

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt  
und ländliche Räume | Postfach 71 51 | 24171 Kiel

Landrätin und Landräte,  
Oberbürgermeister und Bürgermeister  
der Kreise und kreisfreien Städte  
des Landes Schleswig-Holstein  
als untere Bodenschutzbehörden  
gem. Verteiler

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume  
als obere Bodenschutzbehörde  
Hamburger Chaussee 25  
24220 Flintbek

Arbeitsgemeinschaft der kommunalen  
Landesverbände  
Reventlouallee 6  
24105 Kiel

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom: /  
Mein Zeichen: V 42- 61547/2016  
Meine Nachricht vom: /

Dorit.Kuhnt@melur.landsh.de  
Telefon: 0431 988-7358  
Telefax: 0431 988-615-7358

05. Januar 2017

## **Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch**

Dieser Erlass ergeht in Ergänzung des Erlasses V 462-5810.01-1.11-4 vom 07.01.2009,  
verlängert mit Erlass V 4162-58109.01-1.11-4 vom 28.02.2013.

§ 4 i. V. m. Anhang 2 BBodSchV enthält nähere Regelungen zur Bewertung der Ergebnis-  
se von Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung von Verdachtsflächen, schädlichen  
Bodenveränderungen, altlastverdächtigen Flächen und Altlasten. Soweit für einzelne  
Schadstoffe dort keine Prüf- oder Maßnahmenwerte festgesetzt sind, sind für ihre Bewer-  
tung die zur Ableitung der entsprechenden Werte in Anhang 2 BBodSchV herangezoge-  
nen Methoden und Maßstäbe zu beachten (§ 4 Abs. 5 BBodSchV).

In Anhang 2 der BBodSchV sind für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)  
aus der Stoffgruppe der PAK bisher Prüfwerte für Benzo(a)pyren (BaP) als Einzelsubstanz  
festgelegt worden. Diese Prüfwerte berücksichtigen ausschließlich die toxikologische Wir-  
kung von BaP als Einzelsubstanz. PAK liegen in der Umwelt jedoch immer als Gemisch  
vor. Für alle anderen PAK fehlen in der BBodSchV somit Bewertungsmaßstäbe.

Mit der anstehenden Novellierung der BBodSchV wird nun die Aufnahme eines Prüfwertes  
angestrebt, der die toxische Wirkung von PAK-Gemischen abdecken soll. Die toxikologi-  
schen Basisdaten dazu wurden in der Studie „Grundlagen für die Bewertung von Kontami-

nationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen“ im Auftrag des UBA erstellt.

In der Regel ist davon auszugehen, dass - sofern erhöhte BaP-Gehalte im Boden angetroffen werden - toxikologisch relevante PAK in einem bestimmten Mischungsverhältnis vorliegen. Auf dieser Grundlage wurden neue Prüfwerte vorgeschlagen, die eine Bewertung dieser PAK-Gemische zulassen. Bezogen sind die Prüfwerte erneut auf den BaP-Gehalt des Bodens, jedoch fungiert BaP nun als Bezugs- bzw. Leitsubstanz für die toxikologische Wirkung der gesamten Stoffgruppe der PAK.

Gemäß einer Empfehlung des Altlastenausschusses (ALA) der LABO sollen die folgenden Prüfwerte für PAK, vertreten durch BaP als Bezugssubstanz, bei der Novellierung der BBodSchV übernommen werden. Sie werden in Schleswig-Holstein im Vorgriff auf die Novellierung der BBodSchV bei der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen zur Anwendung empfohlen:

<b>Kinderspielflächen</b>	<b>0,5 mg BaP/kg TM</b>
<b>Wohngebiete</b>	<b>1 mg BaP/kg TM</b>
<b>Park- und Freizeitanlagen</b>	<b>1 mg BaP/kg TM</b>
<b>Industrie- und Gewerbegebiete</b>	<b>5 mg BaP/kg TM</b>

Die höheren Prüfwerte der BBodSchV von 1999 für BaP sind formal für die Einzelstoffbewertung weiter gültig. Die Bewertung der Stoffgruppe der PAK über die Bezugssubstanz BaP stellt jedoch offensichtlich den sensibleren Bewertungsmaßstab dar.

Die Prüfwerte für PAK können nur unter Beachtung der anliegenden Erläuterung, Begründung und insbesondere der Anwendungshinweise verwendet werden.

Dieser Erlass wird in die Liste der verbindlichen nicht veröffentlichten Erlasse des MELUR (Positivliste) aufgenommen und behält bis zum Inkrafttreten einer Neuregelung durch die BBodSchV seine Gültigkeit.



