

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

– Stand 20.12.2011 –

IMPRESSUM:

Herausgeber Regierungspräsidium Karlsruhe
76247 Karlsruhe

Bearbeitung HPC AG
76133 Karlsruhe
Thomas Osberghaus, Bernadette Bohnert
tosberghaus@hpc-ag.de
bbohnert@hpc-ag.de

Redaktion Regierungspräsidium Karlsruhe
Referat 52 – Gewässer und Boden
Monika Rößing
monika.roessing@rpk.bwl.de

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Referat 22 – Boden, Altlasten
Dr. Thomas Nöltner
thomas.noeltner@lubw.bwl.de

Finanziert durch das Umweltministerium Baden-Württemberg

INHALT:		Seite
1	Zusammenfassung.....	7
2	Einführung.....	8
	2.1 Anlass und Ziel der Untersuchung.....	8
	2.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	9
	2.2.1 Entstehung und Vorkommen.....	9
	2.2.2 Bewertungsgrundlagen	11
	2.3 Untersuchungsobjekte.....	12
3	Methodik (Probennahme, -aufbereitung, Analytik)	13
	3.1 Beschreibung der Untersuchungsobjekte und Ablauf	13
	3.2 Bodenuntersuchungen	13
	3.3 Pflanzenuntersuchungen.....	14
	3.4 Expositionsuntersuchungen	17
4	Analysenergebnisse	18
	4.1 Bodenuntersuchungen	18
	4.2 Pflanzenuntersuchungen.....	20
	4.3 Expositionsuntersuchungen	28
5	Bewertung	29
	5.1 Allgemeines.....	29
	5.2 Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)	30
	5.3 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (Indirektpfad).....	32
	5.4 Integrative Betrachtung	34
6	Schlussfolgerungen.....	35
	6.1 Empfehlungen für den Verwaltungsvollzug.....	35
	6.2 Empfehlungen für Bewirtschafter von PAK-belasteten Kleingartenanlagen (Informations-Muster)	36
	6.3 Übertragbarkeit dieser Auswertung auf andere PAK-belastete Kleingärten ...	38

TABELLEN:

Tabelle 1:	Übersicht – Allgemeine Standortdaten.....	12
Tabelle 2:	Küchenfertige Vorbereitung untersuchter Nahrungspflanzen	16
Tabelle 3:	BaP-Mittelwerte (Boden).....	18
Tabelle 4:	BaP-Mittelwerte (Pflanzen) in den Kleingartenanlagen	22
Tabelle 5:	BaP-Mittelwerte (Pflanzen) in den Nahrungspflanzen	25
Tabelle 6:	Mittelwerte BaP-Transferfaktoren ($\times 10^{-3}$) Boden – Pflanze	27
Tabelle 7:	BaP-Mittelwerte (Expositionsproben).....	28
Tabelle 8:	BaP-Bewertungsgrundlage (Pflanzen).....	33

ABBILDUNGEN:

Seite

Abbildung 1: PAK-16 nach EPA 10

ANHANG:

1 Quellen- und Literaturverzeichnis
2 Abkürzungsverzeichnis

ANLAGEN:

- 1 Lageplan (Übersicht), Maßstab 1 : 400 000
- 2 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim
 - 2.1 Lage der Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim, Maßstab 1 : 15 000
 - 2.2 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 3 000
 - 2.3 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim – untersuchte Flächen
- 3 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg
 - 3.1 Lage der Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg, Maßstab 1 : 25 000
 - 3.2 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 2 500
 - 3.3 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg – untersuchte Flächen
- 4 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal
 - 4.1 Lage der Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal, Maßstab 1 : 20 000
 - 4.2 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 3 000
 - 4.3 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal – untersuchte Flächen
- 5 Kleingartenanlagen „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe
 - 5.1 Lage der Kleingartenanlagen „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe, Maßstab 1 : 20 000
 - 5.2 Kleingartenanlage „Stuttgarter Straße“, Karlsruhe – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 4 000
 - 5.3 Kleingartenanlage „Durlacher Allee“, Karlsruhe – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 2 000
 - 5.4 Kleingartenanlage „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe – Lageplan Flurkarte und Parzellen, Maßstab 1 : 2 000
 - 5.5 Kleingartenanlagen „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe – untersuchte Flächen
- 6 Analysenmethoden für Böden und Nahrungspflanzen – Stand 2001
- 7 Ergebnisse der chemischen Bodenanalysen
- 8 Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Summe PAK (EPA) und BaP der untersuchten Böden
- 9 PAK-Verteilungsmuster in den Böden
- 10 Ergebnisse der chemischen Analysen von Nahrungspflanzen
- 11 Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Summe PAK (EPA und TVO) und BaP der untersuchten Nahrungspflanzen
- 12 Ermittelte Transferfaktoren Boden – Pflanzen

- 13 PAK-Verteilungsmuster in den Nahrungspflanzen
- 14 Ergebnisse von Expositionsuntersuchungen in Deutschland
- 15 Darstellung der Prüfwertüberschreitungen – Wirkungspfad Boden – Mensch
 - 15.1 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 3 000
 - 15.2 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 2 500
 - 15.3 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 3 000
 - 15.4 Kleingartenanlage „Stuttgarter Straße“, Karlsruhe – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 4 000
 - 15.5 Kleingartenanlage „Durlacher Allee“, Karlsruhe – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 2 000
 - 15.6 Kleingartenanlage „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe – Prüfwertüberschreitung Boden – Mensch (Wohngebiete), Maßstab 1 : 2 000
- 16 Darstellung der Richtwertüberschreitungen in Nahrungspflanzen
 - 16.1 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 3 000
 - 16.2 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 2 500
 - 16.3 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 3 000
 - 16.4 Kleingartenanlage „Stuttgarter Straße“, Karlsruhe – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 4 000
 - 16.5 Kleingartenanlage „Durlacher Allee“, Karlsruhe – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 2 000
 - 16.6 Kleingartenanlage „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe – Richtwertüberschreitung Nahrungspflanzen, Maßstab 1 : 2 000
- 17 Darstellung der schädlichen Bodenveränderungen
 - 17.1 Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 3 000
 - 17.2 Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 2 500
 - 17.3 Kleingartenanlage „Hanfröste“, Bruchsal – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 3 000
 - 17.4 Kleingartenanlage „Stuttgarter Straße“, Karlsruhe – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 4 000
 - 17.5 Kleingartenanlage „Durlacher Allee“, Karlsruhe – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 2 000
 - 17.6 Kleingartenanlage „Elfmorgenbruch“, Karlsruhe – schädliche Bodenveränderungen, Maßstab 1 : 2 000
- 18 Schreiben des Sozialministeriums Baden-Württemberg an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vom 12.07.2002 – Bewertung von Gehalten an Benzo(a)pyren in pflanzlichen Lebensmitteln

1 Zusammenfassung

Im Regierungsbezirk Karlsruhe ist in sechs ausgewählten Kleingartenanlagen die Belastung durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden und in Nutzpflanzen untersucht worden (144 Boden-, 697 Pflanzenanalysen), da Anhaltspunkte für das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen im Sinne der BBodSchV bestanden. Die Belastungsursachen sind komplex und liegen insbesondere in der Vornutzung der Flächen, aber auch in ihrer Exposition gegenüber Schadstoffeinträgen über die Luft sowie in den Stoffeinträgen bei der Gartenbewirtschaftung. Das vorliegende Gutachten dokumentiert sämtliche Untersuchungen und die Gefährdungsabschätzung nach der BBodSchV mit Blick auf die in Kleingärten vorrangigen Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze. Die Bewertung stützt sich auf den PAK-Einzelparameter Benzo(a)pyren (BaP), weil die BBodSchV [9] bei den unter Gartennutzung relevanten Wirkungspfaden, nur dafür Referenzwerte vorsieht.

Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)

Der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ist bei allen untersuchten Kleingartenanlagen ausgeräumt worden. Für spielende Kinder besteht keine Gefährdung. Entsprechendes gilt für die Gartenbewirtschafter bei der Bodenbearbeitung.

Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (Indirektpfad)

Für drei Kleingartenanlagen konnte der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ausgeräumt werden. In den drei anderen Kleingartenanlagen ergibt sich grundsätzlich das Erfordernis von Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen im Sinne der BBodSchV. Anhand der Untersuchungsergebnisse und im Hinblick auf das berechnete Nutzungsinteresse der Gartenbewirtschafter, bietet sich je nach der konkreten aktuellen Nutzungssituation gründliches Waschen und ggf. Schälen der Nahrungspflanzen an. Entsprechende Vorbereitungs-, Verzehr- und Verhaltensregeln sind für die Gartenbewirtschafter von den unteren Behörden im Einzelfall benannt worden.

Die integrative Betrachtung beider Wirkungspfade führt zu keiner anderen Bewertung.

In den Kleingartenanlagen in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“ treten neben Prüfwertüberschreitungen im Boden Überschreitungen des nach Systematik des Bodenschutzrechts zulässigen Pflanzenwerts auf. In diesen Kleingartenanlagen liegen schädliche Bodenveränderungen vor.

Das Ergebnis dieser Studie ist eine Einzelfallbetrachtung anhand der Befunde aus den zur Untersuchung ausgewählten Kleingartenanlagen. Es gibt einen Überblick über die unter Kleingartennutzung mögliche Bandbreite der Fallkonstellationen und ermöglicht den Behörden, Daten aus eigenen Untersuchungen einzuschätzen. Die Ergebnisbewertung kann nicht auf andere Kleingartenanlagen übertragen werden.

2 Einführung

2.1 Anlass und Ziel der Untersuchung

Anlässlich der Erstellung des Bodenzustandsberichts Großraum Mannheim/Heidelberg sowie im Zuge von Altlastenuntersuchungen wurden von 1993 bis 1996 Kleingartenanlagen in Mannheim [91], Heidelberg [49], [33], [34], [36], [82], [88], Bruchsal [97], [98] und Karlsruhe [6], [27], [28], [41], [42], [60] untersucht. Im Ergebnis der unabhängig voneinander vorgenommenen Erkundungen wurden in allen sechs Anlagen polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden nachgewiesen, was aufgrund der Höhe der Konzentrationen gem. der damals gültigen Vierten Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz von Baden-Württemberg (VwV Organische Schadstoffe) [65] eine Untersuchung von Nahrungspflanzen erforderlich machte.

Durch die betroffenen Städte und das Regierungspräsidium Karlsruhe sowie die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) Karlsruhe (ehem. LfU) wurden 1997 Vorgehensweise und Umfang von Pflanzenuntersuchungen abgestimmt. Es sollte geprüft werden, ob ein vom Boden ausgehender Schadstofftransfer in die Nahrungspflanzen stattfindet und, falls ja, wie dieser einzustufen ist.

In einer Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr (Drucksache 12/1568) [67] wurden 1997 die gemessenen Boden- und Pflanzengehalte im Vergleich mit der Vierten Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz von Baden-Württemberg (VwV Organische Schadstoffe) und den Höchstwerten des Lebensmittelrechts als teilweise überschritten bestätigt. Die Städte Heidelberg und Mannheim sowie das Landratsamt Karlsruhe hatten demnach Verfügungen erlassen bzgl. Anbaubeschränkungen für Pflanzen und der Gesundheitsvorsorge von Kleinkindern. Die Stadt Karlsruhe hatte Handlungsempfehlungen für den Aufenthalt von Kindern und Aufbereitungsempfehlungen für Nahrungspflanzen ausgegeben.

1998 und 1999 folgten daraufhin weitere Boden- und Pflanzenuntersuchungen in Mannheim, Heidelberg und Bruchsal.

Im Jahr 2002 wurden die Untersuchungsergebnisse im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe von IBL im Rahmen eines internen Berichts [37] erstmalig gemeinsam ausgewertet. Im Jahr 2005 folgte eine nicht abschließende Überarbeitung [38] durch IBL sowie im Jahr 2007 eine separate Bewertung der Ergebnisse [44] durch IUB Dr. Eisele (heute HPC AG). Aufgrund des Alters und der Vielzahl der einzelnen Untersuchungen bzw. Berichte sollten diese nun alle synoptisch zusammengeführt und aktualisiert bewertet werden. Für betroffene Kleingartenpächter werden Empfehlungen zum Umgang mit PAK-Verunreinigungen ausgesprochen.

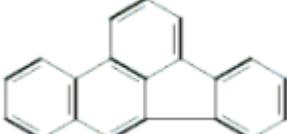
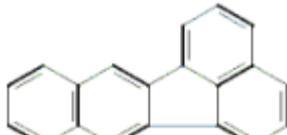
2.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

2.2.1 Entstehung und Vorkommen

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind organische Kohlenstoffverbindungen, die aus verknüpften aromatischen Ringsystemen bestehen.

PAK haben ein hohes toxisches und z. T. kanzerogenes Potenzial und kommen ubiquitär vor. Sie entstehen insbesondere bei unvollständigen technischen und natürlichen Verbrennungsvorgängen. Die PAK gelangen durch gasförmigen oder partikelgebundenen Transport mit Niederschlägen in Boden und Gewässer. Außerdem sind PAK-haltige Ablagerungen, z. B. Gaswerksabfälle, Teerprodukte etc. direkte Quellen. Durch ihre geringe Wasserlöslichkeit und eine hohe Sorptionsneigung an Bodenpartikeln werden PAK nur langsam freigesetzt.

Die Stoffgruppe der PAK umfasst mehrere 100 Verbindungen. Die US-Umweltbehörde EPA hat eine Auswahl der am häufigsten vorkommenden PAK zusammengestellt (PAK-16 nach EPA), die heute i. d. R. als Basis für Untersuchungen und Bewertungen verwendet werden. Bei den Untersuchungen der Kleingartenanlagen wurde teilweise die Trinkwasserverordnung herangezogen. Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) umfasst lediglich fünf dieser Einzelverbindungen, siehe Abbildung 1. Bei den Untersuchungen vor 2001 nach der Trinkwasserverordnung von 1990 (hier abgekürzt als TVO) wurde zusätzlich Fluoranthen berücksichtigt.

