

## 6. Schwermetallgehalte und -vorräte in Böden forstlich genutzter niedersächsischer Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF-F)

HEIKE FORTMANN & HENNING MEESENBURG

### 6.1. Einleitung

Schwermetalle werden aus der Luft in Waldböden eingetragen oder kommen in Gesteinen vor, aus denen sich die Böden entwickelt haben. Da sie nicht abgebaut werden können und i. d. R. keine Durchmischung durch Bodenbearbeitung stattfindet, verbleiben anthropogen eingetragene Schwermetalle aufgrund ihrer hohen Affinität zu organischer Substanz im Wesentlichen in der Humusauflage und im Oberboden. Regional gibt es große Unterschiede in der Belastung der Wälder mit Schwermetallen, so spielt z. B. die Nähe zu Straßen und Industrieanlagen eine Rolle. Vor Beginn der Industrialisierung waren in Niedersachsen nur wenige Gebiete, wie z. B. der Harz (Bergbau), anthropogen mit Schwermetallen belastet.

Mögliche kritische Belastungen von Böden mit Schwermetallen können anhand von Hintergrundwerten beurteilt werden. Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich aus dem geogenen Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge zusammen. Er ist als das 90. Perzentil der Gehalte gering belasteter Böden ausgewiesen. Höhere Gehalte werden auf eine anthropogene Ursache oder auf spezielle geogene Belastungen zurückgeführt. Für Niedersachsen sind Hintergrundwerte für verschiedene Substrate für Ober- und Unterböden sowie für Humusauflagen unter Wald ausgewiesen (Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden; LABO 2017, BBODSCHV 1999).

Weiterhin sind Vorsorgewerte in der BBodSchV definiert, die nach ökotoxikologischen Aspekten abgeleitet sind. Vorsorgewerte grenzen für alle Wirkungspfade und Bodenverhältnisse Bereiche unbedenklicher Schadstoffkonzentrationen von Bereichen der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung ab.

Im Rahmen des Niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsprogramms wurden zwischen 1992 und 2018 auf 22 BDF unter Wald im Abstand von ca. zehn Jahren Bodeninventuren durchgeführt und die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Kupfer, Zink, Kobalt, Chrom und Nickel bestimmt, so dass derzeit (2020) von allen Flächen mindestens zwei und von 17 Flächen sogar drei Inventuren vorliegen. Die Messwerte für den Mineralboden können erst ab 2009 für alle Flächen vergleichend ausgewertet werden, da erst ab diesem Zeitpunkt mit analytischen Verfahren nach den Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung 1999 (BBODSCHV) gemessen wurde. In der Humusauflage wurden die Schwermetallgehalte über den gesamten Zeitraum mit Verfahren ermittelt, die mit den für die BBodSchV angewendeten Verfahren konform sind, so dass ein Vergleich mit Hintergrund- und Vorsorgewerten möglich ist. Anhand von Cadmium und Blei, die aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Toxizität und ihrer umweltpolitischen Relevanz von besonderem Interesse sind, werden zeitliche Veränderungen und räumliche Muster sowie mögliche Überschreitungen von Hintergrund- und Vorsorgewerten beschrieben. Weiterhin wird untersucht, ob eine Tiefenverlagerung der Schwermetalle feststellbar ist. Hinweise zur Probenahme sind bei HÖPER & MEESENBURG (2012) zu finden.

## 6.2. Ergebnisse

### 6.2.1. Gehalte in der Humusauflage

Die Hintergrundwerte für Humusauflagen von Waldböden werden für Cadmium mit 0,85 mg/kg und für Blei mit 117 mg/kg angegeben. Diese Werte werden für Cadmium auf den BDF-F im Harz und auf F015DREI, einem Niedermoorstandort, überschritten (Abb. 6.1). Für Blei fallen die BDF-F in den höheren Lagen (Hils, Solling, Harz) mit z. T. mehr als zehnfachen Überschreitungen dieses Wertes auf (Abb. 6.2).

Der Vergleich unmittelbar benachbarter Bestände mit Nadelbaum- (Fichte oder Kiefer) bzw. Laubbaumbestockung (Buche oder Eiche) verdeutlicht den Effekt der Bestandeseigen-

schaften auf die Höhe der Belastung. Bei den BDF-F Ehrhorn Eiche und Kiefer (F002EHEI, F012EHKI) und den BDF-F Solling Buche und Fichte (F006SLB1, F007SLF1) (Abb. 6.1 u. 6.2) sind die Gehalte beider Elemente in der Humusauflage der BDF-F mit Nadelbäumen höher, da Nadelbäume aufgrund ihrer ganzjährigen Benadelung mehr Cadmium und Blei aus der Luft auskämmen als Laubbäume. Weiterhin weisen BDF-F im niedersächsischen Tiefland mit Laubbäumen (F002EHEI, F013GDEI, F014HEEI) vergleichsweise niedrigere Gehalte als Flächen mit Nadelbäumen (F021AUKI, F012EHKI, F004FUKI, F001WEFI, F010WIFI) auf. BDF-F in Mittelgebirgslagen sind aufgrund höherer Niederschläge und häufigerer Nebellagen (Solling, Hils, Harz) insgesamt wesentlich höher belastet als BDF-F im Tiefland.

