]
- [3] GESTIS-Datenbank, <http://gestis.itrust.de> [abgerufen 20.07.2016]
- [4] Behymer, T. D.; Hites, R. A., Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. *Environmental Science and Technology* (1988), 22(11), 1311-1319
- [5] May, W.E. *et al.*, *J. Chem. Ref. Data* (1983), 28, 197-200 zitiert in der HSDB Datenbank, <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~8Al4fZ:1> [abgerufen 5.08.2016]
- [6] Jimenez, B. D.; Cirno, C. P.; McCarthy, J. F., Effects of feeding and temperature on uptake, elimination and metabolism of benzo[a]pyrene in the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Aquatic Toxicology*, (1987), 10(1), 41-57
- [7] Landrum, P. F.; Poore, R., Toxicokinetics of selected xenobiotics in *Hexagenia limbata*, *Journal of Great Lakes Research* (1988), 14(4), 427-437

- [8] Gossiaux, D. C.; Landrum, P. F.; Fischer, S. W., Effect of Temperature on the Accumulation Kinetics of PAHs and PCBs in the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, *Journal of Great Lakes Research* (1996), 22(2), 379-388
- [9] <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~UUzx4O:1> [abgerufen am 4.08.2016]
- [10] Wild, S. R.; Berrow, M. L.; Jones, K. C., The persistence of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge amended agricultural soils, *Environmental Pollution* (1991), 72, 141-157
- [11] Wild, S. R.; Jones, K. C., Biological and abiotic losses of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) from soils freshly amended with sewage sludge, *Environmental Toxicology and Chemistry* (1993), 12(1), 5-12
- [12] ECHA (Hrsg.), SVHC Support Document – Benzo[def]crysene (Benzo[a]pyrene), 2016, <http://www.echa.europa.eu/documents/10162/985e117f-38e2-4d45-9d0c-94413dd0462e>
- [13] <http://www.echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>
- [14] <http://www.echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-obligations>
- [15] Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429), <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ogewv/gesamt.pdf>
- [16] http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft.pdf
- [17] FoBiG (Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe e.V.) (1999, Korrektur 2004) Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Teil B: Ableitung von Prüfwerten, Bericht zum F+E-Vorhaben 298 73 771, S. 68-83
- [18] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Nachtrag vom 05.11.2014 zu Tabelle A1a, Merkblatt Altlasten 1, http://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/vollzug/doc/arbeitshilfe_altlasten1_nachtrag_benzoapyren.pdf
- [19] Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2014), Prüf- und Maßnahmenwerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bodenschutz_altlasten.pdf
- [20] Hannah, J. B.; Hose, J. E.; Landolt, M.L., Benzo(a)pyrene-induced morphologic and developmental abnormalities in rainbow trout, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, (1982), 11(6), 727-734
- [21] Wernersson, A. S., Predicting petroleum phototoxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (2003), 54(3), 355-365
- [22] Lampi, M. A.; Gurska, J.; McDonald, K. I. C.; Xie, F.; Huang, X.-D.; Dixon, D. G.; Greenberg, B. M., Photoinduced toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons to *Daphnia magna*: ultraviolet-mediated effects and the toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbon photoproducts. *Environmental Toxicology and Chemistry* (2006), 25(4), 1079-1078
- [23] Bisson, M.; Dujardin, R.; Flammarion, P.; Garric, J.; Babut, M.; Lamy, M.-H.; Porcher, J.-M.; Thybaud, É.; Vindimian, É. (2000): Complément au SEQ-Eau: méthode de détermination des seuils

- de qualité pour les substances génotoxiques. Verneuil-en-Halatte, France: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Agence de l'eau Rhin-Meuse.
- [24] Internationale Agentur für Krebsforschung [IARC, Hrsg.] Benzo[a]pyrene, IARC Monographs – Volume 100F, IARC: Lyon (2012), S. 111-144, <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-14.pdf>
- [25] World Health Organization [WHO, Hrsg.] WHO guidelines for indoor air quality: Selected Pollutants, Kapitel 6. Polycyclic aromatic hydrocarbons, WHO: Bonn, (2010), S. 289-346, http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf?ua=1
- [26] BAuA, Risikokzept für krebserzeugende Stoffe des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS), Dortmund (2012), <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/AGS/pdf/Risikokzept.pdf?blob=publicationFile&v=3>
- [27] Ausschuss für Gefahrstoffe bei der BAuA (Hrsg.)(2011): ERB (Exposition-Risiko-Beziehung) - Begründung zu Benzo[a]pyren, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und zin, <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/910/910-benzo-a-pyren.pdf?blob=publicationFile&v=2> [abgerufen 19.07.2016]
- [28] Knecht, U. ; Woitowitz, H.-J., Krebsgefährdung bei Verwendung von Pechbitumen im Straßenbau (PT-AT), Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, (1990). (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht, Fb 612), <http://www.baua.de/de/Publikationen/Schriftenreihe/Forschungsberichte/1990/Fb612.html> [abgerufen 12.09.2016]
- [29] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)(Hrsg.), TRGS 524: Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen, Dortmund: BAuA, (2010), Absatz 2.4 Nr. 13, http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-524_content.html [abgerufen 12.09.2016]
- [30] In der § 1 Abs. 3 der 29. BImSchV wird festgelegt, daß (zur Überprüfung von Zielwerten) der Gesamtgehalt an Benzo(a)pyren in der PM10-(Feinstaub-)Fraktion bestimmt werden soll.
- [31] LfU (Hrsg.)(2011): Auswertung der im Jahr 2010 an den LÜB gemessenen Konzentrationen nach der 39. BImSchV, burg, http://www.lfu.bayern.de/luft/lufthygienische_berichte/doc/jahreskurzberichte/imbe10.pdf
- [32] <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/13/096/1309698.pdf> [abgerufen 12.09.2016]
- [33] LfU (Hrsg.)(2011): Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum. Projekt POPALP. Endbericht – Teil Boden, Nadeln, Deposition, Luft, burg, http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/schlussbericht_popalp.pdf
- [34] LfU (Hrsg.)(2011): Hintergrundwerte von anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden Bayerns, Augsburg, S. 27-29, http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert_umweltspezial.pdf
- [35] LfU (Hrsg.)(2011), Analyse und Verteilungsverhalten von perfluorierten Chemikalien und anderen persistenten organischen Spurenstoffen in Klärschlamm und Boden. Teil 1: Klärschlammuntersuchungen, Augsburg, S. 21-22, http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pft Verteilungsverhalten/doc/endbericht teil1 klaerschlamm.pdf

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bearbeitung:

Ref. 96 / Dr. Felix Geldsetzer

Bildnachweis:

LfU

Stand

Februar 2017

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.