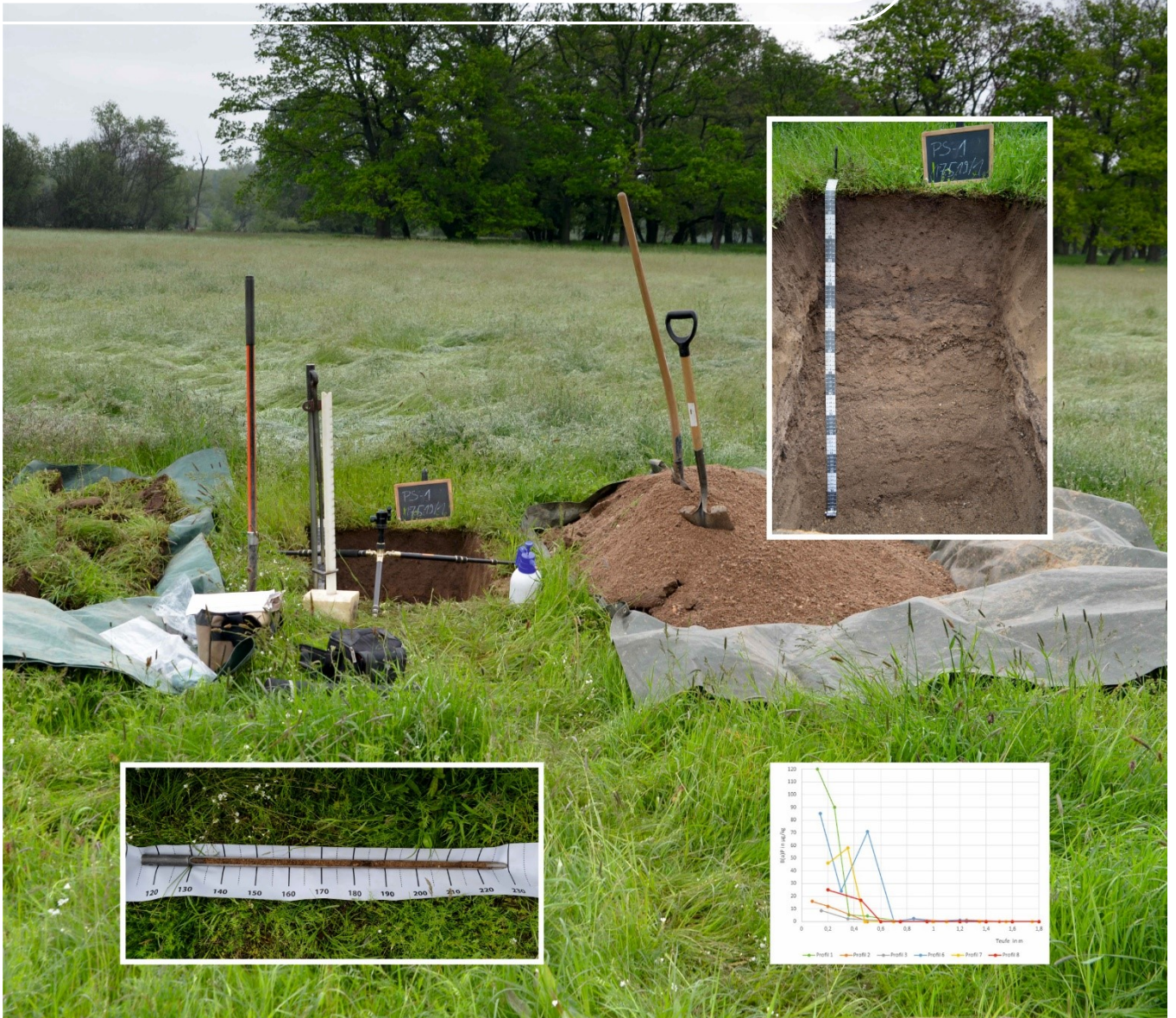


Organische Schadstoffe in sächsischen Auenböden



Organische Schadstoffe in sächsischen Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde

Dipl.-Min. Kati Kardel

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
2	Datengrundlage	8
2.1	Datenvorbereitung	11
2.2	Stoffspektrum	11
3	Stoffgehalte in den Auenböden	12
3.1	PAK ₁₆ und Benzo(a)pyren	12
3.2	DDX	15
3.3	PCB	18
3.4	Lindan (g-HCH) und HCH	20
3.5	HCB	21
3.6	PFAS	22
3.7	PBDE ₆	24
3.8	Organozinnverbindungen	24
4	Zusammenfassung	25
	Literaturverzeichnis	27
	Anhang	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beprobte Standorte in der Aue der Vereinigten Mulde (2014 und 2018/2019)	9
Abbildung 2: Beprobte Standorte in der Aue der Elbe (2021/2022)	10
Abbildung 3: PAK ₁₆ (P50, P90) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	12
Abbildung 4: B(a)P in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde	13
Abbildung 5: PAK ₁₆ -Muster (normiert auf 100 %) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	14
Abbildung 6: Summe DDX in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde	15
Abbildung 7: DDX-Muster (normiert auf 100 %) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	16
Abbildung 8: DDX in den Auenböden (Grünland) der Elbe um Schmilka	17
Abbildung 9: PCB ₇ in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde	18
Abbildung 10: PCB ₆ (P50) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	20
Abbildung 11: Summe HCH (P90) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	21
Abbildung 12: HCB in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde	22
Abbildung 13: PFOA und PFOS (P50) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stoffspektrum, Probenzahlen und Bestimmungsgrenzen der Untersuchungen	11
--	----

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A 1: Perzentile (P50, Median) organischer Stoffe in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg).....	28
Tabelle A 2: Perzentile (P90) organischer Stoffe in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg).....	28
Tabelle A 3: Perzentile (P50, Median) ausgewählter PFAS in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg).....	29
Tabelle A 4: Perzentile (P90) ausgewählter PFAS in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg).....	29

Abkürzungsverzeichnis

A	Ackerland
B(a)P	Benzo(a)pyren
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BG	Bestimmungsgrenze
C _{org}	Organischer Kohlenstoffgehalt im Boden
DBT	Dibutylzinn-Kation
DDD	Dichlordiphenyldichlorethan
DDE	Dichlordiphenyldichlorethen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DDX	DDT und Metabolite (DDD, DDE)
FIS	Fachinformationssystem
G	Grünland
h	Humusstufe nach KA5 (h1 bis h7)
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan (Isomerenmisch aus a-, b-, d-, e-, g-HCH)
g-HCH	gamma-HCH (Lindan)
HMW	high molecular weight (hochmolekular)
H4PFOS	1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LMW	low molecular weight (niedermolekular)
MBT	Monobutylzinn-Kation
n	Anzahl/Stichprobenumfang
NG	Nutzgarten
OZV	Organozinnverbindungen
PAK ₁₆	Summe der 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe nach EPA
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PBDE ₆	Summe von sechs bromierten Diphenylether als Indikator (Nr. 28, 47, 99, 100, 153, 154)
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCB ₆	Summe von sechs polychlorierten Biphenylen als Indikator (Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180)
PCB ₇	Summe von sieben polychlorierten Biphenylen als Indikator (Nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoA	Perfluordodecansäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluorooctansäure
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
PFOSA	Perfluorooctansulfamid
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFUnA	Perfluorundecansäure
P50	50. Perzentil (Median)

P90	90. Perzentil
TBT	Tributylzinn-Kation
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff
VMUL	Vereinigte Mulde

1 Einleitung

Auen sind natürliche Überschwemmungsflächen entlang von Gewässerläufen. Sie sind sowohl artenreicher Lebensraum als auch Wasserreservoir und Rückhaltesystem bei Hochwasserereignissen. Weiterhin bilden sie durch ihre biologische Reinigungsfunktion Senken für viele Stoffe aus den Flüssen und ihren Einzugsgebieten. Die Auen der Elbe und des Muldensystems sind aufgrund der geologischen Gegebenheiten, einer Vielzahl von Erzlagerstätten und einer Jahrhunderte andauernden Gewinnung und Verarbeitung von Erzen in ihren Einzugsgebieten, mehr oder weniger stark mit Schwermetallen belastet. Hinzu kommen Einflüsse industrieller Einleiter entlang der Flussläufe. Vom LfULG wurden in einem Auenmessprogramm in den Jahren 2000–2006 die Schwermetallgehalte in den Böden der größeren sächsischen Flussauen untersucht (KARDEL & RANK, 2008).

Im Jahr 2014 erfolgte in einem Projekt an der Vereinigten Mulde erstmals die Bestimmung organischer Schadstoffe in Oberböden (nur PAK₁₆) an 44 Standorten. Im Rahmen eines weiteren Projekts (KAUFMANN-BOLL ET AL., 2022), welches methodische Untersuchungen zu anorganischen Schadstoffen in ausgewählten Testgebieten durchführte, wurden in den Jahren 2018 und 2019 an 158 Standorten der Vereinigten Mulde Proben entnommen und u. a. auch auf eine größere Anzahl verschiedener organischer Schadstoffe im Oberboden analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass die Auenböden größerer Flüsse z. T. stark mit organischen Schadstoffen belastet sind. Deshalb erfolgte 2021 und 2022 eine weitere Beprobung an 150 Standorten der gesamten sächsischen Elbaue mit einem ähnlichen Stoffspektrum. Die Ergebnisse dieser drei Untersuchungen werden in diesem Bericht vorgestellt.

2 Datengrundlage

Die Datengrundlage der Auswertungen beschränkt sich wie bereits o. g. auf drei Projekte des LfULG zwischen 2014 und 2022. Die bodenkundlichen Profilsprachen und die Entnahme der Bodenproben wurden vom Büro für Bodenkunde Dr. Falk Hieke aus Freiberg (2018, 2019, 2021, 2022) sowie vom Büro für Bodenkunde Ralf Sinapius aus Voigtsdorf (2014, 2018, 2019) durchgeführt. Im Gelände wurden größtenteils Grablöcher bis ca. 60 cm Tiefe bzw. acht Schürfe angelegt und aus diesen horizontbezogene Mischproben gewonnen. Die Proben für die organische Analytik wurden bis zu ihrer Aufbereitung tiefgekühlt.

Vereinigte Mulde

Von den 44 Proben, die 2014 entnommen wurden, entfallen 31 auf Nutzgärten, 2 auf Ackerflächen, 2 auf Grünland und die restlichen 9 auf andere Nutzungen (Wald, Parkanlagen). Die Entnahmestellen der Proben der Gärten sind hinsichtlich ihrer Nutzung heterogen und liegen z. T. in Beeten sowie auf Rasenflächen und ehemaligen Beeten mit beginnender Entwicklung eines Ah-Horizontes. Sie befinden sich häufig in oder in der Nähe von Siedlungsgebieten.

Von den 158 Entnahmestellen der Proben aus den Jahren 2018/2019 liegen 68 auf Ackerflächen, 89 auf Grünlandflächen und 1 im Wald. In diesem Projekt wurden keine Proben in der Nähe größerer Städte bzw. auf urban beeinflussten Nutzungen entnommen. Das Untersuchungsgebiet des Projekts gliederte sich auf Grundlage der Auenmorphologie in drei Teile, die sogenannten Testgebiete Süd, Mitte und Nord. Im Testgebiet Süd wurden ausschließlich Standorte auf einer größeren in Flussnähe liegenden Ackerfläche beprobt, da die Aue dort relativ schmal ist und keine ausgedehnten und häufig überschwemmten Flächen aufweist. In den breiteren Auenabschnitten der Testgebiete Mitte und Nord wurden überwiegend Grünlandflächen und nur wenige im größeren Abstand zum Fluss gelegene Ackerflächen beprobt. Die Datenkollektive des Ackers und Grünlands setzen sich deshalb im Wesentlichen aus den Proben von 2018/2019 zusammen und können Hinweise auf die ubiquitäre Belastung der Vereinigten Mulde mit organischen Schadstoffen geben. Das Datenkollektiv des Nutzgartens besteht ausschließlich aus Proben von 2014 mit Bezug zu Urbanität. An acht Standorten wurden 2019 statt der Grablöcher tiefere Schürfe von 1,5 bis 2,5 Metern Tiefe angelegt, an deren

Unterbodenproben ebenfalls organische Stoffe analysiert wurden. Damit bestand die Möglichkeit das lokale Verhalten der Schadstoffe im Tiefenprofil zu sehen. Eine detaillierte bodenkundliche Beschreibung der Schurfprofile mit Lageplan, Foto und Diagrammen zu den Tiefenverteilungen der anorganischen Stoffgehalte befindet sich im Anhang des Berichts von KAUFMANN-BOLL ET AL., 2022.

Alle beprobten Standorte sind mit ihrer Nutzung in der Abbildung 1 dargestellt.

