



LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Ländliche
Entwicklung, Umwelt und
Landwirtschaft

Bodenschutz



Fachbeiträge des LfU Heft Nr. 153

Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“

Dynamik von Basisparametern,
Nährstoffgehalten, Arsen- und
Schwermetallgehalten sowie Radionukliden
von Sandböden im zeitlichen Verlauf

Teil 2 Untersuchungszeitraum 1999 - 2016



Landesamt für Umwelt

Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“

Dynamik von Basisparametern, Nährstoffgehalten, Arsen- und Schwermetallgehalten sowie Radionukliden von Sandböden im zeitlichen Verlauf

Teil 2 Untersuchungszeitraum 1999 - 2016

Herausgeber:

Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg
Seeburger Chaussee 2
OT Groß Glienicke
14476 Potsdam
Tel.: 033201 - 442171
Fax.: 033201 - 43678

Internet: <http://www.lfu.brandenburg.de>

Potsdam, im November 2017

Kontakt:

Abteilung Wasserwirtschaft 1
Referat Altlasten, Bodenschutz, Grundwassergüte (W15)
Dr. Joachim Tessmann
joachim.tessmann@lfu.brandenburg.de

Diese Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Der Bericht einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Ergebnisse	3
2.1 Basisparameter und Nährstoffe	3
2.1.1 pH-Wert.....	3
2.1.2 Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC).....	4
2.1.3 Gesamt-Stickstoff (Nt)	5
2.1.4 C/N-Verhältnis	7
2.1.5 Gesamt-Kalium.....	7
2.1.6 Gesamt-Magnesium	8
2.1.7 Gesamt-Phosphor	9
2.1.8 Kalium (CAL-löslich)	10
2.1.9 Magnesium (CaCl ₂ -löslich).....	11
2.1.10 Phosphor (CAL-löslich).....	12
2.2 Arsen und Schwermetalle.....	14
2.2.1 Arsen.....	14
2.2.2 Blei	15
2.2.3 Cadmium.....	16
2.2.4 Chrom	16
2.2.5 Kupfer.....	17
2.2.6 Nickel	18
2.2.7 Quecksilber	19
2.2.8 Zink	20
2.3 Radionuklide	21
2.3.1 Cäsium-134.....	21

3. Zusammenfassung.....	22
3.1 Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus der einzelnen BDF	22
3.2 Parameterabhängiger Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus....	25
4. Ausblick.....	25
5. Literatur	26
6. Abkürzungen	27
7. Tabellenverzeichnis.....	27
Tabellen im Anhang	28
8. Abbildungsverzeichnis.....	28

1. Einleitung

Im Land Brandenburg werden im Rahmen des Monitoringprogrammes „ Boden-Dauerbeobachtung“ seit Anfang der neunziger Jahre für das Land repräsentative landwirtschaftlich genutzte Standorte in regelmäßigen zeitlichen Intervallen hinsichtlich bodenphysikalischer, bodenchemischer und bodenbiologischer Parameter untersucht.

Mit dem Projekt sollen der aktuelle Bodenzustand sowie eventuell im Zuge der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung des Bodens auftretende Veränderungen im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes erfasst werden.

Zurzeit liegen für 30 Standorte die Daten von drei Untersuchungszeiträumen vor.

Im vorliegenden Bericht werden Daten des Oberbodens (A-Horizont) aus dem zweiten (2.Zyklus; 1999 – 2009) mit den Daten aus dem dritten Untersuchungszeitraum (3.Zyklus; 2009 – 2016) hinsichtlich ausgewählter chemische Parameter mittels statistischer Verfahren verglichen und die Veränderungen bezüglich ihrer praktischen Relevanz bewertet.

Die zum Vergleich ausgewählten 14 Standorte werden als Acker genutzt und gehören zu den Sandböden. Der Oberboden der Standorte ist im Einzelnen durch die Bodenarten reiner Sand, schwach bis mittel schluffiger Sand sowie schwach lehmiger Sand gekennzeichnet und entspricht den VDLUFA-Bodenartengruppen 1 und 2 /4/.

