

Originalarbeiten

Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Oberböden Hamburgs

Birgit Gras, Claudia Jaeger, Susanne Sievers

Amt für Umweltschutz – Umweltuntersuchungen – der Umweltbehörde Hamburg, Marckmannstr. 129 b, D-20539 Hamburg

Korrespondenzautorin: Dr. Birgit Gras; e-mail: Birgit.Gras@ub.hamburg.de

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2000.03.005>

Zusammenfassung. In Hamburg wurde ein flächendeckendes Untersuchungsprogramm zur Ermittlung der Gehalte an 19 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Oberböden durchgeführt, um einen Überblick über die Belastungssituation im Ballungsraum und den Einfluss der Flächennutzung auf die PAK-Gehalte zu erhalten. Altlastenflächen wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Es wurden PAK (EPA)-Gehalte von 0,1 bis 44,3 mg/kg TM gemessen. Der Medianwert für das Hamburger Gebiet beträgt 3,6 mg/kg TM. Etwa 80% der Befunde liegen unter 10 mg/kg TM. Die Höhe der PAK-Gehalte ist abhängig von der Entfernung zum Stadtzentrum. Der Medianwert steigt vom ländlichen Stadtrand mit 0,4 (Geest) bzw. 1,3 mg/kg TM (Marsch) für die Summe PAK (EPA) auf 4,4 mg/kg TM im innerstädtischen Bereich.

Ursache für die Bodenbelastungen ist neben Einträgen über die Luft das Auftreten von Brandrückständen und Trümmerschutt. Die PAK-Belastung der Hamburger Böden unterscheidet sich nicht nennenswert von der in anderen Ballungsgebieten.

Schlagwörter: Böden; Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung; Hamburg, PAK; Hintergrundbelastung, PAK; Oberböden; PAK; polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Einleitung

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) treten ubiquitär in Luft, Boden und Gewässern auf. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, z.B. von fossilen Energieträgern, und werden heute überwiegend mit den Abgasen aus dem Kfz-Verkehr und aus dem Hausbrand freigesetzt. PAK-Depositionsraten wurden in Großstädten bei 1,5 bzw. 1,9 mg/m²a (HALSALL et al., 1997) bzw. 4,3 mg/m²a (FERNANDEZ et al., 1992) gemessen. Auch durch Einträge von PAK-haltigen Materialien (Kohleteere, Ruß, Holzkohle, Aschen, alte Dachpappen, alte Holzschutzmittel, Brandschutt usw.) gelangen sie in den Boden. Nach Berechnungen des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI, 1991) sind die PAK neben Dieselrußpartikeln die wichtigsten Kanzerogene in der Luft.

Die vorliegende Untersuchung soll eine Datenbasis für die Bewertung von PAK-Belastungen städtischer Oberböden lie-

Abstract

Contents of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Topsoils of Hamburg

The contents of 19 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in topsoil samples from 108 sites within the territory of the federal state of Hamburg were analyzed. The investigation was performed to provide a view on background values in the metropolitan area and the influence of land use on PAH in soils. Known contaminated sites were not included in the investigation.

Values in the area ranged from 0.1 to 44.3 mg/kg d.m. with a median of 3.6. 80% of the measurements were below 10 mg/kg d.m. Contents decreased strongly with a growing distance from the city's center. The median is 4.4 mg/kg d.m. in the center, 1.3 in the rural periphery (marsh) and 0.4 mg/kg d.m. in pre-weichselian uplands ("geest").

PAH contaminations originate from diffuse atmospheric emissions caused by car traffic and room heating, but also by war damages which lead to widespread burnings and consequently to the widespread dispersion of remains. The contents measured are in the range of published values from other densely populated areas, although a comparatively comprehensive investigation from another region does not exist.

Keywords: Background values, PAH; BBodSchV; Hamburg, PAH; PAH; polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH); soils; topsoil samples

fern. Bisher liegen repräsentative PAK-Werte überwiegend für ländliche Gebiete vor (z.B. JONECK & PRINZ, 1993; PUCHWEIN, 1993, TERYTZE et al., 1998, FETZER et al., 1999). Für Ballungsräume wurden im Wesentlichen Datenkollektive für speziell genutzte Flächen wie Kinderspielplätze oder Kleingärten ermittelt (z.B. FLIEGNER & REINIRKENS, 1993; SMETTAN et al., 1993). Eusterbrock (1999) untersuchte Böden einer mittelgroßen Stadt ohne Industrieprägung. Belicic & Raschke veröffentlichten 1999 PAK-Werte, die sie in Stadtböden Nürnbergs im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung gemessen haben. Bei der Festlegung von Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwerten im Zusammenhang mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) sind neben Hintergrundbelastungen in ländlichen Gebieten die von Ballungsräumen einzubeziehen.

Mit dieser Untersuchung in Hamburg sollen Einflüsse unterschiedlicher Exposition gegenüber Verkehr, Hausbrand und Industrie auf PAK-Gehalte verschiedenartig genutzter Böden aufgezeigt werden. Dabei wurden nicht nur naturnahe Böden einbezogen, sondern vor allem typische, d.h. im innerstädtischen Bereich nahezu ausschließlich aufgefüllte Böden. Es sollte außerdem geklärt werden, welche PAK-Einzelstoffe den Hauptanteil der ubiquitären Gehalte ausmachen und in welcher Beziehung sie zueinander stehen. Untersucht wurden die 16 PAK-Einzelstoffe nach EPA zzgl. 1- und 2-Methylnaphthalin sowie Benzo(e)pyren.

1 Probenahme und Analytik

1.1 Auswahl der Probenahmeorte und Probenahme

An 108 Standorten verteilt über das Hamburger Stadtgebiet (→ *Abb. 1*) wurden aus 0 - 10 cm bzw. bei bearbeiteten Flächen aus 0 - 30 cm Tiefe Bodenmischproben entnommen. Bei Waldstandorten beschränkte sich die Beprobung auf den mineralischen Oberboden. Die Standortauswahl erfolgte unabhängig davon, ob die Böden natürlich gewachsen oder gestört waren. Auf Flächen einheitlicher Nutzung

mit einer Größe von ca. 60 - 100 m² wurde jeweils mit einem Handbohrstock durch je 20 Einstiche in 2 diagonalen Linien über die Fläche Boden entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Probenahme erfolgte 1993 - 1995.

