

9. Organika im Boden

KNUT MEYER, HEIKE FORTMANN &
NORBERT BISCHOFF

9.1. Einleitung

Auf den landwirtschaftlich (BDF-L) und forstlich (BDF-F) genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen erfolgen bei den Inventuren in zehnjährigem Abstand Untersuchungen des Bodens auf chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) sowie Dioxine und Furane (nur BDF-L). Die genannten Organika gelangen überwiegend über den Luftpfad auf den Boden, in den Flussniederungen kann der Sedimenteintrag bei Überschwemmungen ein bedeutender Kontaminationspfad sein (z. B. Elbaue). Das Vorkommen von CKW und PCB in der Umwelt ist auf die Anwendung als Pflanzenschutzmittel (CKW, z. B. DDT oder Lindan) sowie Flammenschutzmittel und Transformatoröl (PCB) zurückzuführen. Die Produktion von PCB wurde in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1983 eingestellt, weltweit besteht seit 2001 ein Produktions- und Anwendungsverbot. PAK sowie Dioxine und Furane entstehen bei unvollständigen Verbrennungsprozessen. Der überwiegende Anteil der PAK stammt aus anthropogenen Anwendungen, wie z. B. der Verwendung teeröhlaltiger Holzimprägnierungen.

Derzeit liegen bis zu drei Inventuren, aus dem Jahr der Einrichtung (Grundinventur, GI, 1991–2001), der ersten Wiederholungsinventur (WI1, 2000–2010) und der zweiten Wiederholungsinventur (WI2, 2011–2020), vor. Je Bodendauerbeobachtungsfläche und Schicht bzw. Horizont werden vier Mischproben aus den vier fest vermarkten Kernflächen ($\approx 256 \text{ m}^2$) gewonnen, gekühlt zwischengelagert und nach Probenaufbereitung durch die LUFA Nord-West analysiert.

9.2. Dioxine und Furane

Dioxine und Furane haben eine ubiquitäre Bedeutung und können auf allen untersuchten BDF nachgewiesen werden. Die Bodenproben werden auf 15 Einzelsubstanzen und zwei Substanzgruppen untersucht. Um eine zusammenfassende Darstellung zu ermöglichen, werden die einzelnen untersuchten Substanzen über Toxizitätsäquivalente (TE, WHO 2005) gewichtet und als Summenwerte zusammengefasst. Die meisten BDF unter Ackernutzung weisen im Oberboden Gehalte im Bereich der Hintergrundwerte von $2,6\text{--}3,7 \text{ ng TE kg}^{-1}$ Boden (LABO 2003) auf (Abb. 9.1). Auf dem industriellen Standort Drütte, L002DRUE, werden zu allen drei Inventuren die Hintergrundwerte deutlich überschritten, liegen aber weit unterhalb der Maßnahmenwerte (z. B. Kinderspielplätze: $100 \text{ ng TE kg}^{-1}$ Boden, BBoSCHV 1999). Werden alle BDF unter Acker verglichen, für die sowohl eine Grundinventur als auch eine Wiederholungsinventur 1 und 2 durchgeführt wurde ($n = 24$), ergibt sich eine signifikante Abnahme der Dioxin- und Furangehalte über alle drei Inventuren ($P\text{-Wert} < 0,001$). Eine statistische Aussage zur Signifikanz zeitlicher Trends für Einzelflächen ist erst nach weiteren Inventuren möglich, dies gilt auch für die Grünlandflächen.

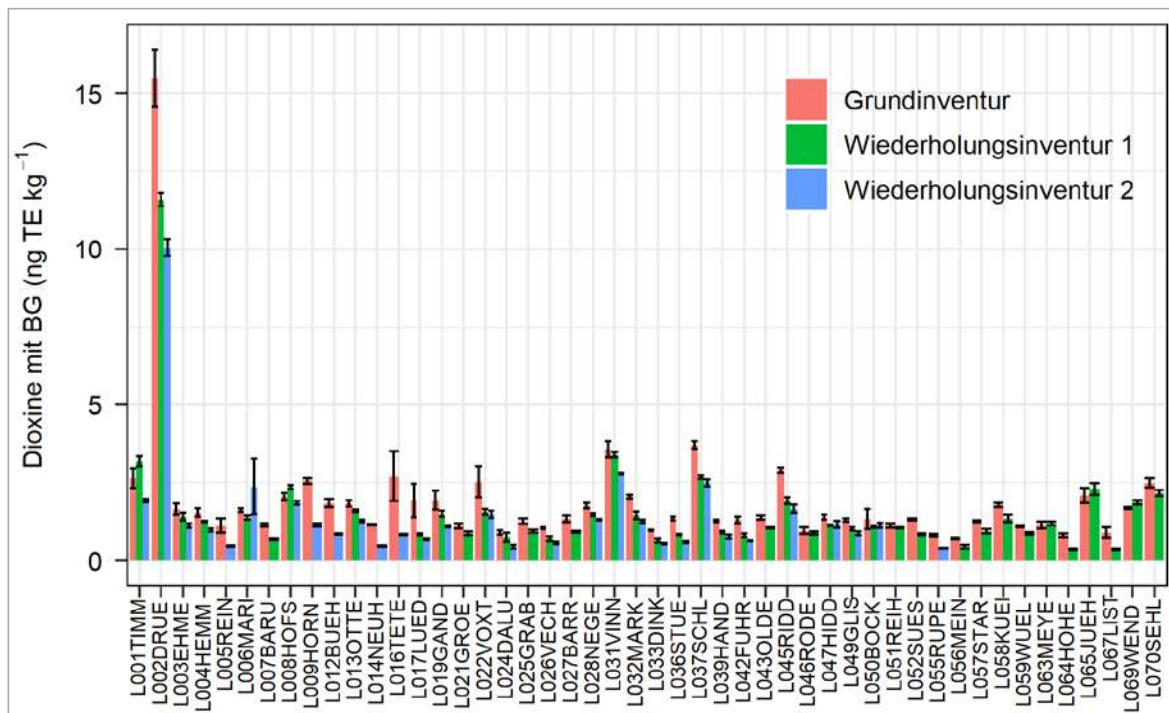


Abb. 9.1: Dioxine und Furane für alle BDF-L unter Acker im Oberboden, getrennt nach Inventuren. Summenbildung für TE nach WHO 2005 (ng TE kg⁻¹) unter Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze (Werte < BG = 0). Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler.