PAK nach EPA	Strukturformel	PAK nach TrinkwV (TVO)	PAK nach EPA	Strukturformel	PAK nach TrinkwV (TVO)
1 Naphthalin			9 Benzo(a)-anthracen		
2 Acenaphthylen			10 Chrysen		
3 Acenaphthen			11 Benzo(b)-fluoranthen		X
4 Fluoren			12 Benzo(k)-fluoranthen		X

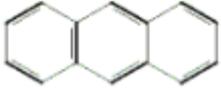
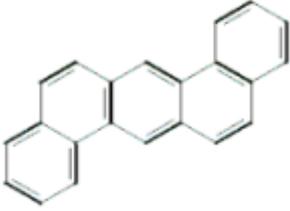
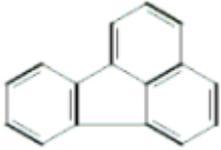
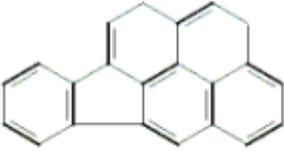
PAK nach EPA	Strukturformel	PAK nach TrinkwV (TVO)	PAK nach EPA	Strukturformel	PAK nach TrinkwV (TVO)
5 Phenanthren			13 Benzo(a)-pyren		X
6 Anthracen			14 Dibenz(a,h)-anthracen		
7 Fluoranthen		(X)	15 Benzo(g,h,i)-perylen		X
8 Pyren			16 Indeno(1,2,3-cd)pyren		X

Abbildung 1: PAK-16 nach EPA [39]

Die Bewertung der Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze erfolgt nach BBodSchV allein auf Grundlage des kanzerogenen Parameters BaP.

Übergang von PAK aus dem Boden in/auf Nahrungspflanzen

Mögliche Ursachen der PAK-Verunreinigungen in Pflanzen sind:

- Systemischer Pfad (Aufnahme aus belastetem Boden über die Pflanzenwurzeln)
- Gaspfad (Ausgasung von flüchtigen PAK aus dem Boden und Anlagerung an bzw. Aufnahme in oberirdische Pflanzenteile)
- Bodenstaub-Verschmutzungspfad (Anlagerung von belastetem Staub an den Pflanzen und Aufnahme über die Pflanzenoberfläche)
- Luftstaub-Verschmutzungspfad (wie vor, jedoch stammt der belastete Staub nicht vom Wuchsort der Pflanzen)

Eine systemische Aufnahme aus dem Boden in Pflanzen kann nur erfolgen, wenn die Wurzeln Lipide enthalten, wie z. B. die Karotte [15]. Höher kondensierte PAK (ab fünf Ringen) sind relativ schlecht wasserlöslich, lösen sich jedoch in organischen Lösungsmitteln und Fetten gut. Direkt kann dieser Transferpfad nur über radioaktiv markierte PAK nachgewiesen werden.

Der Gaspfad spielt lediglich dann eine Rolle, wenn niedermolekulare PAK-Einzelsubstanzen vorliegen, die aufgrund ihres Molekulargewichts und ihrer Struktur (PAK mit bis zu drei kondensierten Benzolringen) bei den herrschenden Umgebungstemperaturen in die Gasphase übertreten können [47].

Von praktischer Relevanz bei BaP ist lediglich der Verschmutzungspfad [12], [15], [46]. Unterschieden werden Einträge durch Staubablagerungen (trockene Deposition) und durch Niederschläge (nasse Deposition). Bei BaP ist überwiegend die trockene Deposition relevant, d. h. die Anlagerung von Bodenpartikeln (Bodenstaub) an Blättern und Spross, welche bei Untersuchungen höhere Konzentrationen aufwiesen, als z. B. Früchte und unterirdisch wachsende Pflanzenteile [12], [15], [53].

Für die spätere Beurteilung einer Kausalität zwischen BaP-Gehalten im Boden und in den Pflanzen sind angesichts der beiden Varianten des Verschmutzungspfads (Bodenstaub oder atmosphärische Deposition durch Luftstaub) auch die Umfeldbedingungen der Kleingartenanlagen von Bedeutung. Aus Kap. 3.1 geht hervor, dass grundsätzlich in allen Anlagen auch ein Einfluss durch PAK-haltige Emissionen aus der Umgebung bestehen dürfte.

2.2.2 Bewertungsgrundlagen

Die chemischen Analysen erfolgten in unterschiedlichen Laboratorien mit teilweise unterschiedlichen Verfahren. Eine detaillierte Beschreibung der angewandten Methoden zur Untersuchung von PAK in Böden und Nahrungspflanzen, inkl. Probenvorbereitung/-aufbereitung, ist in der Anlage 6 beigelegt.

Die Analysenergebnisse werden in den Kapiteln 4.1 bis 4.3 als Mittelwerte zusammengefasst. Dies ist für die Gefährdungsabschätzung im vorliegenden Fall sachgerecht, insbesondere weil BaP in den vorliegenden, insgesamt geringen Konzentrationen nicht akut toxisch wirkt. Auf eine Unterscheidung der einzelnen Probennahmejahrgänge wurde verzichtet, da z. B. klimatisch bedingte Schwankungen sich sowohl positiv wie negativ in Form eines langfristigen Mittels ausprägen. Der Mittelwert bildet die Schwankungen daher i. S. der Gefährdungsabschätzung ausreichend genau ab. Eine Alternative zum Mittelwert wäre der Median als 50. Perzentil. In normalverteilten Datenkollektiven besteht jedoch kein Unterschied zwischen beiden Parametern, sodass aus Gründen der leichteren Lesbarkeit auf die Angabe eines weiteren Werts (Median) verzichtet wird. Stattdessen wurde die Standardabweichung angegeben, die ein Maß für die Streuung der Werte um ihren Mittelwert darstellt.

Da aus der Gruppe der PAK nur für den Einzelparameter BaP Prüfwerte der BBodSchV (1999) zu den Wirkungspfaden Boden – Mensch (Kinderspielflächen: 2 mg/kg, Wohngebiete: 4 mg/kg) und Boden – Nutzpflanze (1 mg/kg) vorliegen, beschränkt sich die Bewertung auf BaP. Für die PAK-Summe stehen lediglich Vorsorgewerte (≤ 8 % Humusgehalt: 3 mg/kg) zur Verfügung. Die Einzelstoffe und ihre Summen werden jedoch zum besseren Gesamtverständnis mit aufgeführt, da sie relevante Konzentrationen erreichen und auch die Transportprozesse sich je nach Stoff von BaP unterscheiden.

2.3 Untersuchungsobjekte

Kleingarten-anlage	Größe/ Parzellen	Umfeldnutzung (bis max. 1 km Entfernung)	Frühere Nutzung
Mannheim „Am Weiher“	0,9 ha/30	NW/N/E/SE: Wohngebiet, stark befahrene Bundesstraße B 36 S/W: Bahnstrecke Heidelberg – Ludwigshafen, Industrie-/Gewerbegebiet, Hafen Mannheim	weder Altab- lagerung noch Altstandort
Heidelberg „Speyerer Straße“	5,5 ha/134	N/NW: stark befahrene Straße, Landwirtschaft, Flugplatz E/SE: stark befahrene Straße L 600a W/SW: Bauschutt-Recyclinganlage, Landwirtschaft Sonstiges: Kleingartenanlage wird von stark befahrener Kreisstraße geteilt	Altablagerung
Bruchsal „Hanfröste“	2,8 ha/79	W/NW: Feuchtgebiet, Landwirtschaft, Wohngebiet N: Industrie-/Gewerbegebiet S/SE: Bahnstrecke Karlsruhe – Bruchsal, Landwirtschaft, Bundesstraße B 3	Altablagerung
Karlsruhe „Stuttgarter Straße“	10 ha/397	N: Wohn- und Gewerbegebiet, mittelstark befahrene Straße S: Bahnstrecke Karlsruhe – Heidelberg und Güterbahnhof	Altablagerung
Karlsruhe „Durlacher Allee“	3,5 ha/155	NW/NE: stark befahrene Bundesstraße B 10, Gewerbegebiet S: Gleisbahnhof	Altablagerung
Karlsruhe „Elfmorgenbruch“	7,5 ha/105	W: Güterbahnstrecke, Industrie-/Gewerbegebiet E: mittelstark befahrene Straße, Wald	Altablagerung

Tabelle 1: Übersicht – Allgemeine Standortdaten

Die PAK- bzw. BaP-Verunreinigungen in den Böden haben demnach folgende Ursachen:

- Vor der Nutzung als Kleingartenanlage
 - Ablagerung PAK-haltiger Abfälle (u. a. Bauschutt, Hausmüll, Industrie-/Gewerbemüll) und ggf. Verbrennung von organischen Abfällen (Ausnahme: Mannheim „Am Weiher“)
- Beginn bzw. während der Nutzung als Kleingartenanlage
 - Verwendung und Verschleppung von PAK-haltigem Straßen- und Wegebaumaterial (u. a. Schlacken). Dies betrifft die Anlage Mannheim „Am Weiher“.
 - Einarbeiten von PAK-haltigem Material, u. a. Asche, in den Boden bzw. Auftragsboden

Darüber hinaus führt die atmosphärische Deposition schadstoffhaltiger Emissionen zu einer langfristigen großräumigen Akkumulation von PAK in Böden. In Bezug auf die vorliegende Fragestellung sind PAK- bzw. BaP-haltige Depositionen jedoch in erster Linie für die Beurteilung von Pflanzenanalysen von Bedeutung (siehe Kap. 5.2).

3 Methodik (Probennahme, -aufbereitung, Analytik)

3.1 Beschreibung der Untersuchungsobjekte und Ablauf

Untersucht wurden die Kleingartenanlagen:

- Mannheim „Am Weiher“
- Heidelberg „Speyerer Straße“
- Bruchsal „Hanfröste“
- Karlsruhe „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“ (s. Anlage 1)

Die Umgebungsnutzung der Kleingartenanlagen ist unterschiedlich, ebenso die Verkehrssituation. Die Kleingartenanlagen wurden früher mehrheitlich als Deponien genutzt. Eine detaillierte Beschreibung der Verkehrssituation und der Nutzungshistorie ist in den Anlagen 2.3, 3.3, 4.3 und 5.5 beigefügt.

Von 1993 bis 1997 wurden Untersuchungen der Kleingartenanlagen unabhängig von einer Vielzahl an Ingenieurbüros und chemischen Labors durchgeführt. Ein koordiniertes Vorgehen bei den Untersuchungen gab es erst 1998 und 1999 in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“. Eine Beschreibung der jeweils durchgeführten Untersuchungen ist ebenfalls in den Anlagen 2.3, 3.3, 4.3 und 5.5 enthalten.

3.2 Bodenuntersuchungen

Die Bodenuntersuchungen umfassten insgesamt 107 Kleingartenparzellen sowie Referenzflächen bzw. Referenzmaterialien, von denen insgesamt 144 Proben entnommen und auf PAK analysiert wurden.

In Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Karlsruhe „Elfmorgenbruch“ sind nicht nur die Kleingartenanlagen, sondern auch benachbarte Referenzflächen untersucht worden. Hiermit sollte überprüft werden, ob sich Verunreinigungen auf die Kleingärten mit ihrer spezifischen Nutzung bzw. Vornutzung beschränken.

Informationen zu den beprobten Flächen und Probennahmekampagnen sind tabellarisch in den Anlagen 2.3, 3.3, 4.3 und 5.5 zusammengestellt.

Bodenprobennahme

In der Regel wurden mehrere Einzelproben (in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“ 6 - 20 Stück) zu Mischproben zusammengefasst. Die damals gültige Zweite Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz von Baden-Württemberg (VwV Bodenproben) [64] sah für das Schutzgut Pflanze Probentiefen von 0 - 30 cm vor, für das Schutzgut Mensch 0 - 10 cm. Die Probennahmen erfolgten im Zeitraum von 1993 bis 1999 in mehreren Kampagnen durch unterschiedliche Auftragnehmer. Im Boden wurden dabei die Horizonte von 0 - 25 cm oder 0 - 30 cm, teilweise auch größere Tiefen (30 - 60 cm), beprobt. Die BBodSchV [9] sieht für die Wirkungspfade Boden – Mensch die beiden Tiefenbereiche 0 - 10 cm und 10 - 35 cm sowie für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze in Nutzgärten die Tiefenbereiche 0 - 30 cm und 30 - 60 cm vor, wobei sich eine Mischprobe aus 15 - 25 Einzelproben zusammensetzen soll. Die Entnahme der Proben entsprach daher annähernd den heutigen Vorgaben für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze.

Da auch bei den früheren Probennahmekampagnen flächenrepräsentative Mischproben des Bodens entnommen wurden, sind in Anbetracht der typischen nutzungs- bzw. vornutzungsbedingten Heterogenität der PAK- bzw. BaP-Gehalte im Boden keine erheblichen Abweichungen zwischen damaliger und heutiger Probennahmetechnik gemäß BBodSchV anzunehmen. Die zeitlich auseinanderggezogene Probennahme (vor und nach Inkrafttreten der BBodSchV) wirkt sich daher auf die Ergebnisbewertung nicht aus.

PAK-Bestimmung in Bodenproben

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen bestanden länderspezifische Methodenvorschriften, so z. B. in Baden-Württemberg von der LUBW, ehem. LfU, in Nordrhein-Westfalen von der LUA, aber auch international gültige ISO-Verfahren im Entwurfsstadium (E DIN ISO 13877). Für landwirtschaftliche Böden existierte das Verfahren des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) [70]. Die BBodSchV (1999) lässt für Bodenuntersuchungen die Verfahren nach VDLUFA-, ISO- und LUA NRW zu. Für die gegebene Aufgabenstellung ist eine hinreichende Vergleichbarkeit der Ergebnisse jedoch gegeben.

3.3 Pflanzenuntersuchungen

Die Untersuchung von Nahrungspflanzen wurde aufgrund der im Boden detektierten Konzentrationen an PAK notwendig.

Von 1995 bis 1999 wurden 697 Einzelproben von 25 Gemüse- und sechs Obstarten untersucht. Zusätzlich zu den frisch geernteten Pflanzenproben wurden zwei Proben von Marmelade aus Obst der Kleingartenanlage in Heidelberg „Speyerer Straße“ sowie Karotten aus einem Lebensmittelmarkt in Heidelberg (Referenzprobe) untersucht.

