

Dr. Gerd Rippen  
Bewertung von Umweltchemikalien  
Marie-Elisabeth-Lüders-Str. 4  
37075 Göttingen  
Fon (0551) 20529071  
[rippen2010@t-online.de](mailto:rippen2010@t-online.de)

**Eigenbetrieb  
Immobilienmanagement  
Bessunger Str. 125  
64295 Darmstadt**

**Humantoxikologische Beurteilung  
von Schadstoffbelastungen in der Kleingartenanlage  
des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V.  
westlich der Kranichsteiner Str., alle Parzellen**

**Dr. Gerd Rippen**

**Göttingen, Februar 2018**

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Vorgang, Veranlassung, Unterlagen	3
1.1	Vorgang, Veranlassung	3
1.2	Unterlagen	3
2	Beschreibung des Standortes	5
2.1	Lage und Nutzung	5
2.2	Voruntersuchungen	6
2.3	Grundwasser	6
3	Wirkungspfade	7
3.1	Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)	7
3.2	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch)	7
3.3	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Nutztier (– Mensch)	7
3.4	Wirkungspfad Boden – Grundwasser	7
3.5	Wirkungspfad Boden – Bodenluft – Innen-/Außenluft (– Mensch)	7
3.6	Kombinationsszenario Wohngarten und Kleingarten	8
4	Untersuchungsergebnisse	9
4.1	Untersuchungsmethodik	9
4.2	Qualitative Untersuchungsergebnisse (Auffüllung)	10
4.3	Quantitative Ergebnisse (Analytik) und Beurteilung hinsichtlich der potenziellen Nutzung mittels Prüfwerten	10
4.3.1	Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)	10
4.3.2	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch)	12
5	Beurteilung der Schadstoffbelastung bei potenzieller Nutzung	14
5.1	Beurteilung der Bodenbelastung mit Arsen, Direktpfad	14
5.1.1	Humantoxische Wirkungen von Arsen	14
5.1.2	Beurteilung der Arsen-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption	14
5.2	Beurteilung der Bodenbelastung mit Blei, Direktpfad	14
5.2.1	Humantoxische Wirkungen von Blei	14
5.2.2	Beurteilung der Blei-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption	15
5.3	Beurteilung der Bodenbelastung mit Benzo[a]pyren, Direktpfad	18
5.3.1	Humantoxische Wirkungen von Benzo[a]pyren und PAK	18
5.3.2	Beurteilung der Benzo[a]pyren-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption	18
5.4	Beurteilung der Bodenbelastung mit Quecksilber und Benzo[a]pyren, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch	19
5.4.1	Relevanz des Wirkungspfades Boden – Nutzpflanze – Mensch für NutzerInnen von Parzellen des KGV	19
5.4.2	Beurteilung der Bodenbelastung mit Quecksilber, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch	20
5.4.3	Beurteilung der Bodenbelastung mit Benzo[a]pyren, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch	20
5.5	Zusammenfassung der Nutzungseinschränkungen	22
6	Empfehlungen	23
6.1	Direktpfad, Kinderspielfläche	23
6.2	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch	23
6.3	Nutzung von Grundwasser zur Bewässerung	23
6.4	Sanierung, Behördliche Überwachung von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	23
6.5	Planungsrechtliche Auswirkungen	24
7	Zusammenfassung	25
Anhang 1: Bewertung von Benzo[a]pyren als Leitparameter der Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) [4b]		26
Anhang 2: Resorptionsverfügbarkeit in Abhängigkeit von Schadstoffkonzentrationen und Bodenbeschaffenheit [16]		27
Anhang 3: Auswertung der untersuchten Kinderspielflächen im Duisburger Süden im Hinblick auf den resorptionsverfügbaren Bleigehalt (n=138) [17]		28

## 1 Vorgang, Veranlassung, Unterlagen

### 1.1 Vorgang, Veranlassung

Die Kleingartenanlage des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. westlich der Kranichsteiner Str. entwickelte sich in der Nachkriegszeit auf einer Brachfläche, die unter anderem mit Flugasche der ehemaligen Kokerei nivelliert wurde. Das Gelände wurde in den 1970er Jahren als Bürgerpark Nord ausgebaut. Die KGV-Kleingartenanlage ist in 74 Parzellen unterteilt. Untersuchungen aus 1985 ergaben für das gesamte KGV-Gelände erhöhte Schwermetallkonzentrationen. Exemplarisch wurde 2015 und 2017 die Parzelle 40 auf Schwermetalle und zusätzlich auf polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mit der Leitsubstanz Benzo[a]pyren (BaP) untersucht. Die Messungen bestätigten einen Gefahrenverdacht [2]. Dieser wurde in einem humantoxikologischen Gutachten (Juli 2017) bei der aktuellen Parzellen-Nutzung für den Direktpfad nicht bestätigt [1]. Dennoch wurden eine Sanierung empfohlen sowie einige Empfehlungen zu zukünftigen Nutzungseinschränkungen auf der Parzelle 40 und damit verbundenen Überwachungsmaßnahmen formuliert. Wegen der erheblichen Belastung des Bodens mit den Krebs erzeugenden Schadstoffen Blei und PAK konnte eine das übliche Maß übersteigende Exposition der ParzellenNutzerInnen nicht ausgeschlossen werden. Wegen der bekannten Belastung mit Blei, möglicherweise auch mit PAK wurde die zeitnahe Beprobung und Beurteilung der übrigen Parzellen der Kleingartenanlage empfohlen.

Der Unterzeichner wurde vom Eigenbetrieb Immobilienmanagement Darmstadt mit Schreiben vom 19. Dezember 2017 mit der humantoxikologischen Beurteilung der Schadstoffbelastungen der gesamten Kleingartenanlage beauftragt. Grundlage sind die in [3] dargestellten Bodenuntersuchungen durch die Umweltplanung Bullermann Schneble GmbH (UBS) zusammen mit WESSLING GmbH (Analytik) und SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH (Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeiten). Die parzellenscharf entnommenen Bohrgut-Proben wurden zwecks Reduzierung des Analytikaufwandes für jede Beprobungstiefe jeweils zu Mischproben aus bis zu 10 Parzellen in insgesamt 10 sog. „Gebieten“ zusammengefasst. Statt an Hand der aktuellen Nutzung einzelner Parzellen wird deshalb im Folgenden die Schadstoffbelastung für die potenziell mögliche Nutzung dieser 10 Gebiete und der Kleingartenanlage insgesamt beurteilt.

### 1.2 Unterlagen

- [1] Rippen, G.: Humantoxikologische Beurteilung von Schadstoffbelastungen in der Kleingartenanlage des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. westlich der Kranichsteiner Str., Parzelle 40, erstellt für Eigenbetrieb Immobilienmanagement Darmstadt. Göttingen: Juli 2017
- [2] Bullermann, M.; Luft, H.; Hatsukano, K.: Bodenuntersuchung auf dem Gelände des Kleingartenvereins Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V., Parzelle Nummer 40. Gemarkung Darmstadt Bezirk 6, Flur 12, Flurstück 58/10. Bericht der Umweltplanung Bullermann Schneble GmbH, erstellt für Eigenbetrieb Immobilienmanagement Darmstadt. Darmstadt: 16. Mai 2017
- [3] Bullermann, M.; Hatsukano, K.: Bodenuntersuchung auf dem Gelände des Kleingartenvereins Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V., Gemarkung Darmstadt Bezirk 6, Flur 12, Flurstück 58/10. Bericht der Umweltplanung Bullermann Schneble GmbH, erstellt für Eigenbetrieb Immobilienmanagement Darmstadt. Darmstadt: 18. Dezember 2018
- [4] a) Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 102 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)  
b) Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 14. Dezember 2016

G. Rippen: Humantoxikologische Beurteilung von Schadstoffbelastungen in der Kleingartenanlage des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. westlich der Kranichsteiner Str., alle Parzellen  
Februar 2018

- [5] Harres, H.-P.; Höllwarth, M.; Böhnke, E.; Rhiem, W.; Schäfer, H.; Unger, H.-J.: Schadstoffbelastung in Darmstädter Kleingärten und deren Auswirkung auf die Nutzung. In: Seuffert, O. (Hrsg.): Darmstädter Kleingartenanlagen. Entwicklung, Nutzung und Belastung aus soziologischer und geoökologischer Sicht. S. 87-151. Geoöko-Verlag, Bensheim: 1990
- [6] Wissenschaftsstadt Darmstadt: Rechtskräftige Bebauungspläne. Bebauungsplanatlas Darmstadt. <https://bebauungsplanatlas.darmstadt.de/bplan.html>.
- [7] Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
- [8] WIKIPEDIA, die freie Enzyklopädie: Bürgerpark Nord. [https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrgerpark\\_Nord](https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrgerpark_Nord). Stand Februar 2018.
- [9] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV): Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze. LANUV-Arbeitsblatt 22. Recklinghausen 2014. [https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz\\_und\\_altlasten/](https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz_und_altlasten/)
- [10] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Hydrologisches Kartenwerk Hessische Rhein- und Mainebene, Maßstab 1 : 50 000. Trinkwasserschutzgebiete. Bearbeitungsstand: März 2012. [https://www.hlnug.de/fileadmin/img\\_content/wasser/grundwasser/grundwasserkarten/ried\\_tws.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/img_content/wasser/grundwasser/grundwasserkarten/ried_tws.pdf)
- [11] Bekanntmachung der Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18.6.1999. BAnz. Nr. 161a vom 28.08.1999
- [12] Barkowski, D.; Gierse, R.; Machtolf, M.; Raecke, F.: Beurteilung von Bodenbelastungen in Wuppertaler Kleingartenanlagen. *altlasten spektrum 14* (2005) 36-44
- [13] Zeddel, A.: Prüfwerte für PAK – Bewertung Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe bezüglich des Wirkungspfades Boden–Mensch. *altlastenspektrum 25* (2016) 213-219
- [14] Hassauer, M.; Kalberlah, F.: Arsen und Verbindungen; Schuhmacher-Wolz, U.; Schneider, K.: Adendum Arsen und Verbindungen. Kapitel D 095. In: Eikmann, Th.; Heinrich, U.; Heinzow, B.; Konietzka, R.: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen. Ergänzbare Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung. E. Schmidt: Berlin. 1. Erg.-Lfg.12/1999 und 14. Erg.-Lfg. 05/2008, 58 Seiten
- [15] Kommission „Human-Biomonitoring-Werte (HBM) – Stoffmonographie Blei. Kapitel D 135. In: Eikmann, Th.; Heinrich, U.; Heinzow, B.; Konietzka, R.: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen. Ergänzbare Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung. E. Schmidt: Berlin. 16. Erg.-Lfg. 11/2012, 28 Seiten
- [16] Hack, A.; Welge, P.; Wittsiepe, J.; Wilhelm, M.: Aufnahme und Bilanzierung (Bioverfügbarkeit) ausgewählter Bodenkontaminanten im Tiermodell (Minischwein). Forschungsbericht (UFOPLAN) 298 73 227/01 der Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Umweltbundesamtes. Bochum: 2002
- [17] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA): Übergreifende Auswertung von Boden-, Immissions- und Humandaten zur Schwermetallbelastung im Duisburger Süden; Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz; MALBO 23. Essen: 2006
- [18] Bartetzko, G., Rippen, G., Wiesert, P.: Erarbeitung von Programmen zur Überwachung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten. Bericht von ARCADIS Trischler & Partner GmbH an das Umweltbundesamt Berlin. FKZ 296 77 816. Umweltbundesamt, Texte 96/99, Band I und II. Berlin 1999. 760 Seiten. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/publikationen/uba-texte\\_96\\_99.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/publikationen/uba-texte_96_99.pdf)
- [19] Dreschmann, P. (Leitung); Melchior, S.; Odensaß, M.; Rippen, G.; Roth, A.; Sokollek, V.; Kabardin, B. (teilweise); Altenbockum, M. (teilweise); Dernbach, H. (teilweise): Nachsorge und Überwachung von sanierten Altlasten. ITVA-Handlungsempfehlung – H1-1. Berlin. Dezember 2003. [http://www.itv-altlasten.de/fileadmin/user\\_upload/\\_imported/H1-H\\_Nachsorge\\_und\\_Ueberwachung\\_von\\_sanierten\\_Altlasten\\_02.pdf](http://www.itv-altlasten.de/fileadmin/user_upload/_imported/H1-H_Nachsorge_und_Ueberwachung_von_sanierten_Altlasten_02.pdf)
- [20] Regierungspräsidium Karlsruhe (Hrsg.): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Pflanzen von Kleingartenanlagen – Stand 20.12.2011. Karlsruhe: 2011
- [21] Bundeskleingartengesetz (BKleingG) vom 28. Februar 1983, BGBl. I S. 210, zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 19. September 2006, BGBl. I S. 2146