Dorit Kuhnt

Anlage:

- Erläuterung und Begründung der Prüfwerte für PAK
- Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK

## Anlage

### Erläuterung und Begründung der Prüfwerte für PAK

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Substanzklasse von mehreren hundert Einzelverbindungen. Die Verbindungen bestehen aus miteinander verbundenen aromatischen Benzolringsystemen. Analytisch erfasst und aufsummiert werden oft die 16 so genannten ‚EPA-PAK‘ (PAK<sub>16</sub>), die das Spektrum von Naphthalin mit nur zwei Ringen bis zu den höher molekularen PAK mit 5 und 6 Ringen umfassen – siehe Anlage 1.

PAK entstehen bei der Erhitzung bzw. Verbrennung von organischen Materialien unter Sauerstoffmangel (unvollständige Verbrennung). Nur wenige PAK-Verbindungen, z. B. Pyren und Anthracen werden als Einzelverbindungen großtechnisch hergestellt und wirtschaftlich genutzt. Üblicherweise liegen PAK im Boden und bei Altlasten als komplexe Stoffgemische vor. Die Zusammensetzung der PAK bei Kontaminationen im Bereich von Kokereien, Gaswerken oder Teermischwerken/Teeröllagern schwankt insbesondere hinsichtlich der höher molekularen PAK in der Regel nur in bestimmten Grenzen [1]. PAK aus Hausbrand, Abgasen etc. weisen eine vergleichbare Zusammensetzung auf und können in urbanen Bereichen zu einer erhöhten Grundbelastung gegenüber ländlichen Bereichen führen.

PAK sind unterschiedlich toxisch. Besonders gefährdend für den Menschen sind PAK mit kanzerogenem (krebserzeugendem oder -förderndem) Potential. Auf Grund seiner besonderen toxikologischen Bedeutung und der im Vergleich guten Kenntnisse über den Parameter wird Benzo(a)pyren (BaP) häufig parallel zur o. g. Auswahl der PAK<sub>16</sub> gelistet und auch als Einzelsubstanz bewertet.

In der BBodSchV von 1999 sind für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) aus der Stoffgruppe der PAK bisher lediglich Prüfwerte für BaP als Einzelsubstanz festgelegt worden (in Höhe von 2 mg/kg für Kinderspielflächen und den üblichen Abstufungen zu den anderen Nutzungsarten). Auf die Ableitung von Werten für andere PAK-Einzelsubstanzen und/oder eines Summenwertes wurde 1999 wegen der damals noch unzureichenden Datenlage verzichtet.

Im Zusammenhang mit der anstehenden Novellierung der BBodSchV wird nun die Aufnahme eines Prüfwertes angestrebt, der die **toxische Wirkung aller PAK** abdeckt. Die toxikologischen Basisdaten dazu wurden in der Studie „Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen“ im Auftrag des UBA im Jahr 1999 erstellt [2] und im Jahr 2004 überarbeitet.

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass die toxische Wirkung üblicher PAK-Gemische im Boden am aussagekräftigsten dadurch bewertet werden kann, dass **B(a)P als Leit- bzw. Bezugssubstanz** für die kanzerogenen PAK betrachtet und bewertet wird. Dieses Konzept setzte sich gegen Alternativkonzepte, u. a. der Gewichtung des Gefährdungspotentials anderen Einzelsubstanzen mittels Toxizitätsäquivalent-Faktoren (TEF, wie bei PCDD/PCDF) durch, da dieses ggf. zu einer Unterschätzung der Gemischwirkung führt.

**Die Verwendung von BaP als Leitsubstanz für PAK-Gemische unterscheidet sich damit grundlegend von dem für die BBodSchV von 1999 abgeleiteten BaP-Prüfwert. Die Höhe der Prüfwerte kann nicht miteinander verglichen werden, da in der BBodSchV von 1999 ein Einzelstoff und keine Stoffgruppe bewertet wird. Die Prüfwerte der BBodSchV für BaP und die Empfehlungen für die Verwendung von BaP als Leitsubstanz für die Bewertung von PAK-Gemischen sind grundsätzlich nebeneinander anzuwenden.**

Bei kanzerogenen Stoffen wird gemäß der Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der BBodSchV (Bundesanzeiger vom 18. Juni 1999) eine Krebsrisikoberechnung nach dem „unit-risk-Konzept“ durchgeführt. Ein „akzeptables zusätzliches Risiko“ liegt danach vor, wenn bei 100.000 lebenslang mit einer entsprechenden Schadstoffdosis belasteten Menschen zusätzlich einer auf Grund dieser Exposition (rechnerisch) an Krebs erkranken würde (Risiko von 1:100.000, bzw.  $10^{-5}$ ).

Als Gefahr wird bei diesen Stoffen der Umstand gewertet, wenn 5 Menschen auf Grund der lebenslangen Exposition an Krebs erkranken würden (Gefahrenfaktor  $F_{(Gef)} = 5$ ).

