

## Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK:

### 1. Prüfung der PAK-Muster

Je nach Quellen und Alter differiert die Zusammensetzung von PAK-Gemischen in Böden. FoBiG 1999/2004 kommt trotzdem zu dem Schluss, dass die Zusammensetzung in Bezug auf die für die Kanzerogenität wichtigen Inhaltsstoffe relativ homogen ist. Der Ableitung der o.g. Prüfwerte liegen daher „typische PAK-Profile“ zu Grunde. Bei der Anwendung der Prüfwerte muss sichergestellt sein, dass das PAK-Muster im zu bewertenden Einzelfall mit diesen vergleichbar ist (s.a. [1]).

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

Das LfU Bayern hat in einer Bewertungshilfe weiterführende Hinweise zur Prüfung dieser Muster formuliert [3]. Dort wird folgendes Vorgehen empfohlen:

a) Zur Prüfung der Vergleichbarkeit der Muster 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, können die verschiedenen Quotienten einer PAK-Einzelsubstanz gemittelt werden. Es empfiehlt sich, die (gemittelten) Quotienten graphisch darzustellen und ggf. den Mustern typischer Kontaminationsflächen und den Obergrenzen für Musterabweichungen gegenüberzustellen (siehe [1] und Anhang 2 aus [3]).

b) Vergleich der Ergebnisse mit den **Obergrenzen für Musterabweichungen** aus folgender Tabelle:

Maximales Vielfaches eines PAK-Gehaltes im Boden bezogen auf den BaP-Gehalt im Boden als 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

Im Gegensatz zu den PAK mit der höchsten kanzerogenen Potenz variieren die nicht kanzerogenen PAK mit meist geringerer Molekülmasse in ihrem Verhältnis untereinander in der Regel deutlich stärker [FoBiG 1999/2004]).

In der folgenden Tabelle sind Minimal- und Maximalwerte im PAK-Muster an typischen PAK-Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1) dargestellt.

	Kokerei			Gaswerk			Teer		
	Min	Max	Max/Min	Min	Max	Max/Min	Min	Max	Max/Min
Naph	0,05	155,2	3103	0,00	5,1		0,00	27,5	
Acy	0,00	4,7		0,00	1,0		0,00	3,2	
Ace	0,07	95,2	1359	0,00	2,0		0,00	23,4	
Flu	0,02	111,3	5567	0,02	3,7	187	0,00	15,0	
Phen	1,47	140,9	96	0,30	12,1	40	0,93	54,4	58
Anth	0,66	235,7	357	0,04	4,1	102	0,29	7,3	25
FluA	2,90	52,2	18	0,96	8,2	9	1,55	26,3	17
Pyr	1,80	27,1	15	0,32	29,3	92	2,97	27,0	9
BaA	0,96	5,5	6	0,44	2,4	6	0,91	3,5	4
Chry	0,53	4,5	8	0,17	1,9	11	0,99	2,9	3
BbF	0,66	2,9	4	0,17	1,2	7	0,17	1,3	8
BkF	0,38	1,4	4	0,17	1,1	6	0,00	3,0	
BaP	1,00	1,0		1,00	1,0		1,00	1,0	
BghiP	0,00	2,6		0,05	1,1	23	0,00	1,1	
I123P	0,00	2,7		0,17	1,0	6	0,00	0,8	
DBahA	0,00	0,7		0,00	0,4		0,00	1,2	

Es ist zu erkennen, dass die in grau hinterlegten gering mobilen PAK (Wasserlöslichkeit < 70 µg/l) bezogen auf BaP deutlich geringere Unterschiede zwischen Min. und Max. aufweisen, als die weiß hinterlegten mobilen PAK mit geringerer Molekülmasse.

Die Obergrenzen aus Tabelle 1 stellen die gerundeten Maximalwerte (Vielfaches von BaP) aus Tabelle 2 der drei Flächentypen dar – sie sind als vorläufig anzusehen. Begründen lässt sich diese Vorgehensweise damit, dass davon auszugehen ist, dass PAK-Muster, die in die Ableitung (per Mittelwertbildung) eingegangen sind [FoBiG 1999/2004], grundsätzlich auch anhand der sich daraus ermittelten Prüfwerte beurteilt werden können.