Die Standorte sind folgenden Nutzungsformen zuzuordnen: Industrie, Verkehr, Wohngebiete, Kleingärten, Landwirtschaft, Überschwemmungsflächen, Wald/Park, Naturschutzgebiete und Sonstiges Grün (Brachen, Grasflächen). Die Fläche Hamburgs ist durch ein breites Marschengebiet der Elbe und angrenzende Moränenflächen ("Geest") geprägt. 38 der 108 Proben stammen aus der Elbmarsch. Anhand des Hamburger Altlastenhinweiskatasters wurde sichergestellt, dass keine Altlastverdachtsflächen in das Untersuchungsprogramm einbezogen wurden.

1.2 Analysenumfang und -verfahren

Für alle Bodenproben wurde eine sensorische Ansprache vorgenommen, d.h. es wurden in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden, 1994) Bodenart, Beimengungen, Humusgehalt, Geruchsauffälligkeiten sowie Farbe benannt. Das luftgetrocknete Bodenmaterial wurde

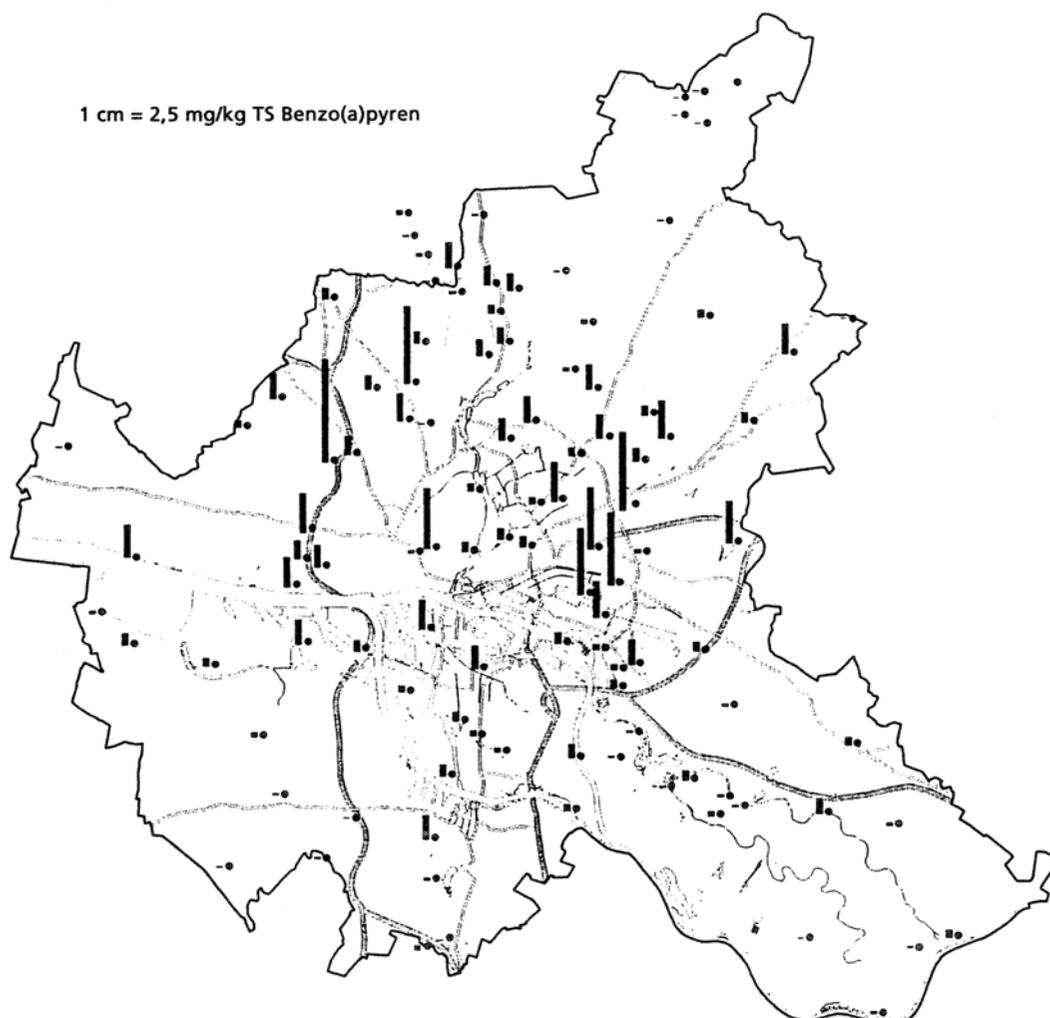


Abb. 1: Benzo(a)pyrengelalte in Hamburger Oberböden, n = 108

geseibt (< 2 mm) und homogenisiert. Darüber hinaus wurden Trockensubstanz, Glühverlust, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit gemessen. Die Bestimmung dieser Grundparameter erfolgte im Fachamt für Umweltuntersuchungen der Umweltbehörde Hamburg nach folgenden Verfahren: Trockensubstanz nach DIN 38 414 – S2: 11.85, Glühverlust nach DIN 38 414 – S3: 11.85, pH nach DIN 38 414 – S5: 09.81 und die el. Leitfähigkeit gemäß VDLUFA A.10.1.1., 1991.

Der Untersuchungsumfang für die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe umfasste die 16 Einzelstoffe nach EPA (1982) zuzüglich 1- und 2-Methylnaphthalin sowie Benzo(e)pyren (im Folgenden "PAK(19)"). Die Analysen wurden vom Institut für naturwissenschaftlich-technische Dienste NATEC SGS GmbH in Hamburg durchgeführt. Bei extra durchgeführten Vergleichsuntersuchungen zur Qualitätssicherung schnitt das gewählte Labor erfolgreich ab. Ebenfalls positiv war die Teilnahme an einem PAK-Ringversuch. Die Ergebnisse von "verdeckten" Wiederholungsanalysen an unterschiedlich belasteten Proben zeigten eine gute Übereinstimmung.