Auf Grundlage von **Untersuchungen zur kanzerogenen Wirkung von Steinkohleer-gemischen wurde** ein akzeptables zusätzliches Risiko bezüglich der kanzerogenen PAK bei einer Dosis von 0,87 ng BaP/kg·d ermittelt [2].

Es liegen Hinweise vor, dass der jugendliche Organismus gegenüber gentoxischen Kan-zerogenen eine besondere Empfindlichkeit besitzt. Für die orale Exposition kann ein Emp-findlichkeitsfaktor von 5 angesetzt werden.

Gemäß der Formel für die orale Aufnahme von Boden durch Kleinkinder auf Kinderspiel-flächen (mit der Pauschalannahme von 0,5 g/Tag an 240 Tagen im Jahr) führt dies zu ei-nem ersten rechnerischen Prüfwert („Rohwert“) von 0,23 mg BaP/ kg TM<sup>1</sup>:

$$\text{Prüfwert [mg / kg]} = \frac{\text{Dosis bei Risiko } 10^{-5} \cdot F_{(Gef)} \cdot \text{Expositionszeitfaktor } L}{\text{Bodenaufnahmerate} \cdot \text{Empfindlichkeitsfaktor}}$$

$$\text{Prüfwert [mg / kg]} = \frac{0,87 \frac{\text{ng}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \cdot 5 \cdot 8,75}{33 \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \cdot 5}$$

$$\text{Prüfwert [mg / kg]} = 0,23 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

Die rechnerischen ‘Rohwerte‘ für die weiteren Nutzungen (durch Kleinkinder) ergeben sich aus einer pauschal verminderten Bodenaufnahmerate bei der Nutzung Wohngebiet (Fak-tor 2) und Park- und Freizeitanlagen (Faktor 5). Auf die Ableitung des Prüfwertes für In-dustrie- und Gewerbegrundstücke wird hier nicht gesondert eingegangen.

---

<sup>1</sup> Die Werte sind auf 1 kg Trockenmasse (TM) des Bodens bezogen; im Weiteren wird auf das ‚TM‘ zur bes-seren Übersichtlichkeit verzichtet – der Bezug liegt jedoch immer auf Trockenmasse.

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde ein **ubiquitärer Hintergrundgehalt** von BaP in Böden von 0,36 mg BaP/kg TM angesetzt und der 'Rohwert' für Kinderspielflächen auf einen **Prüfwert nach Plausibilitätsprüfung von 0,5 mg BaP/kg** angehoben. Für die Szenarien ‚Wohngebiete‘ und ‚Park- und Freizeitanlagen‘ wurde keine Anhebung vorgeschlagen [2].

Der wissenschaftliche Beirat Bodenschutz (WBB) hat 2001 unter der Annahme höherer Hintergrundgehalte von BaP in urbanen Räumen eine stärkere Anhebung der toxikologisch abgeleiteten Werte empfohlen, wobei er eine beschleunigte Präzisierung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte von siedlungsbedingt erhöhten BaP - Gehalten für notwendig hielt.

Die diskutierten Prüfwertevorschläge für PAK fasst die folgende Tabelle zusammen:

alle Werte in [mg BaP/kg]	KSP	WG	PFA	IGG
FoBiG 1999 – erste Ableitung / ‚Rohwerte‘	0,23	0,46	1,15	5,6-11,1
FoBiG 1999 – Prüfwert nach Plausibilitätsprüfung	0,5	0,5	1	5
Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz 2001 (WBB)	1	1	1	5

KSP – Kinderspielflächen, WG - Wohngebiete, PFA - Park- und Freizeitanlagen, IGG - Industrie- und Gewerbegebiete

Zu berücksichtigen ist auch, dass PAK nicht nur oral, sondern auch über die Haut aufgenommen werden können. Aus der Berechnung für die dermale Exposition ergibt sich ein ähnlicher Bodenwert wie für die orale Exposition [2]. Die Berechnung weist zwar Unsicherheiten auf, jedoch muss die dermale Exposition als bedeutsamer Expositionspfad angesehen werden. Bei gleichzeitigem Auftreten beider Expositionspfade wäre daher bei Kinderspielflächen ein Bodenwert in halber Höhe (ca. 0,1 mg BaP/kg) anzustreben.