#### c) Einzelfallprüfung bei Überschreitung (v.a. der höher molekularen PAK)

Treten eine oder mehrere Überschreitungen auf, sollte geprüft werden, ob die Messdaten plausibel durch eine spezifische Quelle bedingt sein können. Ggf. ist eine einzelfallbezogene (neue) Prüfwertableitung nach den vorliegenden Maßstäben durchzuführen.

**In erster Linie sind 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 eine 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.

#### d) 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.

**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 hinzuzuziehen und Kontakt mit dem Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim aufzunehmen.**

#### 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 treffen.

#### 3. Weitere Sachverhaltsermittlung





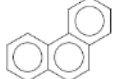
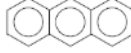
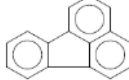

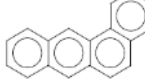
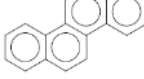
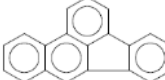
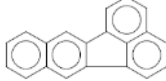
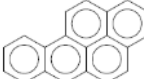
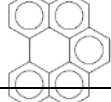
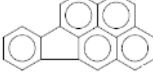
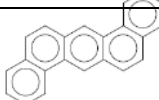
Bei der Detailuntersuchung können Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) nach DIN 19738 (mit Milchpulver) sinnvoll und erforderlich sein. Es bestehen dabei verschiedene Möglichkeiten, wie RV-Werte dabei berücksichtigt werden. In Anlehnung/Abwandlung zum Vorgehen in Bayern [3] wird empfohlen, das arithmetische Mittel der bei den gering mobilen PAK (Anlage 1, grau) bestimmten RV auf die BaP-Messwerte (nicht auf die ‚Rohwerte‘ nach FoBiG) anzuwenden und sie mit den o.g. Prüfwertvorschlägen für PAK zu vergleichen.

Damit stellen die Prüfwerte für PAK gleichzeitig die Risikogrenzen für die jeweiligen Szenarien dar (s. Fußnote 3). 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.

## 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 GC-Trennung, und damit der Reihenfolge der Stoffe in den PAK-Profilen

Abkürz.	Stoffname	Formel	n	WL	TEF
<b>Naph</b>	Naphthalin		2	31700	
<b>Acy</b>	Acenaphthylen		3	3930	0,01
<b>Ace</b>	Acenaphthen		3	1930	
<b>Flu</b>	Fluoren		3	1700	
<b>Phen</b>	Phenanthren		3	1200	
<b>Anth</b>	Anthracen		3	76	0,01
<b>FluA</b>	Fluoranthen		4	260	0,01
<b>Pyr</b>	Pyren		4	77	
BaA	Benzo(a)anthracen		4	13	0,1
Chry	Chrysen		4	3	0,01
BbF	<b>Benzo(b)fluoranthen</b>		5	1,2	<b>1</b>
BkF	Benzo(k)fluoranthen		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
DBaA	<b>Dibenzo(ah)anthracen</b>		5	0,5	<b>1</b>