Im Oberboden von Grünland- und Bracheböden (0–5 cm Tiefe bzw. 0–10 cm ab Wiederholungsinventur 2) liegen die Dioxin- und Furangehalte in der Regel deutlich höher (Abb. 9.2). Dies ist vor allem auf den Eintrag über die Luft und die fehlende Einarbeitung im Vergleich zu Acker zurückzuführen. Die Stoffe werden überwiegend im Bereich der Bodenoberfläche sorbiert und nur geringfügig in den Boden eingewaschen. Daher sind die Hintergrundwerte in der Regel höher, mit 7,6 ng TE kg⁻¹ Boden (LABO 2003). Die Mehrzahl der BDF weist Gehalte im Bereich der Hintergrundwerte oder unterhalb auf. Die höchsten Gehalte sind in der Elbaue an den BDF L048GORL und L062FREI sowie in der Nähe eines Industrieemittenten (L043NORD) festzustellen. Leicht über den Hintergrundwerten liegen die Gehalte auf den Flächen

L018TEUF (Moorboden), L040ODER (historische Holzkohlegewinnung im Harz) und L054OSNA (Stadtpark in Osnabrück). Für BDF unter Grünland können jeweils nur die Dioxin- und Furangehalte zwischen Grundinventur (GI) und Wiederholungsinventur 1 (WI1) sowie WI1 und Wiederholungsinventur 2 (WI2) verglichen werden, da nur bei diesen Vergleichen der gleiche Tiefenbezug gegeben ist. Es zeigt sich, dass die Dioxingehalte unter Grünland an neun BDF, für die alle drei Inventuren vorliegen, sowohl zwischen GI und WI1 (P-Wert = 0,04) als auch zwischen WI1 und WI2 (P-Wert = 0,1) signifikant abgenommen haben. Dies gilt für den Pool der BDF L011WEGE, L018FISC, L020PETK, L029TEUF, L030KOEN, L034NORD, L038BALT, L041HOLE und L048GORL.

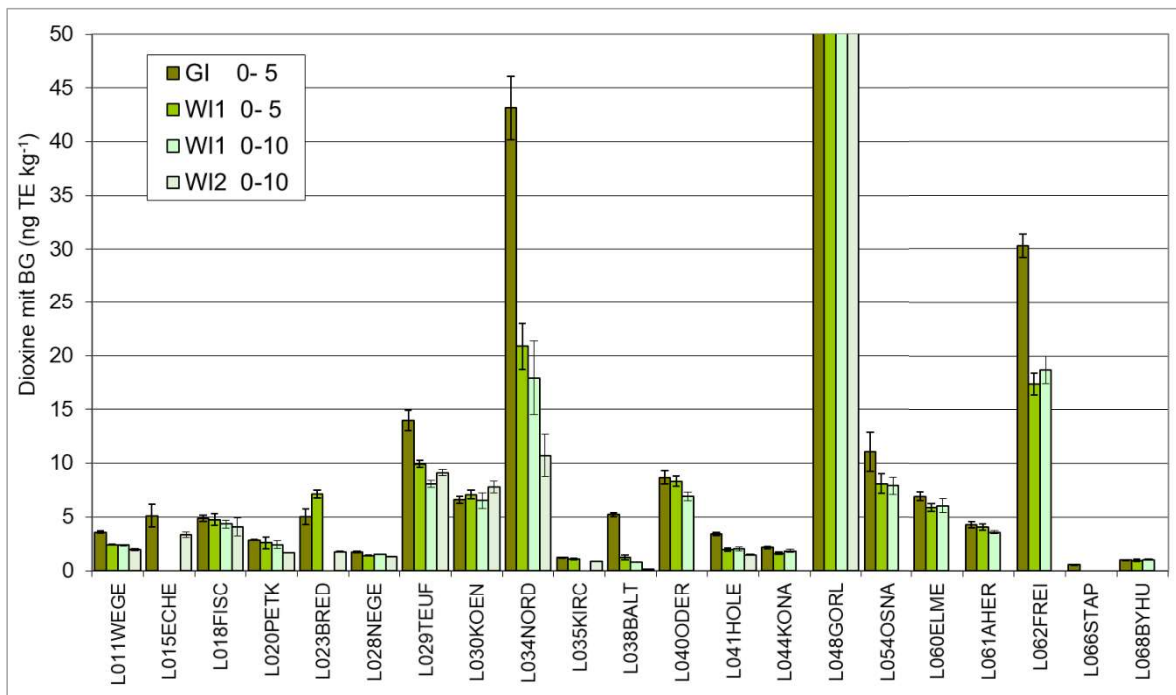


Abb. 9.2: Dioxine und Furane für alle BDF-L unter Grünland im Oberboden (0–5 cm bzw. 0–10 cm bei WI1 und WI2), getrennt nach Inventuren. Summenbildung für TE nach WHO 2005 (ng TE kg⁻¹) unter Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze (Werte < BG = 0). Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler.