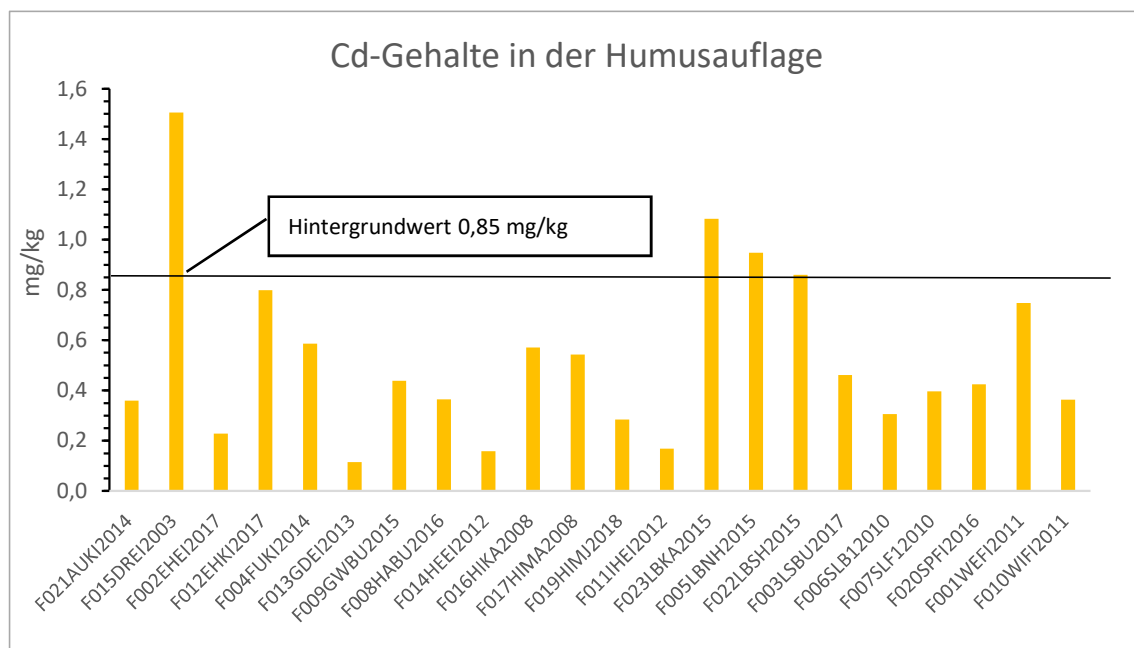


Abb. 6.1: Cadmium-Gehalte in der Humusauflage (dargestellt ist jeweils die letzte Inventur).

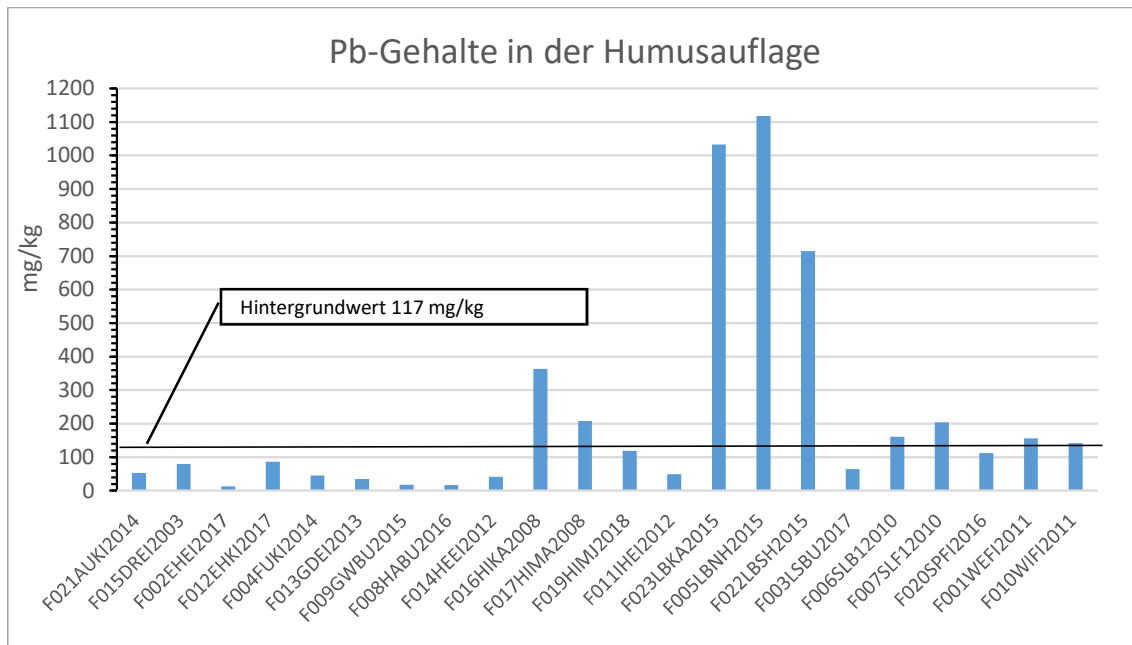


Abb. 6.2: Blei-Gehalte in der Humusauflage (dargestellt ist jeweils die letzte Inventur).

### 6.2.2. Veränderung der Vorräte in der Humusauflage

Inwieweit sich die Cadmium- und Bleivorräte verändert haben, kann für die Humusauflage über den Zeitraum 1992–2018 betrachtet werden (Abb. 6.3 u. 6.4). In den ca. 20jährigen Zeiträumen ist in keinem Fall eine Zunahme der Cd- und Pb-Gehalte zu verzeichnen, was sicherlich eine positive Folge umweltpolitischer Maßnahmen ist. Auch spiegelt sich die größere Mobilität von Cadmium im Vergleich zu Blei darin wider, dass die Cd-Vorräte der 3. Inventur häufig deutlich unter denen der 1. Inventur liegen (Abb. 6.3, Werte unterhalb der 1:1-Linie) während sie beim Pb eher in gleicher Größenordnung zu finden sind (Abb. 6.4, Werte auf der 1:1-Linie). Da Schwermetalle nicht von Pflanzen aktiv aufgenommen werden, kommt für die Abnahme in der Humusauflage nur eine Verlagerung in den Mineralboden in Frage.