Bei der Auswahl der Pflanzen wurden verschiedene Transferpfade der PAK (über die Wurzeln bzw. durch Anhaftung von Boden- und Luftstaubpartikeln) berücksichtigt [12], [13], [15], [71], [83], ebenso Anbau- und Verzehrsgewohnheiten der Kleingartenpächter. In Tabelle 2 sind die verschiedenen Nahrungspflanzenarten aufgeführt.

Karotten eignen sich dabei besonders gut zur Untersuchung des systemischen Pfads. Durch die ätherischen Öle in der äußeren Rinde der Karotte werden insbesondere höher kondensierte (lipophile) PAK aufgenommen.

Bodennah wachsende Arten, v. a. Blattgemüse wie Grünkohl oder Petersilie, sind prädestiniert für eine Anhaftung von Bodenstaubpartikeln. Auch ein Schadstoffeintrag über den Luftstaub-Verschmutzungspfad ist hier möglich.

Kirschen und Äpfel eignen sich durch ihre Expositionshöhe v. a. zur Untersuchung des Luftstaub-Verschmutzungspfads.

Pflanzenprobennahme

Es wurden Wurzel-, Frucht- und Blattgemüse sowie Obst aus allen Kleingartenanlagen beprobt, grob von anhaftendem Boden gereinigt und in verschiedenen Laboratorien analysiert.

Die Probennahme erfolgte in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Karlsruhe „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“ getrennt nach Parzellen und Pflanzenart. In Bruchsal „Hanfröste“ wurden die Proben einer Nahrungspflanzenart entsprechend der Flächeneinteilung bei der Bodenprobennahme gemischt.

Probenvorbereitung

In den chemischen Labors wurden die frischen Pflanzenproben am selben Tag küchenfertig vorbereitet (s. Tabelle 2). Pflanzenteile, die nicht verzehrt werden, wie Wurzeln und äußere Blätter, wurden entfernt. Die Proben wurden mit Leitungswasser gewaschen und ggf. geschält.

Zu Vergleichszwecken erfolgten teilweise auch Analysen ungewaschener Proben. Bei Karotten, Kartoffeln und Gurken erfolgte eine getrennte Analytik von geschältem und ungeschältem Gemüse. Diese Untersuchung sollte Aufschluss darüber geben, inwieweit PAK durch die Schale in das Fruchtfleisch eindringen können.

Pflanzengruppe	Untersuchte Pflanzenarten	Küchenfertige Vorbereitung
Wurzelgemüse	Karotten Rote Beete Sellerie	entfernen des Krauts, waschen und schälen bzw. abschaben (nur bei Karotten)
	Kartoffeln	waschen und schälen
	Radieschen Rettich	entfernen des Krauts und waschen
	Zwiebeln	waschen und schälen
Fruchtgemüse	Auberginen Buschbohnen Gurken Paprika Tomaten Zucchini	Stielansatz entfernen und waschen
	Kohlrabi	Wurzeln und Blätter entfernen, waschen und schälen
Blattgemüse	Feldsalat Spinat	Wurzeln abschneiden, welke Blätter entfernen und 2 - 3 mal waschen
	Grünkohl Petersilie	Stiele entfernen und waschen
	Kopfsalat Lollo Salat Mangold	äußere welke Blätter entfernen und waschen
	Lauch Winterzwiebeln	Wurzeln entfernen, Blätter kürzen und waschen
	Weißkohl Wirsing	äußere welke Blätter entfernen und waschen
Obst	Äpfel Erdbeeren Himbeeren Johannisbeeren Kirschen Stachelbeeren	waschen

Tabelle 2: Küchenfertige Vorbereitung untersuchter Nahrungspflanzen

Die Proben wurden nachfolgend mit einem Mixer homogenisiert, geteilt und bis zur Analyse tiefgekühlt.

PAK-Bestimmung in Pflanzenproben

Für die Analyse der PAK in Pflanzenmaterial wurden Verfahren für die Rückstandsanalytik in Lebensmitteln (z. B. Methodensammlung zum § 35 Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz LMBG) angepasst. Außerdem existierte der Entwurf für ein VDLUFA-Verfahren [70], das auf der Bodenuntersuchungsmethode beruht, und detaillierte Angaben zur Pflanzenaufbereitung enthält.

3.4 Expositionsuntersuchungen

Um den Einfluss der atmosphärischen Deposition auf die PAK-Belastung in Pflanzen abzuschätzen, wurden in der Kleingartenanlage Heidelberg „Speyerer Straße“ im Rahmen der Pflanzenuntersuchungen auch Expositionsmessungen mit Grünkohl durchgeführt.

In Gebieten mit hohem Industrialisierungsgrad und hoher Verkehrsdichte kam es über Jahrzehnte zu einer kontinuierlichen Anreicherung von PAK in den Böden [9], [13], [14], [15], [17], [18], [26], [29], [30], [45], [46], [50], [59], [77], [78], [85], [95]. Belastungen der Böden durch PAK sind daher nicht nur durch Ablagerungen oder Altstandorte (z. B. Gaswerke) bedingt. Der Luftstaub-Verschmutzungspfad ist für PAK-Belastungen ebenfalls erheblich.

Methode

Ziel der Grünkohl-Untersuchung war, wirkungsbezogen PAK-Verunreinigungen mit Bioindikatoren festzustellen und relevante Schadstoffquellen zu identifizieren [48], [71], [77], [78], [88].

Die Blattstruktur des Grünkohls (gekräuselte, große Oberfläche) ist ideal für die Akkumulation von PAK-haltigem Feinstaub. Die Wachsschicht der Blätter fördert die Aufnahme der PAK. Blattalter und Dauer der Exposition beeinflussen dabei die aufgenommene Schadstoffmenge.

Untersuchungsdurchführung

Die Untersuchung erfolgte 1997 mit Grünkohl in verschiedenen Höhen (im Boden, bodennah und in 1,5 m Höhe) [36], [88]. Zudem wurden Wirsing 1998 in einer Höhe von 1,0 m, 1999 Grünkohl und Spinat direkt auf dem Boden (bodennah) angepflanzt. Durch Vergleichsproben direkt im Boden sollten jeweils Unterschiede beim Transfer Boden – Pflanze und Bodestaub – Pflanze untersucht werden. Bodennahe Proben geben Rückschlüsse auf Belastungen durch Bodestaub (Verwehungen), die höhere Exposition auf Einträge über die Luft.

Die Grünkohlpflanzen wurden bis zur Exposition in möglichst schadstofffreier Umgebung vorgezogen. Neben Kleingartenparzellen wurden drei Referenzflächen in der Umgebung und eine Grünkohlprobe an einer stark befahrenen Straße untersucht. Die Expositionsdauer variierte in den Untersuchungszeiträumen i. d. R. zwischen acht und zwölf Wochen.

Die Proben wurden sofort nach der Ernte zur Untersuchung verbracht und bis zur Analyse teilweise unbehandelt (ungewaschen), teilweise gewaschen tiefgefroren.

4 Analysergebnisse

4.1 Bodenuntersuchungen

PAK-Gehalte in Böden

Die Analysen sind nachfolgend in Tabelle 3 zusammengefasst und den Prüfwerten der BBodSchV gegenübergestellt. Werte unter der Nachweisgrenze wurden als Nullwerte berücksichtigt, Werte unter der Bestimmungsgrenze durch die Bestimmungsgrenze ersetzt. Der Prüfwert gilt für 0 - 30 cm Tiefe. In der Tiefe 30 - 60 cm gilt der 1,5-fache Prüfwert. Aufgrund der variierenden Probennahmetiefen wurden die Ergebnisse einheitlich dem Wert für die obere Bodenschicht gegenübergestellt.

Die Einzelergebnisse der PAK-Analytik sind zudem den in Anlage 7 beigefügten Tabellen zu entnehmen und in Anlage 15 bzw. 17 grafisch dargestellt. Die Mittelwerte der relevanten Parametergruppen sind außerdem zusammen mit den Minimal- und Maximalwerten in der Tabelle in Anlage 8 aufgeführt.

Kleingartenanlage		Anzahl Werte	Mittelwert BaP [mg/kg TM]	Standardabweichung [mg/kg TM]	Bemerkungen
Mannheim „Am Weiher“	Kleingärten	23	1,87	0,42	
	Referenzflächen	4	1,42	1,41	
Heidelberg „Speyerer Straße“	Kleingärten	64	2,98	3,04	
	Referenzflächen und -materialien	11	1,11	2,00	
Bruchsal „Hanfröste“	Kleingärten	28	3,61	2,55	
Karlsruhe „Stuttgarter Straße“	Kleingärten	6	0,13	0,12	
Karlsruhe „Durlacher Allee“	Kleingärten	2	1,00	0,00	beide Analysen 1 mg/kg TM
Karlsruhe „Elfmorgenbruch“	Kleingärten	5	3,26	2,21	
	Referenzflächen	1	0,40	-	
Prüfwert Wirkungspfad Boden – Mensch (Kinderspielfläche)			2,0		
Prüfwert Wirkungspfad Boden – Mensch (Wohngebiet)			4,0		
Prüfwert Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (Nutzgarten) ¹⁾			1,0		

¹⁾ der Prüfwert gilt für 0 - 30 cm Tiefe. In der Tiefe 30 - 60 cm gilt der 1,5-fache Prüfwert

Tabelle 3: BaP-Mittelwerte (Boden)

Prüfwertüberschreitungen:

- Wirkungspfad Boden – Mensch (Wohngebiet): keine
- Wirkungspfad Boden – Mensch (Kinderspielfläche): 3 von 6 Anlagen, max. Faktor 1,8
- Wirkungspfad Boden – Nutzpflanzen: 4 von 6 Anlagen, max. Faktor 3,6

Die BaP-Gehalte innerhalb der Kleingärten lagen in zwei von drei Fällen (Heidelberg „Speyerer Straße“ und Karlsruhe „Elfmorgenbruch“) deutlich höher als im Umfeld (jeweilige Referenzflächen). Die PAK-Summe ergab im Vergleich mit den Vorsorgewerten der BBodSchV in 127 von 144 Fällen (davon acht Referenzproben) eine Überschreitung des Vorsorgewerts von 3 mg/kg für Humusgehalte $\leq 8\%$, vgl. Anlage 7.

In Mannheim „Am Weiher“ war die räumliche Verteilung der PAK innerhalb der Kleingartenanlage und auf den Referenzflächen annähernd gleichmäßig mit geringer Schwankungsbreite der Konzentrationen.

In Heidelberg „Speyerer Straße“ ergab sich eine unregelmäßige räumliche Verteilung (geringere Gehalte im Westen der Anlage) und eine große Schwankungsbreite. Tiefenzonierte Beprobungen ergaben in der Oberflächenabdeckung zur Tiefe hin abnehmende Gehalte, jedoch im Ablagerungsgut wieder deutlich höhere Werte. Die Referenzproben variierten in Abhängigkeit von der jeweiligen Nähe zu Straßen.

In der Bruchsaler Kleingartenanlage „Hanfröste“ war die räumliche Verteilung ebenfalls sehr ungleichmäßig (höchste Belastungen im mittleren Teil der Anlage).

In den Anlagen in Karlsruhe „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“ wurden verhältnismäßig wenige Proben entnommen. Dabei wurden geringe Belastungen mit einer ebenfalls geringen Schwankungsbreite festgestellt.

PAK-Verteilungsmuster in Böden

In Anlage 9 sind Verteilungsmuster der PAK in den Bodenproben dargestellt.

Die Verteilungsmuster zeigen für Mannheim „Am Weiher“, Bruchsal „Hanfröste“ sowie Karlsruhe „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“ ein relativ ähnliches Bild. Den größten Anteil stellen 4-Ring-Substanzen wie Fluoranthen und Pyren. Niedermolekulare PAK (Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren) sind nicht oder nur in Spuren vorhanden. Höhermolekulare PAK (5- und 6-Ring-Verbindungen) treten i. d. R. mit geringen Anteilen auf. Bei dem Analyseverfahren, das bei den Untersuchungen der Proben aus den Karlsruher Anlagen „Stuttgarter Straße“, „Durlacher Allee“ und „Elfmorgenbruch“ angewandt wurde und zeitlich am längsten zurück liegt, konnten die beiden Einzelsubstanzen Benzo(k)fluoranthen und Benzo(b)fluoranthen noch nicht unterschieden werden, vgl. Anlage 9.

In Heidelberg „Speyerer Straße“ besteht eine gleichmäßigere Verteilung der PAK-Einzelstoffe ebenfalls mit Ausnahme der 2- bis 3-Ring-PAK (Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren), die kaum nachweisbar sind.

4.2 Pflanzenuntersuchungen

Bei den nachfolgenden Ergebnissen der Pflanzenuntersuchungen handelt es sich um Analysen von küchenfertig zubereiteten Pflanzen (Mittelwerte aller Untersuchungsjahre pro Pflanzenart und Kleingartenanlage). Vergleichswerte von ungewaschenen Proben (Karotten, Grünkohl, Spinat und Erdbeeren) wurden in dieser Zusammenstellung zwar berücksichtigt, der regelmäßige Verzehr von ungewaschenem Obst und Gemüse stellt für die Gefährdungsabschätzung aber kein realistisches Szenario dar.

Aufgrund der sehr umfangreichen Datengrundlage wurden die Analysenergebnisse nach der Höhe der BaP-Gehalte gruppiert. Für die Einordnung maßgeblich ist, ob der Richtwert von 1 µg/kg FM [22] in den Pflanzen über- oder unterschritten wird. Die Messwerte wurden dann entsprechenden Gruppen zugeordnet (vgl. Tabelle 4). Die Probenzahl verteilt sich nicht gleichmäßig auf die Pflanzenarten. Werte unter der Nachweisgrenze wurden als Nullwerte berücksichtigt, Werte unter der Bestimmungsgrenze durch die Bestimmungsgrenze ersetzt.

Die Einzelergebnisse sind in Anlage 10 aufgeführt und in Anlage 16 bzw. 17 grafisch dargestellt. Für die Parametersummen PAK nach EPA, PAK nach TVO sowie für BaP wurden die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte berechnet und in Anlage 11 zusammengestellt.

PAK-Gehalte in Pflanzen

Die Analysenergebnisse der Nutzpflanzen beziehen sich auf die Frischmasse (FM).

