

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

### 1. Prüfwerte für Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz und Leitsubstanz

In Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sind für den Wirkungspfad Boden-Mensch Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Benzo(a)pyren (BaP) als Einzelsubstanz festgelegt (Tab. 1). Zur Bewertung von umweltrelevanten PAK-Gemischen ist dieser Prüfwert allerdings nicht geeignet, da die Wirkungen anderer PAK-Verbindungen nicht mitberücksichtigt werden.

Aus diesem Grund wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes Prüfwertvorschläge für Benzo(a)pyren als Leitsubstanz typischer PAK-Gemische abgeleitet<sup>1</sup>, welche die toxische Gesamtwirkung der enthaltenen PAK in den betrachteten Gemischen repräsentieren (FoBiG-Gutachten, 1999/2004). Hierzu wurden zunächst Rohwerte ermittelt, die ausschließlich auf Expositionsannahmen und toxikologischen Daten beruhen und für ein angenommenes zusätzlich tolerierbares Krebsrisiko von  $5 \cdot 10^{-5}$  (1:20000) gelten. Für die orale und inhalative Aufnahme ergaben sich folgende Rohwerte: 0,23 mg/kg für Kinderspielflächen, 0,46 mg/kg für Wohngebiete, 1,15 mg/kg für Park- und Freizeitanlagen sowie 5,6 mg/kg für Industrie- und Gewerbeflächen. Abschätzungen zur lokalen Karzinogenese an der Haut ergaben einen Wert für Kinderspielflächen in ähnlicher Höhe (0,26 mg/kg).

Aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen, die sich am ubiquitären Hintergrundgehalt von BaP im Oberboden unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung über die Nahrung und Atemluft orientieren, wurden die Prüfwertvorschläge für Kinderspielflächen auf 0,5 mg/kg TM erhöht. Die damit verbundene Überschreitung der üblichen Grenze für zusätzlich Krebsrisiken wird als die maximal vertretbare angesehen. Für Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industriegebiete folgen die Prüfwertvorschläge den Rohwerten (Tab. 1, fett gedruckt).

**Tabelle 1:** Prüfwerte der BBodSchV und Prüfwertvorschläge aus dem FoBiG-Gutachten für den Wirkungspfad Boden-Mensch für die direkte Aufnahme von Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz oder als Leitsubstanz für PAK-Gemische [mg/kg Trockenmasse (TM)]

	<b>Prüfwert für Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz</b> (gemäß Anhang 2 BBodSchV)	<b>Prüfwertvorschlag für Benzo(a)pyren als Leitsubstanz</b> (gemäß FoBiG-Gutachten, 1999/2004)
Kinderspielflächen	2	<b>0,5</b>
Wohngebiete	4	<b>0,5</b>
Park- und Freizeitanlagen	10	<b>1</b>
Industrie- und Gewerbegrundstücke	12	<b>5</b>

Die bisherigen Prüfwerte nach BBodSchV für BaP als Einzelsubstanz sind nicht mit den hier vorgestellten Prüfwertvorschlägen vergleichbar, bei denen BaP als Leitsubstanz für PAK-Gemische herangezogen wird. Diese Prüfwertvorschläge dürfen somit auch nicht als gegenüber der BBodSchV strengere BaP-Prüfwerte missverstanden werden.

<sup>1</sup> Ist gemäß § 4 Abs. 5 für einen Schadstoff kein Prüf- oder Maßnahmenwert festgelegt, sind für dessen Bewertung die zur Ableitung der entsprechenden Werte in Anhang 2 BBodSchV herangezogenen Methoden und Maßstäbe zu beachten (siehe Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999).

## 2. Situation in Baden-Württemberg

Im Hinblick auf die Novellierung der BBodSchV im Rahmen der Mantelverordnung lautete die Empfehlung des Altlastenausschusses der LABO (ALA) auf seiner 53. Sitzung im Januar 2016, die Prüfwertvorschläge aus dem FoBiG-Gutachten für Kinderspielflächen (0,5 mg/kg TM), Park- und Freizeitanlagen (1 mg/kg TM) sowie Industrie und Gewerbegrundstücke (5 mg/kg TM) zu übernehmen, jedoch den Wert für Wohngebiete von 0,5 auf 1 mg/kg TM zu erhöhen, um die teils erhöhten urbanen Belastungen in einigen Gebieten Deutschlands zu berücksichtigen.

