

## **Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg - Zusammenfassung der Auswertung des Untersuchungszeitraumes 2008 - 2016**

Der Boden als bedeutsame Lebensgrundlage des Menschen muss auch für künftige Generationen nachhaltig geschützt werden. Zu diesem Zweck führen die Bundesländer seit Mitte der neunzehnhundertachtziger Jahre Untersuchungen zum Zustand der Böden und zur langfristigen Überwachung der Veränderung von Bodenzustand und Bodenfunktionen durch. Diesem Ziel dienen über ganz Deutschland verteilt etwa 800 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), auf denen vor allem bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter untersucht werden.

Die Empfehlung zur Einrichtung und den Betrieb von BDF in allen Bundesländern gab die 28. Umweltministerkonferenz 1987 mit der Orientierung, möglichst repräsentative Flächen auszuwählen.

Im Land Brandenburg erfolgte die Einrichtung und der Betrieb von BDF ab 1990 zunächst ausschließlich nach landesspezifischen Vorgaben. Ab 1991 stellte die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) Konzepte zur bundesweiten Vereinheitlichung der Boden-Dauerbeobachtung zur Verfügung (Barth et al. 2001).

Zurzeit werden im Land Brandenburg 32 Boden-Dauerbeobachtungsflächen auf landwirtschaftlich bzw. naturschutzfachlich genutzten Standorten untersucht.

Ausgewählt wurden die Standorte einerseits nach der Landschafts-, Boden- und Nutzungsrepräsentanz sowie der Zuordnung zu regionalen Verwaltungseinheiten und der Berücksichtigung spezieller realer bzw. potenzieller lokaler Belastungssituationen. Ein weiteres Auswahlkriterium war die langfristige Erhaltung und Verfügbarkeit der Fläche. Aus diesem Ansatz heraus ergibt sich die Einteilung der aktuell 32 BDF in die Kategorien I bis III. Zur Kategorie I gehören 20 Flächen mit repräsentativen Boden-, Landschafts- und Nutzungsformen. Zur Kategorie II gehören 8 Flächen mit realen bzw. potenziellen lokalen Bodenbelastungen. In Kategorie III sind 4 Flächen mit sensitiven Bodentypen erfasst.

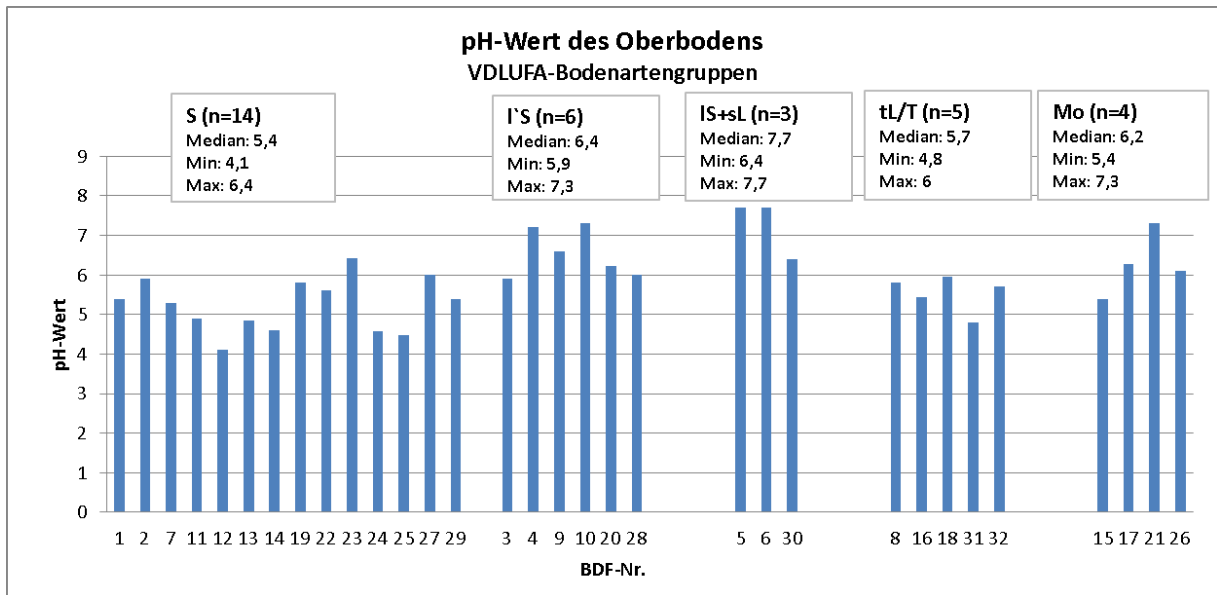
Nach Abschluss der Erstuntersuchung der BDF im Jahre 1996 und der ersten Wiederholungsuntersuchung in den Jahren 1999 bis 2009 konnte inzwischen die zweite Wiederholungsuntersuchung im Zeitraum von 2008 bis 2016 abgeschlossen werden.

Grundlagen für die **Bewertung der Untersuchungsergebnisse** waren die BBodSchV (Vorsorgewerte, Prüfwerte, Maßnahmenwerte), aktuell gültige Hintergrundwerte des Landes Brandenburg (Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, Band 22, Heft 1, 2015), die Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (Anonym 2000), die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 2005; KA5) sowie Literatur mit Hinweisen zur Bewertung bodenbiologischer Untersuchungsergebnisse (Höper und Kleefisch (2001); Sommer et al. (2002); Krück et al. (2006)). Darüber hinaus wurden einige Parameter anhand einschlägiger bodenkundlicher Literatur (z.B. Handbuch der Bodenkunde, SCHEFFER&SCHACHTSCHABEL (2010)) eingeschätzt sowie Gruppierungen der Standorte nach den VDLUFA-Bodenartengruppen (Standpunkt des VDLUFA (2000)) vorgenommen und vergleichend dargestellt.

### **ERGEBNISSE:**

Der **pH-Wert** des Oberbodens der BDF liegt im Minimum bei 4,1 und im Maximum bei 7,7. Diese Werte sind nach KA5 als stark sauer bzw. sehr schwach alkalisch einzustufen. Im Median weisen die BDF einen pH-Wert von 5,8 (KA5: schwach sauer) auf.

Geordnet nach VDLUFA-Bodenartengruppen (siehe Tabelle 1) ergeben sich für die Gruppe der Sande mit einem mittleren Wert von 5,4 und die Gruppe der tonigen Lehme/Tone mit einem Wert von 5,7 eine schwach saure Bodenreaktion und somit im Vergleich die niedrigsten pH-Werte. Die Gruppen schwach lehmiger Sand und Anmoor/Niedermoor weisen mit Werten von 6,4 und 6,2 eine sehr schwach saure Bodenreaktion auf. Der höchste mittlere pH-Wert wurde für die Gruppe stark lehmiger Sand/sandiger, schluffiger Lehm mit einem Wert von 7,7 ermittelt, was einer sehr schwach alkalischen Bodenreaktion entspricht.