9.3. Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Auf sämtlichen BDF erfolgen regelmäßig Bodenuntersuchungen auf die sechs wichtigsten PCB-Spezies (2,4,4'-Trichlorbiphenyl (PCB 28), 2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl (PCB 52), 2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl (PCB 101), 2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 138), 2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 153), 2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl (PCB 180)). Bei einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg kg⁻¹ zeigen die Ackerflächen und die meisten Grünlandflächen keine positiven Befunde. Beim Grünland werden nur auf der BDF L048GORL im Überschwemmungsbereich der Elbaue regelmäßig Überschreitungen der Vorsorgewerte nach BBodSchV (0,05 mg kg⁻¹ bei ≤ 8 % Humus) in 0–10 cm Tiefe mit bis zu 0,08 mg PCB₆ kg⁻¹ festgestellt.

Bei den forstlich genutzten BDF konzentrieren sich die Funde von PCB₆ auf die organischen Auflagehorizonte, während im Mineralboden unterhalb einer Beprobungstiefe von 10 cm die Gehalte überwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen (Abb. 9.3). Bei den über

den Luftpfad auf den BDF eingetragenen PCB zeigt sich die Bedeutung des Auskämmeffektes bei Nadelholzbestockung. So weisen die laubwaldbestockten BDF-F F008HABU, F009GWBU und F015DREI in allen Inventuren keine Belastung, sowie an den Standorten F013GDEI und F011IHEI nur an einzelnen Proben Befunde von etwas über der Bestimmungsgrenze auf. Bei den nadelwaldbestockten BDF hingegen wurden PCB regelmäßig in den Auflagehorizonten gefunden. Bei Standorten, für die drei Inventuren vorliegen, ist bei der letzten Inventur tendenziell ein Rückgang der PCB-Belastung erkennbar. Auf einen Rückgang der PCB-Einträge über den Luftpfad deuten auch die Veränderungen der Verteilung der sechs untersuchten PCB-Spezies hin. Seit 2011 werden die niedriger chlorierten Tri-, Tetra und Pentachlor-PCB (PCB 28, PCB 52 und PCB 101) nicht mehr gefunden. Für die genannten Spezies ist eine höhere Flüchtigkeit bekannt, so dass bei der Kombination aus einer höheren Rückverdampfung in die Atmosphäre mit zurückgehenden Einträgen Bodengehalte über der Bestimmungsgrenze nicht mehr erreicht werden.

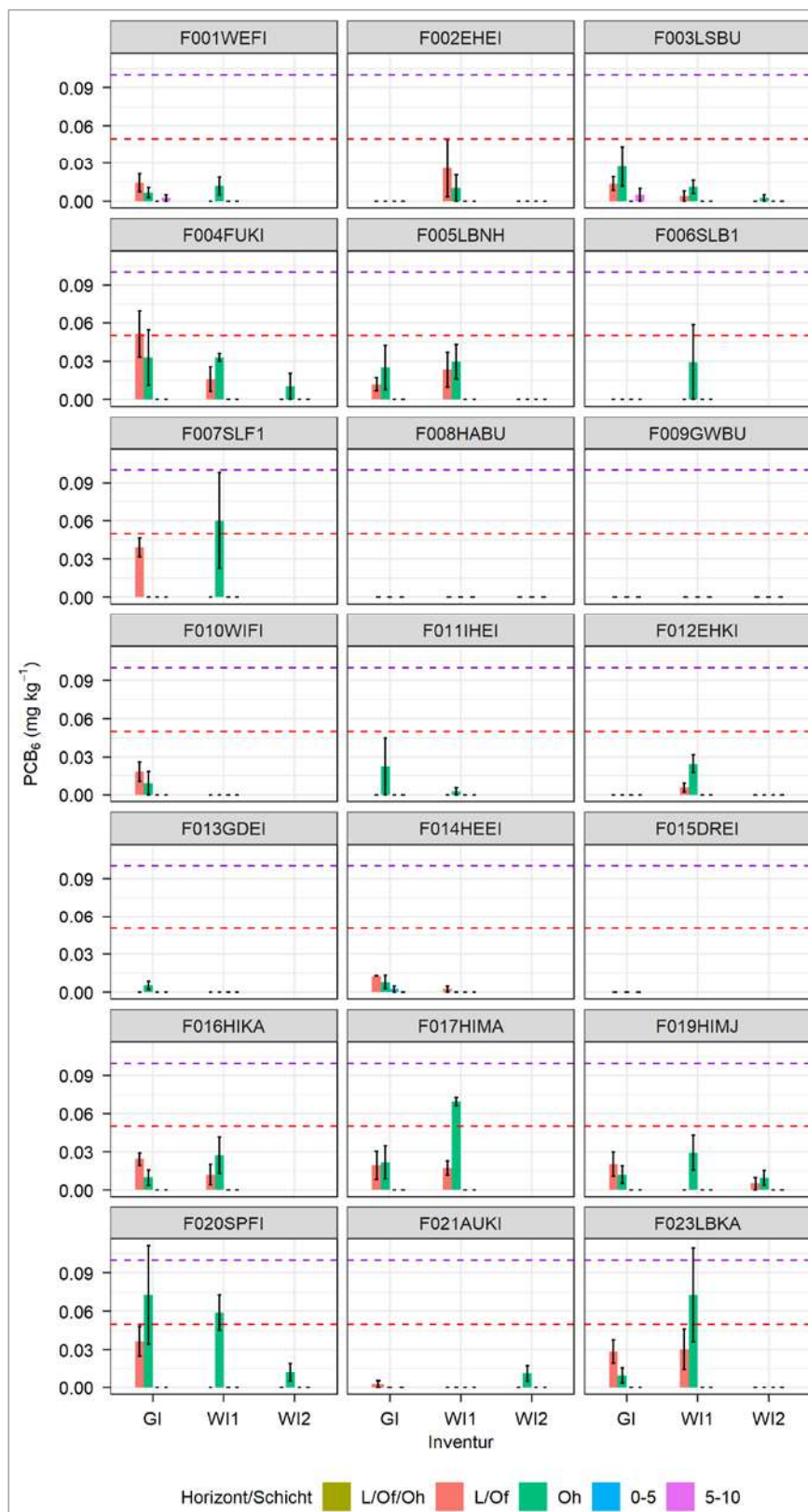


Abb. 9.3: PCB_6 -Gehalte aller BDF-F (Auflagehorizonte und Mineralboden in 0–5 cm und 5–10 cm), getrennt nach Inventuren (GI, WI1, WI2; Werte < BG = 0). Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler. Gestrichelte Linien: Vorsorgewerte nach BBSchVO bei Böden kleiner (rot) und größer (violett) 8 % Humus.