## 2 Beschreibung des Standortes

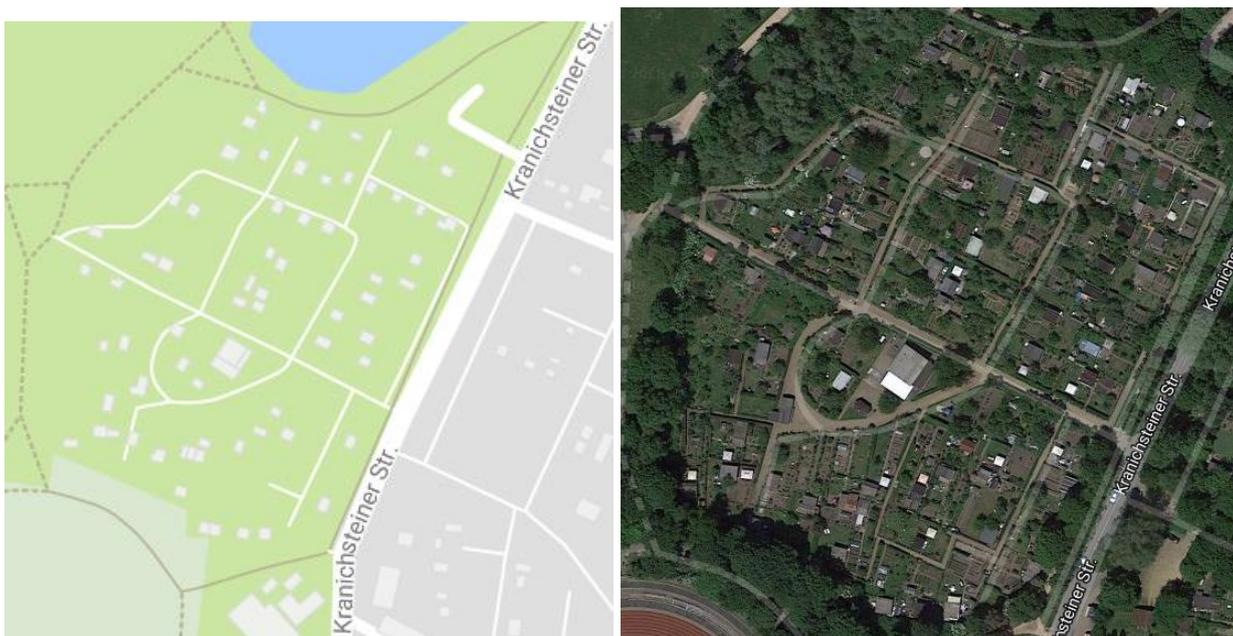
### 2.1 Lage und Nutzung

Die Kleingartenanlage des Kleingartenvereins (KGV) Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. liegt mit einer Fläche von ca. 27.600 m<sup>2</sup> im Norden Darmstadts westlich der Kranichsteiner Str. in der Gemarkung Barmstadt Bezirk 6, Flur 12, Flurstück 58/10 (s. **Bild 1**, mit Satellitenfoto). Die Fläche ist in 74 Parzellen unterteilt. Der Parzellenplan (aus [2]) und die Gebietseinteilung [3] sind im **Bild 2** wiedergegeben mit den Bohransatzpunkten.

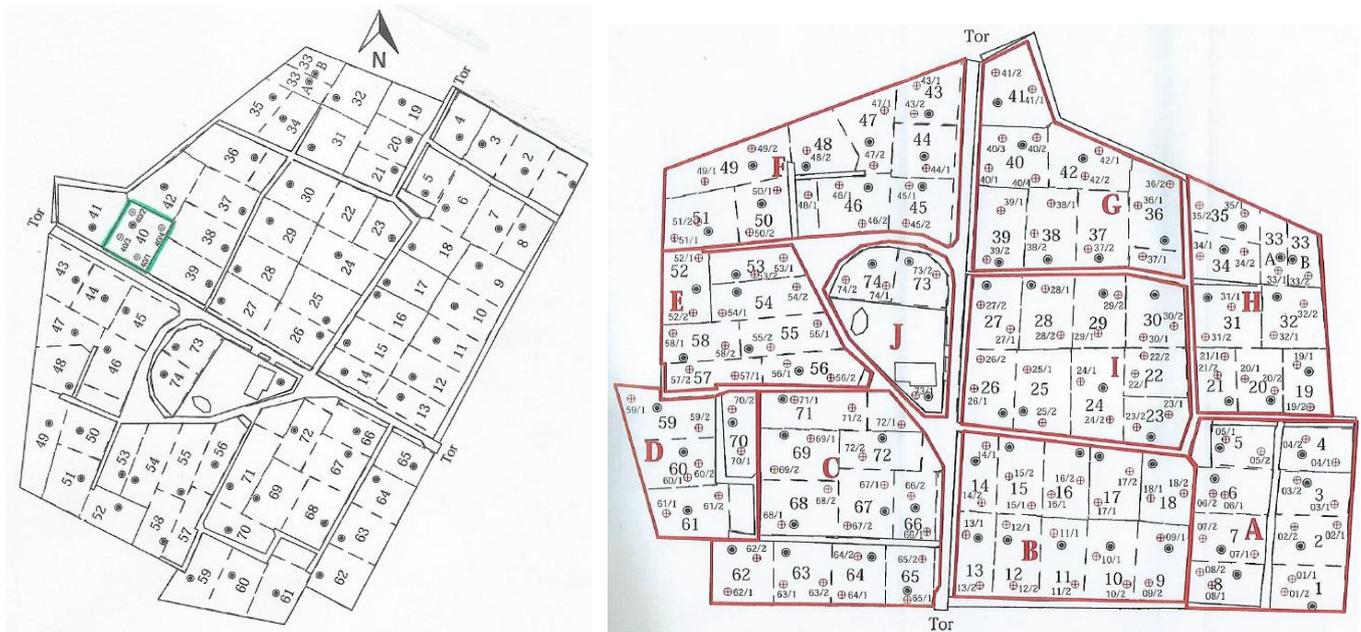
Unter einer bis zu mehreren Metern mächtigen Auffüllung (s. auch **Abschnitt 4.2**: qualitative Untersuchungsergebnisse für die oberen 60 cm) besteht der Untergrund aus quartären Sedimenten des Rheins und des Neckars, im Wesentlichen Sande mit unterschiedlichen Anteilen an Kies und Schluff sowie tonig-schluffigen Zwischenhorizonten. Der Grundwasserflurabstand des oberen Grundwasserleiters liegt am Standort bei ca. 2-3 Metern [2, 3].

Die Kleingartenfläche ist Bestandteil des in diesem Bereich mit „Grünfläche“ gekennzeichneten, ansonsten nicht differenzierten Bebauungsplans N8 [6]; sie liegt im Osten des „Bürgerparks Nord“ (s. **Bild 3**). Planungsrechtliche Nutzungsvorgaben sind darüber hinaus nicht zu erkennen. Der Bürgerpark Nord ist ca. 100 ha groß; er wurde zwischen 1974 und 1999 gebaut. Der Nordteil besteht aus einem Landschaftspark mit Hügeln, Seen, Gehölzen, Waldbereichen und Wiesen; in der Mitte befindet sich eine Sportzone und im Südteil ein Schulzentrum. Das einst völlig flache Gelände war bis Anfang der 1970er-Jahre geprägt von kleingärtnerischer Nutzung, großen Brachflächen und Resten von Tongruben ehemaliger Ziegeleien. Ein künstlich angelegter Hügel ist ca. 22 Meter hoch. Das Gelände war einmal als Erweiterungsgebiet der TU Darmstadt vorgesehen. Wegen der schwierigen Bodenverhältnisse und des hohen Grundwasserstandes unterblieb jedoch der Bau der Universitätsgebäude [8].

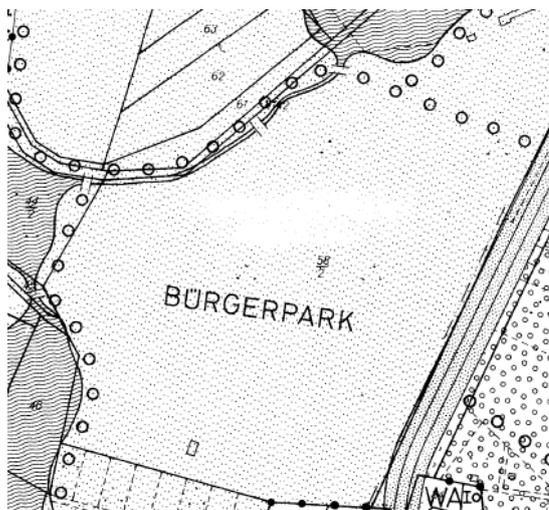
Das Kleingartengelände ist auf fast allen Parzellen intensiv mit Hütten/Lauben und/oder Häusern bebaut; Rasenflächen überwiegen. NutzerInnen des Kleingartens sind unter anderem Familien mit Kindern [2, 3]; in [2,3] erfolgte deshalb eine Einstufung in die Nutzungskategorie „Kinderspielflächen“ gemäß BBodSchV. Kleingartentypisch ist die Nutzung als Nutzgarten, so dass auch der Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch) betrachtet werden muss. Dieses gemischte Nutzungsszenario wird in [9] als „Wohngarten und Kleingarten“ bezeichnet. Eine weitere Differenzierung wird im **Abschnitt 3.6** erläutert.



**Bild 1:** Lage des Kleingartenvereins Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. und Satellitenfoto (Google Earth)



**Bild 2: Parzellen des Kleingartengeländes (nach [2], eingenordet), mit Markierung der exemplarisch in [1] beurteilten Parzelle 40 im Westen (links) und die Gebieteinteilung mit Bohrsatzpunkten auf allen Parzellen der Kleingartenanlage (rechts, aus [3], Anlage 1)**



**Bild 3: Ausschnitt aus dem Bebauungsplan N8 „Bürgerpark Nord“ [6]**

## 2.2 Voruntersuchungen

Nach [5] (S. 92) wurde ca. 1945 zur Geländeneivellierung unter anderem Flugasche der ehemaligen Kokerei verwendet. Oberflächennahe Ablagerungen und Auffüllungen aus den Nachkriegsjahren, die mehrere Meter mächtig sein können [3], zeigten dementsprechend erhöhte Schwermetallbelastungen. In Untersuchungen aus den Jahren 1985 [5], 2015 und 2017 (Parzelle 40; siehe [1-3]).

## 2.3 Grundwasser

Das Kleingartengebiet liegt nicht in einem Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiet [10].

Unter der Auffüllung wird der Grundwasserleiter im Wesentlichen aus Sanden mit unterschiedlichen Anteilen an Kies und Schluff sowie tonig-schluffigen Zwischenhorizonten gebildet. Die großräumige Grundwasserfließrichtung im oberen Grundwasserleiter (Flurabstand 2-3 m) ist nach West-Südwest gerichtet [2, 3].

### 3 Wirkungspfade

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [4a, 4b] unterscheidet mehrere Wirkungspfade, für die jeweils Prüfwerte bzw. Maßnahmenwerte angeführt werden:

- Boden – Mensch (Direktpfad)
- Boden – Nutzpflanze (– Mensch)
- Boden – Nutzpflanze – Nutztier (– Mensch)
- Boden – Grundwasser
- Boden – Bodenluft – Außenluft (– Mensch)

In der BBodSchV werden für den Wirkungspfad Boden – Mensch in der Regel Prüfwerte<sup>1</sup> angeführt.

Für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze existieren Prüf- und Maßnahmenwerte.

Für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser sind Prüfwerte festgelegt, die auf Eluat-Konzentrationen bezogen sind; die Eluate werden nach festgelegten Verfahren hergestellt.

#### 3.1 Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)

Die Prüfwerte für die Gefahrenbewertung durch direkten Kontakt sind in der BBodSchV nach toxikologisch begründeten Maßstäben [11] für die folgenden Nutzungskategorien abgeleitet:

- Kinderspielflächen
- Wohngebiete
- Park- und Freizeitanlagen
- Industrie- und Gewerbegrundstücke

#### 3.2 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch)

Für die Ableitung der Prüfwerte zum Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze benennt die BBodSchV [4a, 4b] mehrere Möglichkeiten: Das in der Regel betrachtete Schutzgut ist die Pflanzenqualität in Hinblick auf ihre Vermarktungsfähigkeit und damit indirekt die menschliche Gesundheit. Daneben gibt es auch noch Maßnahmen- bzw. Prüfwerte zum Schadstoffübergang bei landwirtschaftlich genutztem Grünland (vor allem bezüglich Gras als Futtermittel) und auf Ackerbauflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen; diese sind auf Kleingartenparzellen nicht von Bedeutung.

#### 3.3 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Nutztier (– Mensch)

Eine Betrachtung des Schadstoffübergangs aus dem Boden z.B. in Hühnereier bei Kleintierhaltung ist in der BBodSchV [4a, 4b] nicht vorgesehen; dieser Pfad wird hier nicht weiter betrachtet.

#### 3.4 Wirkungspfad Boden – Grundwasser

Die Betrachtung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser ist nicht Gegenstand dieses Berichtes. Eine entsprechende Bewertung kann unter Umständen für die Entscheidung über zu treffende Sanierungsmaßnahmen wichtig sein.

#### 3.5 Wirkungspfad Boden – Bodenluft – Innen-/Außenluft (– Mensch)

Auf das Vorhandensein leichtflüchtiger Schadstoffe in der Auffüllung der Kleingartenanlage gibt es keine Hinweise. Sie wurden in [2] und [3] nicht untersucht<sup>2</sup>. In diesem Bericht wird dieser Wirkungspfad nicht betrachtet.