Für folgende chemische Parameter wurden die Werte des 2. und 3. Untersuchungszeitraumes miteinander verglichen:

a) Basisparameter und Nährstoffe: pH-Wert, TOC, Nt, C/N-Verhältnis, Kalium (gesamt + CAL-lösl.), Mg (gesamt + CaCl₂-lösl.), P (gesamt + CAL-lösl.)

b) Arsen + Schwermetalle (KWA): As, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Hg

c) Radionuklide: Cs-134, Cs-137

Nach Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität erfolgte für jeden einzelnen Standort der Vergleich der Werte der Untersuchungszeiträume sowie der Vergleich der parameterspezifischen Mittelwerte der 14 Standorte mittels zweiseitigem t-Test (α 0,05) /6/.

Im Falle statistisch signifikanter Veränderungen erfolgte eine Bewertung der praktischen Relevanz.

2. Ergebnisse

2.1 Basisparameter und Nährstoffe

2.1.1 pH-Wert

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF drei statistisch signifikante Zunahmen und eine statistisch signifikante Abnahme des pH-Wertes (Abb.1). Auf den übrigen zehn Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

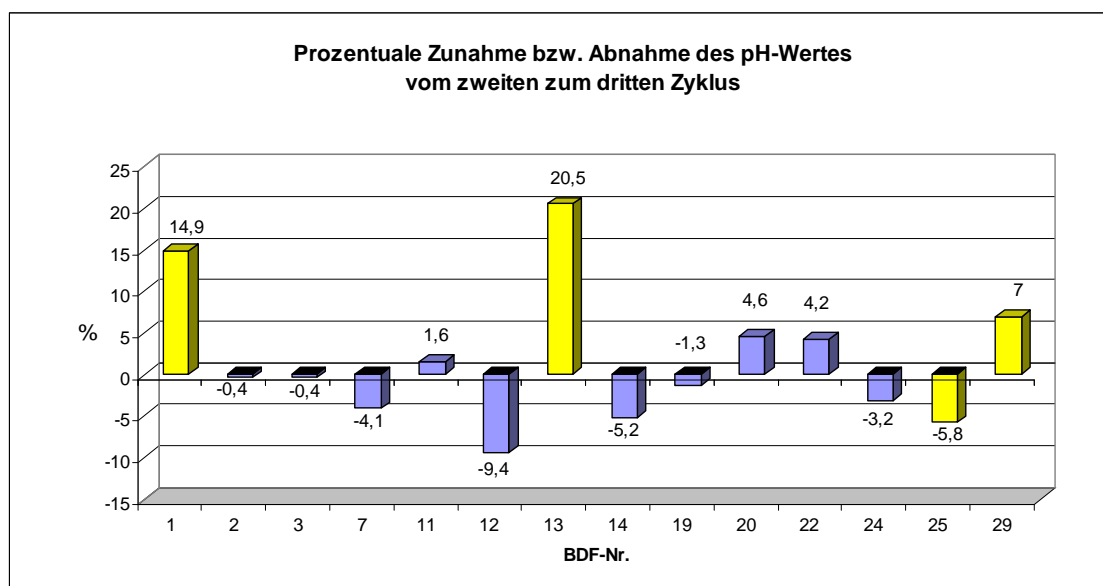


Abb.1 Entwicklung des pH-Wertes ; gelb = statistisch signifikant (t-Test ; α 0,05)

Die statistisch signifikante Zunahme der pH-Werte des dritten Zyklus schwankt zwischen 7 und 20,5 % der Werte des zweiten Zyklus und liegt im Mittel bei 14,1 %. Die statistisch signifikante Abnahme des pH-Wertes des dritten Zyklus an einem Standort beträgt 5,8 %.

Hinsichtlich der Einstufung nach KA5 /1/ blieben sieben Standorte konstant im jeweiligen schwach bis stark sauren Bereich.

Auf den übrigen sieben Standorten gab es im sehr schwach bis stark sauren Bereich Veränderungen um jeweils eine Stufe. Die Bewertung nach der Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ blieb auf acht Standorten konstant. Davon zeigten zwei Standorte den optimalen pH-Wert (C) und zwei weitere einen hohen pH-Wert (D). Auf drei Standorten war der pH-Wert suboptimal (B) und auf einem deutlich zu sauer (A).

