



# **Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden**

Arbeitshilfe zur Bewertung des Wirkungspfad

Boden – Mensch

[LANUV-Arbeitsblatt 57](#)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>Langfassung.....</b>	<b>12</b>
<b>1       Anlass und Zielsetzung der Arbeitshilfe .....</b>	<b>12</b>
1.1       Die neuen Prüfwerte .....	12
1.2       PAK <sub>16</sub> statt BaP .....	13
1.3       Hintergrundwerte PAK.....	13
1.4       Konsequenzen der Neuregelung.....	14
1.5       Die Arbeitshilfe für NRW .....	15
<b>2       NRW-Modell zur PAK-Bewertung.....</b>	<b>16</b>
2.1       Orientierende Untersuchung .....	18
2.1.1     Bestimmung der Gesamtgehalte PAK16 .....	20
2.1.2     Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK/BaP .....	20
2.1.2.1   Prüfung der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ .....	21
2.1.2.2   Prüfung des BaP-Anteils an der Summe der Toxizitätsäquivalente .....	22
2.1.2.3   NRW - Ansatz zur PAK-Muster-Prüfung.....	23
2.1.3     Relevanzprüfung (fakultativ).....	26
2.1.3.1   Kriterien der Relevanz-Prüfung im Standardfall .....	27
2.1.3.2   Standort- oder gebietsbezogene Kriterien zur Relevanzprüfung.....	29
2.2       Detailuntersuchung .....	30
2.2.1     Bestimmung und Bewertung der Resorptionsverfügbarkeit.....	30
2.2.1.1   Vorgehen im Standardfall .....	30
2.2.1.2   Sonderfälle.....	31
2.2.2     Maßgebliche nutzungsabhängige Expositionsbedingungen .....	32
<b>3       Berücksichtigung der Hintergrundbelastung.....</b>	<b>33</b>
<b>4       Umgang mit Altfällen .....</b>	<b>34</b>
<b>5       Praxisbeispiele.....</b>	<b>38</b>
5.1       Fallbeispiel A (Einzelfall) .....	38
5.2       Fallbeispiel B (Kleingartenanlage) – Errechnung standorttypischer Grenzen für die Relevanzprüfung .....	42
5.3       Fallbeispiel C (Gebietsbezogene Betrachtung).....	49

<b>Anhang</b>	.....	<b>56</b>
<b>A 1</b>	<b>Datenauswertung NRW</b> .....	<b>56</b>
A 1.1	Einleitung .....	56
A 1.2	Auswertung der PAK-Gehalte im Oberboden .....	56
A 1.2.1	Beschreibung der Datengrundlage .....	56
A 1.2.2	Prüfung der PAK-Muster .....	61
A 1.2.2.1	Prüfung der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ .....	61
A 1.2.2.2	Prüfung der Toxizitätsäquivalente .....	61
A 1.2.2.2.1	Auswertung des gesamten Datensatzes .....	62
A 1.2.2.2.2	Auswertung der Daten mit BaP > 0,5 mg/kg.....	63
A 1.2.2.2.3	Auswertung der Daten mit BaP ≤ 0,5 mg/kg.....	64
A 1.2.2.2.4	Auswertung der Anteile BaP an der Summe PAK <sub>16</sub> TEQ.....	65
A 1.2.3	Abgleich mit den Prüfwerten PAK/BaP und den Beurteilungswerten für die Summe $\sum$ PAK <sub>16</sub> TEQ .....	67
A 1.3	Auswertung der Daten zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) .....	68
A 1.3.1	BaP im Oberboden.....	68
A 1.3.2	PAK <sub>8</sub> im Oberboden .....	70
A 1.3.2.1	Auswertung Gesamtgehalte und RV-Gehalte.....	71
A 1.3.2.2	Auswertung der Toxizitätsäquivalente .....	73
A 1.3.2.3	Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit für PAK-Gemische.....	74
A 1.4	Fazit.....	77
<b>A 2</b>	<b>Auswertung der Erlasse anderer Bundesländer</b> .....	<b>80</b>
A 2.1	Einleitung .....	80
A 2.2	Auswertung der Erlasse .....	81
A 2.2.1	Festlegung der anzuwendenden Prüfwertvorschläge .....	81
A 2.2.2	Maximales Vielfaches (Prüfschritt 1) .....	81
A 2.2.3	BaP-Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente (Prüfschritt 2).....	82
A 2.2.4	Berücksichtigung lokaler Hintergrundgehalte für BaP .....	84
A 2.2.5	Weitere Sachverhaltsermittlungen.....	84
A 2.2.6	Berechnung gebietsspezifischer Resorptionsverfügbarkeit .....	85
A 2.3	Zusammenfassung.....	85
<b>A 3</b>	<b>Einfluss technogener Substrate</b> .....	<b>87</b>
A 3.1	Vorbemerkung und Hintergrund .....	87
A 3.2	Literaturrecherche – Ergebnisse .....	87
A 3.3	Fazit für die Erstellung der Arbeitshilfe .....	90
A 3.4	Ausgewertete Literatur .....	91

---

<b>A 4</b>	<b>Analytische Herausforderungen bei der Bestimmung von PAK.....</b>	<b>93</b>
A 4.1	Einleitung .....	93
A 4.2	PAK-Gesamtgehaltsbestimmung .....	93
A 4.2.1	Stoffspektrum.....	94
A 4.2.2	Probenheterogenität.....	94
A 4.2.3	Doppelbestimmung .....	94
A 4.2.4	Extraktionsmittel.....	94
A 4.2.5	Aufreinigungsverfahren .....	94
A 4.2.6	Detektion.....	95
A 4.2.7	Ergebnisbericht .....	95
A 4.3	Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchung (RV) mit anschließender PAK- Bestimmung .....	95
A 4.3.1	Generellen Schwierigkeiten RV.....	95
A 4.3.2	Möglichst zweite Doppelbestimmung .....	96
A 4.3.3	Abtrennung des Mobilisats vom Sedimentrückstand .....	96
A 4.3.4	Extraktion .....	96
A 4.3.5	Aufreinigung.....	96
A 4.3.6	PAK-Spektrum nach RV.....	97
A 4.3.7	Detektion.....	97
A 4.3.8	Wiederfindung / Berechnung RV-Anteil .....	97
A 4.3.9	Ergebnisbericht .....	98
A 4.4	Beispiel: Leistungsverzeichnis zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit von PAK.....	99
A 4.4.1	Einleitung und Zielsetzung .....	99
A 4.4.2	Analytik .....	99
A 4.4.3	Ergebnisaufbereitung .....	100
A 4.4.4	Angebotsmodalitäten.....	100
A 4.4.5	Zuständigkeiten und Fristen .....	101
A 4.4.6	Vergabe, Vertragsgrundlage, Abrechnung .....	102
A 4.5	Beispiel: Tabellarisches Leistungsverzeichnis .....	103
<b>Literatur</b>	.....	<b>104</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	.....	<b>106</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	.....	<b>106</b>

## Hinweis

Die Betrachtung und Bewertung der PAK ist ein komplexes Thema, dem diese Arbeitshilfe gewidmet ist. Die vorliegende **Kurzfassung** fasst die empfohlene Vorgehensweise in knappen Worten zusammen und ist für den schnellen Einstieg in die praktische Anwendung gedacht.

Zum Neu-Einstieg in die Thematik der PAK-Bewertung ist die **Langfassung** zu empfehlen, in der Hintergründe und Zusammenhänge für die empfohlene Vorgehensweise ausführlich dargestellt und erklärt sind.

## Kurzfassung

Im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch liegt ein hinreichender Verdacht (§ 9 Abs. 1 BBodSchG) für eine schädliche Bodenveränderung / Altlast aufgrund von PAK-Belastungen im Boden vor, wenn die nutzungsbezogenen Prüfwerte der BBodSchV für PAK/BaP überschritten sind (vgl. Tabelle 1).

Als Besonderheit bei der Bewertung der PAK ergibt sich, dass die aktualisierten Prüfwerte PAK/BaP (BBodSchV 2021) das Benzo(a)pyren (BaP) als Bezugssubstanz für die Bewertung des PAK-Gemisches vorgeben (vgl. Kapitel 1.2). Damit verbunden ist die Anforderung zu überprüfen, ob das vorliegende PAK-Muster in einer untersuchten Probe mit den Mustern übereinstimmt, auf denen die wirkungsbezogene Ableitung der Prüfwerte beruht (vgl. Kapitel 1.1).

Deshalb wurde für NRW die vorliegende Arbeitshilfe erstellt, mit der eine systematische, abschließende Gefahrenbeurteilung aller Proben unter Berücksichtigung des gesamten PAK-Gemisches ermöglicht wird.

Der Regelablauf, wie er in den bodenschutzrechtlichen Vorgaben skizziert ist, wird hier um zusätzliche Schritte zur PAK-Musterprüfung erweitert. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht vereinfacht die empfohlene Vorgehensweise zur Bewertung von PAK am Beispiel von Kinderspielflächen.

Kern des NRW-Modells ist dabei die Verwendung von Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) für alle 16 PAK und Einführung von Beurteilungswerten für die Summe der so berechneten Toxizitätsäquivalente.

Um die Sinnhaftigkeit vertiefender und ggf. aufwändiger Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit im Rahmen der Detailuntersuchung einzuschätzen zu können, ist im Prüfablauf zusätzlich eine (fakultative) vorgeschaltete Relevanzprüfung möglich. Alle Schritte des NRW-Modells sind in der nachfolgenden Abbildung K-1 für das Nutzungsszenario Kinderspielfläche dargestellt.

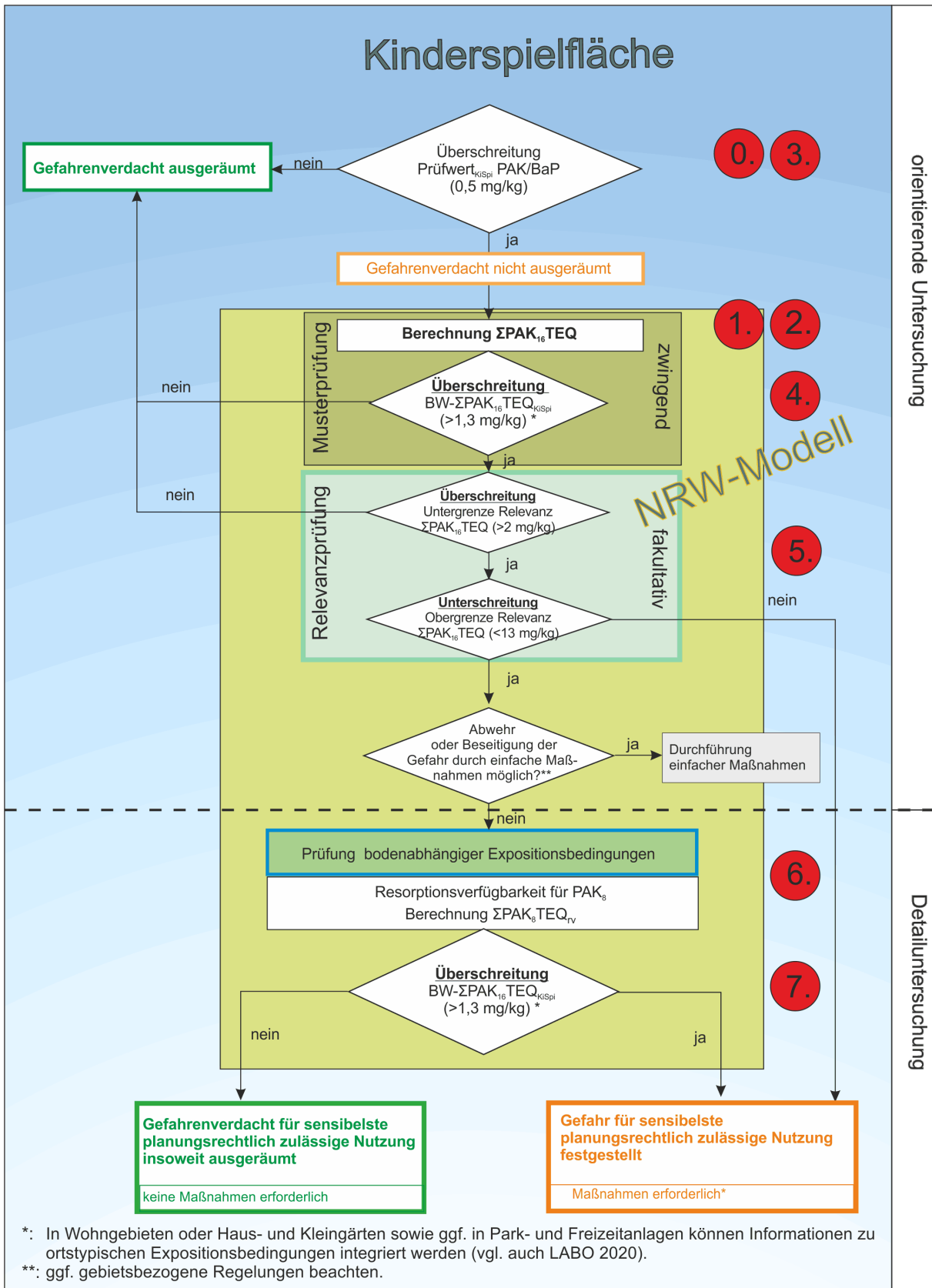



Abbildung K-1: Vorgehensweise zur Bewertung von PAK auf Kinderspielflächen

Zur praktischen Umsetzung des „NRW-Modells“ wurde zusätzlich ein [Excel-Template](#) (Berechnungstabelle mit hinterlegten Formeln) entwickelt, das die einzelnen Arbeitsschritte abbildet und nach Eingabe der Untersuchungsergebnisse auswertet.

Nachfolgend wird die Vorgehensweise an einem Fallbeispiel mit Prüfwertüberschreitung exemplarisch beschrieben (vgl. Abbildung K-2). Die Nummerierung  zeigt die Reihenfolge der Arbeitsschritte an.

Erfassung der Messwerte PAK <sub>16</sub>		PAK-Musterprüfung Berechnung der Toxizitätsäquivalente						Erfassung Messwerte RV				Bewertung
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	
Parameter	Kürzel	Probe xx (mg/kg)	Maximales Vielfaches bezogen auf BaP	Vielfaches der Messwerte zu BaP	TEF (OPPTS 1992 / FoBiG 1999)	PAK-TEQ (mg/kg)	Anteil an PAK-TEQ (%)	PAK <sub>vv</sub> (%)	PAK <sub>vv</sub> (mg/kg)	PAK-TEQ <sub>vv</sub> (mg/kg)	Anteil an ΣPAK <sub>c</sub> -TEQ (RV gemessen) (%)	Beurteilungswert (mg/kg)
Naphthalin	Naph	1,00	160	1,39	0	0	0,00%					
Acenaphthylen	Acy	4,10	5	5,69	0,01	0,041	1,50%					
Acenaphthen	Ace	0,44	95	0,61	0	0	0,00%					
Fluoren	Flu	0,33	110	0,46	0	0	0,00%					
Phenanthren	Phen	1,20	140	1,67	0	0	0,00%					
Anthracen	Anth	0,09	240	0,13	0,01	0,0009	0,03%					
Fluoranthren	FluA	1,50	55	2,08	0,01	0,015	0,55%					
Pyren	Pyr	1,40	30	1,94	0	0	0,00%					
Benzo(a)anthracen	BaA	0,60	6	0,83	0,1	0,06	2,2%	32%	0,19	0,02	2,2%	
Chrysen	Chry	0,35	5	0,49	0,01	0,0035	0,1%	31%	0,11	0,00	0,1%	
Benzo(b)fluoranthren	BbF	0,88	3	1,22	1	0,88	32,3%	29%	0,26	0,26	32,3%	
Benzo(k)fluoranthren	BkF	0,41	3	0,57	0,1	0,041	1,5%	31%	0,13	0,01	1,5%	
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>BaP</b>	<b>0,72</b>	<b>1</b>	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>0,72</b>	<b>26,4%</b>	<b>42%</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>26,4%</b>	
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,58	3	0,81	0,01	0,0058	0,2%	26%	0,15	0,00	0,2%	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	0,49	3	0,68	0,1	0,049	1,8%	28%	0,14	0,01	1,8%	
Dibenz(ah)anthracen	DBaA	0,91	1,5	1,26	1	0,91	33,4%	25%	0,23	0,23	33,4%	
<b>Summe PAK16</b>		<b>15,00</b>				<b>2,73</b>	<b>100%</b>			<b>0,83</b>	<b>97,9%</b>	<b>1,3</b>
<b>Untergrenze Relevanz</b>		<b>2</b>	<b>mg/kg</b>		<b>Bewertung ΣPAK<sub>c</sub>-TEQ</b>			<b>überschritten</b>		<b>Relevanzprüfung</b>		
<b>Obergrenze Relevanz</b>		<b>13</b>	<b>mg/kg</b>		<b>unterschritten</b>							
<b>Summe Auswahl</b>		<b>Anzahl RV (8)</b>					<b>2,67</b>	<b>98%</b>			<b>0,83</b>	<b>1,3</b>

Abbildung K-2: Exemplarische Auswertung einer Probe mit Hilfe des „NRW-Modells“

**0. Prüfwertüberschreitung PAK/BaP (Kap. 0)**

Voraussetzung für die Anwendung des NRW-Modells ist die Überschreitung des BBodSchV-Prüfwertes für PAK/BaP, gemessen am BaP für das ausgewählte Nutzungsszenario. Bei Einhaltung gilt der Gefahrenverdacht als ausgeräumt. Es werden keine weiteren Prüfschritte notwendig.

**1. Erfassung und Auswertung der Messwerte PAK<sub>16</sub> (Kap. 2.1.1)**

Grundsätzlich sind bereits in der orientierenden Untersuchung alle 16 PAK (PAK<sub>16</sub>) nach EPA<sup>1</sup> laboranalytisch einzeln zu bestimmen und zu dokumentieren. Hinweise zur PAK-Analytik finden sich in Anhang 4. Die PAK-Analytik sollte unbedingt in dafür akkreditierten Laboren erfolgen. Messunsicherheiten ist ggf. mit Doppel- bzw. Mehrfachbestimmungen zu begegnen (vgl. Kapitel 2.1.1). Bei Nutzung des [Excel-Templates](#) sind die Messwerte der Einzel-PAK<sub>16</sub> (in mg/kg) in Spalte 3 einzutragen.

<sup>1</sup> PAK16: Stellvertretend für die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden nach der Liste der Environmental Protection Agency (EPA) die folgenden 16 ausgewählten PAK untersucht: Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benz[a]anthracen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[g,h,i]perylen, Benzo[k]fluoranthren, Chrysen, Dibenz[a,h]anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Naphthalin, Phenanthren und Pyren



*Im Beispiel wurden 16 PAK in einer Probe von einer Kinderspielfläche mit Gehalten von 0,09 bis 4,1 mg/kg bestimmt (vgl. Abbildung K-2). Die eingetragenen Werte stellen das arithmetische Mittel aus einer Doppelbestimmung dar.*

## **2. PAK-Musterprüfung (Berechnung der Toxizitätsäquivalente TEQ) (Kap. 2.1.2.2)**

Zur Berücksichtigung der kanzerogenen Potenz einzelner PAK und des gesamten PAK-Gemisches sind mit Hilfe von Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) Toxizitätsäquivalente (TEQ) zu bilden (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Die TEF für die höhermolekularen kanzerogenen PAK finden sich in Tabelle 4. Im [Excel-Template](#) sind diese bereits voreingestellt (Spalte 6), so dass die TEQ (Spalte 7) automatisch gemäß folgender Gleichung berechnet werden:

$$\text{Einzel-PAK}_i \text{ [mg/kg]} \times \text{TEF}_i \text{ [dimensionslos]} = \text{Einzel-PAK}_i \text{ TEQ}_i \text{ [mg/kg]}$$

*Im obigen Beispiel wurden 0,6 mg/kg Benz(a)anthracen (BaA) gemessen (Spalte 3). Der Toxizitätsäquivalenzfaktor ( $\text{TEF}_{\text{BaA}}$ ) für BaA beträgt 0,1 (Spalte 6). Damit berechnet sich für BaA das Toxizitätsäquivalent (BaA-TEQ) wie folgt (Spalte 7):*

$$\text{BaA-TEQ} = 0,6 \text{ mg/kg} \times 0,1 = 0,06 \text{ mg/kg}$$

Anschließend wird durch Addition der Einzel-PAK<sub>i</sub>TEQ<sub>i</sub> die Summe der Toxizitätsäquivalente für die PAK<sub>16</sub> (kurz:  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) berechnet (vgl. Spalte 7 unten). Im [Excel-Template](#) ist diese Berechnung voreingestellt.

$$\text{Einzel-PAK}_1 \text{ TEQ}_1 \text{ [mg/kg]} + \text{Einzel-PAK}_2 \text{ TEQ}_2 + \dots + \text{Einzel-PAK}_{16} \text{ TEQ}_{16} = \sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$$

*Im Beispiel wurde für die  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  ein Wert von 2,73 mg/kg errechnet.*

## **3. Auswahl des Nutzungsszenarios (Kap. 2.1.2.3; Kap. 2.2.1)**

In der orientierenden Untersuchung sollte bereits das auf die Standortverhältnisse zutreffende Nutzungsszenario bestimmt worden sein. Spätestens für die Auswertung der PAK-Musterprüfung muss es jedoch festgelegt und der geltende Beurteilungswert für die Summe der Toxizitätsäquivalente (BW  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) ausgewählt werden (vgl. Tabelle 6). Diese BW- $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  beruhen auf den Grundlagen für die Prüfwertableitung (vgl. Kapitel 2.1.2.3). Für Kinderspielflächen entspricht der Prüfwert PAK/BaP von 0,5 mg/kg einem Beurteilungswert für die Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) von 1,3 mg/kg (für Wohngebiete sowie Park- und Freizeitanlagen: 2,6 mg/kg). Der zutreffende BW kann im [Excel-Template](#) ausgewählt werden.

*Im obigen Beispiel wurde die Nutzung „Kinderspielfläche“ ausgewählt und als Beurteilungswert für die Summe der Toxizitätsäquivalente der BW = 1,3 mg/kg eingestellt (Spalte 13).*

#### **4. Bewertung der $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ (Kap. 2.1.2.3)**

Ist die berechnete Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ ) kleiner oder gleich dem Beurteilungswert, kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt angesehen werden. Bei Überschreitung werden weitere Prüfschritte erforderlich. Im [Excel-Template](#) werden Überschreitungen automatisch rot dargestellt (vgl. Kapitel 2.1.2.3).

*Im obigen Beispiel liegt die berechnete  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (Spalte 7) mit 2,73 mg/kg (rot) über dem für die Nutzung als Kinderspielfläche ausgewählten Beurteilungswert von 1,3 mg/kg.*

#### **5. Relevanzprüfung (fakultativ) (Kap. 2.1.3)**

Wird der Beurteilungswert für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  überschritten, kann in einem weiteren Schritt geprüft werden, inwieweit laboranalytische Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit zielführend sein können. Hierzu wurden Unter- und Obergrenzen abgeleitet (vgl. Kapitel 2.1.3).

Die Untergrenze liegt für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  für Kinderspielflächen bei 2 mg/kg, für Wohngebiete sowie Park- und Freizeitanlagen bei 4 mg/kg (vgl. Tabelle 7). Wird die Untergrenze unterschritten, kann der Gefahrenverdacht ohne weitere Prüfschritte bereits mit großer Wahrscheinlichkeit als ausgeräumt angesehen werden. Eine Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchung ist nicht erforderlich.

Die Obergrenze für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  auf Kinderspielflächen wurde bei 13 mg/kg, für Wohngebiete sowie Park- und Freizeitanlagen bei 26 mg/kg festgelegt. Bei Überschreitung der Obergrenze kann die Gefahr als mit hoher Wahrscheinlichkeit festgestellt gelten. Ein Gefahrenausschluss anhand von Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen ist nicht zu erwarten.

Alternativ können auch beispielsweise bei der Betrachtung großflächiger Bodenbelastungen auf der Grundlage repräsentativ ermittelter resorptionsverfügbarer Anteile gebietspezifische Relevanzgrenzen für das jeweilige Nutzungsszenario abgeleitet werden (vgl. Fallbeispiele B und C in Kapitel 5).

*Im obigen Beispiel liegt die berechnete  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (Spalte 7) mit 2,73 mg/kg (rot) über der Untergrenze für Kinderspielflächen (2 mg/kg). Damit sind in dem Fall Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit sinnvoll.*

#### **6. Messwerte Resorptionsverfügbarkeit - $\text{PAK}_8$ (Kap. 2.2.1)**

Die toxikologisch relevanten höhermolekularen  $\text{PAK}_8$  (BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, I123P, DBahA) bilden den Hauptanteil (99%, vgl. Anhang 1) der  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  ab und werden daher für die laboranalytische Untersuchung der resorptionsverfügbaren Gehalte nach DIN 19738:2017-06 empfohlen. In Sonderfällen (vgl. Kapitel 2.2.1.2) kann davon abgewichen werden. Hinweise zur Durchführung von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit finden sich in Anhang 4. Bei Nutzung des [Excel-Templates](#) sind die Messwerte (PAK-Gehalt im Mobilisat) der Einzel-PAK nach simulierter Verdauung (Einzel- $\text{PAK}_v$  in mg/kg) in Spalte 10 einzutragen.

*Im obigen Beispiel liegen die PAK-Gehalte (Mittelwert aus Dreifachmessung) im Mobilisat zwischen 0,11 (Chrysen) und 0,3 mg/kg (BaP) (Spalte 10).*

## 7. Bewertung Resorptionsverfügbarkeit - $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$ (Kap. 2.2.1.1; Kap. 2.2.1.2)

Für die laboranalytischen Ergebnisse der resorptionsverfügbaren Gehalte  $\text{PAK}_{rv\ i}$  werden wiederum mit Hilfe der  $\text{TEF}_i$  (Spalte 6) die Toxizitätsäquivalente und deren Summe  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  wie folgt berechnet (Spalte 11):

$$\sum_{i=9}^{16} \text{PAK}_{rv\ i} \cdot \text{TEF}_i = \Sigma \text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$$

*Im obigen Beispiel wurden 0,3 mg/kg Benzo(a)pyren (BaP; Spalte 10) im Mobilisat gemessen (arithmetisches Mittel einer Dreifachuntersuchung). Der Toxizitätsäquivalenzfaktor ( $\text{TEF}_{\text{BaP}}$ ) für BaP beträgt 1 (Spalte 6). Damit berechnet sich das Toxizitätsäquivalent BaP- $\text{TEQ}_{rv}$  (Spalte 11) wie folgt:*

$$\text{BaP-TEQ}_{rv} = 0,3 \text{ mg/kg} \times 1 = 0,3 \text{ mg/kg}$$

Die Bewertung der resorptionsverfügbaren Gehalte für diese  $\text{PAK}_8$  ( $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$ ) erfolgt mit Hilfe des Beurteilungswertes für die Summe der Toxizitätsäquivalente des gesamten PAK-Gemisches (vgl. Tabelle 6). Im [Excel-Template](#) werden Überschreitungen automatisch rot dargestellt (vgl. Kapitel 2.2.1.1). Dabei gilt:

$$\text{Beurteilungswert } \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = \text{Beurteilungswert } \Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$$

*Im obigen Beispiel bildet die Summe  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  rund 98 % der kanzerogenen Potenz ab (Spalte 12) sodass als Beurteilungswert von 1,3 mg/kg unverändert angewendet werden kann. Mit 0,83 mg/kg (Spalte 11) liegt die Summe  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  damit unter dem Beurteilungswert von 1,3 mg/kg für Kinderspielflächen. Damit ist der Gefahrenverdacht für diese Probe ausgeräumt.*

Hinweise zum Umgang mit Altfällen finden sich in Kapitel 4.

In Kapitel 5 erläutern Fallbeispiele die Vorgehensweise im Einzelfall, an Standorten oder für gebietsbezogene Betrachtungen.

Das [Excel-Template](#) zur Berechnung der TEQ-Summen finden Sie auf der Homepage des LANUV unter [www.lanuv.nrw.de/pak-in-boeden](http://www.lanuv.nrw.de/pak-in-boeden).

## Langfassung

### 1 Anlass und Zielsetzung der Arbeitshilfe

Die Novellierung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 2021) hat mit Inkrafttreten am 01.08.2023 zu einer deutlichen Absenkung der Prüfwerte ubiquitär vorkommender polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch geführt.

Während im bodenschutzrechtlichen Vollzug in den vergangenen Jahren zwar in den meisten Fällen stellvertretend für die Gruppe der PAK 16 Einzelsubstanzen nach der Liste der Environmental Protection Agency (EPA) ausgewählt und gemessen wurden (PAK<sub>16</sub>), bezogen sich die bisherigen Prüfwerte allein auf die Wirkung von Benzo(a)pyren (BaP) als Einzelsubstanz, verbunden mit der Annahme, dass mit der Bewertung des BaP auch die PAK insgesamt ausreichend geregelt wären. Aufgrund der verbesserten Kenntnislage über die Wirkung von PAK-Gemischen stehen hingegen die aktuellen Prüfwerte mit BaP als Bezugssubstanz für die Wirkung von PAK-Gemischen in Gänze.

#### 1.1 Die neuen Prüfwerte

Für die toxikologische Bewertung von PAK-Gemischen sind die kanzerogenen Wirkungen insbesondere der höhermolekularen PAK (mit vier und mehr Ringen) maßgeblich. Basierend auf Erkenntnissen zur kanzerogenen Wirkung definierter PAK-Gemische wurden daher die bisherigen Prüfwerte für BaP als Einzelsubstanz folgerichtig durch die Prüfwerte für PAK – vertreten durch BaP als Bezugssubstanz – ersetzt (Prüfwerte PAK/BaP). So sind in Anlage 2 Tabelle 4 der BBodSchV (2021) für PAK folgende Prüfwerte genannt, die sich auf BaP als Bezugssubstanz für die PAK<sub>16</sub> beziehen.

**Tabelle 1:** Prüfwerte für PAK/BaP - Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM]

	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK <sub>16</sub> ) vertreten durch Benzo(a)pyren (BBodSchV 2021) *	0,5	1	1	5
<u>Zum Vergleich:</u> BaP (Einzelsubstanz) (BBodSchV 1999)	2	4	10	12
*: Der Boden ist auf alle PAK <sub>16</sub> hin zu untersuchen. Die Prüfwerte beziehen sich auf den Gehalt an Benzo(a)pyren im Boden. Benzo(a)pyren repräsentiert dabei die Wirkung typischer PAK-Gemische auf ehemaligen Kokereien, ehemaligen Gaswerksgeländen und ehemaligen Teermischwerken/ -ölläger. Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so ist dies bei der Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen. Liegen die siedlungsbedingten Hintergrundwerte oberhalb der Prüfwerte für Benzo(a)pyren, ist dies bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 15 zu berücksichtigen.				

Für die Berechnung der Prüfwerte für PAK/BaP auf Basis der kanzerogenen Wirkung von PAK-Gemischen wurde zunächst ein bodenschutzrechtlich als akzeptabel geltendes zusätzliches Krebsrisikos von  $10^{-5}$  zugrunde gelegt und gemäß der Methoden und Maßstäbe zur Prüfwertableitung mit einem Faktor von 5 zur Herstellung des Gefahrenbezugs versehen. Dies bedeutet, dass bei Einhalten der Prüfwerte das durch die Bodenbelastung bedingte zusätzliche gefahrenbezogene Risiko an Krebs zu erkranken 5 zu 100.000 beträgt.

Auf dieser Grundlage wurden Prüfwerte für PAK mit BaP als Bezugssubstanz für Kinderspielflächen in Höhe von 0,23 mg/kg, für Wohngebiete von 0,46 mg/kg und für Park- und Freizeitanlagen von 1,15 mg/kg berechnet. Im Rahmen von Plausibilitätsprüfungen wurde u.a. ein Abgleich mit Hintergrundwerten durchgeführt, der zu den letztlich festgelegten und in Tabelle 1 zitierten Prüfwerten geführt hat. Mit der Anhebung der Prüfwerte für Kinderspielflächen und Wohngebiete verbunden ist damit die Akzeptanz eines zusätzlichen Krebsrisikos von rund 10 zu 100.000.

## 1.2 PAK<sub>16</sub> statt BaP

Gemäß BBodSchV (2021) sind zur Anwendung der Prüfwerte stets die PAK<sub>16</sub><sup>2</sup> zu untersuchen und zu dokumentieren. Nach Vorlage der Daten ist entsprechend der Fußnote zu Anlage 2, Tabelle 4 BBodSchV zu prüfen, ob im jeweils zu betrachtenden Fall das Muster – also die Zusammensetzung der gemessenen PAK<sub>16</sub> – dem Muster typischer PAK-Gemische entspricht und auch der wirkungsbezogene Anteil von BaP an der Gesamtoxizität dem eines typischen PAK-Gemisches nahe kommt (siehe Kapitel 2.1.2).

## 1.3 Hintergrundwerte PAK

Für den Vollzug ist die Regelung in § 15 BBodSchV (2021) von hoher Bedeutung, die besagt, dass im Falle siedlungsbedingter Hintergrundwerte oberhalb der aktuellen Prüfwerte, dies bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse berücksichtigt werden kann. So könnte die zuständige Behörde Ausnahmeregelungen auf Grundlage einer gebietsspezifischen Datenerhebung und -bewertung unter Berücksichtigung der Resorptionsverfügbarkeit treffen.

Im Jahr 2017 wurden von der LABO Hintergrundwerte für BaP in Oberböden veröffentlicht. Dabei gleichen sich die Hintergrundwerte für Gebiete mit überwiegend ländlicher Raumstruktur (Gebietstyp III/A; vgl. Tabelle 3) in NRW und die bundesweiten Hintergrundwerte weitgehend. Für den ländlichen Raum kann also von vergleichbaren Hintergrundwerten für das gesamte Bundesgebiet ausgegangen werden. Für Ballungskerne (Typ I / B1) und Ballungsrandzonen (Typ II / B2) wurden in NRW jedoch tendenziell höhere Werte für BaP ermittelt (vgl. Tabelle 2). Die höchsten Hintergrundgehalte wurden hier in Haus- und Kleingärten gemessen, was sich mit Untersuchungen in anderen Bundesländern deckt. In alten Gärten urbaner Prägung überschreiten bereits die Hintergrundwerte (90. Perzentil) zum Teil die neuen Prüfwerte.

---

<sup>2</sup> PAK<sub>16</sub>: Stellvertretend für die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden nach der Liste der Environmental Protection Agency (EPA) die folgenden 16 ausgewählten PAK untersucht: Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benz[a]anthracen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[g,h,i]perylene, Benzo[k]fluoranthren, Chrysen, Dibenz[a,h]anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Naphthalin, Phenanthren und Pyren

Vermutlich ist dafür die früher übliche Ausbringung von Hausbrandasche (ältere Siedlungsstrukturen) verantwortlich (vgl. Anhang 3).

Konkrete Vorgaben, wie großflächig siedlungsbedingt erhöhten PAK-Gehalten Rechnung getragen werden kann, liegen bislang allerdings lediglich in Ansätzen vor, auf die in Kapitel 0 und Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sowie im Fallbeispiel C in Kapitel 5 eingegangen werden soll.

**Tabelle 2:** Hintergrundwerte für BaP in Oberböden – NRW (Quelle: LABO 2017) [ mg/kg]; rot = **Überschreitung aktueller Prüfwert PAK/BaP für Kinderspielflächen**

		<b>Acker</b>	<b>Grünland</b>	<b>Wald</b>	<b>Haus- und Kleingärten</b>
Typ I / B1	<i>n</i>	337	284	330	814
	50. Perz.	0,05	0,08	0,10	0,55
	90. Perz.	0,13	0,22	0,40	1,40
Typ II / B2	<i>n</i>	529	377	445	216
	50. Perz.	0,03	0,05	0,10	0,25
	90. Perz.	0,08	0,12	0,23	0,68
Typ III / A	<i>n</i>	1.124	1.029	1.013	290
	50. Perz.	0,02	0,03	0,05	0,09
	90. Perz.	0,05	0,08	0,13	0,26
Bundesweit (A)	50. Perz.	0,01 - 0,02	0,01 - 0,03	0,01 - 0,05	-
	90. Perz.	0,02 - 0,06	0,01 - 0,05	0,03 - 0,14	-

**Tabelle 3:** Definition der Gebietstypen (Quelle: LABO 2017)

<b>Gebietstyp</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Einwohnerdichte (EW/ km<sup>2</sup>), Fläche</b>
Typ I / B1	Ballungskern	> 2.000, > 50 km <sup>2</sup>
Typ II / B2	Ballungsrandzone und solitäre Verdichtungsräume	> 2.000, ≤ 50 km <sup>2</sup> ≤ 2.000
Typ III / A	<b>Gebiet mit überwiegend ländlicher Raumstruktur</b>	≤ 1.000

## 1.4 Konsequenzen der Neuregelung

Mit der Neuregelung der PAK-Prüfwerte sind in NRW folglich weitreichende Konsequenzen verbunden:

- Insbesondere für das industriell geprägte und dicht besiedelte Bundesland NRW ist mit einer deutlichen Zunahme an Prüfwertüberschreitungen zu rechnen.
- Der Abstand zwischen Hintergrundwerten und den Prüfwerten hat sich merklich verringert und ist in weiten Teilen nicht mehr gegeben. In Haus- und Kleingärten werden innerhalb

von Ballungsgebieten die neuen Prüfwerte für Kinderspielflächen bereits im Hintergrund (90. Perzentil) überschritten.