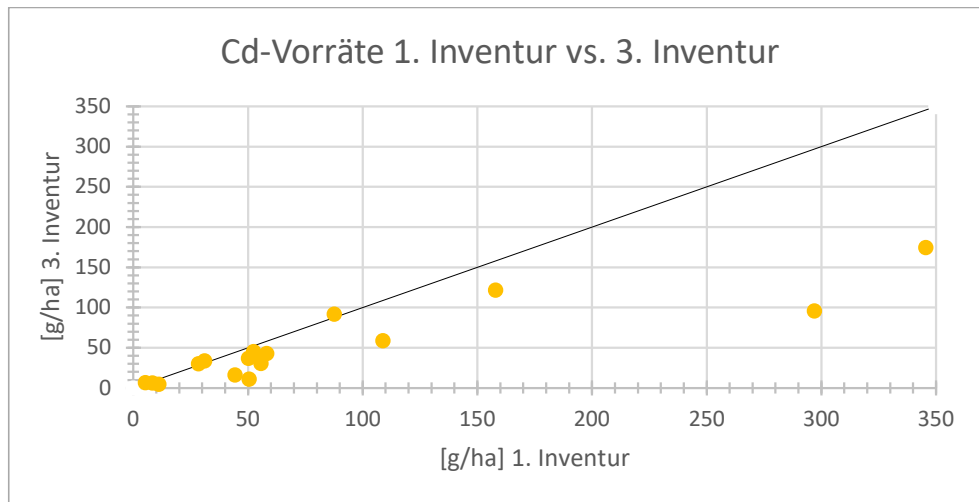


Abb. 6.3: Cadmium-Vorräte in der Humusauflage von BDF-F zum Zeitpunkt der 1. und 3. Inventur. Die Linie stellt die 1:1-Beziehung bei potenziell gleichen Werten zu beiden Inventuren dar.

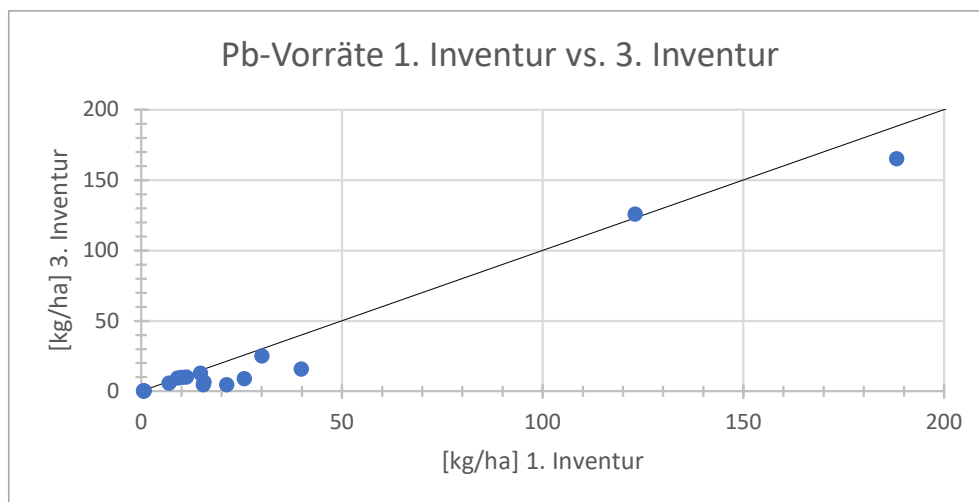


Abb. 6.4: Blei-Vorräte in der Humusauflage von BDF-F zum Zeitpunkt der 1. und 3. Inventur. Die Linie stellt die 1:1-Beziehung bei potenziell gleichen Werten zu beiden Inventuren dar.

### 6.2.3. Gehalte im Mineralboden

Die Hintergrundwerte für Oberböden (Abb. 6.5 u. 6.6) liegen in der gleichen Größenordnung wie die Vorsorgewerte der BBodSchV. Diese betragen für Cadmium 0,4 mg/kg für Sandböden und 1 mg/kg für Lehm- und Schluffböden. Für Blei sind Vorsorgewerte von 40 mg/kg für Sandböden, 70 mg/kg für Lehm- und Schluffböden und 100 mg/kg für Tonböden ausgewiesen. Die Hintergrundwerte für Böden unter Wald betragen für Cd 0,4 mg/kg für Oberböden über

Sand und Sandstein und 1,1 mg/kg für Oberböden über Kalkstein. Für Blei sind Werte von 89 mg/kg (Sand), 96 mg/kg (Kalkstein) und 180 mg/kg (Sandstein) für Oberböden verzeichnet (LABO 2017).

Für Cadmium werden die Hintergrundwerte für Oberböden in keinem Fall überschritten, berücksichtigt man, dass das Substrat der BDF-F F009GWBU Kalkstein ist.

Bei Blei liegen die Messwerte für die drei BDF-F im Harz über den höchsten Hintergrundwerten für Oberböden und auch über den Vorsorgewerten der BBodSchV (nicht grafisch dargestellt) was auf geogene Ursachen und den Bergbau schwermetallhaltiger Erze in dieser Region zurückzuführen ist.