Sechs Standorte zeigen Veränderungen um jeweils eine Gehaltsklasse. Als positiv relevant wird die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 1, 13, und 29, als negativ relevant die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 25 eingeschätzt. Die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 1, 13 und 29 ist einerseits statistisch signifikant und andererseits durch den Übergang von der Gehaltsklasse B in die Gehaltsklasse C, optimaler Zustand, bzw. von der Gehaltsklasse A in die Gehaltsklasse B gekennzeichnet. Dagegen wird die negative Bewertung der BDF 25 neben der statistischen Signifikanz mit dem Übergang von der Gehaltsklasse B in die ungünstigste Gehaltsklasse A begründet.

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 5,1 bzw. 5,2 mittels t-Test ($n=14$; $\alpha 0,05$; p -Wert 0,45) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung der Bodenreaktion im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 pH-Wert des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus	3.Zyklus	Bewertung	
			Einstufung KA5 /1/	Einstufung RE Dü BB (2000) /2/
1	4,7	5,4	s3 - s2	B - C
2	5,9	5,9	s2	D
3	5,9	5,9	s2	C
7	5,5	5,3	s2 - s3	C - B
11	4,8	4,9	s3	B
12	4,5	4,1	s4	A
13	4	4,9	s4 - s3	A - B
14	4,9	4,6	s3	B
19	5,9	5,8	s2	D - C
20	6	6,2	s2 - s1	D
22	5,4	5,6	s2	C
24	4,7	4,6	s3 - s4	B
25	4,8	4,5	s3 - s4	B - A
29	5	5,4	s3 - s2	B - C
MW	5,1	5,2	s3	B
stabw	0,62	0,63		

Die Einstufung nach KA5 /1/ ergibt für beide Zeiträume den Bereich mäßig sauer (s3). Die Einstufung nach der Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ ergibt für beide Mittelwerte die Gehaltsklasse B. Das bedeutet, dass durch Kalkzufuhr die Bedingungen für eine optimale Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit verbessert werden können. Gerade bei kalkanspruchsvollen Kulturen können unter diesen Bedingungen signifikante Ertragsverluste auftreten.

2.1.2 Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF zwei statistisch signifikante Abnahmen und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff (Abb.2). Auf den übrigen elf Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden (Abb.2). Die statistisch signifikante Abnahme des TOC-Gehaltes schwankte zwischen 33,5 und 42,8 % und lag im Mittel bei 38,2 %. Die statistisch signifikante Zunahme an einem Standort betrug 10,7 %.

Eine statistisch abgesicherte relevante Zunahme des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sinne der Humusbilanz der Standorte konnte an keinem Standort beobachtet werden. Als negativ relevant im Sinne der Humusbilanz der Standorte wird die Entwicklung des TOC-Gehaltes auf den BDF 1 und 14 bewertet. Beide Veränderungen sind statistisch signifikant, führen in eine niedrigere Gehaltsklasse gemäß KA5 /1/ und weisen eine Abnahme von mehr als 25% auf.

Hinsichtlich der Einstufung nach KA5 /1/ blieben elf Standorte konstant im jeweiligen sehr schwach bis mittel humosen Bereich.

Auf zwei Standorten sank der TOC-Gehalt von mittel auf schwach humos. Auf einem Standort bedingte eine sehr geringe Zunahme des TOC-Gehaltes die Einstufung von sehr schwach humos zu schwach humos.