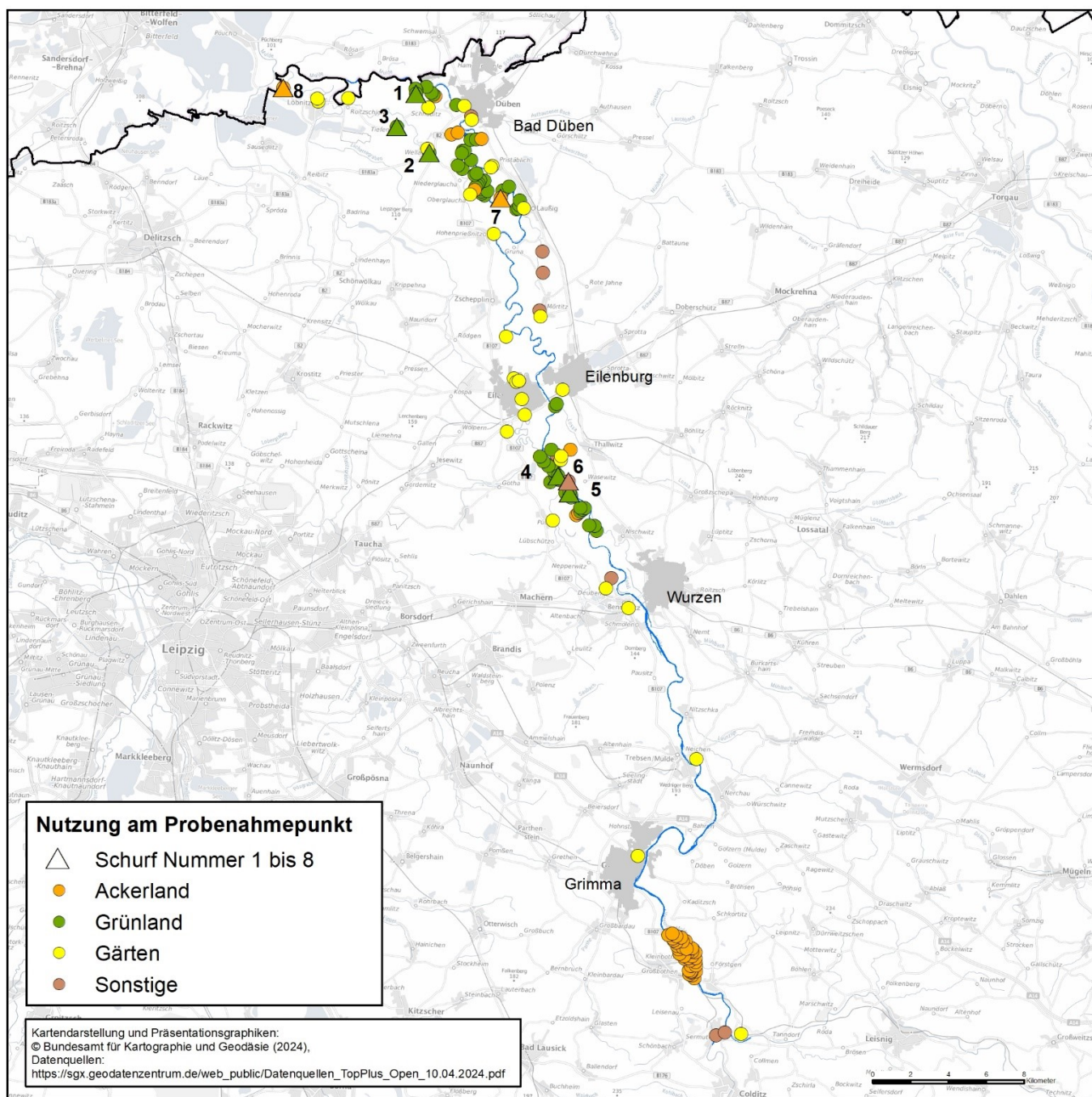


Abbildung 1: Beprobte Standorte in der Aue der Vereinigten Mulde (2014 und 2018/2019)

Elbe

Von den 150 Standorten der Elbaue liegen 51 auf Acker- und 99 auf Grünlandflächen (Abbildung 2). Das Probenahmegebiet deckt den gesamten Bereich der sächsischen Elbaue ab, d. h. Gebiete hoher Siedlungsdichte (z. B. Dresden) wechseln mit weniger dicht besiedelten Gebieten (Nordsachsen). Aufgrund der unzureichenden Probenzahlen war es nicht möglich, einzelne Flussabschnitte auf dieser Grundlage auszugliedern und separat auszuwerten. Die Proben mit den höchsten Gehalten organischer Schadstoffe liegen aber fast immer in den Abschnitten hoher Siedlungs- und Industriedichte.

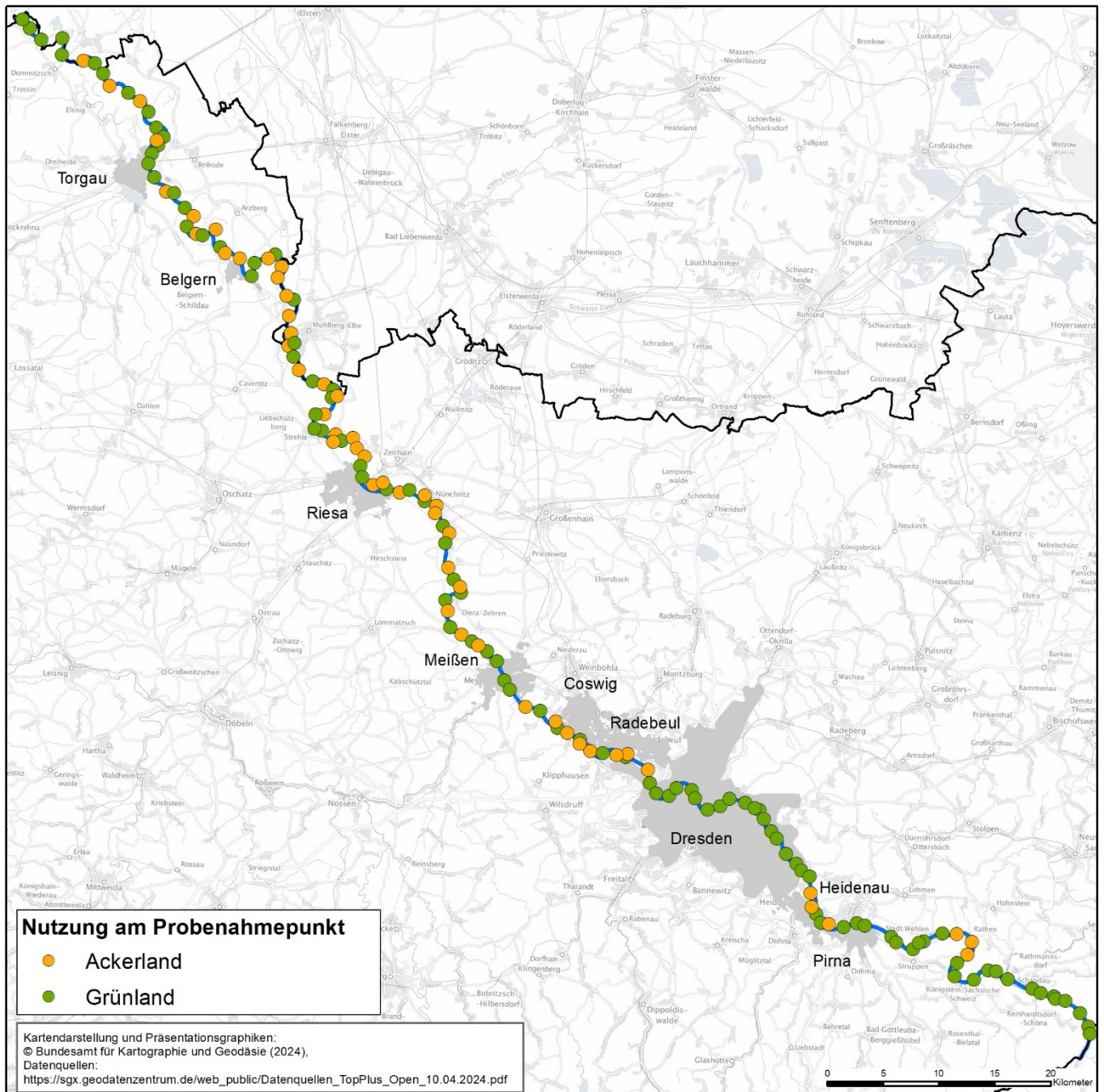


Abbildung 2: Beprobte Standorte in der Aue der Elbe (2021/2022)

Die Aufbereitung und Analytik aller Proben erfolgte in der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) im Fachbereich 51 Feststoffanalytik in Nossen mit gleicher Labortechnik und ähnlichen Bestimmungsgrenzen (Tabelle 1). Da somit ein relativ einheitliches Datenkollektiv mit niedrigen Bestimmungsgrenzen existierte, konnten die Analysendaten der Auenböden separat analog der Hintergrundwertberechnung Organik (KARDEL & MÜLLER, 2021) für die Nutzungen Acker, Nutzgarten und Grünland ausgewertet werden. Eine Unterteilung nach Siedlungskategorien wurde in den Auen nicht vorgenommen, da eine klare Abgrenzung aufgrund der verschiedenen Eintragspfade schwierig ist.

2.1 Datenvorbereitung

Alle Datensätze wurden vor der Bearbeitung mit ihren allgemeinen Kenndaten und bodenkundlichen Informationen aus dem Fachinformationssystem Boden (FIS Boden) exportiert. Bei der Datenvorbereitung in Excel wurden die Datensätze der Proben aus der Datei entfernt, die sich nicht in die drei Hauptnutzungsarten Acker, Nutzgarten oder Grünland einordnen ließen oder stark erhöhte Humusgehalte bzw. bodenkundliche Anomalien aufwiesen. Die C_{org} -Gehalte wurden nach der KA5 in Humusstufen umgerechnet. Analysenergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenzen wurden für die statistische Auswertung analog der lower-bounds-Methode durch Null ersetzt. Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programm SPSS. Vor Berechnung der statistischen Kennwerte wurden die Extremwerte aus dem jeweiligen Datenkollektiv entfernt.

2.2 Stoffspektrum

Das Stoffspektrum der Untersuchungen von 2014 an der Vereinigten Mulde umfasste nur die PAK₁₆. Die sich anschließenden Projekte beinhalteten weitere organische Parameter – HCH, HCB, DDX, PCB₇, Organozinnverbindungen, PBDE₆ sowie PFAS. Im Projekt an der Vereinigten Mulde von 2018/2019 wurden nur zwei PFAS-Substanzen analysiert, in dem Projekt an der Elbaue von 2021/2022 waren es bereits fünfzehn Einzelsubstanzen im Feststoff. Das Stoffspektrum der Projekte ist mit den jeweiligen Probenanzahlen und Bestimmungsgrenzen in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Stoffspektrum, Probenzahlen und Bestimmungsgrenzen der Untersuchungen

Projekt	Vereinigte Mulde 2014 (n=44)	Vereinigte Mulde 2018/2019 (n=158)	Elbe 2021/2022 (n=150)
Stoffgruppe	Bestimmungsgrenzen in µg/kg		
PAK ₁₆	2	1	1
HCH	-	0,05	0,05
HCB	-	0,15	0,15
DDX	-	0,10 - 0,30	0,10 - 0,30
PCB ₇	-	0,05	0,05
OZV (8 Substanzen)	-	1,0 - 5,0	1,0 - 5,0
PBDE ₆	-	0,10	0,10
PFAS (2 Substanzen)	-	2,0 - 5,0	-
PFAS (15 Substanzen)	-	-	0,10 - 0,20

Legende: - nicht analysiert

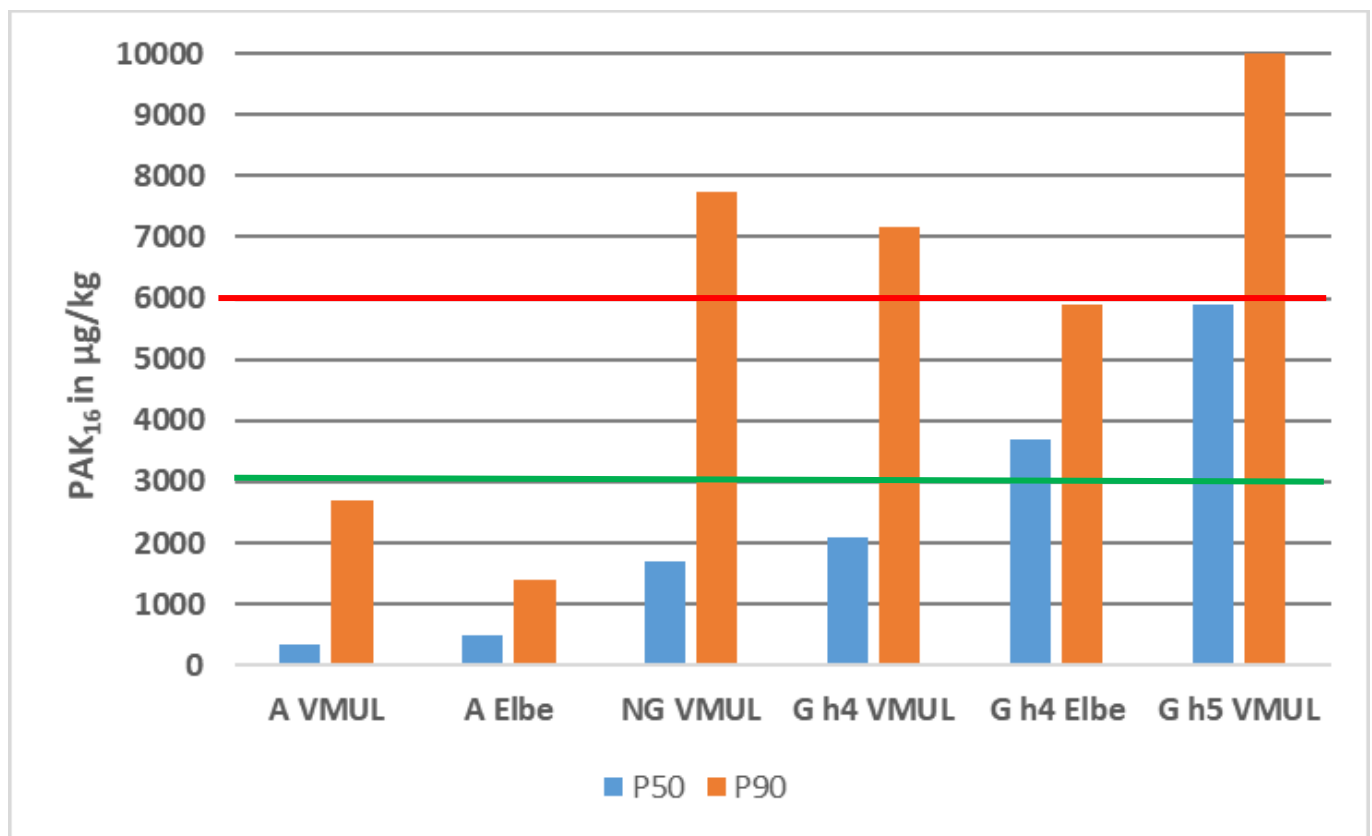
3 Stoffgehalte in den Auenböden

In den folgenden Kapiteln werden die Gehalte der einzelnen Stoffe und Stoffgruppen in den Auenböden der beiden Flüsse allgemein beschrieben und miteinander verglichen.