- Über das BaP hinaus sind nun auch die anderen PAK-Einzelsubstanzen in die Betrachtung miteinzubeziehen.
- Eine klare Regelung zum Umgang mit der Musterprüfung (Fußnote 3 Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV) fehlt bislang.
- Letztlich stellt sich auch die Frage, wie mit der Vielzahl an Altfällen umzugehen ist, bei denen zwar auf Grundlage der „alten“ Prüfwerte der Gefahrenverdacht ausgeräumt werden konnte, dies aber im Hinblick auf die aktuellen Prüfwerte nicht ohne Weiteres zutrifft.

Wie die daraus resultierenden Anforderungen im Vollzug umzusetzen sind, wirft Fragen auf, denen mit der vorliegenden Arbeitshilfe begegnet werden soll.

## 1.5 Die Arbeitshilfe für NRW

Die Arbeitshilfe wurde in enger fachlicher Abstimmung mit einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe bestehend aus Vertreter\*innen von vier Unteren und einer Oberen Bodenschutzbehörde in NRW, dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) sowie dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr (MUNV) in NRW erarbeitet.

Ziel der Arbeitshilfe ist es, den Bodenschutzbehörden praxistaugliche Empfehlungen und Lösungen für die Bewertung von PAK-Gehalten im Boden für den Wirkungspfad Boden-Mensch an die Hand zu geben, basierend auf den toxikologischen Grundlagen und Hintergründen der Prüfwertableitung.

Eine wesentliche Grundlage für die Arbeitshilfe bilden Daten aus NRW, die im Hinblick auf PAK-Muster und den wirkungsbezogenen Anteil von BaP an der Gesamtoxizität des PAK-Gemisches ( $n = 6.413$ , davon  $n = 2.860$  mit BaP-Gehalten  $> 0,5$  mg/kg) sowie auf die Resorptionsverfügbarkeit von BaP ( $n = 341$ , davon  $n = 312$  mit BaP-Gehalten  $> 0,5$  mg/kg) bzw. der acht höhermolekularen PAK<sub>8</sub> ( $n = 30$ ) hin ausgewertet wurden. Detaillierte Ausführungen zur Datenauswertung finden sich im Anhang 1 der Arbeitshilfe.

Im Ergebnis haben die Auswertungen zu dem vorliegenden „NRW-Modell“ geführt, das in den folgenden Kapiteln erläutert und vertieft wird.

### WICHTIG:

- Die neuen Prüfwerte PAK/BaP zielen auf die Bewertung von PAK-Gemischen ab.
- Es sind stets die 16 PAK nach EPA zu untersuchen (PAK<sub>16</sub>).
- Siedlungsbedingt erhöhte Hintergrundwerte können in die Bewertung einbezogen werden.
- Die Auswertung der NRW-Daten hat zur Entwicklung des „NRW-Modells“ geführt.

## 2 NRW-Modell zur PAK-Bewertung

Für die Untersuchung und Bewertung von Flächen mit Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen im Sinne des § 2 BBodSchG gelten im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch grundsätzlich die Vorgaben und Anforderungen der BBodSchV.

So ist generell in der orientierenden Untersuchung durch standortangepasste Prüfschritte zu klären, ob der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt werden kann, oder ein hinreichender Verdacht im Sinne § 9 Abs. 1 BBodSchG unterstellt werden muss. Die Prüfung erfolgt auf Basis von Gesamtgehalten. Dieser Regelablauf gilt auch für die Untersuchung und Bewertung von PAK-Gehalten im Boden, allerdings erweitert um zusätzliche Schritte zur PAK-Musterprüfung (Fußnote 3 Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV).

Hierzu wurde ein Modell entwickelt, das die PAK-Musterprüfung integriert (vgl. Kapitel 2.1.2.3). Darüber hinaus wurden Kriterien zur Vereinfachung und Abkürzung des Verfahrens zur abschließenden Gefährdungsabschätzung („Relevanzprüfung“) entwickelt. Hierbei werden Hinweise darauf gegeben, ob und in welchen Fallgestaltungen auf die zeit- und kostenintensiven Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738 verzichtet werden kann (vgl. Kapitel 2.1.3).

Führen die Ergebnisse und die erfolgten Prüfschritte zu einem hinreichenden Verdacht auf das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder einer Altlast, ist zur abschließenden Gefährdungsabschätzung eine Detailuntersuchung erforderlich, in der die für die jeweils betroffenen Wirkungspfade maßgeblichen Expositionsbedingungen (vgl. Kapitel 2.2.2) und die bedeutsamen resorptionsverfügbaren, mobilen oder mobilisierbaren Anteile der Schadstoffgehalte zu ermitteln sind (Kapitel 2.2.1).

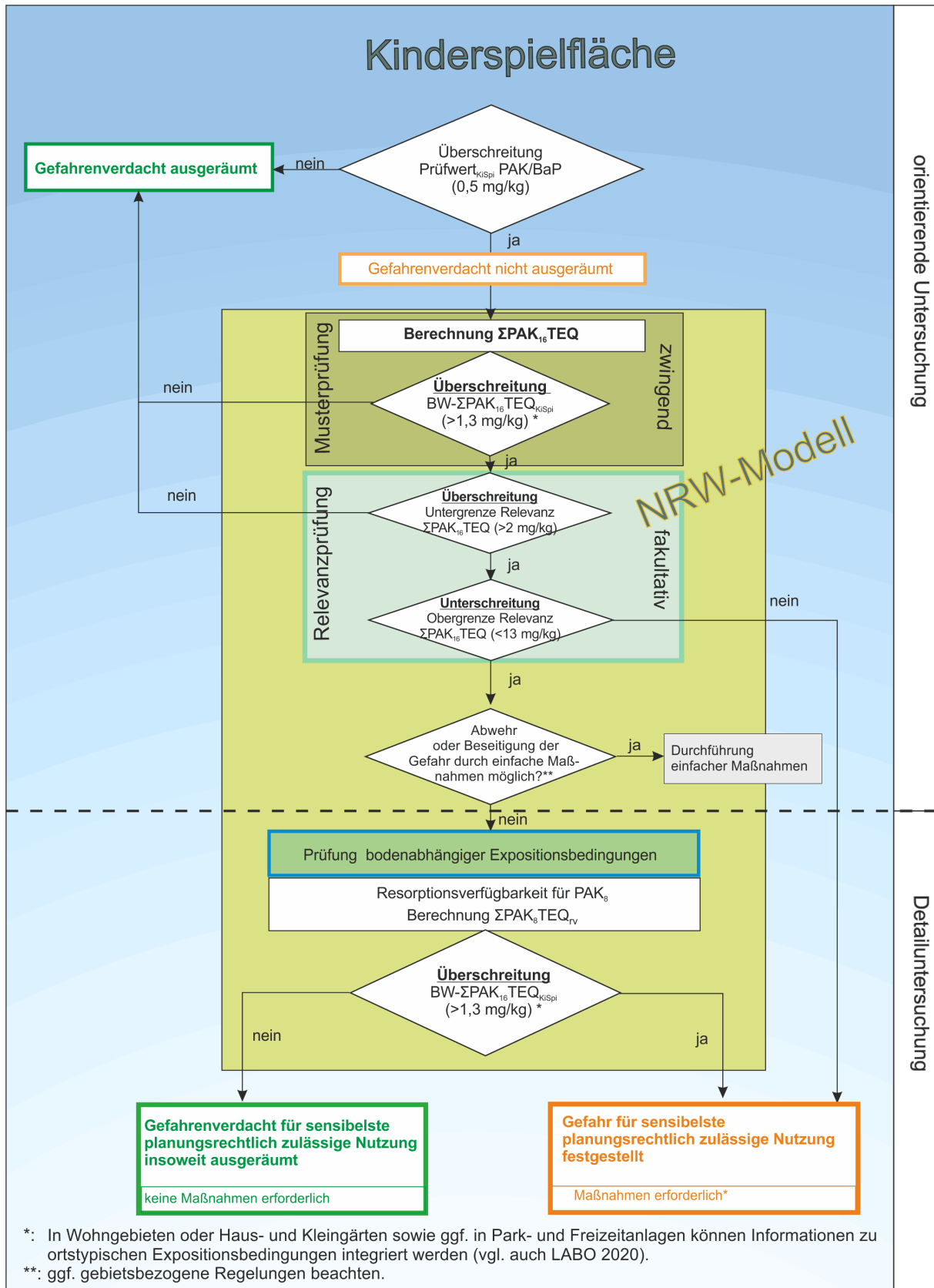
Während auf Kinderspielflächen die aktuelle Nutzung kaum von der planungsrechtlich zulässigen Nutzung abzugrenzen ist und infolgedessen Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit im Fokus der Detailuntersuchung stehen, können in Wohngebieten sowie in Haus- und Vorgärten darüber hinaus Expositionsbetrachtungen zweckmäßig sein, da aktuelle und planungsrechtlich zulässige Nutzung durchaus voneinander abweichen können. Für Park- und Freizeitflächen muss bei Prüfwertüberschreitung im Einzelfall entschieden werden, ob detaillierte Expositionsbetrachtungen für eine abschließende Gefährdungsabschätzung sinnvoll und möglich sind. Erfahrungen dazu liegen bislang nicht vor. Vertiefende Ausführungen dazu finden sich in der „Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für die Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch“ (LABO 2020)<sup>3</sup>.

Das als „NRW-Modell“ bezeichnete Vorgehen beruht auf denselben fachlichen Grundlagen und Berechnungsmodellen wie in anderen Bundesländern (vgl. Kapitel 2.1.2 sowie Anhang 2). Es berücksichtigt jedoch Vorkenntnisse aus NRW, vereinfacht die erforderlichen Arbeitsschritte und ermöglicht eine Bewertung aller Proben unter Berücksichtigung von unterschiedlichen PAK-Mustern. Sonderfälle, die die Kriterien der bisherigen Ansätze nicht erfüllen, sind mit dem „NRW-Modell“ damit ebenfalls bewertbar. Nachfolgend wird die praktische Vorgehensweise im Einzelnen erläutert. Abbildung 1 veranschaulicht die einzelnen Schritte exemplarisch für das Nutzungsszenario „Kinderspielflächen“.

---

<sup>3</sup> Zur Anwendung empfohlen gemäß LABO-Umlaufbeschluss vom 10. August 2020 und Beschluss der UMK im Umlaufverfahren, Ständiger Ausschuss „Altlasten“ (ALA)





**Abbildung 1:** Vorgehensweise zur Bewertung von PAK auf Kinderspielflächen

Zur praktischen Umsetzung wurde ein [Excel-Template](#) entwickelt, das die einzelnen Prüfschritte unterstützt (Anhang 1, s. auch Kurzfassung).

















## 2.1 Orientierende Untersuchung

In der orientierenden Untersuchung ist zunächst das auf die Standortverhältnisse zutreffende Nutzungsszenario und daraufhin der Probennahmeplan festzulegen.

In den nach den Vorgaben der BBodSchV (2021) gewonnenen Bodenmischproben sind immer die 16 PAK (PAK<sub>16</sub>) stellvertretend für die Gruppe der PAK laboranalytisch zu untersuchen und der jeweilige Gehalt einzeln zu dokumentieren. Sie bilden das Spektrum von Naphthalin mit einer Struktur aus zwei Benzolringen bis zu den höher molekularen PAK mit bis zu sechs Ringen ab. Details zur Charakterisierung der PAK<sub>16</sub> finden sich in der Übersicht in Tabelle 4.

Wird der Prüfwert für PAK/BaP mit BaP als Bezugssubstanz für das zugrunde gelegte Nutzungsszenario eingehalten, kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt angesehen werden. Liegt jedoch eine Überschreitung vor, werden zusätzliche Prüfschritte inkl. Abgleich des PAK-Musters erforderlich.

**Tabelle 4:** Übersicht zu den PAK<sub>16</sub> nach U.S. EPA; grau unterlegt: PAK<sub>8</sub>, die als kanzerogen gelten

Einzelverbindung	Abkürzung	Strukturformel	Maximales Vielfaches in Bezug auf BaP *	Toxizitätsäquivalenzfaktor TEF **
Naphthalin	Naph		160	-
Acenaphtylen	Acy		5	0,01
Acenaphthen	Ace		95	-
Fluoren	Flu		110	-
Phenanthren	Phen		140	-
Anthracen	Anth		240	0,01
Pyren	Pyr		30	-
Fluoranthen	FluA		55	0,01
Benz(a)anthracen	BaA		6	0,1
Chrysen	Chry		5	0,01
Benzo(a)pyren	BaP		1	1
Benzo(b)fluoranthen	BbF		3	1
Benzo(k)fluoranthen	BkF		3	0,1
Benzo(ghi)perylen	BghiP		3	0,01
Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P		3	0,1
Dibenz(a,h)anthracen	DBahA		1,5	1

\*: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR GESUNDHEIT UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (LGL BAYERN) 2014  
 \*\*: TEF nach OPPTS 1992 (zit. in: EIKMANN et al. 1999ff und / FoBIG 1999), dimensionslos

### 2.1.1 Bestimmung der Gesamtgehalte PAK16

Zur messtechnischen Bestimmung der PAK<sub>16</sub> sind in Anlage 3 Tabelle 5 der BBodSchV (2021) die geeigneten Untersuchungsverfahren genannt. Außerdem sind die einschlägigen Empfehlungen des Fachbeirats Bodenuntersuchungen (FBU)<sup>4</sup> zu beachten. Praktische Hinweise hierzu sowie detaillierte Ausführungen zur Beachtung bei der PAK-Analytik finden sich in Anhang 4.

Zur Dokumentation sind nach § 24 (BBodSchV 2021) bei summarischen Messgrößen, wie PAK neben der Summe auch die zugrunde gelegten Einzelergebnisse anzugeben. Für eine etwaige Summenbildung bleiben danach Ergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze unberücksichtigt.

Um den üblichen Messunsicherheiten begegnen zu können wird empfohlen, Entscheidungen auf Mehrfachmessungen (mindestens Doppelbestimmung) aus der Laborprobe zu stützen und den Mittelwert auf zwei signifikante Stellen zu runden. Bei größeren Abweichungen (> 30 %) der Ergebnisse ist eine dritte Untersuchung der Gesamtgehalte angeraten (vgl. Anhang 4). Alle Ergebnisse sollten mit Standardabweichung angegeben werden. Aus laborübergreifenden Ringversuchen liegt die Vergleichsstandardabweichung (= einfache Messunsicherheit) für BaP im Gehaltsbereich > 0,2 mg/kg bei ca. 25 %.

#### WICHTIG:

- Die PAK-Analytik ist komplex und muss in akkreditierten Laboren erfolgen.
- Messunsicherheiten ist ggf. mit Doppel- bzw. Mehrfachbestimmungen zu begegnen.
- Bei der Summenbildung bleiben Ergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze unberücksichtigt.

### 2.1.2 Anwendungshinweise für die Prüfwerte für PAK/BaP

Zur Anwendung der Prüfwerte für PAK/BaP haben sich bereits in den letzten Jahren in einigen Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein) Vorgehensweisen etabliert, die zum Teil in Form von Erlassen geregelt worden sind und weitestgehend Ähnlichkeiten in der Vorgehensweise aufweisen. Details hierzu finden sich in Anhang 2.

In Anlage 2, Tabelle 4 der BBodSchV werden zwei grundsätzliche Prüfschritte vorgesehen. Um die Prüfwerte anwenden zu können, soll zum einen eine Prüfung der PAK-Muster erfolgen und zum anderen der Anteil von BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente berechnet werden.

---

<sup>4</sup> Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat am 14. Juni 2000 den Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) einberufen, um gem. Anhang 1 BBodSchV ein Gremium einzurichten, das die formalen Voraussetzungen schafft, trotz der rechtlich notwendigen starren Normverweise im Gesetz die jeweils aktuellen Fassungen anzuwenden. In der BBodSchV (2021) ist der Fachbeirat Boden in §25 beschrieben und dessen Aufgaben definiert.

### 2.1.2.1 Prüfung der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“

Ein zu bewertender Boden muss typische PAK-Profile aufweisen, die im Rahmen der Prüfwertableitung (FoBiG 1999) mit Hilfe statistischer Auswertungen von PAK-Profilen verschiedener Industrie- und Gewerbestandorte definiert wurden. Böden aus Stadtgebieten, die bedingt durch verschiedene Emissionsquellen wie Hausbrand, Kfz-Verkehr und industrielle Prozesse sehr unterschiedliche Profile aufweisen können, wurden dabei aber nicht berücksichtigt (*siehe Exkurs: typische PAK-Muster*).

Zur Beurteilung der PAK-Muster wurden Obergrenzen für die 16 Einzel-PAK definiert, die kurz als „Maximales Vielfaches in Bezug auf BaP“ bezeichnet werden (vgl. Tabelle 4).

#### Exkurs: typische PAK-Muster

Zur Ermittlung typischer PAK-Profile wurden Proben aus verschiedenen Industrie- und Gewerbestandorten ausgewertet und verglichen (FoBiG 1999). Dabei wurde festgestellt, dass Proben aus den Standorttypen *Gaswerk* (n = 22), *Teeröllager/Teermischwerk* (n = 37) und *Kokerei* (n = 36) im Hinblick auf den Anteil der höhermolekularen PAK als vergleichsweise homogen einzustufen sind. Insbesondere bei Berechnung der Verteilung der PAK<sub>16</sub> in Relation zum BaP-Gehalt (d.h. normiert auf BaP) ließen die höhermolekularen PAK mit vier und mehr Ringen (vgl. Tabelle 4) vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorttypen erkennen.

Die Berechnung des relativen Anteils eines Einzel-PAK erfolgt dabei gemäß folgender Formel:

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

Vereinfacht gesagt muss also das Säulendiagramm der verschiedenen PAK in der zu bewertenden Einzelprobe dem Säulendiagramm der für die Prüfwertableitung verwendeten Standorte ähneln. Zur Beurteilung von Abweichungen in den PAK-Mustern hat das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL Bayern) im Oktober 2014 in einer Bewertungshilfe Obergrenzen definiert (LGL 2014), die auf den Maximalwerten der Anteile der anderen 15 PAK<sub>16</sub> in Bezug auf BaP für die drei typischen Standorttypen basieren. In der Begründung dazu heißt es, dass die PAK-Muster an Einzelstandorten stärker variieren als die Mittelwerte der typischen Standorte.

Die Liste der zulässigen „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ findet sich im [Excel-Template](#) in Anlage 2 in Spalte 4. Die berechneten Vielfachen der Probe finden sich in Spalte 5.

Um abschätzen zu können, mit welchen PAK-Mustern in NRW zu rechnen ist, wurden die vorliegenden NRW-Daten ausgewertet (vgl. hierzu auch Anhang 1). Im Ergebnis wurden ca. 1 % der Proben identifiziert, bei denen mindestens eines der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ überschritten wird, so dass für diese Proben eine Einzelfallprüfung erforderlich würde.

### 2.1.2.2 Prüfung des BaP-Anteils an der Summe der Toxizitätsäquivalente

In einem zweiten Schritt ist zu prüfen, welchen Anteil dem BaP an der Gesamtoxizität des PAK-Gemisches zukommt. Hierzu wurde bei der Prüfwertfestlegung das Konzept des OPPTS (Office of Pesticides, Pollution Prevention and Toxic Substances) der U.S. EPA bevorzugt<sup>5</sup>. BaP wurde dort als Leitsubstanz ausgewählt und dessen Potenz = 1 gesetzt, d. h. BaP erhielt den Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF) von 1. Die Potenz der übrigen 15 PAK wurde dann von einem Fachgremium basierend auf Erkenntnissen aus verschiedenen Studien im Verhältnis zu BaP abgeschätzt (vgl. Tabelle 4). Diese TEF liegen zwischen 0,01 und 1. Während beispielsweise Dibenz(a,h)anthracen mit einem TEF von 1 die gleiche kanzerogene Potenz zugewiesen wird, gilt Benz(a)anthracen mit einem TEF von 0,1 als deutlich geringer (ein Zehntel) potent als BaP.

Für fünf Einzel-PAK (Naph, Ace, Flu, Phen, Pyr) wurden aufgrund geringer Toxizität keine TEF abgeleitet. Generell gelten die niedermolekularen PAK (vgl. Tabelle 4, nicht grau unterlegt) nicht als kanzerogen und werden daher nicht, bzw. nur mit einem geringem TEF (Acy, Anth, FluA) bei der Betrachtung der kanzerogenen Potenz berücksichtigt.

Das Toxizitätsäquivalent (TEQ) jedes einzelnen PAK kann dann mit Hilfe des TEF wie folgt berechnet werden:

$$\text{Einzel-PAK}_i \text{ [mg/kg]} \times \text{TEF}_i \text{ [dimensionslos]} = \text{Einzel-PAK}_i \text{ TEQ}_i \text{ [mg/kg]}$$

*Beispiel: In einer Probe wurden 0,6 mg/kg Benz(a)anthracen (BaA) gemessen. Der Toxizitätsäquivalenzfaktor ( $\text{TEF}_{\text{BaA}}$ ) für BaA beträgt 0,1 (vgl. Tabelle 4). Damit berechnet sich das Toxizitätsäquivalent BaA-TEQ wie folgt.*

$$\text{BaA-TEQ} = 0,6 \text{ mg/kg} \times 0,1 = 0,06 \text{ mg/kg}$$

Schließlich kann durch Addition die Summe der Toxizitätsäquivalente für alle PAK<sub>16</sub> (kurz:  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) berechnet werden.

Im weiteren Berechnungsschritt können dann die Anteile der Toxizitätsäquivalente der einzelnen PAK ( $\text{PAK}_i \text{TEQ}$ ) in Relation zur Summe der Toxizitätsäquivalente für die PAK<sub>16</sub> (kurz:  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) ermittelt werden:

$$\text{Anteil Einzel-PAK}_n \text{ TEQ}_i \text{ [\%]} = \frac{\text{PAK}_i \text{TEQ} \cdot 100}{\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}}$$

<sup>5</sup> Zur Bestimmung der relativen Potenz einzelner PAK liegen zahlreiche Konzepte vor, die in SCHNEIDER et al. (2000) ausführlich beschrieben sind. Letztlich wurde zur Begründung der Prüfwerte für PAK/BaP das Konzept der Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) des OPPTS (Office of Pesticides, Pollution Prevention and Toxic Substances) der U.S. EPA herangezogen, das in einem Fachgespräch konsentiert wurde und das Kriterien für mehrere Endpunkte der Kanzerogenität und Struktur-Wirkungs-Hinweise sowie Ergebnisse aus Gentoxizitätsstudien einbezieht.

**Beispiel:** In einer Probe wurden 0,72 mg/kg Benzo(a)pyren (BaP) gemessen (vgl. Anlage 1, Spalte 3). Der Toxizitätsäquivalenzfaktor ( $TEF_{BaP}$ ) für BaP beträgt 1 (vgl. Tabelle 4 oder Anlage 1, Spalte 6). Damit berechnet sich das Toxizitätsäquivalent BaP-TEQ mit 0,72 mg/kg (Anlage 1, Spalte 7). Die Summe der Toxizitätsäquivalente für die PAK<sub>16</sub> (kurz:  $\sum PAK_{16}TEQ$ ) wurde in der gemessenen Probe mit 2,73 mg/kg ermittelt. Damit ergibt sich für BaP ein Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente von 26,4 % (Anlage 1, Spalte 8):

$$\text{Anteil BaP-TEQ [\%]} = \frac{\text{BaP-TEQ} \cdot 100}{\sum PAK_{16}TEQ} = \frac{0,72 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot 100}{2,73 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}} = 26,4\%$$

Als Bewertungsvorschlag wird in den Erlassen anderer Bundesländer zum Umgang mit PAK-Belastungen vorgegeben, dass der Anteil von BaP-TEQ an der Summe  $\sum PAK_{16}TEQ$  zwischen 30 % und 60 % betragen soll (vgl. ZEDDEL 2016). Bei Anteilen unter 30 % führt die Anwendung der Prüfwerte PAK/BaP zu einer Risikounterschätzung, bei Anteilen über 60 % zu einer Risikoüberschätzung. Die Spanne von 30-60 % entspricht den beobachteten Abweichungen aus den vorliegenden Studien und Untersuchungen zur Bewertung von PAK-Gemischen.

Wie die Auswertungen der NRW-Daten ergeben haben (vgl. hierzu auch Anhang 1), wird in über 6 % der Proben der Toleranzbereich für den BaP-TEQ-Anteil an der Summe  $\sum PAK_{16}TEQ$  verfehlt. Dabei unterschreitet der Großteil davon (5,6 %) den Toleranzbereich, so dass hier die Anwendung der Prüfwerte zu einer Risikounterschätzung führen würde. In 0,5 % der Proben wird der Toleranzbereich dahingegen überschritten, so dass hier mit einer Risikoüberschätzung zu rechnen wäre.

### 2.1.2.3 NRW - Ansatz zur PAK-Muster-Prüfung

Die Auswertung der NRW-Daten hat gezeigt, dass für insgesamt 6,3 % der bekannten Proben mindestens ein Ausschlusskriterium für die Anwendbarkeit der BaP/PAK-Prüfwerte greifen würde. Daher wurden die bestehenden Ansätze zur PAK-Musterprüfung für NRW mit dem Ziel weiterentwickelt, eine systematische, abschließende Gefahrenbeurteilung aller Proben unter Berücksichtigung des gesamten PAK-Gemisches zu ermöglichen.

Anstelle der Prüfungen des „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ und des „Anteils an BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente“ nach Prüfwertüberschreitungen wird in NRW empfohlen, die PAK-Musterprüfung unmittelbar mit Hilfe des Summenwertes für die Toxizitätsäquivalente ( $\sum PAK_{16}TEQ$ ) durchzuführen. So werden beide Prüfschritte der Fußnote 3 Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV in einem Schritt abgehandelt.

Grundlage hierfür ist die Ableitung von Beurteilungswerten  $PAK_{16}TEQ$ . Diese wurden durch Rückgriff auf die im Tierversuch untersuchten PAK-Gemische CTM1 und CTM2 (Steinkohlenteergemische sehr ähnlicher Zusammensetzung; vgl. Tabelle 5) errechnet, welche als toxikologische Grundlage für die Ableitung der Prüfwerte dienen und deren Zusammensetzung im Hinblick auf die PAK<sub>16</sub> bekannt ist (SCHNEIDER et al. 2000).

**Tabelle 5:** Zusammensetzung der untersuchten PAK-Gemische CTM1 Und CTM2 für die Prüfwertableitung (normiert auf BaP = 1 mg/kg; vgl. FoBIG 1999); grau unterlegt: PAK8, die als kanzerogen gelten

	Einzel-PAK [mg/kg]		PAK-TEF [dimensionslos]	PAK-TEQ [mg/kg]		Anteil der Einzel-PAK <sub>i</sub> TEQ/Summe PAK <sub>16</sub> TEQ [%]	
	CTM1	CTM2		CTM1	CTM2	CTM1	CTM2
Naphthalin	12,09	11,7	0	0	0	0,0%	0,0%
Acenaphtylen	1,74	2,07	0,01	0,017	0,021	0,7%	0,8%
Acenaphthen	1,12	0,46	0	0	0	0,0%	0,0%
Fluoren	2,01	1,73	0	0	0	0,0%	0,0%
Phenanthren	4,16	3,66	0	0	0	0,0%	0,0%
Anthracen	1,37	1,05	0,01	0,014	0,011	0,5%	0,4%
Fluoranthen	2,70	2,31	0,01	0,027	0,023	1,0%	0,9%
Pyren	2,77	2,62	0	0	0	0,0%	0,0%
Benz(a)anthracen	1,29	1,21	0,1	0,13	0,12	4,9%	4,9%
Chrysen	1,30	1,07	0,01	0,013	0,011	0,5%	0,4%
Benzo(b)fluoranthen	1,14	1,05	1	1,14	1,05	43,7%	42,3%
Benzo(k)fluoranthen	0,38	0,37	0,1	0,038	0,037	1,5%	1,5%
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>38,3%</b>	<b>40,3%</b>
Benzo(ghi)perylen	0,81	0,83	0,01	0,0081	0,0083	0,3%	0,3%
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,74	0,72	0,1	0,074	0,072	2,8%	2,9%
Dibenz(a,h)anthracen	0,15	0,13	1	0,15	0,13	5,7%	5,2%
<b>ΣPAK<sub>16</sub>TEQ</b>				<b>2,61</b>	<b>2,48</b>	<b>100,0%</b>	<b>100%</b>

In diesen PAK-Gemischen betrug der Anteil des Toxizitätsäquivalentes für BaP (BaP-TEQ) an der Summe der Toxizitätsäquivalente für alle PAK<sub>16</sub> (kurz: ΣPAK<sub>16</sub>TEQ) 38,3 bzw. 40,3 % (vgl. Tabelle 5). Die Proben wurden dabei auf BaP = 1 mg/kg normiert<sup>6</sup>, um eine direkte Vergleichbarkeit zu ermöglichen. So beträgt die Summe der Toxizitätsäquivalente (ΣPAK<sub>16</sub>TEQ) der beiden normierten PAK-Versuchsgemische 2,61 bzw. 2,48 mg/kg (vgl. Tabelle 5).

Basierend auf der kanzerogenen Wirkung dieser beiden PAK-Gemische CTM1 und CTM2 im Tierversuch wurden die Prüfwerte PAK/BaP abgeleitet und begründet. Der BaP-Gehalt von 1 mg/kg<sup>7</sup> ist somit in den untersuchten PAK-Gemischen als stellvertretend für die kanzerogene Wirkung der Summe der Toxizitätsäquivalente (ΣPAK<sub>16</sub>TEQ) von rund 2,6 mg/kg zu verstehen.

Zur Einschätzung der kanzerogenen Wirkung von PAK-Gemischen in Böden kann daher die Summe der Toxizitätsäquivalente für alle PAK<sub>16</sub> (ΣPAK<sub>16</sub>TEQ) berechnet und mit der Summe der im Tierversuch getesteten PAK-Gemische verglichen werden.

<sup>6</sup> Normiert bedeutet, dass für die zu vergleichenden Proben ein BaP-Gehalt von 1 mg/kg angenommen wurde und die Gehalte der übrigen 15 PAK entsprechend ihrer bekannten Anteile in den jeweiligen Proben in Relation zu BaP angegeben wurden (vgl. FoBIG 1999).

<sup>7</sup> Der BaP-Gehalt von 1 mg/kg ist auch gleichzusetzen mit dem BaP-TEQ von 1 mg/kg, da der TEF zur Umrechnung = 1 ist.



Die kanzerogene Potenz eines BaP-Gehaltes in Höhe des Prüfwertes für die Nutzungsszenarien „Wohngebiete“ und „Park- und Freizeitflächen“ von 1 mg/kg entspricht der eines Beurteilungswertes für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  von 2,6 mg/kg. Für Kinderspielflächen entspricht der Prüfwert PAK/BaP von 0,5 mg/kg demnach einem Beurteilungswert für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  von 1,3 mg/kg (vgl. Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Beurteilungswerte für BaP und PAK-Gemische („NRW-Modell“) [mg/kg Boden]

Nutzungsszenario	Prüfwerte PAK mit Bezugssubstanz BaP	Beurteilungswerte für $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ (BW- $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ )
Kinderspielflächen	0,5	1,3
Wohngebiete	1	2,6
Park- und Freizeitanlagen	1	2,6

Liegt eine Überschreitung des Prüfwertes für PAK/BaP vor, sollte deshalb im ersten Schritt die Berechnung der Gesamtoxizität des PAK-Gemisches erfolgen. Hierzu sind die laboranalytischen Ergebnisse aller 16 Einzel-PAK ( $\text{PAK}_{16}$ ) heranzuziehen und die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  wie folgt zu berechnen:

$$\sum_{i=1}^{16} \text{PAK}_i \cdot \text{TEF}_i = \Sigma \text{PAK}_{16}\text{TEQ}$$

Die zur Berechnung zu verwendenden Toxizitätsäquivalenzfaktoren  $\text{TEF}_i$  finden sich in Tabelle 4. Zur Berechnung kann auch das [Excel-Template](#) in Anlage 1 genutzt werden, in das in Spalte 3 „Messwerte“ die Daten aus dem Prüfbericht des Labors (Mittelwerte aus Mehrfachbestimmung) übertragen werden können.

Alternativ ist die Ausweisung der berechneten Toxizitätsäquivalente  $\text{PAK}_i\text{TEQ}$  (vergleichbar mit den TEQ im Fall der Dioxine und Furane) direkt durch das Labor im Prüfbericht vorzunehmen.

Wird der Beurteilungswert für  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  eingehalten, ist der Gefahrenverdacht als ausgeräumt anzusehen und weitere Prüfschritte sind nicht erforderlich<sup>8</sup>.

Wird der Beurteilungswert für  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  überschritten, bleibt der Gefahrenverdacht aufrechterhalten, so dass weitere Sachverhaltsermittlungen in der Phase der Detailuntersuchung notwendig werden (Prüfung der boden- bzw. nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen), es sei denn die Gefahr wäre durch einfache Maßnahmen zu beseitigen.

<sup>8</sup> Auswertungen der Daten aus NRW zeigen, dass in etwa 13% der insgesamt 1.349 Proben mit BaP-Gehalten zwischen 0,5 und 1 mg/kg der Gefahrenverdacht für das PAK-Gemisch aufgrund der Summenbetrachtung gemäß NRW-Modell für die Nutzung als Kinderspielfläche ausgeräumt werden kann (vgl. Anhang 1).

**WICHTIG:**

- Bei Einhaltung der Prüfwerte PAK/BaP gemäß BBodSchV kann der Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen als ausgeräumt gelten.
- Bei Überschreiten der Prüfwerte PAK/BaP ist eine Prüfung der PAK-Muster erforderlich.
- Im NRW-Ansatz erfolgt die PAK-Musterprüfung („Maximales Vielfaches in Bezug auf BaP“ und „Anteil an BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente“) durch Bewertung der Summe der Toxizitätsäquivalente der PAK<sub>16</sub> ( $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ).
- Bei Einhaltung des Beurteilungswertes für  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ (Kinderspiel: 1,3 mg/kg TEQ, Wohngebiete: 2,6 mg/kg TEQ) kann der Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen als ausgeräumt gelten.
- Bei Überschreiten des Beurteilungswertes für  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ sind weitere Sachverhaltsermittlungen im Rahmen der Detailuntersuchung erforderlich.

**2.1.3 Relevanzprüfung (fakultativ)**

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind nach Prüfwertüberschreitung für oral wirksame Schadstoffe zur Bestimmung mobilisierbarer Anteile Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738:2017-06 durchzuführen. Da diese Untersuchungen zeitaufwändig und vor allem kostenintensiv sind (vgl. auch Anhang 4), wurden Kriterien abgeleitet, inwiefern deren Durchführung unabdingbar ist bzw. auf deren Durchführung verzichtet werden kann (Relevanzprüfung [in Bezug auf die Sinnhaftigkeit einer Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit]).

Da in NRW aufgrund der urbanen Siedlungsstrukturen sowie der Nutzungshistorie eine Differenzierung in pyrogene und petrogene PAK bedeutsam ist, wurde zunächst geprüft, ob bei PAK-Belastungen spezifischer Herkunft die Höhe der Belastung bzw. deren Mobilisierbarkeit bestimmt und so genau abgeschätzt werden kann, dass laboranalytische Verfahren verzichtbar sind (vgl. Anhang 3). Im Ergebnis wurde der Kenntnisstand hierzu als unzureichend eingeschätzt. Zwar unterscheiden sich pyrogene und petrogene PAK signifikant in ihrer Resorptionsverfügbarkeit, die Identifikation der PAK-Quellen bzw. der zugrundeliegenden technogenen Substrate im Rahmen der Geländearbeiten ist aber nach derzeitigem Kenntnisstand nicht mit ausreichender Sicherheit möglich, zumal diese durch Verwitterungsprozesse bzw. durch Eintrag als Deposition makroskopisch häufig nicht zu erkennen sind.

### 2.1.3.1 Kriterien der Relevanz-Prüfung im Standardfall

Zur Ableitung von Kriterien, wann auf laboranalytische Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit im konkreten Fall verzichtet werden kann, wurden Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen zur Resorptionsverfügbarkeit aus Auswertungen des Datenbestandes in NRW (Anhang 1) genutzt.

Generell wurde bis dato in vielen Fällen meist nur die Resorptionsverfügbarkeit von BaP untersucht. Darüber hinaus wurden bislang auch in Einzelfällen die als kanzerogen geltenden acht PAK<sub>8</sub> (BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, I123P, DBahA, vgl. Tabelle 4) laboranalytisch hinsichtlich ihrer Resorptionsverfügbarkeit untersucht<sup>9</sup>.

Diese Auswertung hat gezeigt, dass in 95 % der Proben (n = 312) die Resorptionsverfügbarkeit für BaP unter 69 % liegt (vgl. Anhang 1, Tabelle 31). In einer ähnlichen bundesweiten Auswertung (vgl. BÖHME et al. 2023) lag das 90. Perzentil der Resorptionsverfügbarkeit für BaP bei 79%. Im Hinblick auf das wirksame PAK-Gemisch (PAK<sub>8</sub>) konnten im Rahmen der Erstellung dieser Arbeitshilfe 30 Probandaten ausgewertet werden, bei denen auf die Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\Sigma$ PAK<sub>8</sub>TEQ) bezogene Resorptionsverfügbarkeit in 95 % der Proben unter 56 % lag (Anhang 1, Tabelle 37).