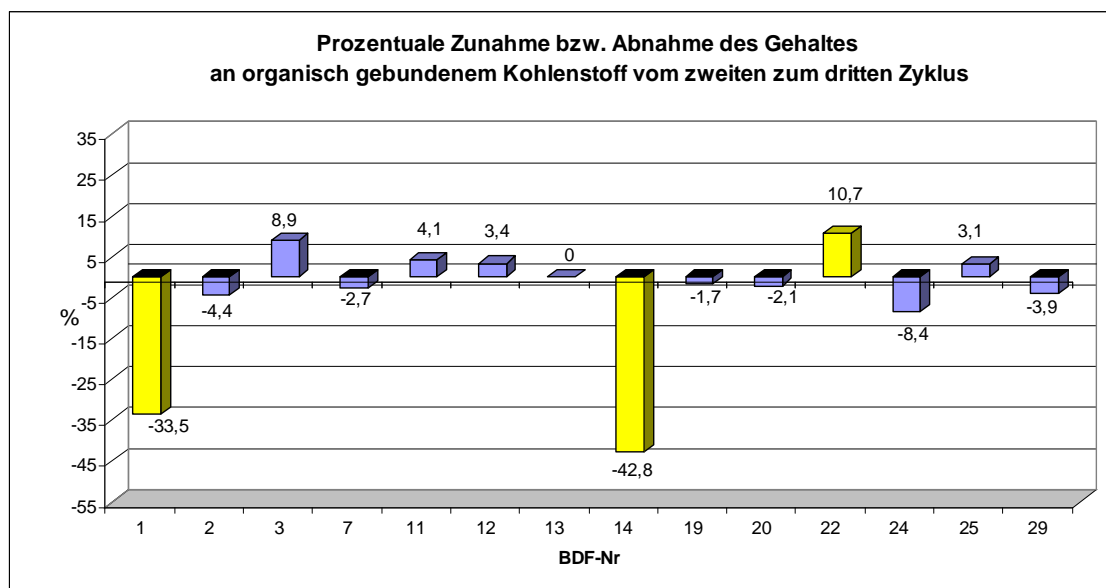


Abb.2 Entwicklung des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 0,88 bzw. 0,81 %TM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,12) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 TOC des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Bewertung	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Bewertung
Nr.	%TM	% TM	Einstufung KA5 /1/	Nr.	%TM	% TM	Einstufung KA5 /1/
1	1,37	0,91	h3 - h2	19	0,75	0,74	h2
2	0,63	0,60	h2	20	0,51	0,49	h1
3	0,76	0,82	h2	22	0,62	0,69	h2
7	1,28	1,24	h3	24	0,86	0,79	h2
11	0,55	0,57	h1	25	0,56	0,58	h1 - h2
12	0,78	0,80	h2	29	1,35	1,30	h3
13	0,99	0,99	h2	MW	0,88	0,81	h2
14	1,34	0,77	h3 - h2	stabw	0,32	0,24	

Die Einstufung nach KA5 /1/ ergibt für beide Zeiträume den für Sandböden typischen Bereich schwach humos (h2).

2.1.3 Gesamt-Stickstoff (Nt)

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF fünf statistisch signifikante Abnahmen (Abb.3) und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff. Auf den übrigen acht Standorten waren die Werte nicht statistisch signifikant verschieden. Die statistisch signifikante Abnahme des Nt-Gehaltes schwankte zwischen 16,3 und 44,7 % und lag im Mittel bei 32,6 %. Die statistisch signifikante Zunahme des Nt-Gehaltes an einem Standort betrug 17,7 %.