3.1 PAK₁₆ und Benzo(a)pyren

Vereinigte Mulde

Die Perzentile 50 und 90 der PAK₁₆ differieren zwischen den Nutzungen Acker- und Grünland sehr stark. Die Medianwerte (P50) der Grünlandstandorte sind etwa zehnmal so hoch wie die der Ackerstandorte. Bei einer weiteren Differenzierung nach der Humusstufe haben die Oberböden unter Grünland mit der Humusstufe 5 ca. dreimal höhere P50 als die der Humusstufe 4. Bei den P90 ist das Verhalten innerhalb der Nutzungen ähnlich aber nicht in den o. g. Größenordnungen. Die Perzentile der Böden in den Nutzgärten ähneln denen der Grünlandstandorte in der vergleichbaren Humusstufe. Der Vorsorgewert von 3.000 µg/kg (TOC bis 4 %, entspricht etwa h4) bzw. 6.000 µg/kg (TOC > 4% bis 9 %) für PAK₁₆ wird mit den P50 von keinem Datenkollektiv (Abbildung 3, VMUL) und mit den P90 von beiden Datenkollektiven des Grünlands und dem der Nutzgärten überschritten.



Legende: grüne Linie Vorsorgewert bis 4% TOC (h4); rote Linie Vorsorgewert von 4% bis 9% TOC (h5)

Abbildung 3: PAK₁₆ (P50, P90) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Auch B(a)P ist in den Auenböden angereichert. Die Unterschiede zwischen den Nutzungen Acker- und Grünland sind ebenfalls deutlich ausgeprägt und die Werte nehmen in den Böden der Humusstufe 5 des Grünlands die höchsten Gehalte innerhalb der Datenkollektive an. Ähnlich hohe bzw. höhere Gehalte haben in Abhängigkeit von der Siedlungskategorie bei den terrestrischen Böden nur die Hintergrundwerte für Böden auf städtischen Grünflächen

(KARDEL & MÜLLER, 2021). Der Vorsorgewert von 300 (TOC bis 4 %, entspricht etwa h4) bzw. 600 µg/kg (TOC > 4 % bis 9 %) B(a)P wird von den Datenkollektiven des Grünlands und Nutzgärten im P90 überschritten.

Die Analysenwerte der Schürfe zeigen eine hohe Variabilität der PAK₁₆ und B(a)P-Gehalte untereinander. Die auf Grünland und in unmittelbarer Gewässernähe liegenden Profile 4 und 5 (Abbildung 1) zeigen gegenüber den anderen Profilen extreme Anreicherungen (Abbildung 4), auch bis in größere Tiefen. Bei vier von den acht Schurfprofilen (Profile 1–3 und 8) sind B(a)P und PAK₁₆ im obersten Horizont am höchsten angereichert und fallen nach der Tiefe kontinuierlich bis auf Analysenwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze ab (Abbildung 4). Bei vier Profilen, darunter auch die Profile 4 und 5 im rezenten Überflutungsbereich, sind sie im ersten Oberbodenhorizont gegenüber den darunter folgenden ein bis zwei Horizonten niedriger. Das deutet auf eine Abnahme der Belastung in den rezenten Auensedimenten und Schwebstoffen hin.

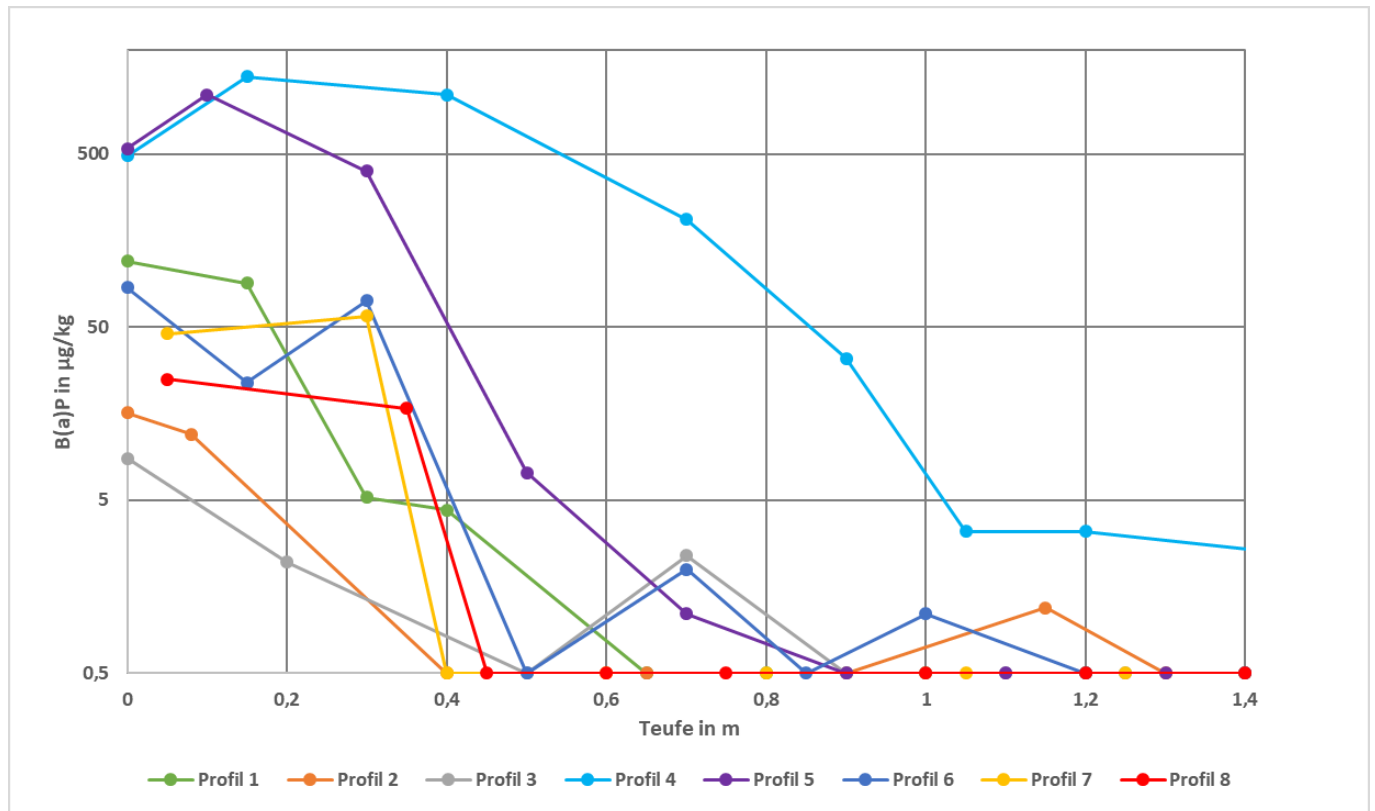


Abbildung 4: B(a)P in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde

Der Anteil von nieder- zu hochmolekularen PAK₁₆ verhält sich bei der Nutzung Acker ähnlich wie in den terrestrischen Böden und liegt bei etwa 15 % zu 85 % (Abbildung 5). Im Grünland beträgt der Anteil der LMW-PAK₁₆ ca. 12 % und nimmt bei Unterteilung nach Humusstufe mit zunehmendem Humusgehalt leicht ab. Der Anteil der LMW-PAK₁₆ ist auf Grünlandstandorten der terrestrischen Böden des ländlichen Raumes von Sachsen bei vergleichbarer Humusstufe mit ca. 30 % deutlich höher als in den Auenböden (Abbildung 5, Säule ganz rechts). Wahrscheinlich liegt in den Auenböden ebenfalls ein prozentual höherer Anteil von HMW-PAK₁₆ vor, der auch in den terrestrischen Grünlandböden mit steigender Siedlungsdichte und urbaner Nutzung (Siedlungsgrünflächen) deutlich zunimmt und dadurch das Verhältnis der Anteile zueinander verschiebt.

Elbe

Ebenso wie in der Vereinigten Mulde unterscheiden sich die Perzentile 50 und 90 von B(a)P und PAK₁₆ der Nutzungen Acker und Grünland deutlich voneinander. Die Gehalte der Böden im Grünland betragen in etwa das Achtfache der Gehalte in Ackerböden bei den P50- und das Vierfache bei den P90-Werten. Die o. g. Prüfwerte für PAK₁₆ und

B(a)P werden in dem Datenkollektiv des Grünlands (überwiegend h4) bereits mit dem P50 (Abbildung 3) überschritten. Die PAK₁₆-Gehalte schwanken im Verlauf der Elbe stark. Tendenziell sind die Gehalte in dem Flussabschnitt von Schöna bis Bad Schandau noch relativ hoch und sinken bis Dresden in Gebieten mit wenig Siedlungseinfluss immer wieder ab. In Dresden steigen sie wieder an und hinter Meißen treten nur noch vereinzelt Standorte mit extrem hohen Gehalten auf.

Der Anteil von niedermolekularen PAK₁₆ ähnelt bei allen Nutzungen dem der Vereinigten Mulde und liegt bei ca. 12–13 %.

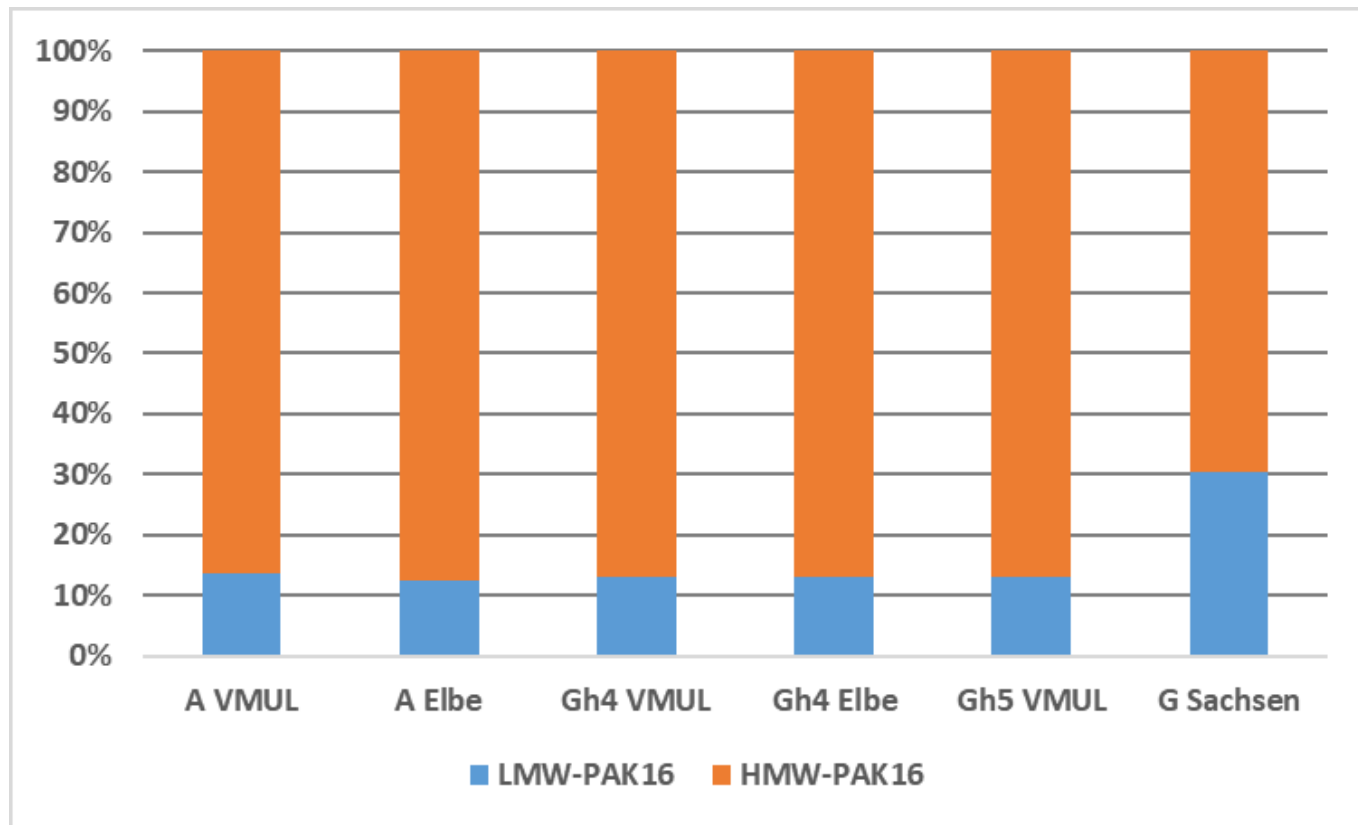


Abbildung 5: PAK₁₆-Muster (normiert auf 100 %) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Zusammenfassung und Vergleich

Die PAK₁₆-Gehalte liegen in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe auf hohem Niveau, die Gehalte der Böden auf Grünland übersteigen die des Ackerlands um ein Vielfaches. Besonders deutlich wird das beim Vergleich mit den Hintergrundwerten der terrestrischen Böden – die P50 der B(a)P- und PAK₁₆-Gehalte im Grünland der Auenböden übertreffen sogar die vergleichbaren Hintergrundwerte (P50) der Siedlungsgrünflächen im Verdichtungsraum (KARDEL & MÜLLER, 2021).

