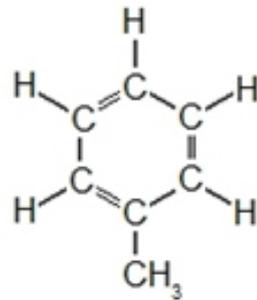
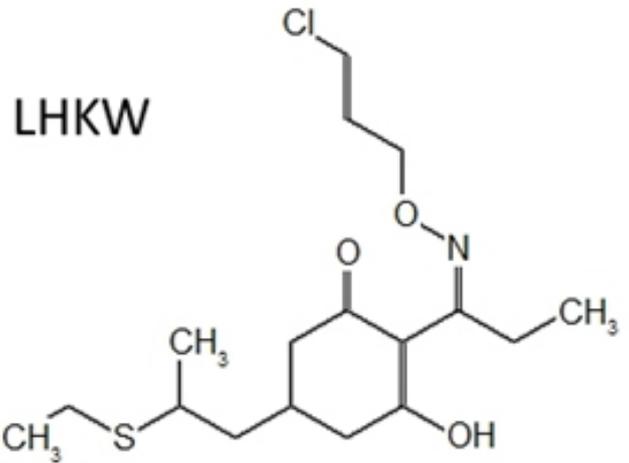


BTEX



PAK



LHKW

SHKW

DCB

Berlin: informierter

## Anhang D

### Kurzbeschreibung und Eigenschaften einzelner organischer Stoffgruppen

## Anhang D

# Kurzbeschreibung und Eigenschaften einzelner organischer Stoffgruppen

### Einführung

Für die Aufnahme von in Leitprofilen ausgewiesenen Bodeneinheiten wird empfohlen, standardisierte Laboranalysen hinsichtlich der bekannten Leitverbindungen durchzuführen, um Gefährdungspotentiale abschätzen und Ökosystemdienstleistungen besser bewerten zu können. Hierbei sollte mindestens eine gesonderte Beprobung des Ober- und Unterbodens, bei mehreren anthropogenen Substraten, eine horizontweise Beprobung gemäß den Vorgaben der BBodSchV, Anhang 1 erfolgen. Die nachfolgende Auflistung und Stoffbeschreibung der häufigsten Vertreter organischer Schadstoffe im Boden soll über die Risiken und Bestimmungsmethoden der einzelnen Substanzen informieren. Detaillierte Informationen zu den Eigenschaften der organischen Stoffgruppen und weiteren Einzelsubstanzen erhält man u. a. aus dem Gemeinsamen zentralen Stoffdatenpool des Bundes und der Länder (GSBL). Der Datenbestand enthält zurzeit Daten zu ca. 56.000 Reinstoffen, ca. 26.000 Komponentenstoffen und ca. 210.000 Rechtsstoffklassen [238]. Insgesamt sind 500 Stoffeigenschaften (Merkmale) und mehr als 6 Millionen Stoff-Sachverhalte erfasst. Die Daten werden zweimal jährlich aktualisiert [240].

PAK sind aromatische Kohlenwasserstoffe, deren zentrales Element, die Benzolringe (mindestens zwei), über gemeinsame Kohlenstoffatome zu komplexen, äußerst stabilen Verbindungen verbunden sind. Neben Wasserstoffatomen können Seitenketten an die Benzolringe gebunden sein, so dass theoretisch immens viele Verbindungen denkbar sind. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung organischer Substanzen oder fossiler Brennstoffe (Gas, Erdöl). Erdöl beispielsweise enthält zwischen 0,2 und 7 % PAK [189]. Aus Erdölprodukten wie Kunststoffen, Gummi, Autoreifen, Plastik gelangen PAK fein verteilt in die Umwelt und reichern sich dort aufgrund ihrer Langlebigkeit und Bindungsfähigkeit an. Einige Verbindungen gelten als karzinogen bzw. potentiell karzinogen [114]. In Hamburger Böden sind PAK-Gehalte von 0,09 bis 44 mg pro kg Trockenmasse (Median: 3,62 mg pro kg Trockenmasse) gemessen worden, wobei die Gehalte mit zunehmender Entfernung vom Stadtzentrum abnehmen und vom Nutzungstyp abhängen [95]. Mekiffer [165] zeigte, dass in Berlin gerade Bauschuttböden und humose Oberböden stark mit PAK (Median: 7,05 mg pro kg Trockenmasse, n = 1225) belastet sind und auch Trümmerschuttböden stark mit PAK belastet sein können [220]. Natursubstrate hingegen weisen deutlich geringere Gehalte (zum Beispiel Sand: 0,24 mg pro kg) auf. Zur Beurteilung von Kontaminationen in Böden mit PAK werden die sogenannten 16 EPA-PAK als Summenparameter erfasst, zu denen die wichtigsten Vertreter (u. a. Naphthalin, Fluoren, Anthracen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthen) der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe zählen. Die Leitsubstanz zur Gefahrenbeurteilung der 16 EPA-PAK nach BBodSchV ist Benzo[a]pyren.