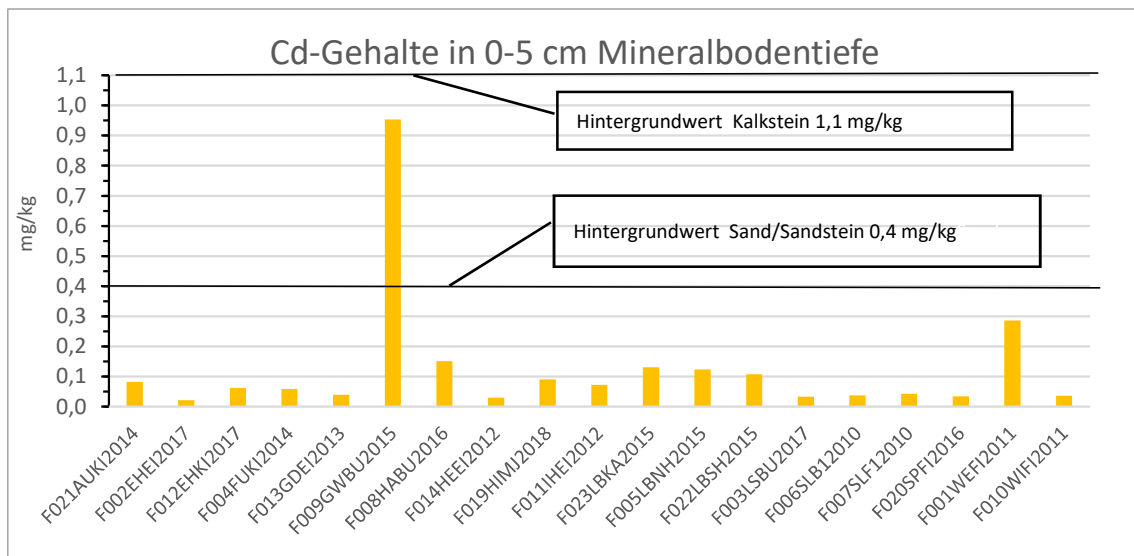


Abb. 6.5: Cadmium-Gehalte im Oberboden (0–5 cm) von BDF-F (Königswasseraufschluss). Hintergrundwerte für Sand bzw. Sandstein und Kalkstein sind angegeben.

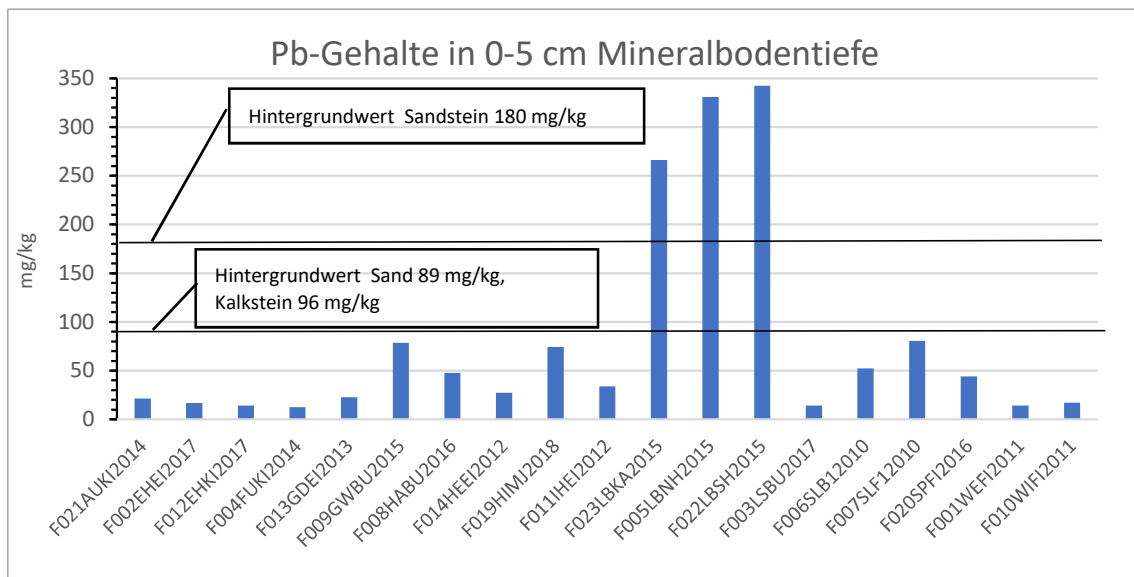


Abb. 6.6: Blei-Gehalte im Oberboden (0–5 cm) von BDF-F (Königswasseraufschluss). Hintergrundwerte für Sandstein, Sand und Kalkstein sind angegeben.

### 6.2.4. Vorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 1 m Tiefe

Die Cadmium- und Bleivorräte im Mineralboden, die insbesondere im Unterboden vor allem geogenen Ursprungs sind, sind sehr unterschiedlich (Abb. 6.7 u. 6.8). So fallen die BDF-F

F009GWBU und F008HABU durch vergleichsweise hohe Cadmium- und erhöhte Bleivorräte, die Flächen im Harz (F0023LBKA, F005LBNH, F022LBSH) und die Fichtenfläche im Solling (F007SLF1) durch hohe Bleivorräte im Mineralboden auf (Abb. 6.8). Die Flächen im Harz haben zudem hohe Blei- und Cadmiumvorräte in der Humusauflage (Abb. 6.7 u. 6.8).