---

<sup>1</sup> „Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt (Prüfwerte)“ (BBodSchG, § 8 [7]); „Für die Ableitung von Prüfwerten wird die Exposition so bemessen, daß ”im ungünstigen Expositionsfall” auf das Vorliegen einer Gefahr für das Schutzgut zu schließen ist. Dabei ist auch das Ausmaß der möglichen Beeinträchtigung des Schutzgutes zu beachten.“ [11]

### 3.6 Kombinationsszenario Wohngarten und Kleingarten

Das am Standort relevante Kombinationsszenario „Wohngarten und Kleingarten“ umfasst die Wirkungspfade

Boden – Mensch (oral)

Boden – Mensch (inhalativ)

Boden – Mensch (dermal)

Boden – Nutzpflanze (– Mensch)

Im Regelfall überwiegt der orale Aufnahmepfad. Die Staubentwicklung (inhalative Exposition) ist in der ebenen Kleingartenanlage des KGV, die mit Büschen und Bäumen umrahmt ist, von geringerer Bedeutung.

Nach dem BBodSchG [7] (§ 4, Abs 4) ist *„bei der Erfüllung der boden- und altlastenbezogenen Pflichten nach den Absätzen 1 bis 3 ... die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Grundstücks und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten, soweit dies mit dem Schutz der in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 genannten Bodenfunktionen zu vereinbaren ist. Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen, bestimmt die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis.“*

Hinsichtlich einer planungsrechtlich zulässigen Nutzung gibt es am Standort außer „Grünland“ [6] keine konkreten Vorgaben. Die Beantwortung der Frage, ob die Errichtung von Gebäuden legitimiert ist, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Darüber hinaus muss grundsätzlich zwischen der potenziellen Nutzung (Kinderspielen + Anbau von Nutzpflanzen) und der aktuellen Nutzung unterschieden werden:

Die potenzielle Nutzung wird durch diejenigen („Worst-case“-)Annahmen erfasst, die der Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV nach den vorgegebenen Methoden und Maßstäben [11] zu Grunde lagen. Diese Beurteilung wurde von den Vorgutachtern [3] vorgenommen, indem die Untersuchungsergebnisse mit den jeweiligen schutzgut- und pfadbezogenen Prüfwerten der BBodSchV verglichen wurden. Prüfwerte gibt es zum einen für den sogenannten Direktpfad Boden – Mensch, wobei die drei Aufnahmewege für den Menschen (oral, inhalativ, dermal) zusammengefasst wurden, zum anderen für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze/Nahrungspflanze (– Mensch).

Hinsichtlich der aktuellen Nutzung muss im Einzelfall (!) geprüft werden, mit welcher Intensität eine Nutzung innerhalb des betrachteten Szenarios im konkreten Fall gegeben ist. Es wird somit von den Standard-Expositionsannahmen der Prüfwertableitung abgewichen. Eine solche Beurteilung kann nur für jede Parzelle gesondert erfolgen; dies ist an Hand der Untersuchungsergebnisse nicht möglich, weil die Ergebnisse für jeden Beprobungshorizont zu Mischproben vereint wurden.

Für die Mehrzahl analoger Fälle wird **empfohlen**, auch aus ökonomischen Gründen hinsichtlich des Untersuchungsaufwandes die Beurteilung und ggf. weitere Untersuchungen **auf die sensibelste potenzielle Nutzung abzustellen** [9]. Damit erhält man langfristige Aussagen und Bewertungen für ein Grundstück und vermeidet erneute Untersuchungen und Bewertungen bei Intensivierung der Nutzung [9]. *„Auf diese Weise kann den Bürgern bzw. Grundstücksbesitzern und Nutzern auch ein Service geboten und die Grundlage für die Kommunikation mit den betroffenen Nutzern eines Grundstückes geschaffen werden. Das ordnungsbehördliche Handeln umfasst die Gefährdungsabschätzung mit der Bewertung der Bodenbelastungen unter Berücksichtigung der aktuellen und der planungsrechtlich zulässigen Nutzung oder Prägung des Gebietes. Die Einbeziehung der potenziellen Nutzung stellt eine sinnvolle und empfehlenswerte Ergänzung dar, die es erlaubt, dem Pflichtigen wichtige Empfehlungen für die zukünftige Nutzung eines Grundstückes oder für Maßnahmen zu geben.“* [9]

Die Beurteilung der im folgenden **Kapitel 4** dargestellten Ergebnisse erfolgt im **Kapitel 5** ausschließlich nach der potenziellen Nutzung; diese ist mit der „Prägung des Gebiets“ (BBodSchG) identisch.

---

<sup>2</sup> Zweikernige polycyclische aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) wie Naphthalin und Acenaphthen sind relativ flüchtig; sie wurden am Standort zwar untersucht [2, 3], sind aber nur in kleinen Konzentrationen zu finden und im Vergleich zur PAK-Leitsubstanz Benzo[a]pyren von geringerer toxikologischer Bedeutung.

## 4 Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Untersuchungsmethodik

Auf dem Gelände der Kleingartenanlage des KGV wurden im April 2017 insgesamt 146 Sondierungen abgeteuft, mittels Spaten bis auf 30 cm unter Geländeoberkante (u. GOK) und mittels 80-mm-Handbohrer bis auf 60 cm u. GOK [3] (Lage s. **Bild 2**). Aus dem Bohrgut wurden Proben entnommen für die Tiefenstufen 0-2 cm, 0-10 cm und 10-35 cm (Direktpfad) sowie 0-30 cm und 30-60 cm (Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze), insgesamt 730 Bodenproben [3]. Das Gelände des KGV wurde in 10 Gebiete (A-J) unterteilt (s. **Bild 2**). Für jedes Gebiet wurden Mischproben erstellt für die Wirkungspfade Boden – Mensch (Tiefenstufen 0-2 cm, 0-10 cm und 10-35 cm) und Boden – Nutzpflanze (0-30 cm und 30-60 cm), insgesamt 60 Laborproben.

Alle Proben wurden auf PAK sowie Arsen und Schwermetalle analysiert (Dokumentation in [3], Anlage 2). Die Extraktion von Arsen und Schwermetallen erfolgte mit Königswasser. Die Proben für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze wurden mit Ausnahme von Arsen und Quecksilber aus einem Ammoniumnitrat-Auszug analysiert – den Vorgaben der BBodSchV [4a, 4b] entsprechend.

Aus Rückstellproben 0-10 cm wurde zusätzlich die Resorptionsverfügbarkeit von Blei und Benzo[a]pyren ermittelt.

Die Beurteilung in [3] erfolgte an Hand der Prüfwerte der BBodSchV [4a] für die genannten Wirkungspfade (potenzielle Nutzungen) Boden – Mensch (Kinderspielfläche) und Boden – Nutzpflanze (– Mensch).

Eine Übersicht der untersuchten Bodenproben ist in der **Tabelle 1** (aus [3]) zu finden.

**Tabelle 1: Wirkungspfade und Untersuchungsparameter der Bodenproben [3]**

Probenbezeichnung	Wirkungspfad	Untersuchungsparameter		Probenbezeichnung	Wirkungspfad	Untersuchungsparameter	
MP-A 0-2 cm			PAK & Schwermetalle	MP-F 0-2 cm			PAK & Schwermetalle
MP-A 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)		MP-F 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)	
MP-A 10-35 cm				MP-F 0-35 cm			
MP-A 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze			MP-F 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze		
MP-A 30-60 cm				MP-F 30-60 cm			
MP-B 0-2 cm				MP-G 0-2 cm			
MP-B 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)		MP-G 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)	
MP-B 0-35 cm				MP-G 0-35 cm			
MP-B 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze			MP-G 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze		
MP-B 30-60 cm				MP-G 30-60 cm			
MP-C 0-2 cm				MP-H 0-2 cm			
MP-C 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)		MP-H 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)	
MP-C 0-35 cm				MP-H 0-35 cm			
MP-C 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze			MP-H 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze		
MP-C 30-60 cm				MP-H 30-60 cm			
MP-D 0-2 cm				MP-I 0-2 cm			
MP-D 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)		MP-I 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)	
MP-D 0-35 cm				MP-I 0-35 cm			
MP-D 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze			MP-I 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze		
MP-D 30-60 cm				MP-I 30-60 cm			
MP-E 0-2 cm				MP-J 0-2 cm			
MP-E 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)		MP-J 0-10 cm	Boden-Mensch	RV (Pb & B(a)P)	
MP-E 0-35 cm				MP-J 0-35 cm			
MP-E 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze			MP-J 0-30 cm	Boden-Nutzpflanze		
MP-E 30-60 cm			MP-J 30-60 cm				

PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; RV = Resorptionsverfügbarkeitsversuch, Pb = Blei, B(a)P = Benzo(a)pyren

## 4.2 Qualitative Untersuchungsergebnisse (Auffüllung)

In allen Sondierungen wurde bis zur Endteufe 0,6 m Auffüllung aus feinkiesigen bis kiesigen, schluffigen Sanden angetroffen, teilweise mit Ziegelbruch, Schlacke und/oder Kohle versetzt [3].

## 4.3 Quantitative Ergebnisse (Analytik) und Beurteilung hinsichtlich der potenziellen Nutzung mittels Prüfwerten

### 4.3.1 Wirkungspfad Boden – Mensch (Direktpfad)

Die Ergebnisse der chemischen Analytik zum Wirkungspfad Boden – Mensch sind in der **Tabelle 2** zusammengestellt (aus [3]). Gemessen am Szenario Kinderspielflächen unterschreiten alle Proben im Hinblick auf **Chrom (gesamt), Nickel und Quecksilber** die jeweiligen Prüfwerte der BBodSchV [4a]. Für **Cadmium** ist in [3] der falsche Prüfwert angegeben: In der Fußnote 1) der betreffenden Tabelle der BBodSchV [4a], Anhang 2 Nr. 1 heißt es: „In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.“ Dieses kombinierte Szenario ist am Standort als potenzielle Nutzung gegeben. Die Cadmium-Werte der tieferen Mischproben MP-F 10-35 cm und MP-H 10-35 cm überschreiten 2,0 mg/kg TS (Trockensubstanz (TS) = Trockenmasse (TM)) (nur) um 15 bzw. 10 %.

Die aufgeführten Prüfwerte sind im Entwurf der BBodSchV-Novellierung vom Dezember 2016 [4b] unverändert und somit für Chrom, Nickel, Quecksilber und Cadmium (bis auf die zwei genannten Proben) ebenfalls unterschritten.

**Tabelle 2: Analysergebnisse Bodenproben Wirkungspfad Boden – Mensch (Kinderspielflächen) [3]**

Probe	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Nickel	Quecksilber	3(a)P	Summe PAK
[mg/kg TS]								
Boden-Mensch (Prüfwerte)	25	200	10	200	70	10	2	
MP-A 0-2 cm	22	220	0,7	44	33	0,79	1,5	15,9
MP-A 0-10 cm	21	220	0,8	51	31	0,89	1,59	14,2
MP-A 10-35 cm	20	180	0,7	64	24	0,76	2,51	26,6
MP-B 0-2 cm	41	380	2	28	60	2	3,46	35
MP-B 0-10 cm	25	430	1,8	37	47	1,6	4,29	35
MP-B 10-35 cm	38	320	1,4	9	52	2	3,67	36,4
MP-C 0-2 cm	19	210	0,5	37	22	0,61	2,42	22,9
MP-C 0-10 cm	27	290	0,8	44	38	0,68	3,88	29,9
MP-C 10-35 cm	19	220	0,5	36	22	0,52	3,02	22,5
MP-D 0-2 cm	34	270	1,1	26	39	1,6	4	37,3
MP-D 0-10 cm	28	370	1,3	28	42	1,5	3,37	26,1
MP-D 10-35 cm	50	510	2	32	54	1,3	6,57	59,7
MP-E 0-2 cm	39	530	1,5	66	42	0,88	3,05	31,8
MP-E 0-10 cm	32	440	1,2	47	28	1,3	3,28	33,7
MP-E 10-35 cm	31	490	0,9	56	47	1,3	3,34	31,2
MP-F 0-2 cm	28	470	1,2	69	40	1,7	4,58	47,6
MP-F 0-10 cm	36	890	1,2	80	51	1,6	4,96	42,1
MP-F 10-35 cm	44	460	2,3	68	57	1,1	2,76	28,7
MP-G 0-2 cm	35	510	1,3	56	48	1,3	3,1	27,9
MP-G 0-10 cm	59	400	1	46	64	2	3,28	30,2
MP-G 10-35 cm	48	790	1,5	47	63	1,6	2,22	18
MP-H 0-2 cm	29	380	1,4	54	38	1,8	1,44	11,9
MP-H 0-10 cm	34	400	1,9	55	47	2,8	1,94	18
MP-H 10-35 cm	40	560	2,2	61	56	2,7	2,6	16,2
MP-I 0-2 cm	41	310	1,8	54	45	1	5,18	41,1
MP-I 0-10 cm	42	320	1,3	58	57	1,7	3,42	26,7
MP-I 10-35 cm	42	370	1,4	60	50	1,8	3,13	23,8
MP-J 0-2 cm	31	520	1,5	50	38	1,3	3,06	32,1
MP-J 0-10 m	45	430	1,4	62	63	1,3	3,66	37,5
MP-J 10-35 cm	34	470	1,1	59	56	1,1	4,04	42,4

Überschreitung Boden-Mensch (Kinderspielflächen) gem. BBodSchV

PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, 3(a)P = Benzo(a)pyren, TS = Trockensubstanz, n.n. = nicht nachweisbar

## Arsen

Anders verhält es sich mit den **Arsen**-Konzentrationen: 25 von 30 Bodenmischproben überschreiten den Arsen-Prüfwert der BBodSchV [4a] (Direktpfad Kinderspielflächen) von 25 mg/kg TS um bis zu ca. 140 % (MP-G, 0-10 cm: 59 mg/kg TS). Die Arsen-Mittelwerte der 10 oberflächennahen Proben 0-2 cm und 0-10 cm liegen mit  $32 \pm 8$  bzw.  $35 \pm 11$  mg/kg TS um 30 bzw. 40 % über dem Prüfwert; bei 10-35 cm liegt der Mittelwert noch etwas höher bei  $37 \pm 11$  mg/kg TS, d. h. knapp 50 % über dem Prüfwert. Diese erhebliche Überschreitung des Prüfwertes ist ein konkreter Anhaltspunkt für den **hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast** (BBodSchV § 3 Abs. 4), d. h. es besteht **hinsichtlich der Arsen-Belastung von Kindern durch Aufnahme oberflächennaher belasteter Bodenpartikel ein Gefahrenverdacht** („Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast“, BBodSchV § 4 Abs. 2).