Untersuchungen der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) in ausgewählten urban-/industriellen Gebieten ergaben für Baden-Württemberg keine großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalte in Böden, die eine solche Erhöhung des Prüfwertes für Wohngebiete erfordert. So wurde im urbanen Raum der Landeshauptstadt Stuttgart ein wirklicher Hintergrundwert von etwa 0,28 mg BaP/kg TM ermittelt (90. Perzentil; ohne Flächen mit Altlastenverdacht; LUBW, 2018). Dieser Hintergrundwert liegt deutlich unterhalb der Prüfwertvorschläge von 0,5 mg/kg TM für Kinderspielflächen sowie Wohngebiete. Zum Vergleich: Im FoBiG-Gutachten (1999/2004) wurde bei der Plausibilitätsbetrachtung eine Bodenkonzentration von 0,36 mg BaP/kg TM als vorläufiger Hintergrundwert für die Bundesrepublik Deutschland herangezogen.

Das für den Wirkungspfad Boden-Mensch zuständige Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg empfiehlt, die FoBiG-Prüfwertvorschläge für BaP als Leitsubstanz (Tab. 1, fett gedruckt) bis zu einer Novellierung der BBodSchV für die Bewertung von PAK-Gemischen in Baden-Württemberg als Prüfwerte anzuwenden. Hierbei sind die Hinweise in Abschnitt 3 zu beachten.

## 3. Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK

Die Zusammensetzung von PAK-Gemischen in Böden unterscheidet sich je nach Emissionsquelle, Alter des Schadens und Umweltbedingungen.

Die PAK-Muster kontaminierter Böden (Kokerei- und Gaswerkstandort sowie Teermischwerk / Teeröllager) zeigen dennoch Gemeinsamkeiten (siehe Abbildung 1 im Anhang). Mengenmäßig dominierten bei allen untersuchten Standorten PAK mit zwei bis drei Ringen (niedermolekulare PAK), welche zusätzlich eine große Variabilität aufwiesen (FoBiG, 1999/2004). Dagegen zeigten die höhermolekularen PAK, wozu Verbindungen mit der höchsten kanzerogenen Potenz gehören, eine homogenere Verteilung und eine geringere Mobilität (Wasserlöslichkeit < 0,070 mg/l; Tab. 5). In der Regel waren die niedermolekularen PAK flüchtiger bzw. mobiler als die höhermolekularen. Das FoBiG-Gutachten (1999/2004) schlussfolgerte, dass die Zusammensetzung aller PAK-Gemische bezüglich der für die Kanzerogenität wichtigsten Inhaltstoffe relativ homogen ist.

### 3.1 Orientierende Untersuchung

Für die Ableitung der Prüfwerte bilden „typische PAK-Muster“ die Grundlage. Daher können die Prüfwerte nur angewendet werden, wenn das im Einzelfall zu bewertende PAK-Muster mit diesen vergleichbar ist (siehe auch LUWG, 2011).

Aus diesem Grund muss bei der Analytik nicht nur BaP, sondern das gesamte Spektrum der 16 EPA-PAK bestimmt werden (gemäß DIN ISO 18287 (05/2006) oder einer vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU, 2018) empfohlenen Methode).

Für die nachfolgenden Prüfschritte verweisen wir auf das modifizierte Ablaufschema des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) in der Fachinformation „*Prüf- und Maßnahmenwerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*“ (LGL, 2014).