Kleingartenanlage	Anzahl Werte	Mittelwert BaP ¹⁾ [µg/kg FM]	Standardabweichung [µg/kg FM]	Bemerkungen
Mannheim „Am Weiher“	116	0,18	0,19	Auberginen, Buschbohnen, Erdbeeren, Grünkohl, Gurken, Johannisbeeren, Karotten, Kartoffeln, Kirschen, Kopfsalat, Mangold, Petersilie, Radieschen, Rote Beete, Spinat, Tomaten, Wirsing, Zucchini, Zwiebeln (ungeschält, gewaschen)
	6	3,64	2,08	Feldsalat, Karotten, Mangold, Petersilie, Spinat (ungeschält, gewaschen)
	1	1,50	-	Radieschen (ungewaschen)
Heidelberg „Speyerer Straße“	44	0,06	0,12	Gurken, Karotten, Kartoffeln (geschält)
	289	0,15	0,18	Äpfel, Buschbohnen, Erdbeeren, Feldsalat, Grünkohl, Gurken, Himbeeren, Johannisbeeren, Karotten, Kartoffeln, Kirschen, Kohlrabi, Kopfsalat, Paprika, Petersilie, Radieschen, Spinat, Stachelbeeren, Tomaten, Wirsing, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
	15	2,49	3,52	Erdbeeren, Feldsalat, Grünkohl, Karotten, Kopfsalat, Petersilie, Spinat (ungeschält, gewaschen)
	7	0,59	0,27	Erdbeeren, Grünkohl, Radieschen (ungewaschen)
	22	45,23	105,38	Erdbeeren, Grünkohl, Karotten, Spinat (ungewaschen)
	2	0,70	0,28	Erdbeermarmelade
	1	0,30	-	Referenzproben: Karotten (geschält)
	7	0,19	21,95	Referenzproben: Grünkohl, Karotten, Spinat, Tomaten, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
	4	0,60	0,26	Referenzproben: Grünkohl (ungewaschen)
	1	2,20	-	Referenzproben: Grünkohl (ungewaschen)

Kleingartenanlage	Anzahl Werte	Mittelwert BaP ¹⁾ [µg/kg FM]	Standardabweichung [µg/kg FM]	Bemerkungen
Bruchsal „Hanfröste“	10	0,11	0,03	Äpfel, Karotten, Kartoffeln, Zwiebeln (geschält)
	93	0,17	0,16	Buschbohnen, Erdbeeren, Grünkohl, Johannisbeeren, Karotten, Kopfsalat, Lauch, Lollo-Salat, Spinat, Weißkohl, Winterzwiebeln, Wirsing, Zucchini, Zwiebeln (ungeschält, gewaschen)
	4	2,24	0,62	Erdbeeren, Feldsalat, Kopfsalat (ungeschält, gewaschen)
	1	3,90	-	Erdbeeren (ungewaschen)
Karlsruhe „Stuttgarter Straße“	3	0,03	0,06	Karotten (geschält)
	26	0,23	0,24	Äpfel, Grünkohl, Karotten, Kohlrabi, Kopfsalat, Lauch, Mangold, Radieschen, Rettich, Sellerie, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
	2	1,65	0,49	Grünkohl, Kopfsalat (ungeschält, gewaschen)
Karlsruhe „Durlacher Allee“	1	n.n.	-	Karotten (geschält)
	13	0,16	0,21	Grünkohl, Kohlrabi, Kopfsalat, Lauch, Radieschen, Rettich, Sellerie, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
Karlsruhe „Elfmorgenbruch“	2	n.n.	0,00	Karotten (geschält)
	19	0,21	0,27	Grünkohl, Karotten, Kohlrabi, Kopfsalat, Lauch, Lollo-Salat, Radieschen, Rettich, Rote Beete, Sellerie, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
	1	1,00	-	Kopfsalat (gewaschen)
	8	0,03	0,07	Referenzproben: Grünkohl, Karotten, Kohlrabi, Kopfsalat, Lauch, Rettich, Sellerie, Zucchini (ungeschält, gewaschen)
Höchst- bzw. Richtwert [22]		1,0		

¹⁾ Sofern pro Pflanzenart und Kleingartenanlage nur ein Analysenergebnis vorliegt, entspricht der „Mittelwert“ dem Analyseergebnis.

Tabelle 4: BaP-Mittelwerte (Pflanzen) in den Kleingartenanlagen

Die BaP-Gehalte liegen für küchenfertig zubereitete Nahrungspflanzen überwiegend unter 1 µg/kg FM. Die höchsten Werte wiesen Erdbeeren, Feldsalat, Grünkohl, Kopfsalat, Petersilie und Spinat auf. Die Überschreitungen einiger weniger küchenfertiger Proben bewegen sich in allen Kleingartenanlagen in einer vergleichbaren Größenordnung bis maximal Faktor 3,6. Demgegenüber zeigen insbesondere ungewaschene Proben teilweise deutlich höhere Werte.

Hohe Standardabweichungen ergaben sich bei ungewaschenen bzw. ungeschälten Proben in Heidelberg „Speyerer Straße“. Bei den ungewaschenen Proben ist dies auf den hohen Verschmutzungsgrad zurückzuführen, bei den ungeschälten auf einzelne Werte über der Bestimmungsgrenze, die allerdings deutlich unter 1 µg/kg FM liegen.

Nachfolgende Tabelle 5 gibt die Ergebnisse sortiert nach Pflanzenarten wieder. Proben ohne spezifische Angaben sind i. d. R. küchenfertig gewaschen.

Pflanzen- gruppe	Untersuchte Pflanzenarten	Anzahl Werte	Mittelwert BaP¹⁾ [µg/kg FM]	Standard- abweichung [µg/kg FM]
Wurzel- gemüse	Karotten (geschält)	41	0,04	0,07
	Referenzproben: Karotten (geschält)	1	0,30	-
	Karotten (ungeschält, gewaschen)	72	0,30	0,66
	Referenzproben: Karotten (ungeschält, gewaschen)	2	n.n.	0,00
	Karotten (ungewaschen)	6	4,68	2,31
	Kartoffeln (geschält)	7	0,14	0,17
	Kartoffeln (ungeschält, gewaschen)	8	0,16	0,15
	Radieschen (gewaschen)	15	0,22	0,16
	Radieschen (ungewaschen)	2	1,19	0,45
	Rettich	5	0,08	0,18
	Referenzproben: Rettich	1	n.n.	-
	Rote Beete	3	0,07	0,06
	Sellerie	9	0,12	0,22
	Referenzproben: Sellerie	1	n.n.	-
	Zwiebeln (geschält)	4	< 0,10	0,00
	Zwiebeln (ungeschält, gewaschen)	16	0,13	0,08
Frucht- gemüse	Auberginen	4	< 0,10	0,00
	Buschbohnen	27	0,11	0,08
	Gurken (geschält)	6	0,08	0,20
	Gurken (ungeschält, gewaschen)	18	0,16	0,30
	Kohlrabi	13	0,17	0,25
	Referenzproben: Kohlrabi	1	n.n.	-
	Paprika	5	< 0,10	0,14
	Tomaten	50	0,04	0,07
	Referenzproben: Tomaten	1	n.n.	-
	Zucchini	59	0,09	0,10
	Referenzproben: Zucchini	2	0,05	0,07
Blatt- gemüse	Feldsalat	8	3,41	5,27
	Grünkohl (gewaschen)	41	0,36	0,38
	Referenzproben: Grünkohl (gewaschen)	4	0,33	0,26
	Grünkohl (ungewaschen)	12	1,33	0,89

Pflanzen- gruppe	Untersuchte Pflanzenarten	Anzahl Werte	Mittelwert BaP ¹⁾ [µg/kg FM]	Standard- abweichung [µg/kg FM]
	Referenzproben: Grünkohl (ungewaschen)	5	0,92	0,75
	Kopfsalat	46	0,43	0,69
	Referenzproben: Kopfsalat	1	n.n.	-
	Lauch	10	0,34	0,24
	Referenzproben: Lauch	1	n.n.	-
	Lollo-Salat	7	0,15	0,11
	Mangold	6	0,99	1,52
	Petersilie	12	0,62	0,65
	Spinat (gewaschen)	56	0,34	0,43
	Referenzproben: Spinat (gewaschen)	1	n.n.	-
	Spinat (ungewaschen)	8	118,50	153,83
	Weißkohl	1	< 0,10	-
	Winterzwiebeln	1	< 0,10	-
	Wirsing	16	0,28	0,24
Obst	Äpfel (geschält)	2	0,15	0,07
	Äpfel (ungeschält, gewaschen)	4	0,03	0,05
	Erdbeeren (gewaschen)	40	0,27	0,35
	Erdbeeren (ungewaschen)	3	3,39	2,90
	Erdbeermarmelade	2	0,70	0,28
	Himbeeren	4	0,20	0,12
	Johannisbeeren	12	0,18	0,18
	Kirschen	11	0,04	0,09
	Stachelbeeren	4	< 0,10	0,08
Höchst- bzw. Richtwert [22]			1,0	

¹⁾ Sofern pro Pflanzenart und Kleingartenanlage nur ein Analyseergebnis vorliegt, entspricht der „Mittelwert“ dem Analyseergebnis

Tabelle 5: BaP-Mittelwerte (Pflanzen) in den Nahrungspflanzen

Die Variationsbreite der PAK-Konzentrationen ist von der jeweiligen Pflanzenart und dem Standort abhängig. Generell erhöhte Konzentrationen für die Summe PAK bzw. BaP wurden in Feldsalat, Grünkohl, Mangold, Petersilie und Spinat nachgewiesen. Diese Beobachtung steht u. a. in Zusammenhang mit der Blattstruktur und der Wuchshöhe dieser Pflanzen. Einzelne erhöhte Konzentrationen waren u. a. bei Erdbeeren, Himbeeren, gewaschenen aber ungeschälten Karotten, Kopfsalat, Tomaten und Zucchini zu beobachten. Die absolut höchsten Werte zeigten mehrere Proben von ungewaschenem Spinat (Maximum 457 µg/kg FM BaP).

Überschreitungen von 1 µg/kg FM BaP beschränken sich bei den gewaschenen Nahrungsmitteln auf Feldsalat und annähernd mit sehr knapper Unterschreitung auf Mangold (Kleingartenanlage „Am Weiher“ Überschreitung, Anlage „Stuttgarter Straße“ Unterschreitung). Allerdings liegt für Feldsalat aus den Kleingartenanlagen in Mannheim „Am Weiher“ und Bruchsal „Hanfröste“ jeweils nur eine Analyse vor. Das heißt, dass ein belastbarer standortbezogener Nachweis für die Überschreitung des Richtwerts nur für die Heidelberger Anlage „Speyerer Straße“ besteht (6 Analysen).

Für Feldsalat und Mangold lagen keine Vergleichsproben von (Referenz-)Flächen außerhalb der Kleingartenanlagen vor.

Durch Waschen und/oder Schälen (= küchenfertige Zubereitung) konnten die PAK-Gehalte generell deutlich reduziert und BaP weitgehend entfernt werden. Bei Grünkohl konnte jedoch nur eine geringe Reduzierung auf etwa 50 % des BaP-Gehalts erzielt werden.

Transfer Boden – Pflanze

Der Übergang der PAK vom Boden in die Pflanzen bzw. das Verhältnis der Gehalte zueinander wird über Transferfaktoren angegeben. Die Ermittlung erfolgte in Form der Quotientenbildung aus Konzentration in der Nahrungspflanze und Konzentration im Boden.

Die Mittelwerte der Transferfaktoren für die verschiedenen Pflanzengruppen sind in der Tabelle 6 zusammengefasst. Eine tabellarische Aufstellung aller berechneten Transferfaktoren findet sich in Anlage 12.

Pflanzen- gruppe	Untersuchte Pflanzenarten	Anzahl Werte	Mittelwert BaP Transferfaktor ^{1) 2)} [µg/kg FM/ mg/kg TM]	Standard- abweichung [µg/kg FM/ mg/kg TM]
Wurzel- gemüse	Karotten (ungeschält, gewaschen)	54	0,20	0,38
	Kartoffeln (ungeschält, gewaschen)	5	0,05	0,03
	Radieschen (gewaschen)	5	0,30	0,16
	Rettich	3	0,00	0,00
	Rote Beete	1	0,06	-
	Sellerie	4	0,71	1,43
	Zwiebeln (ungeschält, gewaschen)	8	0,06	0,04
Frucht- gemüse	Auberginen	2	0,06	0,02
	Buschbohnen	13	0,05	0,04
	Gurken (ungeschält, gewaschen)	12	0,05	0,05
	Kohlrabi	7	0,61	1,50
	Paprika	4	0,03	0,04
	Tomaten	44	0,05	0,12
	Zucchini	43	0,09	0,24
Blatt- gemüse	Feldsalat	3	0,47	0,12
	Grünkohl (gewaschen, 1,5 m über Boden)	6	0,61	0,85
	Grünkohl (gewaschen, auf dem Boden)	2	1,23	1,69
	Grünkohl (gewaschen, im Boden)	9	0,68	1,01
	Kopfsalat	23	0,70	2,90
	Lauch	2	0,25	0,35
	Mangold	1	1,94	-
	Petersilie	7	0,29	0,37
	Spinat (gewaschen)	36	0,15	0,24
	Winterzwiebeln	1	0,14	-
	Wirsing	10	0,30	0,61
Obst	Äpfel (ungeschält, gewaschen)	4	0,17	0,33
	Erdbeeren (gewaschen)	18	0,49	1,22
	Himbeeren	3	0,09	0,04
	Johannisbeeren	8	0,17	0,26
	Kirschen	11	0,07	0,24
	Stachelbeeren	4	0,13	0,14

¹⁾ Sofern pro Pflanzenart und Kleingartenanlage nur ein Analysenergebnis vorliegt, entspricht der „Mittelwert“ dem Analysenergebnis

²⁾ Werte sind mit dem Faktor 10^{-3} zu multiplizieren

Tabelle 6: Mittelwerte BaP-Transferfaktoren ($\times 10^{-3}$) Boden – Pflanze

Der Transferfaktor gibt Hinweise auf die Stoffanreicherungen in Pflanzen. Ein systemischer Übergang besteht i. d. R. erst ab Transferfaktoren > 1 [12]. Der mittlere Transferfaktor lag bei $0,3 \times 10^{-3}$. Überdurchschnittliche Werte zeigten besonders bodennah wachsende Arten z. B. Grünkohl und Mangold. Eine gute Korrelation der Boden- und Pflanzengehalte zeigt sich durch eine geringe Standardabweichung der Transferfaktoren Boden – Pflanze (vgl. Tabelle 6).