9.4. Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Die Untersuchungen sämtlicher BDF auf chlorierte Kohlenwasserstoffe umfasst insgesamt 19 Einzelsubstanzen (s. Abb. 9.4). Bei den meisten Substanzen handelt es sich um sogenannte POPs (Persistent Organic Pollutants), die in der Vergangenheit als Insektizid, Fungizid oder als Flammschutzmittel (Hexachlorbenzol, HCB) eingesetzt wurden. Der berühmteste Vertreter, das DDT, wurde in der Bundesrepublik Deutschland bis 1977 als Insektizid eingesetzt. In der DDR erfolgte die Anwendung mit Einschränkungen der Indikation ab 1971, ein Verbot wurde aber erst 1988 ausgesprochen. DDT und seine Metabolite DDD und DDE werden aufgrund der ubiquitären Verbreitung mit den höchsten Fundhäufigkeiten aller CKW sowohl auf den BDF-L als auch den BDF-F gefunden. In den Grundinventuren lag der Anteil positiver

Befunde bei 26 % auf den BDF mit Acker- oder Forstnutzung und ging in der 2. Wiederholungsinventur auf Werte um 5 % zurück (Abb. 9.4 und 9.5). Der Insektizidwirkstoff Lindan (γ -Hexachlorcyclohexan) wurde erst 2003 mit einem Anwendungsverbot nach Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung belegt. Der Stoff wurde auf den Acker-BDF nur untergeordnet in der Wiederholungsinventur 1 gefunden, während sowohl Grundinventur als auch Wiederholungsinventur 2 ohne Befund waren. Bei den BDF-F lag die Fundhäufigkeit in der Grundinventur bei 15 %, während die Wiederholungsinventuren ohne Befund waren (Abb. 9.5). Die Daten der Grundinventur der BDF-F lassen vermuten, dass der Einsatz von Lindan im forstlichen Bereich im Zusammenhang mit Kalamitäten häufiger erfolgte, als im landwirtschaftlichen Bereich. Aus den Bewirtschaftungsdaten der BDF-L ist keine Anwendung von Lindan vor dem Anwendungsverbot 2003 bekannt.

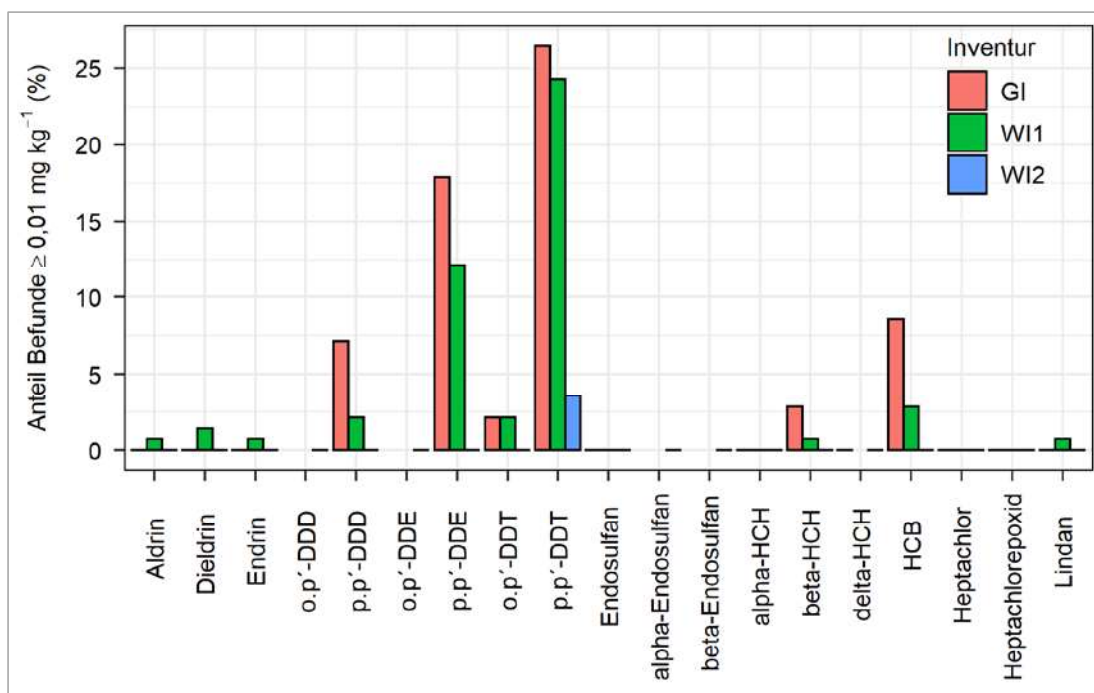


Abb. 9.4: Anteil der Befunde $\geq 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ (%) für chlorierte Kohlenwasserstoffe, getrennt nach Inventuren im Oberboden unter Acker (BDF-L), $n = 140$ (je Inventur).