Unter der Annahme eher ungünstiger, hoher Resorptionsverfügbarkeiten (für NRW gerundet 70 %) für das wirksame PAK<sub>16</sub>-Gemisch kann demnach für Kinderspielflächen eine „Untergrenze“ berechnet werden, unterhalb derer die Bestimmung der resorptionsverfügbaren Gehalte mit großer Wahrscheinlichkeit zum Ausräumen des Gefahrenverdacht führen würde:

$$\text{Untergrenze Kinderspiel BW } \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = \frac{1,3 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{0,7} = 2 \text{ mg/kg (gerundet)}$$

Zur Festlegung einer Obergrenze, oberhalb derer die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit keinen Informationsgewinn für die abschließende Gefährdungsabschätzung liefert, wurden ebenfalls die Daten aus NRW ausgewertet. Allerdings ließen sich im Gegensatz zu den oberen Perzentilen keine belastbaren unteren Perzentile erkennen. Während die Resorptionsverfügbarkeit für BaP in den untersuchten NRW-Proben (n = 312) in mehr als 5 % der Proben über 2 % lag, ergaben die Auswertungen für die Untersuchungen der PAK<sub>8</sub> an den ausgewählten Proben (n = 30) für mehr als 5 % der Proben für BaP wie auch für das wirksame PAK-Gemisch (PAK<sub>8</sub>) Resorptionsverfügbarkeiten von 23 %. BÖHME et al. (2023) weisen für BaP ein 10. Perzentil von 27% resorptionsverfügbarem Anteil aus.

<sup>9</sup> Für drei weitere PAK (Acy, Anth, FluA) wurden zwar geringe TEF von 0,01 abgeleitet. Diese lassen sich jedoch aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften nicht mit ausreichender Sicherheit im Eluat nach RV bestimmen, so dass auf die Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit dieser drei PAK im Standardfall verzichtet wird, zumal ihr Beitrag zur Summe der Toxizitätsäquivalente i.d.R. verschwindend gering (unter 1%) ist (vgl. Kapitel 2.2.1.1 und Anhang 1).

In der LABO-Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung (2020, S. 51) wurde pragmatisch empfohlen, als Obergrenze für die Sinnhaftigkeit von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit hohe Prüfwertüberschreitungen (um mehr als das 10-fache) anzunehmen. Diese Empfehlung wurde pragmatisch übernommen, so dass für das wirksame PAK<sub>16</sub>-Gemisch für Kinderspielflächen folgende Obergrenze zu berechnen ist:

$$\text{Obergrenze Kinderspiel BW } \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = \frac{1,3 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{0,1} = 13 \text{ mg/kg (gerundet)}$$

Bei Überschreiten dieser eher konservativen „Obergrenze“ (Annahme 10 % resorptionsverfügbarer Anteil) kann die Gefahr aufgrund der unterstellten Annahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden.

Für Wohngebiete sowie Park- und Freizeitanlagen ergeben sich im Hinblick auf die „Unter- bzw. Obergrenze“ die jeweils 2-fachen Werte. Die konkreten Werte können der folgenden Tabelle 7 entnommen werden.

**Tabelle 7:** Unter- und Obergrenzen für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit (fakultativ) [mg/kg TM]

Nutzungsszenario	Untergrenze	Obergrenze
Kinderspielflächen	2	13
Wohngebiete	4	26
Park- und Freizeitanlagen	4	26

Sofern die Gesamtgehalte für die Summe der  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  in der Spannweite zwischen Ober- und Untergrenze liegen, ist die Untersuchung zur Resorptionsverfügbarkeit demnach sinnvoll, es sei denn die Gefahr wäre durch einfache Maßnahmen zu beseitigen.

Darüber hinaus bleibt die Option, auch außerhalb der genannten Grenzen Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit durchzuführen, um auch extreme Ausprägungen der Resorptionsverfügbarkeit erfassen zu können oder besonderen, standortspezifischen Hinweisen nachgehen zu können.

Wird die in Tabelle 7 genannte Untergrenze auf den ausgewerteten Gesamtdatenbestand von NRW angewendet, zeigt sich, dass von 3.553 Datensätzen mit BaP-Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg lediglich 15 eine  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} > 2$  mg/kg aufweisen (vgl. Anhang 1, Tabelle 40). Die Wahrscheinlichkeit, dass bei Proben mit geringen Gehalten an BaP (hier  $\leq 0,5$  mg/kg) infolge der Nichtberechnung der Toxizitätsäquivalentsumme die Notwendigkeit zur Durchführung einer Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit zur Ausräumung des Gefahrenverdachts nicht erkannt wird, ist somit sehr gering und wird als irrelevant eingestuft.

### 2.1.3.2 Standort- oder gebietsbezogene Kriterien zur Relevanzprüfung

Da von PAK-Belastungen oftmals nicht nur einzelne Flächen, sondern vielmehr zusammenhängende Flächen und Standorte (wie z.B. Kleingartenanlagen) oder Gebiete (Stadtteile) betroffen sind, ist es möglich, dass bereits Informationen zu bodentypischen Expositionsbedingungen, etwa zur Resorptionsverfügbarkeit von BaP, vorliegen, oder auch zur nutzungsabhängigen Expositionsabschätzung, beispielsweise für Wohngärten oder Kleingartenanlagen. Mit diesen Erkenntnissen und Informationen können dann ggf. die Standardannahmen, wie sie in Kapitel 2.1.3.4 zur Ermittlung der Relevanz-Kriterien herangezogen wurden, konkretisiert und angepasst werden.

Liegen beispielsweise für einen Standort oder ein Gebiet ausreichend repräsentative Messergebnisse für PAK vor, die eine statistische Auswertung und Begründung für die standorttypische Resorptionsverfügbarkeit von PAK erlauben, kann diese zur standorttypischen Relevanzprüfung herangezogen werden. Mit Hilfe spezifischer Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen können Unter- und Obergrenzen der Relevanzprüfung in Form von gebietsbezogenen Beurteilungswerten abgeleitet oder angepasst werden (vgl. Fallbeispiel C, Kapitel 5).

Vorgeschaltet werden muss allerdings die Berechnung und Betrachtung der  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ . Empfohlen wird auch zu prüfen, ob die ggf. ermittelte Resorptionsverfügbarkeit für BaP an einem Standort oder in einem Gebiet auf die Resorptionsverfügbarkeit der toxikologisch relevanten  $\text{PAK}_8$  zu übertragen ist, beispielsweise durch exemplarische Messungen ausgewählter Proben.

Für einige Gebiete mit großflächigen Bodenbelastungen wurden in den letzten Jahren auch umfangreiche Untersuchungen zu gebietsbezogenen Expositionsbedingungen insbesondere für Haus- und Wohngärten durchgeführt. Dabei wurden Aspekte wie Gebietstypisierungen, Witterungsbedingungen und Informationen aus Befragungen z.B. hinsichtlich der Nutzungsdichte ausgewertet, um Expositionsfaktoren abzuleiten. Liegen solche standort- oder gebietsbezogenen Auswertungen vor, können diese sinngemäß in den Ablauf der PAK-Bewertung integriert werden und beispielsweise im Rahmen der Relevanzprüfung ebenfalls die Sinnhaftigkeit von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit abprüfen helfen.

#### WICHTIG:

- Die Relevanzprüfung hilft bei der Entscheidung, ob auf die (analytisch problematische) Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit verzichtet werden kann.
- Aus Kenntnissen zu Quellen der PAK-Belastung (petrogen vs. Pyrogen) sind aktuell keine Abschätzungen zur Resorptionsverfügbarkeit möglich.
- Mit Hilfe ungünstiger Annahmen wurden Untergrenzen für die Relevanz von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit abgeleitet (bezogen auf die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ ).
- Obergrenzen für die Relevanz von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit wurden pragmatisch (10-facher Beurteilungswert) ermittelt.
- Für großflächige Standorte oder Gebiete können vorhandene Informationen zu boden- oder nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen in die Relevanzprüfung integriert werden.

## 2.2 Detailuntersuchung

Nach den Vorgaben der BBodSchV (2021) sind bei Überschreiten der Prüfwerte weitere Sachverhaltsermittlungen erforderlich. So sollen im Rahmen der Detailuntersuchung die für die jeweils betroffenen Wirkungspfade im Sinne der BBodSchV (2021) § 13 Absatz 1 und 3 maßgeblichen Expositionsbedingungen und die bedeutsamen resorptionsverfügbaren, mobilen oder mobilisierbaren Anteile der Schadstoffgehalte ermittelt werden.

Demzufolge sind für Flächen, deren BaP-Gehalte die Prüfwerte PAK/BaP überschreiten und die Summe der Toxizitätsäquivalente  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  - ggf. auch nach Relevanzprüfung - die entsprechenden Beurteilungswerte übersteigt, Detailuntersuchungen erforderlich, wenn nicht die Gefahr durch einfache Maßnahmen ausgeräumt werden kann.

Je nach Standort und Nutzungsbedingungen kann dabei die oberste Priorität entweder der Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit oder der Erhebung maßgeblicher nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen zukommen (vgl. hierzu auch die LABO-Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung 2020).

### 2.2.1 Bestimmung und Bewertung der Resorptionsverfügbarkeit

Wenn die Mobilisierbarkeit von PAK aus dem Boden nach Verschlucken („orale Aufnahme“) laboranalytisch untersucht werden soll, sind die resorptionsverfügbaren Gehalte nach DIN 19738:2017-06 (vgl. Anhang 4) zu bestimmen und zu bewerten. Konkrete Vorgaben, welche der PAK<sub>16</sub> dabei zu berücksichtigen und wie die Ergebnisse letztlich zu bewerten sind, enthält die BBodSchV (2021) nicht.

#### 2.2.1.1 Vorgehen im Standardfall

Da nach Auswertung der Daten aus Bodenproben in NRW die toxikologisch relevanten höhermolekularen PAK<sub>8</sub> (BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, I123P, DBahA) im Mittel 99 % der Toxizitätsäquivalentsumme ( $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ ) abbilden (vgl. Anhang 1), wird empfohlen, im Standardfall die resorptionsverfügbaren Gehalte dieser PAK<sub>8</sub> laboranalytisch nach DIN 19738:2017-06 (vgl. Anhang 4) zu bestimmen<sup>10</sup>.

Aus den laboranalytischen Ergebnissen für die resorptionsverfügbaren Gehalte ( $\text{PAK}_{rv,i}$ ) sind wiederum mit Hilfe der  $\text{TEF}_i$  (vgl. Tabelle 4) für die ausgewählten acht Einzel-PAK (PAK<sub>8</sub>) die Toxizitätsäquivalente und deren Summe  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  wie folgt zu berechnen:

$$\sum_{i=8}^{16} \text{PAK}_{rv,i} \cdot \text{TEF}_i = \Sigma \text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$$

Zur Berechnung kann auch das [Excel-Template](#) (s. Anlage 1) genutzt werden. Die gemessenen resorptionsverfügbaren Gehalte (in mg/kg) aus dem Labor-Prüfbericht (bzw. Mittelwerte

<sup>10</sup> Bisherige Erfahrungen weisen darauf hin, dass sich die Analytik nach DIN 19738:2017-06 für die PAK<sub>8</sub> im Vergleich zur Analytik von BaP nur unwesentlich im Preis unterscheidet.

aus Mehrfachbestimmung) sind dann in die Spalte 10 „DU: Resorptionsverfügbarkeit“ zu übertragen.

Die Bewertung der resorptionsverfügbaren Gehalte für diese PAK<sub>8</sub> ( $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$ ) erfolgt mit Hilfe des Beurteilungswertes für die Summe der Toxizitätsäquivalente des gesamten PAK-Gemisches. Dabei gilt (vgl. Tabelle 6):

$$\text{Beurteilungswert } \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = \text{Beurteilungswert } \Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$$

Wird der jeweilige Beurteilungswert eingehalten, gilt der Gefahrenverdacht für die angenommene Nutzung als ausgeräumt, bei Überschreitung gilt die Gefahr als festgestellt. Ggf. kann ergänzend die aktuelle Nutzung überprüft und berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.2.2). Ansonsten sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr umzusetzen.

### 2.2.1.2 Sonderfälle

Im Einzelfall kann es Gründe geben, nicht für alle PAK<sub>8</sub> Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit durchzuführen.

So ergab die Auswertung der Daten aus NRW, dass bereits die drei PAK mit den höchsten TEF (BaP, BbF, DBahA; vgl. Tabelle 4) in der Summe ( $\Sigma\text{PAK}_3\text{TEQ}$ ) im Mittel 89 % der Summe der Toxizitätsäquivalente des PAK-Gemisches abbilden (vgl. Anhang 1).

Wenn die Resorptionsverfügbarkeit nur für eine Auswahl der PAK<sub>8</sub> oder gar nur für BaP untersucht wird, muss das Bewertungskonzept entsprechend angepasst werden, da nur ein Teil der kanzerogenen Potenz (Gesamttoxizität) berücksichtigt wird. Der Anteil der n ausgewählten PAK<sub>n</sub> an der kanzerogenen Potenz des PAK-Gemisches ist dann wie folgt zu ermitteln:

$$\text{Anteil PAK}_n\text{TEQ} = \sum_{n=1}^n \frac{\text{PAK}_n\text{TEQ}}{\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}}$$

Je nachdem, welcher Anteil der Toxizitätsäquivalentsumme damit abgebildet wird, ergibt sich der Beurteilungswert wie folgt:

$$\text{BW } \Sigma\text{PAK}_n\text{TEQ}_{rv} = \text{BW } \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} \cdot \text{Anteil PAK}_n\text{TEQ}$$

Damit ergeben sich folgende Beurteilungswerte:

**Tabelle 8:** Beurteilungswerte für  $\Sigma\text{PAK}_n\text{TEQ}_{rv}$  in der Detailuntersuchung [mg/kg Boden]

Nutzungsszenario	Beurteilungswerte für $\Sigma\text{PAK}_n\text{TEQ}_{rv}$
Kinderspielflächen	1,3 * Anteil PAK <sub>n</sub> TEQ
Wohngebiete	2,6 * Anteil PAK <sub>n</sub> TEQ
Park- und Freizeitanlagen	2,6 * Anteil PAK <sub>n</sub> TEQ

*Beispiel: Wird beispielsweise nur BaP ausgewählt und bildet BaP-TEQ einen Anteil an der Toxizitätsäquivalentsumme ( $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ ) von 54 % ab, liegt der Beurteilungswert für BaP- $\text{TEQ}_{rv}$  im Falle einer Kinderspielfläche bei gerundet 0,7 mg/kg:*

$$BW \text{PAK}_7\text{TEQ}_{rv} = BW \text{BaP-TEQ}_{rv} = 1,3 \text{ mg/kg} \times 0,54 = 0,70 \text{ mg/kg}$$

### WICHTIG:

- Die Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit erfolgt standardmäßig für die  $\text{PAK}_8$ .
- Zur Bewertung werden die Ergebnisse für die Summe  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  mit dem Beurteilungswert für die Summe  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  abgeglichen.
- Wird der Beurteilungswert für die Summe  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  überschritten, gilt die Gefahr als festgestellt, bei Einhaltung ist der Gefahrenverdacht ausgeräumt.
- Sonderfälle: Sofern lediglich eine Auswahl der  $\text{PAK}_8$  im Hinblick auf die Resorptionsverfügbarkeit untersucht wird, muss der Abgleich mit dem anteilmäßigen Beurteilungswert erfolgen.

### 2.2.2 Maßgebliche nutzungsabhängige Expositionsbedingungen

Für die Nutzungsszenarien Wohngebiete und Haus- und Kleingärten können sich sowohl unter Beachtung der tatsächlichen als auch der planungsrechtlichen bzw. ortsüblichen Nutzung Expositionsbedingungen ergeben, die sich von den Annahmen, die bei der Prüfwertableitung getroffen wurden, deutlich unterscheiden. Soll dies im Zuge der Bewertung berücksichtigt werden, können nutzungsbedingte Expositionsabschätzungen (z.B. im Hinblick auf die Zugänglichkeit des Bodens bzw. die Bodenbedeckung, die Nutzungsfrequenz oder die Nutzungsdauer) durchgeführt und in die abschließende Gefährdungsabschätzung integriert werden. Details hierzu finden sich in der LABO Arbeitshilfe 2020 (vgl. Fußnote 3).

Beispielhaft wird hier auf die Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte für Blei in der Bleibelastungszone Mechernich / Kall im Kreis Euskirchen hingewiesen, die auf gebietsspezifischen Expositionsbedingungen (Witterungsbedingungen und Nutzungsverhalten) basieren. Informationen dazu finden sich auf den Websites des Kreises Euskirchen sowie der Stadt Mechernich, unter: <https://www.mechernich.de/leben-in-mechernich/bleibelastungszone-mechernich-kall/> und <https://www.kreis-euskirchen.de/themen/umwelt-nachhaltigkeit/bodenschutz-altlasten/meldungen/bleibelastungszone-1/>.

### WICHTIG:

- Nutzungsabhängige Expositionsbedingungen in Wohngebieten oder Haus- und Kleingärten können von den Standardannahmen abweichen und im Einzelfall oder auch standort- und gebietsbezogen in die Bewertung einbezogen werden.



### 3 Berücksichtigung der Hintergrundbelastung

Liegen in einem Gebiet siedlungsbedingt erhöhte PAK-Gehalte vor, kann dies gemäß § 15 BBodSchV im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden. So kann geprüft werden, ob standorttypische Resorptionsverfügbarkeiten vorliegen und Kriterien für deren Übertragbarkeit entwickelt werden können. Solche Kriterien können sich beispielsweise aus dem Alter von Siedlungsbereichen oder Erkenntnissen aus Bodenbelastungskarten (BBK) ergeben.

Auch Informationen zu nutzungsbedingten Expositionsbedingungen können herangezogen werden, um zu prüfen, ob sich diese von den Standardannahmen unterscheiden. Entsprechende Informationen können ggf. bereits im Rahmen der Relevanzprüfung (vgl. Kapitel 2.1.3.2) integriert werden.

Zur Bewertung wird empfohlen, basierend auf den gebietsspezifischen Erkenntnissen gebietsbezogene Beurteilungswerte abzuleiten. In Fallbeispiel C werden hierzu exemplarisch Möglichkeiten aufgezeigt (vgl. Kapitel 5.3).

Weiterhin kann mit der Ausweisung eines Bodenschutzgebietes nach § 12 LBodSchG NRW die Untersuchung der Bodenbelastung, die Festsetzung von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bzw. die Sanierung von Bodenbelastungen sowie auch das Aufbringen und der Einbau von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes koordiniert und vereinfacht werden. Im Jahr 2022 wurde in Duisburg das erste Bodenschutzgebiet in NRW mit dem Ziel der Gefahrenabwehr bei großflächig vorliegenden schädlichen Bodenveränderungen ausgewiesen (<https://www.duisburg.de/bodenschutzgebiet>).

#### WICHTIG:

- Hintergrundwerte für PAK können siedlungsbedingt bereits die Prüfwerte übersteigen.
- Gebietsbezogene Informationen zu boden- oder nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen aus vorliegenden Untersuchungen oder Bodenbelastungskarten können bereits in der Relevanzprüfung integriert werden.
- Es wird empfohlen gebietsbezogene Beurteilungswerte abzuleiten und zu begründen.
- Zur verwaltungstechnischen Umsetzung solcher Beurteilungswerte kann die Ausweisung von Bodenschutzgebieten geprüft werden.

## 4 Umgang mit Altfällen

In diesem Kapitel wird kurz beleuchtet, wie mit Fällen umgegangen werden kann, für die gemäß den Regelungen der bis 01.08.2023 gültigen BBodSchV (1999) der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten konnte und bei denen aufgrund der aktualisierten Anforderungen an die PAK-Bewertung die Frage auftaucht, inwieweit diese abschließende Gefahrenbeurteilung weiterhin Bestand haben kann.

Mit dem Ziel, den daraus resultierenden erneuten Aufwand möglichst gering zu halten, wurde geprüft, welche Möglichkeiten das hier vorgestellte „NRW-Modell“ dazu bietet. Entscheidend dafür ist, welche Analysedaten (Angaben zu Gesamtgehalten aller PAK<sub>16</sub> oder nur BaP, Angaben zur Resorptionsverfügbarkeit RV) im konkreten Fall vorliegen.

Im Ergebnis kann grundsätzlich von vier unterschiedlichen Fallgestaltungen ausgegangen werden, die basierend auf der unterschiedlichen Kenntnis- und Datenlage jeweils eine angepasste Herangehensweise erfordern. Vorauszusetzen ist dabei, dass im Vorfeld geprüft wurde, ob das der Bewertung zugrundeliegende Nutzungsszenario noch passt, beispielsweise durch Ortsbegehungen oder durch Auswertung aktueller Luftbilder.

Nachfolgend wird die mögliche Vorgehensweise für die vier unterschiedenen Fallgestaltungen grob skizziert:

### Fallgestaltung 1: Analytik mit Angaben für alle PAK<sub>16</sub>, ohne Angabe zur RV

- Abgleich BaP-Gehalt mit nutzungsspezifischem Prüfwert PAK/BaP (0,5 bzw. 1,0 mg/kg)
- Bei Überschreitung des nutzungsspezifischen Prüfwertes PAK/BaP:  
Berechnung  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  und Abgleich mit BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (1,3 bzw. 2,6 mg/kg)
- Bei Einhaltung des BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ : Gefahrenverdacht ausgeräumt.
- Bei Überschreitung des BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ :  
Abgleich mit der Untergrenze im Rahmen der Relevanzprüfung (2,0 mg/kg bzw. 4,0 mg/kg)
- Bei Einhaltung der Untergrenze kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten.
- Bei Überschreitung der Untergrenze ist der Gefahrenverdacht nicht ausgeräumt. Sofern eine Beseitigung der Gefahr durch einfache Maßnahmen nicht möglich ist, sind weitere Sachverhaltsermittlungen im Rahmen einer Detailuntersuchung notwendig:
  - Bestimmung RV der PAK<sub>8</sub> aus geeigneten Rückstellproben
  - Bewertung der PAK<sub>8</sub>-TEQ<sub>RV</sub> anhand der Beurteilungswerte
  - ggf. erneute Bodenuntersuchung

Sofern eine Vielzahl derartiger Altfälle vorliegt, wäre bei Bedarf eine Prioritätenbildung sinnvoll; diese könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

1. Priorität: Flächen mit  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} >$  doppelte Untergrenze  
(d.h.  $> 4,0$  mg/kg bzw.  $8,0$  mg/kg)
2. Priorität: Flächen mit  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} \leq$  doppelte Untergrenze  
(d.h.  $\leq 4,0$  mg/kg bzw.  $8,0$  mg/kg)

### **Fallgestaltung 2: Analytik nur mit Angaben für BaP, ohne Angabe zur RV**

- Abgleich BaP-Gehalt mit nutzungsspezifischem Prüfwert PAK/BaP (0,5 bzw. 1,0 mg/kg). Dabei wird unterstellt, dass typische PAK-Muster vorliegen und BaP einen Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  von ca. 35-40 % einnimmt.
- Bei Überschreitung des nutzungsspezifischen Prüfwertes:  
Abgleich mit der Untergrenze im Rahmen der Relevanzprüfung (0,75 mg/kg bzw. 1,50 mg/kg; analoge Ableitung auf Basis einer Resorptionsverfügbarkeit von 70 %, die dem 95. Perzentil der ausgewerteten Daten für NRW entspricht; vgl. Kapitel 2.1.3.1);
- Bei Einhaltung der Untergrenze BaP kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten.
- Bei Überschreitung der Untergrenze ist der Gefahrenverdacht nicht ausgeräumt. Sofern eine Beseitigung der Gefahr durch einfache Maßnahmen nicht möglich ist, sind weitere Sachverhaltsermittlungen im Rahmen einer Detailuntersuchung notwendig:
  - Bestimmung der  $\text{PAK}_{16}$  sowie bei Bedarf der RV für die  $\text{PAK}_8$  aus geeigneten Rückstellproben und Bewertung der Ergebnisse
  - erneute Bodenuntersuchung

Sofern eine Vielzahl derartiger Altfälle vorliegt, wäre bei Bedarf eine Prioritätenbildung sinnvoll. Diese könnte beispielsweise, sofern nur die Höhe der Bodenbelastung ausschlaggebend sein soll, wie folgt aussehen:

1. Priorität: Flächen mit BaP-Gehalt > doppelte Untergrenze  
(d.h. > 1,5 mg/kg bzw. 3,0 mg/kg)
2. Priorität: Flächen mit BaP-Gehalt  $\leq$  doppelte Untergrenze  
(d.h.  $\leq$  1,5 mg/kg bzw. 3,0 mg/kg)

### Fallgestaltung 3: Analytik mit Angaben für alle PAK<sub>16</sub> und RV für BaP

- Abgleich BaP-Gehalt mit nutzungsspezifischem Prüfwert PAK/BaP (0,5 bzw. 1,0 mg/kg)
- Bei Überschreitung des nutzungsspezifischen Prüfwertes PAK/BaP:  
Berechnung  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  und Abgleich mit BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (1,3 bzw. 2,6 mg/kg)
- Bei Einhaltung BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ : Gefahrenverdacht ausgeräumt
- Bei Überschreitung des BW  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ :  
Abgleich mit der Untergrenze im Rahmen der Relevanzprüfung (2,0 mg/kg bzw. 4,0 mg/kg)
- Bei Einhaltung der Untergrenze kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten.
- Bei Überschreitung der Untergrenze ist der Gefahrenverdacht nicht ausgeräumt. In diesem Fall erfolgt die Berechnung des Beurteilungswertes BW BaP-TEQ<sub>rv</sub> mit Hilfe des Anteils BaP-TEQ an der Summe  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (vgl. Kapitel 2.2.1.2).
- Bei Überschreitung des Beurteilungswertes BaP<sub>rv</sub> ist die Gefahr als bestätigt anzusehen und es sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.  
Alternativ wären die Bestimmung der RV für die PAK<sub>8</sub> aus geeigneten Rückstellproben oder erneute Bodenuntersuchungen möglich.
- Bei Einhaltung des Beurteilungswertes BaP<sub>rv</sub> kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten.

Sofern eine Vielzahl derartiger Altfälle vorliegen, kann eine Prioritätenbildung sinnvoll sein. Diese könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

1. Priorität: Flächen mit resorptionsverfügbaren BaP-Gehalten > doppelter Beurteilungswert BW BaP<sub>rv</sub>
2. Priorität: Flächen mit resorptionsverfügbaren BaP-Gehalten ≤ doppelter Beurteilungswert BW BaP<sub>rv</sub>

#### **Fallgestaltung 4: Analytik nur mit Angaben für BaP inkl. Angabe zur RV**

- Abgleich des resorptionsverfügbaren Gehaltes an BaP mit dem nutzungsspezifischen Beurteilungswert  $BaP_{rv}$  (0,5 bzw. 1,0 mg/kg). Dabei wird unterstellt, dass typische PAK-Muster vorliegen und BaP einen Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente  $\sum PAK_{16}TEQ$  von ca. 35-40% einnimmt und dass sich außerdem die RV von BaP ähnlich wie die RV der  $PAK_8$  verhält.
- Bei Überschreitung des Beurteilungswertes  $BW BaP_{rv}$  ist die Gefahr als bestätigt anzusehen und es sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.  
Alternativ wäre die Bestimmung der  $PAK_{16}$  und/oder der RV für die  $PAK_8$  aus geeigneten Rückstellproben oder erneute Bodenuntersuchungen möglich.
- Bei Einhaltung des Beurteilungswertes  $BW BaP_{rv}$  kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten.

Sofern eine Vielzahl derartiger Altfälle vorliegen, kann eine Prioritätenbildung sinnvoll sein. Diese könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

1. Priorität: Flächen mit resorptionsverfügbaren BaP-Gehalten > doppelter Beurteilungswert  $BW BaP_{rv}$
2. Priorität: Priorität haben Flächen mit resorptionsverfügbaren BaP-Gehalten  $\leq$  doppelter  $BW$  Beurteilungswert  $BaP_{rv}$

## 5 Praxisbeispiele

Es folgen drei Fallbeispiele zur Verdeutlichung der Vorgehensweise.

- Im **Fallbeispiel A** wird an einem Einzelfall die methodische Vorgehensweise Schritt für Schritt erläutert und die Anwendung der NRW-Methode in einfachen Standardfällen beispielhaft gezeigt.
- In **Fallbeispiel B** geht es um die Untersuchung und Bewertung eines größeren, sensibel genutzten Standortes, für den bekanntermaßen eine homogene PAK-Belastung anzunehmen ist. Schwerpunkt dieses Fallbeispiels bilden exemplarische Auswertungen einer Stichprobe, mit dem Ziel, die Relevanzgrenzen standortspezifisch festzulegen und den Untersuchungsaufwand in der Detailuntersuchung deutlich zu minimieren.
- In **Fallbeispiel C** wird die Vorgehensweise für Gebiete mit siedlungsbedingt erhöhten PAK-Gehalten exemplarisch vorgestellt. Hierbei werden Vorkenntnisse und Daten aus der BBK integriert und bereits vorliegende Konzepte für gebietsbezogene Beurteilungswerte aktualisiert. Die angenommene Datenlage entspricht ungefähr der eines Altalles der Fallgestaltung 3 (vgl. Kapitel 4).

### 5.1 Fallbeispiel A (Einzelfall)

Auf dem Kinderspielplatz *Namenlos* wurden im Rahmen der orientierenden Untersuchung Bodenuntersuchungen auf den beiden Rasenflächen, die den mit Spielgeräten bestückten Sandspielbereich umgeben, durchgeführt. Aufgrund substratbedingter Unterschiede wurde dabei zwischen einem nördlichen und einem südlichen Entnahmebereich (N bzw. S) differenziert. Die Probenahme erfolgte gemäß BBodSchV für die Tiefen 0-10 cm und 10-30 cm. Insgesamt wurden vier flächenrepräsentative Mischproben genommen (N-1, N-2, S-1 und S-2) und laboranalytisch untersucht.

Während die im Labor ermittelten Gehalte an Schwermetallen und Arsen unterhalb des jeweiligen Prüfwerts für das Nutzungsszenario Kinderspielflächen lagen, überschritten die Gehalte an BaP in den jeweils oberen Proben mit 0,75 und 1,1 mg/kg den Prüfwert für PAK/BaP für Kinderspielflächen von 0,5 mg/kg. Die Details dazu und die Gehalte der anderen PAK<sub>16</sub> sind der folgenden Tabelle 9 zu entnehmen.

**Tabelle 9:** Gehalte an PAK<sub>16</sub> für die beiden Rasenflächen (Kinderspielplatz Namenlos) [mg/kg]; Überschreitung Prüfwert Kinderspielflächen

Proben_ID	Tiefe [cm]	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr
N-1	0-10	0,03	0,00	0,05	0,10	1,10	0,23	1,50	1,30
N-2	10-30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,24	0,05	0,60	0,54
S-1	0-10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,81	0,19	2,29	1,72
S-2	10-30	0,03	0,07	0,03	0,03	0,30	0,09	1,00	0,90
Proben_ID	Tiefe [cm]	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
N-1	0-10	0,76	0,81	0,46	0,32	0,75	0,60	0,41	0,07
N-2	10-30	0,36	0,43	0,62	0,33	0,32	0,20	0,26	0,07
S-1	0-10	1,20	1,10	1,70	0,50	1,10	0,82	0,75	0,19
S-2	10-30	0,40	0,40	0,60	0,30	0,50	0,30	0,30	0,03

Somit ist für die beiden Entnahmebereiche N-1 und S-1 der Gefahrenverdacht für die Entnahmetiefe 0-10 cm nicht ausgeräumt, wohl aber für die darunterliegenden 10-30 cm.

Zur PAK-Musterprüfung wird das NRW-Modell angewendet. Dazu werden die Gehalte in das [Excel-Template](#) (Vorlage Anlage 1; Datenblatt *PAK\_Pruefung\_RV\_Gehalt*) übertragen (s. Abbildungen 2 und 3), wobei hier als Nutzungsszenario Kinderspielfläche auszuwählen ist.

Die berechnete Gesamtoxizität  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  überschreitet in zwei Proben den Beurteilungswert von 1,3 mg/kg, wobei allerdings nur im Falle der Probe S-1 mit 3,28 mg/kg die Untergrenze von 2 mg/kg im Rahmen der Relevanzprüfung überschritten wird. Tabelle 10 fasst die Ergebnisse zusammen.

**Tabelle 10:** Ergebnisse der Musterprüfung für die beiden Rasenflächen (Kinderspielplatz Namenlos) [mg/kg TM]

Proben_ID	Tiefe [cm]	$\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$	$\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$
N-1	0-10	1,46	---
N-2	10-30	1,12	---
S-1	0-10	3,28	1,2
S-2	10-30	1,25	---
<b>Beurteilungswert</b>		<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
<b>Relevanzgrenze</b>		<b>2</b>	

Überschreitung Beurteilungswert  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ , aber Einhaltung Untergrenze Relevanzprüfung

Überschreitung Beurteilungswert  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  und Untergrenze Relevanzprüfung

Unterschreitung Beurteilungswert  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$

Im Fall der Probe N-1 kann der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gelten, da die Gesamtoxizität  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  mit 1,46 mg/kg die Untergrenze im Rahmen der Relevanzprüfung einhält bzw. unterschreitet. Unter ergänzender Berücksichtigung der Ergebnisse für die Probe N-2 der darunterliegenden Schicht ist der Gefahrenverdacht insgesamt für den nördlichen Entnahmebereich ausgeräumt.

Für den Teilbereich S-1 wird eine Prüfung der Resorptionsverfügbarkeit als Teil der Detailuntersuchung als zweckmäßig eingeschätzt, da eine Abwehr der Gefahr durch einfache Maßnahmen nicht möglich ist

Im Rahmen der Detailuntersuchung werden im Labor in der Probe S-1 für die acht höhermolekularen PAK (PAK8) die resorptionsverfügbaren Gehalte bestimmt. Die aus der jeweiligen Doppelbestimmung berechneten Mittelwerte werden nach erfolgter Qualitätskontrolle wiederum in das [Excel-Template](#) eingetragen (s. Abbildung 3). Die  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  deckt 99,2% der Toxizitätsäquivalente ab und kann als ausreichend belastbar bewertet werden.

Die Gesamtoxizität der resorptionsverfügbaren Gehalte  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{rv}$  unterschreitet mit 1,2 mg/kg den entsprechenden Beurteilungswert von 1,3 mg/kg, so dass für die Probe S-1 und – unter Berücksichtigung der Ergebnisse für die Probe S-2 der darunterliegenden Schicht – auch für den südlichen Entnahmebereich der Gefahrenverdacht letztlich ausgeräumt ist.