Im Vergleich zur Parzelle 40 (im Gebiet G), die im Juli 2017 mit 24, 23 und 30 mg/kg TS exemplarisch beurteilt wurde [1], ist die Arsen-Belastung des gesamten Kleingartengeländes ca. 30-40 % höher. Die oberflächennahen Arsen-Konzentrationen sind im Gesamtgelände nur unwesentlich geringer als im tieferen Boden bis 35 cm.

## Blei

In 29 von 30 Bodenmischproben überschreiten die **Blei**-Konzentrationen den Prüfwert der BBodSchV [4a] (Direktpfad Kinderspielflächen) von 200 mg/kg TS, maximal um mehr als das Dreifache (MP-F, 0-10 cm: 890 mg/kg TS). Die Mittelwerte von  $370 \pm 120$  mg/kg TS in der obersten Schicht (0-2 cm),  $420 \pm 180$  mg/kg TS in 0-10 cm und  $430 \pm 170$  mg/kg TS im tieferen Bereich (10-35 cm) liegen rund doppelt so hoch wie der Prüfwert. Diese erhebliche Überschreitung des Prüfwertes ist ein konkreter Anhaltspunkt für den **hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast** (BBodSchV § 3 Abs. 4), d. h. es besteht auch ein **Gefahrenverdacht hinsichtlich der Blei-Belastung von Kindern durch Aufnahme oberflächennaher belasteter Bodenpartikel**.

Im Vergleich zur Parzelle 40 (im Gebiet G), die im Juli 2017 mit Mittelwerten von 600, 490 und 560 mg/kg TS (ohne Maximalwert 4400 mg/kg TS) exemplarisch beurteilt wurde [1], liegen die Blei-Konzentrationen im Gesamtgelände um ca. 30-40 % niedriger. Die Ergebnisse decken sich mit den ersten Untersuchungsergebnissen vom Kleingartengelände (Sommer 1985) [5], wonach in einer Mischprobe aus 0-10 cm im Bereich der Parzelle 40 eine Blei-Konzentration von über 300 mg/kg TS gemessen wurde (s. **Bild 5**). 62 der 74 Parzellen des Kleingartengeländes wiesen Werte über 300 mg/kg TS auf (im **Bild 5** lila), die restlichen 12 Parzellen (im **Bild 5** blau) lagen bei 201-300 mg/kg TS [10], der Mittelwert höher als in den aktuellen Messungen bei 580 mg/kg ([5], S. 106). Die stark erhöhten Konzentrationen von Blei (und auch Zink, siehe [1]) lassen sich auf die Verfüllung des Standorts mit Flugasche der Kokerei um 1945 [5] zurückführen (s. **Abschnitt 2.2**).



**Bild 5: Bleibelastung des Kleingartengeländes Sommer 1985, Mischproben 0-10 cm (aus [5])**

### **Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

Der Prüfwert der BBodSchV [4a] (Direktpfad Kinderspielflächen) von 2 mg/kg TS für **Benzo[a]pyren (BaP)** wird in 26 der 30 Bodenmischproben überschritten, maximal um das Dreifache (MP-D 10-35 cm: 6,7 mg/kg TS). Die Mittelwerte von  $3,2 \pm 1,2$  mg/kg TS in der obersten Schicht (0-2 cm),  $3,4 \pm 1,0$  mg/kg TS in 0-10 cm und  $3,4 \pm 1,3$  mg/kg TS im tieferen Bereich (10-35 cm) liegen 60-70 % höher als der Prüfwert. Diese Überschreitung des Prüfwertes ist ein konkreter Anhaltspunkt für den **hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast** (BBodSchV § 3 Abs. 4), d. h. es besteht auch ein **Gefahrenverdacht hinsichtlich der Benzo[a]pyren-Belastung von Kindern durch Aufnahme oberflächennaher belasteter Bodenpartikel**.

Im Vergleich zur Parzelle 40 (im Gebiet G), die im Juli 2017 mit Mittelwerten von 1,4, 2,2 und 2,8 mg/kg TS exemplarisch beurteilt wurde [1], liegen die BaP-Konzentrationen im Gesamtgelände um ca. 30-40 % höher.

Die toxische Wirkung der üblicherweise in Böden ehemaliger Kokereien, ehemaliger Gaswerksgelände und ehemaliger Teermischwerke/-ölläger zu findenden PAK-Gemische wird durch die in ihnen enthaltene Menge an Benzo(a)pyren repräsentiert. BaP ist nur ein Vertreter der Krebs erzeugenden Verbindungen der PAK; es ist immer vergesellschaftet mit den anderen PAK. Bei der Ableitung der Prüfwerte der bisherigen BBodSchV [4a] wurden die anderen PAK trotz ähnlicher karzinogener Potenz nicht berücksichtigt. Dieser Fehler wird im Referentenentwurf zur Novellierung der BBodSchV [4b] korrigiert: Die bisherigen Prüfwerte für Benzo(a)pyren [4a] standen für die Wirkung des Benzo(a)pyrens selbst, im Referentenentwurf stehen die Prüfwerte zur BBodSchV dagegen für die „Bezugssubstanz Benzo(a)pyren“ [4b], repräsentativ für die Wirkung der PAK gesamt; dementsprechend sind die Werte erheblich niedriger. Der Wortlaut der Begründung zum Referentenentwurf [4b] ist im **Anhang 1** dieses Berichts zu finden. Angesichts dieser seit langem bekannten, wissenschaftlich belegten und nun in der E-BBodSchV fixierten Richtigstellung ist **aus gutachterlicher Sicht bereits derzeit zwingend erforderlich, die geänderten Prüfwerte der E-BBodSchV anzuwenden**.

Da bei der Ableitung der Prüfwerte für [4b] Daten konkreter PAK-Gemische der oben genannten Standorttypen verwendet wurden, muss bei jeder Beurteilung von Messergebnissen sichergestellt sein, dass das PAK-Muster und der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall mit diesen typischen PAK-Gemischen vergleichbar ist [4b]. Detailliert wird dies von Zeddel [13] ausgeführt. Für die Parzelle 40 des KGV in Darmstadt wurde in [1] das PAK-Muster exemplarisch geprüft: Die neben Benzo[a]pyren bewertungsrelevanten PAK zeigen das in [13] (Tabelle 5) als typisch beschriebene Muster. Standortrelevanter Prüfwert für **BaP** ist am Standort somit der in [4b] (Anlage 2, Tabelle 4) angegebene **Prüfwert für Kinderspielflächen von 0,5 mg/kg TS**. Dieser Wert ist gemäß den Ableitungskriterien als „konservativ“ („Worst-case“) für die **potenzielle Nutzung** anzusetzen. Gemessen daran liegen **alle BaP-Werte der untersuchten Proben ca. 3- bis 13-fach über diesem Prüfwert**. **Der Gefahrenverdacht hinsichtlich der Benzo[a]pyren-Belastung von Kindern durch Aufnahme oberflächennaher belasteter Bodenpartikel ist somit erheblich höher als nach Maßgabe der BBodSchV von 1999/2015 [4a]**.

#### **4.3.2 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch)**

Die Ergebnisse der chemischen Analytik zum Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze sind in der **Tabelle 3** zusammengestellt (aus [3]). Aus dem Laborbericht (Anhang zu [3]) sind ergänzend folgende Bestimmungsgrenzen zu entnehmen (in der **Tabelle 3** als „n.n.“ bezeichnet):

Blei: 0,01 mg/kg TS  
Cadmium: 0,002 mg/kg TS

**Tabelle 3: Analysenergebnisse Bodenproben Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch) [3]**

Probe	Arsen	Blei	Cadmium	Thallium	Quecksilber	B(a)P	Summe PAK
[mg/kg TS]							
Boden-Nutzpflanze (Prüfwerte)	200	0,1	0,1	0,1	5	1	
MP-A 0-30 cm	20	0,01	0,003	0,008	1,3	4,67	42,8
MP-A 30-60 cm	12	n.n.	0,003	0,01	1,2	5,81	52,2
MP-B 0-30 cm	44	n.n.	0,003	0,01	1,7	3,3	36,4
MP-B 30-60 cm	49	n.n.	n.n.	0,007	1,6	3,64	40,8
MP-C 0-30 cm	22	n.n.	n.n.	0,01	1,1	2,76	26,3
MP-C 30-60 cm	35	n.n.	n.n.	0,007	1	3,22	29
MP-D 0-30 cm	72	0,02	0,04	0,014	1,3	3,69	32,7
MP-D 30-60 cm	50	0,03	0,006	0,014	1,4	3,67	39,1
MP-E 0-30 cm	27	n.n.	0,003	0,019	2	4,01	34
MP-E 30-60 cm	41	n.n.	0,004	0,016	1,6	5,22	40,6
MP-F 0-30 cm	44	n.n.	n.n.	0,007	2,3	10,1	107
MP-F 30-60 cm	46	n.n.	0,003	0,009	6,1	5,14	43,3
MP-G 0-30 cm	39	0,01	0,003	0,01	3,6	3,17	33,8
MP-G 30-60 cm	37	n.n.	0,003	0,01	5,9	2,15	25,4
MP-H 0-30 cm	40	0,01	0,006	0,008	3	1,83	18
MP-H 30-60 cm	39	n.n.	0,002	0,006	1,4	4,08	27,2
MP-I 0-30 cm	45	n.n.	n.n.	0,004	1,5	1,67	13
MP-I 30-60 cm	58	n.n.	0,003	0,004	1,3	1,75	17,6
MP-J 0-30 cm	32	0,01	0,002	0,008	1,3	3,86	39,6
MP-J 30-60 cm	35	n.n.	n.n.	0,005	20	4,56	44,9
					Überschreitung Boden-Nutzpflanze gem. BBodSchV		

PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, B(a)P = Benzo(a)pyren, TS = Trockensubstanz, n.n. = nicht nachweisbar

Aus der **Tabelle 3** ist zu entnehmen, dass die Prüfwerte für **Arsen, Blei und Cadmium** in den Bodenmischproben deutlich unterschritten werden, ebenso für Quecksilber in den Mischproben 0-30 cm.

Die Bodenmischproben 30-60 cm belegen dagegen für **Quecksilber** in drei Gebieten Überschreitungen des Prüfwertes 5 mg/kg TS. Da für die Tiefe 30-60 cm gemäß BBodSchV Anhang 2 Nr. 2.5 die 1,5-fachen Prüfwerte gelten, überschreitet nur der Einzelwert 20 mg/kg TS in Probe MP-J 30-60 cm den Prüfwert 7,5 mg/kg TS (ca. dreifach).

Im Rahmen der Prüfwertableitung zur BBodSchV [1, 2] für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch) wurde für **Benzo(a)pyren** ein Wert von 1 mg/kg Boden festgelegt, der sich an der Hintergrundkonzentration orientiert. Alle in den Mischproben aus den 10 Gebieten der KGV-Kleingartenanlage gemessenen BaP-Konzentrationen liegen mit 1,7-10 mg/kg TS über dem Prüfwert 1 mg/kg TS. Die Mittelwerte sind für beide Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm) mit 3,9 mg/kg TS gleich. Die flächendeckende, **im Mittel fast vierfache Überschreitung des BaP-Prüfwertes für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze** macht nach BBodSchV [4a] eine **Detailuntersuchung** notwendig, die den Verdacht einer gesundheitsgefährdenden Schadstoffaufnahme durch Kleingarten-NutzerInnen bestätigt oder ausräumt. Im vorliegenden Fall kann die üblicherweise erfolgende Schätzung oder besser Erhebung der gärtnerisch genutzten Fläche und des Anbau- und Verzehrverhaltens der NutzerInnen nicht erfolgen, weil jedes der Gebiete A bis J (denen die Bodenmischproben zugeordnet sind) bis zu 10 verschiedene NutzerInnen(gruppen) aufweist. Im **Abschnitt 5.4.3** wird für die potenzielle Nutzung abgeschätzt, ob eine hinreichende Wahrscheinlichkeit besteht, dass die für die Prüfwertableitung angenommenen Voraussetzungen zutreffen können und die gemessenen Schadstoffkonzentrationen zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit von KleingartennutzerInnen des KGV führen können.

## 5 Beurteilung der Schadstoffbelastung bei potenzieller Nutzung

### 5.1 Beurteilung der Bodenbelastung mit Arsen, Direktpfad

#### 5.1.1 Humantoxische Wirkungen von Arsen

Das Halbmetall Arsen ist als Krebs erzeugender Stoff der Kategorie 1 eingestuft, d. h. es gibt hinreichende Zusammenhänge zwischen der Aufnahme von Arsen und dem Auftreten von Krebserkrankungen beim Menschen. Im Vordergrund stehen Krebsformen der Haut, der Lunge und der Harnwege. Darüber hinaus sind bei chronischer Arsen-Aufnahme Hautschäden, Leber- und Nierenschäden, Schädigungen des peripheren Nervensystems und reproduktionstoxischen Wirkungen möglich [14].