Unter Würdigung dieser Sachverhalte empfahl der Altlastenausschuss der LABO (ALA) auf seiner 53. Sitzung im Jan. 2016 die folgenden Prüfwerte zur Übernahme in die BBodSchV:

alle Werte in [mg BaP/kg]	KSP	WG	PFA	IGG
Prüfwerte für PAK, vertreten durch Benzo(a)pyren (BaP) als Bezugssubstanz	0,5	1	1	5

KSP – Kinderspielflächen, WG - Wohngebiete, PFA - Park- und Freizeitanlagen, IGG - Industrie- und Gewerbegebiete

Dieser Empfehlung liegt die Abwägung zwischen wünschenswerter Sicherheit durch die Prüfwertsetzung und ausreichender Berücksichtigung der ubiquitären Belastungen in Deutschland zu Grunde. Prüfwerte dienen dazu, bei altlastverdächtigen Flächen die über übliche Belastungen hinausgehenden Gefährdungen zu identifizieren und weitere Untersuchungen oder Maßnahmen einzuleiten. Sie müssen daher einen ausreichenden Abstand zu den Hintergrundwerten aufweisen. Hintergrundwerte werden dabei üblicherweise als 90-Perzentil untersuchter unbelasteter Standorte angegeben, d. h. den Stoffgehalt, der von 90 % dieser Proben unterschritten und von 10 % überschritten wird. Die BaP-Gehalte verschiedener Länder weisen im urbanen Raum Hintergrundwerte deutlich über 0,5 mg BaP/kg auf. Dabei handelt es sich nach aktuellen Erhebungen nicht nur um die Stadtstaa-

ten oder Nordrhein-Westfalen, sondern auch um Flächenländer wie Niedersachsen (90-Perzentil: 0,6 mg BaP/kg) oder Mecklenburg-Vorpommern (90-Perzentil: 0,7 mg BaP/kg)<sup>2</sup>.

Gleichzeitig ist sicher zu stellen, dass bei einer Erhöhung der Prüfwerte aufgrund von urbanen Schadstoffbelastungen das Risiko für die Schutzgüter in ländlichen Bereichen (mit niedrigeren Hintergrundwerten) nicht unangemessen erhöht wird.

Die Empfehlung des ALA, angesichts des hohen zusätzlichen Risikos insbesondere bei Kinderspielflächen, den Prüfwert für **Kinderspielflächen auf 0,5 mg BaP/kg** abzusenken, beruht auf der Überlegung, dass das bei einem Prüfwert von 0,5 mg BaP/kg für Kinderspielflächen bereits anzunehmende zusätzliche Risiko das maximal Vertretbare darstellt. Eine Erhöhung auf 1 mg BaP/kg ist daher abzulehnen. Um erheblichen Umsetzungsproblemen durch die Prüfwerte entgegenzuwirken, soll jedoch der Prüfwert für **Wohngebiete mit 1 mg BaP/kg** einen ausreichenden Abstand zum Hintergrund aufweisen und entsprechend dem WBB-Vorschlag mit dem Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen gleichgesetzt werden. Dies ist insbesondere dort sachgerecht, wo Flächen in Wohngebieten auch von der Frequentierung dem der Park- und Freizeitflächen entsprechen (z. B. Abstandsrün). Die Prüfwerte für Kinderspielflächen und Wohngebiete sind damit vergleichbar anderen Prüfwerten gestuft und entsprechen damit einem gleichen Risiko.

---

<sup>2</sup> In **Schleswig-Holstein** wurden bei der Untersuchung von 513 Bodenproben auf Spielplätzen (nicht Spielsand, 0-10 cm) ein **90-Perzentil von 0,43 mg/kg** ermittelt, wobei die meisten Bestimmungsergebnisse unter der Nachweisgrenze von 0,02 mg/kg lagen (UFU-SH, „Spielplatzstudie“ 1994).

Die Belastung von Hausgartenböden mit BaP wurde in 4 Regionen untersucht (2x industrialisiert, 2x ländlich) und ergab ein 95-Perzentil von 1,3 mg BaP/kg (n=144, 90-Perzentil nicht ausgewiesen, Median: 0,05 mg BaP/kg; LANU: „Hausgartenstudie“ 1996). Die höchste Grundbelastung wurde in einer kreisfreien Stadt festgestellt. Hier lag der Median der Gartenböden bei 0,73 mg BaP/kg und das 95-Perzentil bei 2,7 mg BaP/kg (n=34). Die Werte dieser Stadt bestimmten den vorgenannten 95-Perzentil von 1,3 mg BaP/kg. Siehe hierzu auch Anwendungshinweis 2.

## Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK:

### 1. Prüfung der PAK-Muster

Je nach Quellen und Alter differiert die Zusammensetzung von PAK-Gemischen in Böden. Es ist dennoch davon auszugehen, dass die Zusammensetzung in Bezug auf die für die Kanzerogenität wichtigen Inhaltsstoffe bei den typischen altlastverdächtigen Standorten ehemaliger Kokereien, Gaswerksgebäuden und Teermischwerke/ -öllager relativ homogen ist [2]. Der Ableitung der Prüfwerte liegen diese typischen PAK-Profile zu Grunde.