PAK in Böden – Arbeitshilfe für den Wirkungspfad Boden – Mensch

		Messwerte	Prüfschritte: orientierende Untersuchung					DU: Resorptionsverfügbarkeit				Bewertung
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	Spalte 13
Parameter	Kürzel	Probe N-1 (mg/kg)	Maximales Vielfaches bezogen auf BaP	Vielfaches der Messwerte zu BaP	TEF (OPPTS 1992 / FoBiG 1999)	PAK-TEQ (mg/kg)	Anteil an ΣPAK-TEQ (%)	PAK <sub>rv</sub> (%)	PAK <sub>rv</sub> (mg/kg)	PAK-TEQ <sub>rv</sub> (mg/kg)	Anteil an ΣPAK <sub>16</sub> -TEQ (RV gemessen) (%)	Beurteilungswert (mg/kg)
Naphthalin	Naph	0,03	160	0,04	0	0,000	0,00%					
Acenaphtylen	Acy	0,00	5	0,00	0,01	0,000	0,00%					
Acenaphten	Ace	0,05	95	0,07	0	0,000	0,00%					
Fluoren	Flu	0,10	110	0,13	0	0,000	0,00%					
Phenanthren	Phen	1,10	140	1,47	0	0,000	0,00%					
Anthracen	Anth	0,23	240	0,31	0,01	0,002	0,16%					
Fluoranthen	FluA	1,50	55	2,00	0,01	0,015	1,02%					
Pyren	Pyr	1,30	30	1,73	0	0,000	0,00%					
Benz(a)anthracen	BaA	0,76	6	1,01	0,1	0,076	5,2%			n.b.		
Chrysen	Chry	0,81	5	1,08	0,01	0,008	0,6%			n.b.		
Benzo(b)fluoranthen	BbF	0,46	3	0,61	1	0,460	31,4%			n.b.		
Benzo(k)fluoranthen	BkF	0,32	3	0,43	0,1	0,032	2,2%			n.b.		
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>BaP</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>0,750</b>	<b>51,2%</b>			n.b.		
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,60	3	0,80	0,01	0,006	0,4%			n.b.		
Indeno(1,2,3 cd)pyren	I123P	0,41	3	0,55	0,1	0,041	2,8%			n.b.		
Dibenz(ah)anthracen	DBahA	0,07	1,5	0,10	1	0,073	5,0%			n.b.		
												KiSpi
<b>Summe PAK<sub>16</sub></b>		<b>8,49</b>				<b>1,46</b>	<b>100%</b>			<b>0,00</b>	<b>0,0%</b>	<b>1,3</b>
<b>Untergrenze Relevanz</b>		<b>2</b>	<b>mg/kg</b>					<b>unterschritten</b>				
<b>Obergrenze Relevanz</b>		<b>13</b>	<b>mg/kg</b>					<b>unterschritten</b>				
<b>Summe Auswahl</b>		<b>Anzahl RV (0)</b>				<b>1,45</b>	<b>0%</b>			<b>0,00</b>		<b>0,0</b>

Abbildung 2: Für das Fallbeispiel A ausgefülltes Excel-Template – Probe N-1 PAK16-Gesamtgehalte



PAK in Böden – Arbeitshilfe für den Wirkungspfad Boden – Mensch

		Messwerte	Prüfschritte: orientierende Untersuchung					DU: Resorptionsverfügbarkeit				Bewertung
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	Spalte 13
Parameter	Kürzel	Probe S-1 (mg/kg)	Maximales Vielfaches bezogen auf BaP	Vielfaches der Messwerte zu BaP	TEF (OPPTS 1992 / FoBiG 1999)	PAK-TEQ (mg/kg)	Anteil an ΣPAK-TEQ (%)	PAK <sub>rv</sub> (%)	PAK <sub>rv</sub> (mg/kg)	PAK-TEQ <sub>rv</sub> (mg/kg)	Anteil an ΣPAK <sub>16</sub> -TEQ (RV gemessen) (%)	Beurteilungswert (mg/kg)
Naphthalin	Naph	0,03	160	0,02	0	0,000	0,00%					
Acenaphtylen	Acy	0,03	5	0,02	0,01	0,000	0,01%					
Acenaphten	Ace	0,03	95	0,02	0	0,000	0,00%					
Fluoren	Flu	0,03	110	0,02	0	0,000	0,00%					
Phenanthren	Phen	0,81	140	0,74	0	0,000	0,00%					
Anthracen	Anth	0,19	240	0,17	0,01	0,002	0,06%					
Fluoranthen	FluA	2,29	55	2,08	0,01	0,023	0,70%					
Pyren	Pyr	1,72	30	1,56	0	0,000	0,00%					
Benz(a)anthracen	BaA	1,20	6	1,09	0,1	0,120	3,7%	33%	0,40	0,04	3,7%	
Chrysen	Chry	1,10	5	1,00	0,01	0,011	0,3%	31%	0,35	0,00	0,3%	
Benzo(b)fluoranthen	BbF	1,70	3	1,55	1	1,700	51,8%	39%	0,67	0,67	51,8%	
Benzo(k)fluoranthen	BkF	0,50	3	0,45	0,1	0,050	1,5%	54%	0,27	0,03	1,5%	
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>BaP</b>	<b>1,10</b>	<b>1</b>	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>1,100</b>	<b>33,5%</b>	<b>34%</b>	<b>0,37</b>	0,37	33,5%	
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,82	3	0,75	0,01	0,008	0,3%	33%	0,27	0,00	0,3%	
Indeno(1,2,3 cd)pyren	I123P	0,75	3	0,68	0,1	0,075	2,3%	39%	0,29	0,03	2,3%	
Dibenz(ah)anthracen	DBaHA	0,19	1,5	0,17	1	0,190	5,8%	29%	0,05	0,05	5,8%	
												KiSpi
<b>Summe PAK<sub>16</sub></b>		<b>12,47</b>				<b>3,28</b>	<b>100%</b>			1,20	<b>99,2%</b>	<b>1,3</b>
<b>Untergrenze Relevanz</b>		2 mg/kg	<b>überschritten</b>									
<b>Obergrenze Relevanz</b>		13 mg/kg	<b>unterschritten</b>									
<b>Summe Auswahl</b>		<b>Anzahl RV (8)</b>				3,25	99%			<b>1,20</b>		<b>1,3</b>

Abbildung 3: Für das Fallbeispiel A ausgefülltes Excel-Temlate – Probe S-1 PAK<sub>8</sub> nach RV

## 5.2 Fallbeispiel B (Kleingartenanlage) – Errechnung standorttypischer Grenzen für die Relevanzprüfung

Das Fallbeispiel betrifft die Kleingartenanlage (KGA) *Musterdörfchen* mit knapp 100 Parzellen. Der Einfachheit halber wird nachfolgend nur der Wirkungspfad Boden-Mensch weiterverfolgt. Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze soll nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe sein.

Aufgrund ihres Charakters und untermauert durch Erhebungen und Befragungen der Bewohner und Bewohnerinnen (vgl. Kapitel 0 zur nutzungsabhängigen Expositions Betrachtung) wird die Anlage für die Betrachtung des Direktpfades in Bezug auf Nutzungsintensität im Sinne eines Wohngebietes eingestuft. Auf einigen Parzellen ist zwar Kinderspiel zu beobachten und z.T. sind zudem Spielgeräte vorzufinden. Aus den Befragungen geht allerdings hervor, dass – sofern Kinderspiel stattfindet – dieses aber nicht täglich erfolgt, sondern eher 1- bis 2-mal die Woche.

Im Zuge einer orientierenden Untersuchung des Oberbodens der Gärten für die Tiefe 0-10 cm und 10-30 cm zeigten sich in einer Vielzahl an Fällen Überschreitungen des Prüfwertes von 1 mg/kg für PAK/BaP.

Für 22 Proben<sup>11</sup> mit BaP-Gehalten zwischen 0,45 und 5,5 mg/kg, die bis auf eine Ausnahme den o.g. Prüfwert überschritten, wurden im Rahmen der Detailuntersuchung die resorptionsverfügbaren Gehalte ermittelt, mit dem Ziel, standortspezifische Beurteilungswerte für die Relevanzprüfung abzuleiten.

Die tabellarische Übersicht zu den 22 Bodenproben inkl. der im Labor bestimmten Gesamtgehalte für die PAK<sub>16</sub> und die resorptionsverfügbaren Gehalte für die acht höhermolekularen PAK<sub>8</sub> findet sich in Tabelle 13; die dazugehörige deskriptive Statistik inkl. obligatorischem Ausreißertest ist Tabelle 14 zu entnehmen. Ausreißer wurden demnach lediglich im Hinblick auf die maximalen Gehalte an Naphthalin, Fluoren und Fluoranthen festgestellt, wobei die genannten PAK-Vertreter im Hinblick auf die Gesamtoxizität von untergeordneter Bedeutung sind und daher auf den Ausschluss der betreffenden Werte verzichtet wurde.

Die Vorgehensweise zur Ableitung der standortspezifischen Werte für die Unter- und Obergrenze der Relevanzprüfung richtet sich nach dem in der Arbeitshilfe beschriebenen NRW-Modell (vgl. Kapitel 2.1.3.1).

Zunächst wurde für jede Probe die Gesamtoxizität als  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  bestimmt, wozu das in Anlage 1 abgelegte [Excel-Template](#) zu Hilfe genommen werden kann.

Die Gesamtoxizität nimmt dabei Werte zwischen 1,2 mg/kg und 15,1 mg/kg  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  ein. Dabei repräsentieren die PAK<sub>8</sub> im Mittel 98,4 % der Gesamtoxizität der PAK<sub>16</sub>. Zur Auswertung der resorptionsverfügbaren Gehalte werden die aus der im Labor durchgeführten Doppelbestimmung berechneten Mittelwerte herangezogen. Die resorptionsverfügbaren Gehalte  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{\text{rv}}$  nehmen Werte zwischen 0,31 mg/kg und 5,9 mg/kg an (s. Tabelle 13). Der resorptionsverfügbare Anteil an der Gesamtoxizität  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  liegt bei einem Mittelwert von 33,6 % zwischen 22,0 und 43,5 %.

---

<sup>11</sup> Für anlagen- bzw. gebietsbezogene Auswertungen sollte die Stichprobe eine Mindestanzahl von n = 20 nicht unterschreiten.

Die Berechnung des resorptionsverfügbaren Anteils erfolgt gemäß folgender Formel:

$$\text{resorptionsverfügbare Anteil [\%]} = \frac{\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{rv}}{\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}} \cdot 100$$

Die für die resorptionsverfügbaren Anteile berechneten Quantile (Perzentile) sind folgender Tabelle zu entnehmen (Details s. Tabelle 14).

**Tabelle 11:** Quantile der resorptionsverfügbaren Anteile (KGA *Musterdörfchen*)

Quantil (Perzentil)	rv-Anteil $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ [%]
Quantil: 5%	22,2
Quantil: 10%	24,5
Quantil: 20%	26,3
Quantil: 30%	27,5
Quantil: 40%	30,0
Quantil: 50%	34,2
Quantil: 60%	39,0
Quantil: 70%	39,5
Quantil: 80%	40,5
Quantil: 90%	41,7
Quantil: 95%	43,2

Sie unterscheiden sich merklich von den Vergleichswerten, die im Rahmen der Auswertung für NRW ermittelt und zur Ableitung der Unter- bzw. Obergrenze im Rahmen der standardmäßigen Relevanzprüfung herangezogen wurden (vgl. Kapitel 2.1.3.1).

Die für die Kleingartenanlage *Musterdörfchen* berechnete Unter- und Obergrenze der Relevanzprüfung hinsichtlich des Direktpfads wird unter Verwendung des 95. bzw. 5. Perzentils (22 % bzw. 43 %) wie folgt festgelegt:

$$\text{Untergrenze Kleingartenanlage } \textit{Musterdörfchen} \text{ BW } \sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ} = \frac{2,6 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{0,43} = 6 \text{ mg/kg (gerundet)}$$

$$\text{Obergrenze Kleingartenanlage } \textit{Musterdörfchen} \text{ BW } \sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ} = \frac{2,6 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{0,22} = 12 \text{ mg/kg (gerundet)}$$

Die so ermittelten Ober- und Untergrenzen können herangezogen werden, um zu entscheiden, ob für Oberbodenproben der KGA mit Gesamtgehalten an  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} > 2,6 \text{ mg/kg}$ , für die bisher noch keine Untersuchung zur Resorptionsverfügbarkeit im Hinblick auf den Direktpfad erfolgte, eine solche zweckmäßig oder verzichtbar ist (vgl. Kapitel 2.1.3.1).

**Tabelle 12:** Relevanzgrenzen für Detailuntersuchungen (RV) in der KGA *Musterdörfchen*

$\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$	Fazit
$\leq 6 \text{ mg/kg}$	Gefahrenverdacht ausgeräumt
6 - 12 mg/kg	Detailuntersuchung: RV
$> 12 \text{ mg/kg}$	Gefahr bestätigt

**Tabelle 13:** Analyseergebnisse der 22 Oberbodenproben der Kleingartenanlage „Musterdörfchen“ (Gesamtgehalte) zur Ermittlung der standortspezifischen Unter- und Obergrenzen für die Relevanzprüfung

Proben-ID	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA	ΣPAK <sub>16</sub> TEQ	Anteil ΣPAK <sub>8</sub> TEQ an ΣPAK <sub>16</sub> TEQ
Gesamtgehalte [mg/kg]																	[mg/kg]	[%]
S-01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,57	0,05	1,17	0,75	0,60	0,97	0,52	0,18	<b>0,45</b>	0,42	0,17	0,10	<b>1,19</b>	<b>98,9</b>
S-02	0,13	0,10	0,90	0,85	9,60	1,80	14,00	8,60	1,20	1,10	1,70	0,50	<b>1,10</b>	0,82	0,75	0,19	<b>3,41</b>	<b>95,3</b>
S-03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,12	2,63	1,08	1,20	1,10	1,70	0,57	<b>1,20</b>	0,87	0,83	0,16	<b>3,37</b>	<b>99,2</b>
S-04	0,10	1,80	0,50	1,30	4,50	0,30	4,30	4,00	1,37	1,84	1,55	0,70	<b>1,30</b>	0,90	0,72	0,23	<b>3,45</b>	<b>98,1</b>
S-05	0,24	1,00	0,63	0,75	6,50	1,60	7,00	4,50	1,40	1,30	1,70	0,63	<b>1,30</b>	1,00	0,82	0,18	<b>3,58</b>	<b>97,3</b>
S-06	0,23	0,01	1,60	2,00	7,40	0,93	7,80	5,10	2,30	2,10	2,80	0,96	<b>2,00</b>	1,40	1,50	0,34	<b>5,74</b>	<b>98,5</b>
S-07	0,12	0,12	0,15	0,19	2,61	0,65	9,06	6,34	1,74	1,72	1,89	0,95	<b>2,24</b>	1,67	1,17	0,21	<b>4,86</b>	<b>98,0</b>
S-08	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,84	10,07	0,03	2,74	2,49	2,24	1,10	<b>2,29</b>	1,59	1,29	0,24	<b>5,43</b>	<b>98,0</b>
S-09	6,16	2,38	0,30	0,34	5,40	0,77	8,73	7,51	2,90	2,50	3,60	1,30	<b>2,50</b>	0,94	1,10	0,21	<b>6,99</b>	<b>98,3</b>
S-10	0,29	0,03	0,41	0,15	3,33	0,49	5,76	5,88	2,47	2,99	2,74	1,35	<b>2,74</b>	2,34	1,84	0,57	<b>6,74</b>	<b>99,1</b>
S-11	2,40	0,30	0,19	1,10	7,00	1,70	7,60	6,10	3,42	3,34	4,62	2,87	<b>2,90</b>	1,22	1,40	0,73	<b>9,16</b>	<b>99,0</b>
S-12	2,20	0,09	1,40	2,10	8,10	2,00	8,50	5,90	3,70	3,60	5,10	1,80	<b>3,10</b>	2,20	2,00	0,45	<b>9,56</b>	<b>98,9</b>
S-13	0,37	1,80	0,04	0,78	16,00	3,73	18,70	13,30	5,23	4,99	3,99	1,89	<b>3,24</b>	2,07	1,77	0,32	<b>8,76</b>	<b>97,2</b>
S-14	0,11	0,00	0,20	0,24	2,50	0,45	5,50	4,80	3,80	3,10	5,30	1,70	<b>3,40</b>	1,30	1,50	0,34	<b>9,84</b>	<b>99,4</b>
S-15	0,05	0,11	0,06	0,17	1,88	0,09	7,83	6,55	2,95	4,11	3,41	1,66	<b>3,57</b>	2,49	2,08	0,36	<b>8,16</b>	<b>99,0</b>
S-16	0,30	0,60	0,10	0,20	2,70	0,90	7,90	6,50	4,40	3,90	5,40	2,00	<b>3,60</b>	2,60	2,40	0,58	<b>10,62</b>	<b>99,1</b>
S-17	2,92	0,03	0,31	0,28	4,46	0,71	7,03	11,72	4,00	3,40	5,90	2,00	<b>3,70</b>	1,40	1,70	0,38	<b>10,88</b>	<b>99,3</b>
S-18	0,05	0,12	0,08	0,20	2,70	0,45	8,40	7,20	4,00	3,80	5,20	1,70	<b>3,80</b>	2,90	2,70	0,69	<b>10,69</b>	<b>99,2</b>
S-19	0,20	0,18	0,36	7,30	9,80	4,90	8,00	6,80	4,90	4,90	6,00	1,90	<b>4,10</b>	2,60	2,60	0,65	<b>11,90</b>	<b>98,9</b>
S-20	5,70	2,80	0,10	3,80	27,00	6,40	29,00	20,00	6,64	7,22	4,81	2,41	<b>4,48</b>	3,06	2,52	0,52	<b>11,46</b>	<b>96,7</b>
S-21	0,40	0,38	0,15	0,88	9,92	1,28	11,99	10,36	5,50	5,20	7,80	2,40	<b>5,10</b>	3,70	3,70	0,81	<b>15,10</b>	<b>99,1</b>
S-22	0,15	0,01	0,32	0,23	6,00	0,94	12,00	9,70	6,70	6,00	5,70	4,40	<b>5,50</b>	2,90	3,00	0,81	<b>13,64</b>	<b>99,1</b>

**Tabelle 14:** Analyseergebnisse der 22 Oberbodenproben der Kleingartenanlage „Musterdörfchen“ nach Resorptionsverfügbarkeit zur Ermittlung der standortspezifischen Unter- und Obergrenzen für die Relevanzprüfung

Proben-ID	BaA-rv	Chry-rv	BbF-rv	BkF-rv	BaP-rv	BghiP-rv	l123P-rv	DBahA-rv	$\Sigma$ PAK <sub>8</sub> TEQ <sub>rv</sub>	rv-An- teil
	resorptionsverfügbare Gehalte [mg/kg]								[mg/kg]	[%]
<b>S-01</b>	0,14	0,18	0,12	0,06	<b>0,13</b>	0,10	0,05	0,03	<b>0,31</b>	<b>26,3</b>
<b>S-02</b>	0,40	0,35	0,77	0,27	<b>0,47</b>	0,27	0,29	0,05	<b>1,40</b>	<b>40,9</b>
<b>S-03</b>	0,25	0,26	0,37	0,15	<b>0,26</b>	0,12	0,27	0,04	<b>0,74</b>	<b>22,0</b>
<b>S-04</b>	0,34	0,39	0,39	0,17	<b>0,32</b>	0,22	0,17	0,06	<b>0,84</b>	<b>24,5</b>
<b>S-05</b>	0,58	0,46	0,61	0,26	<b>0,62</b>	0,40	0,31	0,06	<b>1,41</b>	<b>39,4</b>
<b>S-06</b>	1,08	0,79	1,21	0,35	<b>0,89</b>	0,41	0,59	0,08	<b>2,40</b>	<b>41,7</b>
<b>S-07</b>	0,51	0,46	0,49	0,23	<b>0,54</b>	0,40	0,27	0,05	<b>1,19</b>	<b>24,5</b>
<b>S-08</b>	0,93	0,77	0,72	0,37	<b>0,76</b>	0,48	0,40	0,08	<b>1,74</b>	<b>32,0</b>
<b>S-09</b>	1,40	1,30	1,30	0,90	<b>1,20</b>	0,70	0,90	0,20	<b>3,04</b>	<b>43,5</b>
<b>S-10</b>	0,67	0,81	0,77	0,36	<b>0,77</b>	0,68	0,48	0,15	<b>1,85</b>	<b>27,5</b>
<b>S-11</b>	1,30	1,20	1,30	0,80	<b>0,90</b>	0,10	0,10	0,30	<b>2,73</b>	<b>29,8</b>
<b>S-12</b>	1,19	1,88	2,02	0,61	<b>1,16</b>	0,60	0,55	0,12	<b>3,56</b>	<b>37,3</b>
<b>S-13</b>	1,78	1,69	1,32	0,63	<b>1,00</b>	0,58	0,51	0,09	<b>2,73</b>	<b>31,2</b>
<b>S-14</b>	1,80	1,60	1,60	1,20	<b>1,70</b>	1,00	1,30	0,20	<b>3,96</b>	<b>40,2</b>
<b>S-15</b>	0,91	1,23	0,99	0,48	<b>0,93</b>	0,67	0,56	0,08	<b>2,21</b>	<b>27,1</b>
<b>S-16</b>	1,10	0,82	2,18	0,94	<b>1,18</b>	0,71	0,96	0,19	<b>3,87</b>	<b>36,4</b>
<b>S-17</b>	1,40	1,40	1,50	1,00	<b>1,20</b>	0,80	1,00	0,20	<b>3,26</b>	<b>30,0</b>
<b>S-18</b>	2,24	2,25	1,76	0,20	<b>1,82</b>	0,27	1,06	0,27	<b>4,23</b>	<b>39,5</b>
<b>S-19</b>	2,58	2,84	2,17	0,88	<b>2,06</b>	1,06	1,32	0,39	<b>5,14</b>	<b>43,2</b>
<b>S-20</b>	1,59	1,66	1,11	0,53	<b>1,03</b>	0,61	0,50	0,12	<b>2,54</b>	<b>22,2</b>
<b>S-21</b>	1,92	1,61	2,87	1,11	<b>2,29</b>	1,36	1,64	0,23	<b>5,89</b>	<b>39,0</b>
<b>S-22</b>	2,70	1,90	2,30	1,70	<b>2,30</b>	1,10	1,60	0,30	<b>5,53</b>	<b>40,5</b>

Tabelle 15: Zusammenfassende Statistik der Analyseergebnisse (Gesamtgehalte; Ausreißer in rot)

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA	ΣPAK <sub>16</sub> TEQ	Anteil ΣPAK <sub>8</sub> TEQ an ΣPAK <sub>16</sub> TEQ	
	Gesamtgehalte [mg/kg]																[mg/kg]	[%]	
<b>Gültige Fälle</b>	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
<b>Mittelwert</b>	1,01	0,54	0,36	1,04	6,27	1,41	9,23	6,94	3,33	3,26	3,80	1,59	2,89	1,84	1,71	0,41	7,93	98,4	
<b>Median</b>	0,22	0,12	0,20	0,31	4,95	0,87	7,95	6,42	3,19	3,22	3,79	1,68	3,00	1,63	1,60	0,35	8,46	98,9	
<b>Standardabweichung</b>	1,80	0,85	0,43	1,67	6,04	1,62	5,77	4,38	1,75	1,68	1,91	0,94	1,33	0,89	0,86	0,22	3,73	1,0	
<b>Minimum</b>	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,05	1,17	0,03	0,60	0,97	0,52	0,18	0,45	0,42	0,17	0,10	1,19	95,3	
<b>Maximum</b>	6,16	2,80	1,60	7,30	27,00	6,40	29,00	20,00	6,70	7,22	7,80	4,40	5,50	3,70	3,70	0,81	15,10	99,4	
<b>Unteres Quartil</b>	0,10	0,03	0,08	0,19	2,61	0,45	7,00	4,80	1,74	1,84	1,89	0,95	2,00	1,00	1,10	0,21	4,86	98,0	
<b>Oberes Quartil</b>	0,40	0,60	0,41	1,10	8,10	1,70	10,07	8,60	4,40	4,11	5,30	2,00	3,70	2,60	2,40	0,58	10,69	99,1	
<b>Interquartile Bereich</b>	0,30	0,58	0,33	0,91	5,49	1,25	3,07	3,80	2,66	2,27	3,41	1,05	1,70	1,60	1,30	0,37	5,82	1,1	
<b>untere Schranke*</b>	-1,29	-2,76	-1,46	-4,24	-22,50	-5,38	-7,40	-12,58	-10,10	-8,13	-13,25	-3,59	-5,50	-6,37	-4,90	-1,48	-20,66	93,38	
<b>obere Schranke*</b>	1,72	2,99	1,85	4,86	32,40	7,12	23,30	25,42	16,47	14,57	20,84	6,95	11,50	9,63	8,10	2,18	37,57	104,46	

**Tabelle 16:** Zusammenfassende Statistik der Analyseergebnisse nach Resorptionsverfügbarkeit

	BaA-rv	Chry-rv	BbF-rv	BkF-rv	BaP-rv	BghiP-rv	I123P-rv	DBahA-rv	$\Sigma$ PAK <sub>8</sub> TEQ <sub>rv</sub>	rv-Anteil $\Sigma$ PAK TEQ
	resorptionsverfügbare Gehalte [mg/kg]								[mg/kg]	[%]
<b>Gültige Fälle</b>	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
<b>Mittelwert</b>	1,22	1,18	1,27	0,60	1,07	0,58	0,67	0,15	2,75	33,6
<b>Median</b>	1,15	1,22	1,25	0,51	0,97	0,59	0,53	0,12	2,64	34,2
<b>Standardabweichung</b>	0,74	0,71	0,73	0,42	0,62	0,34	0,48	0,10	1,56	7,3
<b>Minimum</b>	0,14	0,18	0,12	0,06	0,13	0,10	0,05	0,03	0,31	22,0
<b>Maximum</b>	2,70	2,84	2,87	1,70	2,30	1,36	1,64	0,39	5,89	43,5
<b>Unteres Quartil</b>	0,58	0,46	0,72	0,26	0,62	0,27	0,29	0,06	1,41	27,1
<b>Oberes Quartil</b>	1,78	1,66	1,76	0,90	1,20	0,71	1,00	0,20	3,87	40,2
<b>Interquartile Bereich</b>	1,20	1,20	1,04	0,64	0,58	0,44	0,71	0,14	2,46	13,1
<b>untere Schranke*</b>	-4,86	-4,77	-3,96	-2,71	-1,91	-1,60	-3,00	-0,58	-9,65	-31,17
<b>obere Schranke*</b>	7,16	7,20	6,47	3,72	3,84	2,78	4,07	0,82	14,92	99,59



### 5.3 Fallbeispiel C (Gebietsbezogene Betrachtung)

Die Stadt *Musterstadt* liegt in einem dicht besiedelten Bereich von NRW (Ballungskern Typ A) und hat bereits frühzeitig eine Bodenbelastungskarte (BBK) zur Veranschaulichung der großflächigen Belastungssituation des Bodens für die dort bekanntermaßen relevanten Parameter Arsen, Blei, Cadmium und PAK erstellt.

Im Zuge dieser Arbeiten wurden in Wohngebieten erhöhte BaP-Gehalte gemessen. Für den Horizont von 0-10 cm wurden außerhalb von altlastenverdächtigen Flächen folgende Kenngrößen ermittelt:

- Mittelwert: 0,58 mg BaP/kg TM
- Median: 0,33 mg BaP/kg TM
- 75.-Perz.: 0,80 mg BaP/kg TM
- 90.-Perz.: 1,4 mg BaP/kg TM

Im Abgleich mit den aktualisierten Prüfwerten PAK/BaP ist daher je nach Auswahl des Nutzungsszenarios mit einer größeren Anzahl an Flächen mit Prüfwertüberschreitung zu rechnen. Es ist von großflächig siedlungsbedingt erhöhten PAK-Gehalten auszugehen.

Für Hausgärten, in denen ortsüblich Kleinkinder auch unbeaufsichtigt spielen, orientiert sich die Stadt *Musterstadt* bei der Bewertung des Wirkungspfades Boden-Mensch an dem Prüfwert für „Kinderspielflächen“.

Für Kleingärten wendet die Stadt den Prüfwert für den Wirkungspfad Boden-Mensch im Sinne des Nutzungsszenarios „Wohngebiete“ an, mit der Begründung, dass sich Kleinkinder aufgrund der Entfernung zur Wohnadresse nur in Begleitung Erwachsener und im Vergleich zum Hausgarten weniger häufig in Kleingärten aufhalten (vgl. LABO 2020).

Die Stadt *Musterstadt* hatte in Kenntnis dieser siedlungsbedingt erhöhten Gehalte bereits zahlreiche Untersuchungen zur Schadstoffverteilung im Stadtgebiet sowie auch zur Mobilisierbarkeit durchgeführt. Abschätzungen zu nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen für wohnbaulich genutzte Flächen liegen nicht vor (vgl. Exkurs).

#### Exkurs:

In einigen Städten und Regionen wurden in der Vergangenheit für die Bewertung erhöhter Bodengehalte umfangreiche Erhebungen zu nutzungsspezifischen Expositionsbedingungen auf wohnbaulich genutzten Flächen durchgeführt. So wurde für eine ländliche geprägte Region eine Feldstudie zum Kinderspielverhalten durchgeführt, vor dem Hintergrund der standorttypischen Witterungsbedingungen sowie auch der wohnbaulichen Strukturen, Hausgartengrößen und der räumlichen Infrastruktur, wie beispielsweise dem Angebot öffentlicher Kinderspielplätze. Methodische Hintergründe und Vorgaben hierzu finden sich in der LABO-Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung (LABO 2020).

Im Ergebnis konnten für die Region standorttypische Expositionsfaktoren abgeleitet und begründet werden, mit Hilfe derer die Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte (gBW) für die ortstypische Nutzung erfolgte. Entsprechende Vorarbeiten oder Informationen können auch hier im Zuge einer Neubewertung von PAK-Belastungen sinnvoll integriert werden. Dabei ist allerdings auf die Wahl bzw. ggf. Anpassung des Risikoniveaus für die Bewertung der kanzerogenen Wirkungen von PAK zu achten.

In Abbildung 5 ist die mögliche Integration eines nutzungsabhängigen Expositionsfaktors in Spalte 14 und 15 dargestellt. Der standortspezifische Expositionsfaktor wirkt sich multiplikativ auf die Berechnung des gebietsbezogenen Beurteilungswertes (gBW) aus:

$$\text{gBW} = \text{Prüfwert} * \text{nutzungsabhängiger Expositionsfaktor}$$

*Beispiel:* Wurde ein gebietsspezifischer Expositionsfaktor von 3 ermittelt, basierend auf der Abschätzung, dass die Bodenaufnahmerate aufgrund von ortstypischen Nutzungsgewohnheiten, Witterungsbedingungen begründet auf 1/3 gesenkt ist, errechnet sich der gBW für Hausgärten wie folgt:

$$\text{gBW} = 0,5 \text{ mg/kg} * 3 = 1,5 \text{ mg/kg}$$

Um den bereits vorliegenden Erkenntnissen und Daten Rechnung zu tragen, hat die Stadt *Musterstadt* statistische Datenauswertungen durchgeführt, um gebietsbezogene Beurteilungswerte im Sinne der bodenschutzrechtlichen Vorgaben zu begründen.

Dabei sind Zusammenhänge zwischen den gemessenen BaP-Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren BaP-Gehalten nachgewiesen worden, sodass die Ergebnisse der Resorptionsverfügbarkeit als gebietstypische (bodenabhängige) Expositionsbedingungen in die Ableitung der gebietsbezogenen Beurteilungswerte (gBW) für *Musterstadt* eingeflossen sind.

Wichtig ist festzuhalten, dass die gebietsbezogenen Beurteilungswerte (gBW) Maßnahmenwerte im Sinne der BBodSchV darstellen. Ein Überschreiten der gBW zeigt somit einen Bedarf an Maßnahmen zur Gefahrenabwehr an.

#### **Exkurs: standorttypische resorptionsverfügbare Gehalte**

Zusammenhänge zwischen BaP-Gehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden sind an den meisten Standorten nachweisbar. Einflussgrößen, die die Resorptionsverfügbarkeit bestimmen, sind jedoch noch nicht eindeutig belegt. Es gibt Hinweise darauf, dass beispielsweise das Alter der Bebauung als Hintergrund für die Ursache möglicher PAK-Belastungen eine Rolle spielen kann.

In einem Forschungsvorhaben für die Stadt Wuppertal wird derzeit untersucht, inwieweit im Stadtgebiet für die Alterskategorien der Bebauung:

- Kriegszerstört und wieder aufgebaut
- Wohnen < 1919
- Wohnen 1919-1948
- Wohnen 1949-1968

Unterschiede in der Resorptionsverfügbarkeit für die relevanten PAK<sub>8</sub> festzustellen sind. Ziel ist es, Kriterien für die Begründung typischer Resorptionsverfügbarkeiten abzuleiten und damit gebietsbezogene Beurteilungswerte zu begründen.

Die Stadt *Musterstadt* hat sich für die Ableitung nutzungsbezogener unterer (gBW<sub>u</sub>) und oberer (gBW<sub>o</sub>) gebietsbezogenen Beurteilungswertes (bisher nur) für BaP entschlossen, die folgendermaßen definiert sind:

**gBW<sub>U</sub>** Bei Unterschreitung des gBW<sub>U</sub> (unterer Beurteilungswert) kann davon ausgegangen werden, dass von den Bodenbelastungen mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Gefahren für die menschliche Gesundheit ausgehen.

Die alleinige Überschreitung des gBW<sub>U</sub> hat weiche („weniger strenge“) Maßnahmen zur Folge, wie beispielsweise das Anlegen einer geschlossenen, dauerhaften Vegetationsdecke, um offenen Boden zu vermeiden. Entsprechende Maßnahmen empfiehlt die Musterstadt aus Gründen des vorsorgenden Gesundheitsschutzes im gesamten Stadtgebiet.

**gBW<sub>O</sub>:** Im Falle der Überschreitung eines gBW<sub>O</sub> ist davon auszugehen, dass Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit bestehen. Betrifft die Überschreitung des gBW<sub>O</sub> den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad), sind im Regelfall eingriffsintensive Sanierungsmaßnahmen erforderlich (z.B. Bodenaustausch).

Aufgrund der neuen bodenschutzrechtlichen Vorgaben zur PAK-Bewertung soll nun das Konzept der gebietsbezogenen Beurteilungswerte entsprechend aktualisiert und angepasst werden.

Für die Ableitung und Begründung solcher gBW hat sich die Stadt Musterstadt dazu am NRW-Modell orientiert und zunächst die vorhandenen Daten gesichtet.

Zur Auswertung stehen ihr die Messwerte für die Gesamtgehalte PAK<sub>16</sub>, die in einer Datenbank dokumentiert wurden, sowie die resorptionsverfügbaren BaP-Gehalte, bestimmt nach DIN 19738:2017-06 zur Verfügung (vgl. Kapitel 2.2.1, Fallgestaltung 3).

### Musterprüfung

Standardmäßig muss die PAK-Musterprüfung am Anfang der Bewertungsschritte stehen. Hierzu führt die Stadt *Musterstadt* Auswertungen der Daten für alle PAK<sub>16</sub> durch und berechnet die Toxizitätsäquivalente repräsentativer Proben. Ziel der Auswertungen ist letztendlich, typische Verteilungen der PAK-TEQ (vgl. Anlage 1, Spalte 8) sowie statistische Kenndaten für die Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  zu ermitteln.

In Abbildung 4 wurde der statistisch ermittelte Mittelwert für die Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  in Höhe von 1,45 mg/kg herangezogen, sowie die typischen Anteile der PAK<sub>8</sub> an der Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  für diese „Mittelwert-Probe“ in Spalte 8 erfasst.

Vergleichend können auch PAK-Muster von Proben betrachtet werden, die das Minimum oder Maximum für die Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  abbilden, um die mögliche Spanne der Abweichungen zu erkennen.

Die Stadt *Musterstadt* hat letztlich durch vergleichende Auswertungen festgestellt, dass das BaP-TEQ typischerweise einen Anteil von 40,1% an der Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  einnimmt, für BbF wurden 41,9%, für DBahA 8,3% ermittelt (vgl. Abbildung 5, Spalte 8). Die übrigen PAK nehmen geringere Anteile von 0,2 bis 3,8% ein. Die PAK<sub>8</sub> decken dabei einen Anteil von 98% ab.

### Relevanzprüfung

Es liegen darüber hinaus auch repräsentative Messungen zur Resorptionsverfügbarkeit von BaP vor. Das 95.-Perzentil wurde mit 36% bestimmt, das 50.-Perzentil mit 17% (s.o.).

Im Vergleich dazu wird im Standardfall von einer 70%-igen Resorptionsverfügbarkeit zur Festlegung der unteren Relevanzgrenze ausgegangen, d.h. für die Stadt Musterstadt bietet sich an, gebietstypische Relevanzgrenzen zu bestimmen. Diese sind in dem Fall gleichbedeutend mit den gebietsbezogenen Beurteilungswerten, die zur Definition erforderlicher Maßnahmen genutzt werden.

Für die übrigen PAK<sub>8</sub> wurden keine Messungen durchgeführt, so dass für diese keine Erkenntnisse über deren Resorptionsverfügbarkeit vorliegen. Die Stadt *Musterstadt* entschließt sich, die für BaP ermittelte Resorptionsverfügbarkeit auf die PAK<sub>8</sub> zu übertragen. Begründet wird dies damit, dass bislang keine Hinweise für eine im Vergleich zu BaP höheren Verfügbarkeit für die PAK<sub>8</sub> vorliegen. Es wird jedoch beschlossen, künftig hierzu Daten zu erheben, um diese Annahme zu untermauern.

Der untere nutzungsbezogene gBW<sub>U</sub> für PAK/BaP für die Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  (im Sinne der unteren Relevanzgrenze) berechnet sich, basierend auf dem 95.-Perzentil für die typische Resorptionsverfügbarkeit beispielsweise für Kinderspielflächen und Hausgärten wie folgt:

$$\text{gBW}_U = \text{BW} \sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ} \cdot \text{PAK}_8 \text{ RV} [\%] = 1,3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{100}{36} = 3,6 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

Der obere nutzungsbezogene gBW<sub>O</sub> für PAK/BaP für die Summe  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  (im Sinne der oberen Relevanzgrenze) berechnet sich, basierend auf dem Median für die typische Resorptionsverfügbarkeit beispielsweise für Kinderspielflächen und Hausgärten wie folgt:

$$\text{gBW}_O = \text{BW} \sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ} \cdot \text{PAK}_8 \text{ RV} [\%] = 1,3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{100}{17} = 7,6 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

Die gBW für Wohngebiete und Kleingärten sowie für Park- und Freizeitanlagen berechnen sich analog. Alle gBW beziehen sich dabei jeweils auf die Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$ ) der toxisch relevanten PAK<sub>8</sub>.

Damit hat die Stadt *Musterstadt* folgende gebietsbezogenen Beurteilungswerte für die Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$ ) abgeleitet:

**Tabelle 17:** Aktualisierte Nutzungs- und gebietsbezogene Beurteilungswerte für Musterstadt (nach BBodSchV 2021 und „NRW-Modell“) [mg/kg TM]

	Prüf- werte	Beurteilungs- werte BW	gBW <sub>u</sub>		gBW <sub>o</sub>	
	PAK/BaP	$\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$	$\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$	BaP*	$\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$	BaP*
Kinderspielflächen	0,5	1,3	3,6	1,5	7,6	3
Hausgärten	0,5**	1,3	3,6	1,5	7,6	3
Wohngebiete	1**	2,6	7,2	3	15,3	6
Kleingärten	1**	2,6	7,2	3	15,3	6
Park-/Freizeitanlagen	1	2,6	7,2	3	15,3	6

\*: Für die Ableitung der gBW für BaP wurde angenommen, dass BaP-TEQ ca. 40% der Summe der Toxizitätsäquivalente  $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$  ausmacht.  
 \*\*: Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze gilt der Prüfwert für BaP von 1 mg/kg.

Unter der Annahme, dass die PAK-Profile gebietsbezogen nur geringfügige Abweichungen zeigen und BaP typischerweise ca. 40% der Summe der Toxizitätsäquivalente ausmacht, wurden vereinfacht auch gBW für BaP (siehe Tabelle 12) für rückwirkend zu betrachtende Altfälle (vgl. hierzu Kapitel 4) abgeleitet (Abbildung 5)<sup>12</sup>.