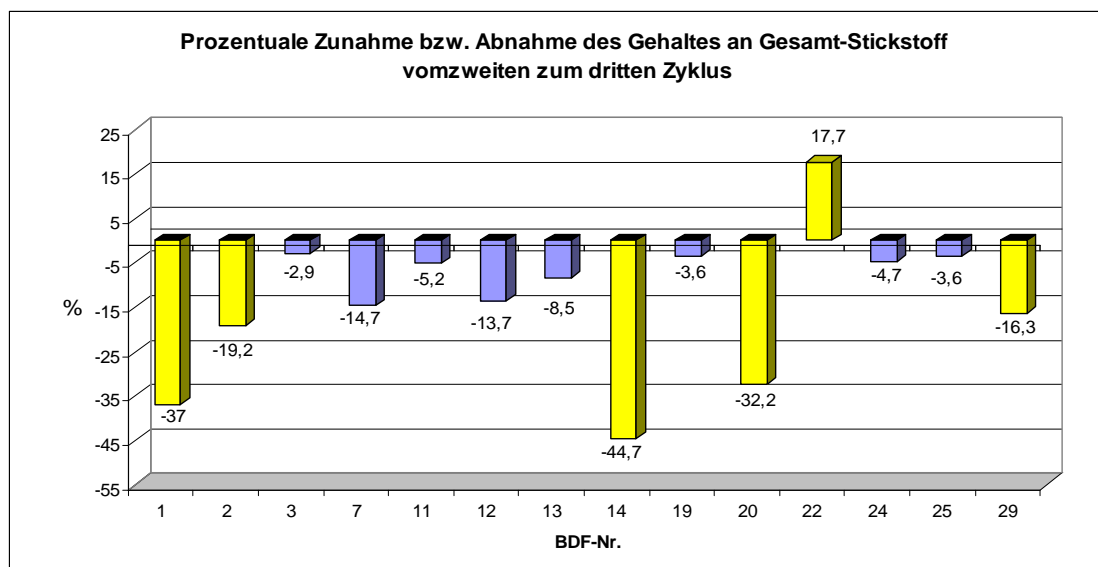


Abb.3 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff (Nt); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Die Tendenz zu geringeren Gehalten an Gesamt-Stickstoff im zweiten Zyklus gegenüber dem dritten Zyklus ist nicht mehr so stark ausgeprägt wie im Vergleich des ersten mit dem zweiten Zyklus.

Der Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus von 0,092 bzw. 0,077 %TM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,005) zeigt aber immer noch eine statistisch hoch signifikante Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff von 16,3 % im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 3). Aufgrund der Problematik der Überversorgung der Böden mit Stickstoff und der damit verbundenen negativen Folgen der N-Emissionen in die Umwelt wird die Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff als positiv relevant bewertet.

Tabelle 3 Nt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus % TM	3.Zyklus % TM	BDF lfd.-Nr.	2.Zyklus % TM	3.Zyklus % TM
1	0,135	0,085	19	0,070	0,068
2	0,065	0,053	20	0,075	0,051
3	0,088	0,085	22	0,060	0,071
7	0,128	0,109	24	0,080	0,076
11	0,058	0,055	25	0,070	0,068
12	0,080	0,069	29	0,138	0,114
13	0,118	0,108	MW	0,092	0,077
14	0,125	0,069	stabw	0,030	0,021

In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, dass sich das C/N- Verhältnis des Bodens im Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 9,4 auf 10,4 erhöht hat. Diese Veränderung stellte sich im t-Test als hoch signifikant dar (siehe auch 2.1.4).

2.1.4 C/N-Verhältnis

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF fünf signifikante Zunahmen (Abb.4) und keine signifikante Abnahme des C/N-Verhältnisses. Auf den übrigen neun Standorten waren die Werte nicht signifikant verschieden. Die signifikante Zunahme des C/N-Verhältnisses schwankte zwischen 14,9 und 43,8 % und lag im Mittel bei 27,6 %.

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 9,4 bzw. 10,4 mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,0001) zeigt eine leichte statistisch hoch signifikante Zunahme des C/N-Verhältnisses im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 C/N-Verhältnis des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.			Nr.		
1	10,1	10,7	19	10,7	10,9
2	7,2	10,1	20	6,8	9,7
3	8,7	9,4	22	10,3	9,7
7	10,1	11,4	24	10,8	10,3
11	9,6	10,5	25	8,0	8,6
12	9,7	11,6	29	9,8	11,3
13	8,5	10,0	MW	9,4	10,4
14	11,1	11,1	stabw	1,4	0,9

2.1.5 Gesamt-Kalium

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF fünf statistisch signifikante Abnahmen und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Gesamt-Kalium (Abb.5). Auf den übrigen acht Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