Die Prüfwerte dürfen nur dann zur Beurteilung herangezogen werden, wenn durch die nachfolgend beschriebenen zwei Prüfschritte sichergestellt ist, dass das PAK-Muster im zu bewertenden Einzelfall mit diesen typischen PAK-Profilen vergleichbar ist.

Grundlage dafür ist eine Analytik auf alle 16-EPA-PAK gemäß DIN ISO 18287 (05/2005) oder einer anderen vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) empfohlenen Methodik<sup>3</sup>.

**Analytisch ist daher nicht nur der Wert für BaP auszuweisen, sondern das gesamte Spektrum der PAK<sub>16</sub> zu bestimmen und für die nachfolgenden Prüfschritte heranzuziehen.**

Die Prüfschritte sind in der Regel durch den die Bewertung vornehmenden Gutachter durchzuführen.

#### **Prüfschritt a)** Abweichung von typischen Mustern

Um das Verhältnis der PAK untereinander unabhängig von der Konzentrationshöhe bewerten zu können, werden die Messergebnisse auf BaP normiert. Dazu wird der Analysewert einer PAK-Einzelsubstanz durch den BaP-Analysewert der Probe dividiert:

$$\text{Relativer Anteil Einzel - PAK} = \frac{\text{Konzentration Einzel - PAK}}{\text{Konzentration BaP}}$$

Der Quotient stellt den relativen (normierten) Anteil der PAK-Einzelsubstanz zu BaP dar. Werden mehrere Proben am Standort untersucht, werden die verschiedenen Quotienten einer PAK-Einzelsubstanz gemittelt, da es um die Vergleichbarkeit der Standortkontamination und nicht der einer Einzelprobe geht. Es empfiehlt sich, die (gemittelten) Quotienten auch graphisch darzustellen und den Mustern typischer PAK-Kontaminationsprofile und den Obergrenzen für Musterabweichungen gegenüberzustellen (siehe Anlage 2).

Die relativen Anteile der Einzel-PAK werden mit den **Obergrenzen für Musterabweichungen** aus nebenstehender Tabelle verglichen:

*Maximales Vielfaches eines PAK-Gehaltes im Boden bezogen auf den BaP-Gehalt im Boden (BaP = 1); das maximale Vielfache ist die Obergrenze einer (noch) typischen PAK-Zusammensetzung*

<b>Naph</b>	160	<b>BaA</b>	6
<b>Acy</b>	5	<b>Chry</b>	5
<b>Ace</b>	95	<b>BbF</b>	3
<b>Flu</b>	110	<b>BkF</b>	3
<b>Phen</b>	140	<b>BaP</b>	1
<b>Anth</b>	240	<b>BghiP</b>	3
<b>FluA</b>	55	<b>I123P</b>	3
<b>Pyr</b>	30	<b>DBahA</b>	1,5

<sup>3</sup> Siehe [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa\\_boal\\_v1.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa_boal_v1.pdf)

Im Gegensatz zu den PAK mit der höchsten kanzerogenen Potenz (rechte Spalte in grau) variieren die nicht kanzerogenen PAK mit meist geringerer Molekülmasse (linke Spalte) in ihrem Verhältnis untereinander in der Regel deutlich stärker [2].

Die Begründung dieser Obergrenzen und eine Tabelle der Minimal- und Maximalwerte der PAK-Muster an typischen PAK-Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1) hat die LfU Bayern dargestellt [3].

Treten eine oder mehrere Überschreitungen der Obergrenzen auf, soll geprüft werden, ob die Messdaten plausibel durch eine andere spezifische PAK-Quelle bedingt sein können.

In erster Linie sind dabei Überschreitungen der grau hinterlegten PAK mit kanzerogenem Potential zu betrachten – insbesondere DBahA und BbF. Beide Substanzen sind als ähnlich kanzerogen wie BaP einzustufen, siehe Anlage 1. Auch BaA, BkF und I123P weisen ein relevantes Wirkungspotential auf, das mit dem Prüfwert für BaP als Bezugssubstanz ggf. unterschätzt wäre, wenn in einer Probe die Gehalte dieser Stoffe die oben genannten Verhältniszahlen deutlich überschreiten.

Überschreitungen bei den mobilen PAK deuten auf nur sehr geringe Mobilisierungen / Alterungen bei PAK-Schäden und haben meist einen eher geringen Einfluss auf das toxische Potential des Gemisches; Überschreitungen bei Naphthalin sind ohne Einfluss.

### **Prüfschritt b) Prüfung der Summe der Toxizitätsäquivalente**

Unter Verwendung der TEF aus Anlage 1 ist die Summe der Toxizitätsäquivalente einer Probe zu errechnen. Der Anteil von BaP an dieser Summe sollte zwischen 30 - 60 % betragen. Bei Anteilen unter 30 % führt die Anwendung des PAK-Prüfwertes, vertreten durch BaP, zu einer Risikounterschätzung, bei Anteilen über 60 % ggf. zu einer Risikoüberschätzung.