Die PAK₁₆-Gehalte in der Elbaue sind innerhalb gleicher Nutzungen und ähnlicher Humusklassen signifikant höher als in der Vereinigten Mulde. In der Humusstufe 5, welche statistisch auswertbar nur in den Auenböden der Vereinigten Mulde auftritt, übertreffen die B(a)P- und PAK₁₆-Gehalte aber die der Elbaue bei Humusstufe 4 (Abbildung 3). Die Belastung entspricht den Erwartungen, da in der Elbaue im Gegensatz zur Vereinigten Mulde auch Standorte im Bereich größerer Siedlungsgebiete (Dresden) beprobt wurden. Eine Ausnahme bilden die Böden der Nutzgärten der Vereinigten Mulde, die häufig in Siedlungsnähe liegen und deshalb ebenfalls etwas höher belastet sind. Der Transport der PAK₁₆ in die Auenböden erfolgt über den Luft- und Wasserpfad und die Anreicherung hängt deutlich vom Humusgehalt der Böden und von der Entfernung zum Fluss bzw. der Überschwemmungshäufigkeit ab. Da sich bei den Schurfprofilen im rezenten Überflutungsbereich der Vereinigten Mulde eine Abnahme der PAK₁₆ im obersten Horizont andeutet, liegt eine Abnahme der Belastung in den Gewässern nahe.

3.2 DDX

Vereinigte Mulde

Die DDX-Gehalte sind auf den Ackerflächen deutlich geringer als auf den Grünlandflächen und sie steigen mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Medianwerte (P50) betragen im Grünland etwa das Dreifache, die P90 das An-dertalbfache der Ackerstandorte. Im Grünland erhöhen sich die Gehalte noch einmal deutlich von der Humusstufe 4 zur Humusstufe 5.

In den acht Tiefenprofilen der Abbildung 6 ist wieder die hohe Schwankungsbreite der Gehalte in Abhängigkeit von der Lage der Profile ersichtlich. Vier Profile (davon drei in Flussnähe, siehe Abbildung 1) weisen im ersten Unterbodenhorizont deutlich höhere DDX-Gehalte auf als im Oberboden, was für eine Abnahme des Eintrags im rezenten Überschwemmungsbereich spricht. In den anderen Profilen, die meist in größerer Entfernung vom Fluss oder hinter einem Deich liegen, bleiben die Gehalte in den oberen zwei Horizonten in etwa gleich oder nehmen durch die ubiquitäre Belastung im Oberboden zu. Die niedrigsten Gehalte weist das Profil 6 auf, welches sich in einem Waldgebiet hinter dem Deich befindet.

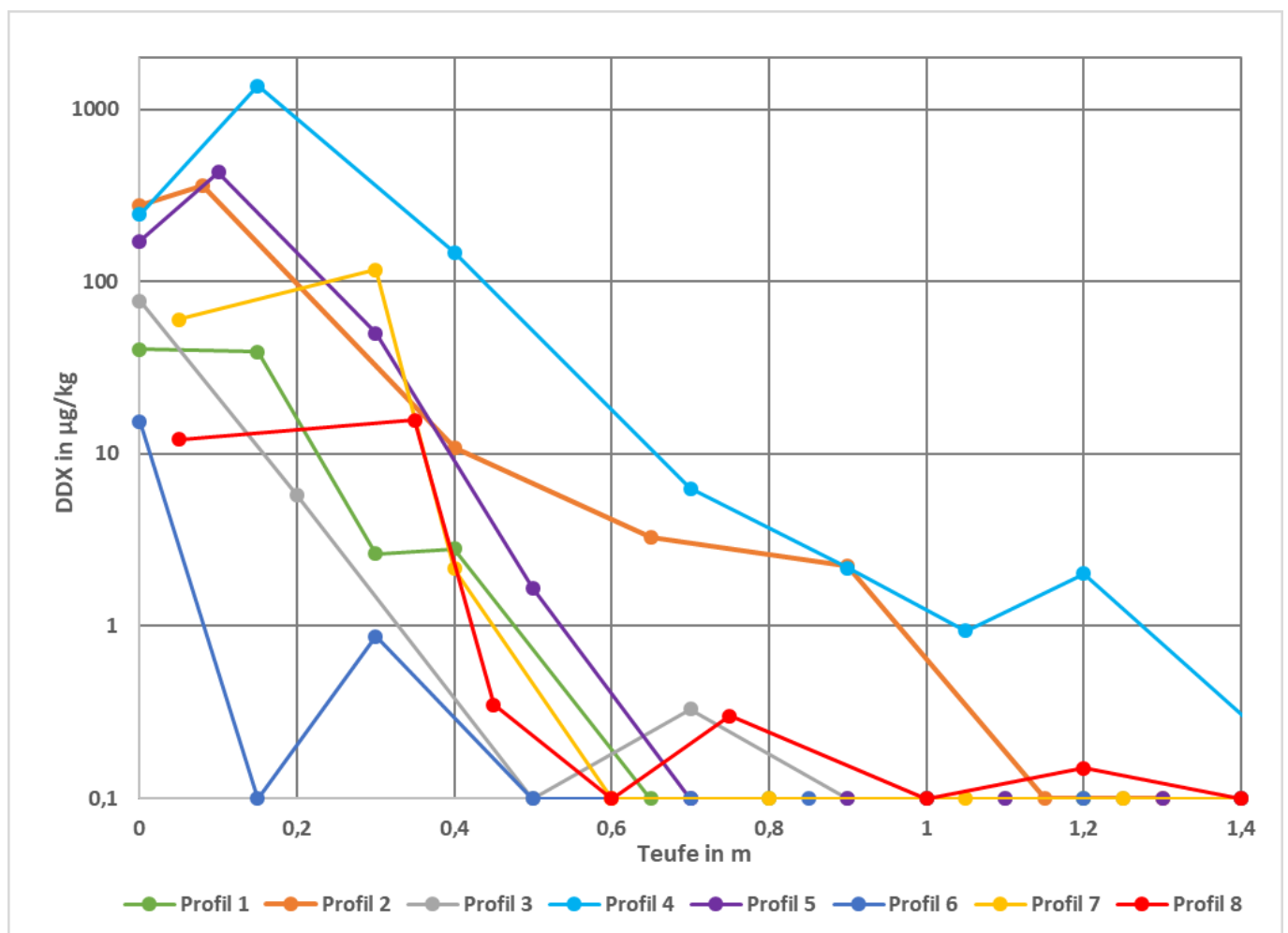


Abbildung 6: Summe DDX in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde

Das Abbauverhalten des Hauptwirkstoffs DDT variiert in den Böden in Abhängigkeit von ihrer Nutzung. Während bei Ackernutzung der größte Teil des Stoffs zu DDE abgebaut wird, entfallen im Grünland die Abbauprodukte unabhängig vom Humusgehalt in etwa hälftig auf DDE und DDD. (Abbildung 7). DDD wird überwiegend beim Abbau unter

reduzierenden Bedingungen gebildet, die Ackerstandorte sind durch Pflügen und tiefer wurzelnde Pflanzen sowie durch ihre primär „trockenere“ Lage in der Aue besser durchlüftet. Zum Vergleich zeigt die Säule ganz rechts in der Abbildung 7 das Abbauverhalten für die terrestrischen Grünlandböden im ländlichen Raum von Sachsen. Hier sieht man den deutlich geringeren DDD- und den höheren DDE-Anteil gegenüber den Grünlandböden der Auen.

Von dem ursprünglichen Anteil des Hauptwirkstoffs p,p-DDT in der industriellen Originalsubstanz (ca. 80 %) sind in den Böden der Vereinigten Mulde nur noch ca. 40 % oder weniger vorhanden, der Rest wurde bereits abgebaut. Das entspricht in etwa auch dem Anteil in den terrestrischen Böden von Sachsen.

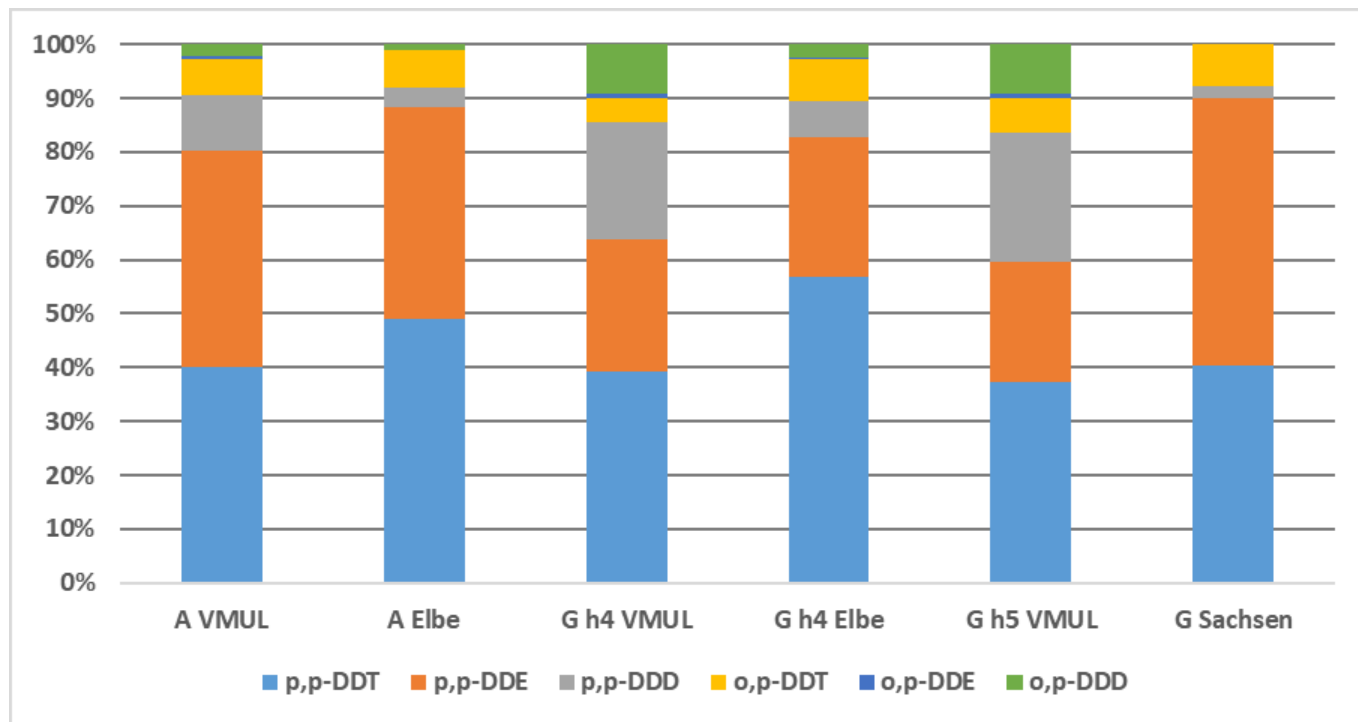


Abbildung 7: DDX-Muster (normiert auf 100 %) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Elbe

In den Böden der Elbeaue ist ebenfalls eine deutlich höhere Anreicherung der DDX im Grünland gegenüber dem Acker nachweisbar. Die Mediangehalte (P50) betragen in Grünlandböden das Acht- bis Neunfache, die P90 das Siebenfache der Gehalte in Ackerböden. In der Elbe besteht zusätzlich eine hohe räumliche Variabilität der Einzelwerte. Es wechseln über den gesamten Flussverlauf Bereiche mit hoher und niedriger Belastung, oft auch an gegenüberliegenden Ufern. Es gibt vereinzelt Standorte mit extrem hohen Gehalten in Siedlungsgebieten aber auch im ländlichen Raum ohne Siedlungsnähe. Tendenziell treten die höchsten Gehalte auf Grünlandflächen in Ufernähe auf und sinken mit zunehmender Entfernung vom Gewässer deutlich ab. Interessant ist ebenfalls das unterschiedliche Abbauverhalten einzelner Standorte. Der Medianwert zeigt das Vorhandensein von noch ca. 55 % DDT in den Grünlandstandorten an, in den Ackerstandorten etwas weniger. An zwei Standorten vor Schmilka (Abbildung 8) sind dagegen noch zwischen 60 bis 70 % DDT und extrem hohe Gesamtkonzentrationen zu finden. Nach Schmilka fallen die Gehalte der einzelnen Kongenere schnell wieder auf das Niveau der Medianwerte (P50) in den Grünlandböden der Elbeaue (G h4 Elbe, Abbildung 8) ab. Es liegt der Verdacht nahe, dass in diesen Fällen noch vor kürzerer Zeit Originalsubstanz in die Elbe eingetragen wurde. Bereits in einer Beprobung von 2015 wurde an drei Proben bei Schmilka prozentual höhere DDT-Gehalte als üblich nachgewiesen.