#### 5.1.2 Beurteilung der Arsen-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption

83 % der 30 Bodenmischproben überschreiten den Prüfwert für Arsen, ebenso die Mittelwerte für alle drei Beprobungstiefen um 30-50 %; damit besteht hinsichtlich der Arsen-Belastung von Kindern durch Aufnahme oberflächennaher belasteter Bodenpartikel ein Gefahrenverdacht (s. **Abschnitt 4.3.1**). Die der Prüfwertableitung zu Grunde liegenden Annahmen sind am Standort KGV-Kleingartenanlage, Kombinationsszenario Wohngarten und Kleingarten, als potenzielle Nutzung gegeben; eine eventuelle Verringerung der Exposition von NutzerInnen bei aktueller Nutzung steht nicht zur Debatte.

Allerdings werden die im Boden analytisch erfassten Schadstoffe nach dem Verschlucken nur zum Teil vom menschlichen Körper aufgenommen und toxisch wirksam, d.h. die Substanzen sind nicht zu 100 % mobil bzw. mobilisierbar. Für Arsen wurden beispielsweise für diese sogenannte Resorptionsverfügbarkeit an sieben realen Böden Werte zwischen 10 und 47 % ermittelt (s. **Anhang 2**) [16].

Nimmt man die höchste Verfügbarkeit 50 % für den Standort als ungünstigsten Fall an, so **überschreitet** nur **die**

#### **oberflächennahe Bodenmischprobe MP-G 0-10 cm**

**den Prüfwert für Arsen.** Sollte die Belastung mit Arsen die einzige gravierende Schadstoffbelastung dieses Gebiets sein (siehe aber **Abschnitt 5.2.2: Blei**), empfiehlt sich zur Verifizierung oder Falsifizierung des erhärteten Gefahrenverdachts die experimentelle Ermittlung der realen Resorptionsverfügbarkeit.

### 5.2 Beurteilung der Bodenbelastung mit Blei, Direktpfad

#### 5.2.1 Humantoxische Wirkungen von Blei

Seit 2007 ist Blei als Krebs erzeugend eingestuft (Kategorie 2: Stoff, der als Krebs erzeugend für den Menschen anzusehen ist); beobachtet wurden Magen- und Lungentumoren. Blei wirkt zudem schädigend auf das Nervensystem im Kindesalter sowie auf das Herz-Kreislauf-System. Blei kann die Plazentaschranke überwinden und zu Schädigungen beim Fötus führen. Außerdem werden Wirkungen auf die Nierenfunktion und die Blutbildung sowie hormonartige (endokrine) Wirkungen beschrieben. Eine Schwellenkonzentration von Blei für diese Effekte gibt es nicht [15].<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> „Die neueren Daten bestätigen, dass auch unterhalb eines Blutbleispiegels von 100 µg/l noch negative Zusammenhänge zwischen dem Bleigehalt im Blut und relevanten Zielgrößen auftreten. Aufgrund des allgemeinen Rückgangs der Bleibelastung konnten in den aktuellen Studien vermehrt Kollektive eingebunden werden, deren Bleigehalte im Blut zum größeren Teil unter 100 µg/l liegen. Betreffs der Einschätzung der Effektstärke bestätigen auch die aktuellen Studien, dass der Einfluss von Blei auf die Entwicklung gegenüber anderen, die Entwicklung beeinflussenden Faktoren schwach ist. Eine „Wirkschwelle“ für Blei konnte aber bisher nicht definiert werden. Auch die Möglichkeit der Persistenz der bleibedingten Effekte bis in das Erwachsenenalter hinein wird durch die neuen Daten erhärtet. Die Kommission vertritt deshalb die Auffassung, dass jedwede Festlegung einer „Wirkschwelle“ zum Blutbleigehalt willkürlich und nicht begründbar ist.

In Anbetracht des Fehlens einer Wirkungsschwelle bezogen auf die beschriebenen epidemiologischen Effekte und auf Grund der Einstufung der MAK-Kommission von Blei in die Kategorie 2 („als krebserzeugend für den

Seit Ableitung der Blei-Prüfwerte (vor 1998) wurde eine ganze Reihe zusätzlicher Wirkungen auf den Menschen bei Blutbleisiegeln beobachtet, die niedriger sind als die für die BBodSchV [4a] zugrunde gelegte Bezugsgröße. Neurotoxische (nervenschädigende) Wirkungen wurden vor allem bei Kindern und Jugendlichen festgestellt, zudem gibt es eine Krebs erzeugende Wirkung. Trotzdem wurde der Prüfwert in der E-BBodSchV [4b] (ohne Begründung) nicht verringert. Ein entsprechender kritischer Vermerk ist auch im NRW-Leitfaden zu finden ([9], S. 95/198)<sup>4</sup>:

Mit Bezug auf die nachprüfbar neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse in [15] wird darauf hingewiesen, dass sich die humantoxikologische Bewertung von Blei deutlich verschärft hat und gleichzeitig die Hintergrundbelastung gesunken ist (letztere war für die abschließende Festlegung des Prüfwertes mitentscheidend). Es wird dort die Frage aufgeworfen, ob damit nicht der Bewertungsmaßstab verschärft werden müsste. Diesen Überlegungen wurde bei der Prüfwertfestlegung im Referentenentwurf E-BBodSchV [4b] nicht gefolgt. Für eine Blei-Beurteilung im Einzelfall (hier der Gebiete des KGV) reduziert sich aber der gutachterliche Ermessensspielraum:

**Wenn Kinderspielen auf Parzellen des KGV stattfindet oder stattfinden kann, besteht eine Exposition der besonders empfindlichen Personengruppe gegenüber Blei, wobei es zudem aus wissenschaftlicher Sicht keinen unbedenklichen Schwellenwert gibt. Selbst wenn bei der aktuellen Nutzung nach den Kriterien des Gesetzgebers keine Gefahr bestehen würde, muss vorsorgliches Handeln früher einsetzen.**

### 5.2.2 Beurteilung der Blei-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption

Barkowski et al. [9, 12] schlugen für Kleingärten in Wuppertal eine Einteilung in drei verschiedene Typen kleingärtnerischer Nutzung vor. Durch Auswahl geeigneter Expositionsannahmen sowohl für den Wirkungspfad Boden – Mensch als auch Boden – Nutzpflanze – Mensch wurden schließlich Wertebereiche abgeleitet.

Für Blei (Gesamtgehalte) wurde ein auf die Verhältnisse im betreffenden Gebiet abgestimmter "**Grünbereich**" bei **< 220 mg/kg** Boden definiert, bei dem auch im ungünstigen Fall ("sensible Nutzung") keine Gesundheitsgefahr besteht und der Gefahrenverdacht als dauerhaft ausgeräumt gilt.

Der "**Gelbbereich**", der für Blei (Gesamtgehalte) bei **220-360 mg/kg** festgesetzt wurde, gibt dagegen an, dass zwar eine durchschnittlich intensive Nutzung als Nutz- und Ziergarten gefahrlos möglich ist, im Hinblick auf eine intensive und sensible Nutzung wurden jedoch freiwillige Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

Der "**Rotbereich**" für Blei (Gesamtgehalte **> 360 mg/kg**) kennzeichnet dagegen Parzellen, für die auch bei einer Nutzung als Nutz- und Ziergarten der Verdacht einer gesundheitlichen Gefahr im Einzelfall zu überprüfen ist.

Nach diesen modifizierten Kriterien fällt nur eine von 30 Mischproben (MP-A 10-35 cm: 180 mg/kg TS) in den Grünbereich. Neun Bodenmischproben aus den Gebieten A, B C und I sind dem Gelbbereich zuzuordnen. Die anderen 20 Mischproben liegen mit mehr als 360 mg/kg TS im Rotbereich. Auch danach ist für die KGV-Kleingartenanlage eine Detailprüfung der Bodenbelastung mit Blei zwingend notwendig.

---

Menschen anzusehen"; DFG 2007) setzt die Kommission Human-Biomonitoring die HBM-Werte (HBM-I und HBM-II) für Blei im Blut aller Personengruppen aus, d.h. sowohl für Kinder und Frauen als auch für Männer" [15]

<sup>4</sup> „Zu ergänzen ist, dass die HBM-Kommission (*Kommission Human-Biomonitoring*) 2009 eine Neubewertung für Blei vorgenommen und auf Grund der aktuellen Erkenntnisse die HBM-Werte ausgesetzt hat.... Durch die Absenkung des Referenzwertes für Kinder von 50 auf 35 µg Pb/l Blut reduziert sich im Prinzip auch die zulässige Ausschöpfung des Referenzwertes durch eine Altlast bzw. schädliche Bodenveränderung von ehemals 20 auf 5 µg Pb/l Blut.

Zusammenfassend ergibt sich daraus, dass sich die humantoxikologische Bewertung von Blei aktuell deutlich verschärft hat, während die Hintergrundbelastung der Bevölkerung durch Nahrung, Luftbelastung sowie berufliche Exposition insgesamt weiter gesunken scheint. Infolgedessen gilt für zukünftige Fragestellungen zu prüfen, inwieweit die Absenkung der tolerablen Blutbleikonzentration sowie die gleichzeitige Absenkung der Hintergrundexposition den Beurteilungsmaßstab für Bleibelastungen im Oberboden tangieren.“ [9]

Das analytisch im Boden erfasste Blei wird nach dem Verschlucken nur zum Teil vom menschlichen Körper aufgenommen und toxisch wirksam, d.h. die Substanzen sind nicht zu 100 % mobil bzw. mobilisierbar. **Anhang 2** zeigt, dass die Resorptionsverfügbarkeit je nach Schadstoffkonzentrationen und Bodenbeschaffenheit erheblich variieren kann [16]. Für Blei wurde in sieben Realbodenproben die Spanne der Resorptionsverfügbarkeit zu 16 bis 52 % ermittelt.

Für den Duisburger Süden wurden basierend auf Daten aus Kinderspielplatzuntersuchungen im Mittel Resorptionsverfügbarkeiten für Blei nach DIN 19738 von rund 35 % festgestellt, das 95. Perzentil lag bei 60 %. Aus Daten von Oberbodenproben (0-30 cm) aus möglichst ungestörten städtischen Böden im Duisburger Süden lagen die Resorptionsverfügbarkeiten zwischen 8 % und 85 %, im Mittel waren 44 % resorptionsverfügbar, der Median lag bei 42 %. Daraus wurde geschlossen, dass die Resorptionsverfügbarkeit für Blei im Duisburger Süden im Mittel mit 35-45 % anzunehmen ist. Die Daten zeigten statistisch gesehen einen vergleichsweise engen Zusammenhang zwischen den Gesamtgehalten von Blei im Boden und den resorptionsverfügbaren Gehalten ([9], S. 157/198). **Anhang 3** zeigt die ursprüngliche Tabelle aus [17]. Daraus wurde für die Parzelle 40 in [1] mit vergleichsweise hohen Werten (mit 500-600 mg/kg TS<sup>5</sup> weit über dem Duisburger Mittel) eine Blei-Resorptionsverfügbarkeit von mindestens 50 % geschätzt.

Mit den 10 Bodenmischproben wurden von SGS Fresenius die Resorptionsverfügbarkeiten für die Gebiete A bis J ermittelt, jeweils mit den Proben aus dem Tiefenbereich 0-10 cm (s. **Tabelle 4** aus [3]).

**Tabelle 4: Ergebnisse der Versuche zur Resorptionsverfügbarkeit (RV) von Blei (Pb) und Benzo[a]pyren (B[a]P)**

Probe	Pb	B(a)P	mobil. Pb	mobil. B(a)P	RV Pb	RV B(a)P
	[mg/kg TS]				[%]	
MP-A 0-10 cm	280	1,4	92	< 0,05	32,86	n.b.
MP-B 0-10 cm	430	3,6	130	0,57	30,23	15,83
MP-C 0-10 cm	320	1,9	65	0,22	20,31	11,58
MP-D 0-10 cm	480	1,7	140	0,18	29,17	10,59
MP-E 0-10 cm	390	1,9	120	< 0,05	30,77	n.b.
MP-F 0-10 cm	560	2,2	130	0,15	23,21	6,82
MP-G 0-10 cm	460	1,1	180	0,06	39,13	5,45
MP-H 0-10 cm	1300	0,99	290	< 0,05	22,31	n.b.
MP-I 0-10 cm	600	1,3	260	0,14	43,33	10,77
MP-J 0-10 m	600	1,8	260	0,37	43,33	20,56

Aus der **Tabelle 4** ist ersichtlich, dass die **Resorptionsverfügbarkeiten von Blei** eine Spanne von 20 bis 43 % umfassen. Der **Mittelwert** liegt bei **31 ± 8 %**. Die Konzentrationen des mobilen Bleis liegen zwischen 65 mg/kg TS (MP-C 0-10 cm) und 290 mg/kg TS (MP-H 0-10 cm). Der Höchstwert ist auf die außergewöhnlich hohe Blei-Konzentration der für die Untersuchung herangezogene Probe (1300 mg/kg TS) zurückzuführen.