Zur Quantifizierung der PAK wurde den Bodenproben ein interner Standard zugegeben, der 15 der EPA-PAK (ohne Benz(a)anthracen) in deuterierter Form enthielt. Der Boden wurde anschließend mit Toluol versetzt und 30 Minuten im Ultraschallbad behandelt. Zur Trocknung wurde wasserfreies Natriumsulfat zugesetzt und 2 Srd. geschüttelt. Die Toluol-

phase wurde über Kieselgel/Silbernitrat und Florisil säulenchromatographisch gereinigt und das Eluat schonend aufkonzentriert. Die Messung erfolgte am Gaschromatographen (GC HP 5890) mit massenselektivem Detektor (HP 5970) im MID-Modus. Die Bestimmungsgrenze betrug 0,001 - 0,01 mg/kg TM. Da Benzo(b)fluoranthren und Benzo(k)fluoranthren nicht trennbar waren, werden im Folgenden jeweils ihre Summenwerte angegeben.

2 Ergebnisse und Bewertung

2.1 PAK-Gesamtgehalte

In den Hamburger Oberböden wurden Gehalte an PAK (EPA) in einem Bereich von 0,09 - 44,3 mg/kg TM (für die Summe PAK(19) von 0,1 - 46,8 mg/kg TM) gemessen (→ Tabelle 1). Der Mittelwert beträgt 6,4 (6,8) mg/kg TM und ist deutlich höher als der Median von 3,6 (4,0) mg/kg TM. Etwa 80% der Werte liegen unter 10 mg/kg TM. In ca. 6% der Proben sind 20 mg/kg TM und in einem Fall 40 mg/kg TM überschritten.

Die Verteilung der PAK-Gehalte über die Stadtfläche Hamburgs (BaP, → Abb. 1) zeigt, dass die Belastungen in den dünner besiedelten und eher ländlich geprägten Randbereichen der Stadt gering sind. Höhere Werte findet man im zentraleren Teil der Stadt mit großer Industrie-, Verkehrs- bzw. Siedlungsdichte (→ Tabelle 2).

Tabelle 1: PAK-Gehalte in Hamburger Oberböden (mg/kg TM) (n = 108)

	PAK (19)	PAK (EPA)	PAK (TrinkwV)	NAPH	1Me	2Me	ACEY	ACEN	Fluoren	PHEN
Min. Wert	0,10	0,09	0,05	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Max. Wert	46,82	44,29	20,31	0,44	0,18	0,27	0,23	0,44	0,56	6,36
Mittelwert	6,80	6,38	3,19	0,05	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,64
Median	3,95	3,62	1,97	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,25
75. Perz.	8,21	7,64	4,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,06	0,67
90. Perz.	17,35	16,36	7,87	0,12	0,04	0,06	0,06	0,10	0,15	1,70

	ANTH	FL	Pyren	BaA	Chrysen	BbF/BkF	BeP	BaP	IP	DBA	BghiP
Min. Wert	<0,001	0,01	0,01	<0,001	0,01	0,02	0,01	0,003	0,004	<0,001	0,01
Max. Wert	1,11	7,10	7,51	3,67	3,83	5,79	2,17	3,29	1,95	0,76	2,18
Mittelwert	0,12	1,02	0,95	0,54	0,64	0,99	0,37	0,49	0,33	0,13	0,36
Median	0,05	0,50	0,47	0,27	0,38	0,67	0,20	0,28	0,21	0,09	0,23
75. Perz.	0,12	1,24	1,08	0,71	0,83	1,40	0,51	0,71	0,42	0,18	0,45
90. Perz.	0,34	2,76	2,47	1,39	1,51	2,20	0,88	1,18	0,71	0,30	0,79

PAK(19): Summe der 16 PAK nach EPA, BeP, 1- u. 2-Methylnaphthalin

PAK(EPA): Summe der 16 PAK nach EPA

TrinkwV: Summe der 6 PAK nach TrinkwV (FL, BbF, BkF, BaP, IP, BghiP)

NAPH: Naphthalin, 1Me: 1-Methylnaphthalin, 2Me: 2-Methylnaphthalin, ACEY: Acenaphthylen, ACEN: Acenaphthen, PHEN: Phenanthren, ANTH: Anthracen,

FL: Fluoranthren, BaA: Benz(a)anthracen, BbF/BkF: Benzo(b)- und Benzo(k)-fluoranthren, BeP: Benzo(e)pyren, BaP: Benzo(a)pyren, BaP: Benzo(a)pyren,

IP: Indeno(1,2,3-cd)pyren, DBA: Dibenz(a,h.)anthracen, BghiP: Benzo(g,h,i)perylene

Tabelle 2: PAK(EPA)-Gehalte (mg/kg TM) in Hamburger Oberböden, differenziert nach Ortslage

	Hamburg (gesamt)	Hamburg (zentral)	Hamburg Stadtrand	Marsch (zentral)	Marsch Stadtrand	Geest (zentral)	Geest Stadtrand
Anzahl	108	90	18	32	6	58	12
Min. - Max. Wert	0,1 - 44,3	0,3 - 44,3	0,1 - 2,6	0,7 - 30,9	0,2 - 2,6	0,3 - 44,3	0,1 - 1,7
Mittelwert	6,4	7,5	0,8	5,4	1,3	8,7	0,5
Median	3,6	4,4	0,5	3,7	1,3	5,0	0,4
75. Perzentil	7,6	9,5	1,3	6,0	1,8	10,4	0,7
90. Perzentil	16,4	16,5	1,8	10,2	2,3	18,6	1,3

Die gesonderte Betrachtung der Hamburger Marschenböden lässt erkennen, dass sie sich von den übrigen Böden im Randbereich durch höhere PAK-Gehalte unterscheiden (→ *Tabelle 2*). Während sich im ländlichen Raume die Bodeneigenschaften bemerkbar machen, ist ihr Einfluss im innerstädtischen Bereich durch die starke anthropogene Überprägung der Böden überlagert.

2.2 PAK-Einzelstoffe

Die leichterflüchtigen PAK Naphthalin, 1- und 2-Methylnaphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren weisen mit Maximalwerten von deutlich unterhalb 1 mg/kg TM (Medianwerte 0,01 - 0,03 mg/kg TM) die geringsten Gehalte auf. Die höchsten Befunde ergeben sich für Phenanthren, Fluoranthen und Pyren mit Maximalwerten bis zu 7,5 mg/kg TM (höchster Medianwert 0,5 mg/kg TM für Fluoranthen).

In *Abb. 2* sind die prozentualen Anteile der Einzel-PAK an der Summe der 19 gemessenen PAK auf der Basis der Medianwerte dargestellt.