#### 3.1.1 Normieren der PAK-Messwerte auf BaP zur Überprüfung der Vergleichbarkeit

Zur Normierung der PAK-Messwerte wird der Analysewert einer PAK-Einzelsubstanz durch den BaP-Analysewert der jeweiligen Bodenprobe dividiert. Der errechnete Quotient ist der relative (normierte) Anteil der PAK-Einzelsubstanz zu BaP:

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

Bei Untersuchung mehrerer in einem räumlichen Zusammenhang stehender Proben eines Standortes können die verschiedenen Einzel-PAK-Quotienten gemittelt werden. Es wird empfohlen, die (gemittelten) Quotienten auch graphisch darzustellen und mit den Mustern typischer PAK-Kontaminationen (siehe Abbildung 1 im Anhang sowie LUWG, 2011; LGL, 2014) und mit den Obergrenzen für Musterabweichungen (Abschnitt 3.1.2) zu vergleichen.

### 3.1.2 Vergleich der Ergebnisse mit den Obergrenzen für maximale PAK-Anteile in Böden typischer Standorte

Nach Normierung der Messergebnisse auf BaP werden diese Werte mit den Obergrenzen aus Tabelle 2 verglichen<sup>2</sup>. Aufgrund der höheren Toxizität/Kanzerogenität sollte insbesondere überprüft werden, ob die gemessenen Werte für höhermolekulare PAK die Obergrenzen einhalten.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, variieren die Obergrenzen der niedermolekularen PAK bezogen auf BaP in ihrem Verhältnis untereinander viel stärker als die der höhermolekularen PAK. Letztere zeigen demgegenüber auch viel geringere Spannweiten (Tab. 6 im Anhang).

**Tabelle 2:** Obergrenzen für maximale PAK-Anteile in Böden typischer Standorte normiert auf BaP (nach LGL, 2014)

Niedermolekulare Verbindungen			Höhermolekulare Verbindungen		
Naphthalin	Naph	160	Benzo(a)anthracen	BaA	6
Acenaphthylen	Acy	5	Chrysen	Chry	5
Acenaphthen	Ace	95	Benzo(b)fluoranthen	BbF	3
Fluoren	Flu	110	Benzo(k)fluoranthen	BkF	3
Phenanthren	Phen	140	Benzo(a)pyren	BaP	1
Anthracen	Anth	240	Benzo(ghi)perylen	BghiP	3
Fluoranthen	FluA	55	Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	3
Pyren	Pyr	30	Dibenzo(ah)anthracen	DBahA	1,5

### 3.1.3 Einhaltung der Obergrenzen

Bei Einhalten der Obergrenzen (Tab. 2) werden die BaP-Messwerte anhand der Prüfwerte von FoBiG beurteilt (Tab. 1).

Bei Überschreitungen der Prüfwerte ist zu überprüfen, ob lokale Hintergrundgehalte für BaP vergleichbare Größenordnungen aufweisen<sup>3</sup>. Die zuständige Behörde kann nachgewiesene großflächig siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigen und Ausnahmeregelungen auf Grundlage einer gebietsspezifischen Beurteilung unter Berücksichtigung der ermittelten Resorptionsverfügbarkeit (siehe Abschnitt 3.2) treffen.

### 3.1.4 Überschreitung der Obergrenzen

Bei einer Überschreitung der Obergrenzen für maximale PAK-Anteile in Böden typischer Standorte (Tab. 2) ist zu prüfen, ob die Messdaten plausibel durch eine von den Standardszenarien abweichende spezifische PAK-Quelle bedingt sein könnten.

<sup>2</sup> Hierbei handelt es sich um vorläufige, gerundete Maximalwerte aus Tabelle 6 im Anhang. Die fett gedruckten Werte in Tabelle 6 zeigen, von welchen Standorten die Maximalwerte stammen. (LGL, 2014).

<sup>3</sup> Gemäß § 4 Abs. 8 BBodSchV besteht eine schädliche Bodenveränderung nicht bei Böden mit naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen allein wegen dieser Gehalte, sofern diese Stoffe nicht durch Einwirkungen auf den Boden in erheblichen Umfang freigesetzt wurden oder werden. Bei Böden mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten können diese Gehalte mit den im Einzelfall ermittelten Schadstoffgehalten verglichen und in die Gefahrenbeurteilung einbezogen werden.