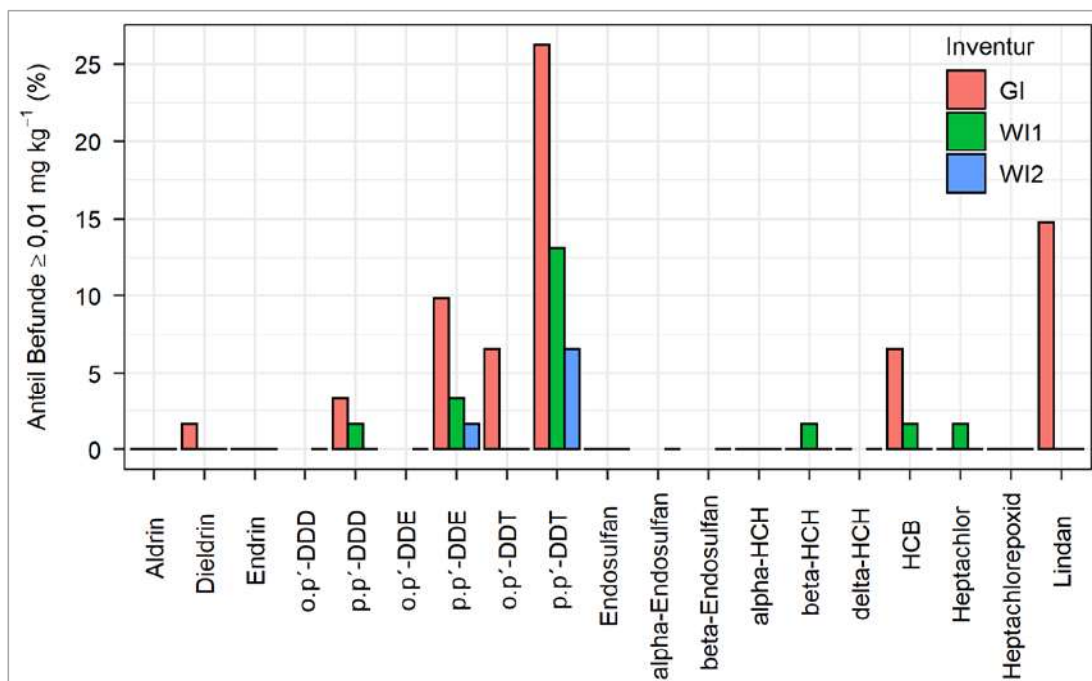


Abb. 9.5: Anteil der Befunde $\geq 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ (%) für chlorierte Kohlenwasserstoffe, getrennt nach Inventuren in BDF unter Forst (BDF-F). Datengrundlage: Mediane einzelner Tiefenstufen von 11 BDF.

Am Beispiel des Isomers p,p'-DDT welches mit einem Anteil von ca. 77 % in technischen DDT das häufigste Isomer darstellt, kann in Abbildung 9.6 für die BDF-L unter Ackernutzung gezeigt werden, dass die Gehalte im Oberboden

signifikant zurückgehen. Während die Tendenz der Abnahme zwischen der Grundinventur und der Wiederholungsinventur 1 nicht abgesichert werden kann, trifft dies für die Wiederholungsinventur 2 im Vergleich zur Grundinventur zu.

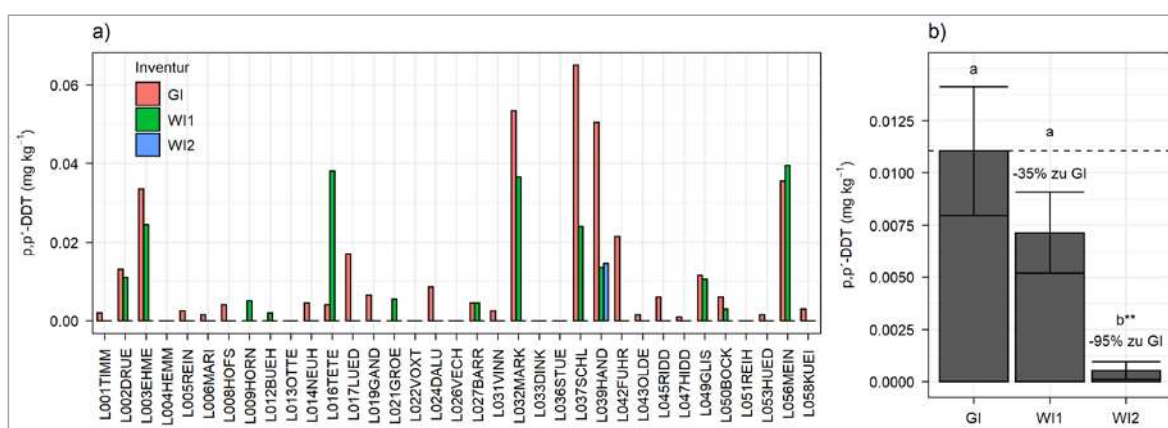


Abb. 9.6: Gehalte an p,p'-DDT (mg kg^{-1}) im Oberboden unter Acker.
a) Mediane für alle BDF-L, für welche Werte aus drei Inventuren vorhanden sind.
b) Arithmetische Mittel $\pm$ Standardfehler je Inventur. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (P-Wert, $0,001 < ** < 0,01$) zwischen den Inventuren ($n = 35$ je Inventur).

Die für die BDF unter Ackernutzung oder forstlicher Nutzung gezeigte Abnahme chlorierter Kohlenwasserstoffe im Boden ist auch für die BDF in Grünlandnutzung festzustellen (nicht gezeigt). Aufgrund der hohen Persistenz, insbesondere des p,p'-DDT, ist auch weiterhin mit Funden über der Bestimmungsgrenze von $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ Boden zu rechnen.