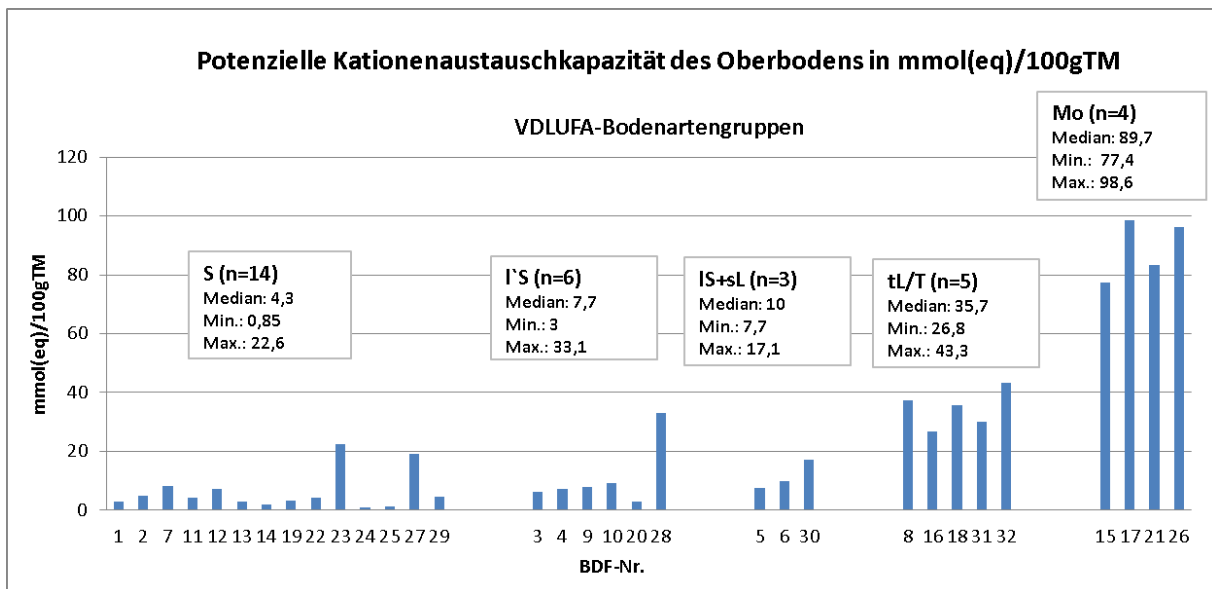


**Abb. 1** pH-Wert des Oberbodens – Vergleich der VDLUFA-Bodenartengruppen

**Tabelle 1:** VDLUFA-Bodenartengruppen nach STANDPUNKT des VDLUFA (2000):

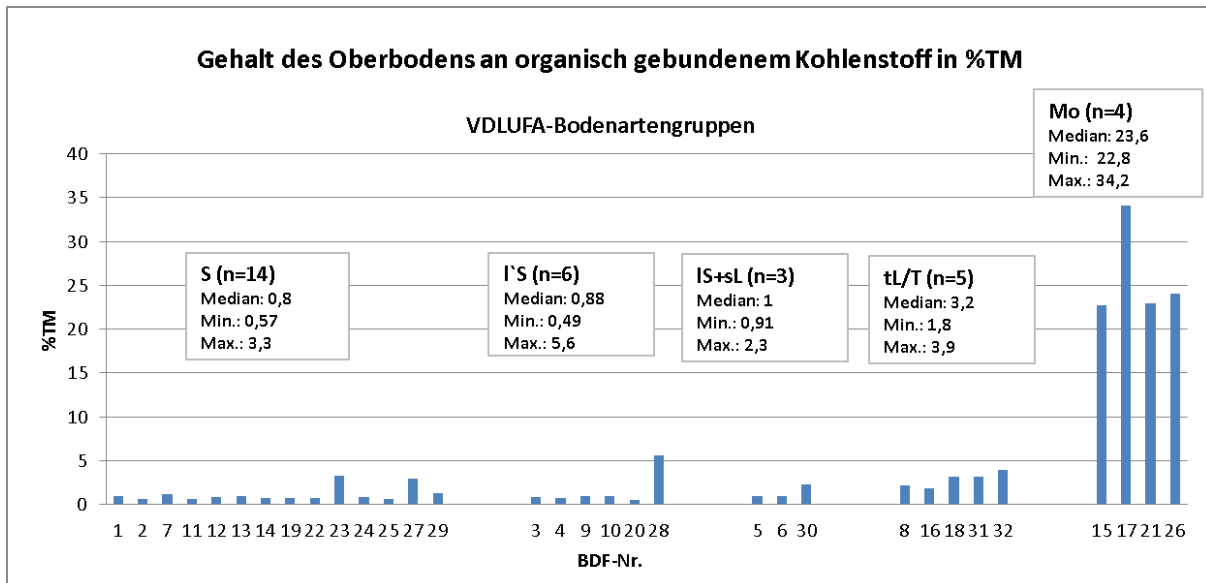
BDF-Nr.	Standort	Bodenartengruppe	Bezeichnung	verwendete Symbole
BDF 01	Lockstädt	1	Sand	S
BDF 02	Blandikow			
BDF 07	Vierraden			
BDF 13	Neuholland			
BDF 14	Klandorf			
BDF 23	Telz			
BDF 27	Kossin			
BDF 11	Altenhof			
BDF 12	Altenhof			
BDF 19	Lichtenow			
BDF 22	Kuhlowitz			
BDF 24	Marienhöhe			
BDF 25	Glienicke			
BDF 29	Dubrau			
BDF 28	Zeckerin	2	schwach lehmiger Sand	I'S
BDF 03	Schönhagen			
BDF 04	Bagemühl			
BDF 09	Bölkendorf			
BDF 10	Bölkendorf			
BDF 20	Lünow			
BDF 05	Augustenfelde	3/4	stark lehmiger Sand+ sandiger/schluffiger Lehm	IS+sL
BDF 06	Augustenfelde			
BDF 30	Biehlen			
BDF 08	Zützen	5	toniger Lehm/Ton	tL/T
BDF 16	Rathsdorf			
BDF 31	Lenzen Ost			
BDF 18	Gusow			
BDF 32	Lenzen West			
BDF 15	Zerpenschleuse	6	Anmoor/Niedermoor	Mo
BDF 17	Paulinenaue			
BDF 21	Schenkenberg			
BDF 26	Golßen			

Gemäß der Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) ergeben sich aus den Werten der Bodenreaktion Hinweise zum Kalkbedarf der Böden. Von den untersuchten Acker-BDF ergab sich für 65% der Flächen ein geringer bzw. kein Kalkbedarf (pH-Klasse C – E). Ein sehr hoher bis hoher Kalkbedarf bestand bei den übrigen 35% der Flächen (pH-Klasse A – B). Ein Kalkbedarf auf Grünlandstandorten wurde nicht festgestellt. Für die potentielle Kationenaustauschkapazität ergeben sich nach der KA5 mit Werten von 0,85 bis 98,6 mmol(eq)/100gTM Einstufungen von KAK 1 (sehr gering) bis KAK 6 (extrem hoch). Die mittlere potentielle Kationenaustauschkapazität ist auf den Ackerstandorten mit 6,2 mmol(eq)/100gTM (KAK 2) deutlich geringer als auf den mineralischen Grünlandstandorten mit 33,1 mmol(eq)/100gTM (KAK 6) und erreicht mit 89,7 mmol(eq)/100gTM (KAK 6) den höchsten Wert auf den organischen Grünlandstandorten. Im Vergleich der VDLUFA-Bodenartengruppen steigt die mittlere potenzielle Kationenaustauschkapazität von den Sandböden hin zu den bindigen Böden von 4,3 bis auf 35,7 mmol(eq)/100gTM bei den Tonböden an. Die höchste mittlere potenzielle Kationenaustauschkapazität wurde mit 89,7 mmol(eq)/100gTM auf den Niedermoorstandorten gemessen.



**Abb. 2** Potenzielle Kationenaustauschkapazität des Oberbodens – Vergleich der VDLUFA-Bodenartengruppen

Erwartungsgemäß konnte für den Gehalt des Oberbodens an **organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC)** eine große Spannweite von 0,49 bis 34,2 %TM gemessen werden, da hier die humusarmen Sandböden auf der einen Seite den organischen Niedermoorböden auf der anderen Seite gegenüberstehen. Den Niedermoorböden mit einem mittleren TOC-Gehalt von 23,6 %TM folgen im Vergleich der VDLUFA- Bodenartengruppen die stark humosen tonigen Lehme/Tone mit einem mittleren TOC- Gehalt von 3,2 %TM. Die weniger bindigen Standorte sind mit mittleren Werten von 0,8 bis 1 %TM als schwach humos einzustufen.



**Abb. 3** Gehalt des Oberbodens an organisch gebundenem Kohlenstoff – Vergleich der VDLUF A-Bodenartengruppen

Die Gehalte des Oberbodens an **Stickstoff (gesamt)** variieren zwischen 0,05 und 2,8 %TM und folgen dem Muster des organisch gebundenen Kohlenstoffs. Das aus den oben beschriebenen Kenngrößen ermittelte Verhältnis aus dem TOC und Stickstoff (gesamt) lag zwischen 8,4 und 13,8 und entspricht damit gemäß SCHEFFER&SCHACHTSCHABEL (2010) dem für mitteleuropäische Acker- und Grünlandstandorte typischen Bereich.

Die **königswasserlösliche Konzentrationen** des Oberbodens der BDF an **Kalium** (478 – 9530 mg/kgTM), **Magnesium** (395 – 8030 mg/kgTM) und **Phosphor** (233 – 7150 mg/kgTM) weisen relativ hohe Spannweiten auf. Hohe Werte weisen Auenstandorte an der Oder und der Elbe auf (BDF 8, 16, 18, 31, 32). Dagegen liegen vor allem die Werte der durch Sandböden charakterisierten Ackerstandorte (BDF 1, 2, 7, 11, 12, 19, 20, 22, 23, 24, 25), aber auch die Werte der Niedermoorstandorte (BDF 15, 17, 21, 26) unter den in SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (2010) angegebenen häufig vorkommenden Bodengehalten.

Die mittleren Kalium- Magnesium und Phosphorwerte der verschiedenen VDLUF A-Bodenartengruppen steigen mit der Bindigkeit von den reinen Sandböden hin zu den Lehm- und Tonböden deutlich an. Während jedoch die mittleren Kalium- und Magnesiumwerte der Niedermoorböden mit denen der reinen Sandböden bzw. schwach lehmigen Sandböden vergleichbar sind, ist der mittlere Phosphorgehalt bei den Niedermoorböden höher als bei allen anderen VDLUF A-Bodenartengruppen und liegt hier im Mittel bei 1780 mg/kgTM sowie maximal bei 7150 mg/kgTM. Der Phosphorgehalt der BDF 12, einer ehemaligen Güllehochlastfläche, liegt mit 1010 mg/kgTM um den Faktor 2 über dem Median der Sandstandorte.

Die mittleren Gehalte des Oberbodens an **löslichen Nährstoffen** zeigen im Vergleich der verschiedenen VDLUF A-Bodenartengruppen für **Kalium, Magnesium und Phosphor** jeweils spezifische Muster. Der mittlere Gehalt an löslichem Kalium weist eine Abhängigkeit von der Körnung auf und steigt von den Sandböden mit 6,1 mg/100gTM hin zu den Lehm- und Tonböden auf bis zu 13,7 mg/100gTM an. Die Niedermoorböden entsprechen mit 8,1 mg/100gTM dem Bereich der Sandböden. Auch der Gehalt an löslichem Magnesium korreliert mit der Körnung und steigt bei den meisten BDF von den Sandböden mit 3,7 mg/100gTM zu den Lehm- und Tonböden mit 23,9 mg/100gTM deutlich an. Die Niedermoorböden liegen mit 22,8 mg/100gTM im gleichen Bereich wie die Lehm- und Tonböden. Der mittlere Gehalt an löslichem Phosphor zeigt im Vergleich der verschiedenen VDLUF A-Bodenartengruppen nicht so starke Unterschiede wie bei Kalium und Magnesium. Die mittleren Konzentrationen variieren zwischen den VDLUF A-Bodenartengruppen von 2,6 bis 5,3 mg/100gTM, wobei die Sandböden den höchsten und die Niedermoorböden den geringsten Wert aufweisen. Der insgesamt höchste Wert wurde mit 13,2 mg/100gTM auf der

BDF 12 (siehe oben) gemessen. Dieser Wert liegt aufgrund der Standorthistorie um den Faktor 2 über dem mittleren Wert vergleichbarer Sandstandorte.