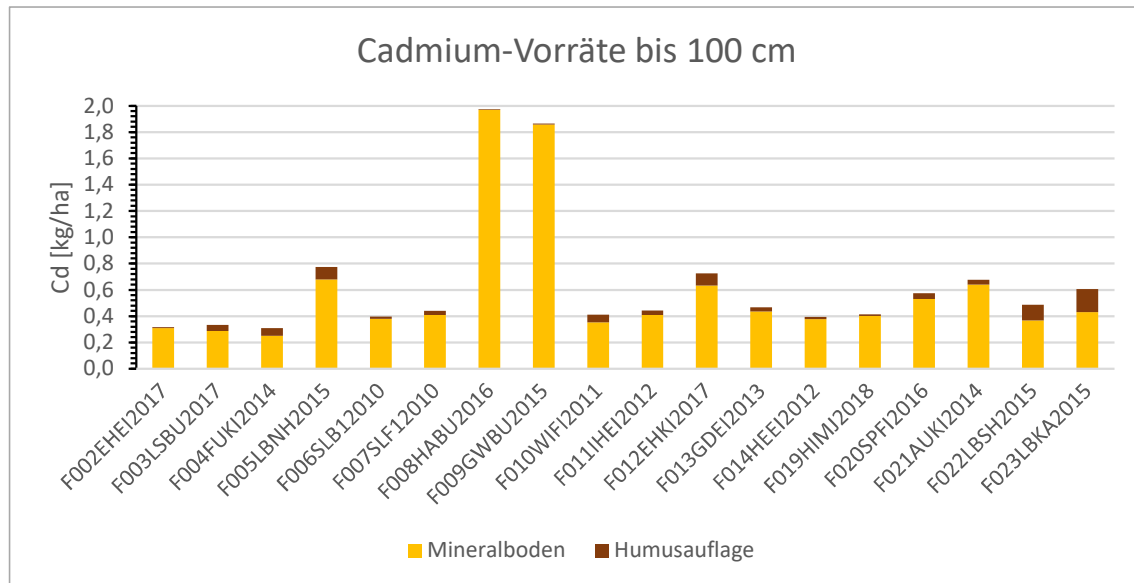


Abb. 6.7: Cadmium-Vorräte im der Humusauflage und im Mineralboden (Königswasseraufschluss; dargestellt ist jeweils die letzte Inventur).

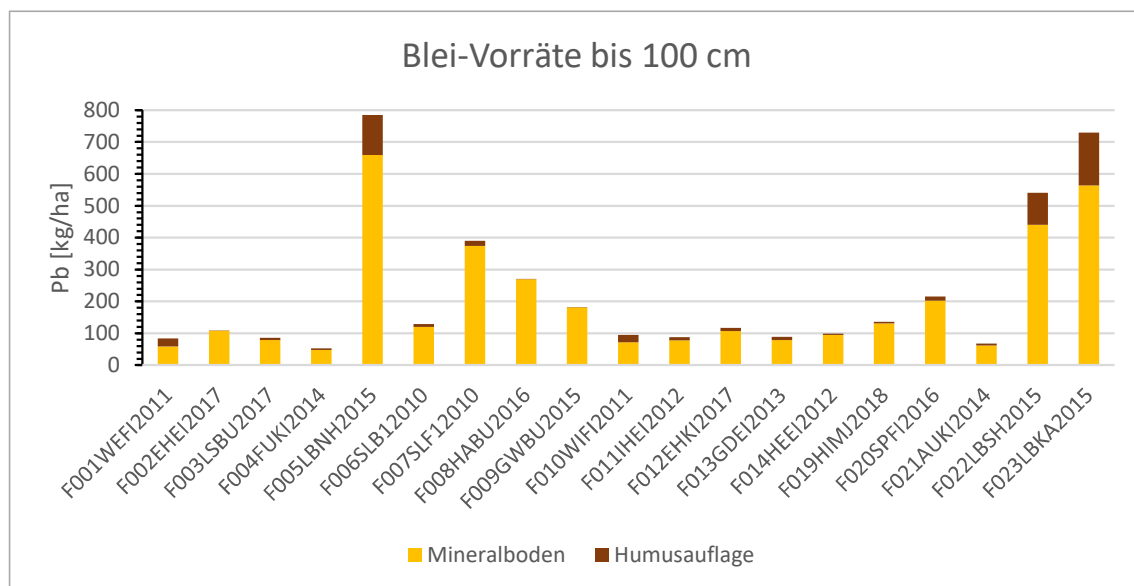


Abb. 6.8: Blei-Vorräte im der Humusauflage und im Mineralboden (Königswasseraufschluss; dargestellt ist jeweils die letzte Inventur).

### 6.2.5. Verlagerung in den Unterboden

Die Mobilität von Schwermetallen ist von ihrer Löslichkeit, dem pH-Wert, dem Gehalt an organischer Substanz im Boden sowie der Bodenart abhängig. Sie nimmt mit steigendem pH-Wert ab, wobei die Löslichkeit von Cadmium größer als die von Blei ist. Da Schwermetalle außerdem von organischer Substanz gebunden werden, sind die über den Luftweg eingetragenen Schwermetalle im Wesentlichen im Oberboden und in der Humusaufgabe zu finden (Abb. 6.9–6.14).