Die Blei-Ausgangskonzentrationen der Resorptionsversuche sind generell höher als die Konzentrationen in den ursprünglich analysierten Proben (s. **Tabelle 5**). Dies kann auf Trocknungsprozesse bei der Lagerung zwischen dem Probenahmetermin/Analytiktermin (04-05/2017) und dem Termin der Resorptionsversuche (mutmaßlich Dezember 2017) zurückgeführt werden.

<sup>5</sup> Parzelle 40: Blei-Mittelwerte 600 mg/kg TS (0-2 cm), 490 mg/kg TS (0-10 cm) und 1520 mg/kg TS (0-35 cm) bzw. ohne den statistischen Ausreißer 560 mg/kg TS (n= jeweils 4), s. **Abschnitt 4.3.1**

**Tabelle 5: Trockensubstanz der untersuchten Proben aus der chemischen Analytik (Mai 2017) und für die Resorptionsverfügbarkeit (ca. Dezember 2017); errechnet aus den Daten der Anlage 2 von [3]**

Gebiet	Trockensubstanz [%]	
	Mai 2017	Dezember 2017
A	72	88
B	84	81
C	74	85
D	73	84
E	74	87
F	76	82
G	76	86
H	75	82
I	78	83
J	73	81
<b>Mittel</b>	<b>76</b>	<b>84</b>

Auch bei Berücksichtigung der 11-prozentigen Verringerung des Wassergehalts liegen die (resorbierbaren („mobilen“) Blei-Konzentrationen der

**oberflächennahen Bodenmischprobe MP-I 0-10 cm,  
oberflächennahen Bodenmischprobe MP-J 0-10 cm,  
oberflächennahen Bodenmischprobe MP-H 0-10 cm**

noch über dem Prüfwert der BBodSchV [4a]. Für diese Gebiete des KGV hat sich der **Gefahrenverdacht hinsichtlich Blei für den Direktpfad (Wohn- und Kleingärten) bestätigt.**

Von UBS [3] wurden mit den gebietsbezogenen Blei-Resorptionsverfügbarkeiten (**Tabelle 4**; Proben 0-10 cm) zusätzlich die resorbierbaren Konzentrationen aus den ursprünglichen Analysen errechnet (s. **Tabelle 6** aus [3]; ebenfalls Proben 0-10 cm).

**Tabelle 6: Mobilisierbare Blei- und BaP-Konzentrationen in den Proben 0-10 cm [3]**

Probe	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Nickel	Quecksilber	B(a)P	Summe PAK	Angewandte RV	
									Blei	B(a)P
									[mg/kg TS]	
Boden-Mensch (Prüfwerte)	25	200	10	200	70	10	2		200	2
MP-A 0-10 cm	21	220	0,8	51	31	0,89	1,59	14,2	72,29	0,19
MP-B 0-10 cm	25	430	1,8	37	47	1,6	4,29	35	130,00	0,68
MP-C 0-10 cm	27	290	0,8	44	38	0,68	3,88	29,9	58,91	0,45
MP-D 0-10 cm	28	370	1,3	28	42	1,5	3,37	26,1	107,92	0,36
MP-E 0-10 cm	32	440	1,2	47	28	1,3	3,28	33,7	135,38	0,38
MP-F 0-10 cm	36	890	1,2	80	51	1,6	4,96	42,1	206,61	0,34
MP-G 0-10 cm	59	400	1	46	64	2	3,28	30,2	156,52	0,18
MP-H 0-10 cm	34	400	1,9	55	47	2,8	1,94	18	89,23	0,23
MP-I 0-10 cm	42	320	1,3	58	57	1,7	3,42	26,7	138,67	0,37
MP-J 0-10 m	45	430	1,4	62	63	1,3	3,66	37,5	186,33	0,75
									Mit Durchschnitt berechnet	

Aus der Tabelle 6 geht hervor, dass auch der resorbierbare Anteil in der

**oberflächennahen Bodenmischprobe MP-F 0-10 cm**

den Prüfwert der BBodSchV [4a] etwas überschreitet, also auch für dieses Gebiet der **Gefahrenverdacht hinsichtlich Blei für den Direktpfad (Wohn- und Kleingärten) nicht ausgeräumt** werden kann.

Mit dem Mittelwert der Blei-Resorptionsverfügbarkeit 31 % überschreitet noch eine weitere Probe mit ihrer resorbierbaren Konzentration von 230 mg/kg TS (Originalprobe: 750 mg/kg TS) den BBodSchV-Prüfwert, so dass auch für dieses Gebiet der **Gefahrenverdacht hinsichtlich Blei für den Direktpfad (Wohn- und Kleingärten) nicht ausgeräumt** werden kann:

**Bodenmischprobe MP-G 10-35 cm**

### 5.3 Beurteilung der Bodenbelastung mit Benzo[a]pyren, Direktpfad

#### 5.3.1 Humantoxische Wirkungen von Benzo[a]pyren und PAK

Benzo[a]pyren und mehrere andere PAK sind Krebs erzeugend (Kategorie 2: Stoff, der als Krebs erzeugend für den Menschen anzusehen ist bzw. als „Pyrolyseprodukte aus organischem Material“ Kategorie 1: Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen“). Zur letzteren Gruppe (Kategorie 1) gehören auch Kokereirohgas, somit mutmaßlich auch die Kokerei-Flugasche, die zur Boden-Nivellierung des Bürgerparks Nord und der Fläche der KGV-Kleingartenanlage verwendet worden ist.

**Wie bei Blei gibt es für die Krebs erzeugende Wirkung von BaP und PAK keinen unbedenklichen Schwellenwert. Auch für diese liegt die Vorsorgeschwelle niedriger als der Nachweis einer Gefahr.**

#### 5.3.2 Beurteilung der Benzo[a]pyren-Belastung unter Berücksichtigung der Resorption

Die analytisch im Boden erfassten PAK mit der Leitsubstanz BaP werden nach dem Verschlucken nur zum Teil vom menschlichen Körper aufgenommen und toxisch wirksam, d.h. die Substanzen sind nicht zu 100 % mobil bzw. mobilisierbar. **Anhang 2** zeigt, dass die Resorptionsverfügbarkeit je nach Schadstoffkonzentrationen und Bodenbeschaffenheit erheblich variieren kann [16]; für BaP wurde in vier Realbodenproben die Spanne der Resorptionsverfügbarkeit zu 12 bis 21 % ermittelt. In [20] wurde für Baden-Württemberg eine Resorptionsverfügbarkeit von „deutlich unter 50 % des Gesamtgehalts“ genannt.

An sieben Bodenmischproben wurden von SGS Fresenius die **Resorptionsverfügbarkeiten** für die Gebiete B, C, D, F, G, I und J ermittelt, jeweils mit den Proben aus dem Tiefenbereich 0-10 cm (s. **Tabelle 4** aus [3]). Sie liegen **zwischen 5,5 und 21 %, im Mittel bei ca. 11 %**. Auffällig ist, dass die BaP-Ausgangskonzentrationen in **Tabelle 4** – anders als die Blei-Konzentrationen – nicht im Vergleich zu den ursprünglich analysierten BaP-Gehalten zugenommen haben, was wegen des Wasserverlustes bei der Probenlagerung zu erwarten gewesen wäre, sondern um mehr als die Hälfte niedriger liegen als vorher. Wenn man von der Möglichkeit laborspezifischer Ergebnis-Unterschiede einmal absieht, kommt dafür vor allem die Adsorption an der Oberfläche der Kunststoff-Probenbeutel in Frage.

Die aus den jeweiligen Resorptionsverfügbarkeiten<sup>6</sup> errechneten resorbierbaren BaP-Konzentrationen in den Bodenmischproben liegen zwischen 0,18 und 0,75 mg/kg TS. Sie unterschreiten damit zwar den Prüfwert 2 mg/kg TS der noch gültigen „alten“ BBodSchV [4a] deutlich, jedoch liegen zwei Werte um 36 bzw. 50 % über dem toxikologisch sinnvollen Prüfwert 0,5 mg/kg TS der BBodSchV-Novellierung [4b] (s. **Tabelle 6**). Für diese beiden Gebiete ist der **Gefahrenverdacht hinsichtlich Benzo[a]pyren und PAK für den Direktpfad (Wohn- und Kleingärten) bestätigt:**

**oberflächennahe Bodenmischprobe MP-B 0-10 cm**

**oberflächennahe Bodenmischprobe MP-J 0-10 cm**

Weitere Beurteilungsschritte könnten sich daraus ergeben, dass am Standort mit dem Boden mehrere Schadstoffe gleichzeitig von Kindern aufgenommen werden (hier Arsen, Blei und PAK) und dass neben dem Direktpfad zusätzlich eine Exposition über Nahrungspflanzen erfolgen kann. Eine Addition der Wirkungen von Arsen, Blei und PAK ist zwar nicht angemessen, weil die Mechanismen der jeweiligen Krebs erzeugenden Wirkung unterschiedlich sind, die zusätzliche Aufnahme über Nahrungspflanzen, die auf dem KGV-Gelände geerntet worden sind, muss qualitativ bei der Beurteilung (**Abschnitt 5.5**) und den Empfehlungen (**Abschnitt 6**) berücksichtigt werden.

#### **5.4 Beurteilung der Bodenbelastung mit Quecksilber und Benzo[a]pyren, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch**

##### **5.4.1 Relevanz des Wirkungspfades Boden – Nutzpflanze – Mensch für NutzerInnen von Parzellen des KGV**

In der weiteren Sachverhaltsermittlung für die Kleingarten-Parzellen des KGV ist die Frage, ob GartennutzerInnen durch Verzehr von selbst erzeugtem Obst und Gemüse einer unter toxikologischen Gesichtspunkten intolerablen Schadstoffbelastung ausgesetzt sind bzw. sein können, von besonderer Bedeutung<sup>7</sup> ([9], S. 55): „*Bezüglich einer Gefahrenbeurteilung beim Pfad Boden/Pflanze sind in Abhängigkeit der Bodennutzung folgende Fallgestaltungen zu unterscheiden:*

a) ...

b) ...

c) *Verzehr von Obst und Gemüse aus Eigenanbau in Privatgärten (Haus-/Kleingärten).*

*Als Schutzgüter ergeben sich damit...*

- *die menschliche Gesundheit (c)...*

Zur Erweiterung des standortbezogenen Wissenstandes sind prinzipiell folgende Möglichkeiten gegeben ([9], S. 56):

- Erfassung des für den Nutzpflanzenanbau genutzten Anteils der zu bewertenden Fläche,
- ergänzende boden- und stoffbezogene Untersuchungen zur Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit der Schadstoffe (hierdurch werden boden- und substanzbedingte Einflussgrößen erfasst),
- Pflanzenuntersuchungen zur direkten Ermittlung der Schadstoffgehalte in pflanzlichen Geweben und Organen,
- Abschätzung von Ausmaß und toxikologischer Relevanz des Schadstofftransfers Boden – Nutzpflanze – Mensch (Transferabschätzung).

Die ersten drei Möglichkeiten (Ermittlung der aktuellen Nutzung) kommen hier zur Beurteilung der Mischproben aus oft bis zu 10 Parzellen nicht in Frage, zumal NutzerInnen- und Nutzungswechsel wahrscheinlich sind, jedenfalls nicht auszuschließen.

<sup>6</sup> bzw. bei den Bodenmischproben zu den Gebieten A, E und H aus dem Mittelwert der übrigen Gebiete

<sup>7</sup> „*Werden ... Hausgärten zum Anbau von Gemüse zum Eigenverzehr genutzt, ist im Einzelfall zu prüfen, ob diese Nutzung eine solche Relevanz hat, daß auch eine Bewertung nach den für den Wirkungspfad Boden-Pflanze vorgegebenen Kriterien erfolgen muß.*“ [11]

„Für die Prüfwerte ...wird davon ausgegangen, daß bei Unterschreitung der aus den Lebensmittelrichtwerten abgeleiteten maximal zulässigen Pflanzenkonzentrationen auch unter toxikologischen Gesichtspunkten der Eigenverzehr von in privaten Nutzgärten angebaute Obst und Gemüse unbedenklich ist.“ [11]

Bei Überschreitung eines Boden-Prüfwertes kann somit – Aufnahme einer hinreichenden Menge selbst angebaute Nahrungspflanzen (Obst, Gemüse) vorausgesetzt – die toxikologisch tragbare tägliche Aufnahmemenge des Schadstoffes durch die NutzerInnen überschritten werden, so dass ihre Gesundheit gefährdet wird.

Im Mittel sind die 74 Parzellen der KGV (27.600 m<sup>2</sup>) jeweils ca. 370 m<sup>2</sup> groß. Nach Abzug der maximal zulässigen 24 m<sup>2</sup> Grundfläche für ein Gebäude<sup>8</sup> sowie für Wege, Hecken und Sitzecke verbleiben für die Anpflanzung von Obst oder Gemüse ca. 250 m<sup>2</sup>.