Der Abgleich mit den ermittelten Daten für die Hintergrundwerte für BaP zeigt, dass die abgeleiteten gBW, für BaP oberhalb des 75.-Perzentils (0,8 mg/kg TM) liegen. Die Anwendbarkeit der gBW erscheint somit praktikabel und geeignet für ein differenziertes Vorgehen.

<sup>12</sup> Generell sollten möglichst  $\text{PAK}_8$  gemessen und bewertet werden, um dem am Standort typischen PAK-Muster gerecht zu werden. Bei einer Begrenzung der Bewertung auf BaP ist zu beachten, dass der Anteil für BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente Beurteilungswerte maßgeblich mitbestimmt (vgl. Kapitel 2.2.1.2 und Tabelle 8).

PAK in Böden – Arbeitshilfe für den Wirkungspfad Boden – Mensch

		Messwerte	Prüfschritte: orientierende Untersuchung			DU: Resorptionsverfügbarkeit				Bewertung	Expositionsfaktor	
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	Spalte 13	Spalte 14	Spalte 15
Parameter	Kürzel	Mittelwerte Musterstadt (mg/kg)	TEF (OPPTS 1992 / FoBiG 1999)	PAK-TEQ (mg/kg)	Typische Anteile an ΣPAK-TEQ (%)	PAK <sub>rv</sub> Musterstadt (95.-Perz.) (%)	PAK <sub>rv</sub> (mg/kg)	PAK-TEQ <sub>rv</sub> (mg/kg)	Anteil an ΣPAK <sub>16</sub> -TEQ (RV gemessen) (%)	Beurteilungswert (mg/kg)		
Naphthalin	Naph		0	0,000	0,00%							
Acenaphthylen	Acy	1,02	0,01	0,010	0,70%							
Acenaphthen	Ace		0	0,000	0,00%							
Fluoren	Flu		0	0,000	0,00%							
Phenanthren	Phen		0	0,000	0,00%							
Anthracen	Anth	0,15	0,01	0,001	0,10%							
Fluoranthren	FluA	1,20	0,01	0,012	0,83%							
Pyren	Pyr		0	0,000	0,00%							
Benz(a)anthracen	BaA	0,55	0,1	0,055	3,8%	36%	0,20	0,02	3,8%			
Chrysen	Chry	0,44	0,01	0,004	0,3%	36%	0,16	0,00	0,3%			
Benz(b)fluoranthren	BbF	0,61	1	0,608	41,9%	36%	0,22	0,22	41,9%			
Benzo(k)fluoranthren	BkF	0,29	0,1	0,029	2,0%	36%	0,10	0,01	2,0%			
Benzo(a)pyren	BaP	0,58	1	0,581	40,1%	36%	0,21	0,21	40,1%			
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,29	0,01	0,003	0,2%	36%	0,10	0,00	0,2%			
Indeno(1,2,3 cd)pyren	I123P	0,20	0,1	0,020	1,4%	36%	0,07	0,01	1,4%			
Dibenz(ah)anthracen	DBahA	0,12	1	0,120	8,3%	36%	0,04	0,04	8,3%			
										KiSpi	Expofaktor	BW
Summe PAK <sub>16</sub>		5,44		1,45	100%			0,51	98,0%	1,3	1	1,3
Untergrenze Relevanz		2	unterschritten									
Obergrenze Relevanz		13	unterschritten									
Summe Auswahl		Anzahl RV (8)		1,42	98%			0,5		1,3		

in diese Kästchen Werte eintragen!

Abbildung 4: Für das Fallbeispiel C ausgefülltes Excel-Template zur Prüfung des Anteils der PAK am ΣPAK-TEQ

		Messwerte	Prüfschritte: orientierende Untersuchung			DU: Resorptionsverfügbarkeit				Bewertung	Expositionsfaktor	
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	Spalte 13	Spalte 14	Spalte 15
Parameter	Kürzel	gBW1	TEF (OPPTS 1992 / FoBiG 1999)	PAK-TEQ (mg/kg)	Anteil an ΣPAK-TEQ (%)	PAK <sub>rv</sub> (%)	PAK <sub>rv</sub> (mg/kg)	PAK-TEQ <sub>rv</sub> (mg/kg)	Anteil an ΣPAK <sub>16</sub> -TEQ (RV gemessen) (%)	Beurteilungswert (mg/kg)		
Naphthalin	Naph		0	0,000								
Acenaphtylen	Acy	0,00	0,01	0,000								
Acenaphten	Ace		0	0,000								
Fluoren	Flu		0	0,000								
Phenanthren	Phen		0	0,000								
Anthracen	Anth	0,00	0,01	0,000								
Fluoranthen	FluA	0,00	0,01	0,000								
Pyren	Pyr		0	0,000								
Benz(a)anthracen	BaA	0,00	0,1	0,000			n.b.	n.b.				
Chrysen	Chry	0,00	0,01	0,000			n.b.	n.b.				
Benzo(b)fluoranthen	BbF	0,00	1	0,000			n.b.	n.b.				
Benzo(k)fluoranthen	BkF	0,00	0,1	0,000			n.b.	n.b.				
Benzo(a)pyren	BaP	1,45	1	1,448	40,1%	36%	0,52	0,52	40,1%			
Benzo(ghi)perylen	BghiP	0,00	0,01	0,000			n.b.	n.b.				
Indeno(1,2,3 cd)pyren	I123P	0,00	0,1	0,000			n.b.	n.b.				
Dibenz(ah)anthracen	DBahA	0,00	1	0,000			n.b.	n.b.				
										KiSpi	Expofaktor	BW
Summe PAK <sub>16</sub>		1,45		3,61	40%			0,52	40,1%	1,3	1	1,3
Untergrenze Relevanz		2	überschritten									
Obergrenze Relevanz		13	unterschritten									
Summe Auswahl		Anzahl RV (1)		1,45	40%			0,5		0,5		

in diese Kästchen Werte eintragen!

Abbildung 5: Für das Fallbeispiel C ausgefülltes Excel-Template zum Abgleich BaP mit dem Beurteilungswert

## **Anhang**

### **A 1 Datenauswertung NRW**

#### **A 1.1 Einleitung**

Im Rahmen der Erstellung der Arbeitshilfe war die Auswertung von Daten zur PAK-Belastung in Oberböden vorgesehen, wobei diese soweit möglich aus NRW stammen sollten. Neben den Gehalten an BaP als Bezugsparameter der PAK lag ein Schwerpunkt auf der Betrachtung der 16 Einzelsubstanzen der PAK<sub>16</sub> sowie der Auswertung vorliegender PAK-Muster.

Dazu wurden verschiedene Ansätze genutzt, die zum einen die Verteilung der Einzel-PAK in Relation zum BaP nutzen (Prüfschritt 1 gemäß Fußnote 3 Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV: „Maximales Vielfaches in Bezug auf BaP“) und zum anderen die relative kanzerogene Potenz der Einzel-PAK in Relation zu BaP als Toxizitätsäquivalente mit Hilfe von Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) berechnen (Prüfschritt 1 gemäß Fußnote 3 Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV: „Anteil BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente“).

Über die Gesamtgehalte hinaus erfolgte eine Auswertung vorhandener Daten zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) für BaP und weiterer PAK, wobei auch hier das Konzept der TEF Berücksichtigung fand.

Die Erkenntnisse der Datenauswertung sind in die Methodik zur PAK-Bewertung (NRW-Modell) eingeflossen.

#### **A 1.2 Auswertung der PAK-Gehalte im Oberboden**

Der Auswertung der Gehalte der PAK<sub>16</sub> im Oberboden lagen mehrere Datensammlungen, wobei alle aus NRW stammten, zugrunde.

##### **A 1.2.1 Beschreibung der Datengrundlage**

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl war, dass neben Angaben zu Gehalten an BaP auch Angaben zu den übrigen PAK<sub>16</sub> vorlagen.

Folgende Tabelle gibt die Übersicht zu den für die Auswertung zur Verfügung gestellten Daten.



**Tabelle 18:** Daten zur Auswertung der Gehalte an 16 PAK<sub>EPA</sub> im Oberboden in NRW

Name Datensammlung	PAK	sonstige Parameter	Jahrgang	sonstige Informationen	Anzahl	Bemerkung
LANUV PAK (Hindersmann)	16 PAK, ΣPAK	z.T. Corg	1986-2016	Name Datensammlung; z.T. Gemeinde, Koordinaten, Datum Probenahme, Tiefe, Nutzung	13.698	mit Duplikaten bzgl. Wuppertal-PAK-KGA bzw. PAK-BBK
Wuppertal PAK-KGA	16 PAK, ΣPAK; z.T. BaP	z.T. pH	1991-2016	Name der Kleingartenanlage, Parzelle, Baujahr, Datum Probenahme, Tiefe, Nutzung, Hinweis zu Altlasten	1.638	
Wuppertal PAK-BBK	16 PAK, ΣPAK	pH, TOC, TIC	2005; z.T. k.A.	Nutzung, Nutzung lt. Bodenbelastungskarte	29	Berechnung Anteil Einzelverbindung an ΣPAK
Duisburg PAK-KGA	16 PAK, ΣPAK	Fraktionen	k.A.	Name der Kleingartenanlage	44	

Zur weiteren Bearbeitung wurden die insgesamt 15.409 Datensätze in eine einheitliche Datenbasis überführt und es erfolgte eine Bereinigung (d.h. Entfernung aus der Datenbasis) in folgenden Schritten:

- Duplikate (n = 983)
- Datensätze Waldaufgabe (n = 1.090)
- unvollständige Angaben zu den PAK<sub>16</sub> bzw. Angabe < BG (n = 3.729)
- Datensätze mit Abweichung angegebener ΣPAK<sub>16</sub> und neu berechneter Summe der 16 PAK > 10% (n = 669); Prüfkriterium für die korrekte Eingabe der Einzelwerte
- Datensätze unpassender Bodentiefe (n = 2.525); da PAK-Gehalte im Oberboden betrachtet werden sollten, wurden letztlich nur diejenigen Proben ausgewertet, deren obere Horizont- oder Schichttiefe in weniger als 30 cm beginnt und deren maximale Beprobungstiefe 100 cm nicht überschreitet (vgl. hierzu auch HINDERSMANN 2018)

Die derart bereinigte Datenbasis umfasst insgesamt 6.413 Datensätze. Die dazugehörige zusammenfassende Statistik kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 19:** Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW) [mg/kg]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr
<b>Gültige Fälle</b>	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413
<b>Mittelwert</b>	0,38	0,16	0,12	0,17	1,38	0,27	2,19	1,63
<b>Median</b>	0,05	0,02	0,03	0,05	0,45	0,08	0,90	0,70
<b>Standardabweichung</b>	1,84	0,92	0,54	1,16	3,49	0,77	4,26	3,02
<b>Minimum</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Maximum</b>	82,00	41,00	21,00	73,01	85,37	17,00	69,00	39,00
<b>Unteres Quartil</b>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,21	0,03	0,43	0,32
<b>Oberes Quartil</b>	0,19	0,08	0,08	0,10	1,20	0,20	2,10	1,60
PAK <sub>16</sub>	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
<b>Gültige Fälle</b>	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413
<b>Mittelwert</b>	1,02	1,14	1,12	0,57	0,96	0,64	0,64	0,21
<b>Median</b>	0,43	0,50	0,50	0,24	0,44	0,30	0,30	0,07
<b>Standardabweichung</b>	1,92	2,03	2,22	1,22	1,63	1,31	1,11	0,57
<b>Minimum</b>	0,01	0,00	0,03	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00
<b>Maximum</b>	30,00	40,00	92,00	59,00	17,60	55,00	23,40	15,10
<b>Unteres Quartil</b>	0,20	0,25	0,25	0,11	0,21	0,15	0,15	0,04
<b>Oberes Quartil</b>	1,00	1,20	1,12	0,59	1,00	0,64	0,66	0,18

Die BaP-Gehalte in den 6.413 validen Bodenproben liegen bei einem Mittelwert von 0,96 mg/kg (Median 0,44 mg/kg) zwischen 0,1 mg/kg und 17,60 mg/kg.

Insgesamt 3.553 Datensätze weisen dabei einen BaP-Gehalt ≤ 0,5 mg/kg auf, 2.860 liegen darüber (vgl. Tabelle 20).

**Tabelle 20:** Verteilung der Gehalte an BaP in Bezug auf die Prüfwerte der BBodSchV 2021

BaP-Gehalt [mg/kg]	Anzahl	Anteil [%]
≤ 0,5	3.553	55,40
> 0,5 bis ≤ 1,0	1.349	21,04
> 1	1.511	23,56
<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,00</b>

Die zusammenfassende Statistik für die Teilmenge der 2.860 Datensätze mit BaP Gehalten > 0,5 mg/kg enthält die folgende Tabelle.

**Tabelle 21:** Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW, mit BaP-Gehalten > 0,5 mg/kg) [mg/kg]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr
<b>Gültige Fälle</b>	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
<b>Mittelwert</b>	0,64	0,30	0,22	0,28	2,52	0,53	4,20	3,12
<b>Median</b>	0,10	0,05	0,05	0,09	1,20	0,20	2,30	1,80
<b>Standardabweichung</b>	2,65	1,31	0,77	0,87	4,80	1,10	5,77	4,04
<b>Minimum</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
<b>Maximum</b>	82,00	41,00	21,00	27,00	85,37	17,00	69,00	39,00
<b>Unteres Quartil</b>	0,05	0,01	0,03	0,05	0,61	0,11	1,40	1,10
<b>Oberes Quartil</b>	0,34	0,18	0,14	0,20	2,36	0,48	4,42	3,30
PAK <sub>16</sub>	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
<b>Gültige Fälle</b>	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
<b>Mittelwert</b>	1,96	2,16	2,11	1,09	1,84	1,20	1,19	0,39
<b>Median</b>	1,13	1,30	1,26	0,65	1,10	0,71	0,73	0,19
<b>Standardabweichung</b>	2,52	2,71	3,04	1,68	2,14	1,80	1,44	0,82
<b>Minimum</b>	0,06	0,00	0,03	0,03	0,51	0,04	0,00	0,00
<b>Maximum</b>	22,90	40,00	92,00	59,00	17,60	55,00	23,40	15,10
<b>Unteres Quartil</b>	0,71	0,81	0,80	0,40	0,72	0,46	0,47	0,10
<b>Oberes Quartil</b>	2,10	2,30	2,30	1,20	1,94	1,30	1,30	0,37

Die folgende Tabelle beinhaltet die zusammenfassende Statistik für die Teilmenge der 3.553 Datensätze mit BaP Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg.

**Tabelle 22:** Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW, mit BaP-Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg) [mg/kg]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr
<b>Gültige Fälle</b>	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553
<b>Mittelwert</b>	0,16	0,06	0,05	0,08	0,46	0,06	0,57	0,43
<b>Median</b>	0,03	0,01	0,02	0,02	0,24	0,04	0,47	0,36
<b>Standardabweichung</b>	0,61	0,36	0,20	1,35	1,24	0,10	0,42	0,34
<b>Minimum</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Maximum</b>	16,50	18,10	10,00	73,01	50,30	2,70	6,30	10,60
<b>Unteres Quartil</b>	0,01	0,00	0,01	0,01	0,14	0,02	0,30	0,22
<b>Oberes Quartil</b>	0,09	0,05	0,05	0,05	0,40	0,07	0,74	0,56
PAK <sub>16</sub>	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
<b>Gültige Fälle</b>	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553
<b>Mittelwert</b>	0,27	0,32	0,32	0,15	0,25	0,19	0,20	0,05
<b>Median</b>	0,22	0,28	0,27	0,12	0,23	0,16	0,16	0,04
<b>Standardabweichung</b>	0,52	0,20	0,20	0,11	0,12	0,12	0,36	0,06
<b>Minimum</b>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00
<b>Maximum</b>	30,00	2,84	2,63	1,32	0,50	1,70	20,00	1,60
<b>Unteres Quartil</b>	0,14	0,18	0,18	0,08	0,15	0,10	0,10	0,02
<b>Oberes Quartil</b>	0,35	0,42	0,41	0,20	0,35	0,25	0,25	0,07

## A 1.2.2 Prüfung der PAK-Muster

Im Folgenden wird der valide Datenbestand PAK<sub>16</sub> NRW den verschiedenen Ansätzen zur PAK-Musterprüfung (vgl. auch Anhang 2) unterzogen.

### A 1.2.2.1 Prüfung der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“

Im Rahmen dies Prüfschritts erfolgt die Auswertung der PAK-Muster der einzelnen Proben in Hinblick auf eine Überschreitung des „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“, was zur Notwendigkeit einer Einzelfallbetrachtung führen würde (s. Anhang 2). Betroffen sind davon 144 Proben, dies entspricht 2,25 % der insgesamt 6.413 Fälle. Dabei weisen 117 Proben BaP-Gehalte  $\leq 0,5$  mg/kg auf (3,29 %); d.h. diese Teilmenge (mit  $n = 3.553$ ) ist überproportional von Überschreitungen des maximalen Vielfachen betroffen. Auf die Teilmenge der 2.860 Proben mit BaP-Gehalten  $> 0,5$  mg/kg entfallen dahingegen lediglich 27 Überschreitungen (0,94 %).

Ursächlich für Überschreitungen sind v.a. die höhermolekularen PAK, insbesondere BbF (vgl. Tabelle 23).

**Tabelle 23:** Anzahl Proben mit Überschreitung des „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ (vgl. Anhang 2)

Substanz	max. Vielfaches	n	Substanz	max. Vielfaches	n
Naphthalin	160	0	Benz(a)anthracen	6	7
Acenaphtylen	5	24	Chrysen	5	30
Acenaphthen	95	0	Benzo(ghi)perylen	3	10
Fluoren	110	1	Benzo(a)pyren	1	0
Phenanthren	140	0	Benzo(b)fluoranthren	3	67
Anthracen	240	0	Benzo(k)fluoranthren	3	9
Pyren	30	0	Indeno(1,2,3-cd)pyren	3	14
Fluoranthren	55	0	Dibenz(ah)anthracen	1,5	21

### A 1.2.2.2 Prüfung der Toxizitätsäquivalente

Zur Prüfung der kanzerogenen Potenz des PAK-Gemisches können unter Verwendung der Toxizitätsäquivalenzfaktoren TEF Toxizitätsäquivalente für Einzel-PAK gebildet werden. Durch Addition der 16 Einzel-PAK-TEQs lässt sich die Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\sum \text{PAK}_{16} \text{TEQ}$ ) errechnen.

Diese Summenbildung ist erforderlich, um den Anteil des Einzel-PAK-TEQ an der Summe der Toxizitätsäquivalente berechnen zu können. Damit soll schließlich beurteilt werden können, welchen Anteil BaP an der Gesamtoxizität des PAK-Gemisches einnimmt (vgl. Anhang 2).

### A 1.2.2.2.1 Auswertung des gesamten Datensatzes

Die zusammenfassende Statistik für den Datenbestand (n=6.413) enthält die folgende Tabelle.

**Tabelle 24:** Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW) [%]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr	BaA
<b>Gültige Fälle</b>	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413
<b>Mittelwert</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	3,9
<b>Median</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	3,8
<b>Standardabweichung</b>	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	1,5
<b>Minimum</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<b>Maximum</b>	0,0	14,8	0,0	0,0	0,0	3,1	13,1	0,0	77,4
<b>Unteres Quartil</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	3,1
<b>Oberes Quartil</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	4,4
PAK <sub>16</sub>	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA	ΣPAK <sub>3</sub>	ΣPAK <sub>8</sub>
<b>Gültige Fälle</b>	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413	6.413
<b>Mittelwert</b>	0,5	43,7	2,2	38,3	0,3	2,7	7,5	89,6	99,0
<b>Median</b>	0,4	43,7	2,1	38,4	0,3	2,6	6,0	89,6	99,1
<b>Standardabweichung</b>	0,2	8,3	0,8	7,3	0,3	1,3	5,8	2,4	0,6
<b>Minimum</b>	0,0	3,5	0,0	0,6	0,0	0,0	0,1	20,9	81,3
<b>Maximum</b>	3,8	99,0	18,1	95,1	21,4	75,1	80,2	99,7	100,0
<b>Unteres Quartil</b>	0,4	38,7	1,8	33,4	0,2	2,2	4,4	88,5	98,9
<b>Oberes Quartil</b>	0,5	49,3	2,4	43,0	0,3	3,1	8,4	90,7	99,3

Die Tabelle zeigt, dass im Mittel insbesondere den PAK-Vertretern BbF und BaP die größte Bedeutung zukommt. Der jeweilige Anteil an der Gesamtoxizität beträgt im Mittel / Median 44 % bzw. 38 %. An dritter Stelle steht mit im Mittel 8 % (Median 6 %) DBahA.

Insgesamt nimmt die Bedeutung der PAK<sub>16</sub> in Bezug auf ihren Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente ΣPAK<sub>16</sub>TEQ im Mittel in folgender Reihenfolge ab (angegeben ist der jeweilige arithmetische Mittelwert):

BbF (43,7 mg/kg) > BaP (38,3 mg/kg) > DBahA (7,5 mg/kg) > BaA (3,9 mg/kg) > I123P (2,7 mg/kg) > BkF (2,2 mg/kg) > FluA (0,8 mg/kg) > Chry (0,5 mg/kg) > BghiP (0,3 mg/kg) > Anth (0,1 mg/kg) = Acy (0,1 mg/kg)

Die niedermolekularen PAK-Vertreter Naph, Ace, Flu, Phen und Pyr gelten nicht als vordringlich kanzerogen, so dass diesen gemäß OPPTS kein TEF zugeordnet wird (vgl. Anhang 2).

Weiterhin wurde die Summe der Anteile für die acht höhermolekularen PAK<sub>8</sub> (i.e. BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, I123P und DBahA) berechnet (ΣPAK<sub>8</sub>); ebenso für die Summe der PAK<sub>3</sub> mit den höchsten Toxizitätsfaktoren (TEF) nach OPPTS (i.e. BbF, BaP und DBahA; ΣPAK<sub>3</sub>).

Werden die PAK<sub>8</sub> betrachtet, nimmt deren Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente zusammen im Mittel 99 % ein, werden nur die PAK<sub>3</sub> mit dem höchsten TEF-Faktor betrachtet (PAK<sub>3</sub>), beträgt deren Anteil zusammen immerhin noch im Mittel 90 %.

#### A 1.2.2.2 Auswertung der Daten mit BaP > 0,5 mg/kg

Die zusammenfassende Statistik für die Teilmenge der 2.860 Datensätze mit BaP Gehalten > 0,5 mg/kg enthält die folgende Tabelle.

**Tabelle 25:** Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW mit BaP-Gehalten > 0,5 mg/kg) [%]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr	BaA
<b>Gültige Fälle</b>	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
<b>Mittelwert</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	4,0
<b>Median</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	3,9
<b>Standardabweichung</b>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	1,1
<b>Minimum</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<b>Maximum</b>	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	1,8	8,4	0,0	20,4
<b>Unteres Quartil</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	3,3
<b>Oberes Quartil</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	4,6
PAK <sub>16</sub>	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA	ΣPAK <sub>3</sub>	ΣPAK <sub>8</sub>
<b>Gültige Fälle</b>	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
<b>Mittelwert</b>	0,5	42,7	2,3	39,4	0,3	2,6	7,3	89,4	99,0
<b>Median</b>	0,4	42,6	2,1	39,3	0,2	2,6	6,0	89,5	99,1
<b>Standardabweichung</b>	0,1	8,1	0,8	7,0	0,4	0,8	5,4	1,9	0,5
<b>Minimum</b>	0,0	3,5	0,0	0,6	0,0	0,0	0,1	68,9	91,5
<b>Maximum</b>	1,4	99,0	13,2	95,1	21,4	10,1	80,2	99,7	100,0
<b>Unteres Quartil</b>	0,4	37,6	1,8	34,2	0,2	2,2	4,4	88,4	98,8
<b>Oberes Quartil</b>	0,5	48,9	2,4	44,0	0,3	3,0	8,2	90,5	99,3

Die Tabelle zeigt, dass auch für diese Teilmenge im Mittel insbesondere den PAK-Vertretern BbF und BaP die größte Bedeutung zukommt. Der jeweilige Anteil an der Gesamtoxizität beträgt im Mittel / Median 43 % bzw. 39 %. An dritter Stelle steht mit im Mittel 7 % (Median 6 %) DBahA.

Werden die acht höhermolekularen PAK-Vertreter betrachtet (PAK<sub>8</sub>), nimmt deren Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente zusammen im Mittel 99 % ein, werden nur die drei Kongenere mit dem höchsten TEF-Faktor betrachtet (PAK<sub>3</sub>), beträgt deren Anteil zusammen im Mittel 89 %.

### A 1.2.2.2.3 Auswertung der Daten mit BaP $\leq 0,5$ mg/kg

Die zusammenfassende Statistik für die Teilmenge der 3.553 Datensätze mit BaP Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg enthält die folgende Tabelle.

**Tabelle 26:** Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW mit BaP-Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg) [%]

PAK <sub>16</sub>	Naph	Acy	Ace	Flu	Phen	Anth	FluA	Pyr	BaA
<b>Gültige Fälle</b>	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553
<b>Mittelwert</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	3,7
<b>Median</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	3,6
<b>Standardabweichung</b>	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	1,7
<b>Minimum</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
<b>Maximum</b>	0,0	14,8	0,0	0,0	0,0	3,1	13,1	0,0	77,4
<b>Unteres Quartil</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	3,0
<b>Oberes Quartil</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	4,3
PAK <sub>16</sub>	Chry	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA	$\Sigma$ PAK <sub>3</sub>	$\Sigma$ PAK <sub>8</sub>
<b>Gültige Fälle</b>	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553	3.553
<b>Mittelwert</b>	0,5	44,5	2,1	37,5	0,3	2,8	7,6	89,7	99,0
<b>Median</b>	0,4	44,4	2,0	37,9	0,3	2,7	6,1	89,8	99,1
<b>Standardabweichung</b>	0,2	8,4	0,8	7,5	0,1	1,6	6,0	2,8	0,7
<b>Minimum</b>	0,0	5,9	0,2	3,5	0,0	0,0	0,1	20,9	81,3
<b>Maximum</b>	3,8	77,8	18,1	80,9	1,5	75,1	60,5	97,9	99,9
<b>Unteres Quartil</b>	0,4	39,6	1,8	32,7	0,2	2,2	4,4	88,7	98,9
<b>Oberes Quartil</b>	0,5	49,7	2,3	42,3	0,3	3,2	8,7	90,9	99,3

Die Tabelle zeigt, dass auch für diese Teilmenge im Mittel den PAK-Vertretern BbF und BaP die größte Bedeutung zukommt. Der jeweilige Anteil an der Gesamtoxizität beträgt im Mittel 45 % bzw. 38 %. An dritter Stelle steht wiederum mit im Mittel 8 % DBahA.

Werden die acht höhermolekularen PAK-Vertreter betrachtet (PAK<sub>8</sub>), nimmt deren Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente zusammen im Mittel 99 % ein, werden nur die drei Kongenere mit dem höchsten TEF-Faktor betrachtet (PAK<sub>3</sub>), beträgt deren Anteil zusammen im Mittel 90 %.



#### **A 1.2.2.4 Auswertung der Anteile BaP an der Summe PAK<sub>16</sub>TEQ**

Als Bewertungsvorschlag für den Anteil an BaP an der Summe PAK<sub>16</sub>TEQ wird in den Erlassen zum Umgang mit PAK-Belastungen vorgegeben, dass der Anteil von BaP-TEQ an der Summe  $\sum$ PAK<sub>16</sub>TEQ zwischen 30% und 60% betragen soll (vgl. Anhang 2; ZEDDEL 2016).

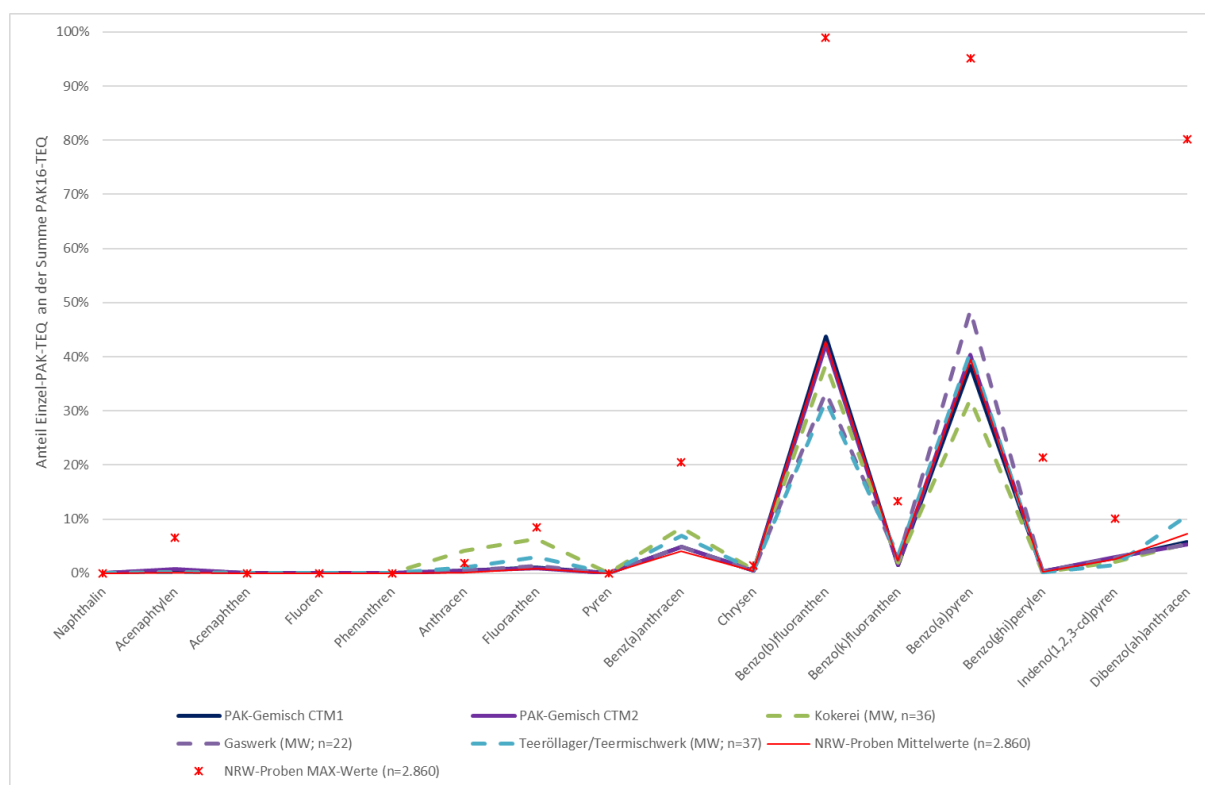
Bei Anteilen unter 30% führt die Anwendung der Prüfwerte PAK/BaP zu einer Risikounterschätzung, bei Anteilen über 60% zu einer Risikoüberschätzung. Die Spanne von 30-60% entspricht den beobachteten Abweichungen aus den vorliegenden Studien und Untersuchungen zur Bewertung von PAK-Gemischen.

Insgesamt weisen 661 der ausgewerteten Proben (n = 6.413) einen BaP-Anteil < 30 % auf, dies entspricht 10,3 % der Fälle. Von den auffälligen Proben weisen n=501 BaP-Gehalte  $\leq$  0,5 mg/kg auf (14,1 % aller Proben); d.h. diese Teilmenge ist überproportional betroffen. Auf die Teilmenge der Proben mit BaP-Gehalten > 0,5 mg/kg entfallen 160 auffällige Proben (5,6 %).

Weiterhin weisen 26 Proben einen BaP-Anteil > 60 % auf, dies entspricht 0,41 % der Fälle. Von den auffälligen Proben weisen 12 BaP-Gehalte  $\leq$  0,5 mg/kg auf (0,34 %), 14 BaP-Gehalte > 0,5 mg/kg (0,49 %).

Im Mittel beträgt der Anteil für BaP-TEQ an der Summe der  $\sum$ PAK<sub>16</sub>TEQ in den Böden aus NRW 39,4%. In den im Tierversuch untersuchten PAK-Gemischen CTM1 und CTM2 betrug der Anteil für BaP-TEQ 38-40%.

In Abbildung 6 sind die PAK-Profile verschiedener PAK-Gemische vergleichend dargestellt. Hier wird zum einen deutlich, dass BaP und Benzo(b)fluoranthen in allen PAK-Gemischen und Profilen den Hauptanteil an der kanzerogenen Potenz abbilden. Zum anderen wird erkennbar, dass die PAK-Muster der Proben aus NRW im Mittel eine enge Übereinstimmung mit den PAK-Mustern der Versuchsgemische CTM1 und CTM2 zeigen.



**Abbildung 6:** Anteil der Einzel-PAK-TEQ an der  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ (%) für verschiedene PAK-Gemische und Profile

Werden beide Prüfschritte (Prüfung der „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ und Prüfung der Toxizitätsäquivalente) zusammengefasst, ergeben sich für insgesamt 708 Proben Auffälligkeiten; dies entspricht einem Anteil von 11,0 %. Für die Teilmenge der Proben mit BaP-Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg berechnet sich dieser Anteil mit 528 Auffälligkeiten auf 14,86 %, für die Teilmenge mit Gehalten  $> 0,5$  mg/kg mit 180 Auffälligkeiten auf 6,29 %. Details dazu sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

**Tabelle 27:** Zusammenfassende Übersicht zu den Prüfschritten 1 + 2 (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW)

BaP-Gehalt [mg/kg]	Überschreitung maximales Vielfaches		BaP-Anteil < 30 % PAK <sub>16</sub> -TEQ		BaP-Anteil > 60 % PAK <sub>16</sub> -TEQ		auffällige Werte	
	n	Anteil [%]	n	Anteil [%]	n	Anteil [%]	n	Anteil [%]
$\leq 0,5$ (n = 3.553)	117	3,29	501	14,1	12	0,34	528	14,9
$> 0,5$ (n = 2.860)	27	0,94	160	5,6	14	0,49	180	6,3
<b>Summe (n = 6.413)</b>	<b>144</b>	<b>2,25</b>	<b>661</b>	<b>10,3</b>	<b>26</b>	<b>0,41</b>	<b>708</b>	<b>11,0</b>

### A 1.2.3 Abgleich mit den Prüfwerten PAK/BaP und den Beurteilungswerten für die Summe $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ

Werden die BaP-Gehalte den Prüfwerten PAK/BaP der BBodSchV (2021) gegenübergestellt, zeigt sich, dass in 2.860 Fällen (44,60 %) eine Überschreitung des Prüfwertes von 0,5 mg/kg (Nutzungsszenario *Kinderspielflächen*) gegeben ist, wobei allerdings in 180 Fällen eine Einzelfallprüfung nötig wäre, da die Prüfkriterien für das PAK-Muster nicht eingehalten werden. In 1.511 Fällen wird der Prüfwert von 1 mg/kg (Nutzungsszenarien *Wohngebiete* und *Park- und Freizeitanlagen*) überschritten, wobei in dieser Teilmenge 85 Proben als auffällig in Bezug auf das PAK-Muster einzustufen sind. Bei 3.553 Proben (55,40 %) wird der Prüfwert von 0,5 mg/kg unterschritten, wobei auch hier 528 Fälle als auffällig in Bezug auf die Prüfkriterien einzustufen sind.

Werden die Beurteilungswerte zur Bewertung  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub> herangezogen, ist festzustellen, dass in 2.851 Fällen der Wert von 1,3 mg/kg bezogen auf die  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ überschritten wird (44,45 %). Eine Unterschreitung ist in 3.562 Fällen gegeben, was einem Anteil von 55,54 % entspricht. Eine Überschreitung des Wertes von 2,6 mg/kg bezogen auf die  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ ist für 1.558 Proben festzustellen (24,29 %).

Für die Teilmenge mit BaP-Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg wird der Beurteilungswert von 1,3 mg/kg in 168 Fällen überschritten, für 5 Fälle trifft dies auch in Bezug auf den Beurteilungswert von 2,6 mg/kg zu.

Im Fall der Teilmenge mit BaP-Gehalten  $> 0,5$  mg/kg wird der Beurteilungswert von 1,3 mg/kg in 177 Fällen unterschritten, für die Teilmenge mit BaP-Gehalten  $> 1,0$  mg/kg trifft dies in Bezug auf den Beurteilungswert von 2,6 mg/kg in 82 Fällen zu.

Insgesamt kommt die Klassifizierung der Daten anhand der Prüfwerte der BBodSchV (2021) einerseits und den damit korrespondierende Beurteilungswerten auf Basis der  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ zu einer ähnlichen Verteilung, wobei der Anteil mit Unterschreitung des jeweils unteren Beurteilungswertes im Fall der Bewertung nach  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ etwas höher ausfällt, was auch für die Teilmenge mit Gehalten über dem jeweils oberen Beurteilungswert gilt. Für die Teilmenge, deren BaP- bzw. PAK-Gehalt zwischen dem jeweils unteren und oberen Beurteilungswert liegt, fällt der Anteil nach Klassifikation auf Basis der Bewertung nach  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ etwas geringer aus. Hinzu kommt, dass sich bei der Bewertung auf Basis der PAK<sub>16</sub>TEQ die gesonderte Prüfung bzw. Beurteilung der Proben mit Auffälligkeiten in Hinblick auf das PAK-Muster erübrigt.