Beispiel einer typischen PAK-Zusammensetzung (nur PAK mit TEF, Gehalt in mg/kg TM):

	Acy	Anth	FluA	BaA	Chry	BbF	BkF	<b>BaP</b>	BghiP	I123P	DBahA	Summe Tox-Äqui- valente
TEF	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	1	0,1	<b>1</b>	0,01	0,1	1	
Gehalt im Boden	<0,05	0,9	3	1,7	1,8	1,7	0,8	1,6	0,9	0,7	0,12	
Tox-Äquivalent	-	0,009	0,03	0,17	0,018	1,7	0,08	1,6	0,009	0,07	0,12	3,8
Anteil an Summe	-	0,2%	0,8%	4,5%	0,5%	45%	2,1%	<b>42%</b>	0,2%	1,8%	3,2%	

**Sinnvoll ist, in Fällen mit deutlichen, plausiblen Überschreitungen einer der oben genannten relevanten Obergrenzen für Musterabweichungen oder einem abweichenden Anteil von BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente einen toxikologischen Sachverständigen zur Bewertung hinzu zu ziehen und Kontakt mit dem LLUR aufzunehmen.**



Ggf. kann es im Rahmen der Detailuntersuchung dann notwendig werden, eine einzelfallbezogene (neue) Prüf-/Maßnahmenwertableitung nach den vorliegenden Maßstäben durchzuführen.

## 2. Berücksichtigung lokaler Hintergrundgehalte

Bei Überschreitungen der Prüfwerte bei der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen ist ggf. zu ermitteln, ob die lokalen Hintergrundgehalte für BaP eine vergleichbare Größenordnung aufweisen. Bei nachgewiesenen großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten kann die zuständige Behörde diese bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigen und Ausnahmeregelungen auf der Grundlage einer gebietsspezifischen Beurteilung und unter Berücksichtigung der ermittelten Resorptionsverfügbarkeit (s. u.) treffen.

## 3. Weitere Sachverhaltsermittlung

Bei der Detailuntersuchung können Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) nach DIN 19738 (mit Vollmilchpulver) sinnvoll und erforderlich sein. Bei bisherigen Untersuchungen zur RV wurde bei PAK-Kontaminationen i. d. R. auf den Parameter BaP allein abgehoben. Da für eine detaillierte Betrachtung der PAK-Toxizität die Resorptionsverfügbarkeit des PAK-Gemisches relevant ist, wird empfohlen<sup>4</sup>, die RV der 8 gering mobilen PAK (Anlage 1, grau) bestimmen zu lassen. Der arithmetische Mittelwert dieser RV-Anteile wird dann mit dem BaP-Messwert multipliziert und mit den o. g. Prüfwerten für PAK verglichen.

Damit stellen die Prüfwerte für PAK gleichzeitig die Risikogrenzen für die jeweiligen Szenarien dar. Mit dieser Vorgehensweise wird vermieden, dass es zu unterschiedlichen Risikohöhen bei Prüf- und Einzelfall-Maßnahmenwerten kommt.

Beispiel: Bei einer Untersuchung eines Bereichs einer Kinderspielfläche beträgt der BaP-Wert 1,5 mg/kg TM. Bei einer RV-Untersuchung werden folgende resorptionsverfügbare Anteile festgestellt: BaA 42%, Chry 40%, BbF 36%, BkF 34%, BaP 21%, BghiP 19%, I123P 15% und DBahA 14% - der Mittelwert der RV-Werte beträgt somit 27,6%. Bezogen auf den BaP-Wert ist davon auszugehen, dass nur  $1,5 \cdot 0,27 = 0,41$  mg BaP/kg (stellvertretend für andere kanzerogene Substanzen) aufgenommen werden kann und somit die kanzerogene Wirkung des Gemisches soweit reduziert ist ( $0,41 < 0,5$ ), dass der Gefahrenverdacht für die untersuchte (Teil-) Fläche nicht zu bestätigen ist.