Mit Hilfe der Ernteerträge ausgewählter Nahrungspflanzen und der angenommenen mittleren oder ungünstigen Verzehrsmengen wird im LANUV-Arbeitsblatt 22 [9] auf die dafür erforderliche Anbaufläche pro Person (und Jahr) geschlossen... „Unter Annahme ungünstiger Bedingungen (Präferenzgruppe, mittlere Ernteerträge), die in etwa den Bedingungen für die Ableitung der Prüfwerte für ... Benzo(a)pyren von 1 mg/kg Boden entsprechen, würde sich ... für Benzo(a)pyren eine Standardanbaufläche von rund 30 m<sup>2</sup> pro Person ergeben.“ [9] Die auf den Parzellen verfügbare Fläche von 250 m<sup>2</sup> ist also doppelt so groß wie die „Standardanbaufläche“ für vier Personen (120 m<sup>2</sup>). Eine vierköpfige Familie würde also bei einer Überschreitung des Prüfwertes 1 mg BaP je kg Boden mit ungünstigen Verzehrsgewohnheiten und Obst-/Gemüsearten bereits eine nicht mehr tolerierbare Menge des Schadstoffes aufnehmen.

#### 5.4.2 Beurteilung der Bodenbelastung mit Quecksilber, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch

Die Bodenmischproben 30-60 cm belegten für **Quecksilber** in drei Gebieten Überschreitungen des Prüfwertes 5 mg/kg TS. Da für die Tiefe 30-60 cm gemäß BBodSchV Anhang 2 Nr. 2.5 die 1,5-fachen Prüfwerte gelten, liegt nur der Einzelwert 20 mg/kg TS in Probe MP-J 30-60 cm (ca. dreifach) höher als der Prüfwert 7,5 mg/kg TS. Novellierung [4b] (s. **Tabelle 6**). Für dieses Gebiet ist der **Gefahrenverdacht hinsichtlich Quecksilber für den Wirkungspfad Boden – Pflanze – Mensch bestätigt**:

#### **Bodenmischprobe MP-J 30-60 cm**

#### 5.4.3 Beurteilung der Bodenbelastung mit Benzo[a]pyren, Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch

**Die BaP-Konzentrationen in allen 20 Bodenmischproben 0-30 cm und 30-60 cm überschreiten mit ca. 1,7-10 mg/kg TS den Prüfwert der BBodSchV für BaP für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch) (1 mg/kg TS) [4a, 4b] erheblich (s. Abschnitt 4.3.2).** Die BaP-Mittelwerte aus den beiden Tiefen liegen mit jeweils 3,9 mg/kg TS fast vierfach über dem Prüfwert. Mit der im **Abschnitt 5.4.1** zitierten Schätzung aus [9] bedeutet dies, dass für einen vierköpfige Familie mit Eigenversorgung aus einer Kleingartenparzelle unter ungünstigen Bedingungen die tolerierbare tägliche Dosis gemäß BBodSchV bereits bei einer Fläche von mehr  $4 \cdot 30 / 3,9 = \text{ca. } 30 \text{ m}^2$  überschritten ist. Auf den 9 Parzellen des Gebietes F (oberflächennah, 0-30 cm: ca. 10 mg/kg TS BaP) reichen dazu bereits im Mittel  $4 \cdot 30 / 10 = 12 \text{ m}^2$ , d.h. ein kleines Beet von 3 m x 4 m, bei der wahrscheinlichen inhomogenen Verteilung sogar eine noch kleinere Fläche.

<sup>8</sup> „Im Kleingarten ist eine Laube in einfacher Ausführung mit höchstens 24 Quadratmetern Grundfläche einschließlich überdachtem Freisitz zulässig“ (BKleingG [21])

Nach [9] (S. 65/198) sollten bei einer Überschreitung von Prüfwerten die Nutzung der Fläche in Hinblick auf den Anbau empfindlicher Pflanzenarten abgeklärt und Anbauempfehlungen (z.B. Pflanzenartenauswahl, Mulchen, Sandabdeckung) gegeben werden. Aus gutachterlicher Sicht ist diese Vorgehensweise für die Kleingartenanlage aus folgenden Gründen nicht sachgerecht:

1. **Bereits der Verzehr von Nahrungspflanzen aus einem sehr kleinen Nutzgarten ist bereits bei mittleren BaP-Gehalten und ungünstigen Randbedingungen nicht mehr tolerierbar.**
2. **Benzo[a]pyren und die PAK sind Krebs erzeugend, d. h. es gibt eine mit der Belastung steigende statistische Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, aber keine Wirkungsschwelle.**
3. **Die Böden fast aller Parzellen sind nicht nur mit BaP, sondern auch mit den ebenfalls Krebs erzeugenden Schadstoffen Arsen und Blei verunreinigt (s. Tabelle 2),**
4. **Gartenarbeiten führen zwangsläufig zu einem erhöhten Kontakt mit dem belasteten Bodenmaterial über die Haut und durch Einatmen von Staub; dies würde die Belastung mit Arsen, Blei und PAK neben dem Verzehr der Pflanzen zusätzlich erhöhen.**

Aus gutachterlicher Sicht gibt es zwingend nur die dringende Empfehlung:

**Der Anbau und der Verzehr selbstangebauter Nahrungspflanzen sollte ab sofort auf allen Parzellen der Kleingartenanlage des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. unterbleiben.**

## 5.5 Zusammenfassung der Nutzungseinschränkungen

In einer Einzelfallbetrachtung von insgesamt 60 analysierten Bodenmischproben aus mehreren Beprobungstiefen gemäß BBodSchV [4a] für 10 zusammengefasste Parzellengruppen („Gebiete“) wurde die Schadstoffbelastung der KGV-Kleingartenanlage einer detaillierten Gefährdungsabschätzung unterzogen. Betrachtet wurde der Wirkungspfad Boden – Mensch, Kombinationsszenario Wohngarten und Kleingarten unter Einbeziehung von Kinderspielen, sowie Boden – Nutzpflanze (– Mensch). Vorherrschende Schadstoffe sind Blei und Benzo[a]pyren (BaP) als Leitparameter für die PAK, untergeordnet zusätzlich Arsen und Quecksilber. Die Resorptionsfähigkeit von Blei und BaP wurde an 10 bzw. 7 Proben der 10 Gebiete, Tiefe 0-10 cm, exemplarisch bestimmt und daraus die für den menschlichen Körper verfügbaren („mobilen“) Konzentrationen dieser Stoffe ermittelt.

### Direktpfad, Kinderspielfläche

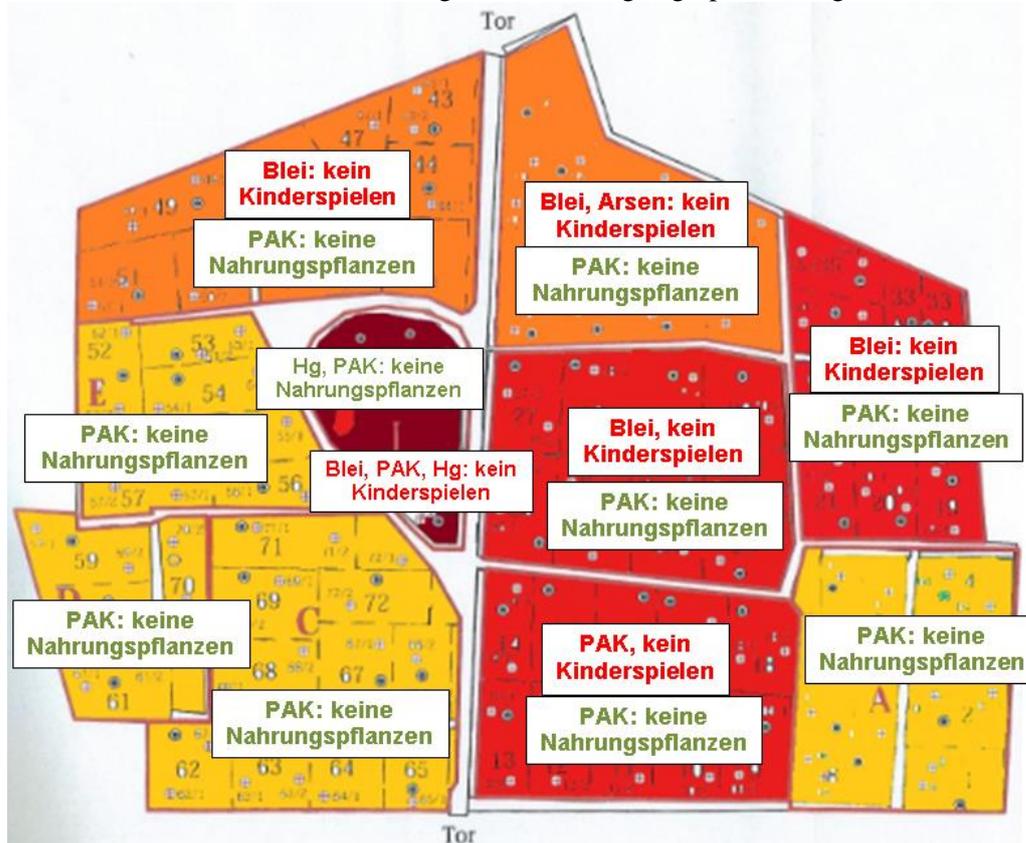
Die Schadstoffbelastung im Hinblick auf das Spielen von Kindern – Überschreitung von Prüfwerten der BBodSchV für mehrere Parameter – ist so hoch, dass für alle Parzellen der Kleingartenanlage des KGV an der Kranichsteiner Str. bei Betrachtung der potenziellen Nutzung ein Gefahrenverdacht besteht. **Für vier der zehn Parzellengruppen (Gebiete B, H, I und J) sind die resorbierbaren Konzentrationen von Blei oder BaP/PAK so hoch, dass das Spielen von Kindern zukünftig unterbleiben sollte.** Die gleiche Empfehlung gilt für die etwas weniger belasteten **Gebiete F und G.**

### Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (– Mensch)

Die Konzentration von Quecksilber in einer Probe (Gebiet J) liegt dreifach über dem Prüfwert für den Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze, die mittleren Konzentrationen von BaP überschreiten den Prüfwert flächendeckend knapp vierfach.

Diese **Schadstoffbelastung ist aus Gutachtersicht so hoch, dass der Anbau von Nutzpflanzen zum menschlichen Verzehr unverzüglich unterbleiben sollte.**

Im **Bild 6** sind die resultierenden Nutzungseinschränkungen graphisch dargestellt.



**Bild 6:** Empfohlene Nutzungseinschränkungen für die zehn Parzellengruppen (Gebiete) der Kleingartenanlage des KGV.

## 6 Empfehlungen

Die folgenden Empfehlungen werden gegeben:

### 6.1 Direktpfad, Kinderspielfläche

1. Der Boden in den **Gebieten B, H, I und J** ist mit Blei oder BaP/PAK so hoch belastet, dass das Spielen von Kindern zukünftig unterbleiben sollte. Die gleiche Empfehlung gilt für die **Gebiete F und G**, die – etwas weniger – mit Blei bzw. Blei und Arsen belastet sind.
2. Für die toxischen Wirkungen der standortrelevanten Schadstoffe Blei und BaP/PAK gibt es keinen unbedenklichen Schwellenwert, d.h. auch niedrigere Konzentrationen als die durch die Prüfwerte markierte Gefahrenschwelle können schädliche Wirkungen, unter anderem Krebs, hervorrufen, auch wenn solche Wirkungen für ein schadstoffbelastetes Grundstück statistisch kaum nachweisbar sind. **Kinder sollten deshalb vorsorglich auch auf den weniger belasteten Gebieten nur auf dafür hergerichteten Flächen (Sandkasten, Rollrasen...) spielen.**
3. Um die Nutzungseinschränkung für eine Parzelle aufzuheben, ist eine Sanierung erforderlich, z. B. der Auftrag von 60 cm unbelastetem Material oder Bodenaustausch.

### 6.2 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze – Mensch

4. Die Schadstoffbelastung aller Gebiete mit BaP/PAK ist aus Gutachtersicht so hoch, dass der **Anbau von Nutzpflanzen zum menschlichen Verzehr unverzüglich unterbleiben** sollte.
5. Um die Nutzungseinschränkung für eine Parzelle aufzuheben, ist eine **Sanierung** erforderlich, z. B. der Auftrag von 60 cm unbelastetem Material oder Bodenaustausch.

### 6.3 Nutzung von Grundwasser zur Bewässerung

6. Wenn zur Bewässerung von Parzellen der KGV-Kleingartenanlage Grundwasser aus Brunnen genutzt werden sollte, muss die Qualität regelmäßig überwacht werden, damit eine zusätzliche Befruchtung der Flächen über diesen Pfad ausgeschlossen ist. Als Parameter werden Arsen und Schwermetalle inkl. Thallium sowie PAK empfohlen.

### 6.4 Sanierung, Behördliche Überwachung von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

7. Wegen der für eine Kleingartenanlage auf Dauer kaum tragbaren Nutzungseinschränkungen sollte das Gesamtgelände insgesamt oder parzellenweise saniert werden (s. Empfehlungen Nr. 3 und 5) oder alternativ die bisherige Nutzung aufgegeben werden..

Bis zu einer Sanierung sollten kurzfristig die folgenden „**offiziellen**“ **Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen** ergriffen werden [12]:

8. Anfertigung eines Datenbriefs mit den wichtigen Informationen zur Gefahrensituation in der Kleingartenanlage.
9. Die NutzerInnen unterschreiben eine Erklärung, dass
  - sie über die Ergebnisse informiert wurden, insbesondere über die gebietsbezogenen Nutzungseinschränkungen bzgl. des Spielens von Kindern,
  - die jeweilige Parzelle nicht mehr zum Nahrungspflanzenanbau verwendet wird.