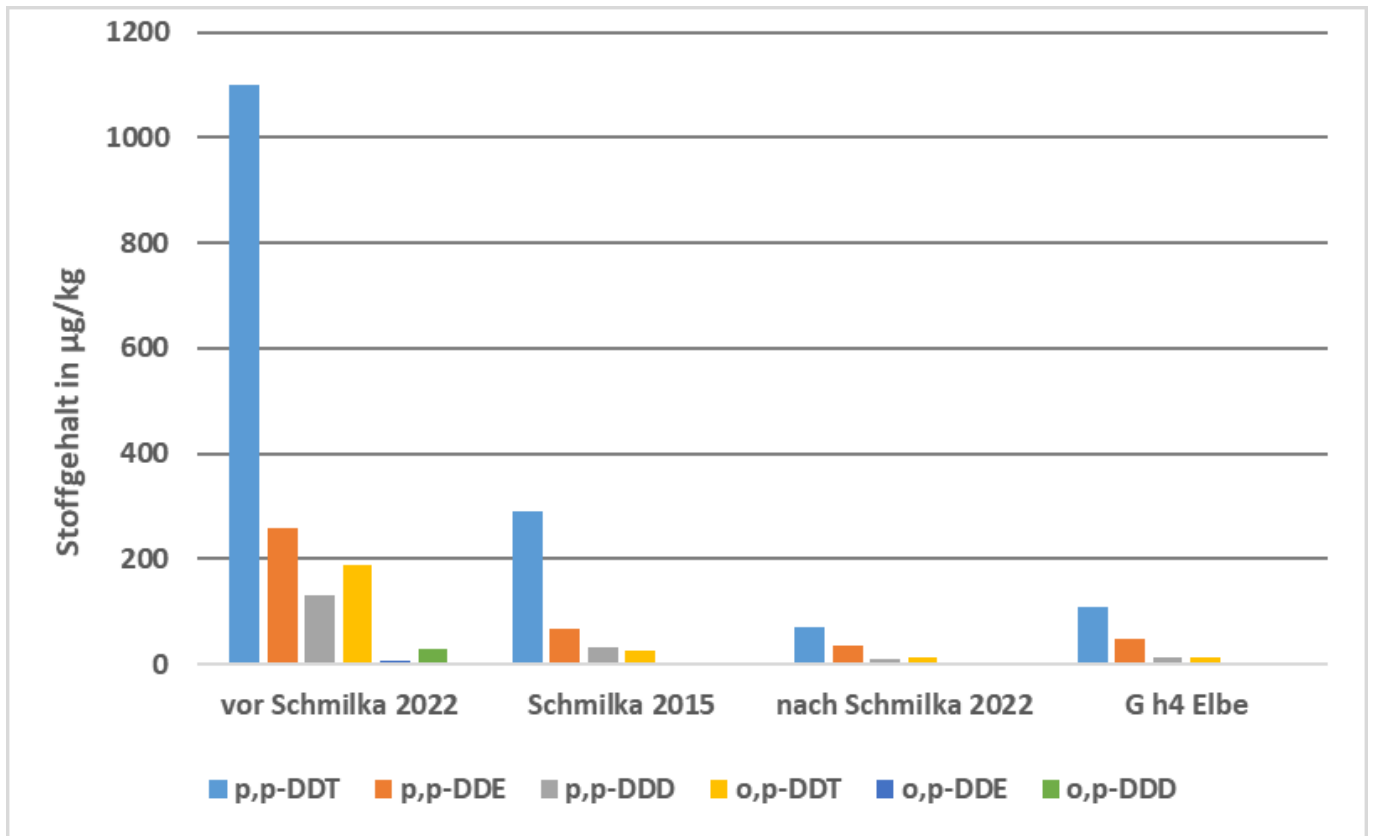


Abbildung 8: DDX in den Auenböden (Grünland) der Elbe um Schmilka

Zusammenfassung und Vergleich

Die DDX-Gehalte in den Auenböden sind gegenüber den Hintergrundwerten sehr stark erhöht. Die P50 von Acker und Grünland der terrestrischen Böden schwanken innerhalb der Siedlungskategorien zwischen 5 und 10 µg/kg, die der Auenböden zwischen 23 und 200 µg/kg. Entsprechend verhalten sich auch die P90. In beiden Auen besteht ein ausgeprägter Unterschied der DDX-Gehalte zwischen Acker und Grünland dahingehend, dass die Werte im Grünland die des Ackers um ein Vielfaches überschreiten. Die in den terrestrischen Böden erkennbare leichte Zunahme von DDX in den Ackerböden ist in den Auenböden durch die Überlagerung der Eintragspfade nicht zu beobachten.

In der Elbaue sind die Mediangehalte (P50) in den Ackerböden etwa halb so hoch wie in der Vereinigten Mulde, im Grünland ist das Verhalten dagegen deutlich gegenläufig. Die Grünlandböden der Elbe haben in der vergleichbaren Humusklasse doppelt so hohe Gehalte, die auch nicht von den Grünlandböden mit der höheren Humusklasse 5 der Vereinigten Mulde erreicht werden.

Es ist anzunehmen, dass DDX zum großen Teil über den Wasserpfad transportiert und durch häufige Überschwemmungen in den flussnahen Auenböden (meist Grünland) angereichert wurden und werden. Dafür spricht auch der große Unterschied zwischen Acker- und Grünland, der nicht alleine durch den Humusgehalt und die Vermischung bei der Bodenbearbeitung zu erklären ist. Da der Wirkstoff DDT als Kontakt- und Fraßgift für Insekten überwiegend auf Ackerflächen und in der Forstwirtschaft angewendet wurde ist seine Verlagerung in die Grünlandböden der Auen durch Abtragung belasteter Standorte im Einzugsgebiet bzw. durch industrielle Einleitung zu erklären. Der Eintrag in die Elbe ist und war höher als in die Vereinigte Mulde. Aus der Abnahme der Gehalte in den obersten Horizonten gewässernaher Profile mit periodischen Überschwemmungen lässt sich die Tendenz zur Abnahme von DDX in den Gewässersedimenten ableiten.

3.3 PCB

Vereinigte Mulde

Die Gehalte der PCB₆ bzw. PCB₇ sind auf den Grünlandstandorten der Auenböden ebenfalls deutlich höher als auf Ackerstandorten. Bei den P50 beträgt der Anreicherungsfaktor in etwa das Zehnfache, bei den P90 das Sechsfache. Mit Zunahme der Humusstufe im Grünland steigen auch die PCB-Gehalte an. Die PCB₆ setzen sich in allen Datenkollektiven (Acker und Grünland) zu ähnlichen prozentualen Anteilen aus den Kongeneren 101, 138, 153 und 180 zusammen, die niederchlorierten Kongenere 28 und 52 liegen wegen ihrer höheren Abbaubarkeit häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/kg.

In den acht Schurfprofilen sind PCB häufig nur in den ersten zwei bis drei humoseren Horizonten oberhalb der Bestimmungsgrenzen nachweisbar. Die Abbildung 9 zeigt die höchsten PCB₇-Gehalte in den beiden langjährigen Grünlandprofilen 4 und 5 im rezenten Überschwemmungsbereich. Die Schurfprofile 7 und 8 wurden auf Ackerstandorten angelegt, die Profile 1, 2 und 6 sind ehemalige Ackerstandorte. Diese Profile weisen aufgrund ihrer Lage in größerer Entfernung zum Gewässer bzw. hinter Deichen und ihrer Nutzung eine deutlich geringere Anreicherung von PCB₇ auf. Bei den Profilen mit den höchsten Gehalten ist ebenfalls deutlich der ansteigende Gehalt im ersten Unterbodenhorizont gegenüber dem Oberboden erkennbar, was für die Abnahme der PCB₇-Gehalte in den jüngeren Sedimenten spricht. Auch beim Profil 7, welches sich auf einer Ackerfläche befindet, aber noch in Flußnähe liegt, deutet sich diese Tendenz bei insgesamt deutlich niedrigeren Gehalten an. Die Proben der Standorte in größerer Entfernung vom Fluss bzw. hinter aktuellen Deichen weisen ansonsten fast immer höhere Gehalte im obersten Bodenhorizont auf.

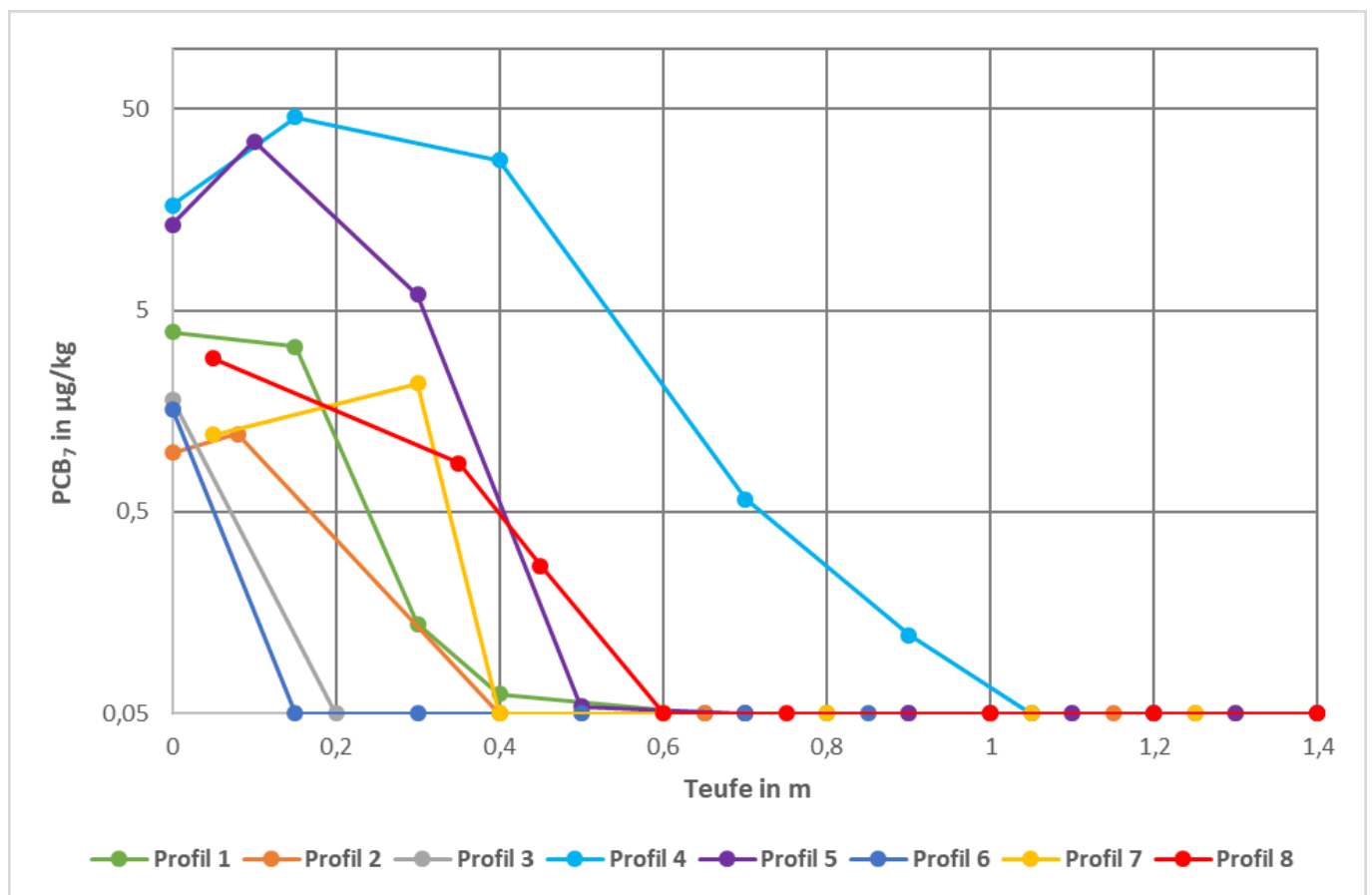


Abbildung 9: PCB₇ in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde

Elbe

Die PCB-Gehalte in den Böden der Elbaue sind ebenfalls im Grünland gegenüber dem Ackerland deutlich angereichert, bei den P50 um etwa das Vierzigfache, bei den P90 um das Dreißigfache. Auch in der Elbaue ähneln sich die Anteile der Kongenere an der Gesamtsumme PCB innerhalb der Datenkollektive Acker und Grünland. Im Grünland ist zusätzlich ein sichtbarer Anteil der PCB 28 und 52 zu beobachten. Dieser ist möglicherweise durch die deutlich höhere Gesamtbelastung und somit durch das Überschreiten der Bestimmungsgrenzen bei den niederchlorierten Kongeneren bedingt.

Da die höher chlorierten Verbindungen in allen Umweltmedien chemisch und thermisch sehr stabil sind und häufig über das (Ab-)Wasser von Industrie und Bergbau transportiert wurden, reicherten sie sich bevorzugt in den Flusssedimenten und den daraus entstehenden Auenböden an. PCB gelangen heute noch teilweise über Einleiter industrieller Altstandorte bzw. infolge von Remobilisierung belasteter Altsedimente (Hochwasser, Baggerarbeiten in Gewässern) in die Vorfluter. 2015 wurden nach einem PCB-Schadensfall bei einer Brückensanierung in Usti nad Labem stark erhöhte PCB-Gehalte in den Schwebstoffmischproben in der Elbe bei Schmilka nachgewiesen. Eine zeitnahe Beprobung von drei Grünlandstandorten durch das LfULG ergab in den rechtselbischen Auenböden bei Schmilka erhöhte Gehalte, die sich aber in die aktuelle Belastungssituation von 2021 (Abbildung 10) einfügen. Interessant ist, dass bei den 2015 beprobten Standorten die unteren Bodenhorizonte (< 10 cm) immer höhere Gehalte aufwiesen als der jeweilige Oberboden. Das lässt darauf schließen, dass die Belastung mit PCB in der Elbe ebenfalls im Laufe der letzten Jahre zurückgegangen ist. Die Kongenerenverhältnisse von höher zu niedrig chlorierten PCB wiesen sowohl 2015 als auch 2021 nicht auf einen kürzlichen Eintrag höher chlorierter PCB in die Auenböden hin.