39,1% der Ackerstandorte waren zum Zeitpunkt der Probennahme gemäß RAHMENEMPFEHLUNG ZUR DÜNGUNG IM LAND BRANDENBURG (2000) zu gering mit Kalium versorgt. 60,9% der Ackerstandorte waren optimal bzw. hoch mit Kalium versorgt. Bei den Grünlandstandorten waren 55,5% zu gering mit Kalium versorgt und 44,5% optimal bzw. hoch mit Kalium versorgt.

47,8% der Ackerstandorte waren zum Zeitpunkt der Probennahme gemäß RAHMENEMPFEHLUNG ZUR DÜNGUNG IM LAND BRANDENBURG (2000) zu gering mit Magnesium versorgt. 52,2% der Ackerstandorte waren optimal bzw. hoch mit Magnesium versorgt. Bei den Grünlandstandorten waren 100% sehr hoch mit Magnesium versorgt.

Gemäß RAHMENEMPFEHLUNG ZUR DÜNGUNG IM LAND BRANDENBURG (2000) waren 73,9 % der BDF-Standorte zu gering mit Phosphor versorgt. Darunter befinden sich neben Sandböden auch Standorte mit bindigeren Böden sowie die untersuchten Grünlandstandorte auf Niedermoor.

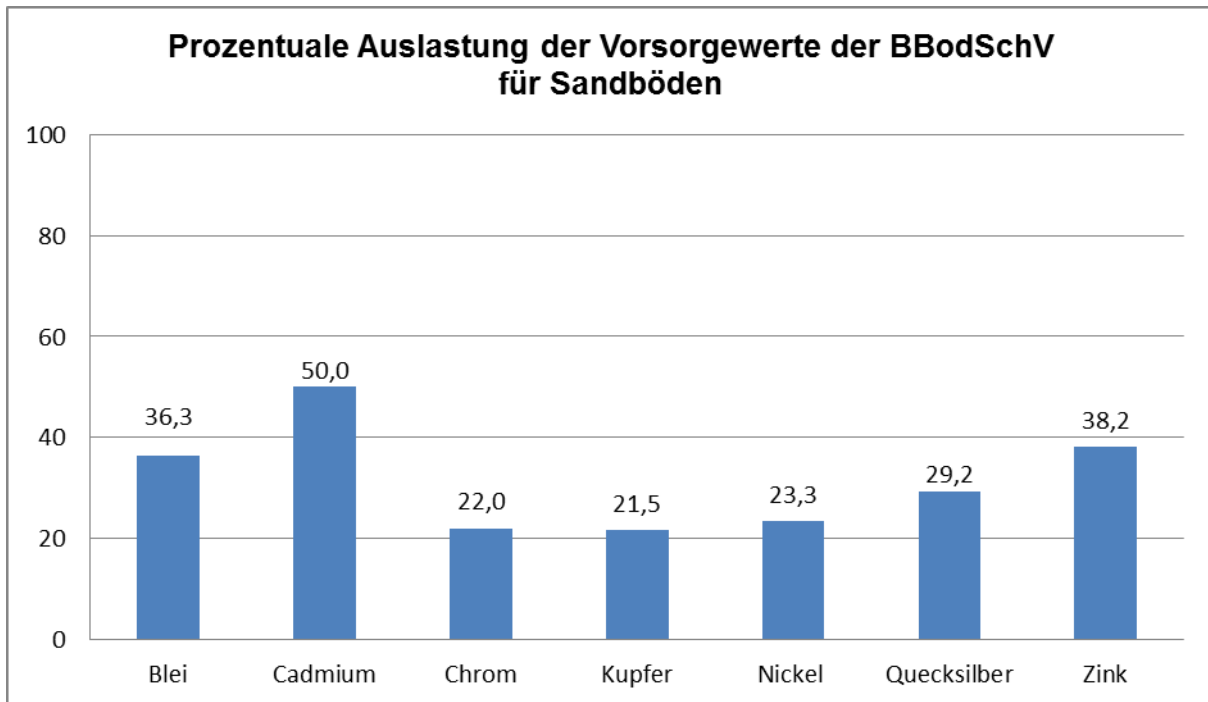
Eine optimale bis sehr hohe Phosphorversorgung wurde konnte nur auf 26,1 % der Flächen ermittelt werden. Diese Ergebnisse sind unter der Prämisse zu werten, das der projektspezifische Zeitpunkt der Probennahme nicht alle durchgeführten Düngungsmaßnahmen erfassen kann und Änderungen bei der Einordnung in die Gehaltsklassen in Abhängigkeit vom Probennahmezeitpunkt vorkommen können.

Die mittleren Konzentrationen des Oberbodens an **königswasserlöslichen Schwermetallen und Arsen** steigen bei Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel und Quecksilber in der Reihenfolge der VDLUFA-Bodenartengruppen von den reinen Sandböden über die lehmigen Sande und sandigen bzw. schluffigen Lehme hin zu den Lehm- und Tonböden an. Anders verhält es sich bei den Elementen Blei, Cadmium und Zink. Hier liegen die mittleren Konzentrationen des Oberbodens der reinen Sandböden, der lehmigen Sande und sandigen bzw. schluffigen Lehme im gleichen Bereich und erreichen wie bei den anderen Schwermetallen auf den Standorten mit Lehm- und Tonböden die höchsten Werte.

Die Gruppe der Niedermoorböden zeigte im Vergleich der VDLUFA-Bodenartengruppen die höchsten mittleren Werte für die Elemente Cadmium und Quecksilber. Die mittleren Gehalte der Niedermoorböden an Arsen und Blei entsprechen den Werten der Lehm- und Tonböden. Dagegen sind die mittleren Gehalte der Niedermoorböden an Chrom, Kupfer, Nickel und Zink mit den Werten der VDLUFA-Bodenartengruppen lehmiger Sand und sandiger bzw. schluffiger Lehm vergleichbar.

Die Werte der als Acker genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (Ausgangssubstrat Sand) für Arsen, Blei, Kupfer und Quecksilber liegen im Median im Bereich der entsprechenden mittleren **Hintergrundwerte des Landes Brandenburg**. Dagegen sind die Werte für Chrom, Nickel und Zink gegenüber den mittleren Hintergrundwerten leicht erhöht. Bei den als Acker genutzten Standorten mit dem Ausgangssubstrat Lehm entsprechen die Mediane für Blei, Kupfer und Quecksilber den mittleren Hintergrundwerten des Landes Brandenburg, während die Werte für Arsen, Chrom, Nickel und Zink um den Faktor 2 bis 3 über den mittleren Hintergrundwerten liegen.

Die Schwermetallkonzentrationen der zwei als Grünland genutzten Sandstandorte unterscheiden sich dahingehend, dass die BDF 27 Werte im Bereich der mittleren Hintergrundwerte aufweist, während die BDF 28 mit Ausnahme von Blei und Chrom die mittleren Hintergrundwerte zum Teil deutlich übertrifft (Faktor 2 bis 5). Bei den Auenlehmen und -tonen sind die Mediane bei Arsen und den meisten Schwermetallen gegenüber den mittleren Hintergrundwerten erhöht und entsprechen eher den 90. Perzentilen oder liegen noch darüber. Bei den als Grünland genutzten Niedermoorstandorten entsprechen die Arsen- und Schwermetallgehalte überwiegend den mittleren Hintergrundwerten. Eine Ausnahme bildet die BDF 15 mit einer geogen bedingten deutlich über dem Hintergrundwert liegenden Arsenkonzentration von 70,3 mg/kgTM bei einem mittleren Hintergrundwert von 6,3 mg/kgTM.



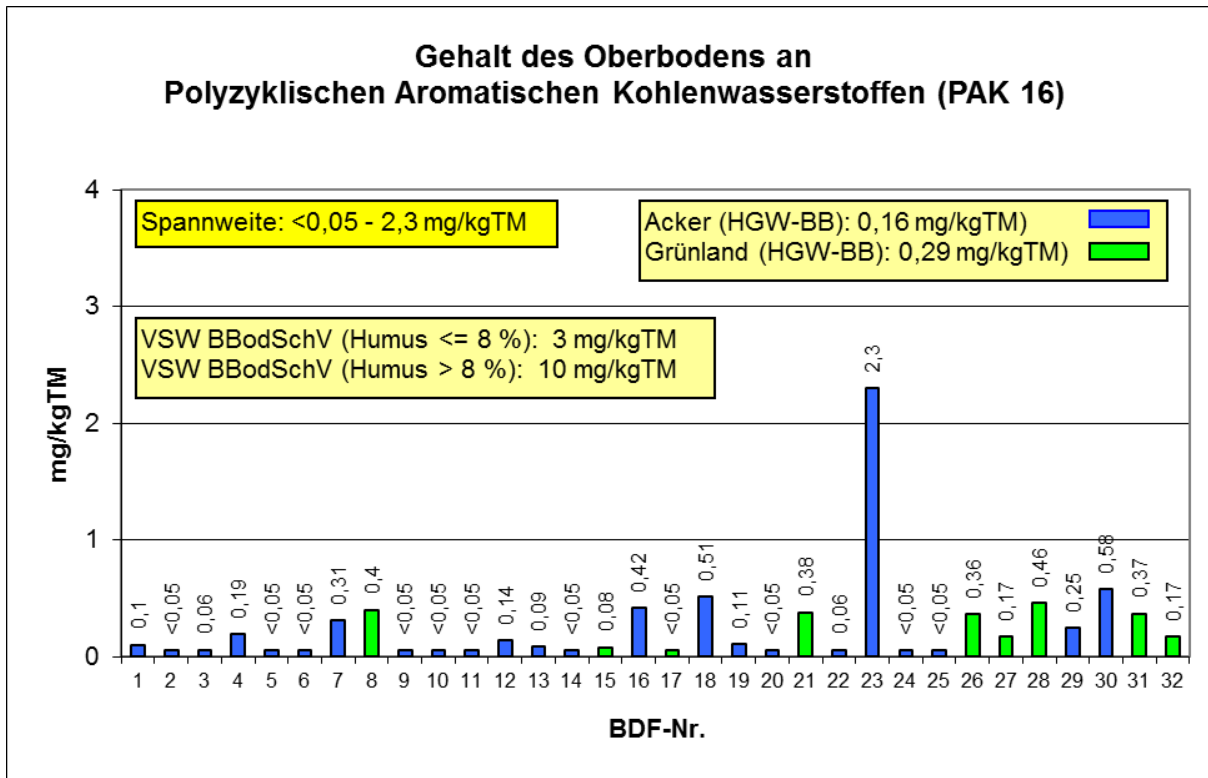
**Abb. 4** Prozentuale Auslastung der Vorsorgewerte der BBodSchV für Sandböden