Um eine mögliche Verlagerung in den Unterboden zu untersuchen, wurden die BDF-F (F021AUKI, F002EHEI (nur Pb), F009GWBU, F023LBKA (2009 u. 2015) und F003LSBU (nur Pb)) analysiert, für die jeweils zwei Inventuren im Abstand von ca. zehn Jahren bis zu einer Bodentiefe von 100 cm verfügbar sind. Bei den BDF-F F021AUKI, F002EHEI und F003LSBU handelt es sich um schwach bindige Böden mit hohem Sandanteil, bei F009GWBU und F023LBKA um flachgründige stärker bindige Böden. Der Boden von F009GWBU weist pH-Werte über 6 auf, während die Böden der anderen BDF-F insbesondere im Oberboden mit pH-Werten unter 4 und geringer Basensättigung stark versauert sind.

Da für Cadmium nur für drei Flächen (F023LBKA 2009 u. 2015, F021AUKI 2003 u. 2014, F009GWBU 2004 u. 2015) Tiefenprofile bis in 1 m Tiefe vorliegen, ist die Datengrundlage, um die Verlagerung von Cadmium im Boden zu beurteilen, sehr dünn. Die Streuung der Messwerte im Boden der Fläche F021AUKI ist zudem sehr hoch (Abb. 6.9), was eine Interpretation schwierig macht. Für die Fläche F009GWBU mit hohen geogenen Cadmiumgehalten im Mineralboden (Abb. 6.7) und sehr geringen Vorräten in der Mull-Auflage ist ebenfalls keine Aussage möglich. Lediglich für die Fläche F023LBKA ist eine Abnahme in 0–5 cm Tiefe erkennbar, die für diese Tiefenstufe signifikant ist (Abb. 6.10), obwohl zwischen den zwei Inventuren nur sechs Jahre liegen. Eine Tendenz zur Zunahme ist im Sandboden (F021AUKI) bis 40 cm und im bindigeren Boden (F023LBKA) bis 20 cm Tiefe zu erkennen. Im weiteren Tiefenverlauf des Unterbodens ist keine Veränderung zu verzeichnen (Abb. 6.9 u. 6.10).

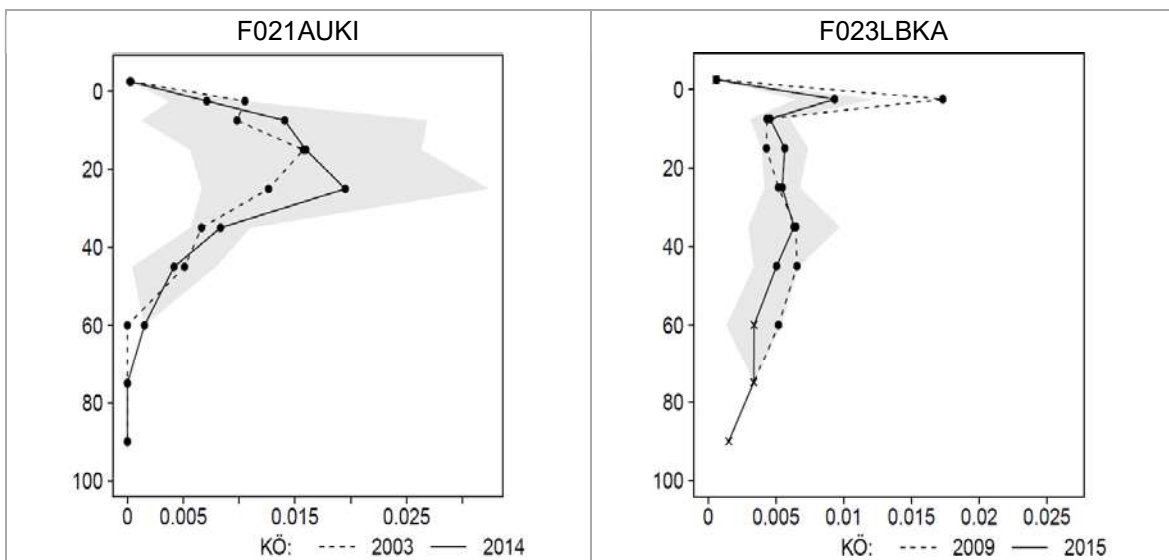


Abb. 6.9 und 6.10: Cadmium-Vorräte in kg/ha/cm bis 100 cm Bodentiefe für F021AUKI und F023LBKA. Die grau hinterlegte Fläche gibt die Streuung für die jeweilige Tiefenstufe für die letzte Inventur wieder.

Für Blei können für alle untersuchten BDF-F nur geringe Veränderungen des Tiefenprofils festgestellt werden (Abb. 6.11–6.14). Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen des Vergleichs der Bleivorräte in der Humusaufgabe der ca. 20 Jahre auseinanderliegenden Inventuren (Abb. 6.4).