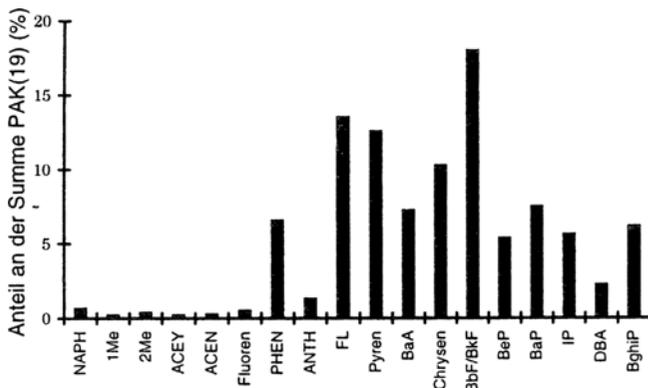


Abb. 2: Anteil der Einzelstoffe an der Summe PAK (19), n = 108 (auf der Basis der Medianwerte)

Die Korrelationskoeffizienten der jeweiligen PAK-Einzelstoffpaare zueinander liegen zwischen 0,55 und 0,99 und lassen enge Beziehungen erkennen (bei $n > 100$ und $r > 0,25$: 99% Signifikanz). Die Spanne der Korrelationskoeffizienten zeigt Abstufungen. So sind die drei Naphthaline untereinander eng ($r = 0,87 - 0,97$) und mit allen anderen Komponenten geringfügiger korreliert ($r = 0,55 - 0,90$). Die engsten Zusammenhänge wurden innerhalb folgender vom Molekulargewicht her ähnlicher bzw. gleicher Gruppen gefunden: FL-Pyren-BaA-Chrysen (4-Ring-PAK) und BbF/BkF-BeP-BaP (5-Ring-PAK) sowie IP-BghiP-DBA (5- und 6- Ring-PAK) mit jeweils $r = 0,98 - 0,99$.

Benzo(a)pyren wird aufgrund des hohen kanzerogenen Potentials und der guten Messbarkeit häufig als Leitparameter für die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe herangezogen. Die hier berichteten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die BaP-Gehalte sehr gut mit den PAK-Summenwerten korrelieren: $r = 0,98$ für Summe PAK(19) und Summe PAK (EPA). In *Abb. 3* ist die Beziehung graphisch dargestellt. Der BaP-Anteil liegt bei 7 - 8% der PAK-Summen. Ähnlich hochsignifikante Korrelationen finden auch Tebaay et al. (1993) und Eusterbrock (1999). Der Benzo(a)pyren-

Gehalt ist folglich für eine Gefährdungsabschätzung für PAK in Oberböden auf nicht durch Altlasten überprägten Flächen geeignet.

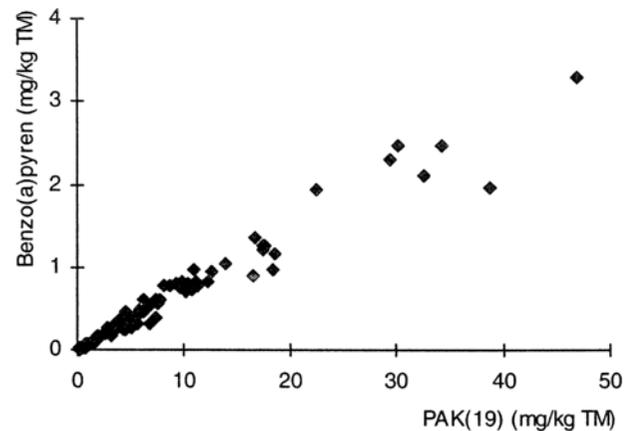


Abb. 3: Beziehung zwischen dem Gehalt an Benzo(a)pyren und der Summe PAK (19), n = 108

PAK-Summenwerte werden häufig für die 6 PAK der Trinkwasserverordnung angegeben (Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo-(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo-(g,h,i)perylene und Indeno(1,2,3-cd)pyren). Das Verhältnis der Summen EPA/TrinkwV beträgt für die 108 untersuchten Proben im Mittel 1,9, d.h. die PAK (EPA)-Summenwerte lassen sich in etwa durch eine Verdoppelung der Summen nach Trinkwasserverordnung abschätzen. Die enge Beziehung zwischen beiden Summenparametern zeigt der Korrelationskoeffizient von $r = 0,99$.

3 PAK-Gehalte in Hamburger Oberböden in Abhängigkeit von der Flächennutzung

Hinsichtlich der Flächennutzungen wurde differenziert nach Industriegebieten ($n = 11$), Straßenverkehr ($n = 14$), Wohngebieten ($n = 19$), Kleingärten ($n = 13$), Landwirtschaft ($n = 17$), Überschwemmungsflächen ($n = 6$), Wald/Park ($n = 12$), Naturschutzgebieten ($n = 4$) und Sonstiges Grün ($n = 12$). Für die Auswertungen (→ *Tabelle 3*, → *S. 80*, *Abb. 4*) wurden für die Nutzungen Straßenverkehr, Überschwemmungsflächen, Wald/Park sowie Landwirtschaft höhere Probenzahlen einbezogen, weil einigen Flächen zwei Nutzungsarten zugeordnet wurden.

Für Naturschutzgebiete, Wald/Park und Sonstiges Grün (Grasflächen, Brachland) wurden PAK-Gehalte in Oberböden von 0,7, 1,6 bzw. 1,9 mg/kg TM (Median für PAK (EPA)) gemessen. Die Gehalte sind sehr stark davon abhängig, ob sich die Flächen im Randbereich oder im zentraleren Gebiet des Ballungsraums befinden. Eine mehr oder weniger zentrale Lage der Messpunkte zeigt größeren Einfluss auf die PAK-Belastung als die Nutzungsart der Grünfläche, was deutlich wird, wenn man den Medianwert für innerstädtische Parkanlagen gesondert berechnet, der mit 4,1 mg/kg TM ($n = 8$) wesentlich höher liegt.