PAK-Verteilungsmuster in Pflanzen

Die PAK-Verteilungsmuster der Pflanzen zeigen im Vergleich mit den Bodenproben deutliche Abweichungen (s. Anlage 13). In den Pflanzen überwiegen nieder- und mittelmolekulare PAK (2- bis 4-Ring-Verbindungen).

4.3 Expositionsuntersuchungen

Die Variationsbreite für BaP-Gehalte bei den Expositionsuntersuchungen ist in Tabelle 7 aufgeführt. Die Analysenergebnisse sind in der Anlage 10 beigefügt [36], [87].

Pflanzenart	Exposition	Anzahl Werte	Mittelwert BaP ¹⁾ [µg/kg FM]	Standardabweichung [µg/kg FM]
Grünkohl (gewaschen)	im Boden	5	0,60	0,45
	Referenzprobe im Boden	1	0,10	-
	bodennah	9	0,26	0,25
	1,5 m Höhe	5	0,38	0,22
	Referenzprobe 1,5 m Höhe	1	0,30	-
Grünkohl (ungewaschen)	im Boden	5	1,12	0,95
	Referenzprobe im Boden	1	0,90	-
	bodennah	2	0,95	1,06
	1,5 m Höhe	5	1,70	0,83
	Referenzprobe 1,5 m Höhe	3	1,00	1,04
Spinat (gewaschen)	bodennah	7	0,18	0,07
Wirsing (gewaschen)	1,0 m Höhe	7	0,18	0,19

¹⁾ Sofern pro Pflanzenart und Kleingartenanlage nur ein Analysenergebnis vorliegt, entspricht der „Mittelwert“ dem Analysenergebnis

Tabelle 7: BaP-Mittelwerte (Expositionsproben)

Bei den ungewaschenen Proben wies Grünkohl in 1,5 m Höhe einen etwa doppelt so hohen BaP-Mittelwert auf, wie auf oder im Boden. Bei den gewaschenen Proben lagen die Gehalte im Boden dagegen am höchsten. Durch Waschen kann eine Reduktion des BaP-Gehalts um ca. Faktor 3 erreicht werden. Gewaschener Grünkohl hatte nach den Expositionsuntersuchungen bei der Heidelberger Anlage „Speyerer Straße“ in 1,5 m Höhe noch einen mittleren BaP-Gehalt von 0,4 µg/kg FM. Dieser Wert wird im Rahmen der vorliegenden Studie als plausible Näherung an den Wert für die ubiquitäre atmosphärische Deposition in der Umgebung der Anlage angesehen.

Die Referenzproben bewegten sich allgemein zwar in der gleichen Größenordnung, jedoch unter den Werten der Proben aus den Kleingartenanlagen. Für gewaschene Proben dominiert demnach die Schadstoffaufnahme im Boden. Bei ungewaschenen Proben kann dagegen die ubiquitäre Belastung über die Luft auch an Referenzproben den potenziellen Einfluss der Altablagerung übersteigen.

In Anlage 14 sind zur Orientierung Ergebnisse anderer Expositionsuntersuchungen in Deutschland aufgeführt. Durch die Angabe der Analysenergebnisse in Frisch- (FM) statt Trockenmasse (TM) liegen die Werte bei den untersuchten Kleingartenanlagen etwa um den Faktor 3,5 bis 7,5 niedriger als die von Vergleichsangaben [36], [87].

5 Bewertung

5.1 Allgemeines

Die Bewertung in den Kapiteln 5.2 bis 5.4 beschränkt sich auf die

- Bodenschutz-Nachsorge: Gefährdungsabschätzung für bestehende Nutzungen

Im Sinne der bodenschutzrechtlichen Systematik wird dieses Projekt der Stufe der Detailuntersuchung zugeordnet. Für die Beurteilung, ob eine schädliche Bodenveränderung besteht, liegen mit Ausnahme der standorttypischen Resorptionsverfügbarkeiten von BaP (siehe unten) alle erforderlichen Informationen vor.

Eine nähere Bewertung im Hinblick auf das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen erfolgt nicht. Es wird lediglich folgender Hinweis gegeben: Der Vorsorgewert der BBodSchV im Boden (BaP: 0,3 mg/kg TM, PAK-Summe: 3 mg/kg TM bei ≤ 8 % Humusgehalt) ist in den meisten Kleingartenanlagen überschritten. Insoweit ist der Besorgnistatbestand erfüllt. Überschreitungen der Vorsorgewerte können Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung weiterer Schadstoffeinträge erfordern, soweit dies auch im Hinblick auf den Zweck der Nutzung des Grundstücks verhältnismäßig ist.

Wesentliche Nutzungsänderungen oder Baumaßnahmen sind im Bereich der Kleingartenanlagen nicht bekannt, sodass vorsorgende Anforderungen bei der Umlagerung und Entsorgung von Bodenmaterial oder bauleitplanerische Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse ebenfalls nicht Gegenstand der Bewertung sind.

In diesem Bericht war zu beurteilen, ob BaP-Gehalte in Nahrungspflanzen kausal auf die Gehalte im Boden zurückgeführt werden können. Im Hinblick auf die lebensmittelrechtliche Betrachtung von BaP in Nutzpflanzen wird auf Anlage 18 (Schreiben des Sozialministeriums Baden-Württemberg an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vom 12.07.2002 – Bewertung von Gehalten an Benzo(a)pyren in pflanzlichen Lebensmitteln) verwiesen.

5.2 Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)

In den Anlagen „Am Weiher“ in Mannheim sowie „Durlacher Allee“ und „Stuttgarter Straße“ in Karlsruhe war der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung a priori ausgeräumt, da bezogen auf die mittleren BaP-Konzentrationen keine Prüfwertüberschreitung für den Pfad Boden – Mensch vorliegt (vgl. Tabelle 3). In den drei weiteren Anlagen Heidelberg „Speyerer Straße“, Bruchsal „Hanfröste“ und Karlsruhe „Elfmorgenbruch“ ist der Prüfwert der BBodSchV von 2 mg/kg BaP für Kinderspielflächen überschritten. Somit muss eine Einzelfallprüfung erfolgen, ob im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Mensch eine schädliche Bodenveränderung besteht. Der Aufwand für Einzelfallprüfungen in Form von Standortbegehungen zur Prüfung der individuellen Exposition (z. B. Alter und Aufenthaltsdauer von Kindern) ist aufgrund der Parzellenvielfalt und möglichen Nutzungsänderungen als unverhältnismäßig anzusehen. Im vorliegenden Fall werden daher plausible, auf Erfahrungswerten basierende Annahmen getroffen, welche seitens der zuständigen Behörden grundsätzlich auf Übereinstimmung mit den realen Verhältnissen zu überprüfen sind.

BaP im Oberboden kann durch die Kleingärtner oder andere Nutzer, z. B. Kinder, oral oder inhalativ aufgenommen werden. Auch wenn Kleingärten im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Mensch nicht als standardisiertes Nutzungsszenario in der BBodSchV definiert sind, ist der Wirkungspfad Boden – Mensch zu betrachten. Die BBodSchV unterscheidet zwischen den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park-/Freizeitanlagen und Industrie-/Gewerbegebiete.

Somit ist zu prüfen, welchem Szenario die Kleingartennutzung am nächsten kommt bzw. inwieweit dementsprechende Anpassungen vorzunehmen sind. Die Bewertung nach der BBodSchV bezieht sich bei Kinderspielflächen, Wohngebieten und Park-/Freizeitanlagen gleichermaßen auf Kleinkinder [93]. Im sensibelsten Szenario mit den strengsten Prüfwerten (Kinderspielflächen) werden für die Prüfwertberechnung sehr konservative Annahmen getroffen.

Standard-Expositions-Szenario der BBodSchV:

- Aufenthaltszeit von Kleinkindern auf der Fläche: 240 Tage pro Jahr
- Orale Bodenaufnahme pro Aufenthaltstag: 0,5 g
- Körpergewicht: 10 kg

Nur wenn die tatsächlichen Verhältnisse mit diesen Expositionsannahmen übereinstimmen, entspricht der Prüfwert auch einer Gefahrenschwelle. Abweichungen von diesen Standards wirken sich bei BaP rechnerisch linear auf die zulässigen Stoffkonzentrationen aus. Wenn sich Kleinkinder beispielsweise nur 120 Tage statt 240 Tage pro Jahr auf einer Fläche aufhalten, ist der Prüfwert der BBodSchV mit dem Faktor 2 zu multiplizieren. Gleiches gilt bei der oralen Bodenaufnahme und beim Körpergewicht.

Nachfolgendes spezifisches Expositionsszenario wurde mit dem Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt, Referat 96, Herr Dr. rer. nat. Jaroni, aktuell abgestimmt.

Kleingartenanlagen werden typischerweise überwiegend von Erwachsenen für den Anbau und die Pflege von Nutz- und Zierpflanzen und nicht in erster Linie von Kleinkindern als Spielfläche genutzt. Im Vergleich zum Nutzungsszenario „Kinderspielflächen“ kann daher davon ausgegangen werden, dass Kleinkinder in den für die Pflanzenpflege relevanten Monaten April bis Oktober (30 Wochen) mit auf das Gartengrundstück genommen werden und sich dort auf einer i. d. R. für das Spielen hergerichteten Fläche (mit Grasbewuchs, Spieldecke) aufhalten. Es ergibt sich daraus sowohl eine deutlich reduzierte Aufenthaltszeit als auch eine deutlich verringerte orale Bodenaufnahmerate (die hier eher zum Szenario „Wohngebiet“ tendiert). Orientiert man sich an den in der Literatur aufgeführten durchschnittlichen Aufenthaltszeiten von 52 Min. pro Wochentag für Erwachsene, die ihre Nutz- und Zierpflanzengärten pflegen [1] und berücksichtigt eine durchschnittliche Gartenarbeitszeit von ca. 1,5 bis 2 Std. pro Gartentag, so lässt sich daraus ein Aufenthalt der begleitenden Kleinkinder von bis zu vier Tagen in der Woche abschätzen (52 Min. x 7 Wochentage = 364 Min., dividiert durch 90 bzw. 120 Min. Arbeitszeit pro Gartentag ergibt ca. 3 - 4 Aufenthaltstage der Kleinkinder pro Woche). Der Prüfwert von 2 mg BaP/kg Boden kann somit mit einem Faktor von $1,5 \times 2 = 3$ beaufschlagt werden (Faktor 1,5 (0,5 g/0,33 g) für eine verringerte orale Bodenaufnahme von 0,33 g, d. h. weniger als 0,5 g aus „Kinderspielflächen“ und mehr als 0,25 g aus „Wohngebieten“; Faktor 2 für eine reduzierte Aufenthaltszeit von 120 Tagen pro Jahr). Es ergibt sich ein zulässiger BaP-Wert von 6 mg/kg Boden. Übernimmt man zusätzlich das in den Standards zur Expositionsabschätzung aufgelistete Körpergewicht von dreijährigen Kindern mit 15 kg statt 10 kg, führt dieser weitere Faktor 1,5 (15 kg/10 kg) zu einem hier tolerierbaren Wert von 9 mg/kg.

Diese Werte von 6 bzw. 9 mg BaP/kg Boden werden in keiner Kleingartenanlage erreicht (vgl. Tabelle 3). Insoweit ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung hinsichtlich des Wirkungspfad Boden – Mensch für Kleinkinder als empfindlichste „Nutzergruppe“ der Kleingärten in diesem Szenario ausgeräumt. Dies gilt neben der oralen auch für die inhalative Bodenaufnahme, deren Risiko bei BaP geringer ist als bei oraler Aufnahme [93].

Bezüglich des Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad) besteht keine Gefährdung.

Diese Bewertung liegt auf der sicheren Seite. So wurde beispielsweise nicht auf die tatsächliche Resorptionsverfügbarkeit von BaP sondern auf die Gesamtgehalte im Boden abgestellt. Der Prüfwert der BBodSchV legt zugrunde, dass 100 % des oral aufgenommenen BaP für eine Resorption im Magen-Darm-Trakt zur Verfügung stehen. In der Praxis hat sich dagegen gezeigt, dass ein Teil des BaP fest an die Bodenmatrix gebunden und im menschlichen Körper nicht resorbierbar ist. Laboruntersuchungen zur standortspezifischen Abschätzung der tatsächlichen Resorptionsverfügbarkeit [69] fanden im vorliegenden Fall nicht statt. Bestimmungen aus anderen PAK-belasteten Böden in Baden-Württemberg zeigen aber, dass die tatsächliche Resorptionsverfügbarkeit von BaP mit deutlich unter 50 % des Gesamtgehalts angenommen werden kann. Auch dieser Faktor würde sich linear auf die zulässige BaP-Konzentration auswirken.

5.3 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (Indirektpfad)

In den Anlagen „Durlacher Allee“ und „Stuttgarter Straße“ in Karlsruhe ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung a priori ausgeräumt, da bezogen auf die mittleren BaP-Konzentrationen keine Prüfwertüberschreitung für den Pfad Boden – Nutzpflanze vorliegt (vgl. Tabelle 3).

In den Anlagen Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“, Bruchsal „Hanfröste“ und Karlsruhe „Elfmorgenbruch“ wird der Prüfwert der BBodSchV für Nutz- bzw. Kleingärten von 1 mg/kg BaP im Boden überschritten.