Bei der Beurteilung ist der Fokus vorrangig auf die höhermolekularen PAK zu legen, in erster Linie Dibenzo(ah)anthracen und Benzo(b)fluoranthen, da sie als ähnlich kanzerogen wie Benzo(a)pyren eingestuft werden (TEF-Werte, Tab. 5 im Anhang). Als zweites sind Benzo(a)anthracen, Benzo(k)fluoranthen und Indeno(1,2,3-cd)pyren und als drittes Chrysen und Benzo(ghi)perylen relevant. Das Wirkungspotential dieser PAK wäre mit dem Prüfwert für BaP als Leitsubstanz gegebenenfalls unterschätzt, wenn ihre Gehalte in einer Probe die oben genannten Verhältniszahlen deutlich überschreiten. Überschreitungen von mobilen (niedermolekularen) PAK sind ein Hinweis auf nur sehr geringe Mobilisierungen/Alterungen bei PAK-Schäden. Sie haben meistens einen eher geringen Einfluss auf das toxische Potential des Gemisches. Überschreitungen von Naphthalin haben keinen Einfluss.

Bei deutlichen, plausiblen Überschreitungen einer der relevanten Obergrenzen für maximale PAK-Anteile in Böden typischer Standorte oder einem abweichenden Anteil von BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente (Abschnitt 3.1.5) sollte ein toxikologischer Sachverständiger zur Bewertung hinzugezogen und Kontakt mit dem LGA aufgenommen werden.

### 3.1.5 Prüfung der Summe der Toxizitätsäquivalente

Neben der Prüfung auf Abweichungen von typischen PAK-Mustern wird empfohlen, in einem weiteren Prüfschritt die Summe der Toxizitätsäquivalente einer Probe unter Verwendung der Toxizitätsäquivalent-Faktoren (TEF) aus Tabelle 5 im Anhang zu berechnen, da das vorgestellte Ableitungsverfahren nur für BaP-Anteile an der TEF-Summe zwischen 30 und 60 % valide ist. Eine Anwendung des PAK-Prüfwertes für BaP als Leitsubstanz würde bei Anteilen unter 30 % zu einer Risikounterschätzung, bei Anteilen über 60 % möglicherweise zu einer Risikoüberschätzung führen. Tabelle 3 zeigt ein Beispiel einer typischen PAK-Zusammensetzung (MELUR, 2017). Tabelle 7 im Anhang zeigt die Mittelwerte typischer Standorte auf (nach FoBiG, 1999/2004).

**Tabelle 3:** Beispiel einer typischen PAK-Zusammensetzung (nur PAK mit TEF)  
(nach MELUR, 2017)

Substanz	Abkürzung	TEF	Gehalt im Boden [mg/kg TM]	Tox-Äquivalent (TEQ) [TEF x Gehalt im Boden]	Anteil an Summe
Acenaphthylen	Acy	0,01	<0,05		
Anthracen	Anth	0,01	0,9	0,009	0,2 %
Fluoranthen	FluA	0,01	3	0,03	0,8 %
Benzo(a)anthracen	BaA	0,1	1,7	0,17	4,5 %
Chrysen	Chry	0,01	1,8	0,018	0,5 %
Benzo(b)fluoranthen	BbF	1	1,7	1,7	45 %
Benzo(k)fluoranthen	BkF	0,1	0,8	0,08	2,1 %
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>BaP</b>	<b>1</b>	1,6	1,6	<b>42 %</b>
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,01	0,9	0,009	0,2 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	0,1	0,7	0,07	1,8 %
Dibenzo(ah)anthracen	DBahA	1	0,12	0,12	3,2 %
Summe TEQ				3,8	

### 3.2 Detailuntersuchung

- Bei Überschreiten der Prüfwerte müssen Resorptionsverfügbarkeits (RV)-Untersuchungen nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik (derzeit DIN 19738 mit Vollmilchpulver) durchgeführt werden, sofern keine anderen Schutzmaßnahmen ergriffen werden<sup>4</sup>.
- Zur Ermittlung der mittleren Resorptionsverfügbarkeit wird empfohlen, den arithmetischen Mittelwert aus den RV-Daten der höhermolekularen PAK zu bestimmen.
- Zur Ableitung von Einzelfall-Maßnahmenwerten sind die Prüfwerte in Tabelle 1 durch die ermittelte Resorptionsverfügbarkeit zu dividieren.