Hinweis zur DIN 19738: Die jeweils aktuellen Erkenntnisse zur Durchführung robuster Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von PAK sind zu beachten. So ist z. B. nach den Erkenntnissen des UBA [4] der Einsatz von Vollmilchpulver obligatorisch, wohingegen




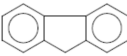
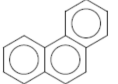
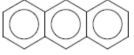
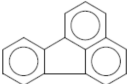

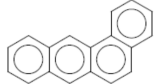
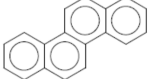
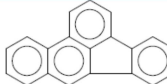
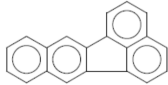
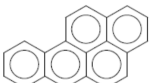

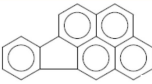
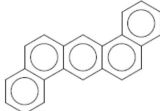
---

<sup>4</sup> Es handelt sich um eine Empfehlung, die zu einem stärker belastbaren Ergebnis führt. Im Nahbereich der Prüfwerte ist es möglich, dass im Eluat/Mobilisat einzelne PAK unter der Bestimmungsgrenze liegen. Eine Mittelwertbildung hebt dann auf das arithmetische Mittel der bestimmbar gering mobilen PAK ab.

die (fakultative) Speichelstufe entfallen kann. Bisherige Untersuchungen haben häufig auf die Bodenfraktion < 2 mm abgehoben, die auch für die Bestimmung der Gesamtgehalte verwendet wird. Dieses Vorgehen wird in dem UBA-Bericht ebenfalls präferiert. Bei PAK-kontaminiertem Boden sind Doppel- bei inhomogenen Materialien Dreifachbestimmungen durchzuführen. Regelmäßige Untersuchungen des nach der Mobilisierung verbleibenden Sediments sind zur Bestimmung der Wiederfindung notwendig – im UBA-Bericht wurden bei BaP Wiederfindungen > 70% erreicht.

## Anlage 1

PAK-Abkürzungen der 16 „EPA“-PAK, Anzahl der Ringe (n), Wasserlöslichkeit (WL in µg/l; WL < 70 µg/l in grau) und Hinweis auf das kanzerogene Potential (Toxizitätsäquivalentfaktor, TEF) im Verhältnis zu Benzo(a)pyren. Die Reihenfolge entspricht der typischen Elutionsfolge nach einer Gaschromatographie(GC)-Trennung, und damit der Reihenfolge der Stoffe in den PAK-Profilen

Abkürz.	Stoffname	Formel	n	WL	TEF
Naph	Naphthalin		2	31700	
Acy	Acenaphthylen		3	3930	0,01
Ace	Acenaphthen		3	1930	
Flu	Fluoren		3	1700	
Phen	Phenanthren		3	1200	
Anth	Anthracen		3	76	0,01
FluA	Fluoranthren		4	260	0,01
Pyr	Pyren		4	77	
BaA	Benzo(a)anthracen		4	13	0,1
Chry	Chrysen		4	3	0,01
BbF	<b>Benzo(b)fluoranthren</b>		5	1,2	<b>1</b>
BkF	Benzo(k)fluoranthren		5	0,8	0,1
<b>BaP</b>	<b>Benzo(a)pyren</b>		5	2,3	<b>1</b>
BghiP	Benzo(ghi)perylen		6	0,3	0,01
I123P	Indeno(1,2,3-cd)pyren		6	62	0,1
DBahA	<b>Dibenzo(ah)-anthracen</b>		5	0,5	<b>1</b>