**Tabelle 28:** Abgleich mit den Prüfwerten BBodSchV (2021) und Beurteilungswerten  $\Sigma$ PAK<sub>16</sub>TEQ (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW)

BaP-Gehalt [mg/kg]	Anzahl	Anteil [%]	davon auffällig	Anteil [%]	$\Sigma$ PAK <sub>16</sub> TEQ [mg/kg]	Anzahl	Anteil [%]
$\leq 0,5$	3.553	55,4	528	14,9	$\leq 1,3$	3.562	55,5
$> 0,5$ bis $\leq 1,0$	1.349	21,0	95	7,0	$> 1,3$ bis $\leq 2,6$	1.293	20,2
$> 1$	1.511	23,6	85	5,6	$> 2,6$	1.558	24,3
<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>	<b>708</b>	<b>11,0</b>	<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>

## A 1.3 Auswertung der Daten zur Resorptionsverfügbarkeit (RV)

### A 1.3.1 BaP im Oberboden

Der Auswertung der Resorptionsverfügbarkeit (RV) von BaP im Oberboden lagen drei Datensammlungen aus NRW zugrunde.

Folgende Tabelle gibt die Übersicht zu den für die Auswertung zur Verfügung gestellten Daten.

**Tabelle 29:** Daten zur Auswertung der RV von BaP im Oberboden in NRW

Name Datensammlung	PAK	sonstige Parameter	Jahrgang	sonstige Informationen	Anzahl	Bemerkung
Duisburg RV-KGA	16 PAK, ΣPAK	Fraktionen	k.A.	Name der Kleingartenanlage	44	auch Angaben für das Sediment; Doppelbestimmung
LANUV RV (Hindersmann)	BaP	z.T. Corg, pH, BaP im Sediment, BaP Wiederfindung	ca. 2005- 2011	Name Datensammlung, Nutzung; z.T. Datum Probennahme, Tiefe	244	
Wuppertal RV-KGA	16 PAK, ΣPAK	z.T. pH	2002- 2020	Name der Kleingartenanlage, Parzelle, Baujahr, Datum Probennahme, Tiefe, Nutzung, Hinweis zu Altlasten	77	z.T. RV als Doppelbestimmung

Zur weiteren Bearbeitung wurden die insgesamt 365 Datensätze in eine einheitliche Datenbasis überführt. Soweit noch nicht vorhanden, wurde der resorptionsverfügbare Anteil in % berechnet (Quotient aus RV-Gehalt [mg/kg] / Gesamtgehalt [mg/kg]). Fünf Datensätze mit Angaben für resorptionsverfügbare Gehalte an BaP < 0,05 mg/kg wurden entfernt. Ansonsten wurden Angaben für resorptionsverfügbare Gehalte < BG für die statistischen Berechnungen durch  $\frac{1}{2}$  BG ersetzt (< 0,1 mg/kg → 0,05 mg/kg).

Zur weiteren Auswertung wurden Datensätze mit RV-Anteilen < 1 % (n = 15) bzw. > 100 % (n = 4) als unplausibel ausgeklammert, so dass insgesamt 341 valide Datensätze zur Verfügung standen.

Die deskriptive Statistik zum bereinigten Datenbestand kann folgender Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 30:** Zusammenfassende Statistik zur RV von BaP (valide Daten BaP<sub>RV</sub> NRW) [mg/kg]

	<b>BaP-Gesamtgehalt [mg/kg]</b>	<b>BaP-RV Gehalt [mg/kg]</b>	<b>BaP-RV Anteil [%]</b>
Gültige Fälle	341	341	341
Mittelwert	3,45	0,78	25,97
Median	2,40	0,50	22,50
Standardabweichung	4,93	1,22	20,53
Minimum	0,12	0,01	1,03
Maximum	49,28	11,74	95,45
Unteres Quartil	1,40	0,18	9,77
Oberes Quartil	3,70	0,88	39,14

Die Gesamtgehalte an BaP liegen bei einem Mittelwert von 3,45 mg/kg zwischen 0,12 und 49,28 mg/kg. Die gemessenen resorptionsverfügbaren Gehalte nehmen Werte zwischen 0,01 und 11,74 mg/kg ein. Der berechnete resorptionsverfügbare Anteil als Quotient aus resorptionsverfügbarem Gehalt zu Gesamtgehalt liegt zwischen < 1 % und 95 % (Mittelwert 26 %).

Von den 341 hier betrachteten Datensätzen weisen 29 BaP-Gehalte ≤ 0,5 mg/kg auf. Die BaP-Gehalte von 312 Datensätzen liegen darüber; für diese Teilmenge wurden die Quantile u.a. der resorptionsverfügbaren Anteile berechnet, um einen Eindruck der Verteilung zu erhalten (vgl. Tabelle 31).

**Tabelle 31:** Quantile zur RV von BaP (valide Daten BaP<sub>RV</sub> NRW) für Proben mit ≥0,5 mg/kg Gesamt-gehalt [mg/kg]

<b>n = 312</b>	<b>BaP-Gesamtgehalt [mg/kg]</b>	<b>BaP-RV Gehalt [mg/kg]</b>	<b>BaP-RV Anteil [%]</b>
<b>Quantil 1: 1%</b>	0,58	0,03	1
<b>Quantil 2: 5%</b>	0,94	0,04	2
<b>Quantil 1: 10%</b>	1,10	0,08	3
<b>Quantil 2: 20%</b>	1,40	0,19	6
<b>Quantil 3: 30%</b>	1,80	0,30	12
<b>Quantil 4: 40%</b>	2,20	0,44	18
<b>Quantil 5: 50%</b>	2,50	0,55	23
<b>Quantil 6: 60%</b>	3,00	0,70	28
<b>Quantil 7: 70%</b>	3,60	0,81	36
<b>Quantil 8: 80%</b>	4,30	1,10	42
<b>Quantil 9: 90%</b>	6,40	1,70	55
<b>Quantil 8: 95%</b>	10,50	2,40	69
<b>Quantil 9: 99%</b>	25,30	7,27	86

Die Analyse der Quantile zeigt, dass mit sehr großer Wahrscheinlichkeit (> 95 %) die resorptionsverfügbaren Anteile für BaP unter 70 % liegen.

### A 1.3.2 PAK<sub>8</sub> im Oberboden

In einem weiteren Schritt wurden vorhandene Daten, in denen die Resorptionsverfügbarkeit der acht höhermolekularen, humantoxikologisch relevanten PAK bestimmt wurde (BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, I123P, DBahA), ausgewertet. Die Daten entstammten drei Datensammlungen (vgl. Tabelle 32).

Um den Datenpool zu vergrößern, wurde in diesem Fall auch auf Daten aus anderen Bundesländern zurückgegriffen.

**Tabelle 32:** Daten zur Auswertung der RV der PAK<sub>8</sub> im Oberboden

Name Datensammlung	PAK	sonstige Parameter	Jahrgang	sonstige Informationen	Anzahl	Bemerkung
Universität Münster 8-RV (Hümmeler)	8 PAK	mit Sediment			12	Durchführung 3-fach Bestimmung; mit Angabe Einzelwerten
UBA 8-RV	8 PAK	mit Sediment	2019	Nutzung, Datum Probennahme, Tiefe	3	
Wilhelmshaven 8-RV	8 PAK	davon 9 mit RV im Sediment, Wiederfindung	2016-2018	Freizeitanlage	19	

Zur weiteren Bearbeitung wurden die insgesamt 34 Datensätze in eine einheitliche Datenbasis überführt. Soweit noch nicht vorhanden, wurde der resorptionsverfügbare Anteil berechnet. Vier Datensätze mit unvollständigen Angaben für die PAK<sub>8</sub> wurden entfernt. Ansonsten wurden Angaben für resorptionsverfügbare Gehalte < BG für die statistischen Berechnungen durch ½ BG ersetzt.

### A 1.3.2.1 Auswertung Gesamtgehalte und RV-Gehalte

Die deskriptive Statistik zum bereinigten Datenbestand (n = 30) kann folgender Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 33:** Zusammenfassende Statistik zu Gesamtgehalten, RV-Gehalten und RV-Anteilen (valide Daten PAK<sub>8</sub>)

Gesamtgehalte [mg/kg]	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
Gültige Fälle	30	30	30	30	30	30	30	30
Mittelwert	3,88	3,67	4,28	1,85	3,47	2,07	1,91	0,46
Median	3,03	3,05	3,69	1,70	2,81	1,50	1,50	0,35
Standardabweichung	3,89	3,39	3,16	1,55	3,70	2,13	1,71	0,34
Minimum	0,60	0,97	0,52	0,18	0,45	0,42	0,17	0,10
Maximum	22,68	19,69	18,19	8,72	21,93	12,46	9,97	1,72
RV_Gehalte [mg/kg]	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
Gültige Fälle	30	30	30	30	30	30	30	30
Mittelwert	1,52	1,42	1,48	0,79	1,32	0,72	0,81	0,19
Median	1,30	1,22	1,31	0,71	1,17	0,66	0,60	0,19
Standardabweichung	1,18	1,13	0,96	0,59	0,99	0,56	0,58	0,14
Minimum	0,14	0,18	0,12	0,06	0,13	0,10	0,05	0,03
Maximum	6,12	5,91	4,91	2,40	5,26	2,87	2,39	0,60
RV_Anteil [%]	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	I123P	DBahA
Gültige Fälle	30	30	30	30	30	30	30	30
Mittelwert	40,77	39,98	35,03	44,48	40,37	39,47	46,08	45,95
Median	36,50	35,75	35,79	39,94	41,86	29,59	39,11	33,67
Standardabweichung	14,03	14,95	8,61	21,29	12,64	24,00	27,72	26,66
Minimum	20,88	18,00	21,53	12,03	21,96	8,20	7,14	22,00
Maximum	71,00	74,00	57,00	96,00	65,00	94,00	114,00	121,00

Die Gesamtgehalte an BaP nehmen Werte zwischen 0,45 und 22 mg/kg ein, die resorptionsverfügbaren Gehalte an BaP liegen zwischen 0,13 und 5,3 mg/kg. Die Spannweite der dazugehörigen resorptionsverfügbaren Anteile beträgt 22 bis 65 % (Mittelwert 40 %, Median 42 %). Die Werte liegen somit im Mittel über den Daten zur Resorptionsverfügbarkeit in NRW (vgl. Tabelle 30 und Tabelle 31). Da die Daten vornehmlich aus einem Projekt in Wilhelmshaven stammen, könnte die Ursache darin liegen, dass an diesem Standort die Resorptionsverfügbarkeit der PAK insgesamt höher ausfällt. Es ist allerdings festzustellen, dass das ermittelte Maximum (65 %) unter dem 95 % Perzentil der Daten aus NRW (69 %; vgl. Tabelle 31) liegt. Außerdem zielt die Auswertung der Daten zu den PAK<sub>8</sub> nicht darauf ab, die Resorptionsverfügbarkeit der PAK an sich abzuschätzen, sondern die RV der PAK<sub>8</sub> im Verhältnis zueinander zu beleuchten.

Die Mittelwerte der resorptionsverfügbaren Anteile der anderen sieben PAK liegen in der gleichen Größenordnung (35 % im Fall BbF und 46 % im Fall I123P und DBahA). Die Maxima der resorptionsverfügbaren Anteile liegen zwischen 57 % (BbF) und > 100 % (I123P und DBahA).

Werden die Quantile (Perzentile) zu den resorptionsverfügbaren Anteilen betrachtet, ergibt sich folgendes Bild (vgl. Tabelle 34).

**Tabelle 34:** Quantile zu den RV-Anteilen (valide Daten PAK<sub>8</sub>)

RV-Anteil [%]	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	Indeno	DBahA
<b>Quantil 1: 10%</b>	25	22	24	25	24	13	22	24
<b>Quantil 2: 20%</b>	27	27	27	27	27	24	25	26
<b>Quantil 3: 30%</b>	32	30	29	31	31	26	28	29
<b>Quantil 4: 40%</b>	34	31	33	34	33	28	32	31
<b>Quantil 5: 50%</b>	37	36	36	40	42	30	39	34
<b>Quantil 6: 60%</b>	44	42	37	47	46	37	42	39
<b>Quantil 7: 70%</b>	48	51	40	49	49	45	52	53
<b>Quantil 8: 80%</b>	56	53	43	54	51	58	72	64
<b>Quantil 9: 90%</b>	61	59	45	82	58	80	88	92

Die Mediane (50. Quantil) der acht Einzel-PAK<sub>8</sub> liegen zwischen 34 % (DBahA) und 42 % (BaP); für BghiP liegt der Median mit 30 % allerdings etwas darunter. Das 90. Quantil liegt je nach Einzel-PAK zwischen 45 % (BbF) und um die 90 % (I123P und DBahA).

Die Auswertungen lassen schließen, dass es auch im Fall der Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit notwendig ist, nicht nur BaP zu betrachten, sondern auch die anderen sieben höhermolekularen Einzel-PAK miteinzubeziehen. Die Resorptionsverfügbarkeit weist für die jeweilige Probe ein eigenes Muster auf, so dass es auch hier sinnvoll ist, das Konzept der Toxizitätsäquivalente anzuwenden.



### A 1.3.2.2 Auswertung der Toxizitätsäquivalente

Neben der Betrachtung der Gesamtgehalte und der resorptionsverfügbaren Gehalte der PAK<sub>8</sub> erfolgte eine Auswertung in Hinblick auf die Toxizitätsäquivalente (TEQ). Dazu wurden die Gehalte mit den spezifischen TEF multipliziert. Für jeden Datensatz wurden zudem die Summe der TEQ für alle acht PAK ( $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$  bzw.  $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{\text{RV}}$ ) bzw. für die drei PAK berechnet ( $\sum \text{PAK}_3 \text{TEQ}$  bzw.  $\sum \text{PAK}_3 \text{TEQ}_{\text{RV}}$ ), denen der höchste TEF (TEF = 1) zugeordnet wird (i.e. BbF, BaP und DBahA).

Zunächst wurde der Frage nachgegangen, welchen Anteil an der Gesamtoxizität die PAK<sub>3</sub> abbilden.

Die folgende Statistik zeigt, dass die  $\sum \text{PAK}_3 \text{TEQ}$  im Mittel 91% der Gesamtoxizität ( $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$ ) abbildet. Die Summe der resorptionsverfügbaren PAK<sub>3</sub>TEQ<sub>RV</sub> spiegelt mit 90% im Mittel annähernd denselben Anteil der resorptionsverfügbaren Toxizität ( $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{\text{RV}}$ ) wider.

Die Berechnung der jeweiligen Anteile erfolgt dabei gemäß folgenden Formeln:

$$\text{Anteil Gesamtgehalt PAK}_i = \text{PAK}_i \text{TEQ} / \sum \text{PAK}_8 \text{TEQ} [\%]$$

$$\text{Anteil Gehalt}_{\text{RV}} \text{ PAK}_i = \text{PAK}_i \text{TEQ}_{\text{RV}} / \sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{\text{RV}} [\%]$$

**Tabelle 35:** Anteile der Einzel-PAK sowie PAK<sub>3</sub> an der Summe der Toxizitätsäquivalente  $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$  bzw.  $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{\text{RV}}$  [%]

Gesamtgehalt	BaA- TEQ	Chr- TEQ	BbF- TEQ	BkF- TEQ	BaP- TEQ	BghiP- TEQ	I123P- TEQ	DBahA- TEQ	PAK <sub>3</sub> TEQ
Gültige Fälle	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mittelwert	4,19	0,41	48,36	2,05	37,26	0,23	2,12	5,38	91,00
Median	3,97	0,37	49,93	1,89	35,90	0,25	2,22	4,78	91,10
Minimum	3,14	0,28	39,29	1,52	31,99	0,12	1,35	2,69	88,63
Maximum	6,15	0,83	56,95	3,34	47,37	0,36	2,81	13,43	92,85
RVr Gehalt	BaA- TEQ <sub>RV</sub>	Chr- TEQ <sub>RV</sub>	BbF- TEQ <sub>RV</sub>	BkF- TEQ <sub>RV</sub>	BaP- TEQ <sub>RV</sub>	BghiP- TEQ <sub>RV</sub>	I123P- TEQ <sub>RV</sub>	DBahA- TEQ <sub>RV</sub>	PAK <sub>3</sub> TEQ <sub>RV</sub>
Gültige Fälle	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mittelwert	4,44	0,42	44,99	2,31	39,21	0,22	2,40	6,01	90,20
Median	4,53	0,43	43,17	2,11	39,80	0,23	2,47	5,38	90,32
Minimum	2,85	0,21	38,42	0,48	30,60	0,04	0,37	3,21	87,84
Maximum	6,52	0,65	56,80	3,29	45,19	0,37	3,67	14,58	92,70

### A 1.3.2.3 Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit für PAK-Gemische

Während die Resorptionsverfügbarkeit für BaP und der weiteren Einzel-PAK analytisch zu bestimmen ist, bleibt die Frage nach der anzunehmenden Resorptionsverfügbarkeit für das PAK-Gemisch zu klären.

Eine Möglichkeit besteht in der Mittelung der gemessenen resorptionsverfügbaren Gehalte der PAK<sub>8</sub> (vgl. hierzu auch Anhang 2). Die Ergebnisse für die hier ausgewerteten Datensätze findet sich in Tabelle 36 (gelb markiert). Im Mittel ergibt sich eine Resorptionsverfügbarkeit von 42%.

Alternativ dazu kann die Resorptionsverfügbarkeit [%] für das PAK-Gemisch auch durch den Quotienten aus der Summe der Toxizitätsäquivalente der resorptionsverfügbaren Gehalte einer beliebigen Auswahl der PAK und der Summe der Toxizitätsäquivalente der Gesamtgehalte eben dieser Auswahl an PAK bestimmt werden, so z.B. für die PAK<sub>8</sub> und PAK<sub>3</sub>.

**Tabelle 36:** Statistik zu den resorptionsverfügbaren Anteilen von BaP, PAK<sub>8</sub>TEQ und PAK<sub>3</sub>TEQ [%]

	BaP	PAK <sub>8</sub> - TEQ	PAK <sub>3</sub> - TEQ	BaP	PAK <sub>8</sub> - TEQ	PAK <sub>3</sub> - TEQ	μ* PAK <sub>8</sub>	BaP	PAK <sub>8</sub> - TEQ	PAK <sub>3</sub> - TEQ
	Gesamtgehalt [mg/kg]			RV-Gehalt [mg/kg]			RV-Anteil [%]			
<b>Gültige Fälle</b>	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
<b>Mittelwert</b>	3,47	9,03	8,21	1,32	3,32	2,99	41,53	40,39	37,85	37,47
<b>Median</b>	2,81	7,64	6,98	1,17	2,96	2,66	37,80	42,27	39,61	39,01
<b>Minimum</b>	0,45	1,18	1,07	0,13	0,31	0,29	22,25	21,96	22,19	21,88
<b>Maximum</b>	21,93	46,30	41,84	5,26	11,87	10,69	79,13	64,58	57,58	57,14

\* Mittelwert (μ)

Die aus den für PAK<sub>8</sub> und PAK<sub>3</sub> berechneten resorptionsverfügbaren Anteile sind sehr ähnlich, sie liegen im Mittel mit 38 % bzw. 37% etwas unter dem für BaP bestimmten Wert (40 %); der über die 8 PAK gemittelte Wert (μ\*PAK<sub>8</sub>) liegt mit 42 % dahingegen etwas über dem für BaP berechneten Wert.

Folgende Tabelle zeigt die für die Einzel-PAK<sub>8</sub> bzw. die Summe der Toxizitätsäquivalente (PAK<sub>8</sub>-TEQ<sub>RV</sub>, PAK<sub>3</sub>-TEQ<sub>RV</sub>) berechneten Quantile (Perzentile) der resorptionsverfügbaren Anteile; ebenso aufgeführt ist der über die PAK<sub>8</sub> gemittelte Wert (μPAK<sub>8</sub>).

**Tabelle 37:** Quantile zu den resorptionsverfügbaren Anteilen der PAK<sub>8</sub>TEQ<sub>RV</sub> [%]

	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	I1234P	DBahA	μPAK <sub>8</sub>	ΣPAK <sub>8</sub> TEQ <sub>RV</sub>	ΣPAK <sub>3</sub> TEQ <sub>RV</sub>
<b>Quantil 1: 5%</b>	23	21	23	22	23	9	10	23	23	23	23
<b>Quantil 1: 10%</b>	25	22	24	25	24	13	22	24	25	25	25
<b>Quantil 2: 20%</b>	27	27	27	27	27	24	25	26	27	27	27
<b>Quantil 3: 30%</b>	32	30	29	31	31	26	28	29	31	30	30
<b>Quantil 4: 40%</b>	34	31	33	34	33	28	32	31	35	35	35
<b>Quantil 5: 50%</b>	37	36	36	40	42	30	39	34	38	40	39
<b>Quantil 6: 60%</b>	44	42	37	47	46	37	42	39	40	41	41
<b>Quantil 7: 70%</b>	48	51	40	49	49	45	52	53	49	43	43
<b>Quantil 8: 80%</b>	56	53	43	54	51	58	72	64	58	48	47
<b>Quantil 9: 90%</b>	61	59	45	82	58	80	88	92	76	51	50
<b>Quantil 9: 95%</b>	62	68	47	92	59	92	107	98	79	56	54

Das aus den Daten abgeleitete 95. Perzentil liegt für die Summe der Toxizitätsäquivalente  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{\text{RV}}$  bzw.  $\text{PAK}_3\text{TEQ}_{\text{RV}}$  bei etwa 55 %, der allein auf BaP basierende Wert liegt mit 59 % etwas darüber. Einen noch höheren Wert nimmt mit 79 % das über die acht hier betrachteten PAK gemittelte 95. Quantil ein.

Das für die Summe der Toxizitätsäquivalente  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}$  bzw.  $\Sigma\text{PAK}_3\text{TEQ}$  ermittelte 95. Quantil liegt mit etwa 55 % deutlich unter dem für die *validen Daten BaP<sub>RV</sub> NRW* ermittelten Wert von 70 % (vgl. Kapitel 2, Tabelle 31).

Die nächste Tabelle enthält die Zusammenstellung der Gesamtgehalte und der resorptionsverfügbaren Gehalte für BaP,  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}$  und  $\Sigma\text{PAK}_3\text{TEQ}$  inkl. Auswertung in Hinblick auf die Prüfwerte für BaP bzw. die Beurteilungswerte für die Summe der Toxizitätsäquivalente (1,3 und 2,6 für PAK<sub>8</sub>-TEQ); da im Fall der PAK<sub>3</sub> gegenüber den PAK<sub>16</sub> nur etwa 90 % der Gesamtoxizität erfasst werden (vgl. Kapitel 0), wurden die Beurteilungswerte auf 1,2 bzw. 2,4 angepasst.

Die Auswertung für die drei Alternativen (BaP,  $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}$  und  $\Sigma\text{PAK}_3\text{TEQ}$ ) kommen zu insgesamt ähnlichen Ergebnissen. Von den 29 Proben mit BaP-Gehalten > 1 mg/kg unterschreiten die resorptionsverfügbaren Gehalte in jeweils drei Fällen den Beurteilungswert für das Szenario *Kinderspielflächen*; wobei es sich aber nicht immer um die drei gleichen Proben handelt. Der Beurteilungswert für *Wohngebiete* wird je nach Alternative zusätzlich in acht ( $\Sigma\text{PAK}_8\text{TEQ}_{\text{RV}}$ ), neun ( $\Sigma\text{PAK}_3\text{TEQ}_{\text{RV}}$ ) bzw. zehn (BaP<sub>RV</sub>) Fällen unterschritten.

**Tabelle 38:** Auswertung Gesamt- und RV-Gehalte in Hinblick auf die Prüf- und Beurteilungswerte [mg/kg]

lfd_Nr.ges	Bezeichnung	BaP	$\Sigma$ PAK <sub>8</sub> TEQ	$\Sigma$ PAK <sub>3</sub> TEQ	BaP <sub>RV</sub>	$\Sigma$ PAK <sub>8</sub> TEQ <sub>RV</sub>	$\Sigma$ PAK <sub>3</sub> TEQ <sub>RV</sub>
22	BO1	0,45	1,2	1,1	0,13	0,31	0,29
3	BS-53-2	1,2	3,3	3,1	0,26	0,74	0,67
20	BOT1	1,3	3,4	3,1	0,32	0,84	0,77
5	BS-76-1	1,1	3,3	3,0	0,47	1,4	1,3
27	HH9	2,2	4,8	4,3	0,54	1,2	1,1
2	BS-46-2	1,3	3,5	3,2	0,62	1,4	1,3
29	EB 2.2	2,3	5,3	4,8	0,76	1,7	1,6
23	RE1	2,7	6,7	6,1	0,77	1,9	1,7
6	BS-80-2	2,0	5,7	5,1	0,89	2,4	2,2
32	119096240	1,8	5,3	4,8	0,90	2,5	2,3
34	119096243	2,9	9,1	8,3	0,90	2,7	2,5
26	HH5	3,6	8,1	7,3	0,93	2,2	2,0
28	W1	3,2	8,5	7,6	1,0	2,7	2,4
25	BOT3	4,5	11,1	9,8	1,0	2,5	2,3
7	BS-103-2	3,1	9,5	8,7	1,2	3,6	3,3
9	BS-124a-2	2,0	5,6	5,1	1,2	2,9	2,6
1	BS-7-1	3,6	10,5	9,6	1,2	3,9	3,6
15	BS-166-1	2,1	6,3	5,9	1,2	3,0	2,7
13	BS-116-2	2,5	6,9	6,3	1,2	3,0	2,7
14	BS-152-2	3,7	10,8	10,0	1,2	3,3	2,9
17	BS-175-2	2,5	7,2	6,6	1,4	3,6	3,2
33	119096242	2,9	8,6	7,8	1,4	4,1	3,7
18	BS-199-2	2,6	6,3	5,6	1,5	3,6	3,2
16	BS-173-2	3,4	9,8	9,0	1,7	4,0	3,5
8	BS-115-2	3,8	10,6	9,7	1,8	4,2	3,9
4	BS-55-2	4,1	11,8	10,8	2,1	5,1	4,6
10	BS-174-2	5,1	15,0	13,7	2,3	5,9	5,4
19	BS-218-2	5,5	13,5	12,0	2,3	5,5	4,9
12	BS-113-2	4,8	13,3	12,2	3,1	7,5	6,6
24	MS2	21,9	46,3	41,8	5,3	11,87	10,7

Unterschreitung Prüfwert / Beurteilungswert RV bzw. Beurteilungswert (Kinderspielflächen)

Überschreitung Prüfwert / Beurteilungswert RV bzw. Beurteilungswert (Kinderspielflächen)

Überschreitung Prüfwert / Beurteilungswert RV bzw. Beurteilungswert (Wohngebiete)

## A 1.4 Fazit

Durch die Anwendung des Konzepts der Summe der Toxizitätsäquivalente ( $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$ ) ist eine integrierende Betrachtung der Wirkung aller 16  $\text{PAK}_{\text{EPA}}$  möglich. Dieses beinhaltet zudem den gemäß BBodSchV (2021) bei der Anwendung der Prüfwerte für BaP in Hinblick auf den Direktpfad geforderten Abgleich mit den PAK-Mustern.

Die Bewertung der Gesamtgehalte auf Basis von BaP und auf Basis der  $\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  führt zu einer in Bezug auf die Überschreitung der Prüfwerte bzw. der dazu korrespondierenden Beurteilungswerte in der Summe ähnlichen Einstufung, wobei es in Einzelfällen je nach konkretem PAK-Muster Abweichungen geben kann.

Das Konzept der Summe der Toxizitätsäquivalente hat den Vorteil, dass es auch für diejenigen Proben, die außerhalb der üblichen Prüfkriterien zur Anwendbarkeit der Prüfwerte nach BBodSchV 2021 liegen, (d. h. Überschreitung eines „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP bzw. Anteil des BaP-TEQ an der Summe der Toxizitätsäquivalente < 30 % bzw. > 60 %) Anwendung finden kann.

Aufgrund der unterschiedlichen Mengenanteile der 16 Einzel-PAK an der Summe  $\text{PAK}_{\text{EPA}}$  und insbesondere der verschiedenen jeweils zugordneten TEF ist der Beitrag der 16 Einzel-PAK zur Summe der Toxizitätsäquivalente von unterschiedlicher Bedeutung, so dass sich die weiteren Ermittlungen auf bestimmte PAK beschränken können. So werden durch die acht höhermolekularen PAK ( $\text{PAK}_8$ ) i.d.R. 99 % der Gesamtoxizität erfasst, durch die drei PAK mit den höchsten TEF ( $\text{PAK}_3$ ) 90 %. Je nach Beitrag der Einzel- $\text{PAK}_8$  im Einzelfall ist es also möglich, das Spektrum für die folgenden Untersuchungen weiter einzuschränken.

Den Auswertungen in Hinblick auf die Resorptionsverfügbarkeit nach ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ( $\geq 95$  %) der resorptionsverfügbare Anteil kleiner als 70 %. Dies berücksichtigend ergibt sich ein Beurteilungswert (Untergrenze für die Relevanzprüfung) für die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  in Hinblick auf das Nutzungsszenario *Kinderspielflächen*:

$\text{BW}^* \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = 1,3 / 0,7 = 1,9 \text{ mg/kg}$  bzw.  
nach Aufrundung  $\text{BW}^{**} \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = 2,0 \text{ mg/kg}$

Die dazu korrespondierenden Beurteilungswerte in Hinblick auf die Nutzungsszenarien *Wohngebiet / Park- und Freizeitanlagen* lauten nach Verdoppelung wie folgt:

$\text{BW}^* \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = 3,8 \text{ mg/kg}$  bzw.  
nach Aufrundung  $\text{BW}^{**} \Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ} = 4,0 \text{ mg/kg}$ .

Diese Erkenntnis kann verwendet werden, um diejenigen Proben zu identifizieren, bei denen auf die Ermittlung der Resorptionsverfügbarkeit i.d.R. verzichtet werden kann. Wird eine Resorptionsverfügbarkeit von 70 % bzw. die angepassten Beurteilungswerte zugrunde gelegt, dürfte sich die Anzahl an Proben, für die im Rahmen der weiteren Sachverhaltsermittlungen Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit angeraten wären, merklich verringern, was am Beispiel der *validen Daten PAK<sub>16</sub> NRW* verdeutlicht wird (vgl. folgende Tabelle).

**Tabelle 39:** Abgleich der Gesamtgehalte mit den Prüf- und Beurteilungswerten PAK<sub>16</sub>TEQ (valide Daten PAK<sub>16</sub> NRW)

BaP-Gehalt [mg/kg] (PW)	Anzahl	Anteil [%]	davon auffällig	Anteil [%]	PAK16TEQ [mg/kg] (BW)	Anzahl	Anteil [%]	PAK16TEQ [mg/kg] (BW*)	Anzahl	Anteil [%]	PAK16TEQ [mg/kg] (BW**)	Anzahl	Anteil [%]
≤ 0,5	3.553	55,40	528	8,23	≤ 1,3	3.562	55,54	≤ 1,9	4.325	67,44	≤ 2,0	4.417	68,88
> 0,5 bis ≤ 1,0	1.349	21,04	95	1,48	> 1,3 bis ≤ 2,6	1.293	20,16	> 1,9 bis ≤ 3,8	1.064	16,59	> 2,0 bis ≤ 4,0	1.033	16,11
> 1	1.511	23,56	85	1,33	> 2,6	1.558	24,29	> 3,8	1.024	15,97	> 4,0	963	15,02
<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>	<b>708</b>	<b>11,0</b>	<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>	<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>	<b>Summe</b>	<b>6.413</b>	<b>100,0</b>

\* unter Berücksichtigung eines resorptionsverfügbaren Anteils ≤ 70 % \*\* nach Aufrundung

Zunächst ist festzustellen, dass von den insgesamt 6.413 Proben 11 % die Prüfkriterien *Einhaltung des maximalen Vielfachen gegenüber BaP* und *BAP-Anteil an der Gesamtoxizität* vgl. Kapitel 2.2) nicht einhalten und somit nach dem Standardverfahren nicht auszuwerten wären.

Der Anteil an Proben, der den Prüfwert für Kinderspielflächen bzw. den Beurteilungswert für die ΣPAK<sub>16</sub>TEQ ohne / mit Betrachtung der Resorptionsverfügbarkeit unterschreitet (vgl. Tabelle 39, grün markiert), nimmt in folgender Reihenfolge deutlich zu:

55 % (PW) < 56 % (BW) < 67 % (BW\*) < 69 % (BW\*\*).

Dahingegen nimmt der Anteil der Proben mit Überschreitung des Prüfwertes für Wohngebiete sowie Park- und Freizeitanlagen bzw. der entsprechenden Beurteilungswerte für die die ΣPAK<sub>16</sub>TEQ (vgl. Tabelle 39, rot markiert) gleicher Reihenfolge deutlich ab:

24 % (PW) = 24 % (BW) > 16 % (BW\*) > 15 % (BW\*\*).

Die nächste Tabelle enthält den Abgleich der Gesamtgehalte an BaP bzw. der Toxizitätsäquivalentsummen mit den Prüfwerten PAK/BaP bzw. den Beurteilungswerten ggf. unter Berücksichtigung der Untergrenze der Relevanzprüfung ohne / mit Rundung; dabei werden die Klassen mit BaP-Gehalten < 0,5 mg/kg, 0,5 bis 1,0 mg/kg sowie > 1,0 mg/kg getrennt betrachtet.

Von den insgesamt 3.553 Proben mit BaP Gehalten  $\leq 0,5$  mg/kg sind  $n = 528$  auffällig in Hinblick auf die Prüfkriterien *Einhaltung des maxi-*

*malen Vielfachen gegenüber BaP* und *BAP-Anteil an der Gesamttoxizität*; dies entspricht einem Anteil von 14,9 %. Weiterhin halten  $n = 3.385$  Proben den Beurteilungswert in Hinblick auf die  $\Sigma\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  von 1,3 mg/kg ein, was einem Anteil von 95,3 % entspricht. Den die Resorptionsverfügbarkeit berücksichtigenden Beurteilungswert von 1,9 mg/kg bzw. gerundet auf 2,0 mg/kg halten dahingegen 99,4 % bzw. 99,6 % der Proben ein ( $n = 3.530$  bzw.  $n = 3.538$ ).

**Tabelle 40:** Abgleich der Gesamtgehalte mit den Prüf- und Beurteilungswerten  $\text{PAK}_{16}\text{TEQ}$  (valide Daten  $\text{PAK}_{16}$  NRW), differenziert nach Ausgangsgehalten an BaP

BaP-Gehalt [mg/kg]	Anzahl	Anteil [%]	davon auffällig	Anteil [%]	$\text{PAK}_{16}$ TEQ [mg/kg] (BW)	Anzahl	Anteil [%]	$\text{PAK}_{16}$ TEQ [mg/kg] (BW*)	Anzahl	Anteil [%]	$\text{PAK}_{16}$ TEQ [mg/kg] (BW**)	Anzahl	Anteil [%]
$\leq 0,5$					$\leq 1,3$	3.385	95,3	$\leq 1,9$	3.530	99,4	$\leq 2,0$	3.538	99,6
	3.553	55,4	528	14,9	$> 1,3$ bis $\leq 2,6$	163	4,6	$> 1,9$ bis $\leq 3,8$	22	0,6	$> 2,0$ bis $\leq 4,0$	15	0,4
					$> 2,6$	5	0,1	$> 3,8$	1	0,0	$> 4,0$	0	0,0
<b>Summe</b>						<b>3.553</b>	<b>100,0</b>		<b>3.553</b>	<b>100,0</b>		<b>3.553</b>	<b>100,0</b>
$> 0,5$ bis $\leq 1,0$					$\leq 1,3$	177	13,1	$\leq 1,9$	794	58,9	$\leq 2,0$	875	64,9
	1.349	21,0	95	7,0	$> 1,3$ bis $\leq 2,6$	1.048	77,7	$> 1,9$ bis $\leq 3,8$	548	40,6	$> 2,0$ bis $\leq 4,0$	468	34,7
					$> 2,6$	124	9,2	$> 3,8$	7	0,5	$> 4,0$	6	0,4
<b>Summe</b>						<b>1.349</b>	<b>100,0</b>		<b>1.349</b>	<b>100,0</b>		<b>1.349</b>	<b>100,0</b>
$> 1$					$\leq 1,3$	0	0,0	$\leq 1,9$	1	0,1	$\leq 2,0$	4	0,3
	1.511	23,6	85	5,6	$> 1,3$ bis $\leq 2,6$	82	5,4	$> 1,9$ bis $\leq 3,8$	494	32,7	$> 2,0$ bis $\leq 4,0$	550	36,4
					$> 2,6$	1.429	94,6	$> 3,8$	1.016	67,2	$> 4,0$	957	63,3
<b>Summe</b>						<b>1.511</b>	<b>100,0</b>		<b>1.511</b>	<b>100,0</b>		<b>1.511</b>	<b>100,0</b>

## A 2 Auswertung der Erlasse anderer Bundesländer

### A 2.1 Einleitung

Im Vorfeld der Einführung der novellierten BBodSchV (2021) wurden von einigen Bundesländern Regelungen erlassen, mit dem Ziel, statt der gemäß BBodSchV in der Fassung von 1999 vorgesehenen Bewertung der PAK mit Hilfe von BaP als Einzelsubstanz, eine Bewertung aller 16 PAK<sub>EPA</sub> als Gemisch vorzunehmen, wobei BaP nurmehr als Bezugssubstanz dient. Dabei ist es grundsätzlich erforderlich, die Analytik für alle 16 PAK<sub>EPA</sub> vorzunehmen.

Ausgewertet wurden nachfolgend die Erlasse bzw. Regelungen folgender Bundesländer:

- Baden-Württemberg<sup>13</sup>
- Bayern<sup>14</sup>
- Brandenburg<sup>15</sup>
- Mecklenburg-Vorpommern<sup>16</sup>
- Niedersachsen<sup>17</sup>
- Schleswig-Holstein<sup>18</sup>

Die länderspezifischen Regelungen ähneln sich stark, wobei es im Detail Abweichungen und Ergänzungen gibt.