### 3.3 Bewertungsbeispiel:

Bei Untersuchung eines Bereichs einer Kinderspielfläche beträgt der BaP-Wert 1,5 mg/kg TM. Folgende resorptionsverfügbare Anteile wurden in einer RV-Untersuchung festgestellt:

**Tabelle 4:** Ergebnisse einer beispielhaften RV-Prüfung einer Kinderspielfläche (nach MELUR, 2017 und MLU MV, 2017).

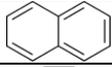
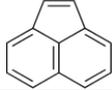
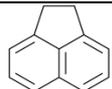
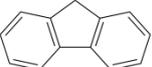
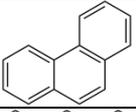
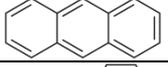
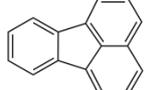
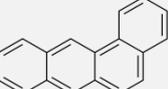
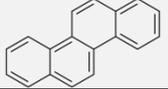
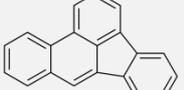
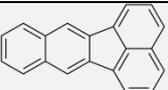
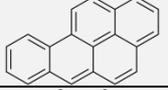
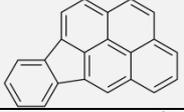
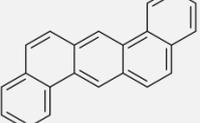
	<b>Substanz</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>resorptionsverfügbare Anteil [%]</b>
<b>Höhermolekulare PAK</b>	Benzo(a)anthracen	BaA	42
	Chrysen	Chry	40
	Benzo(b)fluoranthren	BbF	36
	Benzo(k)fluoranthren	BkF	34
	Benzo(a)pyren	BaP	21
	Benzo(ghi)perylen	BghiP	19
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	15
	Dibenzo(ah)anthracen	DBahA	14
	<b>Mittelwert</b>		<b>28</b>

Mit der bei dieser Resorptionsverfügbarkeit verminderten Kanzerogenität des Gemisches ergibt sich unter Berücksichtigung der signifikanten Stellen gerundet als Einzelfallmaßnahmenwert:  $0,5 \text{ mg BaP/kg TM} / 0,28 = 2 \text{ mg BaP /kg TM}$ . Der anfängliche Gefahrenverdacht für die untersuchte (Teil-) Fläche ist daher nicht bestätigt.

<sup>4</sup> Nach UBA (2016) sind zum Beispiel folgende Bedingungen einzuhalten: Obligatorischer Einsatz von Vollmilchpulver, Speichelstufe kann entfallen, Verwendung von Probenmaterial der Korngröße < 2 mm, Durchführung von Doppelbestimmungen (bei PAK-kontaminierten Böden) bzw. Dreifachbestimmungen (bei inhomogenem Material), Überprüfung der Wiederfindungsrate.

#### 4. Anhang

**Tabelle 5:** 16 EPA-PAK mit ihren Abkürzungen, Formeln, Wasserlöslichkeiten [mg/l] und Hinweise 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-Mustern (Quellen: FoBiG (1999/2004); MELUR (2017)).