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen zum überwiegenden Teil in den Marschengebieten im Süden Ham-

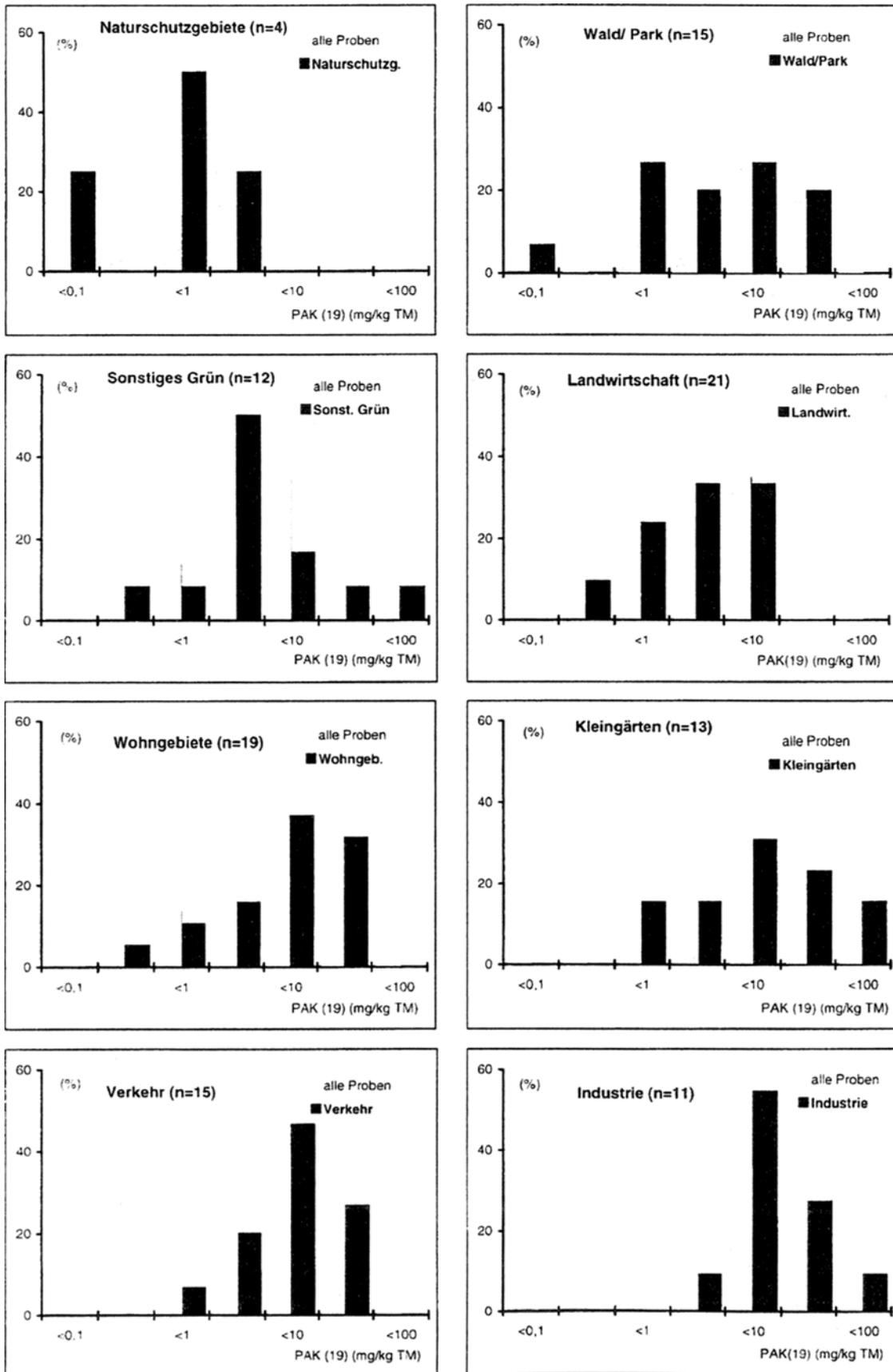


Abb. 4: Häufigkeitsverteilungen für die Summe PAK (19) für die unterschiedlichen Flächennutzungen und für alle 108 Proben

Tabelle 3: Median-, Mittel-, 90. Perzentil- und Maximalwerte für die Summe PAK (EPA) und BaP in Hamburger Oberböden für verschiedene Arten der Flächennutzung (mg/kg TM)

Flächennutzung	n	Marsch %	Medianwerte		Mittelwerte		90. Perzentil		Maximalwerte	
			PAK	BaP	PAK	BaP	PAK	BaP	PAK	BaP
Kleingärten	13	31	8,61	0,81	11,44	0,82	30,30	2,08	37,19	2,30
Wohngebiete	19	5	6,34	0,55	6,94	0,59	13,84	1,08	20,99	1,93
Industrie	11	82	5,50	0,44	10,71	0,82	17,51	1,16	44,29	3,29
Verkehr	15	0	4,10	0,37	7,39	0,62	16,02	1,14	28,25	2,48
Überschwemm.	7	100	2,62	0,17	2,77	0,19	4,76	0,33	5,83	0,45
Sonstiges Grün	12	33	1,88	0,16	5,86	0,43	16,31	0,92	32,41	2,48
Wald und Park	15	7	1,60	0,13	4,22	0,34	13,22	1,04	16,33	1,35
Landwirtschaft	21	76	1,31	0,09	2,23	0,14	5,21	0,31	6,76	0,39
Naturschutzg.	4	50	0,69	0,04	1,02	0,08	2,04	0,16	2,62	0,21
Alle Oberbodenproben	108	35	3,62	0,28	6,38	0,49	16,36	1,18	44,29	3,29

Die Summe n ist > 108, da einige Flächen zwei Nutzungsarten zugeordnet wurden

burgs. Nur 5 der 21 Proben wurden auf den sandigen Böden im nördlichen Stadtrandbereich entnommen. Es wurde sowohl Acker (Entnahmetiefe 0 - 30 cm) als auch Grünland (0 - 10 cm) beprobt. Bei nahezu allen Standorten handelt es sich um gewachsene Böden ohne erkennbare anthropogene Beimengungen. Die getrennte Berechnung der Medianwerte (→ *Tabelle 4*) für Marschen- und Geestflächen führt zu zwei unterschiedlichen Gehaltsstufen für PAK (EPA) von 2,2 bzw. 0,3 mg/kg TM.