### Polychlorierte Biphenyle (PCB)

PCB sind synthetische chlorierte organische Verbindungen mit einem Biphenyl-Gerüst (zwei verknüpfte Benzolringe) ohne natürliches Vorkommen. Die Wasserstoffatome im Benzolring können durch ein oder mehrere Chloratome ausgetauscht werden, so dass sich die Summenformel  $C_{12}H_{10-x}Cl_x$  ergibt. Die Gruppe der PCB hat insgesamt 209 Vertreter, die so genannten Kongenere, die sich aufgrund der Anzahl und Anordnung der Chloratome unterscheiden. Seit 1983 ist die Herstellung von PCB in Deutschland eingestellt [136] und seit 1989 verboten. Aufgrund der hohen Lipophilie und sehr schlechten biologischen Abbaubarkeit reichern sich PCB in Organismen und Umweltsystemen, insbesondere in Böden, an [113]. PCB sowie Dioxine/Furane zählen zu den persistenten organischen Schadstoffen (POPs) und sind bis heute in der Altlastenbearbeitung relevant. PCB enthalten herstellungsbedingt polychlorierte Dibenzofurane (PCDF). In Organismen gelten PCB als mutagen und karzinogen und sie sind für Haut-, Leber- und Lungenschäden, sowie Stoffwechselerkrankungen verantwortlich [204].

PCB wurden in der Kunststoffindustrie (Harze, Lacke), der Elektroindustrie und der Bauindustrie (Fugenmassen, Deckenplatten) als Weichmacher verwendet [16]. Standardisiert werden laboranalytisch sieben der 209 Kongenere (6 DIN-Kongenere PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180 + PCB 118 als Referenz) sowie gelegentlich die dioxinähnlichen PCB (dl-PCB) erfasst [127]. Muir & Sverko [184] weisen jedoch darauf hin, dass mit dieser Methode der PCB-Gehalt in anorganischen Proben der Luft und des Bodens unterschätzt wird. Zur näherungsweise Bestimmung aller PCB wird der ermittelte Gesamtwert der PCB6 mit dem Faktor 5 multipliziert [281].

**Tabelle D-1: Zusammenstellung der Bestimmungsmethoden für Böden, Schlämme und Wasser und Herkunft der organischen Stoffgruppen, nach Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung [300] und weiterer Quellen**