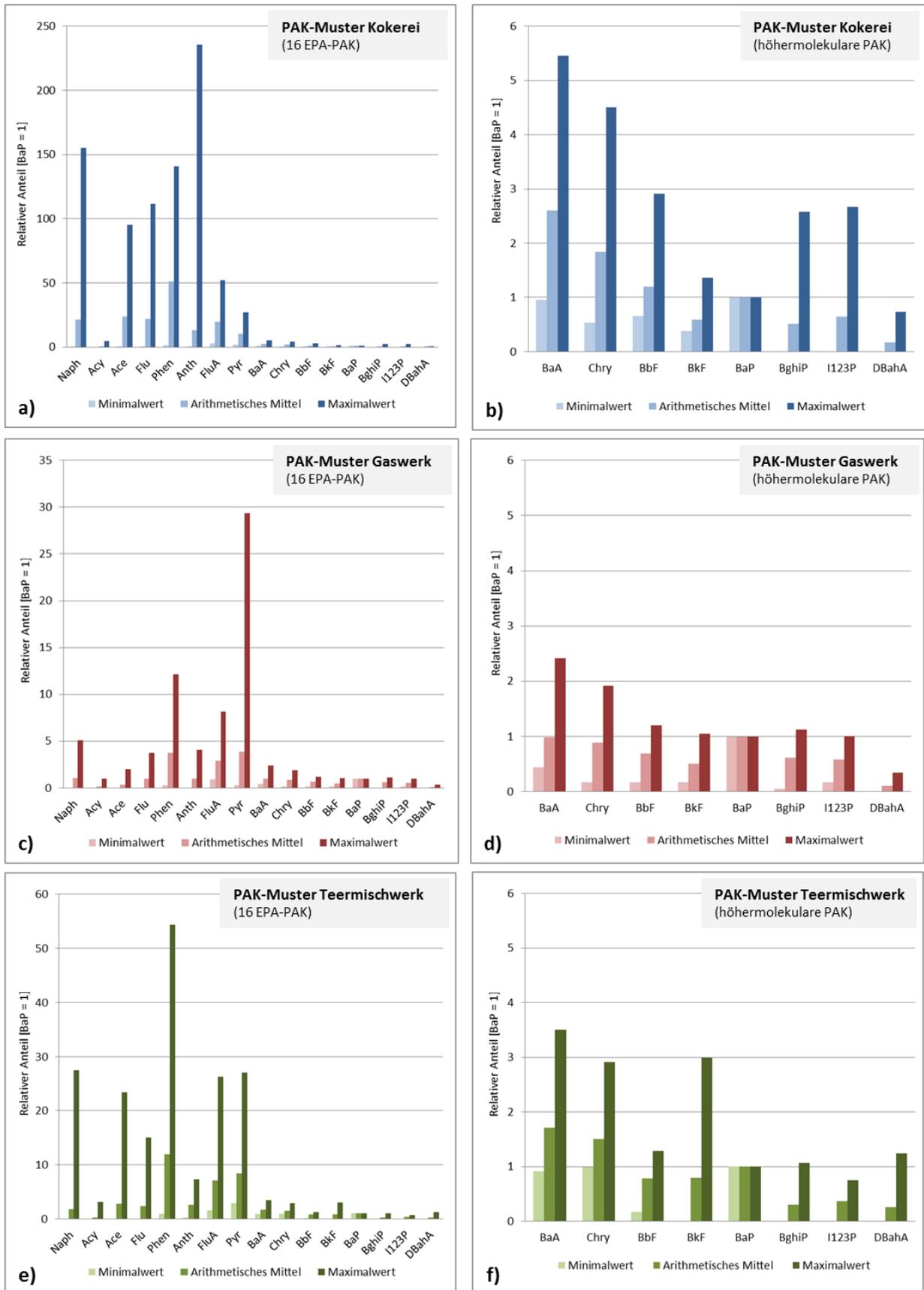
	Substanz	Abkürzung	Formel	Wasserlöslichkeit	TEF
Niedermolekulare PAK	Naphthalin	Naph		31,7	
	Acenaphthylen	Acy		3,93	0,01
	Acenaphthen	Ace		1,93	
	Fluoren	Flu		1,68-1,98	
	Phenanthren	Phen		1,2	
	Anthracen	Anth		0,076	0,01
	Fluoranthren	FluA		0,2-0,26	0,01
	Pyren	Pyr		0,077	
Höhermolekulare PAK	Benzo(a)anthracen	BaA		0,013	0,1
	Chrysen	Chry		0,003	0,01
	<b>Benzo(b)fluoranthren</b>	BbF		0,0012	1
	Benzo(k)fluoranthren	BkF		0,0008	0,1
	<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>BaP</b>		0,0023	1
	Benzo(ghi)perylen	BghiP		0,0003	0,01
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P		0,062	0,1
	<b>Dibenzo(ah)anthracen</b>	DBahA		0,00054	1

**Tabelle 6:** Vorkommen von PAK in Bodenproben typischer Standorte relativ zu BaP (nach FoBiG (1999/2004) und LGL (2014); höhermolekulare PAK sind grau hinterlegt).