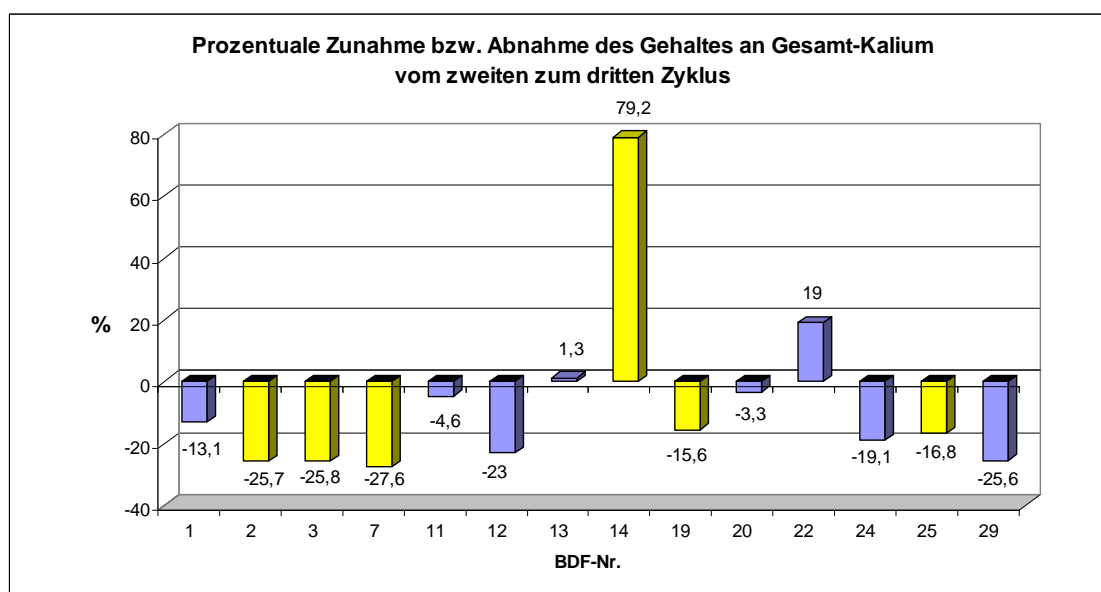


Abb. 5 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Kalium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Die statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Kalium variierte zwischen 15,6 und 27,6 % und lag im Mittel bei 22,3 %. Die statistisch signifikante Zunahme auf der BDF 14 betrug 79,2 %.

Als relevant positiv im Sinne einer potenziellen Verbesserung der Nährstoffversorgung des Bodens wird die Zunahme des Gesamt-Kaliumgehaltes auf den BDF 14 bewertet. Die Erhöhung ist statistisch signifikant und liegt über 25%. Relevant negative Veränderungen mit statistisch signifikanten Abnahmen über 25 % wurden auf den BDF 2, 3 und 7 festgestellt. Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 1370 bzw. 1240 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,21) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Gesamt-Kalium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 Gesamt-Kalium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	993	863	19	1600	1350
2	1175	873	20	1525	1475
3	2425	1800	22	1093	1300
7	1150	833	24	1325	1073
11	1337	1275	25	1130	940
12	1558	1200	29	2050	1525
13	590	598	MW	1370	1240
14	1228	2200	stabw	454	426

2.1.6 Gesamt-Magnesium

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF jeweils drei statistisch signifikante Abnahmen und Zunahmen des Gehaltes an Gesamt-Magnesium (Abb.6). Auf den übrigen acht Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

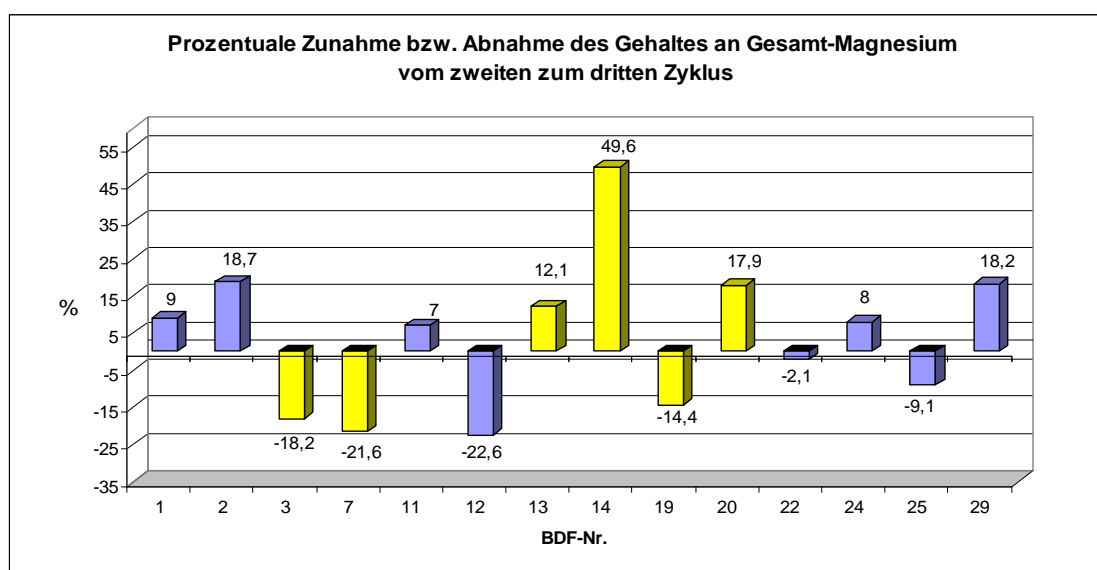


Abb. 6 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Magnesium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Die statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Magnesium variierte zwischen 14,4 und 21,6 % und lag im Mittel bei 18,1 %. Die statistisch signifikante Zunahme variierte zwischen 12,1 und 49,6 % und lag im Mittel bei 26,5 %.