9.5. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Bei den PAK erfolgt eine Untersuchung der sechzehn wichtigsten Stoffe (PAK16*) bei einer Bestimmungsgrenze von $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$. Da bei der Grundinventur lediglich eine Untersuchung auf sechs PAK vorgesehen war, sich aber im Laufe der ersten Jahre abzeichnete, dass die Liste der zu untersuchenden Substanzen auf 16 erweitert werden würde, wurden im Jahr 2000, im Rahmen einer Zwischeninventur, frische Proben aus dem Oberboden gewonnen und in einem Durchgang auf PAK16 analysiert. Für

eine Überblicksauswertung werden die Konzentrationen der 16 Einzelwirkstoffe aufaddiert, wobei Befunde unterhalb der Bestimmungsgrenze mit 0 eingehen (PAK16). Die Vorsorgewerte nach BBodSchV liegen bei Böden mit $<8 \%$ Humus bei $3 \text{ mg PAK16 kg}^{-1}$ und bei $>8 \%$ Humus bei $10 \text{ mg PAK16 kg}^{-1}$. Eine Überschreitung der Vorsorgewerte nach BBodSchV liegt bei keiner der landwirtschaftlich genutzten BDF vor. Im Oberboden der Ackerflächen liegen die Gehalte der meisten BDF unterhalb von $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Abb. 9.7). Tendenziell erhöhte Gehalte weisen beispielsweise die Standorte L002DRUE in Industrienähe sowie L031VINN in Siedlungsnähe auf. Eine systematische Zuordnung zu potenziellen Belastungsquellen ist allerdings nicht möglich. Werden alle BDF unter Acker verglichen, für die sowohl die Zwischeninventur als auch eine Wiederholungsinventur 1 und 2 vorliegen ($n = 29$), ergibt sich folgendes Bild: Die PAK16-Gehalte der Wiederholungsinventur 2 sind signifikant geringer ($P\text{-Wert} < 0,001$) als die PAK16-Gehalte der Zwischeninventur und der Wiederholungsinventur 1.

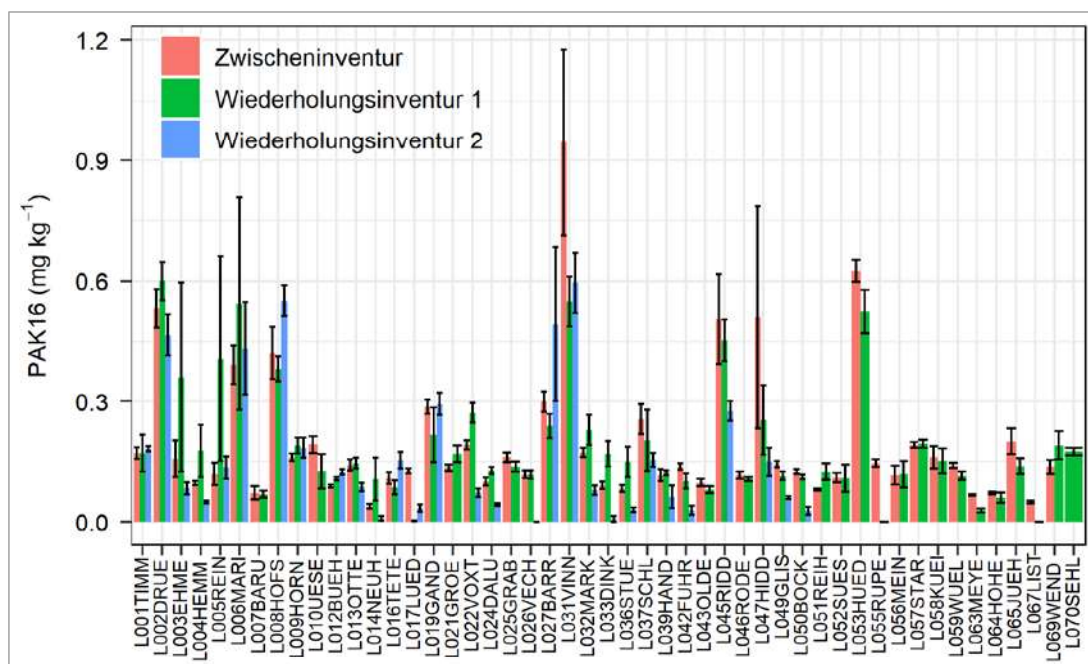


Abb. 9.7: PAK16-Summenwerte (mg kg^{-1}) im Oberboden für alle BDF unter Acker, getrennt nach Inventuren (Werte $< \text{BG} = 0$). Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler.

* PAK16 nach US-EPA-Liste: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)flu-

oranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenz(a,h)anthracen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benzo(g,h,i)perylene.

Bei den BDF unter Grünlandnutzung fallen die erhöhten PAK16-Gehalte der L048GORL in der Elbtalaue auf (Abb. 9.8). Im Gegensatz zu den Ackerflächen haben sich auf den Grünland-

standorten, für welche Werte von allen drei Inventuren vorliegen (n = 11), die PAK16-Gehalte weder in 0–10 cm noch in 10–20 cm Tiefe zwischen den Inventuren signifikant verändert.