		Abk.	Kokereien (n=36)			Gaswerke (n=22)			Teermischwerke/ Teeröllager (n=37)		
			Min.	Max.	Max./ Min.	Min.	Max.	Max ./Mi n.	Min.	Max.	Max ./Mi n.
Niedermolekulare PAK	Naphthalin	Naph	0,05	<b>155,15</b>	3103	0,00	5,08		0,00	27,48	
	Acenaphthylen	Acy	0,00	<b>4,66</b>		0,00	0,97		0,00	3,19	
	Acenaphthen	Ace	0,07	<b>95,15</b>	1359	0,00	2,0		0,00	23,44	
	Fluoren	Flu	0,02	<b>111,34</b>	5567	0,02	3,74	187	0,00	15,01	
	Phenanthren	Phen	1,47	<b>140,88</b>	96	0,30	12,12	40	0,93	54,39	58
	Anthracen	Anth	0,66	<b>235,68</b>	357	0,04	4,08	102	0,29	7,34	25
	Fluoranthen	FluA	2,90	<b>52,19</b>	18	0,96	8,18	9	1,55	26,29	17
	Pyren	Pyr	1,80	27,11	15	0,32	<b>29,33</b>	92	2,97	27,00	9
Höhermolekulare PAK	Benzo(a)anthracen	BaA	0,96	<b>5,45</b>	6	0,44	2,42	6	0,91	3,51	4
	Chrysen	Chry	0,53	<b>4,50</b>	8	0,17	1,92	11	0,99	2,92	3
	Benzo(b)fluoranthen	BbF	0,66	<b>2,91</b>	4	0,17	1,20	7	0,17	1,29	8
	Benzo(k)fluoranthen	BkF	0,38	1,36	4	0,17	1,05	6	0,00	<b>2,99</b>	
	Benzo(a)pyren	BaP	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	
	Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,00	<b>2,58</b>		0,05	1,13	23	0,00	1,07	
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	0,00	<b>2,67</b>		0,17	1,01	6	0,00	0,75	
	Dibenzo(ah)anthracen	DBahA	0,00	0,73		0,00	0,35		0,00	<b>1,24</b>	

**Tabelle 7:** Vorkommen von PAK in Proben typischer Standorte (arithmetisches Mittel AM) relativ zu BaP sowie Toxizitätsäquivalente (relative Potenzen TEF) und Beitrag zur Wirkung des Gemisches (AM x TEF) (modifiziert nach FoBiG (1999/2004) und US EPA (2012)).

	Stoffname	TEF	Kokereien (n=36)		Gaswerke (n=22)		Teermischwerke /Teeröllager (n=37)	
			AM	AM x TEF	AM	AM x TEF	AM	AM x TEF
Niedermolekulare PAK	Naphthalin	0,001	21,33	0,02133	1,09	0,00109	1,80	0,0018
	Acenaphthylen	0,01	0,73	0,0073	0,18	0,0018	0,33	0,0033
	Acenaphthen	0,001	23,92	0,02392	0,34	0,00034	2,80	0,0028
	Fluoren	0,001	22,06	0,02206	0,98	0,00098	2,35	0,00235
	Phenanthren	0,001	51,05	0,05105	3,78	0,00378	11,91	0,01191
	Anthracen	0,01	13,08	0,1308	1,00	0,01	2,63	0,0263
	Fluoranthen	0,01	19,63	0,1963	2,93	0,0293	7,09	0,0709
	Pyren	0,001	10,16	0,01016	3,88	0,00388	8,46	0,00846
Höhermolekulare PAK	Benzo(a)anthracen	0,1	2,60	0,26	0,99	0,099	1,71	0,171
	Chrysen	0,01	1,84	0,0184	0,89	0,0089	1,50	0,015
	Benzo(b)fluoranthen	1	1,20	1,20	0,69	0,69	0,78	0,78
	Benzo(k)fluoranthen	0,1	0,59	0,059	0,51	0,051	0,79	0,079
	Benzo(a)pyren	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Benzo(ghi)perylen	0,01	0,51	0,0051	0,62	0,0062	0,30	0,003
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,1	0,65	0,065	0,58	0,058	0,37	0,037
	Dibenzo(ah)anthracen	1	0,17	0,17	0,11	0,11	0,26	0,26
	Summe			3,2404		2,0743		2,4728