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

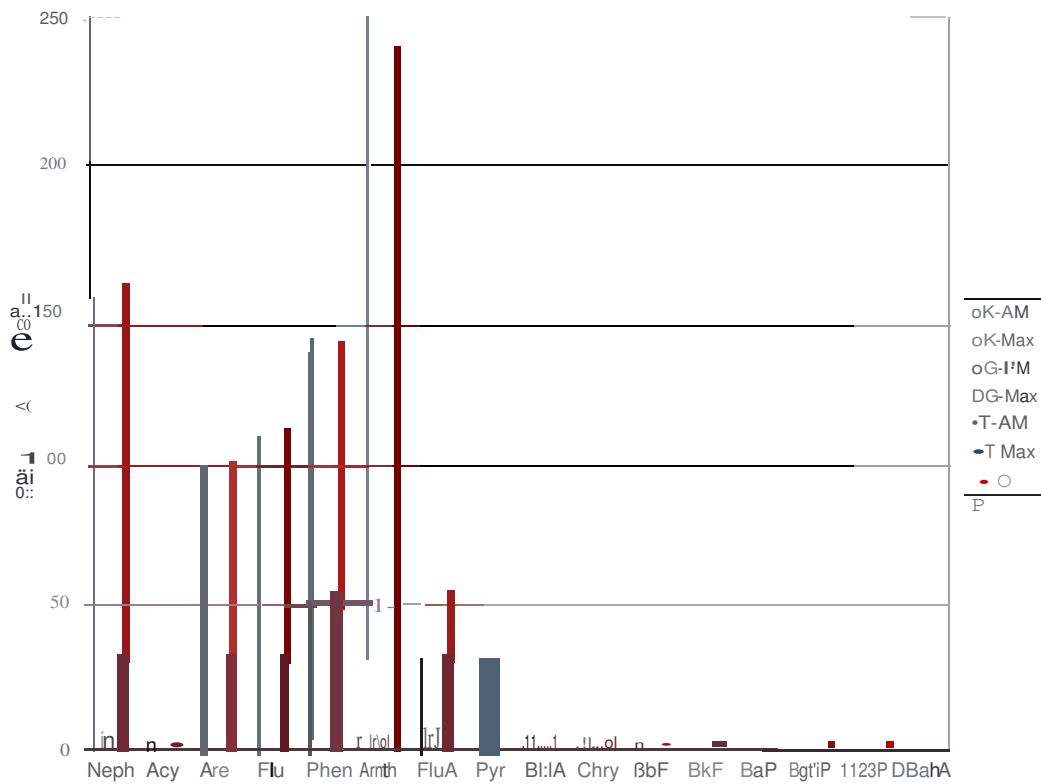


Abbildung 1: PAK-Muster an typischen Standorten (BaP = 1; K: Kokerei, G: Gaswerk, T: Teer, AM: arithmetisches Mittel, Max: Maximalwert, OP: Obergrenze PAK; [FoBiG 1999/2004, ALEX 2001])

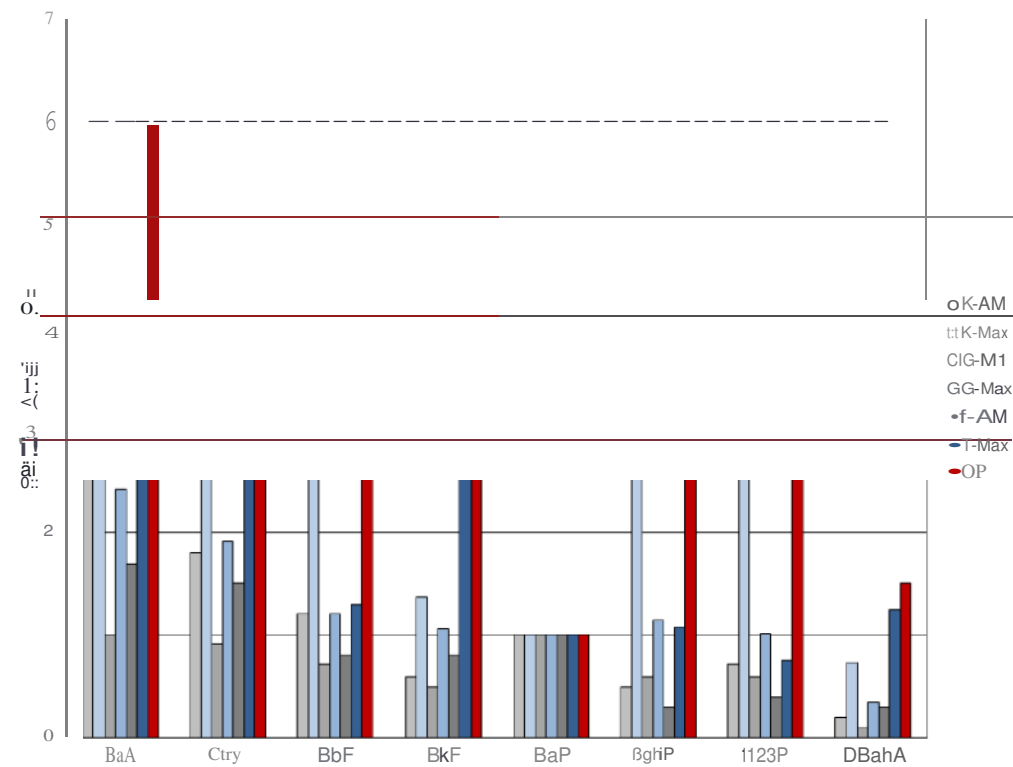


Abbildung 2: Muster höhermolekularer PAK an typischen Standorten (Erläuterungen siehe Abb. 1)

## Literatur

[1] BODENSCHUTZ, ALEX-INFORMATIONSBLETT 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

[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)