Zusammenfassung und Vergleich

Die PCB sind in den Auenböden vor allem auf Grünlandstandorten angereichert. Die P50 erreichen Werte zwischen 5,6 und 44 µg/kg. Die vergleichbaren P50 der Hintergrundwerte terrestrischer Böden liegen mit Ausnahme der Gehalte der Siedlungsgrünflächen im Verdichtungsraum immer unter 1 µg/kg. Diese Unterschiede sind ebenfalls bei den Ackerböden erkennbar, aber deutlich geringer ausgeprägt als bei Grünland. Der Hintergrundwert P50 der terrestrischen Ackerböden im Verdichtungsraum liegt nur unwesentlich unter dem der Auenböden (KARDEL & MÜLLER, 2021). Das 90er Perzentil für die Grünlandböden der Elbaue erreicht Gehalte > 100 µg/kg, bei den Hintergrundwerten Sachsens weisen die Datenkollektive der Waldböden und der Siedlungsgrünflächen im Verdichtungsraum als am höchsten belastete Böden einen 90er Perzentilwert für PCB₆ von ca. 5 µg/kg im Oberboden auf.

Vergleicht man die PCB-Gehalte der beiden Auen miteinander, fallen vor allem die um Größenordnungen höheren Gehalte in den Grünlandböden der Elbaue auf (Abbildung 10). Die Gehalte in den Ackerböden sind ebenfalls höher, aber nicht in den gleichen Dimensionen. Die deutlich höhere Belastung der Elbaue mit PCB ist z. T. bedingt durch den Eintrag aus dem tschechischem Territorium, da die Sedimente in diesem Einzugsgebiet deutlich höher belastet sind (ELSA, 2016). In beiden Auen scheinen die PCB-Gehalte an flussnahen Standorten in den Oberböden gegenüber den tieferen Horizonten abzunehmen, was auf eine generelle Abnahme in den jüngeren Flusssedimenten hindeutet. In den weiter vom Fluss entfernten Standorten sind dagegen meist die obersten Horizonte höher belastet (ubiquitärer Eintrag). Die Verteilung der Kongenere ist in der Elbaue etwas anders als in der Vereinigten Mulde. Der Anteil der Kongenere 153 und 180 ist dort auf Kosten des Kongeners 138 etwas erhöht.

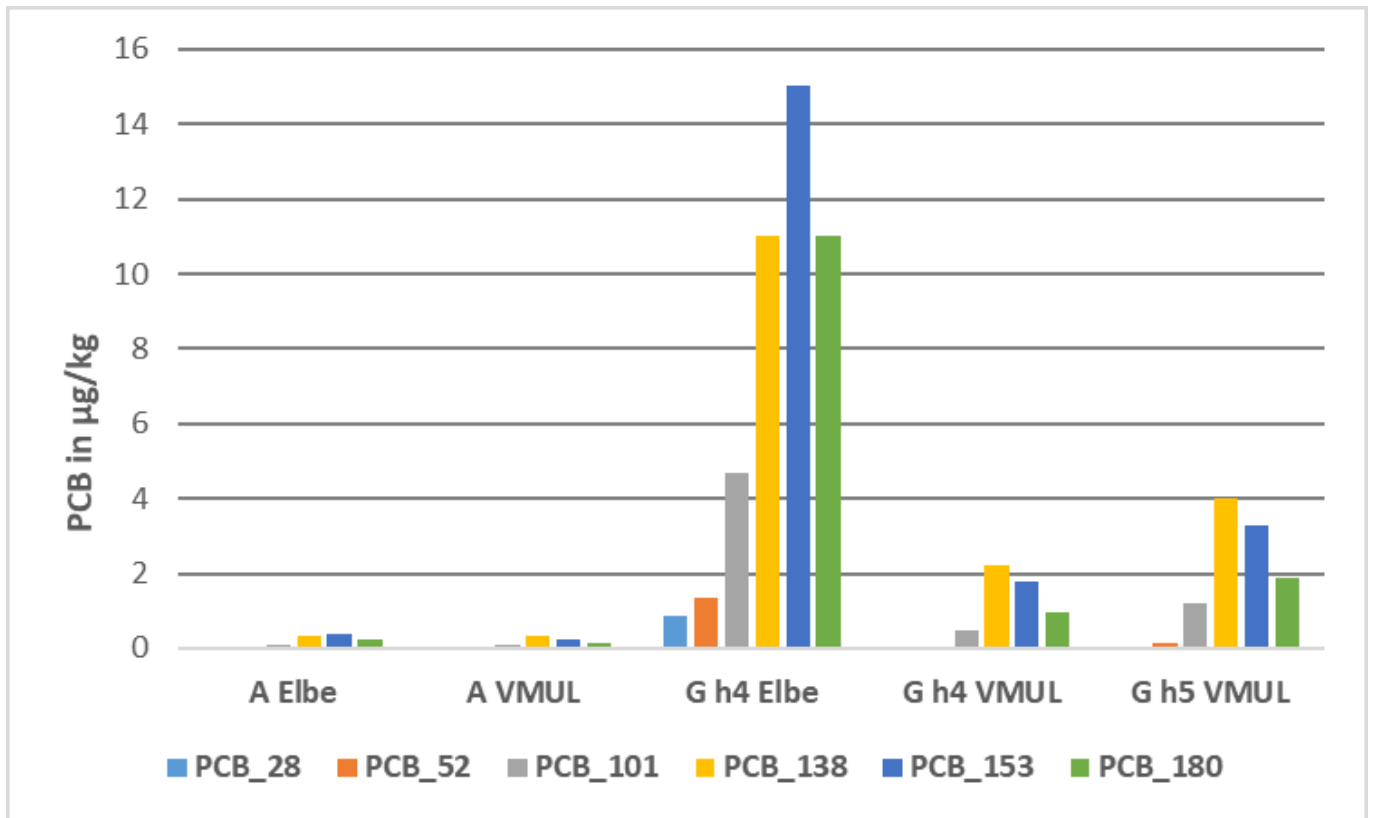


Abbildung 10: PCB₆ (P50) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Der Vorsorgewert (50 µg/kg für Böden mit TOC-Gehalten < 4 %) für die Summe PCB₆ und PCB-118 wird von den Datenkollektiven der Vereinigten Mulde weder im P50 noch im P90 überschritten. Die Datenkollektive der Auenböden Elbe überschreiten diesen Wert im P90 der Grünlandböden. Im Flussverlauf der Elbe wird der Vorsorgewert bei den Einzelwerten bis Dresden relativ häufig und nach Dresden vereinzelt im Bereich von Siedlungsgebieten überschritten.

3.4 Lindan (g-HCH) und HCH

Vereinigte Mulde

Die Medianwerte (P50) der Auenböden auf Ackerflächen liegen sowohl für Lindan als auch für das Isomerengemisch aus fünf HCH nur unwesentlich über der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/kg. Die Werte im Grünland sind signifikant höher und verdoppeln sich für Lindan von der Humusklasse 4 zur Klasse 5. Die Hintergrundwerte (P50) der terrestrischen Böden liegen bis auf wenige Ausnahmen (Siedlungsgrünflächen im Verdichtungsraum) unterhalb der Bestimmungsgrenzen. In den Schürfen sind HCH nur in den obersten ein bis maximal drei Horizonten quantitativ analysierbar, sie fallen danach in Abhängigkeit vom Humusgehalt durchgehend auf Werte unter der Bestimmungsgrenze ab. Im Schurfprofil 8 (Abbildung 1) liegen die HCH-Gehalte in allen Horizonten unterhalb der Bestimmungsgrenze.

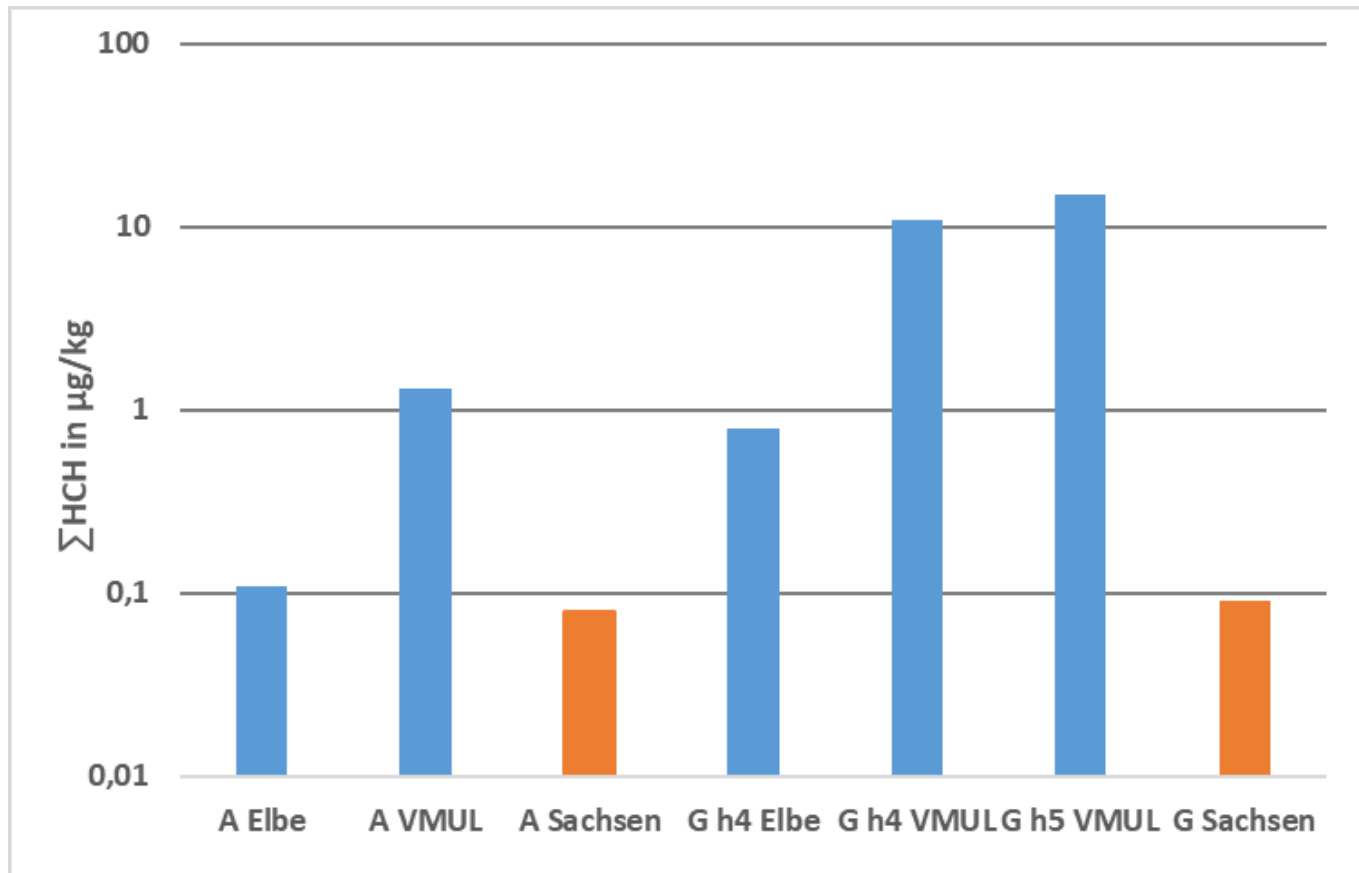
Elbe

In der Elbaue liegen die Mediangehalte (P50) der Ackerstandorte für Lindan und die Summe HCH ebenfalls unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die P90 entsprechen in etwa den Hintergrundwerten der terrestrischen Ackerböden von Sachsen. Die HCH-Gehalte im Grünland (P50, P90) sind höher, aber nicht so stark angereichert wie bei anderen organischen Stoffen und Stoffgruppen. Im Verlauf des Flusses wechseln sich immer wieder Bereiche höherer und niedriger Belastung ab. Die Belastung korreliert mit der Flussnähe der Standorte und der Siedlungsdichte, es gibt

aber auch siedlungs- und flussferne höher belastete Standorte. Von allen 150 Standorten haben nur fünf HCH-Gehalte > 1 µg/kg.

Zusammenfassung und Vergleich

Die HCH-Gehalte sind in den Auenböden gegenüber den terrestrischen Böden z. T. erhöht. Die Werte der Ackerböden in der Elbaue liegen bei beiden Perzentilen im Bereich der Hintergrundwerte Sachsens (Abbildung 11). Im Grünland ist dagegen eine signifikante Erhöhung bei den Auenböden zu beobachten.



Legende: orange Säulen Hintergrundwerte Sachsen (Mittelwert aus drei Gebietskategorien)

Abbildung 11: Summe HCH (P90) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Die HCH-Gehalte der Böden in der Elbaue sind bei beiden Nutzungen niedriger als in den Böden der Vereinigten Mulde. Sowohl bei Acker- als auch bei Grünlandnutzung sind die Werte in der Elbaue um etwa eine Zehnerpotenz geringer als in der Vereinigten Mulde.

3.5 HCB

Vereinigte Mulde

Die Mediangehalte (P50) betragen auf den Ackerböden 0,25 und in den Grünlandböden 1,0 µg/kg. Die P90 liegen bei 0,59 und 1,6 µg/kg und entsprechen somit den Größenordnungen natürlicher Böden dieser Nutzungen. Ein höherer Humusgehalt bedingt auch bei HCB eine höhere Anreicherung im Boden. In der Vereinigten Mulde treten nur zwei Standorte im nördlichen Abschnitt mit HCB-Gehalten im obersten Bodenhorizont von > 2 und < 3 µg/kg auf.

In den Schürfen der Abbildung 11 zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie bei den anderen Organika. Die höchsten Gehalte treten in den flussnahen und aktuell periodisch überfluteten Standorten auf mit einer Tendenz zur Abnahme

der Gehalte in dem obersten Horizont. Ab einer Tiefe von 40 – 50 cm liegen fast alle Analysenwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,15 µg/kg.