**Abbildung 1:** PAK-Muster an typischen Standorten: Kokerei (a und b), Gaswerk (c und d) und Teermischwerk (e und f). Gezeigt sind die PAK-Muster der 16 EPA-PAK und die der höhermolekularen PAK an einem Standort. Die Werte sind auf BaP normiert (BaP=1) (siehe Tabellen 6 und 7 (nach FoBiG, 2004)).

## 5. Literatur

- BBodSchV. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999, zuletzt geändert 27.09.2017)  
<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BBodSchV.pdf> [Abruf: 08.08.2019]
- DIN ISO 18287:2006-05, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS)
- DIN 19738:2017-06, Bodenbeschaffenheit - Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial
- FBU. Fachbeirat Bodenuntersuchungen (2018) Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20180228\\_methosa\\_boal\\_v1\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20180228_methosa_boal_v1_1.pdf)  
 [Abruf: 08.08.2019]
- FoBiG: Bericht zum F+E Vorhaben 298 73 771 "Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen"  
Teil A: Toxikologische Bewertung von PAK (1999); Bearbeitung: Schneider K, Schumacher US, Oltmanns J, Hassauer M, Kalberlah F, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, FoBiG GmbH, Roller M, im Auftrag des Umweltbundesamtes  
Teil B Ableitung von Prüfwerten (2004); Bearbeitung: Schneider K, Schuhmacher-Wolz US, J. Oltmanns J. Kalberlah F, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, FoBiG GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes
- LGL. 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](https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bodenschutz_altlasten.pdf)  
 [Abruf: 08.08.2019]
- LUBW. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2018): Bodenzustandsbericht Region Stuttgart  
<http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/127317/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=199&OBJECT=127317&MODE=METADATA> [Abruf: 08.08.2019]
- LUWG. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Bodenschutz, Rheinland-Pfalz (2011), ALEX-Informationsblatt 21/2001 - Hinweise zur Beurteilung von PAK-Gemischen in kontaminierten Böden  
[https://mueef.rlp.de/fileadmin/mwkel/Abteilung\\_5/Bodenschutz/ALEX/ALEX\\_Informationenblatt\\_21\\_2001\\_Stand\\_05.2011.pdf](https://mueef.rlp.de/fileadmin/mwkel/Abteilung_5/Bodenschutz/ALEX/ALEX_Informationenblatt_21_2001_Stand_05.2011.pdf) [Abruf: 08.08.2019]
- MELUR. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2017): Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfad des Boden-Mensch. Erlass vom 05.01.2017 [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/A/altlasten/Downloads/erlassPAK.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/A/altlasten/Downloads/erlassPAK.pdf?__blob=publicationFile&v=2)  
 [Abruf: 08.08.2019]
- MLU MV. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern (2017) Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfad des Boden – Mensch. Erlass vom 13.04.2017 <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/Im/Umwelt/Boden/Altlastenbearbeitung>  
 [Abruf: 08.08.2019]
- UBA. Umweltbundesamt (2016) Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen zur weiteren Fortschreibung des Anhangs 1 der BBodSchV, UBA-Texte 15 / 2016  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_15\\_2016\\_untersuchungen\\_zur\\_resorptionsverfuegbarkeit.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_15_2016_untersuchungen_zur_resorptionsverfuegbarkeit.pdf) [Abruf: 08.08.2019]

### **Impressum**

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg · Nordbahnhofstr. 135 · 70191 Stuttgart  
Tel. 0711 904-35000 · Fax 0711 904-35010 · [abteilung9@rps.bwl.de](mailto:abteilung9@rps.bwl.de) · [www.gesundheitsamt-bw.de](http://www.gesundheitsamt-bw.de)

Ansprechpartner:

Dipl.-Med. Stefan Kluge, Dr. rer. nat. Katharina Cibis und Dominik Krüger (Referat 92)

2019