Die **Vorsorgewerte, Prüf- und Maßnahmewerte der BBodSchV** werden in der Regel deutlich unterschritten. Die Auslastung der Vorsorgewerte für die Brandenburg typischen Sandböden liegt im Median zwischen 21,5 % (Kupfer) und 38,2 % (Zink). Die hohe Auslastung von 50 % bei Cadmium ist der hohen Bestimmungsgrenze des verwendeten Laborverfahrens von 0,2 mg/kg<sub>TM</sub> geschuldet und entspricht nicht dem realen Wert.

Die **Radionuklide <sup>134</sup>Cäsium** und **<sup>137</sup>Cäsium** sind Produkte der Kernspaltung mit Halbwertszeiten von zwei bzw. dreißig Jahren. Die spezifische Aktivität von <sup>134</sup>Cäsium, die vom Reaktorunfall in Tschernobyl aus dem Jahr 1986 ausging, liegt inzwischen auf allen Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Landes Brandenburg unterhalb der Bestimmungsgrenze. Dagegen liegen die Werte für <sup>137</sup>Cäsium, die in der Summe vor allem den Kernwaffentests in den sechziger Jahren sowie dem Reaktorunfall von Tschernobyl zuzuordnen sind, auf BDF, die als Acker genutzt werden im Median bei 6,9 Bq/kg<sub>TM</sub>, auf BDF, die als Grünland genutzt werden bei 17,3 Bq/kg<sub>TM</sub> (mineralisches Grünland) bzw. 24,2 Bq/kg<sub>TM</sub> (organisches Grünland). Die höchsten Werte mit ca. 70 Bq/kg<sub>TM</sub> wurden auf drei Grünlandstandorten in der Elbtalau bei Lenzen und bei Schenkenberg gemessen. Aufgrund lokaler Wetterbedingungen kam es hier im Jahr 1986 beim Durchzug der radioaktiven Wolke zu einer erhöhten Ablagerung radioaktiver Partikel.

Böden stellen wegen ihrer Filter- und Pufferfunktion für viele persistente **organische Schadstoffe** eine natürliche Senke dar. Im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung werden aus dieser Stoffgruppe polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK 16), polychlorierte Biphenyle (PCB 6), Dioxine und Furane (PCDD/F) sowie ausgewählte persistente heute nicht mehr zugelassene Pestizide untersucht.

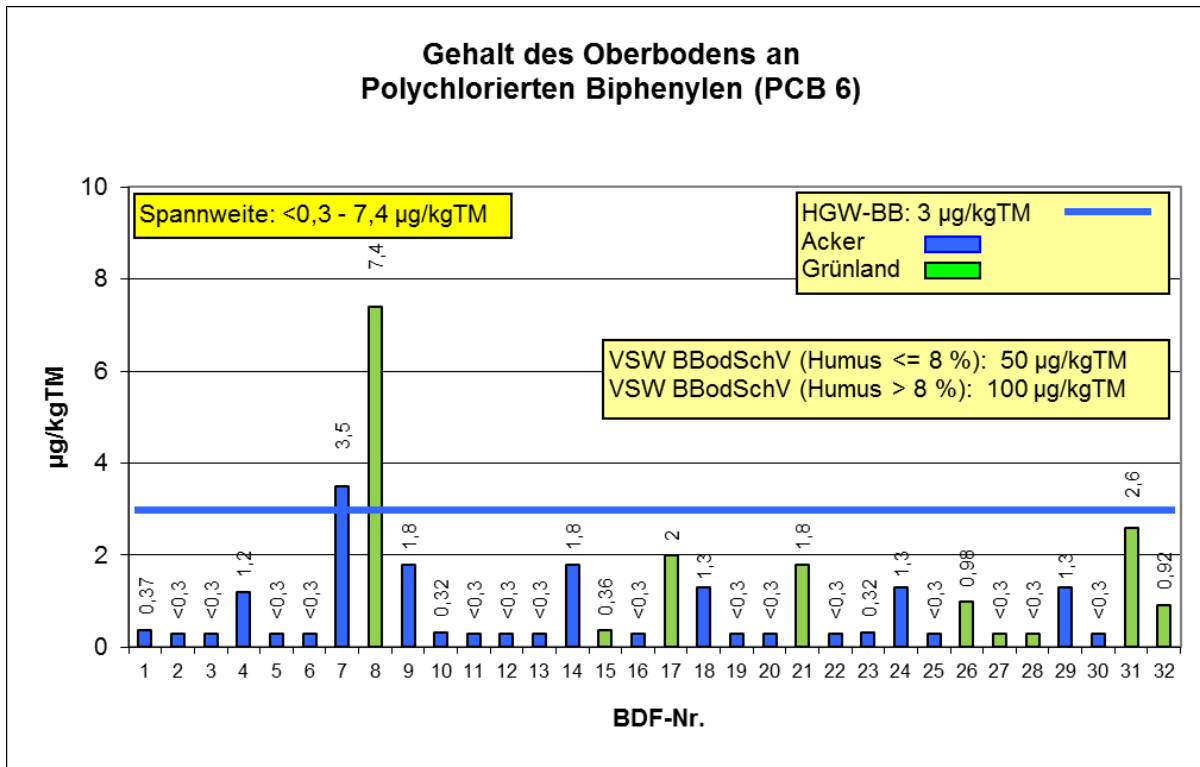
Auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Landes Brandenburg wurden im Oberboden Konzentrationen an **polyzyklischen aromatische Kohlenwasserstoffen (PAK 16)** von < 0,05 bis 2,3 mg/kg<sub>TM</sub> gemessen.



**Abb. 5** Gehalt des Oberbodens an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK16) im Vergleich mit den Hintergrundwerten des Landes Brandenburg und den Vorsorgewerten der BBodSchV

Von den Ackerstandorten entsprechen 17 BDF im Median dem Hintergrundwert, während fünf BDF um den Faktor 2 bis 3 über dem mittleren Hintergrundwert des Landes Brandenburg liegen. Eine Ausnahme bildet die BDF 23. Hier liegt der Gehalt des Oberbodens an PAK(16) im Median um den Faktor 14 über dem mittleren Hintergrundwert des Landes Brandenburg. Dieser Standort weist von allen Ackerstandorten den höchsten Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff auf und damit sehr hohe Bindungskapazitäten für organische Stoffe. Alle neun untersuchten Grünlandstandorte liegen im Bereich der Hintergrundwerte. Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden durchgängig eingehalten bzw. deutlich unterschritten. Deutlich unterschritten wird auf allen Flächen auch der Vorsorgewert für Benzo(a)pyren.

Die Konzentration des Oberbodens an **polychlorierten Biphenylen (PCB 6)** variierte im Untersuchungszeitraum zwischen  $< 0,3$  und  $7,4 \mu\text{g/kgTM}$  und entsprach damit weitgehend dem mittleren Hintergrundwert des Landes Brandenburg. Nur der Wert der BDF 8 in der Oderaue bei Zützen lag ca. um den Faktor 2 über dem Hintergrundwert. Diese Fläche wird regelmäßig überschwemmt und ist damit dem Eintrag von Odersediment ausgesetzt.