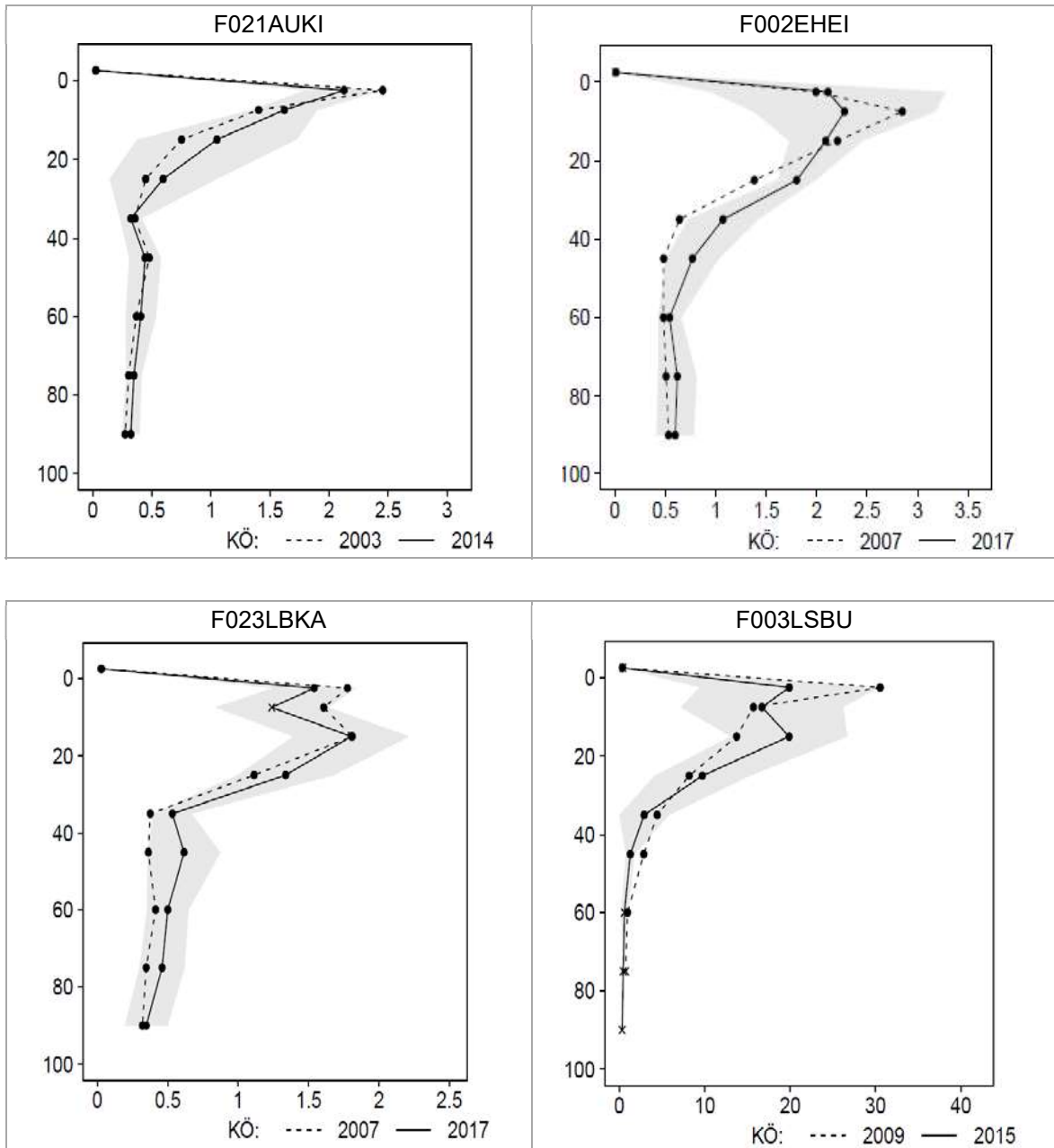


Abb. 6.11–6.14: Blei-Vorräte in kg/ha/cm bis 100 cm Bodentiefe für F021AUKI, F002EHEI, F023LBKA und F003LSBU. Die grau hinterlegte Fläche gibt die Streuung für die jeweilige Tiefenstufe für die letzte Inventur wieder.



### 6.3. Zusammenfassung

Für Cadmium werden die Hintergrundwerte in der Humusauflage für die Flächen im Harz aufgrund der dort insgesamt vergleichsweise hohen geogenen Schwermetallbelastung und der Bergbauaktivität in der Vergangenheit sowie in einem Moorboden (F015DREI) überschritten. Die Hintergrundwerte für Oberböden (0–5 cm) werden in keinem Fall überschritten.

Für Blei werden die Hintergrundwerte in der Humusauflage der Flächen in größerer Höhe im Harz erheblich, im Hils und im Solling geringfügig überschritten. Für Oberböden werden sowohl die Hintergrund- als auch die Vorsorgewerte der BBodSchV, insbesondere in der Kammlage des Harzes z. T. erheblich überschritten. Die Gehalte der Oberböden aller anderen Flächen liegen unter diesen Grenzwerten.

Die Gehalte in der Humusauflage und im Oberboden sind in keinem Fall angestiegen, was auf die deutlich gesunkenen Cadmium- und Bleieinträge seit Inkrafttreten des BENZINBLEIGESETZES (1971) und des BUNDES-IMMISSIONS-SCHUTZGESETZES (1974) zurückzuführen sein dürfte.

Bei unmittelbar benachbarten Flächen mit Laubbaum- bzw. Nadelbaumbestockung wurden höhere Blei- und Cadmium-Konzentrationen in der Humusauflage der mit Nadelbäumen bestandenen Flächen gefunden, da diese aufgrund ihrer ganzjährigen Benadelung im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte mehr Schwermetalle aus der Luft auskämmen konnten.

Über den Luftweg eingetragenes Cadmium und Blei verbleibt aufgrund der hohen Affinität von Schwermetallen zu organischer Substanz im Wesentlichen in der Humusauflage und im Oberboden.

Eine Verlagerung in den Unterboden konnte für Flächen mit vergleichbaren Wiederholungsmessungen nicht beobachtet werden. Dennoch kann ein Austrag mit dem Sickerwasser ins Grundwasser insbesondere für Cadmium nicht ausgeschlossen werden (s. Kap. 14).