Tabelle 4: PAK(EPA)-Gehalte (mg/kg TM) der Proben von landwirtschaftlich genutzten Flächen; differenziert nach Substrat und Nutzung

	n	Median- werte PAK	Mittel- werte PAK	90. Perzentil PAK	Maximal- werte PAK
Landwirtschaft (alle)	21	1,3	2,2	5,2	6,8
Marsch	16	2,2	2,8	5,8	6,8
Moräne	5	0,3	0,4	0,6	0,7
Acker (alle)	9	1,3	2,2	5,1	6,8
Marsch	6	2,5	3,2	5,8	6,8
Moräne	3	0,3	0,4	-	0,7
Grünland (alle)	12	1,3	2,2	5,1	6,3
Marsch	10	1,9	2,6	5,3	6,3
Moräne	2	-	0,4	-	0,4

Die Ergebnisse von Ackerflächen zeigen ähnliche PAK-Gehalte wie die von landwirtschaftlich genutztem Grünland. Gleiches belegt eine Untersuchung in Oberösterreich (PUCHWEIN, 1993). Nach Angaben Hamburger Landwirte werden die Grünlandflächen mindestens alle 5 Jahre umgebrochen, was ähnliche PAK-Werte im Oberboden wie bei Ackerflächen erklärt. Alle Befunde liegen deutlich unter dem in der BBodSchV für Ackerbau angegebenen Prüfwert von 1 mg/kg TM für BaP.

Die untersuchten Überschwemmungsflächen der Elbe, Dove-Elbe oder Gose-Elbe werden naturnah genutzt (Landwirtschaft, Naturschutzgebiet, Brache). Sie sind charakterisiert durch rezente Sedimente. Die Werte für die Summe PAK (EPA) liegen in einer engen Wertespanne von 1,2 - 5,8 mg/kg TM mit einem Medianwert von 2,6 mg/kg TM. Die Gehalte sind höher als die der ebenfalls naturnah genutzten, aber nicht im Überschwemmungsbereich gelegenen Marschenflächen.

15 der untersuchten Bodenproben wurden von Verkehrsinseln oder von Grünflächen neben Kreuzungen an vielbefahrenen Haupt- oder Bundesstraßen und aus dem Böschungsbereich von Bundesautobahnen entnommen und als gegenüber Straßenverkehrsemissionen besonders exponiert eingestuft. Im Unterschied zu anderen Projekten (FLEISCHMANN & WILKE, 1991; UNGER & PRINZ, 1992) war nicht die Abhängigkeit vom Abstand zur Straße Untersuchungsziel, sondern die Erfassung der großflächigen allgemeinen Belastungen im Nahbereich der Straßen durch die Analyse von Oberbodenmischproben aus ca. 100 m² großen Flächen neben den Fahrbahnen. Bei der Nutzungsform Verkehr ergibt sich für die PAK (EPA) ein Medianwert von 4,1 mg/kg TM. Der Streubereich der Einzelwerte ist sehr groß: 0,3 - 28,3 mg/kg TM. Während große Verkehrsdichten im Innenstadtbereich durch häufiges Beschleunigen und Bremsen zu vergleichsweise hohen Gehalten führen, scheinen die PAK-Werte an Autobahnen trotz z. T. höherer Kfz-Zahlen aufgrund der gleichmäßigeren Fahrweise deutlich geringer zu sein. Entsprechende Hinweise fanden auch Joneck & Prinz (1993) bei ihren Untersuchungen im Münchener Raum.

Zur Ermittlung der PAK-Gehalte in Hamburger Wohngebieten wurden 19 über das Stadtgebiet verteilte Standorte in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Die Proben wurden überwiegend auf Rasenflächen, zwei aus Gärten und eine aus einem Innenhof entnommen. Im Vergleich zu anderen Nutzungsformen findet man für Wohngebiete mit einem Medianwert von 6,3 mg/kg TM für PAK (EPA) und 0,6 mg/kg TM für BaP relativ hohe Oberbodengehalte. Der Maximalwert von 21,0 mg/kg TM wurde im Innenhof eines alten Wohnviertels mit noch hohem Anteil an Altbauten mit Kohlefeuerstätten gemessen. An einigen Standorten besteht ein Zusammenhang mit PAK-haltigen Trümmerschuttbeimengungen. Für Hausgärten in Ballungsgebieten Nordrhein-Westfalens geben Hein & Delschen (1994) einen Medianwert von 4,2 mg/kg TM PAK (EPA) an.

Um die Belastung von Kleingartenanlagen zu erfassen, wurden 13 zu verschiedenen Zeitpunkten (1911 - 1980) angelegte und über das Stadtgebiet verteilte Flächen untersucht. Im Vergleich zu allen anderen Nutzungen ergeben sich für Kleingärten die höchsten Medianwerte mit PAK (EPA) 8,6

und Benzo(a)pyren 0,8 mg/kg TM. Die Gehalte liegen in einer sehr weiten Spanne von 0,3 - 37,2 mg/kg TM PAK (EPA). Bei der Bewertung ist zu beachten, dass überproportional viele Standorte in bekanntermaßen höher belasteten Bereichen der Stadt ausgewählt wurden.

Betrachtet man das Alter der Kleingartenanlagen (Zeitpunkt der Gründung bzw. Fertigstellung), fällt auf, dass die beiden Proben mit den geringsten Gehalten aus den beiden neuesten Gartenanlagen stammen. Die drei höchsten Werte findet man dagegen bei besonders alten Kleingartenvereinen (1919, 1921, 1934). Abweichend davon ergibt sich ein niedriger Gehalt für einen alten Kleingarten, in dem der beprobte Bereich inzwischen für die Einrichtung einer Spiel- und Parkfläche umgestaltet wurde (→ Abb. 5).

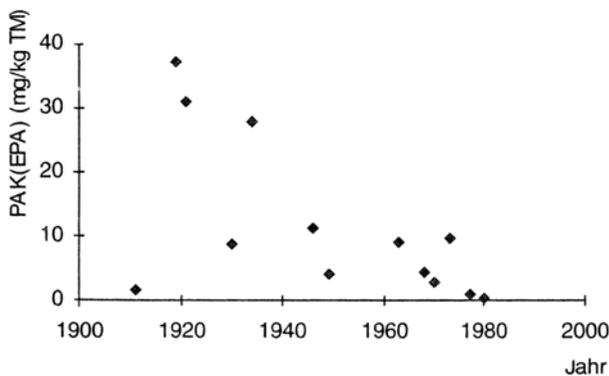


Abb. 5: Beziehung zwischen dem Alter der Kleingartenanlagen und den gemessenen PAK-Oberbodengehalten

Für die auffälligen Befunde sind folgende Ursachen denkbar: Lage der Kleingärten am Rande von Industriegebieten, Einarbeitung von Verbrennungsrückständen in die Böden (Aschen, Komposte mit Aschen, Laub- und Abfallverbrennung vor Ort), der Gebrauch von Holzschutzmitteln auf Teerölbasis und teerhaltigen Dachpappen und vielleicht die Ablagerung von Trümmerschutt während des letzten Krieges. Ergebnisse anderer Untersuchungen bestätigen die allgemein erhöhten Belastungen von Kleingärten: Fliegner & Reinirgens (1993), Lenz et al. (1997), Fetzer et al. (1999) und Belicic & Raschke (1999).