Im Folgenden werden die Regelungen zusammenfassend dargestellt, wobei auf die bereits erwähnten Besonderheiten an der entsprechenden Stelle eingegangen wird.

---

<sup>13</sup> Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (LGA): Bewertung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bzgl. des Wirkungspfades Boden-Mensch; LGA in Zusammenarbeit mit dem Regierungspräsidium Stuttgart (2019)

<sup>14</sup> Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit: Prüf- und Maßnahmenwerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK); Stand 10/2014

<sup>15</sup> Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL): Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bzgl. des Wirkungspfades Boden-Mensch; Stand 27.12.2017

<sup>16</sup> Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern: Bewertung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch; Stand 13.04.2017

<sup>17</sup> Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: Bewertung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch; Stand 24.08.2016

<sup>18</sup> Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR): Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch; Erlass vom 05.01.2017



## A 2.2 Auswertung der Erlasse

### A 2.2.1 Festlegung der anzuwendenden Prüfwertvorschläge

Zunächst werden die jeweils anzuwendenden Prüfwertvorschläge genannt und begründet. In der Mehrzahl der Fälle werden die auf einer Empfehlung des ALA (53. Sitzung 01/2016) basierenden und letztlich auch in die novellierte BBodSchV übernommenen Prüfwertvorschläge zur Anwendung empfohlen. Aufgrund der Hintergrundbelastung wurden in der novellierten BBodSchV die Prüfwertvorschläge für die Nutzungsszenarien „Wohngebiete“ sowie „Park- und Freizeitanlagen“ auf 1,0 mg/kg festgelegt.

Baden-Württemberg und Bayern haben in ihren Erlassen allerdings den von FoBiG 1999/2004 nach Plausibilitätsprüfung abgeleiteten Prüfwertvorschlag von 0,5 mg/kg für das Nutzungsszenario „Wohngebiete“ bis zur Novellierung der BBodSchV empfohlen. Begründet wurde der niedrigere Prüfwertvorschlag in Baden-Württemberg durch den belegbar niedrigeren Hintergrundwert in diesem Bundesland.

**Tabelle 41:** Prüfwerte (PW) für BaP als Bezugssubstanz für die PAK [mg/kg]

Nutzungsszenario	PW-Vorschlag FoBiG 1999/2004	PW-Vorschlag ALA (2016)	PW BBodSchV 2021
Kinderspielflächen	0,5	0,5	0,5
Wohngebiete	0,5	1,0	1,0
Park- und Freizeitanlagen	1,0	1,0	1,0
Industrie- und Gewerbegrundstücke	5,0	5,0	5,0

Bei der Anwendung der o.g. Prüfwertvorschläge sind die folgenden Anwendungshinweise, beginnend mit der Prüfung des Musters der PAK-Verteilung, zu beachten.

### A 2.2.2 Maximales Vielfaches (Prüfschritt 1)

Voraussetzung dafür ist, dass für alle 16 PAK nach EPA Einzelergebnisse vorliegen. In diesem Schritt soll geprüft werden, ob eine typische Verteilung der 15 übrigen PAK in Bezug auf BaP vorliegt oder ob einzelne Substanzen der Stoffgruppe derart dominieren, dass BaP kein geeigneter Repräsentant für die Gesamtoxizität wäre. Dazu wird zunächst der relative Anteil des jeweiligen PAK<sub>i</sub> in Bezug auf BaP bestimmt:

$$\text{relativer Anteil PAK}_i = \text{Gehalt PAK}_i / \text{Gehalt BaP}$$

Weiterhin sind maximale Obergrenzen für das Vielfache eines einzelnen PAK<sub>i</sub> in Bezug auf BaP definiert (vgl. Tabelle 42), die es einzuhalten gilt, sofern BaP als Vertreter für die Gesamtoxizität herangezogen werden darf. Diese maximalen Obergrenzen entsprechen den gerundeten Maxima der relativen Anteile die in Böden typischer Gaswerk-, Teeröllager/Teermischwerke und insbesondere Kokereistandorten im Rahmen der Untersuchungen von FOBIG (1999, 2004) statistisch ermittelt wurden. Dies erfolgt mit der Begründung, dass Böden grundsätzlich anhand der genannten Prüfwertvorschläge beurteilt werden können, sofern sich die

relativen Anteile der 16 Kongenere innerhalb der Spannbreite derjenigen Werte bewegen, die in die damalige Mittelwertbildung von FOBIG eingegangen sind (BAYERN 2014).

Werden diese maximalen Obergrenzen überschritten, ist eine Einzelfallbetrachtung unter Hinzuziehung toxikologischer Sachverständiger erforderlich, um zu prüfen, ob die Werte „plausibel durch eine spezifische Quelle bedingt sein können“ (BAYERN 2014). Besonders kritisch sind dabei die Überschreitungen der in der rechten Spalte genannten höhermolekularen PAK zu sehen.

**Tabelle 42:** Maximales Vielfaches der 16 PAK gegenüber BaP (aus Baden-Württemberg 2019)

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

Sofern für einen Standort mehrere Proben in Hinblick auf die PAK untersucht wurden, sollen die relativen Anteile gemittelt werden, um die Vergleichbarkeit des Standortes insgesamt beurteilen zu können.

















### A 2.2.3 BaP-Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente (Prüfschritt 2)

Im nächsten Schritt, wobei dieser in der Regelung für Bayern fehlt, wird geprüft, ob die auf BaP zurückzuführende Toxizität im Bereich zwischen 30 % und 60 % der Gesamtoxizität liegt. Eine konkrete Begründung bzw. Ableitung für die genannten Grenzen liegt nicht vor. In den für die Tierversuche verwendeten Gemischen (CTM1, CTM2) lag der BaP-Anteil an der Gesamtoxizität bei 30% bzw. 41%

Nimmt der Anteil von BaP Werte unter 30 % ein, wird das Risiko bei Anwendung der in Tabelle 41 genannten Prüfwerte unterschätzt. Liegt der Anteil dahingegen über 60 %, kommt es bei Anwendung der genannten Prüfwerte zu einer Überschätzung des Risikos.

Die Berechnung der Toxizitätsäquivalente<sub>i</sub> erfolgt als Multiplikation des gemessenen Gehalts an PAK<sub>i</sub> mit dem Toxizitätsäquivalentfaktor TEF<sub>i</sub> gemäß Tabelle 43, wobei Naphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren und Pyren aufgrund deren geringen Toxizität kein entsprechender Toxizitätsäquivalentfaktor zugewiesen wird. Eine Ausnahme stellt der Erlass für Brandenburg dar; hier wird den fünf zuvor genannten PAK-Vertretern in der entsprechenden Tabelle ein TEF<sub>i</sub> von 0,001 zugewiesen.

**Tabelle 43:** Übersicht zu den 16 PAK nach EPA (aus Baden-Württemberg 2019)

	Einzelverbindung	Abkürzung	Strukturformel	Wasserlöslichkeit [mg/l]	TEF*
<b>Niedermolekulare PAK</b>	Naphthalin	Naph		31,7	-
	Acenaphtylen	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
	Pyren	Pyr		0,077	-
	Fluoranthen	FluA		0,2-0,26	0,01
<b>Höhermolekulare PAK</b>	Benz(a)anthracen	BaA		0,013	0,1
	Chrysen	Chry		0,003	0,01
	Benzo(a)pyren	BaP		0,0023	1
	Benzo(b)fluoranthen	BbF		0,0012	1
	Benzo(k)fluoranthen	BkF		0,0008	0,1
	Benzo(ghi)perylen	BghiP		0,0003	0,01
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P		0,062	0,1
	Dibenz(a,h)anthracen	DBahA		0,00054	1

\*: Toxizitätsäquivalenzfaktor

Aus den Toxizitätsäquivalenten der 16 PAK nach EPA wird zunächst die Summe gebildet und mit dem Toxizitätsäquivalent BaP in Beziehung gesetzt.

$$\text{Anteil Toxizitätsäquivalent BaP [\%]} = \frac{\text{Gehalt BaP} \cdot \text{TEF BaP}}{\sum_{i=1}^{16} \text{Gehalt } i \cdot \text{TEF } i}$$

Liegt der Anteil von BaP unter 30 % bzw. über 60 % wird empfohlen, zur Bewertung der PAK-Belastung Sachverständige mit toxikologischer Expertise hinzuzuziehen und Kontakt zu der in dem jeweiligen Erlass genannten Institution aufzunehmen, was im Übrigen auch gilt, wenn die Gehalte der einzelnen PAK die in Tabelle 42 maximalen Vielfachen überschreiten.

#### A 2.2.4 Berücksichtigung lokaler Hintergrundgehalte für BaP

Gemäß den Vorgaben der Länder Brandenburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein können großflächige, siedlungsbedingt erhöhte Belastungen mit BaP bei der Gefahrenbeurteilung eines Standortes unter Berücksichtigung der ermittelten Resorptionsverfügbarkeit (RV) durch die zuständige Behörde berücksichtigt werden. Detaillierte Regelungen zur Umsetzung in die Praxis fehlen allerdings.

#### A 2.2.5 Weitere Sachverhaltsermittlungen

Bei Prüfwertüberschreitungen werden Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738 ggf. als sinnvoll und erforderlich angesehen. Zur Ermittlung des resorptionsverfügbaren Gehalts an BaP wird nicht der Messwert selbst (bzw. der aus den Ergebnissen der Doppelmessung berechnete Mittelwert) herangezogen, sondern es wird in der Regel empfohlen, das arithmetische Mittel der verfügbaren Anteile für die acht gering mobilen bzw. höher kondensierten PAK (in Tabelle 43 farblich hinterlegt) heranzuziehen und mit dem Gesamtgehalt an BaP zu multiplizieren.

Die Vorgabe für Bayern empfiehlt allerdings, die Resorptionsverfügbarkeit für 15 PAK zu bestimmen (d.h. 16 PAK<sub>EPA</sub> ohne Naphthalin), und den Mittelwert der Anteile auf den BaP-Gehalt anzuwenden; die Berechnung des arithmetischen Mittels aus den acht höhermolekularen PAK wird lediglich als Alternative genannt.

Aufgrund der in der Praxis teilweise festgestellten Streuung der resorptionsverfügbaren Gehalte und Anteile sowie einer Wiederfindung jenseits  $100 \pm 20$  % empfiehlt das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume in einer Ergänzung<sup>19</sup> zum Erlass in Schleswig-Holstein eine halbquantitative Auswertung unter Verwendung von drei Klassen der Resorptionsverfügbarkeit:

- RV (Mittelwert PAK<sub>8</sub>) < 30 %: **geringe** Resorptionsverfügbarkeit
- RV (Mittelwert PAK<sub>8</sub>) 30-60 %: **mäßige** Resorptionsverfügbarkeit
- RV (Mittelwert PAK<sub>8</sub>) > 60 %: **ausgeprägte** Resorptionsverfügbarkeit

<sup>19</sup> Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR): Hinweise zum Umgang mit Untersuchungen von PAK-belasteten Bodenmaterialien auf Resorptionsverfügbarkeit im Zusammenhang mit dem Erlass V42-61547/2016 des MELUND (Bewertung PAK) vom 5.1.2017; Stand 19.08.2020

Bei Verwendung der o.g. Klassen wird nicht mehr der berechnete resorptionsverfügbare Gehalt an BaP zur Gefahrenbeurteilung herangezogen, sondern der gemessene Gesamtgehalt an BaP nach dem folgenden Schema:

- Anwendung der unveränderten Prüfwerte bei **ausgeprägter** Resorptionsverfügbarkeit.
- Anwendung der 2-fachen Prüfwerte bei **mäßiger** Resorptionsverfügbarkeit.
- Anwendung der 3-fachen Prüfwerte bei **geringer** Resorptionsverfügbarkeit.

Die Handlungsempfehlung wurde zwischenzeitlich durch das Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein fortgeschrieben<sup>20</sup>.

### A 2.2.6 Berechnung gebietsspezifischer Resorptionsverfügbarkeit

Die Regelung für Bayern zeigt darüber hinaus die Möglichkeit auf, Erkenntnisse zur RV auf andere, nicht in Hinblick auf die RV untersuchte Flächen eines Gebietes / einer Anlage zu übertragen. Zur Abschätzung sollte dann das 90. bzw. 95. Perzentil der bestimmten RV-Anteile herangezogen werden, wobei eine Mindestanzahl von  $n = 15-20$  für die Stichprobe als notwendig erachtet wird.

## A 2.3 Zusammenfassung

Die Regelungen und Erlasse der Bundesländer zur Bewertung der PAK-Belastung in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Mensch weisen einen ähnlichen Aufbau auf und gleichen sich weitgehend inhaltlich.

Zunächst erfolgt die Festlegung, welche Prüfwertvorschläge für BaP als Bezugssubstanz zur Erfassung der Wirkung des PAK-Gemisches anzuwenden sind. Es sind in der Regel diejenigen, die Eingang in die novellierte BBodSchV (2021) gefunden haben. Dies macht erforderlich, dass stets alle 16 PAK nach EPA analytisch bestimmt werden.

Gemäß den Regularien erfolgt zunächst eine Prüfung der PAK-Muster, um zu klären, ob diese Prüfwertvorschläge für den konkreten Boden überhaupt anwendbar sind. Diese Prüfung umfasst in der Regel zwei Prüfschritte:

- Im ersten Schritt erfolgt die Überprüfung, inwieweit die maximalen Vielfachen der relativen Anteile der 15 PAK in Bezug auf BaP eingehalten werden (Prüfschritt 1).
- Im zweiten Schritt erfolgt die Überprüfung, ob der Anteil von BaP an der Gesamttoxizität 30-60 % einnimmt (Prüfschritt 2).

Sofern die genannten Prüfkriterien nicht eingehalten werden, wird die Hinzuziehung von toxikologischem Sachverstand empfohlen.

---

<sup>20</sup> Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein (2023): Hinweise zur Bewertung von PAK bezüglich des Wirkungspfad Boden-Mensch im Zuge der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (PAK-Hinweispapier)

Bei Überschreitung der Prüfwerte für BaP wird die Durchführung von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit empfohlen, wobei hier zumindest die acht höher kondensierten PAK berücksichtigt werden sollen.

Zur Bewertung wird letztlich nicht der resorptionsverfügbare Gehalt an BaP herangezogen, sondern der Gesamtgehalt an BaP, der mit dem Mittelwert der für die acht höher kondensierten PAK berechneten Anteile multipliziert wird.

## **A 3 Einfluss technogener Substrate**

### **A 3.1 Vorbemerkung und Hintergrund**

In der ersten Sitzung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe am 05.08.2022 wurde zusätzlich zu den im Zuge der Angebotsanfrage beschriebenen und zu bearbeitenden Themen auch die Frage diskutiert, inwieweit die unterschiedlichen Quellen für PAK-Belastungen (immissionsbedingte Einträge, Brandrückstände etc.) Einfluss auf die Mobilität und Verfügbarkeit der Substanzen haben können.

So könnte die Charakterisierung der PAK-Quelle möglicherweise die Entscheidung beeinflussen, ob Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit zielführend sind. Das würde allerdings bedingen, dass im Zuge der Probengewinnung eine qualifizierte Bodenansprache und Bestimmung technogener Substrate erfolgt, was wiederum entsprechende Fachkompetenz der Probennehmenden zwingend voraussetzen würde.

Des Weiteren wurden Hinweise aus einer zu dem Zeitpunkt in Arbeit befindlichen Promotion an der Universität Münster diskutiert, die die Untersuchung alkylierter PAK als gegebenenfalls sinnvoll bei der Entscheidung zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit (RV) darstellen<sup>21</sup>.

Folgende konkrete Fragen kristallisierten sich heraus:

- Können PAK-Quellen eindeutig identifiziert werden?
- Kann aus der Kenntnis der Quelle das Vorgehen zur Untersuchung und Bewertung von PAK-Belastungen in der Phase der Detailuntersuchung abgeleitet werden?
- Welche Probleme ergeben sich, wenn nicht eindeutige, sondern gemischte Quellen vorliegen?

Im Ergebnis der Diskussion wurde vereinbart, dass hinsichtlich des Einflusses technogener Substrate nach Sichtung und Auswertung entsprechender Literatur ein kompakter Bericht als Anhang zur Arbeitshilfe zu erstellen ist, der hiermit vorgelegt wird.

### **A 3.2 Literaturrecherche – Ergebnisse**

Nachfolgend sind die Ergebnisse der recherchierten und ausgewerteten Berichte und Literatur (vgl. Literatur) zusammengefasst:

Die grundsätzliche Bedeutung technogener Beimengungen als maßgebliche Quelle für Bodenbelastungen ist hinreichend belegt und wird seit den 1990-er Jahren auch mit Blick auf die systematische Untersuchung, Bewertung und Ableitung für Empfehlungen für den Praxisvollzug erforscht. Dabei wurden nicht nur die Bedeutung als Schadstoffquelle für Halb- und Schwermetalle herausgearbeitet, sondern auch Quellen für PAK-Belastungen identifiziert.

---

<sup>21</sup> Die in der in einem Kooperationsprojekt mit dem LANUV NRW an der WWU Münster, Institut für Geologie und Paläontologie – Angewandte Geologie erstellten Dissertation grundsätzlich aufgeworfenen Aspekte werden hier mit betrachtet.

So ist bekannt, dass Bauschutt, der allerdings im Hinblick auf die Herkunft (Demontage von Gebäuden, Industriebauten, Trümmerschutt) im Gelände nicht eindeutig zuzuordnen ist, eine weite Amplitude an Schadstoffen aufweist. Vor diesem Hintergrund kommt der Historischen Recherche eine besondere Bedeutung zu, da unter Umständen eindeutige Zeitfenster erkennbar sind, wie z.B. Trümmerschuttablagerungen nach dem 2. Weltkrieg, was auf erhöhte Gehalte an PAK schließen lässt.

Beim Bauschutt des Straßenbaus (Asphalt) ist zu unterscheiden zwischen Substraten auf Bitumenbasis (Rückstände aus der Erdöldestillation: BaP-Gehalte: 1-5 mg/kg) und auf Teerbasis (Rückstände der Verkokung von Stein- und Braunkohle), wobei beim Letztgenannten der typische Geruch nach Naphthalin zu nennen ist, so dass diese Beimengungen im Gelände vergleichsweise gut identifiziert werden können. Derartiger Straßenaufbruch weist hohe bis sehr hohe Gehalte an Benzo(a)pyren (bis zu 10.000 mg/kg) auf. Allerdings kamen zwecks Beeinflussung der Viskosität auch Mischprodukte zur Anwendung, so dass generell davon ausgegangen werden muss, dass Bitumen und Teer nur selten als Monosubstrate, sondern als Gemische vorkommen (HILLER & MEUSER; MEUSER 2002; MEUSER 2010; STEINWEG & GÜNTHER 2011).

Ziegelrückstände in Reinform sind gering bis gar nicht mit PAK belastet, können aber in Gemenge z.B. mit Mörtel und Beton auch hohe Gehalte an PAK aufweisen. In Schlacken, die immer Residualprodukte von Verhüttungsprozessen darstellen (Hochofenstückschlacke, Hütensand, Stahlwerkschlacke) und in Aschen (Ergebnisse von Verbrennungsrückständen wie z.B. Rostaschen) sowie in Bergematerial sind hingegen eher geringe Gehalte an PAK zu erwarten.

Schlacken als *Verhüttungsrückstände* enthalten aufgrund der hohen Temperatur (>1.000 °C) originär keine PAK, wohingegen Aschen als *Verbrennungsrückstände* in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, seiner Feuchte, Stückigkeit und vor allem der Verbrennungstemperatur sehr stark schwankende Gehalte an PAK aufweisen. Generell ist davon auszugehen, dass je älter eine Asche ist, desto mehr PAK kann sie originär enthalten.

In modernen Verbrennungsöfen werden in aller Regel hochwertige, getrocknete, (staub-)zerkleinerte Brennstoffe bei hohen Temperaturen effizient verbrannt, was geringe PAK-Gehalte zur Folge hat. Der mittlere Gehalt an BaP in Rostaschen wird bei einem Datenpool von n= 35 mit 0,41 mg/kg angegeben (STEINWEG & GÜNTHER 2011). In der ABANDA-Datenbank<sup>22</sup> wird für Rost- und Kesselaschen die Spannweite der Gehalte an PAK<sub>16</sub> mit 0,01-547 mg/kg (n= 168) beziffert, mit einem mittleren Wert von 4,6 mg/kg. Dieser Wert entspricht in der Größenordnung dem zuvor genannten mittleren Gehalt an BaP bei Unterstellung, dass der BaP-Anteil etwa 10% am Gesamtgehalt PAK einnimmt.

Des Weiteren wurden in Müllverbrennungsaschen, auf Rieselfeldern und in Baggerschlämmen vor allem industriegeprägter Flussläufe hohe PAK-Gehalte nachgewiesen (HILLER & MEUSER 1997; MEUSER 2002; MEUSER 2002; MEUSER 2010). Der mittlere Gehalt an BaP in Müllverbrennungsaschen wird mit 0,05 mg/kg (n= 104) beziffert (STEINWEG & GÜNTHER 2011) sowie nach ABANDA-Datenbank der mittlere Gehalt an PAK<sub>16</sub> mit 316 mg/kg. Beim letztgenannten Wert ist zu beachten, dass dieser Wert ja auch aus entsorgtem Abfall eruiert wurde. Anzumerken

---

<sup>22</sup> Informationsportal Abfallbewertung des LANUV NRW, Recklinghausen.



ist, dass moderne Müllverbrennungsanlagen aufgrund der hohen Temperaturen im Verbrennungsofen (>800 °C) nur geringe Gehalte an PAK enthalten.

Wie bereits ausgeführt, kommt dem Trümmerschutt eine besondere Bedeutung zu. Vergleichenden Untersuchungen in Berlin zufolge weisen Böden mit „üblichen“ Bauschuttanteilen PAK-Gehalte von 0,2 mg/kg bis 13,5 mg/kg (BaP: <0,1-0,5 mg/kg) auf, wohingegen in mit kriegsbedingtem Trümmerschutt beeinflussten Böden PAK-Gehalte zwischen 0,2 mg/kg bis 644 mg/kg (BaP:<0,1-33 mg/kg) nachgewiesen wurden (MEUSER 2010; SENATSV ERWALTUNG BERLIN 2020).

Ergebnisse von resorptionsverfügbaren Gehalten an PAK in Böden mit hohen Anteilen an technogenen Substanzen liegen nur in geringem Umfang vor. Im Zuge einer systematischen Untersuchung von 304 Bolz- und Spielplätzen in Mönchengladbach wurden auf 47 % aller untersuchten Flächen Prüfwertüberschreitungen für den Wirkungspfad Boden-Mensch festgestellt. Als Ursache wurden insbesondere die vor 1990 verwendeten Baustoffe aus natürlichen und technogenen Substraten erkannt, die z.B. in wassergebundenen Decken oder im Bereich von Rasenflächen eingebaut bzw. aufgebracht worden waren. In 10 Bodenproben mit Anteilen an Rostasche wurde der resorptionsverfügbare Anteil für BaP bei großen Schwankungen von - im Median - 11% ermittelt. Der Datensatz war jedoch nicht groß genug, um daraufhin allgemein anzuwendende Handlungsansätze formulieren zu können (STEINWEG & GÜNTHER 2011).

Nach HINDERSMANN et al. (2018) sind die am häufigsten angetroffenen Komponenten bei der Bodenansprache im Gelände Aschen (18,4%), Bauschutt (14,8%), Bergematerial (12,7%), Schlacke (20,7%), Ziegelbruch (18,6%), Glas (6,6%) und Kohlen (6,0%), wohingegen Asphalt (1,7%) oder Teer/Teerpappen (0,2%) nur in geringem Umfang erkannt wurden. Allerdings muss an dieser Stelle betont werden, dass in der zitierten Literatur unterschiedlichste Datensätze zusammengetragen wurden. So sind sowohl Ergebnisse aus Untersuchungen im ländlichen und urban geprägten Raum als auch Messwerte von Altlasten bzw. altlastenverdächtigen Flächen eingeflossen. Die oben aufgeführten Daten können somit keinesfalls als repräsentativ für NRW oder andere zu definierende Bereiche gelten, vielmehr sind sie als mehr oder weniger zufällig zusammen gesetzte Stichprobe zu verstehen.

Zudem handelte es sich häufig um Mischungen aus bis zu sieben Beimengungen und vermutlich mehreren Quellen, so dass anzunehmen ist, dass bei der sensorischen Bodenansprache im Gelände wohl kaum alle möglichen PAK-Quellen identifiziert werden können. Auf eine substratspezifische Auswertung wurde daher verzichtet.

Des Weiteren wird in HINDERSMANN et al. (2018) vom Einfluss möglicher Faktoren auf die RV von BaP berichtet, wobei dieser Aspekt statistisch weder im Hinblick auf den pH-Wert, noch auf den TOC-Gehalt festzustellen war.

Hingegen konnte eine Korrelation zwischen PAK-Gehalt im Boden und dem Nutzungsalter einer Fläche erkannt werden (10)<sup>23</sup>, was auf jahrhundertelange Einträge über Aschen, Bauschuttresten, aber auch Dünger und Kompost zurückgeführt wird.

---

<sup>23</sup> Entsprechende Erkenntnisse wurden auch bei der Erstellung der Bodenbelastungskarte für die Stadt Wuppertal ermittelt. Im Rahmen eines durch die Bezirksregierung Düsseldorf geförderten Forschungsprojektes „Regionaltypische Resorptionsverfügbarkeit von Benzo(a)pyren in der Stadt Wuppertal“ wird aktuell (2024) der Frage nachgegangen, ob ein entsprechender Hintergrundgehalt an BaP für den Oberboden in der Stadt Wuppertal abgeleitet werden kann.

Im Hinblick auf die hier zu betrachtende Fragestellung erscheint unter Umständen eine Differenzierung in pyrogene und petrogene PAK bedeutsam. Pyrogene PAK entstehen durch die thermische Beeinflussung von rezenten oder fossilen organischen Brennstoffen, wie z.B. Holz, Öl oder Kohlen, so dass (Abfall)Produkte wie Steinkohlenteerpech, Kohleaschen, Ruße, etc. potentielle Eintragsquellen dieser PAK in die Umwelt darstellen. Petrogene PAK entstehen zwar auch aufgrund der thermischen Beeinflussung organischen Materials, allerdings in erdgeschichtlichen Zeiträumen und anderen Druck- und Temperaturprozessen (Inkohlung und Erdölbildung). Hierbei kommt es zu molekularen Umstrukturierungen und Bildung petrogener, überwiegend alkylierter PAK. In urbanen Böden ist davon auszugehen, dass stets Mischungen aus unterschiedlichen Quellen vorkommen (HINDERSMANN et al. 2018).

Nach HINDERSMANN et al. (2018) und HÜMMLER & ACHTEN (2022) zeigen sich PAK aus petrogenen Quellen als geringer resorptionsverfügbar (<10%) als PAK, die bei unvollständiger Verbrennung entstehen (pyrogene Quellen: ca. 30%). Gemische sind je nach Zusammensetzung zwischen diesen Kategorien zu vermuten.

Abschließend ist auf Untersuchungen an juvenilen Schweinen hinzuweisen, die sich der Frage widmeten, ob Alterungsprozesse oder Bodeneigenschaften (TOC- und Lehmgehalt) die Bioverfügbarkeit von BaP beeinflussen. Diese ließen keine Korrelationen der Verfügbarkeit zu den untersuchten Bodeneigenschaften erkennen. Allerdings scheint BaP aus „gealterten“ Böden eine geringere Bioverfügbarkeit aufzuweisen als aus „frisch“ kontaminierten Böden (DUAN et al. 2014). Bei KAISER (2013) werden für gealterte Böden Resorptionsverfügbarkeiten von BaP von 3-12% zitiert.

### **A 3.3 Fazit für die Erstellung der Arbeitshilfe**

Nach dem in Kapitel 2 in gebotener Kürze skizzierten Kenntnisstand können die eingangs geäußerten Fragen wie folgt beantwortet werden:

- ***Können PAK-Quellen eindeutig identifiziert werden?***

Wenngleich geschultes Personal im Gelände durchaus bei der Ansprache nach KA 5 Hinweise auf PAK-Quellen gewinnen kann und insbesondere bei Antreffen von teerhaltigen Substraten auch „Laien“ auf das Vorkommen von PAK schließen können, so ist diese Frage für den allgemeinen Praxisvollzug doch (noch) zu verneinen. Bei der Vielzahl unterschiedlicher PAK-Quellen, die zumeist im Boden als Gemisch vorliegen, ist nicht mit ausreichender Sicherheit zu erwarten, dass aus der Ansprache im Gelände eine eindeutige Identifizierung der Herkunft und daraufhin vorzunehmender These hinsichtlich der Verfügbarkeit der PAK möglich ist.

Anders kann dies in solchen Fallgestaltungen eingeschätzt werden, bei denen das Vorkommen von PAK durch sensorisch gut erkennbare technogene Beimengungen bedingt wird. So kann für Teer, Ruß, Bauschutt (insbesondere Brand- und Trümmerschutt) und Rost- und Müllverbrennungsaschen (insbesondere älteren Ursprungs) der Verdacht auf erhöhte Gehalte an PAK durch geschultes Personal bereits bei der visuellen Probenbegutachtung als erhärtet gelten. Hingegen enthalten alle Schlacken, Schmelzkammergranulat, reines Ziegelmaterial und Beton nahezu keine PAK, sodass hier visuell kein Hinweis auf erhöhte PAK-Gehalte abzuleiten ist.

- ***Kann aus der Kenntnis der Quelle das Vorgehen zur Untersuchung und Bewertung von PAK-Belastungen in der Phase der Detailuntersuchung abgeleitet werden?***

Eine Aussage zur erwarteten PAK-Belastung erscheint nach aktuellem Stand lediglich im Hinblick auf teerbedingte PAK in der Form möglich, dass derartige Bodenproben so hoch mit PAK belastet sind, dass die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit im Zuge der weiteren Sachverhaltsermittlungen kein Ausräumen des Gefahrenverdacht erwarten lässt. Zwar kann allgemein postuliert werden, dass petrogene PAK weniger resorptionsverfügbar sind als pyrogene, da dies zwischen konkreten Quellen jedoch unterschiedlich ist und in den meisten Proben ein Gemisch von pyrogenen und petrogenen PAK vorliegen dürfte erscheint derzeit (noch) nur die laboranalytische Prüfung nach DIN 19738 zur abschließenden Bewertung zielführend.

- ***Welche Probleme ergeben sich, wenn nicht eindeutige, sondern gemischte Quellen vorliegen?***

Je komplexer die Mischung an PAK-Quellen ist, desto schwieriger sind Prognosen zur anzunehmenden Resorptionsverfügbarkeit der PAK zu treffen. Durch das visuelle Erkennen von technogenen Substraten ist eine Aussage für Proben mit gemischten PAK-Quellen nicht möglich. Laboranalytisch können die Proben zwar mittels Alkyliertenverhältnis oder der Benzolpolycarbonsäure-Methode weiter charakterisiert werden, eine Vorhersage der RV erscheint aber auch hierdurch nicht möglich.

Abschließend erscheint der vorliegende Kenntnisstand im Hinblick auf eine Würdigung der PAK-Quellen - die im Zuge der Geländearbeiten eindeutig erkannt werden müssten - bei der Entscheidung zur Durchführung von Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei Prüfwertüberschreitungen als unzureichend und unsicher. Dies mag sich durch eine Erweiterung des Kenntnisstandes in den nächsten Jahren anders darstellen, wird aber für die aktuell zu erstellende Arbeitshilfe noch nicht als belastbares Mittel bewertet.

### **A 3.4 Ausgewertete Literatur**

DUAN, L. et al. (2014): Effects of ageing and soil properties on the oral bioavailability of benzo[a]pyren using a swine model. *Environmental International* 70, S. 192-202

HILLER, D.; MEUSER, H. (1997): *Urbane Böden*. Springer Verlag, Berlin

HINDERSMANN, B. et al. (2018): PAK-Neubewertung im Rahmen der Novellierung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung. Bericht im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung zwischen dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW und dem Institut für Geologie und Paläontologie der Westfälischen Wilhelms-Universität (WWU) Münster, unveröffentlicht

HÜMLER, A.; ACHTEN, C. (2022): Unterstützende Prognose der humanen Resorptionsverfügbarkeit mittels Alkyl-PAK-BPCA-Index zur Quellenidentifizierung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Böden. Abschlussbericht für das Kooperationsprojekt – unveröffentlicht.

- KAISER, D.B. (2013): Evaluierung vorhandener Verfahren und Daten zur Beurteilung der Resorptionsverfügbarkeit ausgewählter Schadstoffe. Dissertation, Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin. Online verfügbar: <https://d-nb.info/1032899409/34>
- LEVIN, M.J. et al. (2017): Soils within Cities – Global approaches to their sustainable management. CATENA soil sciences, Stuttgart
- MEUSER, H. (2002): Anthropogene Gesteine. Handbuch der Bodenkunde, Kapitel 2.1.2.6
- MEUSER, H. (2010): Contaminated Urban Soils. Springer Verlag, Berlin
- SENATSWERWALTUNG BERLIN (2020): Anleitung für die bodenkundliche Kartierung im Land Berlin unter besonderer Berücksichtigung anthropogener Böden im urbanen Bereich
- STEINWEG, B.; GÜNTHER, P. (2011): Resorptionsverfügbarkeit von schadstoffbelasteten Bodenmaterialien und Baustoffen (natürliche und technogene Substrate) und Stadtböden. Altlastenspektrum 6, S. 245-249
- STEINWEG, B.; KERTH, M. (2011): Schadstoffgehalte in Stadtböden ländlich geprägter Klein- und Mittelstädte im Kreis Lippe (Nordrhein-Westfalen). Bodenschutz 3, S. 64-67
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011): Untersuchungen zum Vollzug und zur Weiterentwicklung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung --- Teil 1, Forschungskennzahl 36013014 UBA-FB 001549, UBA-Text 68-2011; Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4190.pdf>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011): Evaluierung vorhandener Bewertungsansätze und Entwicklung eines Konzeptes zur integrierten Wirkungsbewertung prioritärer Schadstoffe über alle Pfade auf der Grundlage der Bioverfügbarkeit; FKZ 3708 72 200, UBA Texte 59/2011, Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluierung-vorhandener-bewertungsansaetze>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2016): Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen zur weiteren Fortschreibung des Anhangs 1 der BBodSchV. Forschungsbericht 297 72 766 im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 15/2016, Online: [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)
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2020): Robustheitsuntersuchung zur Resorptionsverfügbarkeit von Schadstoffen in Böden Abschlussbericht, UBA-Texte 86/2020, Online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_86-2020\\_robustheitsuntersuchung\\_zur\\_resorptionsverfuegbarkeit\\_von\\_schadstoffen\\_in\\_boeden.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_86-2020_robustheitsuntersuchung_zur_resorptionsverfuegbarkeit_von_schadstoffen_in_boeden.pdf)

## A 4 Analytische Herausforderungen bei der Bestimmung von PAK

### A 4.1 Einleitung

Bei der Analytik polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden treten sowohl bei der Gesamtgehaltsbestimmung als auch bei der Untersuchung der Mobilisierbarkeit (Resorptionsverfügbarkeit) verschiedene Herausforderungen auf. Diese sind bei der Ausschreibung der analytischen Leistung sowie bei der Bewertung der Ergebnisse von Bedeutung. Dieser Anhang soll daher die analytischen Schwierigkeiten nennen und Hilfestellung bei der Ausschreibung der analytischen Leistung sowie der Ergebnisinterpretation geben.

### A 4.2 PAK-Gesamtgehaltsbestimmung

Generell ist nach Tabelle 5 (BBodSchV) die Extraktion mit Aceton vorgesehen, gefolgt von weiteren Aufbereitungsschritten (Zugabe von Petrolether, Entfernen des Acetons, chromatographische Reinigung des Petroletherextraktes) bis hin zur Quantifizierung mittels GC-MS oder Aufnahme des Petroletherextraktes in Acetonitril und Quantifizierung mittels HPLC mit UV/DAD bzw. FLD. Es sind zwei DIN-Verfahren (DIN ISO 18287:2006-05; DIN EN 16181:2019-08) benannt, deren Anwendung vergleichbare Ergebnisse liefern sollten.

Vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU)<sup>24</sup> wird für die PAK-Gesamtgehaltsbestimmung die Anwendung der DIN EN 17503:2022-08 empfohlen (Feststellung gemäß § 25 (1) der BBodSchV zur Gleichwertigkeit und praktischen Eignung von Methoden durch den Fachbeirat Bodenuntersuchungen - Stand 2023-08-02<sup>25</sup>).

Eine regelmäßige Einsichtnahme in die Methodensammlung Methosa<sup>26</sup> des Fachbeirat Boden ist angeraten.

---

<sup>24</sup> Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat am 14. Juni 2000 den Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) einberufen, um gem. Anhang 1 BBodSchV ein Gremium einzurichten, das die formalen Voraussetzungen schafft, trotz der rechtlich notwendigen starren Normverweise im Gesetz die jeweils aktuellen Fassungen anzuwenden. In der BBodSchV (2021) ist der Fachbeirat Boden in §25 beschrieben und dessen Aufgaben definiert.