Für die notwendige Einzelfallprüfung, ob im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze eine schädliche Bodenveränderung vorliegt, kommen unterschiedliche methodische Ansätze infrage. Wenn lediglich ein Eigenverzehr des angebauten Obstes und Gemüses erfolgt, d. h. die Produkte nicht in Verkehr gebracht werden, erfolgt die Sachverhaltsermittlung analog zum Wirkungspfad Boden – Mensch. Dabei wird anhand von

- Abschätzungen zur Art und Menge der verzehrten Pflanzen aus Eigenanbau und
- gemessenen Schadstoffkonzentrationen in diesen verzehrfertigen Nahrungspflanzen

eine nutzer- und grundstücksbezogene zusätzliche Schadstoffdosis für den Indirektpfad Boden – Nutzpflanze – Mensch ermittelt, welche der gefahrenbezogenen Dosis für den Wirkungspfad Boden – Mensch gegenübergestellt werden kann. Dieser Ansatz wird hier jedoch nicht verfolgt, weil damit gerechnet werden muss, dass die Produkte nicht ausschließlich dem Eigenverzehr dienen, sondern auch an Dritte weitergegeben werden. Daher wird vorliegend nicht auf die im Einzelfall gesundheitlich tolerierbare BaP-Dosis bei der Nahrungsaufnahme, sondern auf die strengere Vorgabe, nämlich die durch den Bodengehalt bedingte BaP-Konzentration der Nahrungspflanzen abgestellt. Für BaP in bestimmter Säuglings- und Kleinkindernahrung enthält die EU-Kontaminantenverordnung einen lebensmittelrechtlichen Höchstwert von 1 µg/kg FM [22]. Dieser Wert entfaltet zwar für Ernteprodukte der Kleingärten keine unmittelbare Rechtsfolge, wird aber im Sinne einer pragmatischen, vollzugsgerechten Bewertung herangezogen.

Bis zum Gehalt von 1 µg BaP pro kg FM in pflanzlichen Lebensmitteln besteht keine Gefährdung für Verbraucher, vgl. Anlage 18. Eine Überschreitung dieser Konzentration kann eine Gesundheitsgefahr indizieren. Soweit ein Zusammenhang zwischen der BaP-Belastung des Bodens und der Pflanzen besteht, bedeutet eine Höchstwertüberschreitung in der Pflanze das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung.

Da alle Werte der Transferfaktoren unter 1 liegen, kann davon ausgegangen werden, dass in den Kleingartenanlagen kein systemischer Transfer von PAK aus dem Boden in die Nahrungspflanzen stattfindet [12]. Dafür spricht auch, dass die Grünkohlproben auf dem Boden, die nur indirekt dem Bodestaub ausgesetzt waren, teilweise höhere Gehalte aufwiesen, als die Pflanzen direkt im Boden.

Für eine gesicherte Kausalität zwischen Boden- und Pflanzenbelastung muss der Einfluss der atmosphärischen Deposition (Luftstaub) berücksichtigt werden, der bei der Kleingartenanlage in Heidelberg „Speyerer Straße“ mit 0,4 µg/kg FM ermittelt wurde (vgl. Kap. 4.3). Es wird daher vorgeschlagen, von den in den Pflanzen gemessenen BaP-Gehalten 0,4 µg/kg FM abzuziehen. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass die Kleingartenanlage in Heidelberg „Speyerer Straße“, an der die atmosphärische BaP-Deposition mit Grünkohlexponaten bestimmt wurde, von stark befahrenen Verkehrsstraßen umgeben ist. Hieraus resultiert u. U. ein situationsbedingter Depositionswert. Die nach Abzug des Depositionswerts in den Pflanzen verbleibende BaP-Konzentration entspricht dann jedoch mit hinreichender Wahrscheinlichkeit dem Mindest-Belastungsanteil, der auf die Gehalte im Boden zurückzuführen ist. Tabelle 8 enthält die sich ergebenden Werte (dargestellt sind nur Kleingartenanlagen und Pflanzenarten mit Analyseergebnissen > 1 µg BaP/kg FM gerundet auf eine Kommastelle):

Kleingartenanlage	Anzahl Werte	Mittelwert BaP ¹⁾ [µg/kg FM]	Standardabweichung [µg/kg FM]	Pflanzenart	Atmosphärische Deposition [µg/kg FM]	Bodenbedingter BaP-Gehalt [µg/kg FM]
Mannheim „Am Weiher“	1	7,3	-	Feldsalat	0,4	6,9
	5	1,1	1,7	Mangold		0,7
Heidelberg „Speyerer Straße“	6	3,1	5,9	Feldsalat		2,7
Bruchsal „Hanfröste“	1	1,5	-	Feldsalat		1,1
Höchst- bzw. Richtwert [22]						1,0

¹⁾ Sofern pro Pflanzenart und Kleingartenanlage nur ein Analyseergebnis vorliegt, entspricht der „Mittelwert“ dem Analyseergebnis

Tabelle 8: BaP-Bewertungsgrundlage (Pflanzen)

Die kausal auf den Boden zurückzuführenden Höchstwertüberschreitungen sind beschränkt auf Feldsalat. Wie in Kap. 4.2 erläutert, ist die Datenlage in den Anlagen in Mannheim „Am Weiher“ und Bruchsal „Hanfröste“ mit jeweils nur einem Pflanzenwert eingeschränkt. Es ist anzunehmen, dass der Mittelwert aus mehreren Analyseergebnissen anders ausfallen würde. Betrachtet man die BaP-Gehalte im Boden (vgl. Tabelle 3) und zieht die positiv korrelierende Boden- und Pflanzenbelastung heran, sind in der Anlage in Mannheim „Am Weiher“ < 6,9 µg/kg FM und in Bruchsal „Hanfröste“ > 1,1 µg BaP/kg FM zu erwarten.

Für die Bewertung nach der BBodSchV ist diese Einschränkung, welche sich aus der geringen Datenbasis ergibt, nicht maßgeblich, weil in keinem Fall weniger als 1 µg/kg FM anzusetzen sind. Dies ergibt sich aus der guten Datenlage von der Heidelberger Anlage „Speyerer Straße“, wo anhand des Verhältnisses von BaP im Boden (3,0 mg/kg TM, vgl. Tabelle 3) zu BaP in Pflanzen (2,7 µg/kg FM, vgl. Tabelle 8) ein Transferfaktor von ca. 1×10^{-3} festgestellt wird. Dies entspricht Literaturwerten [53] und wird als plausibel angesehen. Wird dieser Faktor auf die Kleingartenanlagen übertragen, von denen jeweils nur ein Einzel-Analyseergebnis vorliegt, so ergibt sich für die Anlage in Mannheim „Am Weiher“ (BaP im Boden 1,9 mg/kg TM) ein zu erwartender BaP-Gehalt des Feldsalats von ca. 1,9 µg/kg und in Bruchsal „Hanfröste“ (BaP im Boden 3,6 mg/kg TM) ein Gehalt von ca. 3,6 µg/kg. Die von diesen Anlagen jeweils erhaltenen Einzel-Analyseergebnisse sind also in Bezug auf die gefundenen Höchstwertüberschreitungen plausibel. Weitere Pflanzenuntersuchungen zur Absicherung des jetzigen Kenntnisstands sind nicht erforderlich. Der Zusatzaufwand steht in keinem angemessenen Verhältnis zum Informationsgewinn.

Feldsalat dürfte entsprechend der typischen Nutzung von Kleingärten auch in Zukunft ständig angebaut werden. Somit ist festzustellen, dass in den Kleingartenanlagen in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“ neben Prüfwertüberschreitungen im Boden Überschreitungen des nach Systematik des Bodenschutzes zulässigen Pflanzenwerts auftreten. In diesen Kleingartenanlagen liegen schädliche Bodenveränderungen vor. Der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung anhand einer Prüfwertüberschreitung in der Anlage Karlsruhe „Elfmorgenbruch“ wurde mit den Pflanzenanalysen ausgeräumt.

Bezüglich des Wirkungspfads Boden – Nutzpflanze (Indirektpfad) kann in den Anlagen Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“, je nach angebaute Pflanzenart, eine potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit bestehen. Zur Vermeidung sind Handlungsempfehlungen zu beachten, vgl. Kapitel 6.2, die im Rahmen der Bewertung auf Beweismiveau 3 (Belassen mit Empfehlungen zu Bewirtschaftungsauflagen) ausgesprochen werden.

5.4 Integrative Betrachtung

In Kleingärten kann ein Schadstofftransfer sowohl auf dem Direktpfad Boden – Mensch als auch auf dem Indirektpfad Boden – Nutzpflanze – Mensch erfolgen. Bei derartigen Nutzungen könnte die Einzelpfadbetrachtung (vgl. Kap. 5.2 und 5.3) zu einer Unterschätzung der Gefährdungssituation führen. Dies ist vorliegend jedoch nicht der Fall, da bereits die Einzelbewertung des Pfads Boden – Nutzpflanze zur Feststellung einer schädlichen Bodenveränderung geführt hat.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Empfehlungen für den Verwaltungsvollzug

In den Anlagen in Mannheim „Am Weiher“, Heidelberg „Speyerer Straße“ und Bruchsal „Hanfröste“ liegen schädliche Bodenveränderungen in Bezug auf den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (hier: Feldsalat) vor. Daher ist über die Art und Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu entscheiden. Grundsätzlich infrage kommen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Form eines Anbau- bzw. Vermarktungsverbots. Dabei muss berücksichtigt werden:

- Wenn eine Portion Feldsalat (angenommen 50 g mit 3 µg BaP/kg FM) verzehrt wird, ergibt sich bei einem 70 kg schweren Erwachsenen eine BaP-Dosis von 2,1 ng pro kg Körpergewicht. Umgerechnet auf ein Jahr entspricht dies hiervon einem Viertel (0,5 ng pro kg Körpergewicht), falls an 90 Tagen jährlich Feldsalat verzehrt würde. Mit dieser sehr konservativen Größenordnung wird die gefahrenverknüpfte Dosis von 7 ng BaP pro kg Körpergewicht, die dem Direktpfad Boden – Mensch zugrunde liegt [93], weit unterschritten.
- Verbote führen zu einem Kontrollbedarf, der in vielfältig parzellierten Kleingartenanlagen mit erheblichem Aufwand verbunden ist.

Als wichtigste und angemessene Maßnahme kommt im vorliegenden Fall eine Empfehlung infrage, selbst angebauten Feldsalat (sowie ggf. weiteres Blatt-/Gemüse) vor dem Verzehr intensiv zu waschen. Der Bewertung liegt zwar schon gewaschenes Gemüse zugrunde, eine derartige nachdrückliche Empfehlung würde jedoch dazu beitragen, dass die Nutzer eine kontinuierliche Sorgfalt beim Waschen allen Obstes und Gemüses und beim Umgang mit dem BaP-verunreinigten Boden pflegen. Die Konzentrationen der ungewaschenen Proben liegen z. B. bei Grünkohl und Spinat um den Faktor 4 - 400 höher, als bei gewaschenen Gemüsen.

Über die weitere Vorgehensweise sollte unter Berücksichtigung der konkreten derzeitigen Nutzungssituation in den Kleingärten entschieden werden. Zuständig sind die unteren Bodenschutz- und Gesundheitsbehörden.

Hierbei kann sich im Einzelfall auch ergeben, dass – anstelle einer Empfehlung der Behörde – ein Verbot erforderlich ist, soweit die Gefährdung nicht hinnehmbar erscheint. Empfehlungen und Verbote sind den Betreibern und von diesen den Nutzern, ggf. in deren Muttersprache, zur Kenntnis zu geben.

Die Untersuchungen ergaben, dass ein systemischer Transfer von PAK aus dem Boden in die Nahrungspflanzen nur untergeordnet stattfindet. PAK in Pflanzen werden vor allem durch Boden- und/oder Luftstaub verursacht. Maßgeblich sind dabei Wuchshöhe und Wuchsform sowie die Oberflächenstruktur der angebauten Pflanzen.

Mögliche Maßnahmen zur Minimierung des Schadstoffübergangs

- Bodenpfad: Erarbeitung eines Leitfadens für Kleingartenpächter mit Informationen über geeignete Anbaubedingungen, z. B. Abdecken des Bodens, ggf. Negativliste für Pflanzen
- Luftpfad: in unmittelbarer Nähe stark befahrener Straßen Errichtung breiter Grünstreifen oder dicht wachsender Hecken (evtl. mit immergrünen Pflanzen), unterstützt von Bäumen zur Reduzierung des Eintrags von Staub

Eine Aufnahme von PAK mit den Nahrungspflanzen lässt sich durch eine küchenfertige Zubereitung weitgehend reduzieren.

6.2 Empfehlungen für Bewirtschafter von PAK-belasteten Kleingartenanlagen (Informations-Muster)

Nachfolgend sind Empfehlungen für Bewirtschafter von PAK-belasteten Kleingartenanlagen in Form eines Mustertexts zitiert bzw. aufgeführt [38], [55], [56].

„Untersuchungen haben ergeben, dass in der von Ihnen betriebenen Kleingartenanlage eine Belastung des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) vorliegt.

Eine Belastung des Bodens durch PAK kann unterschiedliche Ursachen haben. Eine wesentliche Rolle spielen Altablagerungen im Untergrund oder die Lage der Kleingärten in unmittelbarer Nähe von stark befahrenen Straßen in Ballungsräumen. Ein weiterer Eintrag von PAK in den Boden kann auch durch das Aufbringen von Asche oder Grillkohle zur vermeintlichen Bodenverbesserung erfolgen. Aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit der PAK reichern sich diese Stoffe in den Böden an.

Die Stoffgruppe der PAK entsteht generell bei Verbrennungsvorgängen, die sowohl natürlich entstehen können (z. B. durch Waldbrände) aber auch vom Menschen selbst verursacht werden (durch häusliche und industrielle Verbrennungsanlagen, Kfz-Verkehr, Verbrennung von Schnittgut, Grillen mit Holzkohle etc.). Die PAK werden an Ruß- oder Staubpartikel gebunden und über die Luft sehr weit transportiert. Deshalb sind diese Stoffe als ubiquitär zu bezeichnen, d. h. sie treten überall auf. Durch Niederschläge werden die PAK aus der Luft ausgewaschen und in den Boden eingetragen.

Einige PAK-Einzelverbindungen, z. B. Benzo(a)pyren (BaP), sind stark krebserregend (kanzerogen). Dies bedeutet, dass es bei direkter Aufnahme (Hand-zu-Mund-Kontakt) oder indirekter Aufnahme (Verzehr von belasteten Nahrungspflanzen) zu einer Gefährdung der Gesundheit kommen kann.

Bei Berücksichtigung der nachfolgenden Empfehlungen kann aber speziell für die Nutzung des Kleingartens eine deutliche Reduzierung der Schadstoffaufnahme von PAK erfolgen.