| Substanzgruppe  | Abkürzung         | Bestimmungsmethode  | Herkunft/Vorkommen  |
|---|-------------------|---|---|
| polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe                                | PAK <sub>16</sub> | [297]   | Abgase, unvollständige Verbrennung fossiler Brennstoffe, Asche, Teer, Brandrückstände   |
| polychlorierte Biphenyle  | PCB <sub>6</sub>  | [272; 273] (für Schlämme), [284; 295] und [127] (für 6 Indikator congenere + PCB 118) | u. a. Isoliermittel, Dichtungsmassen, Kunststoffe, Kondensatoren, Weichmacher   |
| polychlorierte Dibenzodioxine/ Dibenzofurane                                | PCDD/PCDF         | [127; 276; 302], [275] (für Schlämme und Wasser)                                      | als Nebenprodukt der Herstellung von PCB, Verbrennung von Klärschlamm   |
| Mineralöl-kohlenwasserstoffe  | MKW               | <b>leichtlöslich:</b> [292] <b>schwerlöslich:</b> [292], [277] (für Schlämme)         | Lösungsmittel, Heiz- und Schmieröl, Mineralöl, Benzin, Diesel, Teer, Bitumen  |
| Pflanzenschutzmittel  | PSM               | [301] (für Trinkwasser)   | Fungizide, Herbizide, Pestizide, Insektizide, Molluskizide etc.   |
| aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol/Toluol/Xylol/Ethylbenzol + Derivate) | BTEX              | [294]   | <b>Benzol, Toluol, Xylol:</b> Leichtöl<br><b>Benzol, Phenol:</b> Steinkohleteer, Erdöl, mittelschweres Öl, Lösungsmittel, chemische Industrie |
| leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe                             | LHKW              | [294], [274; 290] (für Schlämme bzw. Wasser)  | Kühlmittel, Reinigung, Entfettungsmittel  |
| schwerflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe                             | SHKW              | [273] (für Wasser)  | Pflanzenschutzmittel, Insektizide, Holzschutzmittel   |

## Polychlorierte Dibenzodioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF)

PCDD und PCDF werden oft verallgemeinert als Dioxine behandelt. Sie sind trizyklische, aromatische Ether mit einem bis acht Chloratomen. Wie bei den PCB sind Kongenere möglich, bei den PCDD bis zu 75, bei den PCDF 135. PCDD und PCDF sind nur sehr gering wasserlöslich (Zunahme mit höherem Chlorierungsgrad) sowie lipophil und können sich daher in der Umwelt und Organismen anreichern [183]. PCDD und PCDF werden nie gezielt produziert und entstehen als Unreinheiten bei der industriellen Herstellung von Chemikalien, zum Beispiel chlorierte Phenole, chlorierte Diphenylether und PCB. Außerdem entstehen sie bei der Verbrennung von Klärschlämmen und bei der Produktion von Eisen und Stahl [252]. Einige PCDD/PCDF sind akut toxisch und gelten als karzinogen und die Bildung von Tumoren fördernd [152]. Auch aufgrund der sehr hohen Toxizität der PCDD/PCDF und dl-PCB liegt gemäß der BBodSchV [262] ein Maßnahmenwert für die Dioxine als einzige Stoffgruppe vor. Bis heute treten Belastungen mit Dioxin und PCB in Nahrungs- und Futtermitteln auf. Die Ursachen sind überwiegend auf die ubiquitäre Belastung von Böden und Sedimenten zurückzuführen. Insbesondere in Böden mit hohen Humusgehalten sind hohe Gehalte von Dioxinen und dl-PCB nachgewiesen [236].

MKW sind wesentlicher Bestandteil des Erdöls, die bei der Raffination des Erdöls oder Steinkohlenteers und Fraktionierung in die einzelnen lang- und kurzkettigen Kompartimente aufgespalten werden. In flüssiger Form sind sie brennbar. MKW sind Stoffgemische mit häufig sehr komplexen und variablen Zusammensetzungen mit bis zu Hunderten von einzelnen Verbindungen. Die Gemische enthalten aliphatische, zykoaliphatische sowie aromatische Kohlenwasserstoffe, die zum Teil deutlich unterschiedliche Eigenschaften und Toxizität aufweisen. Des Weiteren können auch polyzyklische Aromaten und Heterozyklen in MKW enthalten sein. Die typischen Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe sind die BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol). Die aliphatischen Kohlenwasserstoffe sind meist Lösemittel, die in Farben, Lacken oder Kunststoffmaterialien (PVC) verwendet werden und leichtflüchtig sind. Die aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffe werden weiter in Fraktionen unterteilt [305].

Die leichtflüchtigen MKW (zum Beispiel Benzin, BTEX) sind im Boden äußerst mobil und können das Grundwasser belasten. Die schwerflüchtigen MKW sind hingegen schwer mobilisierbare, schwer abbaubare hochmolekulare Verbindungen zum Beispiel aus Schmierfetten und -ölen. Generell sind MKW nur selten als akut toxisch zu betrachten, jedoch können sie Hautreizungen verursachen. Da sie auch in Teer und Bitumen vorhanden sind, können sie potentiell durch Verwitterung freigesetzt werden und in den Boden infiltrieren [32]. Im Umfeld von Tankstellen, nach Unfällen und Havarien können sie in den Boden gelangen und diesen kontaminieren.