Wegen der in Kleingartenanlagen normalen NutzerInnenwechsel und einer damit oft verbundenen Nutzungsänderung ist die **Überwachung der Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen** erforderlich:

10. Die Einhaltung der Nutzungseinschränkungen ist von der zuständigen Behörde oder einer dazu beauftragten Institution regelmäßig durch eine (z.B. halbjährliche) **Flächenbegehung** zu überwachen [18, 19]. Zu prüfen ist dabei vorrangig der Zustand der Bodenoberfläche (u.a. Entsiegelung, Staubverwehungen, Verringerung einer schützenden Vegetationsdecke, kein Anbau von Nahrungspflanzen, erfolgte Bodenbewegungen, Überschwemmungsereignisse). Ziel ist es, eine eventuelle erhöhte orale, dermale oder inhalative Schadstoffaufnahme durch die NutzerInnen zu erfassen und durch Maßnahmen zu korrigieren.

## 6.5 Planungsrechtliche Auswirkungen

11. Eine planungsrechtliche Festschreibung der KGV-Kleingartenanlage in einem Bebauungsplan ist aus gutachterlicher Sicht ausgeschlossen, weil die flächendeckenden Schadstoffgehalte in der gemessenen Höhe im Widerspruch stehen zu § 1 Abs. 6, Nr. 7c BauGB, wonach umweltbezogene Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit bei der Bauleitplanung zu berücksichtigen sind. Eine Ausweisung nach § 9 Abs. 5 Nr. 3 BauGB als „Fläche, deren Boden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet ist“ wird empfohlen.

## 7 Zusammenfassung

Die Kleingartenanlage des KGV Darmstädter Gartenfreunde 1931 e.V. westlich der Kranichsteiner Str. entwickelte sich in der Nachkriegszeit auf einer Brachfläche, die unter anderem mit Flugasche der ehemaligen Kokerei nivelliert wurde. Untersuchungen aus 1985 belegen für die gesamte KGV-Kleingartenanlage erhöhte Schwermetallkonzentrationen. Exemplarisch wurden 2015 und 2017 im Boden der Parzelle 40 Überschreitungen von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) durch Arsen, Quecksilber sowie insbesondere durch Blei und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mit der Leitsubstanz Benzo[a]pyren (BaP) festgestellt. In einer humantoxikologischen Einzelfall-Beurteilung der Schadstoffbelastungen wurden Nutzungsempfehlungen zur Verminderung der Schadstoffaufnahme und organisatorische Maßnahmen formuliert.

Der vorliegende Bericht wertet die Ergebnisse von insgesamt 60 analysierten Bodenmischproben aus der gesamten Kleingartenanlage humantoxikologisch aus. Für jede Beprobungstiefe wurden Mischproben aus den 74 Parzellen zu insgesamt 10 Gebieten zusammengefasst und die Schadstoffbelastungen nach den Maßstäben der BBodSchV schutzgut- und wirkungspfadbezogen beurteilt. Der Boden der Parzellen muss dem Kombinationsszenario Wohngarten und Kleingarten entsprechend sowohl ein intensives Spielen von Kindern als auch den Anbau von Pflanzen zum eigenen Verzehr ohne gesundheitliche Beeinträchtigungen der NutzerInnen ermöglichen.

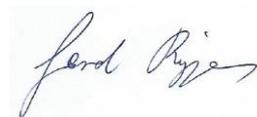
Die Schadstoffbelastung im Hinblick auf das Spielen von Kindern ist auf allen Parzellen der KGV-Kleingartenanlage so hoch, dass Prüfwerte der BBodSchV für mehrere Parameter überschritten sind. Das bedeutet, dass gemäß BBodSchV ein Gefahrenverdacht besteht. Die für den Menschen verfügbaren (resorbierbaren) Konzentrationen von Blei oder BaP/PAK sind für vier der zehn Parzellengruppen (Gebiete B, H, I und J) so hoch, dass das Spielen von Kindern zukünftig unterbleiben sollte. Die gleiche Empfehlung gilt für zwei weitere etwas weniger belastete Gebiete (F und G).

Eine Untergrenze für die Exposition gegenüber Blei und PAK/BaP, bei der keine Gesundheitsrisiken bestehen, gibt es jedoch aus wissenschaftlicher Sicht nicht, d.h. unterhalb des Gefahrenverdachts verbleibt ein Restrisiko. Kinder sollten deshalb vorsorglich in der gesamten Kleingartenanlage nur auf dafür hergerichteten Flächen (Sandkasten, Rollrasen...) spielen.

Die Konzentration von Quecksilber in einer Probe (Gebiet J) liegt dreifach über dem Prüfwert für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze, und die mittleren Konzentrationen von BaP überschreiten den Prüfwert flächendeckend, im Mittel etwa vierfach. Diese Schadstoffbelastung ist aus Gutachtersicht so hoch, dass der Anbau von Nutzpflanzen zum menschlichen Verzehr unverzüglich unterbleiben sollte.

Empfohlen wird eine Sanierung, z.B. der parzellenweise oder flächendeckende Auftrag von 60 cm unbelastetem Material oder Bodenaustausch, oder die Aufgabe der jetzigen Nutzung als Kleingartenanlage. Bis zu einer Sanierung sollte mit organisatorischen Maßnahmen die Einhaltung der empfohlenen Nutzungseinschränkungen behördlich überwacht werden.

Göttingen, 18.02.2018



Dr. Gerd Rippen

Diplomchemiker

## **Anhang 1: Bewertung von Benzo[a]pyren als Leitparameter der Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) [4b]**

Zitat aus der Begründung zum Referentenentwurf der Mantelverordnung u.a. zur Novellierung der BBodSchV vom Dezember 2016 (zu Anlage 2, Prüf- und Maßnahmenwerte, S. 329/330 von 337):

*„Für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind in Anlage 2 Tabelle 4 neue Prüfwerte ausgewiesen, die durch Benzo(a)pyren als Bezugssubstanz repräsentiert werden. Die bisherigen Prüfwerte allein für Benzo(a)pyren werden damit ersetzt. Da das Stoffgemisch der PAK zum Zeitpunkt der Vorbereitung der bisherigen BBodSchV nicht bewertbar war, wurden stattdessen für Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz Prüfwerte abgeleitet unter der Annahme, dass mit der Regelung des Benzo(a)pyren auch die PAK insgesamt ausreichend geregelt wären. Die damit verbundene Unsicherheit kann heute durch eine Bewertung der PAK gesamt aufgehoben werden. Die Wirkstärke der üblicherweise in Böden ehemaliger Kokereien, ehemaliger Gaswerksgelände und ehemaliger Teermischwerke/-ölläger zu findenden PAK-Gemische wird dafür durch die in ihm enthaltene Menge an Benzo(a)pyren repräsentiert. Während die bisherigen Prüfwerte für Benzo(a)pyren für die Wirkung des Benzo(a)pyrens selbst standen, stehen die jetzigen Prüfwerte der „Bezugssubstanz Benzo(a)pyren“ für die Wirkung der PAK gesamt. Folgerichtig werden die bisherigen Prüfwerte allein für Benzo(a)pyren durch die Prüfwerte für PAK, vertreten durch Benzo(a)pyren als seine Bezugssubstanz, ersetzt. Da bei der Ableitung der Werte Daten konkreter PAK-Gemische der o.g. Standorte verwendet wurden, muss sichergestellt sein, dass das PAK-Muster und der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall mit diesen typischen PAK-Gemischen vergleichbar ist. Wie bisher auch üblich, ist daher nicht Benzo(a)pyren allein, sondern die Stoffgruppe der PAK16 analytisch zu bestimmen. Weichen bei besonderer Nutzungshistorie die Muster in (seltenen) Einzelfällen von den Mustern der typischen PAK-Gemische deutlich ab, so muss dies erkannt und angepasst bewertet werden (siehe hierzu Zeddel 2016<sup>9</sup>). Die toxikologisch begründete Ableitung von Prüfwerten für die Bezugssubstanz Benzo(a)pyren führt für die orale Aufnahme zu den folgenden nutzungsdifferenzierten Werten: 0,23 mg/kg (Kinderspielflächen), 0,46 mg/kg (Wohngebiete), 1,15 mg/kg (Park- und Freizeitanlagen) und 5 mg/kg (Industrie- und Gewerbegrundstücke). In Abstimmung mit dem Altlastenausschuss (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) wird der neue Prüfwert für Benzo(a)pyren für die Nutzungskategorie „Kinderspielflächen“ auf 0,5 mg/kg und für die Nutzungskategorie „Wohngebiete“ auf 1 mg/kg festgelegt, da die errechneten Werte durch die Hintergrundwerte in Siedlungsgebieten häufig überschritten werden. Bei nachgewiesenen großflächig siedlungsbedingt erhöhten PAK-Gehalten kann die zuständige Behörde diese gemäß § 15 Abs. 6 bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigen und Ausnahmeregelungen auf der Grundlage einer gebietsspezifischen Beurteilung und unter Berücksichtigung der Resorptionsverfügbarkeit (DIN 19738:2017-04) treffen.“*

---

<sup>9</sup> Zeddel (2016): Prüfwerte für PAK – Bewertung Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch. altlasten spektrum 6/16, 213-219

## Anhang 2: Resorptionsverfügbarkeit in Abhängigkeit von Schadstoffkonzentrationen und Bodenbeschaffenheit [16]

Tab. 151: The basic data for physico-chemical characterization of the soils and the concentrations of contaminants of those soils which were studied by the in-vitro as well as by the in-vivo model.

Parameter	Bruchsal	Carl 1	Hamburg	Lothringen 1	Lothringen 2	Oker 11	Pfalz
Pebbles, stones (>2 mm) (%) <sup>1</sup>	14	37	1	41	16	14	37
Sand (63-2000 µm) (%) <sup>2</sup>	44.8	60.2	30.6	55.7	60.2	42.6	24.8
Coarse clay (2-63 µm) (%) <sup>2</sup>	38.3	32.4	36.5	36.7	32.9	39.5	47.6
Clay (≤ 2 µm) (%) <sup>2</sup>	16.9	7.4	32.9	7.6	6.9	17.9	27.6
Sieve fraction ≤ 1 mm (%) <sup>2</sup>	96.9	97.4	100	87.4	97.8	97.4	96.2
Anorganic C (%)	1.03	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.13	0.02	< 0.02
Organic C (%)	7.8	28.8	6.83	24.3	2.95	5.09	1.74
Ignition residue (%)	18	37	22	22	7	18	12
PH (CaCl <sub>2</sub> )	7.3	6.9	4.9	7.6	7.6	5.9	6.1
PAH (mg/kg)	74	3393	13	757	1080	6	0.3
BaP (mg/kg)	5	197	0.9	53	22	0.26	0.02
As (mg/kg)	12	38	167	26	13	199	58
Cd (mg/kg)	1.1	3.0	14	4.6	2.5	20	0.6
Cr (mg/kg)	110	94	135	61	79	84	175
Hg (mg/kg)	0.5	19	9.1	3.0	6.5	4.2	38
Ni (mg/kg)	38	40	52	49	24	77	38
Pb (mg/kg)	237	786	578	200	113	6330	67
Sieve fraction studied	≤ 2 mm	≤ 2 mm	≤ 1 mm	≤ 2 mm	≤ 2 mm	≤ 2 mm	≤ 2 mm

<sup>1</sup> Related to original material, pebbles and stones, <sup>2</sup> related to sieve fraction ≤ 2 mm

Tab. 152: Bioaccessibility (%) of arsenic, heavy metals and benzo(a)pyrene (BaP) by using the digestive model E DIN 19738 with addition of milk powder from soils which were investigated in-vitro as well as in-vivo.

Parameter	Bruchsal	Carl 1	Hamburg	Lothringen 1	Lothringen 2	Oker 11	Pfalz
BaP	12	19	--	20	21	--	--
As	47 ± 4.0	23 ± 2.6	39 ± 7.7	24 ± 6.4	31 ± 0.4	23 ± 3.3	10 ± 0.9
Cd	51 ± 0.2	40 ± 6.1	66 ± 3.8	51 ± 2.7	52 ± 3.0	73 ± 9.4	35 ± 6.7
Cr	14 ± 1.0	24 ± 11	28 ± 2.8	11 ± 2.5	39 ± 14	6,8 ± 1.0	8,4 ± 3.4
Hg	--	8.3 ± 1.5	38 ± 2.8	30	--	--	7.3 ± 1.3
Ni	21 ± 2.4	17 ± 2.2	41 ± 1.6	20 ± 3.5	12 ± 3.9	31 ± 1.7	17 ± 0.8
Pb	52 ± 3.4	26 ± 0.2	30 ± 1.5	35 ± 3.9	39 ± 6.5	24 ± 1.6	16 ± 3.8

### Anhang 3: Auswertung der untersuchten Kinderspielflächen im Duisburger Süden im Hinblick auf den resorptionsverfügbaren Bleigehalt (n=138) [17]

	Blei-Gesamtgehalt (mg/kg)	Blei- resorptionsverfü- gbarer Gehalt (mg/kg)	Anteil Resorptionsver- fügbarkeit (%)
Minimum	31	19	6,0
Maximum	2200	1205	90,0
Mittelwert	376	125	34,3
Median	285	97	31,8
95.-Perzentil	735	253	59,2

Im Mittel wurden Resorptionsverfügbarkeiten für Blei nach DIN 19738 von rund 35 % festgestellt, das 95. Perzentil bei 735 mg/kg lag bei 60 %. Statistisch gesehen ergibt sich damit ein vergleichsweise enger Zusammenhang zwischen den Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Gehalten von Blei im Boden.