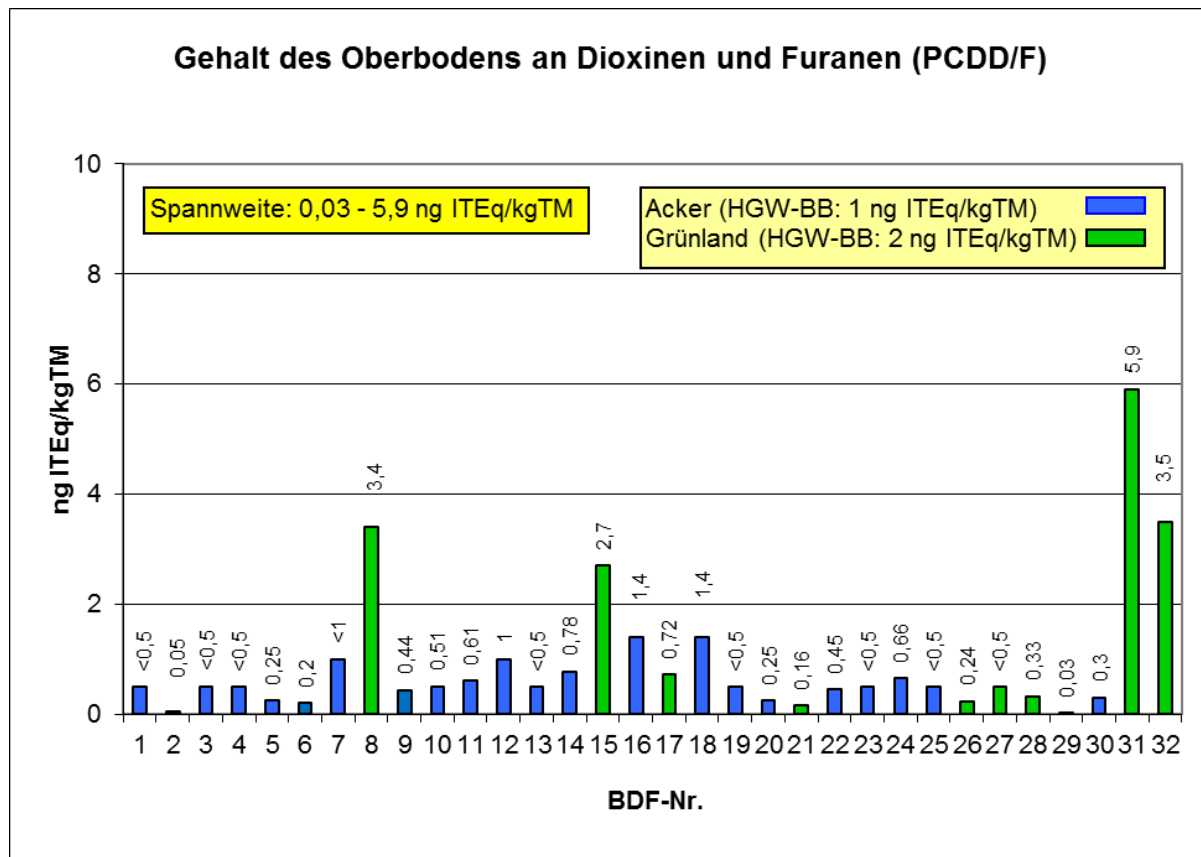
**Abb. 6** Gehalt des Oberbodens an polychlorierten Biphenylen (PCB 6) im Vergleich mit dem Hintergrundwert des Landes Brandenburg und den Vorsorgewerten der BBodSchV

Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden auf allen untersuchten Flächen sehr deutlich unterschritten.



Von den über 200 bekannten Vertretern der als besonders toxisch und persistent geltenden Stoffgruppe der **Dioxine und Furane** werden gemäß BBodSchV die 17 nach Klärschlammverordnung genannten PCDD/F-Kongeneren analysiert, berechnet und die Summe der Toxizitätsäquivalente als Ergebnis dargestellt.

Die im Oberboden im Untersuchungszeitraum gemessenen Werte für Dioxine und Furane (PCDD/F) liegen zwischen 0,03 und 5,9 ng ITEq/kgTM.

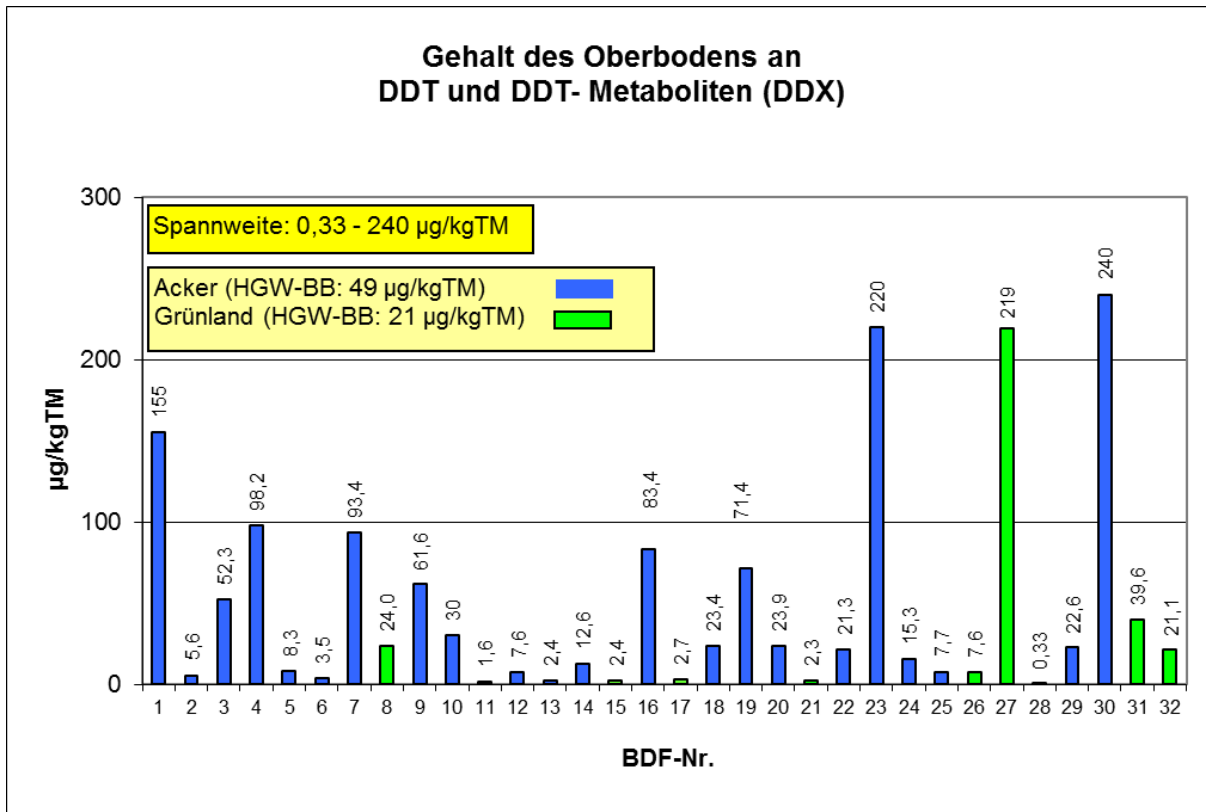


**Abb. 7** Gehalt des Oberbodens an Dioxinen und Furanen (PCDD/F) im Vergleich mit den Hintergrundwerten des Landes Brandenburg

Diese Werte sind gemäß „Leitfaden für die Vorgehensweise bei akuten Dioxinschadensfällen“ (Anonym 1995) als niedrig einzustufen. Die höchsten Werte wurden auf Auenstandorten an der Oder und der Elbe gemessen.

Die Konzentration des Oberbodens an persistenten nicht mehr zugelassenen **Pflanzenschutzmitteln** liegt bei **PCP**, **HCB** und den **HCH-Isomeren** größtenteils unterhalb der Bestimmungsgrenze bzw. im Bereich der Hintergrundwerte des Landes Brandenburg.

Die Konzentration des Oberbodens an **DDX** variiert zwischen 0,33 und 240 µg/kgTM. Auf 18 von 23 Ackerstandorten liegt die Konzentration an DDX im Median im Bereich des mittleren Hintergrundwertes des Landes Brandenburg. Die übrigen 5 Ackerstandorte liegen um den Faktor 2 bis 5 über dem Hintergrundwert. Bei den Grünlandstandorten fällt die BDF 27 mit einer DDX-Konzentration von 219 µg/kgTM auf. Dieser Wert liegt um den Faktor 10 über dem mittleren Hintergrundwert des Landes Brandenburg.



**Abb. 8** Gehalt des Oberbodens an DDT und DDT-Metaboliten (DDX) im Vergleich mit den Hintergrundwerten des Landes Brandenburg

**Tabelle 2:** Pflanzenschutzmittel mit Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze im Oberboden (Angabe in µg/kgTM)

Pendimethalin	Glyphosat	Isoproturon	Metolachlor	Tebuconazol	Terbutylazin
	17 (BDF 1)		25 (BDF 1)		5 (BDF 1)
			11 (BDF 2)		11 (BDF 2)
25,5 (BDF 5)				4,3 (BDF 5)	
32,5 (BDF 6)				2,3 (BDF 6)	
	198 (BDF 7)		19,3 (BDF 7)		
		1,3 (BDF 12)			
	34 (BDF 13)		14 (BDF 13)		9 (BDF 13)
					168 (BDF 16)
				50 (BDF 18)	
				3,3 (BDF 20)	
	27 (BDF 21)				
	4 (BDF 26)				
			39 (BDF 27)		14 (BDF 27)
	0,8 (BDF 28)				
	1,9 (BDF 29)				