<sup>25</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/gleichwertigkeitsfeststellung\\_bbodschv\\_stand\\_2023-08-02.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/gleichwertigkeitsfeststellung_bbodschv_stand_2023-08-02.pdf)

<sup>26</sup> Fachbeirat Boden: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kommissionen-beiraete/fachbeirat-bodenuntersuchungen-fbu#aufgaben>  
Methosa vom 15.06.2021; Quelle: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20210615\\_methodensammlungfeststoffuntersuchung\\_v2\\_final\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20210615_methodensammlungfeststoffuntersuchung_v2_final_0.pdf)

### **A 4.2.1 Stoffspektrum**

Für die Bewertung sind nach BBodSchV die sogenannten 16 EPA-PAK maßgeblich. Die 16 relevanten PAK werden in der Tabelle 4 der Arbeitshilfe aufgelistet. Im Rahmen der Analytik der Gesamtgehalte und der resorptionsverfügbaren Gehalte ist für die einzelnen PAK eine Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/kg oder geringer einzuhalten.

### **A 4.2.2 Probenheterogenität**

Eine größere Einwaage trägt der Heterogenität in der Bodenprobe Rechnung. Die DIN 17503:2022-08 empfiehlt in Kapitel 10.2.1 Boden-Einwaagen zwischen 2 und 20 g.

Trotz bekannter Probenheterogenität von Bodenproben wird keine Feinmahlung der Proben empfohlen, da sich durch das Mahlen die PAK-Gehalte je nach Probenherkunft ändern können und außerdem nicht identisch mit der Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit wären, die in der Fraktion < 2 mm Proben untersucht wird.

### **A 4.2.3 Doppelbestimmung**

Nach DIN 17503:2022-08 reicht eine Einfachbestimmung. Aus fachlicher Sicht wird aber für ein abgesichertes Ergebnis mindestens eine Doppelbestimmung (Untersuchung von mindestens zwei Laborproben (echte Probenaliquots), nicht nur Doppelmessung) empfohlen.

Aus Mehrfachbestimmungen ist der Mittelwert zu bilden und mit dem Prüfwert abzugleichen. Weichen die Einzel-Ergebnisse um mehr als 30% vom Mittelwert ab, ist eine dritte Bestimmung durchzuführen. Weichen die Ergebnisse um mehr als 30% vom Mittelwert ab, liegen Hinweise auf Heterogenitäten in dem zu untersuchenden Boden vor.

### **A 4.2.4 Extraktionsmittel**

Als Extraktionsmittel sollte gemäß DIN 17503:2022-08 (Kapitel 10.2) möglichst Aceton / Hexan (Petrolether) verwendet werden, um vergleichbare Ergebnisse mit den Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) zu erhalten.

### **A 4.2.5 Aufreinigungsverfahren**

Nach DIN 17503:2022-08 Kapitel 10.4 muss ein Aufreinigungsverfahren angewendet werden, wenn Verbindungen vorliegen, die die relevanten PAK im GC-MS-Chromatogramm bzw. HPLC-Chromatogramm stören oder die Messung beeinflussen können (d. h. Kontamination des Chromatographiesystems). Falls keine, oder nur vernachlässigbare Störsubstanzen vorliegen, ist keine Aufreinigung erforderlich. Hinweise zu Störsubstanzen und geeigneten Aufreinigungsverfahren kann Tabelle 6 der DIN 17503:2022-08 geben.

Im Prüfbericht sollen, wenn eine Aufreinigung durchgeführt wurde, die Störsubstanzen und das Aufreinigungsverfahren angegeben werden.

#### **A 4.2.6 Detektion**

Von den zwei in der DIN dargelegten Detektionsmöglichkeiten wird die Detektion mittels GC-MS aufgrund ihrer Störunanfälligkeit/Robustheit empfohlen. Wichtig ist insbesondere die ausreichende Trennung der PAK-Peaks im Chromatogramm. Alle Chromatogramme (mindestens aber ein Chromatogramm je Mess-Serie) sollten dem Bericht beigefügt werden.

#### **A 4.2.7 Ergebnisbericht**

Der Ergebnisbericht soll alle vorgenannten Schritte darlegen. Insbesondere sind anzugeben/beizufügen:

- Alle Einzelmessergebnisse (Angaben für alle 16 PAK),
- die verwendeten Extraktionsmittel,
- die Bestimmungsgrenzen für alle Einzelstoffe,
- ggf. die Methode der Aufreinigung und die dabei entfernten Störsubstanzen,
- alle Chromatogramme, mindestens aber ein Chromatogramm je Mess-Serie.

In Kapitel 13 der DIN 17503:2022-08 sind weitere Einzelheiten zum Prüfbericht genannt.

### **A 4.3 Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchung (RV) mit anschließender PAK-Bestimmung**

Zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit ist die in §13, Abs. 3 der BBodSchV genannte DIN 19738:2027-06 anzuwenden. Im Anhang D der DIN-Norm wird dabei informativ die Extraktion von PAK aus den Resorptionsextrakten dargestellt.

#### **A 4.3.1 Generellen Schwierigkeiten RV**

Die Methode ist aufgrund der komplexen Untersuchungsmatrix (u.a. Milchpulver und synthetische Verdauungssäfte) zeitaufwendig und teuer. Außerdem ist die Streuung der Ergebnisse aufgrund der relativ geringen Einwaage (nach DIN 19738:2017-06, Kapitel 8.2 üblicherweise 2 g) bei inhomogenen Bodenproben oft stark. Deshalb werden die Qualitätsanforderungen der DIN 19738 häufig nicht eingehalten.

Aus diesem Grund zielt das Konzept der PAK-Arbeitshilfe darauf ab, nur so wenig RV-Untersuchungen wie nötig durchzuführen. Trotzdem ist die Methode in der Detailuntersuchung zurzeit die (einzige) Methode der Wahl zur Abschätzung der bodenbedingten Expositionsfaktoren nach Prüfwertüberschreitungen (Gesamtgehalt), wenn diese in einem in der Arbeitshilfe genannten Rahmen liegen.

### **A 4.3.2 Möglichst zweite Doppelbestimmung**

In der DIN 19738:2017-06 wird eine Doppelbestimmung aus zwei Einzelproben mit Einwaagen von jeweils 2 g gefordert (Kapitel 8.2). Bei Abweichung von mehr als 10 % (+/-) der Einzelergebnisse vom Mittelwert muss gemäß Kapitel 10.2 eine weitere Doppelbestimmung durchgeführt werden. Diese Anforderung gilt sowohl für das Mobilisat als auch für das Sediment. Liegt der nähere der beiden Werte allerdings um mehr als die Differenz der beiden Werte vom Beurteilungswert entfernt (=deutliche Über- oder Unterschreitung des Prüf-/Beurteilungswertes), kann auf diese Nachmessungen verzichtet werden, weil dann mit hinreichender Sicherheit die Gefahr festgestellt (deutlich Überschreitung des Prüf-/Beurteilungswertes) oder ausgeräumt (deutliche Unterschreitung des Prüf-/Beurteilungswertes) werden kann. Nach Eliminierung von Ausreißern wird der resorptionsverfügbare Gehalt als Mittelwert aus den verbleibenden Messwerten gebildet. Da der Erfahrung nach die vorgenannten analytischen Qualitätsanforderungen häufig nicht eingehalten werden, können auch von vorneherein vier Bestimmungen (Mobilisat und Sediment) durchgeführt werden.

### **A 4.3.3 Abtrennung des Mobilisats vom Sedimentrückstand**

Nach Abschluss des Mobilisierungstests müssen Mobilisat und Sedimentrückstand durch 20 Minuten Zentrifugation bei 7.000 g voneinander getrennt werden. Der Überstand wird dekantiert und das Sediment mit 30 ml destilliertem Wasser suspendiert und dann nochmals zentrifugiert. Es muss sichergestellt werden, dass keine Partikel im Zentrifugatüberstand vorhanden sind. Sofern Partikel separiert werden können, müssen sie dem Sediment zugeschlagen werden.

### **A 4.3.4 Extraktion**

Als Extraktionsmittel sowohl für Mobilisat als auch Sedimentrückstand wird n-Hexan und Aceton empfohlen. Die möglichen Vorgehensweisen sind in Kapitel 8.4.3 der DIN 19738 beschrieben. Die genaue Vorgehensweise der Extraktion ist im Ergebnisbericht zu beschreiben.

### **A 4.3.5 Aufreinigung**

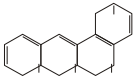
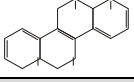
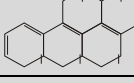
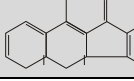
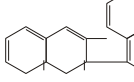
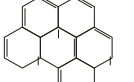
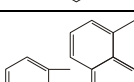
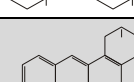
Aufgrund der komplexen Matrix (Gallebestandteile und teilverdaute Fette und Lipide durch das Vollmilchpulver) ist in der Regel eine Aufreinigung des Extraktes erforderlich. Dabei wird die Nutzung einer SPE-Säule (solid phase extraction; fertig gepackt und zur Einmal-Verwendung) empfohlen. Es gibt Produkte verschiedener Hersteller, die für die Abtrennung von PAK aus Öl angeboten werden. Der n-Hexan-Extrakt wird dabei durch die Säule/Kartusche gegeben und die Säule/Kartusche mit sauberem n-Hexan nachgespült. Sowohl die sorbierten PAK als auch möglicherweise Störstoffe werden mit Toluol extrahiert. Aufgrund mitunter großer Mengen von Störstoffen kommt der Aufreinigung eine wichtige Rolle zu. Es wird empfohlen, für die Aufreinigung nur ein Aliquot des Extraktes zu verwenden, um die Sorptionsfähigkeit der Säule nicht überzustrapazieren.



### A 4.3.6 PAK-Spektrum nach RV

In der Regel sind die acht als kanzerogen geltenden und laboranalytisch bestimmbaren PAK<sub>8</sub> anzugeben: Benzo(a)pyren, Benzo(k)fluoranthren, Benz(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylen, Chrysen, Dibenz(a,h)anthracen, Indeno(1,2,3-cd)pyren. Ggf. kann auch eine Einschränkung auf die i.d.R. hauptsächlich relevanten PAK<sub>3</sub> (Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Dibenz(a,h)anthracen) erfolgen (s. Tabelle 44).

**Tabelle 44:** PAK<sub>8</sub> und PAK<sub>3</sub> (grau hinterlegt) nach U.S. EPA

Einzelverbindung	Abkürzung	Strukturformel
Benzo(a)anthracen	BaA	
Chrysen	Chry	
Benzo(a)pyren	BaP	
Benzo(b)fluoranthren	BbF	
Benzo(k)fluoranthren	BkF	
Benzo(ghi)perylen	BghiP	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	I123P	
Dibenz(a,h)anthracen	DBahA	

### A 4.3.7 Detektion

Die DIN 19738:2017-06 eröffnet wie bei der Feststoffuntersuchung zwei Detektionsmöglichkeiten. Auch hier wird die Detektion mittels GC-MS empfohlen. Wichtig ist insbesondere die Vermeidung einer unzureichenden Trennung der PAK-Peaks im Chromatogramm [speziell Benzo(b)fluoranthren und Benzo(k)fluoranthren], was durch einen regelmäßigen GC-Säulenwechsel sichergestellt und durch die Mitlieferung der Chromatogramme dokumentiert werden kann.

### A 4.3.8 Wiederfindung / Berechnung RV-Anteil

In der DIN 19738:2017-06 wird für die Berechnung des RV-Anteils das Ergebnis der PAK-Untersuchung im Mobilisat mit dem Gesamtgehalt (aus vorangegangener Gesamtgehaltsbe-

stimmung) der Probe verglichen. Diese Berechnung bezieht sich somit auf zwei unterschiedliche Probenaliquots und kann aufgrund der Probenheterogenität zu stark unterschiedlichen Ergebnissen führen. Daraus können sich implausible Wiederfindungsraten und damit Abweichungen von den Qualitätsanforderungen der DIN 19738 ergeben. Dies wurde durch Untersuchungen der Universität Münster gezeigt<sup>27</sup>.

In Münster wurde daher die **Berechnung des RV-Anteils** abweichend von der DIN 19738 der Gehalt im Mobilisat nicht auf den Gesamtgehalt aus vorangegangener Analytik, sondern auf den Gesamtgehalt, der sich aus der Summe der PAK-Gehalte in Mobilisat und Sediment (M+S) der RV-Untersuchung ergibt bezogen (Formel 1). So konnte der Mobilisatgehalt mit dem Gesamtgehalt desselben Probenaliquots verglichen und daraus der RV-Anteil der Probe errechnet werden; die Abweichungen der Wiederholungs-Ergebnisse waren deutlich geringer.

Formel: Berechnung RV-Anteil

$\text{RV-Anteil [\%]} = \frac{\text{Gehalt im Mobilisat (Mittelwert)}}{\text{Gehalt im Mobilisat (MW) + Gehalt im Sediment (MW)}} * 100$
---

Gleichzeitig wurde von der Universität Münster vorgeschlagen zur **Bewertung einer Einzelprobe**, den absoluten PAK-Gehalt im Mobilisat (Mittelwert aus n Bestimmungen) direkt mit dem Prüfwert abzugleichen und nicht erst über den RV-Anteil einen resorptionsverfügbaren Gehalt aus dem Gesamtgehalt zu berechnen.

Da diese Vorgehensweise jedoch von den Vorgaben der DIN 19738 abweicht, wird derzeit noch von einer Empfehlung zur Anwendung der Vorgehensweise der Universität Münster abgesehen.

#### A 4.3.9 Ergebnisbericht

Auch der Ergebnisbericht zur RV soll alle oben genannten Schritte darlegen. Insbesondere sind anzugeben/beizufügen:

- Alle Einzelmessergebnisse (alle gemessenen PAK; Mobilisat und Sediment),
- die verwendeten Extraktionsmittel,
- die Bestimmungsgrenzen für alle Einzelstoffe,
- die Methode der Aufreinigung und die dabei entfernten Störsubstanzen,
- alle Chromatogramme, mindestens aber ein Chromatogramm je Mess-Serie.

---

<sup>27</sup> Zeitschrift für Bodenschutz: Einfluss der Quelle von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) auf die Resorptionsverfügbarkeit (RV) in urbanen Böden und methodische Fallstricke bei der Bewertung – derzeit (2024) in Veröffentlichung

## A 4.4 Beispiel: Leistungsverzeichnis zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit von PAK

Das nachfolgende Leistungsverzeichnis kann als Beispiel für die Ausschreibungsunterlagen bei der Vergabe von RV-Untersuchungen dienen.

### A 4.4.1 Einleitung und Zielsetzung

Die Novellierung der BBodSchV 2021 führt mit deren Inkrafttreten am 01.08.2023 unter anderem zu veränderten Anforderungen an die Bewertung der ubiquitär vorkommenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch.

Gemäß BBodSchV 2021 sind bei Prüfwertüberschreitung weitere bodenseitige Sachverhalts-ermittlungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch und die Nutzungsszenarien „Kinderspielfläche“, „Wohngebiete“ und „Park- und Freizeitanlagen“ in Form der Untersuchung zur Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738:2017-06 durchzuführen.

### A 4.4.2 Analytik

Der nach aktueller Einschätzung zu erwartende Umfang und die Art der zu untersuchenden Proben ergeben sich aus dem Leistungsverzeichnis und den Ausführungen in dieser Leistungsbeschreibung.

Alle Proben sind *in Doppelbestimmung* (echte Doppelbestimmung inkl. Extraktion) auf die **Gesamtgehalte** an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (16 PAK<sub>EPA</sub>) inklusive Benzo(a)pyren (BaP) in der Fraktion < 2 mm gemäß der vom Fachbeirat Boden (FBU) vorgeschlagenen Methode DIN EN 17503:2022-08 zu untersuchen (Feststellung gemäß § 25 (1) der BBodSchV zur Gleichwertigkeit und praktischen Eignung von Methoden durch den Fachbeirat Bodenuntersuchungen – Stand 2023-08-02<sup>28</sup>). Weichen die Ergebnisse um mehr als 30 % vom Mittelwert ab ist eine dritte Bestimmung durchzuführen.

Zudem sind die **resorptionsverfügbaren Gehalte** nach DIN 19738:2017-06 in der Fraktion < 2 mm zu ermitteln. Hier wird für jede Probe mindestens eine Doppelbestimmung für das Mobilisat und für das Sediment gefordert. Ergeben sich hierbei Abweichungen von mehr als 10 % vom gemeinsamen Mittelwert ist eine weitere Doppelbestimmung erforderlich. Dies gilt sowohl für das Mobilisat als auch für das Sediment.

Gemäß DIN 19738 muss das Ergebnis nach RV mit dem Gesamtgehalt in Beziehung gesetzt werden (Berechnung des resorptionsverfügbaren Anteils sowie der Wiederfindung).

---

<sup>28</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/gleichwertigkeitsfeststellung\\_bbodschv\\_stand\\_2023-08-02.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/gleichwertigkeitsfeststellung_bbodschv_stand_2023-08-02.pdf)

Für die folgenden acht Einzelsubstanzen (PAK<sub>8</sub>) sind die resorptionsverfügbaren Gehalte (Gehalte im Mobilisat sowie im Sediment) zu ermitteln: Benz(a)anthracen, Chrysen, Benzo(ghi)perylen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1,2,3-cd)pyren und Dibenz(a,h)anthracen

#### A 4.4.3 Ergebnisaufbereitung

Die Ergebnisse der Laboruntersuchung sind unter Angabe der Verfahren (verwendete DIN) und Bestimmungsgrenzen als ausgedruckte Prüfberichte und in tabellarischer Form als Excel-Tabelle jeweils spätestens 10 Wochen nach Eingang der Proben dem AG vorzulegen.

Die Angaben der Daten müssen nach den folgenden Vorgaben erfolgen:

**Tabelle 45:** Beispieltabelle zur Angabe der Ergebnisse der RV-Untersuchung (Doppelbestimmung)

Proben-ID	Parameter	Bestimmungsgrenze	Gesamtgehalt	mobilisierbarer Gehalt (Mobilisat)	nicht mobilisierbarer Gehalt (Sediment)	mobilisierbarer Anteil	Wiederfindung
		mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	%	%
xy-Probe A	BAP			0,24	0,86		
xy-Probe B	BAP			0,25	0,84		
Mittelwert	BAP		1,2	0,245	0,85	20,4	91,3

Die Berichte zur Analytik (zur Bestimmung der Gesamtgehalte sowie zur Bestimmung resorptionsverfügbarer Gehalte) haben darüber hinaus folgende Angaben zu enthalten:

- Die verwendeten Extraktionsmittel,
- die Methode der Aufreinigung und die dabei ggf. entfernten Störsubstanzen,
- mindestens ein Ergebnis-Chromatogramm je Mess-Serie.

#### A 4.4.4 Angebotsmodalitäten

In die einzelnen Positionen des Angebotes sind sämtliche zur Erbringung des Leistungsumfanges notwendigen Arbeiten (Vorbereitung, Organisation, etc.) kalkulatorisch einzubeziehen, soweit sie im Leistungsverzeichnis nicht explizit aufgeführt sind.

Davon ausgenommen sind unter Umständen erforderlich werdende zusätzliche Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit (RV) oder aber des PAK-Gesamtgehaltes, die aufgrund der Anforderungen der DIN-Normen nach Vorliegen der Ergebnisse der Erstuntersuchungen erforderlich werden (z.B. eine Wiederholung der Untersuchung – einfach bei Gesamtgehaltsbestimmung, Doppelbestimmung bei RV – aufgrund nicht tolerierbarer Abweichungen der ermittelten Gehalte in den Doppelbestimmungen). Diese sind – nach Abstimmung und Freigabe durch den AG – als zusätzliche Probe gemäß Pos. 3a bzw. 4a abzurechnen.

Eine Änderung des im Leistungsverzeichnis angegebenen Umfanges bleibt dem Auftraggeber (AG) in Abhängigkeit von gegebenenfalls sich ergebenden Erkenntnissen im Zuge der weiteren Arbeiten vorbehalten. Der Auftragnehmer (AN) hat keinen Anspruch auf Ausführung des im Leistungsverzeichnis aufgeführten Umfanges.

Der Auftragnehmer (AN) darf die ihm übertragenen Leistungen nur mit Zustimmung des AG an Subunternehmer weiter vergeben. Ist die Vergabe von Teilleistungen an Dritte zur Erfüllung des Gesamtumfanges der im LV abgefragten Positionen für den AN unabdingbar, so sind die entsprechenden Teilleistungen und die vorgesehenen Subunternehmer im Angebot zu benennen. Der AG behält sich vor, ein derartiges Angebot nicht in die Wertung der eingegangenen Angebote aufzunehmen.

#### **A 4.4.5 Zuständigkeiten und Fristen**

Die *Auftraggeberin* (AG) hat den *Gutachter* mit der gutachterlichen Bearbeitung des Projektes beauftragt:

Verantwortlicher Vertreter der AG ist:

xx

Verantwortlicher Vertreter des *Gutachters* ist:

yy

Auftraggeber für die Analytikleistungen ist die AG. Es gelten die folgenden Fristen:

- Öffentliche Ausschreibung der Leistungen durch die AG tt.mm.jjjj
- Angebotsabgabe an xx gemäß Ausschreibungsunterlagen tt.mm.jjjj
- Auswertung der Angebote / Vergabevorschlag durch yy tt.mm.jjjj
- Auftragsvergabe durch die AG tt.mm.jjjj

#### **A 4.4.6 Vergabe, Vertragsgrundlage, Abrechnung**

Die Preise für die chemischen Analysen verstehen sich inkl. aller erforderlichen Probenaufbereitungen und laborseitigen Verfahren, sofern sie nicht explizit im Leistungsverzeichnis angefragt sind. Sämtliche Preise sind Festpreise und ändern sich für die Durchführung der Maßnahme nicht. Nachunternehmer können nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung des AG eingeschaltet werden.

Die Schlussrechnung ist in 1-facher Ausfertigung an yy zwecks Prüfung zu senden; jedoch an die Auftraggeberin zu adressieren.

#### **Qualifikationsnachweise**

Der Bieter muss mit der Abgabe des Angebotes vorlegen:

- Akkreditierungsurkunde in Bezug auf die Durchführung der angefragten Leistungen, und / oder Referenzen in der Durchführung von Untersuchungen von Bodenproben auf die hier angefragten Parameter und methodischen Verfahren:

Anzahl untersuchter Bodenproben in den letzten fünf Jahren mit Angabe des jeweiligen Projektes, der untersuchten Parameter sowie Benennung eines Ansprechpartners auf Auftragnehmerseite (inklusive Kontaktdaten)

- Gültiger Nachweis der Haftpflichtversicherung
- Benennung der über die Dauer der Umsetzung der Leistungen zuständigen Ansprechperson ("Projektleitung").

#### **Sonstiges**

Die Bindefrist des Angebotes endet am tt.mm.jjjj. Die Abgabe des Angebotes erfolgt ohne Kosten oder sonstige Verbindlichkeiten für die AG.

Ort, Datum

Unterschrift

## A 4.5 Beispiel: Tabellarisches Leistungsverzeichnis

**Tabelle 46:** Leistungsverzeichnis gemäß Leistungsbeschreibung

Pos	Leistungen	Anzahl	EP	GP
1	Abholung der Proben bei xx, fachgerechter Transport zum Labor An- und Abfahrten	xx		
2	Probenvorbereitung (Trocknen, Homogenisieren, Sieben auf < 2 mm, Angabe des Anteils der Fraktion < 2 mm in %, Angabe der Trockenmasse)	xx		
3	Analytik (Doppelbestimmung) der auf < 2 mm gesiebten Bodenproben auf die Gesamtgehalte an 16 PAK nach EPA inklusive BaP nach der vom FBU vorgeschlagenen Methode DIN EN 17503 (08/22)	xx		
3a	<i>Bei Abweichung von der DIN EN 17503 (08/22) Qualitätsanforderung „Abweichung vom Mittelwert“: Wiederholung der Analytik (Einfachbestimmung) der auf &lt; 2 mm gesiebten Bodenproben auf die Gesamtgehalte an 16 PAK nach EPA inklusive BaP nach der vom FBU vorgeschlagenen Methode DIN EN 17503 (08/22)</i>			
4	Analytik der auf < 2 mm gesiebten Bodenproben auf die resorptionsverfügbaren Gehalte an Benz(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Dibenz(a,h)anthracen gemäß 19738 (06/2017)	xx		
4a	<i>Bei Abweichung von der DIN 19738 (06/2017) Qualitätsanforderung „Abweichung vom Mittelwert“: Wiederholung der Analytik (Doppelbestimmung) der auf &lt;2 mm gesiebten Bodenproben auf die resorptionsverfügbaren Gehalte an Benz(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Dibenz(a,h)anthracen gemäß 19738 (06/2017)</i>	nach Absprache		
5	Erstellung des Prüfberichtes, Übergabe der Daten gemäß Vorgabe im Excel-Format (siehe Tabelle in der Leistungsbeschreibung, Seite 4)	pauschal		

Summe	Netto	0,00
	MWST 19 %	0,00
Summe	Brutto	0,00

Subunternehmer

Die folgenden Subunternehmer werden im Falle einer Beauftragung einbezogen  
(Name, Leistung):

Bindefrist des Angebotes: xx.xx.xx

## Literatur

- BÖHME, H.; KÜCHLER, F.; JAGGI, C.; KÜCHLER, E. (2023): Bewertung der Schadstoffe auf der Grundlage der Resorptionsverfügbarkeit. Altlasten Spektrum, Heft 3, S. 97-101
- EIKMANN, T., HEINRICH, U., HEINZOW, B. (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung, Berlin: Erich Schmidt Verlag 1999ff. Loseblattsammlung mit Ergänzungen
- FoBIG (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen – Teil A Toxikologische Bewertung von PAK, Bericht zum F+E-Vorhaben 298 73 771, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrenstoffe GmbH, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- FoBIG (1999): 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 – mit Korrekturen vom März 2004, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrenstoffe GmbH, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2020): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für die Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch. Zur Anwendung empfohlen gemäß LABO-Umlaufbeschluss vom 10. August 2020 und Beschluss der UMK im Umlaufverfahren, Ständiger Ausschuss „Altlasten“ (ALA)
- Hinweis:**  
LABO (2024): Arbeitshilfe Expositionsabschätzung Boden-Mensch Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, 2. überarbeitete Auflage.  
online: <https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Altlasten.html>  
derzeit noch nicht veröffentlicht (Stand 04/2024)
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2017): Hintergrundwerte für organische und organische Stoffe in Böden, 4. Überarbeitete und ergänzte Auflage, 2017; <https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Daten-Informationssysteme.html>
- LFU BAYERN (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR GESUNDHEIT UND LEBENSMITTELSICHERHEIT) (2014): Prüf- und Maßnahmenwerte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK); Stand 10/2014, Online: [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)
- MantelVO (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbauverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung vom 09.07.2021; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021, Teil I Nr. 43, ausgegeben am 16.07.2021, S. 2598-2752



- SCHNEIDER, K.; SCHUHMACHER, U.S.; OLTMANN, J.; KALBERLAH, F.; ROLLER, M. (2000): PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), in: EIKMANN, T., HEINRICH, U., HEINZOW, B. (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung, Berlin: Erich Schmidt Verlag 1999ff. Loseblattsammlung mit Ergänzungen, Kennz. D 815
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ BEIM BMU (2001): Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz zu den Prüfwert-Vorschlägen zu B(a)p (für PAK) und Naphthalin. Altlasten Spektrum, Heft 1, 40-41
- ZEDDEL, A. (2016): Prüfwerte für PAK, Bewertung Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch, Altlasten-Spektrum, 6, S. 213-219, <https://doi.org/10.37307/j.1864-8371.2016.06.04>

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abbildung 1:</b> Vorgehensweise zur Bewertung von PAK auf Kinderspielflächen .....	17
<b>Abbildung 2:</b> Für das Fallbeispiel A ausgefülltes Excel-Template – Probe N-1 PAK <sub>16</sub> - Gesamtgehalte .....	40
<b>Abbildung 3:</b> Für das Fallbeispiel A ausgefülltes Excel-Template – Probe S-1 PAK <sub>8</sub> nach RV .....	41
<b>Abbildung 4:</b> Für das Fallbeispiel C ausgefülltes Excel-Template zur Prüfung des Anteils der PAK am $\Sigma$ PAK-TEQ .....	54
<b>Abbildung 5:</b> Für das Fallbeispiel C ausgefülltes Excel-Template zum Abgleich BaP mit dem Beurteilungswert .....	55
<b>Abbildung 6:</b> Anteil der Einzel-PAK-TEQ an der $\Sigma$ PAK <sub>16</sub> TEQ (%) für verschiedene PAK-Gemische und Profile .....	66

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 1:</b> Prüfwerte für PAK/BaP - Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM] .....	12
<b>Tabelle 2:</b> Hintergrundwerte für BaP in Oberböden – NRW (Quelle: LABO 2017) [ mg/kg]; rot = <b>Überschreitung aktueller Prüfwert PAK/BaP für Kinderspielflächen</b> .....	14
<b>Tabelle 3:</b> Definition der Gebietstypen (Quelle: LABO 2017) .....	14
<b>Tabelle 4:</b> Übersicht zu den PAK <sub>16</sub> nach U.S. EPA; grau unterlegt: PAK <sub>8</sub> , die als kanzerogen gelten .....	19
<b>Tabelle 5:</b> Zusammensetzung der untersuchten PAK-Gemische CTM1 Und CTM2 für die Prüfwertableitung (normiert auf BaP = 1 mg/kg; vgl. FOBIG 1999); grau unterlegt: PAK <sub>8</sub> , die als kanzerogen gelten .....	24
<b>Tabelle 6:</b> Beurteilungswerte für BaP und PAK-Gemische („NRW-Modell“) [mg/kg Boden] .....	25
<b>Tabelle 7:</b> Unter- und Obergrenzen für die $\Sigma$ PAK <sub>16</sub> TEQ zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit (fakultativ) [mg/kg TM] .....	28
<b>Tabelle 8:</b> Beurteilungswerte für $\Sigma$ PAK <sub>n</sub> TEQ <sub>rv</sub> in der Detailuntersuchung [mg/kg Boden] .....	31
<b>Tabelle 9:</b> Gehalte an PAK <sub>16</sub> für die beiden Rasenflächen (Kinderspielplatz Namenlos) [mg/kg]; Überschreitung Prüfwert Kinderspielflächen .....	38
<b>Tabelle 10:</b> Ergebnisse der Musterprüfung für die beiden Rasenflächen (Kinderspielplatz Namenlos) [mg/kg TM] .....	39
<b>Tabelle 11:</b> Quantile der resorptionsverfügbaren Anteile (KGA <i>Musterdörfchen</i> ) .....	43
<b>Tabelle 12:</b> Relevanzgrenzen für Detailuntersuchungen (RV) in der KGA <i>Musterdörfchen</i> .....	44

<b>Tabelle 13:</b>	Analyseergebnisse der 22 Oberbodenproben der Kleingartenanlage „Musterdörfchen“ (Gesamtgehalte) zur Ermittlung der standortspezifischen Unter- und Obergrenzen für die Relevanzprüfung .....	45
<b>Tabelle 14:</b>	Analyseergebnisse der 22 Oberbodenproben der Kleingartenanlage „Musterdörfchen“ nach Resorptionsverfügbarkeit zur Ermittlung der standortspezifischen Unter- und Obergrenzen für die Relevanzprüfung .....	46
<b>Tabelle 15:</b>	Zusammenfassende Statistik der Analyseergebnisse (Gesamtgehalte; <b>Ausreißer in rot</b> ).....	47
<b>Tabelle 16:</b>	Zusammenfassende Statistik der Analyseergebnisse nach Resorptionsverfügbarkeit.....	48
<b>Tabelle 17:</b>	Aktualisierte Nutzungs- und gebietsbezogene Beurteilungswerte für Musterstadt (nach BBodSchV 2021 und „NRW-Modell“) [mg/kg TM] .....	53
<b>Tabelle 18:</b>	Daten zur Auswertung der Gehalte an 16 PAK <sub>EPA</sub> im Oberboden in NRW .....	57
<b>Tabelle 19:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW) [mg/kg] .....	58
<b>Tabelle 20:</b>	Verteilung der Gehalte an BaP in Bezug auf die Prüfwerte der BBodSchV 2021 .....	58
<b>Tabelle 21:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW, mit BaP-Gehalten > 0,5 mg/kg) [mg/kg] .....	59
<b>Tabelle 22:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den Gesamtgehalten (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW, mit BaP-Gehalten ≤ 0,5 mg/kg) [mg/kg] .....	60
<b>Tabelle 23:</b>	Anzahl Proben mit Überschreitung des „Maximalen Vielfachen in Bezug auf BaP“ (vgl. Anhang 2) .....	61
<b>Tabelle 24:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW) [%] .....	62
<b>Tabelle 25:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW mit BaP-Gehalten > 0,5 mg/kg) [%] .....	63
<b>Tabelle 26:</b>	Zusammenfassende Statistik zu den TEQ-Anteilen (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW mit BaP-Gehalten ≤ 0,5 mg/kg) [%] .....	64
<b>Tabelle 27:</b>	Zusammenfassende Übersicht zu den Prüfschritten 1 + 2 (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW).....	66
<b>Tabelle 28:</b>	Abgleich mit den Prüfwerten BBodSchV (2021) und Beurteilungswerten ΣPAK <sub>16</sub> TEQ (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW) .....	67
<b>Tabelle 29:</b>	Daten zur Auswertung der RV von BaP im Oberboden in NRW .....	68
<b>Tabelle 30:</b>	Zusammenfassende Statistik zur RV von BaP (valide Daten BaP <sub>RV</sub> NRW) [mg/kg].....	69
<b>Tabelle 31:</b>	Quantile zur RV von BaP (valide Daten BaP <sub>RV</sub> NRW) für Proben mit ≥0,5 mg/kg Gesamt-gehalt [mg/kg].....	69
<b>Tabelle 32:</b>	Daten zur Auswertung der RV der PAK <sub>8</sub> im Oberboden.....	70

<b>Tabelle 33:</b>	Zusammenfassende Statistik zu Gesamtgehalten, RV-Gehalten und RV-Anteilen (valide Daten PAK <sub>8</sub> ) .....	71
<b>Tabelle 34:</b>	Quantile zu den RV-Anteilen (valide Daten PAK <sub>8</sub> ) .....	72
<b>Tabelle 35:</b>	Anteile der Einzel-PAK sowie PAK <sub>3</sub> an der Summe der Toxizitätsäquivalente $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}$ bzw. $\sum \text{PAK}_8 \text{TEQ}_{\text{RV}}$ [%] .....	73
<b>Tabelle 36:</b>	Statistik zu den resorptionsverfügbaren Anteilen von BaP, PAK <sub>8</sub> TEQ und PAK <sub>3</sub> TEQ [%] .....	74
<b>Tabelle 37:</b>	Quantile zu den resorptionsverfügbaren Anteilen der PAK <sub>8</sub> -TEQ <sub>RV</sub> [%] .....	75
<b>Tabelle 38:</b>	Auswertung Gesamt- und RV-Gehalte in Hinblick auf die Prüf- und Beurteilungswerte [mg/kg] .....	76
<b>Tabelle 39:</b>	Abgleich der Gesamtgehalte mit den Prüf- und Beurteilungswerten PAK <sub>16</sub> TEQ (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW) .....	78
<b>Tabelle 40:</b>	Abgleich der Gesamtgehalte mit den Prüf- und Beurteilungswerten PAK <sub>16</sub> TEQ (valide Daten PAK <sub>16</sub> NRW), differenziert nach Ausgangsgehalten an BaP .....	79
<b>Tabelle 41:</b>	Prüfwerte (PW) für BaP als Bezugssubstanz für die PAK [mg/kg] .....	81
<b>Tabelle 42:</b>	Maximales Vielfaches der 16 PAK gegenüber BaP (aus Baden-Württemberg 2019) .....	82
<b>Tabelle 43:</b>	Übersicht zu den 16 PAK nach EPA (aus Baden-Württemberg 2019) .....	83
<b>Tabelle 44:</b>	PAK <sub>8</sub> und PAK <sub>3</sub> (grau hinterlegt) nach U.S. EPA .....	97
<b>Tabelle 45:</b>	Beispieltabelle zur Angabe der Ergebnisse der RV-Untersuchung (Doppelbestimmung) .....	100
<b>Tabelle 46:</b>	Leistungsverzeichnis gemäß Leistungsbeschreibung .....	103

# IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 E-Mail: <a href="mailto:poststelle@lanuv.nrw.de">poststelle@lanuv.nrw.de</a>
Bearbeitung	Monika Machtolf, Gerald Krüger, Petra Günther (Dipl.-Biol.) IFUA Institut für Umwelt-Analyse Projektgesellschaft mbH, Milser Straße 37, 33729 Bielefeld, <a href="https://ifua.de/">https://ifua.de/</a>
Projektbegleitende Arbeitsgruppe	Jörg Leisner, Dr. Andrea Hädicke, Dr. Philipp Roth (alle LANUV) Stefan Schroers (MUNV) Reinhard Gierse (Stadt Wuppertal) Christoph Ibels (Stadt Duisburg) Xandra Michaelis (Stadt Herne) Dr. Bernd Steinweg (Kreis Viersen) Birgit Wiele-Dixkens (Bezirksregierung Düsseldorf)
Fachredaktion	Dr. Philipp Roth (LANUV)
Titelbild	Dr. Bernd Steinweg
Stand	April 2024
Veröffentlichung	Juli 2024
ISSN	2197-8336 (Print), 1864-8916 (Internet), LANUV-Arbeitsblätter
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucher- schutz unter • <a href="http://www.lanuv.nrw.de">www.lanuv.nrw.de</a> Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

---

Landesamt für Natur, Umwelt und  
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen  
Telefon 02361 305-0  
poststelle@lanuv.nrw.de

[www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)