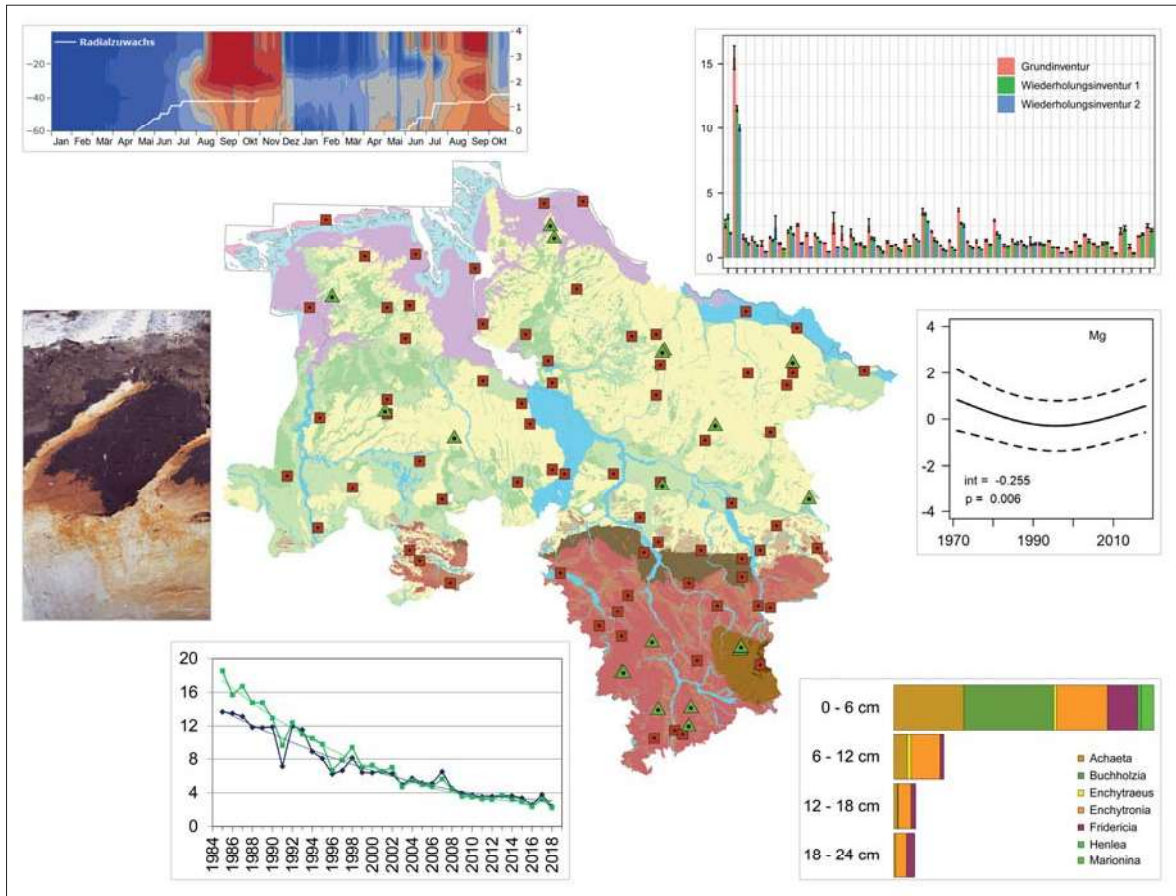
#### 6.4. Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2011): Hintergrundwerte von anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden Bayerns. – Augsburg (LfU); <[https://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert\\_umweltspezial.pdf](https://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert_umweltspezial.pdf)>.
- BENZINBLEIGESSETZ – BZBLG (1971): Benzinbleigesetz vom 5. August 1971 (BGBl. I: 1234), das zuletzt durch Artikel 73 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I: 1474) geändert worden ist. – <<https://www.gesetze-im-internet.de/bzblg/BJNR012340971.html>>.
- BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG – BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I: 1554), die zuletzt durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I: 1328) geändert worden ist. – <<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BJNR155400999.html>>.
- BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ – BIMSCHG (1974): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I: 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I: 432) geändert worden ist. – <<https://www.gesetze-im-internet.de/bim-schg/BJNR007210974.html>>.
- LABO – BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – 4. überarb. u. erg. Aufl.; <[https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO\\_Fassung\\_HGW\\_Bericht\\_02\\_2017.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Fassung_HGW_Bericht_02_2017.pdf)>.
- FORTMANN, H., RADEMACHER, P., GROH, H. & HÖPER, H. (2012): Stoffgehalte und -vorräte im Boden und deren Veränderungen. – GeoBerichte **23**: 48–69, 27 Abb.; Hannover (LBEG).
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2011): Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden. – Wiesbaden (HLUG); <[https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/hgw/Hintergrundwerte\\_Hessen.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/hgw/Hintergrundwerte_Hessen.pdf)>.
- HÖPER, H. & MEESENBURG, H. (2012): Das Bodendauerbeobachtungsprogramm. – GeoBerichte **23**: 6–18, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover (LBEG).
- UTERMANN J., FUCHS, M. & DÜWEL, O. (2008): Flächenrepräsentative Hintergrundwerte für Arsen, Antimon, Beryllium, Molybdän, Kobalt, Selen, Thallium, Uran und Vanadium in Böden Deutschlands aus länderübergreifender Sicht. – Hannover (BGR); <[https://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/bgr\\_hintergrundwerte\\_2008.pdf](https://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/bgr_hintergrundwerte_2008.pdf)>.

# 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](http://www.lbeg.niedersachsen.de)

1. Auflage.

Version: 29.09.2021

Redaktion: Ricarda Nettelmann

Mail: [bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de](mailto: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