11 Oberbodenproben aus Industriegebieten wurden nicht direkt auf Betriebsflächen, sondern benachbart auf öffentlichen Brach- oder Grasflächen entnommen. Der niedrigste Gehalt an PAK (EPA) beträgt 2,5 mg/kg TM, der Maximalwert ist mit 44,3 mg/kg TM der höchste aller 108 untersuchten Proben. Mit einem Medianwert von 5,5 mg/kg TM liegen die Gehalte auf industriegeprägten Flächen zwar zwischen denen der Nutzungsarten Verkehr und Wohngebiet, die Häufigkeitsverteilung (→ Abb. 4) macht aber eine Verteilung zu insgesamt höheren Konzentrationen deutlich.

Im Rahmen des Untersuchungsprogramms sollte geprüft werden, ob durch mögliche unvollständige Verbrennung von Kraftstoffen im Flugverkehr (wie von Kraftfahrzeugen bekannt) besondere PAK-Belastungen im Bereich des Hamburger Flughafens auftreten. Dazu werden zehn Proben herangezogen, die unmittelbar im Einflussbereich des Flugverkehrs innerhalb der Lärmschutzzone 2 entnommen wurden. Der errechnete Medianwert von 2,7 mg/kg TM für PAK (EPA) zeigt keine Abweichung von der für die dortigen Nutzungen und die Lage

erwarteten Belastung. Durch den Flugverkehr lokal erhöhte PAK-Belastungen konnten damit nicht nachgewiesen werden.

4 Diskussion

Atmosphärische PAK-Einträge können aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit, Flüchtigkeit und Abbaubarkeit der PAK und ihres Adsorptionsvermögens an organischem Material langfristig zu Anreicherungen in Oberböden führen. Die untersuchten Standorte Hamburgs sind unterschiedlich stark diffusen Luftbelastungen ausgesetzt, was zu einem Gefälle Zentrum – Stadtrand führt. Im ländlichen Randbereich wurden PAK (EPA)-Gehalte von 0,1 - 2,6 mg/kg TM gemessen. Bei diesen gewachsenen und anthropogen wenig beeinflussten Böden lässt sich die Abhängigkeit der PAK-Gehalte von der Art des Bodensubstrats erkennen. Die differenzierte Auswertung für Marschen- und Geestböden führt zu unterschiedlichen Medianwerten von 1,3 bzw. 0,4 mg/kg TM PAK (EPA).

Im zentralen Stadtbereich sind die PAK (EPA)-Gehalte mit einem Median von 4,4 mg/kg TM im Oberboden deutlich höher. Der Einfluss der natürlichen Bodeneigenschaften ist so stark durch anthropogene Einwirkungen überdeckt, dass hier die Belastung der sandigen Substrate (Median 5,0 mg/kg TM) die der Marschenböden übersteigt (Median 3,7 mg/kg TM).

Dass die unterschiedlichen Belastungsniveaus zwischen Stadtzentrum und Stadtrand nicht allein auf den Luftpfad zurückzuführen sind, macht eine Betrachtung von einzelnen Belastungsklassen deutlich. Bei den Oberböden mit PAK-Gehalten von < 2 mg/kg TM handelt es sich um naturnahe unterschiedlich genutzte Böden am Stadtrand. Ergebnisse im Konzentrationsbereich von 2 - 5 mg/kg TM stammen z.T. von gestörten Böden, die durch Einlagerungen von Ziegeln, Schlacken und Schutt als solche erkennbar waren. Überwiegend enthalten solche Böden jedoch 10 bis 20 mg/kg TM. Gehalte von >20 mg/kg TM findet man nur noch in offensichtlich vorbelasteten Auffüllungsböden. Untersuchungen in Berlin (SMETTAN et al., 1993) zeigten, dass in Trümmerschuttablagerungen z.T. sehr hohe PAK-Gehalte nachzuweisen waren. Da im Kriegsverlauf weite innerstädtische Bereiche Hamburgs durch Brände zerstört wurden, sind auch hier PAK-belastete Beimengungen wie Ruß, Stäube, Aschen, Holzkohle, Trümmerschutt usw. wahrscheinlich die Ursache für eine großflächig auftretende Vorbelastung vieler Böden. Dies lässt sich auch anhand von Musterverschiebungen mit Hilfe von Cluster- und Faktorenanalysen zeigen (GRAS et al., 1996).

Die Auswertung der PAK-Daten unter Klassifizierung nach Flächennutzungen führte zu unterschiedlichen Gehaltsstufen (→ Tabelle 3). "Grün"genutzte Böden in Naturschutzgebieten, in der Landwirtschaft, in Wald und Park sind am geringsten mit PAK belastet. Höhere Gehalte findet man bei verkehrs- und industriebeeinflussten Oberböden. Auffällig sind die hohen PAK-Werte in Wohngebieten und insbesondere in Kleingärten.

5 Schlussfolgerungen

Der Vergleich mit Untersuchungsergebnissen aus anderen Bundesländern ist aufgrund von unterschiedlichen Beprobungs- und Analysenverfahren sowie der verschiedenen

Parameterumfänge problematisch. In Tabelle 5 wurden Oberbodendaten für Verdichtungsräume aus Nordrhein-Westfalen, Bayern, Berlin, Sachsen, Bremen und dem Saarland zusammengestellt. Es ist erkennbar, dass die PAK-Gehalte in Hamburger Gärten in derselben Größenordnung wie die in Nordrhein-Westfalen, Bremen und Berlin liegen. Die Werte für die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind aufgrund des hohen Marschenanteils nur bedingt vergleichbar, sie liegen innerhalb der Spanne der anderen Daten. Für Wald/Park wurden in Hamburger Oberböden etwas höhere Gehalte als in Bayern, Saarland und Sachsen gemessen.