Als relevant positiv im Sinne einer potenziellen Verbesserung der Nährstoffversorgung des Bodens wird die Zunahme des Gesamt-Magnesiumgehaltes auf den BDF 14 bewertet. Die Erhöhung ist statistisch signifikant und liegt über 25%. Relevant negative Veränderungen mit statistisch relevanten Abnahmen über 25 % wurden nicht ermittelt. Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 804 bzw. 818 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,79) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Gesamt-Magnesium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 Gesamt-Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	613	668	19	970	830
2	615	730	20	685	808
3	1375	1125	22	605	593
7	910	723	24	470	508
11	967	1035	25	580	528
12	1246	965	29	743	878
13	353	395	MW	804	818
14	1120	1675	stabw	302	322

2.1.7 Gesamt-Phosphor

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF jeweils eine statistisch signifikante Abnahme und Zunahme des Gehaltes an Gesamt-Phosphor (Abb.7). Auf den übrigen 12 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

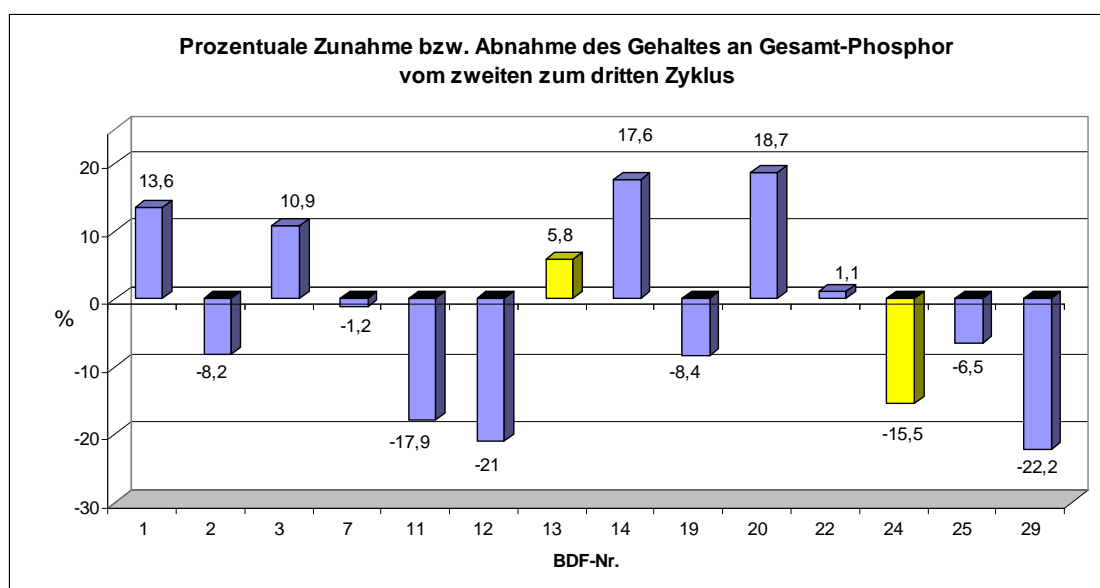


Abb. 7 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Phosphor; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 510 bzw. 488 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,4) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Gesamt-Phosphor im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Gesamt-Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/
Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM		Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM	
1	11,9	9,5	D	19	9,1	6,3	C
2	4,2	1,3	B	20	5,2	8,0	B - C
3	12,1	11,7	D	22	5,4	10,7	B - D
7	9,9	8,8	D - C	24	2,8	2,2	A
11	1,92	5,7	A - C	25	1,5	4,9	A - B
12	1,9	4,2	A - B	29	16,7	6,0	E - C
13	4,2	10,6	B - D	MW	9,7	6,6	D - C
14	48,7	2,5	E - A	stabw	12,1	3,4	