Umgang mit belasteten Böden

Im Rahmen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes sind die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen zu empfehlen:

- Weil Altlasten/schädliche Bodenveränderungen im Untergrund vorliegen, sollte der Oberboden nur gelockert, aber nicht tiefgehend umgegraben werden, um so eine Vermischung mit dem in der Regel höher belasteten Unterboden zu vermeiden.
- Tiefgehende Grabarbeiten, z. B. bei Baumpflanzungen, sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Bodenmaterial aus dem tieferen Untergrund sollte auf keinen Fall auf Beetbereiche aufgebracht werden.
- In Gewächshäuser, Hoch- oder Frühbeete sollte neues/unbelastetes Bodenmaterial aus anderen Herkunftsbereichen eingebracht werden.
- Bei Arbeiten, bei denen sich ein direkter Kontakt mit dem Boden nicht vermeiden lässt (Unkraut jäten, Setzen von Pflanzen etc.), sollten möglichst Handschuhe getragen werden. Kommt es doch zu Verunreinigungen der Haut, sollten, vor allem vor dem Verzehr von Nahrungsmitteln, die Hände gründlich mit Seife gewaschen werden.
- Offene oder nur locker bepflanzte Bereiche sollten mit ca. 30 cm unbelastetem Boden- oder Mulchmaterial abgedeckt werden, um das Aufwirbeln von Bodestaub zu reduzieren.
- Weitere BaP-Einträge, beispielsweise in Form von Asche, sollten in den Kleingartenanlagen in Anbetracht der Vorbelastung des Bodens und der dadurch bedingten, bereits erhöhten BaP-Gehalte in Nutzpflanzen unterbleiben.
- Dünge- und Pflanzenschutzmittel sollten bedarfsorientiert und minimiert angewendet werden, bevorzugt ökologische oder auch organische Substanzen.
- Kinder sollten vorzugsweise in Sandkästen mit unbelastetem Spielsand oder auf grasbewachsenen Flächen spielen.

Anbau und Verzehr von Nutzpflanzen

Hinsichtlich eines Anbaus und des Verzehrs der auf dem schadstoffbelasteten Boden angebauten Nahrungspflanzen werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Beim Anbau von Blattgemüse mit krauser und/oder wachsartiger Blattstruktur (Petersilie, Grünkohl etc.) kann es, bedingt durch die Blattstruktur, zu einer vermehrten Anhaftung von Bodestaub oder luftgetragenen Staubpartikeln kommen. Da die Blätter schlecht zu reinigen sind, sollten solche Pflanzen, wo möglich, unter Folie oder unter Glas angebaut werden.
- Beim Anbau von Erdbeeren und Strauchfrüchten (Himbeeren, Johannisbeeren, Stachelbeeren) sowie von auf dem Boden aufliegendem Fruchtgemüse (Gurken, Zucchini) sollte der Boden um die Pflanzen herum mit Stroh oder Folie abgedeckt werden, um einen Schadstoffeintrag aus dem Boden in die Früchte, verursacht durch Spritzwasser oder Bodestaub, zu minimieren.

- Bei Blattgemüsearten, die im Bereich der Spritzwasserhöhe wachsen (z. B. Spinat, Salat), sollten vor dem Waschen die äußeren Blätter entfernt werden.
- Alle schälbaren Gemüsearten (Karotten, Kartoffeln, Kohlrabi, Gurken etc.) die im oder auf dem Boden wachsen, sollten nach dem Waschen geschält werden, da Untersuchungen belegt haben, dass eine solche Maßnahme zu einer deutlichen Schadstoffreduzierung beiträgt.
- Kern- und Steinobst, das oberhalb der Spritzwasserhöhe wächst, sollte ebenfalls gründlich gewaschen werden, da eine Anlagerung von PAK über die Luft erfolgen kann.
- Nicht schälbare Obst- und Gemüsearten (z. B. Beeren, Bohnen, Paprika) sollten vor dem Verzehr gründlich gewaschen werden.“

6.3 Übertragbarkeit dieser Auswertung auf andere PAK-belastete Kleingärten

Die grundsätzlichen Arbeitsschritte der Untersuchungen sind zwar übertragbar auf andere Fälle, die Gefährdungsabschätzungen sind jedoch immer Einzelfallbetrachtungen. Dies gilt insbesondere auch für Kleingartenanlagen mit ihren vielfältigen Expositions- und Nutzungsszenarien. Im vorliegenden Bericht wurden auch Erkenntnisse aus der (besonders intensiv untersuchten) Kleingartenanlage in Heidelberg „Speyerer Straße“ für die Bewertung anderer Flächen herangezogen (vgl. Kap. 5.3). Der Vergleich dient der Plausibilisierung und nicht als Ersatz für standortbezogene Untersuchungsergebnisse. Deshalb kann die vorliegende Bewertung nicht ohne Weiteres auf andere PAK-verunreinigte Kleingärten übertragen werden.

HPC AG

Niederlassungsleiter

Geschäftsleiterin
Altlasten/Flächenrecycling

ppa.

Thomas Osberghaus
Dipl.-Geologe

Bernadette Bohnert
Dipl.-Ing. Umweltsicherung (FH)

ÖFFENTLICH BESTELLTER UND VEREIDIGTER
SACHVERSTÄNDIGER NACH § 36 GEWO FÜR
ALTLASTEN – ERKUNDUNG, BEWERTUNG

SACHVERSTÄNDIGER NACH § 18 BBODSCHG,
GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG
WIRKUNGSPFAD BODEN-GEWÄSSER
WIRKUNGSPFAD BODEN-MENSCH

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LEITENDEN MEDIZINALBEAMTINNEN UND -BEAMTEN DER LÄNDER (1995): Standards zur Expositionsabschätzung, Hamburg, 1995
- [2] ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LEITENDEN MEDIZINALBEAMTINNEN UND -BEAMTEN DER LÄNDER (1995): Standards zur Expositionsabschätzung, Hamburg
- [3] ATV-DVWK-ARBEITSGRUPPE „GEFÄHRLICHE STOFFE IN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN“ (2003): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Arbeitsbericht in: KA-Abwasser, Abfall 2003 (50), Nr. 2, S. 222 - 228
- [4] BARKOWSKI, D., GÜNTHER, P. & MACHTOLF, M. (1998): Pfadintegrierende Bewertung von Bodenbelastungen in Haus- und Kleingärten. Teil 1: Anforderungen aus der Praxis und Lösungsansätze – Aus: Altlasten-Spektrum, 1998, 6: S. 331 - 342
- [5] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ [Hrsg.] (2002): Merkblatt Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen – Wirkungspfad Boden – Mensch (direkter Kontakt) – LfU-Merkblatt Altlasten 1, Augsburg, 2002
- [6] BELLM, K. (o.J.): Pflanzen-Untersuchungsprogramm – Kleingartenanlagen auf Altablagerungen / STADT KARLSRUHE, UMWELTAMT [Hrsg.]. – 8 S.
- [7] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1982): Fleisch-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Januar 1982 (BGBl. I S. 89)
- [8] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bundesbodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998 – BGBl. I, S. 502
- [9] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 – BGBl. I, S. 1554
- [10] CHEMISCHE LANDESUNTERSUCHUNGSANSTALT KARLSRUHE (1997): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Lebensmitteln; Kleingartenanlage im Bereich der Speyerer Straße, Heidelberg-Kirchheim – 2 S.
- [11] CHEMISCHES UND LEBENSMITTEL-UNTERSUCHUNGSAMT DER LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF (1993): Lebensmittelüberwachung und Umweltschutz: Jahresbericht 1993 – S. 78 - 80 (Auszug)
- [12] CRÖSSMANN, G. (1992): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Böden und Pflanzen. Ein Beitrag zur Gefährdungsabschätzung bei Altlasten, Band 2: Untersuchungsergebnisse. Zum Transferverhalten ausgewählter polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) bei gärtnerischen und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen / KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET, KVR, ABTEILUNG ÖFFENTLICHKEITSARBEIT / WIRTSCHAFT [Hrsg.] – Essen, 1992 – 70 S. <Arbeitshefte Ruhrgebiet; A041>
- [13] DELSCHEN, T. (1998): PAK-Belastung von Kulturpflanzen – Aus: Landesumweltamt NRW, Jahresbericht 1998 – 5 S.
[auch veröffentlicht unter: <http://www.lua.nrw.de/jab98/jab98a38.html>]

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- [14] DELSCHEN, T. (1998): Pfadintegrierende Bewertung von Bodenbelastungen in Haus- und Kleingärten. Teil 2: Prüfwerte für das Nutzungsszenario „Wohngärten“ – Aus: Altlasten-Spektrum, 1998, 6, S. 336 - 342
- [15] DELSCHEN, T., HEMBROCK-HEGER, A., NECKER, U. (1996): Systematische Untersuchungen zum Verhalten von PAK und PCB im System Boden/Pflanze auf der Lysimeteranlage Waldfeucht (1989 – 1994). – Aus: Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 13: S. 1 - 215
- [16] DELSCHEN; KÖNIG (1998): Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Pflanze, in: Bodenschutz. Grundwerk. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1998
- [17] DELSCHEN, T., HEMBROCK-HEGER, A., LEISNER-SAABER, J. & SOPCZAK, D. (1999): Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze. PAK-Belastungen von Kulturpflanzen über den Luft-/Bodenpfad – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 11, 2: S. 79 - 87
- [18] DÜRBECK, H.W., NIEHAUS, R., MÜLLER, U. & BÜKER, I. (1997): Einträge von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und ihre Verlagerung im Boden – Aus: DÖRFLER, U. & SCHULTE-HOSTEDE, S. [Hrsg.]: Standortgerechte Bewertung chemischer Bodenbelastungen; Beiträge der HGF-Vortragsveranstaltung 18. - 19.11.1997; GSF-Bericht 23/97: 109 S.
- [19] EIKMANN, T., HEINRICH, U., HEINZOW, B. & KONIETZKA, R. [Hrsg.]: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung – Losebl.-Ausg.
- [20] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2001): Verordnung (EG) Nr. 466/2001 der Kommission vom 8. März 2001 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (EU-Kontaminanten-Verordnung) – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft 16.03.2001
- [21] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2001): Verordnung (EG) Nr. 208/2005 der Kommission vom 4. Februar 2005 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 466/2001 im Hinblick auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- [22] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2006): Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln/Ergänzt durch Verordnung (EG) Nr. 629/2008 der Kommission vom 2. Juli 2008 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln
- [23] FEHLAU; HILGER; KÖNIG (2000): Vollzugshilfe Bodenschutz und Altlastensanierung. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2000
- [24] FORSCHUNGS- UND BERATUNGSINSTITUT GEFÄHRSTOFFE, FOBIG GmbH, Freiburg (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Teil B: Ableitung von Prüfwerten/Hrsg. i. Auftrag des Umweltbundesamtes – 68 S. <Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bericht zum F+E-Vorhaben 298 73 771>

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- [25] FRANZARING, J. (1997): Temperature and concentration effects in biomonitoring of organic air pollutants – Aus: Environmental monitoring and assessment, 46: S. 209 - 220
- [26] FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, UMWELTBEBÖRDE, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ – UMWELTUNTERSUCHUNGEN [Hrsg.] (1996): Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Hamburger Oberböden – 100 S. <Hamburger Umweltberichte; 52/96>
- [27] GESELLSCHAFT FÜR MESS- UND FILTERTECHNIK mbH, Karlsruhe (1995): Nähere Erkundung (E₂₋₃) der Altablagerung „Elfmorgenbruch“, Obj.-Nr. 00672/3017 (Kleingartenanlage). Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen auf Schwermetalle (Blei, Cadmium und Quecksilber) und PAK. Ergänzung zum Bericht vom 06.06.1995 – 3 S.
- [28] GESELLSCHAFT FÜR MESS- UND FILTERTECHNIK mbH, Karlsruhe (1995): Nähere Erkundung (E₂₋₃) der Altablagerung „KGA Stuttgarter Straße“, Obj.-Nr. 00673/3139 (Kleingartenanlage), Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen auf Schwermetalle (Blei, Cadmium) und PAK. Ergänzung zum Zwischenbericht vom 07.07.1995 – 5 S.
- [29] GÖHRING, D. (1995): Charakterisierung von PAK-Profilen zur Herkunftsbestimmung. – Unveröff. Diplomarbeit, Priv. Inst. Berghof, Tübingen – 84 S.
- [30] GRAS, B., JAEGER, C. & SIEVERS, S. (2000): Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Oberböden Hamburgs – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 12, 2: S. 75 - 82
- [31] HERGET, J. (1994): Zur räumlichen Variabilität der Gehalte ausgewählter Schadstoffe in Stadtböden Gelsenkirchens – Aus: Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 157: S. 309 - 314
- [32] HIPPE, L.; RECH, B; TURIAN, G. (2000): Das Bundes-Bodenschutzgesetz mit Bodenschutz- und Altlastenverordnung – 1. Aufl. – München; Berlin: Rehm, 2000
- [33] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (1994): Historische Erkundung und Grundwasseruntersuchung der Altablagerung Kleingartenanlage Speyerer Straße in Heidelberg-Kirchheim; Bericht Nr. 910972.1PK, 24.06.1994 – 14 S.
- [34] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (1997): Orientierende Erkundung der Altablagerung „Kleingartenanlage Speyerer Straße“; Bericht Nr. 9500533.2AH, 04.04.1997 – 57 S.
- [35] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (1998): Vermerk 04/98; Projekt: Altablagerung „Kleingartenanlage Speyerer Straße“; Gegenstand: Auswertung der Erhebungsbögen im Hinblick auf die Bodenbelastung – 3 S.
- [36] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (1998): Nähere Erkundung (E₂₋₃) der Altablagerung im Bereich der Kleingartenanlage „Speyerer Straße“, Heidelberg-Kirchheim – Untersuchungsbericht – 104 S.
- [37] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (2002): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen – Fallbeispiele aus dem Regierungsbezirk Karlsruhe –, interner Bericht, 04.01.2002
- [38] IBL UMWELT- UND BIOTECHNIK GmbH, Heidelberg (2005): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen –

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

Fallbeispiele aus dem Regierungsbezirk Karlsruhe –, Entwurf der Überarbeitung des Berichts vom 04.01.2002, 07.02.2005