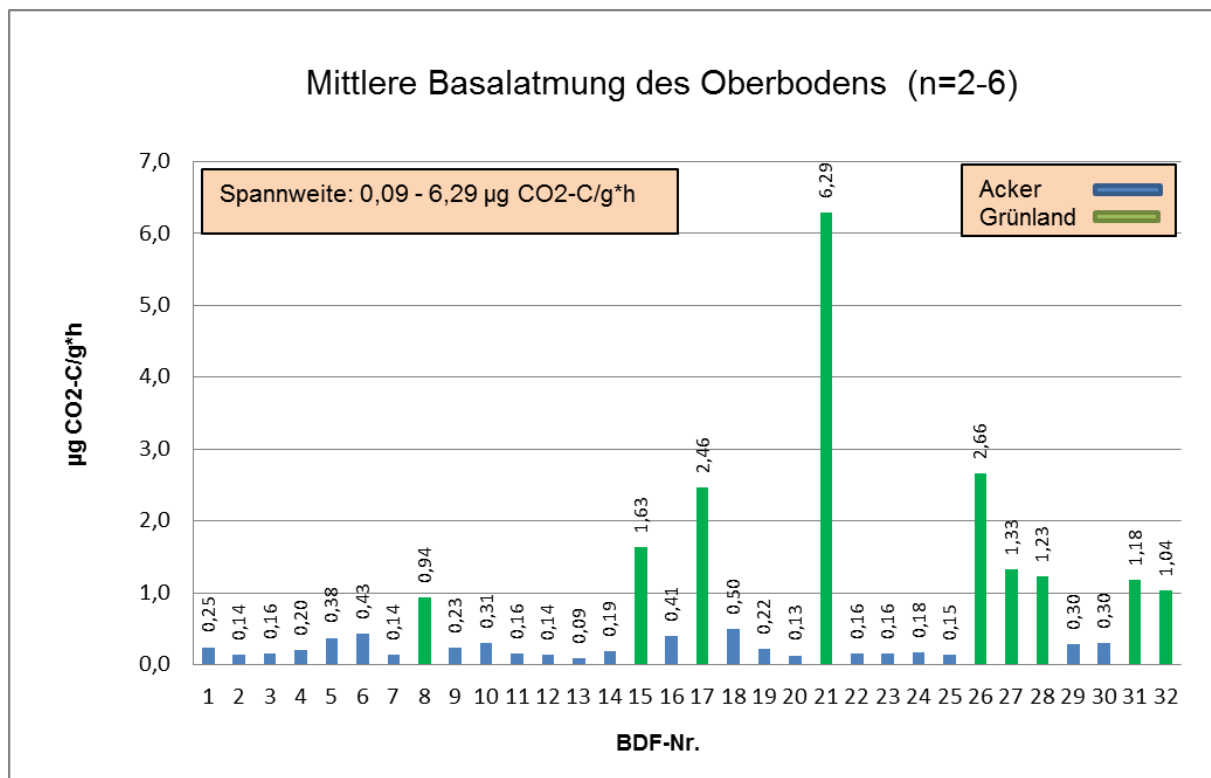
Neben der Gruppe der persistenten inzwischen verbotenen Pestizide wurden alle 32 BDF auf ausgewählte gegenwärtig häufig verwendete Herbizide und ein Fungizid (Tebuconazol) sowie das heute nicht mehr zugelassene Herbizid Simazin untersucht.

Neben Tebuconazol und Simazin wurden die Herbizide Diuron, Glyphosat, Isoproturon, Metamitron, Metazachlor, Metolachlor, Pendimethalin und Terbutylazin ermittelt. Die Konzentration von Diuron, Metamitron, Metazachlor, Pendimethalin und Simazin lag auf allen untersuchten Standorten unterhalb der Bestimmungsgrenzen von <1 bzw. <10 µg/kgTM. Für

die übrigen fünf Pestizide wurden auf insgesamt 15 BDF auch Werte oberhalb der Bestimmungsgrenzen gemessen. Diese Messergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Diese Werte sind aufgrund der geringen Halbwertszeit dieser Verbindungen eher als unproblematisch einzuschätzen.

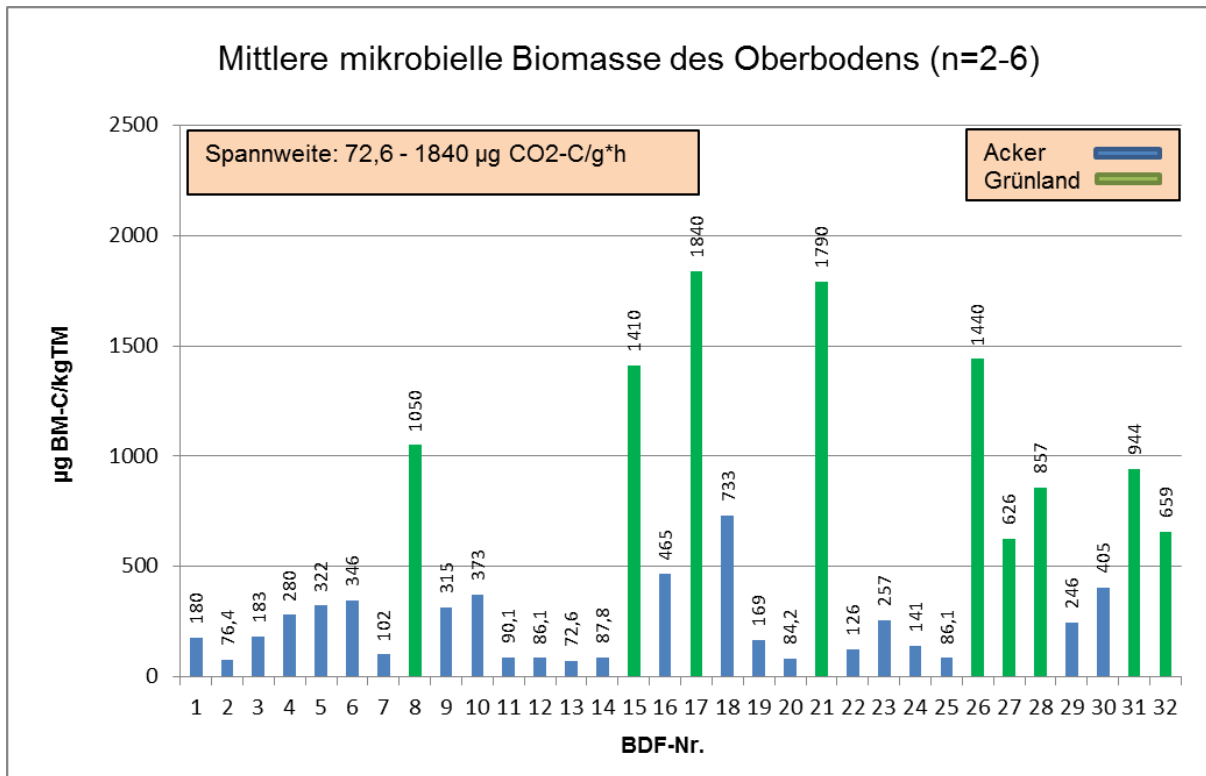
Zur Charakterisierung der **bodenbiologischen Eigenschaften der Standorte** wurden einerseits **mikrobiologische Parameter** (Basalatumung, mikrobielle Biomasse, metabolischer Quozient) und andererseits die **Lumbricidenfauna** (Abundanz, Biomasse, Artenspektrum, Individuendominanz) untersucht.

Die **Basalatumung** des Oberbodens lag zwischen 0,09 und 6,29  $\mu\text{g CO}_2\text{-C/kgTM}$ . Während die Ackerstandorte überwiegend sehr geringe bis geringe Atmungsaktivität aufwiesen, zeigte sich auf den Grünlandstandorten eine mittlere bis sehr hohe Basalatumung. Die höchsten Werte wurden erwartungsgemäß auf Grünland-Niedermoorstandorten (BDF 15, 17, 21, 26) gemessen (Einstufung nach Sommer et al. 2002).



**Abb. 9** Mittlere Basalatumung des Oberbodens

Analog der Basalatumung entsprach die **mikrobielle Biomasse** des Oberbodens im Wesentlichen den durch die Standorteigenschaften bestimmten Erwartungen, wobei die mikrobielle Biomasse vor allem durch die Körnung bzw. den Humusgehalt des Bodens und die Nutzung des Standortes bestimmt wird (Höper und Kleefisch 2001). Die für die mikrobielle Biomasse ermittelten Werte lagen zwischen 72,6 und 1840  $\mu\text{g BM-C/kgTM}$ . Die höchsten Werte wurden wie bei der Basalatumung mit Werten von 1410 bis 1840  $\mu\text{g BM-C/kgTM}$  auf den vier Grünland-Niedermoorstandorten gemessen, gefolgt von den anderen fünf Grünlandstandorten mit Werten von 626 bis 1440  $\mu\text{g BM-C/kgTM}$ . Die mikrobielle Biomasse der Ackerstandorte lag zwischen 72,6 und 733  $\mu\text{g BM-C/kgTM}$ .



**Abb. 10** Mittlere mikrobielle Biomasse des Oberbodens

Der **metabolische Quozient** stellt das Verhältnis der Basalatmung zur mikrobiellen Biomasse dar. Er gilt als Maß für die Effizienz der Substratnutzung durch die Mikroorganismen. Je kleiner der metabolische Quozient, desto effektiver die Substratnutzung, da mehr Substrat in die mikrobielle Biomasse eingebaut und weniger als Kohlendioxid abgeatmet wird.

Der metabolische Quozient lag zwischen  $0,63 \times 10^{-3}$  und  $2,75 \times 10^{-3}$ . Eine geringe Beeinträchtigung in der Effizienz der Substratnutzung durch die Mikroorganismen wurde auf der 22 BDF ermittelt. Eine mittlere Beeinträchtigung der Effizienz der Substratnutzung wurde auf 10 BDF festgestellt. Alle anderen Standorte zeigten anhand des metabolischen Quozienten keine Beeinträchtigung in der Effizienz der Substratnutzung durch die Mikroorganismen an.

Die mittlere **Abundanz der Lumbriciden** lag im Untersuchungszeitraum zwischen 0 und 447 Tieren /m<sup>2</sup>.