Pflanzenschutzmittel werden im Gartenbau in vielfältiger Form eingesetzt und sollen zum Schutz vor Pilzen (Fungizide) und Insekten (Insektizide) sowie als Unkrautbekämpfungsmittel (Herbizide) dienen. Sie enthalten eine Vielzahl von organischen Substanzen und Säuren in Form von stickstoffhaltigen oder phosphathaltigen Verbindungen (zum Beispiel Eisen(III)phosphat). Eine Liste der aktuell in Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmittel mit Inhaltsstoffen gibt das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit [269] heraus. Für Trinkwasser haben Greulich & Alder [301] die laboranalytische Methode der Flüssigchromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) eingesetzt, die für Bodenlösungen übertragen werden kann.

Die bekanntesten aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen sind Benzol und dessen Derivate Toluol, Ethylbenzol und Xylol. Sie treten natürlich durch Waldbrände auf. Der anthropogene Anteil aus der industriellen Raffination von Rohöl und der Verbrennung von Gas und Kohle überwiegt bei weitem den natürlichen Anteil. In industriellen Produkten sind sie in Lösungsmitteln, Farben und Entfettungsmitteln enthalten. In den Boden gelangen sie durch Leckagen von Leitungen, Havarien und Unfälle sowie durch unsachgemäß entsorgte Abfälle. Benzol besitzt eine moderate Bindungsfähigkeit an organische Bodensubstanz und andere Sorbenten. Da Benzol im Boden hoch mobil ist, ist vor allem eine Gefährdung des Grundwassers gegeben [8; 74].

Aromatische Kohlenwasserstoffe können unter aeroben und anaeroben Bedingungen im Boden rasch abgebaut und verflüchtigt werden [8; 71], wobei die Durchlüftung und das Sonnenlicht einen entscheidenden Einfluss auf die Abbaugeschwindigkeit nehmen [73]. Als Vertreter der BTEX werden Benzol und Toluol kurz beschrieben:

**Benzol ( $C_6H_6$ ):** Benzol ist eine farblose, brennbare Flüssigkeit. Chronische Aufnahme führt zu Knochenmarkserkrankungen, sowie Leber- und Nierenschäden. Langfristig sind eine karzinogene und erbgutverändernde Wirkung sowie ein erhöhtes Risiko für Leukämie bestätigt.

**Toluol ( $C_7H_8$ ):** Toluol ist eine helle Flüssigkeit mit benzolartigem Geruch und ein Ausgangsprodukt für die chemische Industrie (Lösungsmittel, Sprengstoff). Toluol kann das zentrale Nervensystem, die Leber und die Nieren schädigen und ist vor allem bei chronischer Exposition schädlich. Wie Benzol wird es im Straßenverkehr freigesetzt oder kann durch Leckagen oder von Deponien in den Boden gelangen [9].

LHKW sind halogenierte, meist chlorierte organische Kohlenwasserstoffe, die in Lösungsmitteln, Kühlmitteln enthalten sind und zur Textilreinigung und Entfettung großflächig industriell eingesetzt werden. LHKW sind schwer wasserlöslich und lipophil und wirken gering akut toxisch. Einige Substanzen (Trichlorethen, Vinylchlorid) sind kanzerogen oder stehen im Verdacht kanzerogen zu sein [31; 193]. Im Boden können sie rasch ins Grundwasser gelangen, wo sie eine eigene dichte stabile Phase ausbilden, die biologisch kaum abbaubar ist [228].

SHKW sind wie LHKW schwer wasserlöslich und lipophil. Im Gegensatz zu den LHKW sind sie langkettiger und daher noch schwerer abbaubar. Sie reichern sich in der Umwelt vor allem in fluvilimnischen und marinen Sedimenten an. Zu den wichtigsten Vertretern der SHKW zählen DDT, Hexachlorbenzol und Hexachlorhexan. In der Vergangenheit wurden sie als Insektizide, Pflanzenschutzmittel und Holzschutzmittel eingesetzt.