- [39] IFA INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN VERSICHERUNGEN: GESTIS-Stoffdatenbank. <http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank>
- [40] IHME, W. & WICHMANN, H.-E. (1996): Expositionsabschätzung mittels Modellrechnungen. Orale Belastung des Menschen durch PAK über Trinkwasser und anderen Quellen – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 8, 6: S. 343 - 354
- [41] INGENIEURBÜRO D. SAUER & H. MILTNER, Karlsruhe (1998): Stadt Karlsruhe – Historische Erkundung von Altlasten: Altablagerung Nr. 3017, Elfmorgenbruch; Erläuterungsbericht (Projekt 8931) / WASSERWIRTSCHAFTSAMT KARLSRUHE; STADT KARLSRUHE, UMWELTAMT [Hrsg.] – 6 S.
- [42] INGENIEURBÜRO D. SAUER & H. MILTNER, Karlsruhe (1989): Stadt Karlsruhe – Historische Erkundung von Altlasten: Altablagerung Nr. 3139, Stuttgarter Straße; Erläuterungsbericht (Projekt 8932) / WASSERWIRTSCHAFTSAMT KARLSRUHE; STADT KARLSRUHE, UMWELTAMT [Hrsg.] – 5 S.
- [43] INSTITUT FÜR UMWELT-ANALYSE GmbH, BIELEFELD (1998): Bewertungsleitfaden Kleingärten auf Altablagerungen / NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR FRAUEN, ARBEIT UND SOZIALES [Hrsg.] – 59 S., m. Anl. u. Anh.
- [44] IUB DR. EISELE mbH, Karlsruhe (2007): Bewertung von PAK (BaP) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen Fallbeispiele aus dem Regierungsbezirk Karlsruhe, September 2007
- [45] JONECK, M. & PRINZ, R. (1995): PCB- und PAK-Belastung von Böden in industriefernen Regionen Bayerns – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 7, 5: S. 298 - 301.
- [46] KIPOPOULOU, A.M., MANOLI, E. & SAMARA, C. (1999): Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area – Aus: Environmental pollution, 106, 3: S. 369 - 380
- [47] KOCH, R. (1991): Umweltchemikalien: physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten – 2. Aufl. – 426 S.
- [48] KOHL, R. & PRÜESS, A. (1998): Messtechnik zur Überwachung der Schadstoffeinträge in Boden und Gewässer: Verbundvorhaben von LfU und IBA in Kehl – Aus: Altlastenforum, 1998, 3: S. 36 - 37
- [49] KRUSE, K. (1997): Toxikologische Beurteilung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Boden- und Bewuchsproben einer Heidelberger Kleingartenanlage – Institut für Toxikologie des Klinikums der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – 11 S.
- [50] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG LfU [Hrsg.] (1997): Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden: Nutzung neuer Sammel- und Nachweisverfahren. Fachgespräche am 27. November 1996 in Karlsruhe – 119 S. <Handbuch Boden; 5>
- [51] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG LfU [Hrsg.] (1997): Stoffbericht polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) – 249 S.

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- <Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung; 34/97>
- [52] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1997): Stoffverhalten von gaswerksspezifischen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, Karlsruhe, 1997
- [53] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG LfU [Hrsg.] (1998): Literaturstudie zum Transfer von organischen Schadstoffen im System Boden/Pflanze und Boden/Sickerwasser – 207 S.
- [54] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2001): Arbeitshilfe zur Bearbeitung von Verdachtsflächen/altlastverdächtigen Flächen und schädlichen Bodenveränderungen/Altlasten nach BBodSchG. Bodenschutz 6, Karlsruhe, 2001
- [55] LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (2000): Die Bodenbelastung brandenburgischer Haus- und Kleingärten durch Schadstoffe, Fachbeiträge des Landesumweltamtes - Titelreihe, Heft-Nr. 48, Mai 2000
- [56] LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (2000): Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg, Band 4.1 Leitfaden Detailuntersuchung Teil Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze, Januar 2010
- [57] LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (2000): Merkblatt „Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze“ – LUA-Merkblätter Nr. 22, Essen, Juli 2000
- [58] LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (2001): Verzehrsstudie in Kleingärten im Rhein-Ruhr-Gebiet. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 14, Essen, 2001
- [59] LENZ, H., PAMPERIN, L. & PLUQUET, E. (1997): PAK in Kleingartenböden – Eingrenzung möglicher Belastungsursachen mit Hilfe von PAK-Profilen – Aus: Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges., 85 (1997), 2, S. 737 - 740
- [60] MAILÄNDER INGENIEUR CONSULT, Karlsruhe (1990): Historische Erkundung der Altablagerung „Durlacher Allee“ (WWA-Nr. 3002) / STADT KARLSRUHE, UMWELTAMT [Hrsg.] – 12 S.
- [61] MATTHIES, M. (Hrsg.) (1997): Organische Schadstoffe in der Nahrungskette. Vorstudie zur Validierung von Expositionsmodellen. Osnabrück, November 1997
- [62] MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2002): Schreiben an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vom 11.03.2002 – Bewertung von Gehalten an Benzo(a)pyren und anderen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in pflanzlichen Lebensmitteln
- [63] MINISTERIUM FÜR FRAUEN, ARBEIT UND SOZIALES, LAND NIEDERSACHSEN (Hrsg.) (1998): Bewertungsleitfaden Kleingärten auf Altablagerungen, November 1998

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- [64] MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (1993): Zweite Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Probenahme und -aufbereitung (VwV Bodenproben), 24.08.1993
- [65] MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (1993): Vierte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten organischer Schadstoffe im Boden (VwV Organische Schadstoffe), 10.12.1995
- [66] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW (2006): Ableitung eines PAK-Prüfwerts für den Pfad Boden – Mensch für die zu novellierende BBodSchV. Düsseldorf, 22.03.2006
- [67] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR (1997): Stellungnahme – Drucksache 12/1568 – Belastung von Kleingartenböden im Raum Heidelberg, Bruchsal und Karlsruhe durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Stuttgart, 29.09.1997
- [68] NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (2003): Gemüse- und Erdbeerernte 2001 und 2000 auf dem Freiland, Niedersachsen, 13.05.2003
- [69] NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2004): Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial. DIN 19738. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juli 2004
- [70] OFFENBÄCHER, G., KALLWEIT, P., SPODE, R., PUCHWEIN, G. & JANSSEN, E. (1995): Bestimmung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen in Böden, Klärschlämmen und Komposten: Verbandsmethode – Aus: Methodenbuch VII (VDLUFA) – S. 1 - 22
- [71] PREUSSER, M., RUHOLL, H. & SCHWERMANN, J. (1993): Transfer polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe aus kontaminierten Böden in Gemüsepflanzen – Aus: ARENDT, F., ANNOUKKÉE, G.J., BOSMAN, R. & van den BRINK, W.J. [Hrsg.]: Altlastensanierung '93. – S. 1221 - 1222
- [72] REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE, ABTEILUNG 2 WIRTSCHAFTLICHE RAUMORDNUNG, BAU-, GESUNDHEITS- UND SOZIALWESEN, REFERAT 25 ÄRZTLICHE UND PHARMAZEUTISCHE ANALYSEKRITERIEN (2001): Stellungnahme zu [40] – 1 S.
- [73] RIPPEN, G.: Handbuch Umwelt-Chemikalien: Stoffdaten, Prüfverfahren, Vorschriften – Losebl.-Ausg.
- [74] ROOS, P.H., WEISSENFELS, W.D., v. AFFERDEN, M., PFEIFER, F. & HANSTEIN, W.G. (2000): Ökotoxikologische und humantoxikologische Risikobewertung PAK-belasteter Böden vor und nach biologischer Behandlung – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 12, 1: S. 13 - 19
- [75] SCHLABACH, E.; LANDEL, Chr.; NOTTER, H. (2003): Schädliche Bodenveränderung – eine Annäherung an einen unbestimmten Rechtsbegriff – Altlasten und Boden News 2/2003, S. 4 – 16

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- [76] SCHNEIDER, K.; SCHUHMACHER, U.S.; OLTMANN, J.; KALBERLAH, F. (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Teil B – Ableitung von Prüfwerten. Bericht des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe GmbH, Freiburg i. Br. an das Umweltbundesamt Berlin, Juli 1999 (unveröffentlicht)
- [77] SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, BERLIN (1995): Bioindikatoren – Aus: Digitaler Umweltatlas Berlin, Texte und Kartenmaterial – 3 S. [veröffentlicht unter: [http://www.sensut.berlin.de/UIOnline\(dua96/html/d307_07.htm](http://www.sensut.berlin.de/UIOnline(dua96/html/d307_07.htm))]
- [78] SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, BERLIN (2000): Grünkohl – 4 S. [veröffentlicht unter: <http://www.sensut.berlin.de/sensut/umwelt/uisonline/biomon/bm010.htm>]
- [79] SMETTAN, U. & MEKIFFER, B. (1996): Kontamination von Trümmerschuttböden mit PAK – Aus: Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 159: S. 169 - 175
- [80] SOZIALMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, ZENTRALE KOORDINIERUNGSTELLE FÜR SUCHTFRAGEN (1999): Stellungnahme zur gesundheitlichen Problematik der PAK-Gehalte in untersuchten Pflanzenproben aus den Kleingartenanlagen in Bruchsal, Heidelberg, Karlsruhe und Mannheim – 8 S., m. 2 Anl.
- [81] SOZIALMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2002): Schreiben an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg vom 12.07.2002 - Bewertung von Gehalten an Benzo(a)pyren in pflanzlichen Lebensmitteln
- [82] STAATLICHE LEHR- UND VERSUCHSANSTALT FÜR GARTENBAU HEIDELBERG, SACHGEBIET ÖKOLOGIE, BODENSCHUTZ UND KLEINGARTENWESEN (1997): Kulturanleitungen für die Kulturen auf den 34 Parzellen und 3 Großparzellen – 6 S.
- [83] STOYKE, M., LUSKY, K., DOBERSCHÜTZ, K.-D. & GÖBEL, R. (1994): Untersuchungen zur Belastung von Futtermitteln, Obst und Gemüse mit Benzo(a)pyren (BaP) im Land Brandenburg – Aus: Die Nahrung, 38, 3: S. 259 - 266
- [84] TEBAAAY, R.H., WELP, G. & BRÜMMER, G.W. (1993): Gehalte an Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilungsmuster in unterschiedlich belasteten Böden – Aus: Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 156: S. 1 - 10
- [85] TERYTZE, K. & KLAUS, R. (1998): Zur Belastung der Regenwürmer mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden des Elbe-Elster-Kreises. – Aus: Bodenschutz, 3, 1998: S. 86 - 91
- [86] TERYTZE, K., BÄULKE, N., BÖHMER, W. & MÜLLER, J. (1998): Einschätzung der Konzentrationsprofile polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden des Biosphärenreservats Spreewald – Aus: Zeitschr. Umweltchem. Ökotox., 10, 6: S. 326 - 332
- [87] TRENKLE, A. (1998): Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen aus belasteten Kleingartenanlagen Baden-Württembergs – Poster VDLUFA-Kongress 1998 in Gießen: Pflanzliche Produktion - 7 S.

- Anhang 1 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

- [88] TÜV ENERGIE UND UMWELT (1998): Untersuchungen mit dem Grünkohlverfahren zur Ermittlung der PAK-Belastungspfade in der Kleingartenanlage „Kiesloch“; Bericht Nr. 970006986, 15.07.1998 – 55 S.
- [89] UMEG GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN mbH, Karlsruhe (1995): Bodenzustandsbericht Karlsruhe: Schadstoffgehalte der Böden/MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] – 68 S.
- [90] UMEG GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN mbH, Karlsruhe (1997): Bodenuntersuchungen im Bereich der Kleingartenanlage „Am Weiher“, Mannheim
- [91] UMEG GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN mbH, Karlsruhe (1998): Bodenzustandsbericht Großraum Mannheim/Heidelberg: Schadstoffgehalte der Böden/MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] – 108 S.
- [92] UMWELTBUNDESAMT [Hrsg.] (1994): Literaturstudie zur Ableitung von Bodengrenzwerten für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) – 71 S. <Umweltbundesamt, Texte; 71/95>
- [93] UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. Grundwerk. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999
- [94] UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2001): Überprüfung und Fortentwicklung der Bodenwerte für den Boden-Pflanzen-Pfad, Teilbericht I. Transferfaktoren Boden-Pflanze, Berlin, Oktober 2001
- [95] VISKARI, E.-L., REKILÄ, R., ROY, S., LEHTO, O., RUUSKANEN, J. & KÄRENLAMPI, L. (1997): Airborne pollutants along a roadside: assessment using snow analyses and moss bags – Aus: Environmental pollution, 97, 1 - 2: S. 153 - 160
- [96] WAGROWSKI, D.M. & HITES, R.A. (1997): Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban, and rural vegetation - Aus: Environ. Sci. Technol., 31, 1: S. 279 - 282
- [97] WEBER-INGENIEURE GmbH, Pforzheim (1996): Stadt Bruchsal, Altablagerung Hanfröste: Ergänzende orientierende Erkundungsmaßnahmen, Untersuchungsbericht (Auszüge)
- [98] WEBER-INGENIEURE GmbH, Pforzheim (1998): Stadt Bruchsal, Altablagerung Hanfröste: Nähere Erkundung E₂₋₃, Abschlußbericht – 40 S.
- [99] WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ BEIM BMU (2001). Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz zu Prüfwerte-Vorschlägen zu BaP (für PAK) und Naphthalin – altlasten spektrum 1/2001, S. 40 - 41

- Anhang 2 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen

Abkürzungsverzeichnis

BaP	Benzo(a)pyren (Einzelparameter der PAK)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung
E	Osten
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPA	Environmental Protection Agency (US-Umweltbehörde)
FM	Frischmasse
GewO	Gewerbeordnung
ISO	Internationale Organisation für Normung
Lfu	Landesamt für Umweltschutz
LMBG	Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz
LUA NRW	Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Nord- rhein-Westfalen
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Na- turschutz
N	Norden
n. n.	nicht nachweisbar
NE	Nordosten
NW	Nordwesten
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK-16	16 PAK-Einzelparameter nach EPA
S	Süden
SE	Südosten
SW	Südwesten
TM	Trockenmasse (entspricht Trockensubstanz)
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TVO	Trinkwasserverordnung
W	Westen
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersu- chungs- und Forschungsanstalten
VwV	Verwaltungsvorschrift