Die meisten BDF (25%) sind nach Krück et al. (2006) der Gruppe 4 (hoch) zuzuordnen, gefolgt von der Gruppe 1 (sehr gering) mit 21,9%, den Gruppen 2 (gering), 3 (mittel) und 5 (hoch) mit jeweiligen Anteilen von 15,6% sowie der Gruppe 6 (äußerst hoch) mit 6,3%.

In den Gruppen 1-3 sind vor allem sandige Ackerstandorte vertreten. Ab der Gruppe 4 findet man einerseits die bindigeren Ackerstandorte sowie die Grünlandstandorte.

Ein wesentlicher Vorteil der ZOB-BB (Krück et al. 2006) gegenüber der KA5 ergibt sich aus der Möglichkeit die ermittelte Abundanz einem den Standortbedingungen entsprechenden Erwartungswert gegenüberzustellen. Es konnte festgestellt werden, dass der Lumbricidenbesatz in Abhängigkeit von der Bodenart und der organischen Substanz des Bodens eine klare Abstufung aufweist. So nimmt der Lumbricidenbesatz mit zunehmendem Schluff- und Tongehalten zu. Weiterhin steigt der Lumbricidenbesatz innerhalb der gleichen Bodenart mit zunehmendem Gehalt des Bodens an organischer Substanz an.

Die im Untersuchungszeitraum auf den BDF ermittelten mittleren Abundanzen sowie die dazugehörigen Artenzusammensetzungen sind in Tabelle 3 den Erwartungswerten der Standorte gemäß ZOB-BB (Krück et al. 2006) gegenübergestellt.

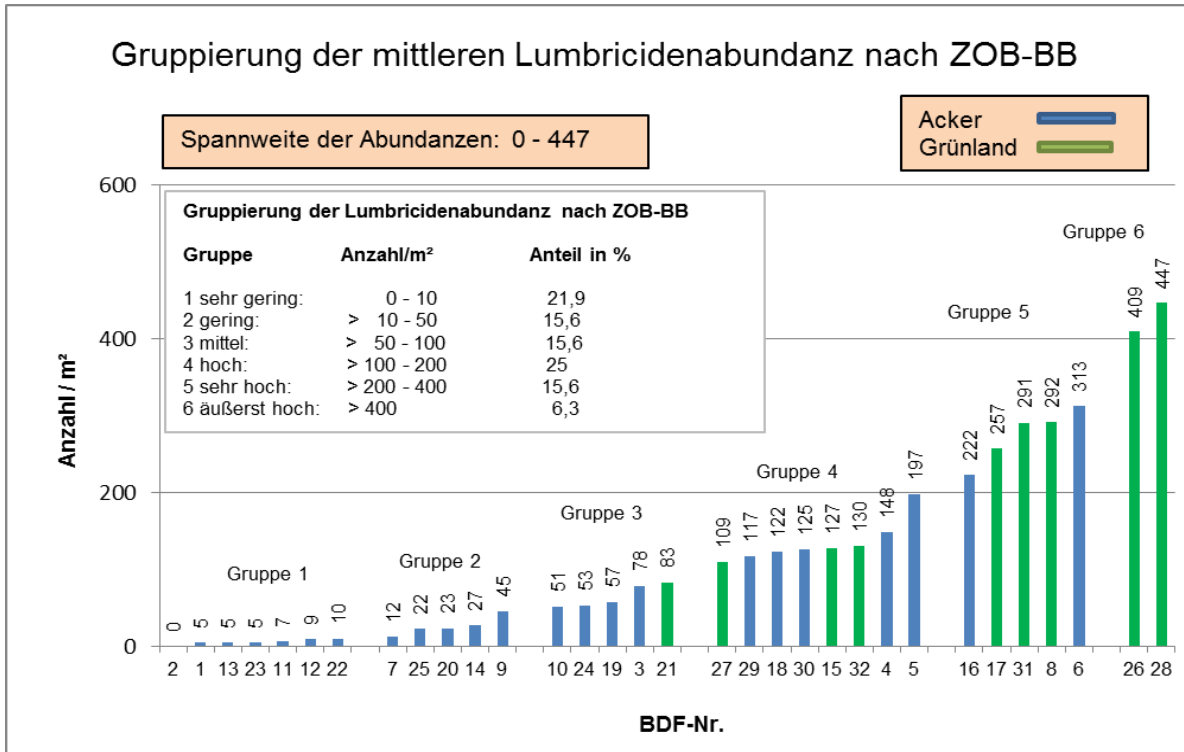


Abb. 11 Gruppierung der mittleren Abundanz der Lumbriciden nach ZOB-BB (Krück et al. 2006)

Tabelle 3: Vergleich der Erwartungswerte (EW) nach ZOB-BB (Krück et al. 2006) mit den Lumbricidendaten der BDF

BDF-Nr	Erwartungswert	Artenzahl/Arten (erwartet)	Ermittelter Wert	Artenzahl/Arten (ermittelt)
1	1	1/A.cal.	1	1/A.cal.
2	1	1/A.cal.	1	0
3	3b	2/A.cal.; L.ter.	3b	2/A.cal.; L.ter.
4	3c/4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	4	4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; A.chl.
5	3c/4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	4	3/A.cal.; L.ter.; A.ros
6	3c/4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	5a	5/A.cal.; L.ter.; A.ros.; A.chl.
7	3b	2/A.cal.; L.ter.	2	1/A.cal.
8	6	>4/ A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.); L.rub.; O. tyr.	5a	4/ A.cal.; A.ros.;A.chl.; L.rub.
9	3c/4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	2/3c	4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; A.chl.
10	3c/4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	3c	3 (5)/A.cal.; A.ros.; A.chl.; (A.lon. ; L.ter)
11	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	1	1/A.cal.
12	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	1	1/A.cal.
13	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	1	1/A.cal.
14	1	1/A.cal.	2	1/A.cal.
16	5a	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	5b	4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; A.chl.; L. rub.
18	4/5a	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	4	4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; A.chl.
19	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	3a	1/A.cal.
20	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	2	1/A.cal.
22	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	1	1/A.cal.
23	1	1/A.cal.	1	1/A.cal.
24	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	3a	1/A.cal.
25	2	1-2/A.cal.: (A.chl.)	2	1/A.cal.
27	5b	>4/ A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.); L.rub.	4	4/A.cal.: A. ros.; L. ter.; L. rub.
28	5b	>4/ A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.); L.rub.	6	6/ A.cal.; A.ros.;A.lon.; L.rub.; L.ter.; O.tyr.
29	4	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	4	2/A.cal.; L.ter.
30	4/5a	3-4/A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.)	4	2/A.cal.; L.ter.
31	5/6	>4/ A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.); L.rub.	5a	3 (6)/A.cal.; A.ros.; A.chl.; ( L.rub.; L.ter. ; E. tet.)
32	6	>4/ A.cal.; L.ter.; A.ros.; (A.chl.); L.rub.	4	2 (5)/ L.rub.; O.tyr.; ( A.ros.; A.chl.; E.tet.)

Grün entspricht EW ZOB-BB; blau > EW ZOB-BB; rot < ZOB-BB

Von den 28 verfügbaren Vergleichspaaren entsprachen 15 dem Erwartungswert. Auf fünf Flächen lagen die ermittelten Werte über und auf acht Flächen unter den Erwartungswerten. Auf einer Fläche (BDF 2) wurden keine Lumbriciden gefunden. Aufgrund der Bewirtschaftung dieser sandigen Ackerfläche hat sich offensichtlich ein für Lumbriciden lebensfeindliches Bodenmilieu herausgebildet.

Abweichungen einzelner Probennahmeterminen vom Erwartungswert sind nicht ungewöhnlich. Dagegen sollte die mittlere Abundanz über längere Zeiträume dem Erwartungswert mindestens entsprechen.

### Projektstand und Ausblick

Das Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“ konnte wie geplant im Jahr 2016 die **zweite Wiederholungsbeprobung abschließen** und befindet sich gegenwärtig in der Phase der **dritten Wiederholungsbeprobung** bzw. im zeitlich vorgeschriebenen Takt der Wiederholungsuntersuchungen für bodenbiologische Parameter.

Eine **Zielstellung** der Boden-Dauerbeobachtung besteht darin, den **aktuellen Bodenzustand** auf landwirtschaftlich genutzten Flächen des Landes Brandenburg zu beschreiben.

Dieses **Ziel** ist für den beschriebenen Untersuchungszeitraum **erfüllt**. Damit hat sich das BDF-Projekt des Landes Brandenburg in der Praxis bewährt.

Die Ermittlung von statistisch abgesicherten **Veränderungen** der Bodeneigenschaften bzw. die Ableitung von **Prognosen** der weiteren Entwicklung des Bodenzustandes ist ein langfristiger Prozess und nur durch die Weiterführung des Untersuchungsprogramms möglich. Diese Aufgabenstellung besitzt neben der Beschreibung des aktuellen Bodenzustandes eine hohe Priorität im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes des Landes Brandenburg und des Bundes.

Zu dieser Einschätzung kommen auch die für die „Boden-Dauerbeobachtung“ verantwortlichen Vertreter der Bundesländer in ihrem an die LABO gerichteten Bericht anlässlich eines Workshops zur Thematik „Boden-Dauerbeobachtung“ im Jahr 2017.

Im Vergleich der Ergebnisse der **zweiten Wiederholungsbeprobung** mit den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungszeiträume zeigten sich für das Land Brandenburg keine gravierenden Veränderungen der Einstufung bzw. Bewertung in Bezug auf die gesetzlich geregelten bodenchemischen Parameter (BBodSchV). Andererseits zeigte sich bei der Abundanz der Lumbriciden auf sandigen Ackerstandorten ein abnehmender Trend über die bisher betrachteten Untersuchungszeiträume.