**Anlage 2** (Kopie aus [3]) Abbildung 2 ist eine ‚Vergrößerung‘ von Abbildung 1

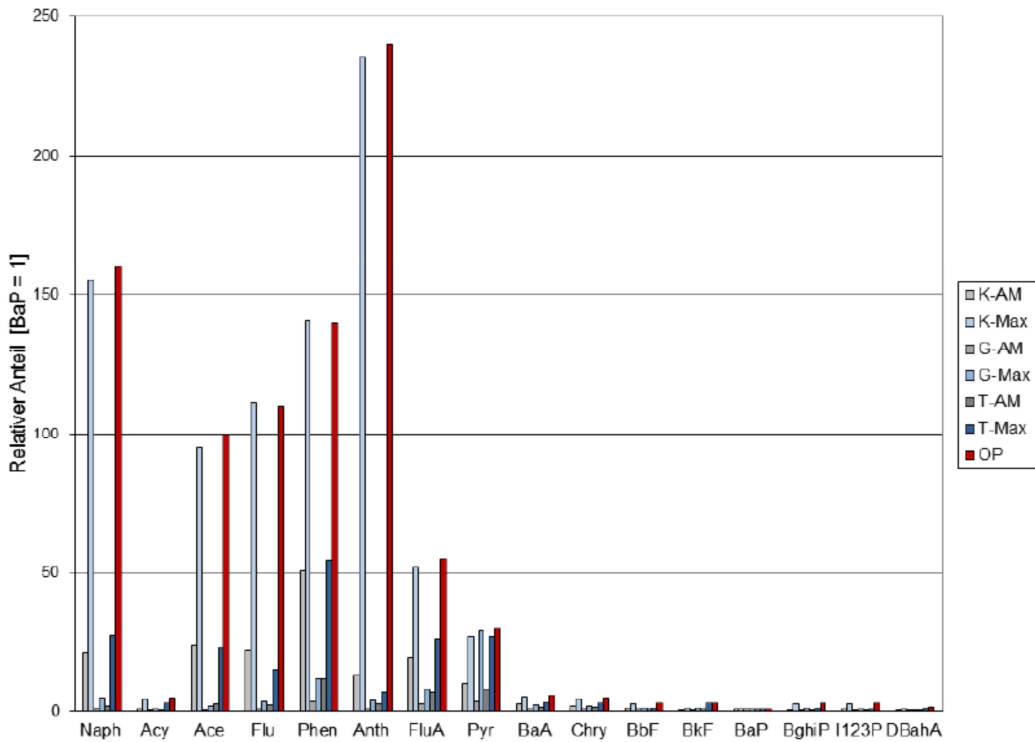


Abbildung 1: PAK-Muster an typischen Standorten (BaP = 1; K: Kokerei, G: Gaswerk, T: Teer, AM: arithmetisches Mittel, Max: Maximalwert, OP: Obergrenze PAK; [FoBiG 1999/2004, ALEX 2001])

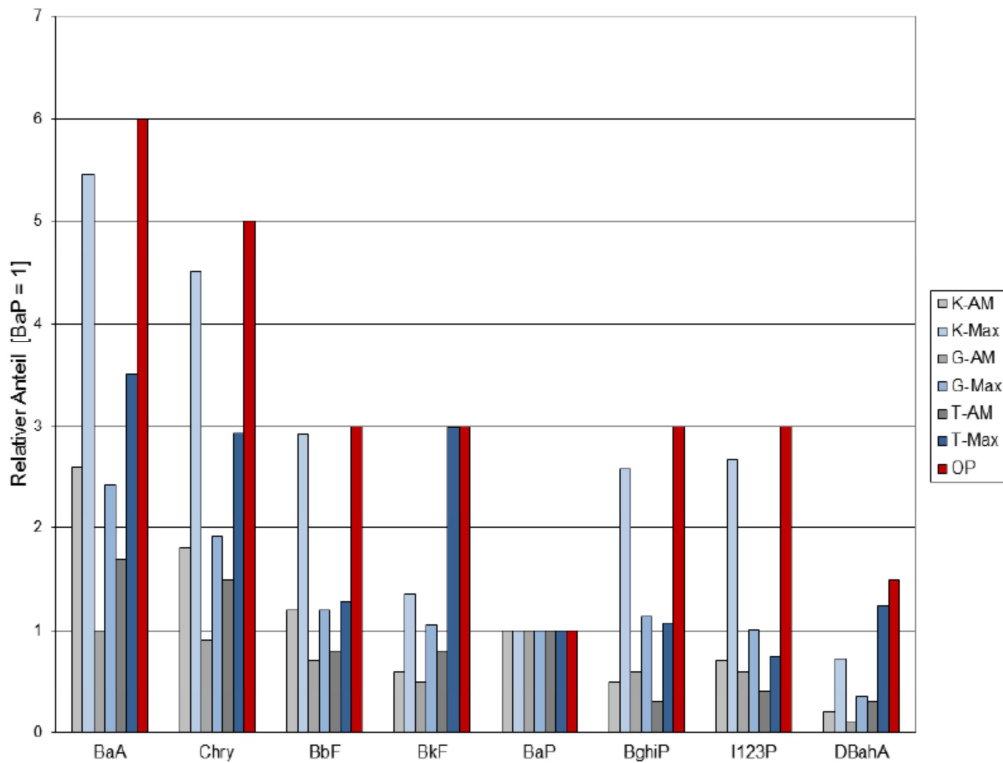


Abbildung 2: Muster höhermolekularer PAK an typischen Standorten (Erläuterungen siehe Abb. 1)

## Literatur

[1] BODENSCHUTZ, ALEX-INFORMATIONSBLATT 21, Mainz, Mai 2011  
Hinweise zur Beurteilung von PAK – Gemischen in kontaminierten Böden

[2] Bericht zum F+E Vorhaben 298 73 771 "Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen"  
Teil B Ableitung von Prüfwerten, Bearbeitung: Dr. K. Schneider, Dr. U. S. Schuhmacher, J. Oltmanns und Dr. F. Kalberlah, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, FoBiG GmbH, Freiburg i. Br. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Juli 1999, aktualisiert 2004

[3] LfU Bayern: Bewertungshilfe ‚Prüf- und Maßnahmenwerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)‘ vom Oktober 2014  
[www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz\\_umwelt/doc/bodenschutz\\_altlasten.pdf](http://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bodenschutz_altlasten.pdf)

[4] UBA 2016: Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen zur weiteren Fortschreibung des Anhangs 1 der BBodSchV, UBA-Texte 15 / 2016