Tabelle 5: Literaturdaten zur PAK-Bodenbelastung in Ballungsräumen bzw. verdichteten Gebieten in Deutschland (Medianwerte) (mg/kg TM)

Nutzung	BaP	PAK (EPA)	Literatur/Gebiet
Kleingärten Spielplätze/ Rasen	0,66 0,05		FLIEGNER & REINIRKENS, 1993 Nordrhein-Westfalen: hohe Siedlungsdichte, sehr starker industrieller Besatz
Hausgärten	0,42	4,2	HEIN & DELSCHEN, 1994 Nordrhein-Westfalen: Ballungsräume
Acker Garten	0,21 0,68		CRÖSSMANN, 1992 Nordrhein-Westfalen: Ballungsraum Ruhrgebiet
Kleingärten	0,45	6,24	Lenz et al., 1997 Bremen
überwiegend Spielplätze u. Kleingärten		7,5 (Mittelwert)	SMETTAN et al., 1993 Berlin
Acker	0,025		JONECK & PRINZ, 1993
Grünland	0,003		Bayern: Verdichtungsräume
Wald/Forst Oberb.	0,035		
Sonst. Grün	0,174		
Acker	0,019	0,40	RANK et al., 1997
Grünland	0,027	0,58	Sachsen: Verdichtungsräume
Wald Oberb.	<0,010	0,22	
Acker	0,048		FETZER et al., 1999
Grünland	0,103		Saarland: Verdichtungsräume
Forst Oberb.	0,077		

Als Beurteilungsmaßstab für Bodenverunreinigungen in Hamburg ergibt sich aus den Befunden, dass

- 1) Böden mit mehr als 10 mg/kg TM an PAK (EPA) sehr erhebliche Beimengungen an Schutt u.Ä. enthalten und somit bis etwa zu diesem Wert von typischen innerstädtischen Gehalten gesprochen werden kann ("innerstädtischer Hintergrund") und
- 2) nicht spezifisch belastete naturnahe Böden der sandig-lehmigen Moränengebiete (Geest) Werte <1 mg/kg TM und der schluffig-tonigen Elbmarschen Werte <2,5 mg/kg TM an PAK (EPA) aufweisen ("ländlicher Hintergrund").

Literatur

AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
 BELICIC, T.; RASCHKE, N. (1999): Die Schadstoffbelastung in Nürnberger Stadtböden. Wasser und Boden 51, 44-48
 BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 36, ausgegeben zu Bonn 16.07.1999
 CRÖSSMANN, G. (1992): Zum Transferverhalten ausgewählter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) bei gärtnerischen

und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. In: Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in Böden und Pflanzen, Ein Beitrag zur Gefährdungsabschätzung bei Altlasten. Band II Untersuchungsergebnisse, Essen
 EPA (1982): Test-Method: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-Method 610,07, USA
 EUSTERBROCK, L. (1999): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in urbanen Böden Bayreuths. Bayreuther Bodenkundliche Berichte 66, Bayreuth
 FERNANDEZ, A.R.; BUSHBY, B.R.; FAULKNER, J.E.; WALLACE, D.S.; CLAYTON, P.; DAVIS, B.J. (1992): The analysis of toxic organic micropollutants (PCDDs, PCDFs, PCBs and PAHs) in ambient air and atmospheric deposition. Chemosphere 25, 1311-1316
 FETZER, K.D.; DRESCHER-LARRES, K.; WEYRICH, J. (1999): Organische Schadstoffe in saarländischen Böden. Erste Inventur und Darstellung der Hintergrundbelastung. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Saarbrücken
 FLEISCHMANN, S.; WILKE, B.-M. (1991): PAKs in Straßenrandböden. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 63, 99-102
 FLIEGNER, M.; REINIRKENS, P. (1993): Vorliegende Referenzwerte für PAK in Böden Nordrhein-Westfalens. Bodenschutzzentrum NRW, Oberhausen
 GRAS, B.; JAEGER, C.; SIEVERS, S. (1996): Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Hamburger Oberböden. Hamburger Umweltberichte 52/96, Umweltbehörde Hamburg
 HALSALL, C.J.; COLEMAN, P.J.; JONES, K.C. (1997): Atmospheric deposition of polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two UK cities. Chemosphere 35, 1919-1931
 HEIN, D.; DELSCHEN, T. (1994): Beurteilung von PAK und PCB in Kulturböden. Wasser und Boden 1, 54-59
 JONECK, M.; PRINZ, P. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Bayerisches Geologisches Landesamt, GLA-Fachbericht 9, München
 LAI (1991): Beurteilungsmaßstäbe zur Begrenzung des Krebsrisikos durch Luftverunreinigungen. Arbeitsgruppe: Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen, Länderausschuss für Immissionsschutz
 LENZ, H.; PAMPERIN, L.; PLUQUET, E. (1997): PAK in Kleingartenböden - Eingrenzung möglicher Belastungsursachen mit Hilfe von PAK-Profilen. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 85, 737-740
 PUCHWEIN, G. (1993): Organische Schadstoffe in oberösterreichischen Böden. In: Arbeitsgemeinschaft Alpenländer (Hrsg.): Expertentagung der Arbeitsgruppe Bodenschutz am 11./12.11.1993, Linz
 RANK, G.; KARDEL, K.; PALCHEN, W. (1997): Das Bodenmeßprogramm des Freistaates Sachsen. In: LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Rosenkranz, D.; Einsele, G.; Harress, H.M.; Bachmann, G. (Hrsg.): Bodenschutz, 28, 68-74
 SMETTAN, U.; EHRIG, C.; GERSTENBERG, J. (1993): Belastungen von Böden mit As, Pb und PAK in zwei Berliner Bezirken. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 72, 1259-1262
 TEBBAY, R.H.; WELP, G.; BRUNIER, G.W. (1993): Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilungsmuster in unterschiedlich belasteten Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156, 1-10
 TERYTZE, K.; BAULKE, N.; BOHMER, W.; MÜLLER, J. (1998): Einschätzung der Konzentrationsprofile polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden des Biosphärenreservates Spree-wald. Z. Umweltchem. Ökotox. 10 (6) 326-332
 UNGER, M.A.; PRINZ, D. (1992): Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg, Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs. Umweltministerium Baden-Württemberg, UM-19-92, Stuttgart
 VDLUFA (1991): Methodenbuch. Bd. I: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Erhalten: 9. Dezember 1999
 Akzeptiert: 18. Februar 2000
 Online-First: 10. März 2000