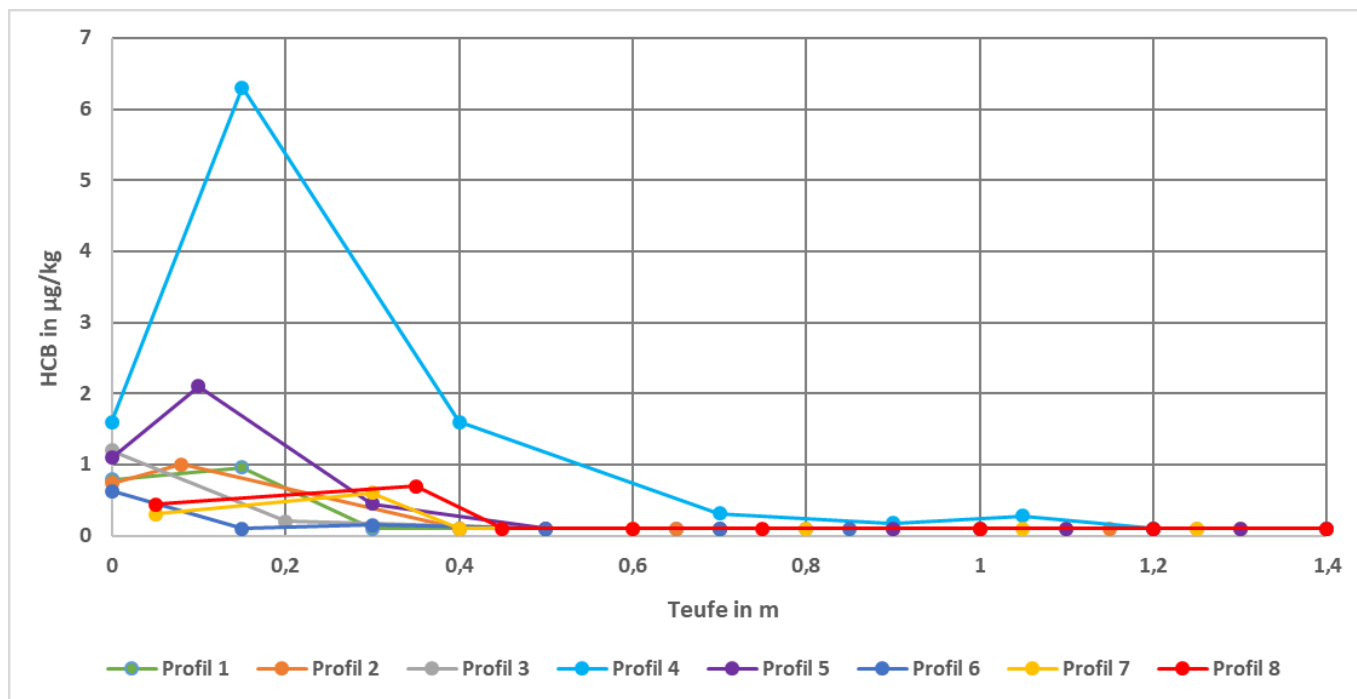


Abbildung 12: HCB in acht Schurfprofilen der Vereinigten Mulde

Elbe

Die Mediangehalte (P50) betragen im Ackerboden 0,58 und im Grünlandboden 22 µg/kg, die P90 liegen bei 2,2 und 65 µg/kg. Somit ist HCB in den Böden der Elbaue gegenüber den natürlichen Böden leicht (Acker) bis stark (Grünland) angereichert. Hohe HCB-Gehalte (50 bis 500 µg/kg) treten im gesamten Elbverlauf auf, oft unterbrochen durch weniger belastete Abschnitte (z. B. zwischen Coswig und Riesa). An der Gewässergütemessstelle Schmilka hat die HCB-Belastung in den Sedimenten ab 2005 deutlich abgenommen und liegt seit 2020 in der Fraktion < 2mm auf einem konstanten Niveau von < 50 µg/kg.

Zusammenfassung und Vergleich

Die HCB-Gehalte der Vereinigten Mulde liegen auf dem Niveau der Hintergrundwerte natürlicher Böden. In der Elbaue sind sie – vor allem im Grünland – deutlich höher.

3.6 PFAS

Vereinigte Mulde

In den Böden der Vereinigten Mulde wurden nur die beiden Substanzen PFOA und PFOS mit relativ hohen Bestimmungsgrenzen von 2 bzw. 5 µg/kg analysiert. In den Ackerböden liegen die Mediangehalte beider Substanzen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die Mediangehalte im Grünland (über alle Humusstufen) sind höher und liegen für PFOA bei 2,5 und für PFOS bei 7,9 µg/kg. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Gehalten der Böden mit den Humusstufen 4 und 5 (Abbildung 13). Bei höheren Humusgehalten werden PFAS stärker angereichert.

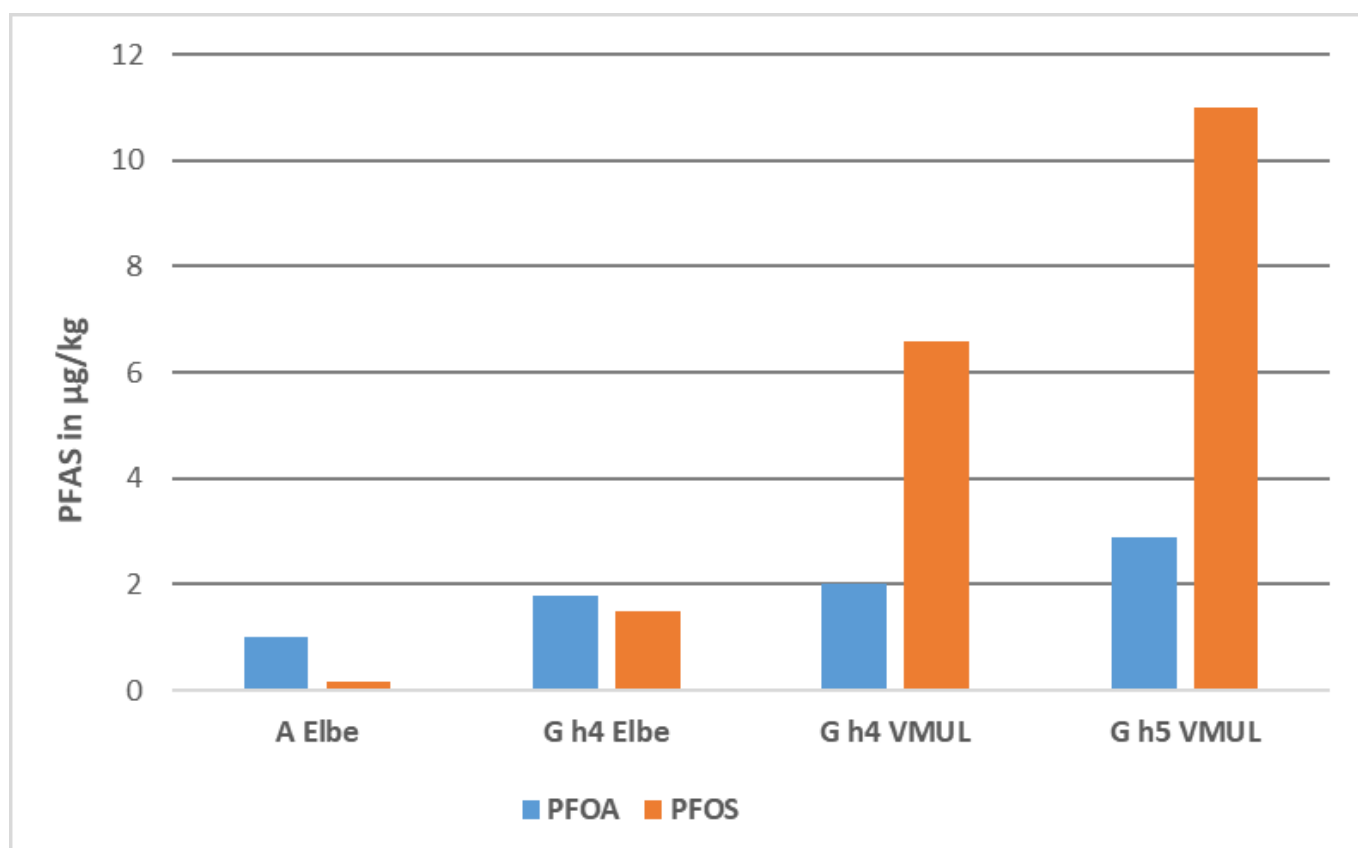
Im Flussverlauf liegen die Proben mit Analysenwerten oberhalb der Bestimmungsgrenzen im mittleren und nördlichen Flussabschnitt immer innerhalb aktiver Deiche mit größerer rezenter Überschwemmungshäufigkeit. Im südlichen Abschnitt haben auf einer höher gelegenen Ackerfläche mehrere Proben Gehalte von PFOS oberhalb der Bestimmungsgrenze, die durch Auftrag von Sedimenten oder Schlämmen entstanden sein könnten.

Von den acht Schürfen gibt es nur zwei Grünlandstandorte in Flussnähe mit Analysenwerten oberhalb der Bestimmungsgrenzen in den oberen zwei Bodenhorizonten. Im Gegensatz zu den anderen organischen Schadstoffen sind sowohl PFOA als auch PFOS in beiden genannten Schürfen im obersten Horizont am höchsten angereichert. Das spricht für einen verstärkten Eintrag in jüngerer Zeit.

Elbe

In den Böden der Elbaue wurden dreizehn PFAS-Verbindungen mit deutlich niedrigeren Bestimmungsgrenzen analysiert (0,10 - 0,20 µg/kg). Der Medianwert der Ackerböden liegt für PFOA bei 1,0 µg/kg und für PFOS bei 0,15 µg/kg. In Grünlandböden beträgt der Medianwert für PFOA 1,8 µg/kg und für PFOS 1,5 µg/kg. Die P50 und P90 aller dreizehn Substanzen sind in den Tabellen der Anlage Tabelle A3 und Tabelle A4 aufgeführt.

Im Flussverlauf treten höhere Analysenwerte bei beiden Substanzen von Schmilka bis südlich von Riesa auf, danach fallen die Werte ab und liegen nur noch vereinzelt über 2 µg/kg. In einigen Profilen mit mehreren Axh-Horizonten sind die PFAS häufig im zweiten Horizont höher angereichert als im ersten, trotz niedrigerer Humusgehalte.



A VMUL, P50 liegen unterhalb der Bestimmungsgrenzen von 2 bzw. 5 µg/kg

Abbildung 13: PFOA und PFOS (P50) in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe

Zusammenfassung und Vergleich

Durch die unterschiedlich hohen Bestimmungsgrenzen und Einzelstoffmengen beider Projekte, lassen sich nur die Werte von PFOA und PFOS der Böden auf Grünlandstandorten miteinander vergleichen. Beide Substanzen sind in

der Vereinigten Mulde höher angereichert, vor allem PFOS. PFOA erreicht in der Vereinigten Mulde bei den P50 und P90 in etwa den anderthalbfachen Gehalt der Böden der Elbe, PFOS den sechs- bis siebenfachen. Auch in Ackerböden deutet sich der höhere Wert von PFOS in der Vereinigten Mulde an. Vergleicht man die Grünlandstandorte in Abhängigkeit von ihrer Humusstufe wird ersichtlich, dass die Werte für PFOA bei gleicher Humusstufe in der Elbe und Vereinigten Mulde fast identisch sind. Sie steigen in der Humusstufe 5 der Böden der Vereinigten Mulde an (Abbildung 13). Insgesamt überschreiten nur fünf Analysenwerte in der Elbaue einen Gehalt von $\geq 5 \mu\text{g/kg}$ PFOS (\cong Bestimmungsgrenze Vereinigte Mulde).

3.7 PBDE₆

Vereinigte Mulde

Die Summe der PBDE₆ liegt in den Auenböden der Nutzung Acker sowohl bei den P50 als auch bei den P90 unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,1 \mu\text{g/kg}$. Im Grünland liegt der Median (P50) für die Böden der Humusstufe 4 bei $0,48 \mu\text{g/kg}$, für die Böden der Humusstufe 5 bei $1,1 \mu\text{g/kg}$. Das P90 erreicht im Grünland für die Humusstufe 4 $2,1 \mu\text{g/kg}$ und für die Humusstufe 5 $3,2 \mu\text{g/kg}$. Analysenwerte oberhalb der Bestimmungsgrenzen liegen nur in unmittelbarer Flussnähe innerhalb des Gebietes bis zum ersten Deich und auf einer höher gelegenen Ackerfläche im Südteil. Die Ursachen für die Analysenwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze sind wahrscheinlich eine PBDE₆-Anreicherung durch häufige rezente Überschwemmung bzw. bei der Ackerfläche durch Auftrag von Material (Sedimente, Schlämme).

Elbe

In der Elbaue liegt die Summe der PBDE₆ in den Datenkollektiven des Ackers bei beiden Perzentilen (P50, P90) und in denen des Grünlands bei den Medianwerten (P50) unterhalb der Bestimmungsgrenze. Das P90 im Grünland erreicht $0,41 \mu\text{g/kg}$. Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze treten im Flussverlauf häufiger ab und im gesamten Bereich von Dresden, Riesa, Torgau und Belgern auf. Die Standorte befinden sich dabei immer auf Grünlandflächen in Flussnähe, die sowohl siedlungsbeeinflusst als auch von häufig wiederkehrender Überschwemmung betroffen sind.