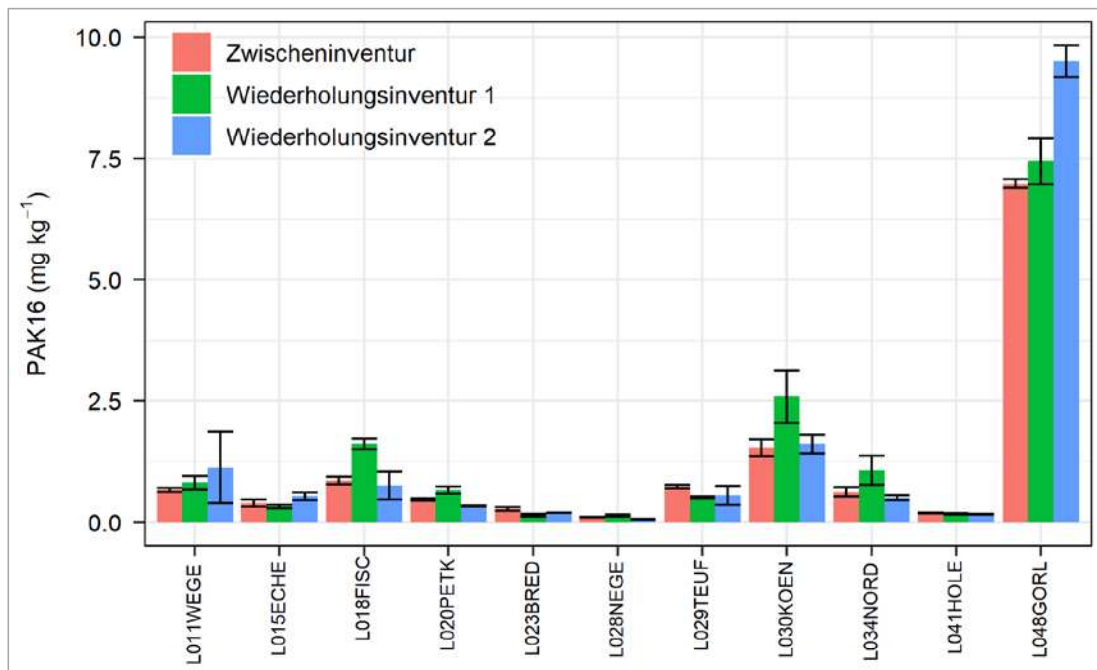


Abb. 9.8: PAK16-Summenwerte (mg kg⁻¹) in 0–10 cm Tiefe für alle BDF unter Grünland, für welche Werte für alle drei Inventuren vorliegen (Werte <BG = 0). Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler.

Im Unterschied zu den landwirtschaftlich genutzten BDF werden auf einigen forstlichen BDF in den Oh-Auflagehorizonten die Vorsorgewerte für PAK16 nach BBodSchV überschritten (Abb. 9.9). Die PAK-Funde konzentrieren sich allerdings auf die organischen Auflagen und den mineralischen Oberboden bis in 10 cm Tiefe. Lediglich im Moorboden F015DREI werden bis in 50 cm Tiefe nennenswerte PAK16-Gehalte (nur GI 2003 vorhanden) gefunden. Von den laubwaldbestockten BDF zeigt die BDF Solling-Buche (F006SLB1) die höchsten PAK-Konzentrationen in der Auflage und im mineralischen Oberboden. Dies ist möglicherweise auf

eine historische Köhlernutzung im Umfeld der BDF zurückzuführen (FORTMANN & MEESENBURG 2007). Die geringsten PAK-Konzentrationen weisen die in normaler Depositionslage befindlichen BDF Harste Buche (F008HABU) und Göttinger Wald Buche (F009GWBU) auf. Für die BDF Göttinger Wald (Terra-Fusca-Rendzina) ist aufgrund der hohen pH-Werte und der mikrobiellen Aktivität von einer verstärkten Metabolisierung der PAK auszugehen.