Erste Hinweise auf bestehende Trends zur Entwicklung des Bodenzustandes sind aufgrund des erheblich größeren Datenpools von **bundesweiten Auswertungen** der Ergebnisse der Boden-Dauerbeobachtung, in die die Daten aus dem Land Brandenburg einfließen, zu erwarten.

Diese Erkenntnisse ermöglichen wiederum Entwicklungen, die auf Landesebene aufgrund der geringeren Datenmenge zurzeit noch nicht abgebildet werden, früher zu erkennen und dann gegebenenfalls bei der Gestaltung des Untersuchungsprogramms zu berücksichtigen.

Andererseits fanden die Untersuchungsergebnisse aus der Boden-Dauerbeobachtung des Landes Brandenburg bereits in zahlreichen Projekten von bundesweiter bzw. europäischer Relevanz Verwendung und sind auf diesen Ebenen auch in Zukunft sehr bedeutsam.

Vor dem Hintergrund aktueller Fragestellungen, z.B. hinsichtlich des **Einflusses des Klimawandels** auf die Bodenfunktionen, erlangen die Daten aus der Boden-Dauerbeobachtung zunehmende Bedeutung, da es sich hier um die am besten untersuchten Standorte in Bezug auf den Boden handelt.

Im Basisbericht zum Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg (Fachbeiträge des LfU; Heft Nr.154 (2018) werden u.a. die Lumbricidenuntersuchungen aus der Boden-Dauerbeobachtung als Bodenindikatoren aufgeführt.

Im Rahmen des UBA-Projektes „Auswertung der Veränderungen des Bodenzustandes für BDF und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze“ wurde unter Beteiligung des Landes Brandenburg für die Boden-Dauerbeobachtung ein **Methodencode**

zur analytischen Qualitätssicherung entwickelt. Diese Maßnahme ist für ein so langfristig angelegtes Projekt im Sinne der Vergleichbarkeit der erhobenen Daten von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus wurde in diesem Projekt der Teilbereich „Datenauswertung und Weiterentwicklung des Monitorings“ unter Einbeziehung von Untersuchungsergebnissen des Landes Brandenburg verwirklicht. Im Ergebnis dieses Projektes wurde ermittelt, dass ein Beprobungszyklus von zehn Jahren ausreichend ist, um relevante Veränderungen der untersuchten Parameter im bundesweiten Rahmen zu erkennen. Dagegen wird für eine Trendanalyse der einzelnen Standorte ein Zeitraum von mindestens vier Untersuchungszyklen als sinnvoll angesehen.

**Weitere Projekte** von bundesweiter Bedeutung in die Standorte und Daten der Boden-Dauerbeobachtung des Landes Brandenburg integriert worden sind waren:

„Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser“ (BGR, 2008).

„Fortschreibung von Beurteilungsmaßstäben für den Wirkungspfad Boden – Pflanze: Methodik zur flächenrepräsentativen Erfassung pflanzenverfügbarer Stoffgehalte in unbelasteten Böden und Stoffgehalte in Nahrungs- und Futtermittelpflanzen“ (UBA, 2010).

„Erarbeitung eines europaweiten geochemischen Atlas zu Makro- und Spurenelementen in landwirtschaftlich genutzten Oberböden, GEMAS“ (BGR, 2010).

LFP-Projekt „Erarbeitung von Beurteilungskriterien zur Ermittlung von Gebieten mit biologisch aktiven Kohlenstoffgehalten in Böden und Entwicklung von Einbauempfehlungen“ (LANUV, 2014).

„Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus der Sicht des Bodenschutzes – Teilvorhaben: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehaltes und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands“ (UBA, 2015).

„Prüfung der Nutzung von BDF im Rahmen eines Monitorings potenzieller Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen auf Bodenorganismen“ (Bundesamt für Naturschutz).

Daten aus der Boden-Dauerbeobachtung des Landes Brandenburg gehen auch in den Evaluierungsbericht für die Deichrücklegung bzw. das Naturschutzgroßprojekt „Lenzener Elbtalau“ (2018) des Trägerverbundes Burg Lenzen e.V. ein.

Weiterhin wurden Daten für das Projekt „Sattgrün – Referenzstandorte für Fernerkundungsmethoden und für die Prozessmodellierung der Kohlenstoffspeicherung und des Stickstoffumsatzes“ (Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, 2018) zur Verfügung gestellt.

Die genannten Projekte erwiesen sich jeweils für beide Seiten als Gewinn. Einerseits profitierten die Projektnehmer von der bereits vorhandenen Datenlage der BDF. Andererseits werden dem Land Brandenburg bodenrelevante Daten zur Verfügung gestellt, die sich zurzeit über die Projektmethodik nicht erschließen. Beispielhaft seien hier neue Erkenntnisse zum Gehalt des Bodens an dl-PCB genannt.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der **Wirkung von Schadstoffen** auf Bodenorganismen und Pflanzen ist, neben der direkten Messung biologischer Parameter, die Erfassung der bioverfügbaren Fraktion von Schadstoffen.

Aus diesem Grunde wurde wie von der UBA-Redaktionsgruppe „Boden-Dauerbeobachtung“, angeregt mit Beginn der zweiten Wiederholungsbeprobung die Bestimmung des **Gehaltes an ammoniumnitratlöslichen Schwermetallen** in das Untersuchungsprogramm des Landes Brandenburg aufgenommen.

Aufgrund der Zielstellung lange Zeitreihen vergleichend zu betrachten, werden an die **Datenhaltung** in Rahmen des Projektes „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“ einerseits sowie den **Datentransfer** andererseits besonders hohe Ansprüche gestellt. Mit Beginn der zweiten Wiederholungsbeprobung wurde zu diesem Zweck die Fachanwendung „**BoDIS**“, die dem Land Brandenburg vom UBA kostenlos zur Verfügung gestellt wurde, eingeführt und inzwischen für die landesspezifischen Bedürfnisse angepasst. Damit wurde die Grundlage für eine qualitativ hochwertige Datenhaltung und –auswertung gelegt.

Die **Vergleichbarkeit der methodischen Vorgehensweise** zur Gewinnung der Untersuchungsergebnisse stellt für den Vergleich von Werten in langen Zeitreihen ebenfalls

eine unabdingbare Voraussetzung dar und wird zurzeit über die Einführung eines für dieses Projekt unter Federführung des UBA entwickelten sichergestellt.

Für die Validierung der Ergebnisse aus den Zeitreihen, zur analytischen Qualitätssicherung sowie gegebenenfalls zur Ermittlung von Stoffen, die zum Zeitpunkt der Probennahme nicht relevant bzw. unbekannt waren, werden die zurzeit etwa 6000 Rückstellproben aus der **Bodenprobenbank** genutzt. Hier handelt es sich um getrocknete Bodenproben, die bei Raumtemperatur aufbewahrt werden und deshalb für die Bestimmung von stabilen Parametern genutzt werden können. Eine Aufbewahrung von feldfrischen Proben im tief gefrorenen Zustand (mindestens -18°C) zur späteren Bestimmung von instabileren Verbindungen wäre wünschenswert, konnte bisher aber vor allem aus Gründen des hohen Platzbedarfes und des hohen Kostenaufwandes nicht realisiert werden.

Das Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“ befindet sich zurzeit in der Phase der **dritten Wiederholungsbeprobung** bzw. im zeitlich vorgeschriebenen Takt der Wiederholungsuntersuchungen für bodenbiologische Parameter. Bei planmäßigem Projektverlauf kann spätestens im Jahr **2020** mit dem **Abschluss der dritten Wiederholungsuntersuchung** aller Boden-Dauerbeobachtungsflächen gerechnet werden.

Bei der Auswertung der dann vorliegenden Untersuchungsergebnisse werden neben der Beschreibung des aktuellen Bodenzustandes weitere Hinweise auf die Entwicklung des Bodenzustandes erwartet.

## Literatur

**AG Boden (2005):** Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. bearb. u. erw. Aufl., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover

**Anonym (1995):** Leitfaden für die Vorgehensweise bei akuten Dioxin-Schadensfällen, Merkblätter Nr.5, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

**Anonym (2000):** Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg, MLUR Brandenburg

**Barth, N. et al. (2001):** Boden-Dauerbeobachtung. Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – In: Rosenkranz, D., Bachmann, G., König, W., Einsele, G. (Hrsg.): Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag

**BBodSchV (1999):** Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12.7.1999, BGBl.I, Nr.36, S. 1554 - 1582

**Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge (2015),** Band 22, Heft 1

**Höper, H., Kleefisch, B. (2001):** Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. Arbeitshefte Boden 2001/4, 94 S.

**Krück, S., Joschko, M., Schultz-Sternberg, R., Kroschewski, B., Tessmann, J. (2006):** A classification scheme for earthworm populations (Lumbicidae) in cultivated agricultural soils in Brandenburg, Germany. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 169, S. 589 - 732

**Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2010):** Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage

**Sommer, M. et al. (2002):** Böden als Lebensraum für Organismen – Regenwürmer, Gehäuselandschnecken und Bodenmikroorganismen in Wäldern Baden-Württembergs. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Heft 63, Universität Hohenheim, Stuttgart



**Standpunkt des VDLUFA (2000):** Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden, Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt

Kontakt: LfU Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft 1

Referat W15 – Altlasten, Bodenschutz, Grundwassergüte

Dr. Joachim Tessmann

Tel.: 033201 / 442371

E-Mail: [Joachim.Tessmann@LfU.Brandenburg.de](mailto:Joachim.Tessmann@LfU.Brandenburg.de)