Zusammenfassung und Vergleich

Die PBDE₆ treten analytisch bestimmbar in den Böden beider Flussauen, bevorzugt auf flussnahen Grünlandstandorten in der Nähe von Siedlungsgebieten auf. Die Gehalte in der Aue der Vereinigten Mulde sind dabei signifikant höher als in der Elbaue. Die Gehalte auf Ackerflächen liegen i. d. R. unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Im Vergleich mit den anderen Schadstoffen bewegen sich die PBDE₆ auf niedrigem Niveau und werden infolge rezenter Überschwemmungen angereichert.

3.8 Organozinnverbindungen

Vereinigte Mulde

Die toxischen Tributylzinn-Verbindungen liegen in allen Datenkollektiven mit Ausnahme des P90 der Humusstufe 5 der Grünlandböden unterhalb der Bestimmungsgrenze von $1 \mu\text{g/kg}$. Das P90 bei Humusstufe 5 erreicht den Wert der Bestimmungsgrenze.

Mono- und Dibutylzinn-Verbindungen sind in den Böden mit Ackernutzung ebenfalls weder im P50 noch im P90 bestimmbar. Im Grünland liegen sie im einstelligen Bereich oberhalb der Bestimmungsgrenze (außer P90 h5) und nehmen von der Humusstufe 4 zur Humusstufe 5 zu.

Von den acht Schürfen weisen nur zwei in unmittelbarer Flussnähe gelegene Grünlandstandorte im obersten Horizont Werte knapp oberhalb der Bestimmungsgrenzen auf.

Im Flussverlauf treten Proben mit Analysen von MBT und DBT > Bestimmungsgrenze sowohl bei Acker- als auch bei Grünlandböden im gesamten Gebiet auf. Hiervon ist ebenfalls die Ackerfläche im südlichen Flussabschnitt, die bereits Anreicherungen von PFAS und PBE₆ aufweist, mit mehreren Proben betroffen. Es gibt nur vier Proben mit TBT > Bestimmungsgrenze zwischen Wurzen und Eilenburg, die sich ausschließlich auf Grünland befinden.

Elbe

In der Elbaue liegen alle Datenkollektive (Grünland und Acker) für TBT mit dem P50 und P90 unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Das gilt ebenso für die Böden mit Ackernutzung für MBT und DBT.

Im Grünland liegt das P50 für MBT knapp oberhalb und für DBT unterhalb der BG. Das P90 bewegt sich für beide Stoffe im niedrigen einstelligen Bereich.

Im Verlauf des Flusses treten Analysenwerte mit MBT und DBT > BG immer wieder bei Grünlandböden auf, MBT unabhängig von Siedlungsgebieten, und DBT überwiegend im Siedlungsbereich. Wenige Proben mit Gehalten von TBT > BG sind nur im Großraum Dresden vorhanden. Ein Probenpunkt mit relativ hohen Gehalten liegt in Dresden an einem stark anthropogen veränderten Standort mit weiteren Anreicherungen von organischen Schadstoffen vor. Auf den Ackerböden gibt es nur in wenigen Ausnahmen Standorte mit MBT und DBT > BG.

Zusammenfassung und Vergleich

Die Gehalte der Zinnorganika in den Auenböden liegen bis auf MBT und DBT im Grünland fast weitgehend unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Es ist anzunehmen, dass diese beiden Stoffe weniger als Abbauprodukte von DBT auftreten, sondern aus anderen industriellen Quellen stammen. Die Gehalte der drei Stoffgruppen sind in den vergleichbaren Nutzungs- und Humuskategorien in den Auenböden der Vereinigten Mulde und Elbe ähnlich. Sie nehmen mit höheren Humusgehalten und in Bereichen hoher Siedlungsdichte zu.

4 Zusammenfassung

Der größte Teil der organischen Schadstoffe ist in den Auenböden gegenüber den Hintergrundwerten natürlicher Böden gleicher Nutzung (KARDEL & MÜLLER, 2021) relativ stark erhöht. Die Unterschiede zu den Hintergrundwerten sind bei den Böden unter Ackernutzung geringer ausgeprägt als bei den Grünlandböden. Diese weisen mit steigendem Humusgehalt und abnehmender Entfernung zum Fluss (infolge zunehmender Überschwemmungshäufigkeit) z. T. extreme Anreicherungen von organischen Schadstoffen auf. Das betrifft vor allem die Stoffgruppen der PAK₁₆, DDX, PCB und HCB. Da die Gehalte dieser organischen Schadstoffe in den Unterbodenhorizonten häufig höher als im aktuellen Oberbodenhorizont sind, lässt das auf eine Abnahme der Belastung in den Gewässersedimenten schließen. Der Trend dazu deutete sich in den Sedimenten der Elbe bereits im Zeitraum bis 2019 an und ist auch 2021 in den Messreihen einzelner Gewässergütemessstellen (IKSE, 2024) deutlich erkennbar.

Für die Stoffgruppen der PFAS, PBDE₆ und Organozinnverbindungen liegen keine Hintergrundwerte für Böden in Sachsen vor, da sie erst in den letzten Jahren zunehmend analysiert wurden. Die Datenkollektive der PBDE₆ und Organozinnverbindungen liegen mit den P50 und teilweise mit den P90 häufig unterhalb der Bestimmungsgrenzen. P50 und P90 mehrerer PFAS-Einzelstoffe überschreiten im Grünland beider Auen die Bestimmungsgrenzen. Der Gehalt dieser Stoffe korreliert mit dem Humusgehalt, der Überschwemmungshäufigkeit und der Siedlungsdichte. In den acht Profilgruben der Vereinigten Mulde sind die Gehalte dieser Stoffe nur in den obersten beiden Horizonten von flussnahen Grünlandstandorten quantitativ analysierbar und im obersten Horizont am höchsten angereichert. Das spricht dafür, dass der Eintrag dieser Stoffe jüngerem Datums ist.

Hinsichtlich der absoluten Belastung bezüglich der Stoffgruppen PAK₁₆, PCB, HCB und DDX ist die Elbaue bei den Grünlandstandorten gleicher Humusstufe deutlich höher betroffen als die Vereinigte Mulde. In Schmilka wurden bis

2019 teilweise deutliche Überschreitungen für die Stoffe DDX, PCB, HCB und einige PAK₁₆ in den Sedimenten festgestellt (IKSE, 2022). Nur bei den HCH und bei PFOS ist eine höhere Anreicherung in den Böden der Vereinigte Mulde eindeutig erkennbar. Diese Unterschiede sind auch bei den Ackerstandorten vorhanden, aber nicht so deutlich ausgeprägt. Die Kennwerte der PBDE₆ und Organozinnverbindungen lassen sich in den Auen schlecht vergleichen, da sie meist nur unwesentlich oberhalb der Bestimmungsgrenzen liegen. Das gilt ebenso für die PFAS, die in beiden Gebieten mit deutlich voneinander abweichenden Bestimmungsgrenzen und einem verschiedenen Umfang der Einzelstoffe analysiert wurden.

Literaturverzeichnis

INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE IKSE (2022): Übersicht der Entwicklung der Qualität von schwebstoffbütigem Sediment der Elbe anhand des SQI im Zeitraum 1993 - 2019., <https://www.ikse-mkol.org/themen/gewaesserguete/112>, 16.05.2024.

INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE IKSE (2024): Übersicht der Entwicklung der Qualität von schwebstoffbütigem Sediment der Elbe anhand des SQI im Zeitraum 1993 - 2021., <https://www.ikse-mkol.org/themen/gewaesserguete/112>, 16.05.2024.

KARDEL, K., MÜLLER, I. (2021): Organische Schadstoffe in den Oberböden Sachsens. Schriftenreihe des LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/38912>, 16.05.2024.

KARDEL, K., RANK, G. (2008): Auenmessprogramm des Freistaates Sachsen, Untersuchungen der Auenböden der Elbe und des Muldensystems auf Arsen und Schwermetalle. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, https://www.boden.sachsen.de/download/boden/auen_endber.pdf, 16.05.2024

KAUFMANN-BOLL, C., KERN, M., NIEDERSCHMIDT, S., KASTLER, M., NEEF, T. (2022): Schwermetalle in Auenböden der Vereinigten Mulde. Schriftenreihe des LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/39972>, 16.05.2024.

ELSA (2016): PCB in der Elbe, Eigenschaften, Vorkommen und Trends sowie Ursachen und Folgen der erhöhten Freisetzung im Jahr 2015. Behörde für Umwelt und Energie, Projekt Schadstoffsanierung Elbesedimente, Hamburg., https://elsa-elbe.de/assets/download/fachstudien/ELSA_PCB_Bericht_2016.pdf, 16.05.2024.

Anhang

Tabelle A 1: Perzentile (P50, Median) organischer Stoffe in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg)

Nutzung	Standort	B(a)P	PAK ₁₆	PCB ₆	PCB ₇	HCB	g-HCH	HCH	DDX	MBT	DBT	TBT	PBDE ₆
Ackerland	Elbe A	43	480	1,1	1,2	0,58	<0,05	<0,05	23	<1,0	<1,0	<1,0	<0,1
	VMUL A	29	324	0,76	0,82	0,25	0,051	0,068	43	<1,0	<1,0	<1,0	<0,1
Grünland	Elbe G	360	3700	44	46	22	0,082	0,24	200	1,1	<1,0	<1,0	<0,1
	VMUL G	370	4300	7,4	8,0	1,0	0,46	4,8	130	1,4	2,5	<1,0	0,48
	Elbe G h4	370	3700	44	46	23	0,083	0,24	200	1,1	<1,0	<1,0	<0,1
	VMUL G h4	190	2100	5,6	5,8	0,82	0,36	3,4	95	<1,0	1,3	<1,0	0,40
	VMUL G h5	470	5900	11	12	1,1	0,65	6,6	150	1,8	3,9	<1,0	1,1
Nutzgarten	VMUL NG h3/4	150	1700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle A 2: Perzentile (P90) organischer Stoffe in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg)

Nutzung	Standort	B(a)P	PAK ₁₆	PCB ₆	PCB ₇	HCB	g-HCH	HCH	DDX	MBT	DBT	TBT	PBDE ₆
Ackerland	Elbe A	130	1400	4,2	4,5	2,2	0,11	0,11	86	<1,0	<1,0	<1,0	<0,1
	VMUL A	190	2700	2,9	3,1	0,59	0,48	1,3	180	<1,0	<1,0	<1,0	<0,1
Grünland	Elbe G	540	6100	120	130	65	0,17	0,80	580	3,0	1,9	<1,0	0,41
	VMUL G	610	8000	17	18	1,6	1,1	12	270	5,6	11	<1,0	2,6
	Elbe G h4	540	5900	110	120	63	0,17	0,79	580	3,1	1,8	<1,0	0,42
	VMUL G h4	560	7200	15	16	1,7	0,99	11	260	4,7	8,3	<1,0	2,1
	VMUL G h5	630	10000	20	21	1,7	1,2	15	300	10	17	1,0	3,2
Nutzgarten	VMUL NG h3/4	560	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legende: Acker (Elbe n = 51, Vereinigte Mulde n = 68), Grünland (Elbe n = 99, Vereinigte Mulde n = 89), Nutzgarten (Vereinigte Mulde n = 31); - nicht analysiert

Tabelle A 3: Perzentile (P50, Median) ausgewählter PFAS in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg)

Nutzung	Standort	PFOS	PFBS	PFOSA	PFOA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	H4PFOS	PFBA	PFPeA	PFHxS	PFUnA	PFDoA	PFHpS
Ackerland	Elbe A	0,15	<0,10	0,23	1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	VMUL A	<5,0	-	-	<2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünland	Elbe G	1,4	<0,10	0,10	1,8	0,25	0,27	0,25	0,38	<0,10	0,39	0,37	<0,10	0,18	0,25	<0,10
	VMUL G	7,9	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elbe G h4	1,5	<0,10	0,10	1,8	0,26	0,29	0,26	0,38	<0,10	0,38	0,39	<0,10	0,19	0,26	<0,10
	VMUL G h4	6,6	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VMUL G h5	11	-	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle A 4: Perzentile (P90) ausgewählter PFAS in den Auenböden der Elbe und Vereinigten Mulde (Angaben in µg/kg)

Nutzung	Standort	PFOS	PFBS	PFOSA	PFOA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	H4PFOS	PFBA	PFPeA	PFHxS	PFUnA	PFDoA	PFHpS
Ackerland	Elbe A	0,34	<0,10	1,3	1,7	0,17	0,19	0,19	0,17	<0,10	0,34	0,26	<0,10	<0,10	0,31	<0,10
	VMUL A	5,3	-	-	<2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünland	Elbe G	4,2	<0,10	0,93	2,9	0,66	0,62	0,52	0,92	<0,10	0,68	0,93	<0,10	0,50	0,97	<0,10
	VMUL G	17	-	-	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elbe G h4	4,2	<0,10	1,0	2,8	0,66	0,61	0,50	0,93	<0,10	0,67	0,91	<0,10	0,47	0,95	<0,10
	VMUL G h4	18	-	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VMUL G h5	17	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legende: Acker (Elbe n = 51, Vereinigte Mulde n = 68), Grünland (Elbe n = 99, Vereinigte Mulde n = 89); - nicht analysiert

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autorin:

Kati Kardel

Abteilung 4/Referat 42

Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg

Telefon: + 49 3731 294-2808

Telefax: + 49 351 4512610178

E-Mail: Kati.Kardel@smekul.sachsen.de

Redaktion:

Ulrike Menzel

Abteilung/Referat

Abteilung 4/Referat 42

Telefon: + 49 351 8928-4209

Telefax: + 49 351 8928-4099

E-Mail: Ulrike.Menzel@smekul.sachsen.de

Fotos:

Dr. Falk Hieke, Büro für Bodenwissenschaft

Redaktionsschluss:

05.08.2024

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de