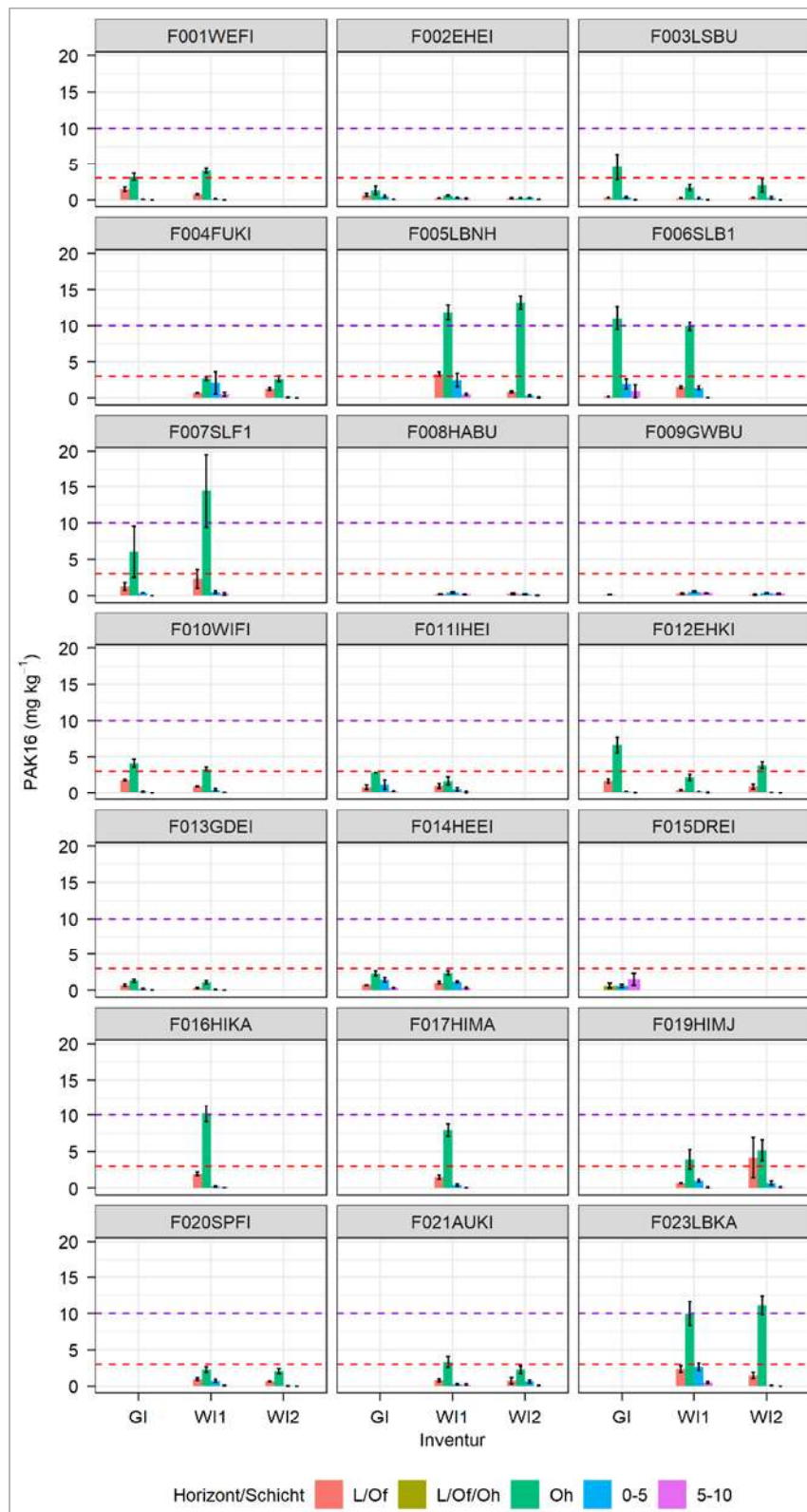
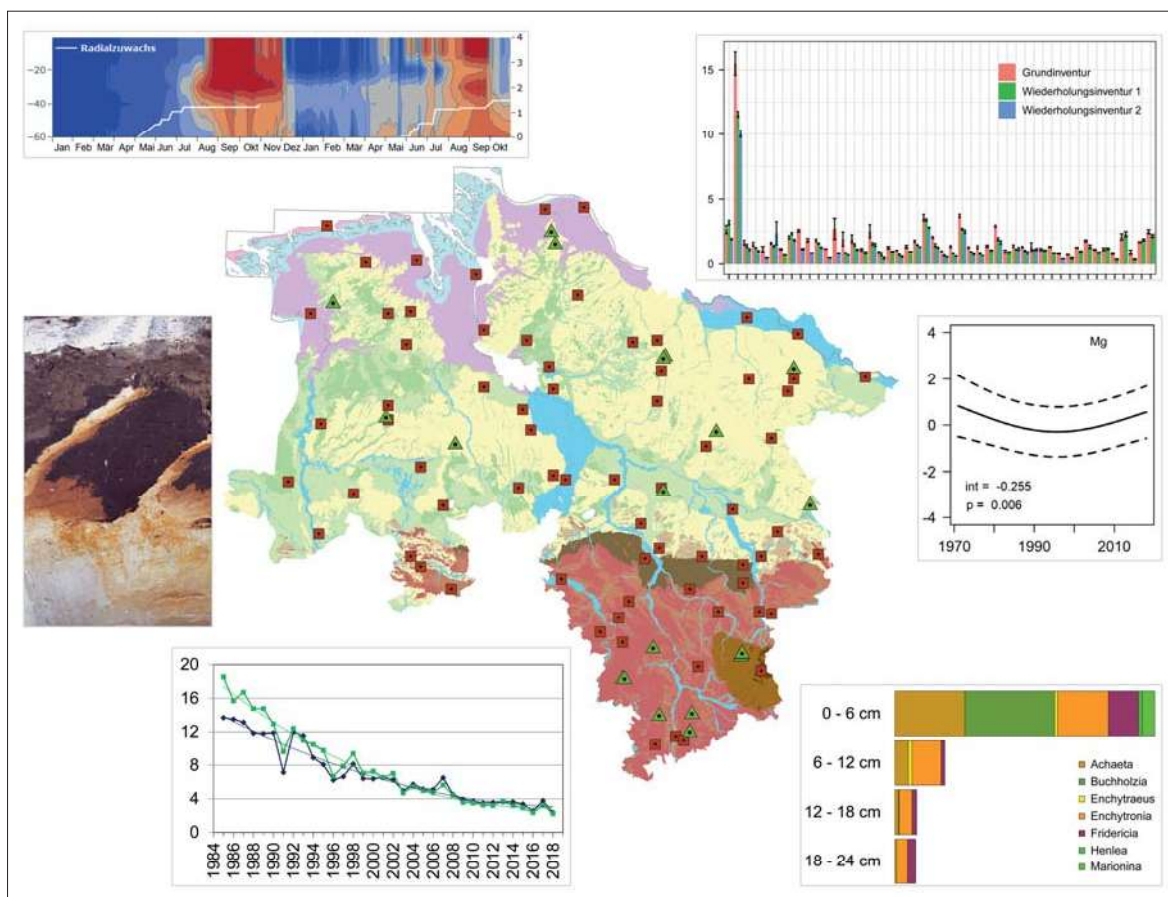


Abb. 9.9: PAK16-Gehalte aller BDF-Forst (Auflagehorizonte und Mineralboden in 0–5 cm und 5–10 cm), getrennt nach Inventuren (GI, W1, W2), Werte <BG = 0. In den Jahren 1994 und 1995 wurden nur die PAK6 untersucht. Dargestellt sind arithmetische Mittel und Standardfehler. Gestrichelte Linien: Vorsorgewerte nach BBSchVO bei Böden kleiner (rot) und größer (violett) 8 % Humus.

GeoBerichte 39



LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen



Niedersachsen



GeoBerichte 39

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen

HEINRICH HÖPER & HENNING MEESENBURG
(Hrsg.)

Hannover 2021

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

1. Auflage.

Version: 29.09.2021

Redaktion: Ricarda Nettelmann

Mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: BDF auf Bodengroßlandschaften, Deposition Sulfat, Profilgrube L056MEIN, Radialzuwachs Fichte, Organika BDF-L, Nährstoffbilanz Mg, Bodenfauna (Collage: H. Höper, LBEG).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_39_2021