2.1.8 Kalium (CAL-löslich)

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF fünf statistisch signifikante Abnahmen und sechs statistisch signifikante Zunahmen des Gehaltes an löslichem Kalium (Abb.8). Auf den übrigen drei Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

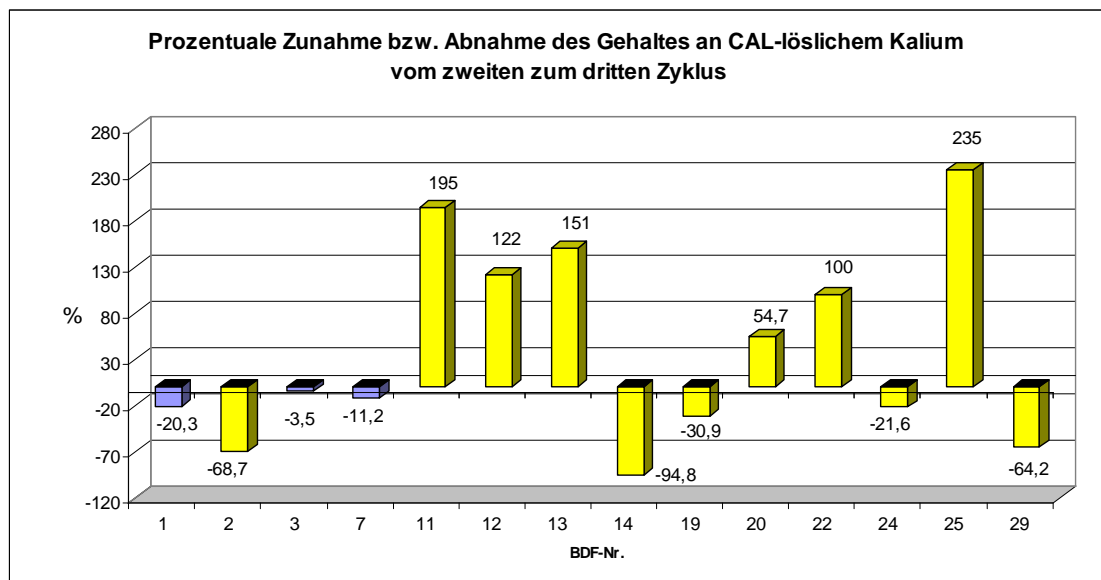


Abb. 8 Entwicklung des Gehaltes an CAL-löslichem Kalium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Die statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an löslichem Kalium variierte zwischen 21,6 und 94,8 % und lag im Mittel bei bei 56 %. Die statistisch signifikante Zunahme lag zwischen 54,7 bzw. 235 % und betrug im Mittel 143 %.

Als positiv relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Zunahme des Gehaltes an löslichem Kalium auf den sechs betreffenden BDF bewertet, da sich

die Standorte gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ auf vier Standorten um eine bzw. zwei Stufen verbessern und in die Gehaltsklasse C bzw. D (optimaler – hoher Bereich) und auf zwei Standorten von der Gehaltsklasse A (sehr niedrig) in die Gehaltsklasse B (niedrig) aufsteigen. Alle Erhöhungen sind statistisch signifikant und liegen über 25%. Als relevant negativ im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Kalium auf BDF 14 bewertet. Das Ergebnis ist statistisch signifikant, weist eine Abnahme von mehr als 25% auf und bedeutet gleichzeitig die Einstufung in die Gehaltsklasse A (sehr niedrig) ausgehend von der Gehaltsklasse E (sehr hoch) gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

Tabelle 8 CAL-lösliches Kalium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	535	608	19	475	435
2	477	438	20	308	365
3	323	358	22	435	440
7	410	405	24	275	233
11	478	393	25	385	360
12	1273	1005	29	643	500
13	345	365	MW	510	488
14	785	923	stabw	258	219

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 9,7 bzw. 6,6 mg/100gTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,4) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an löslichem Kalium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 8), führt aber gleichwohl von der Gehaltsklasse D (hoch) zur Gehaltsklasse C (optimal) gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

2.1.9 Magnesium (CaCl_2 -löslich)

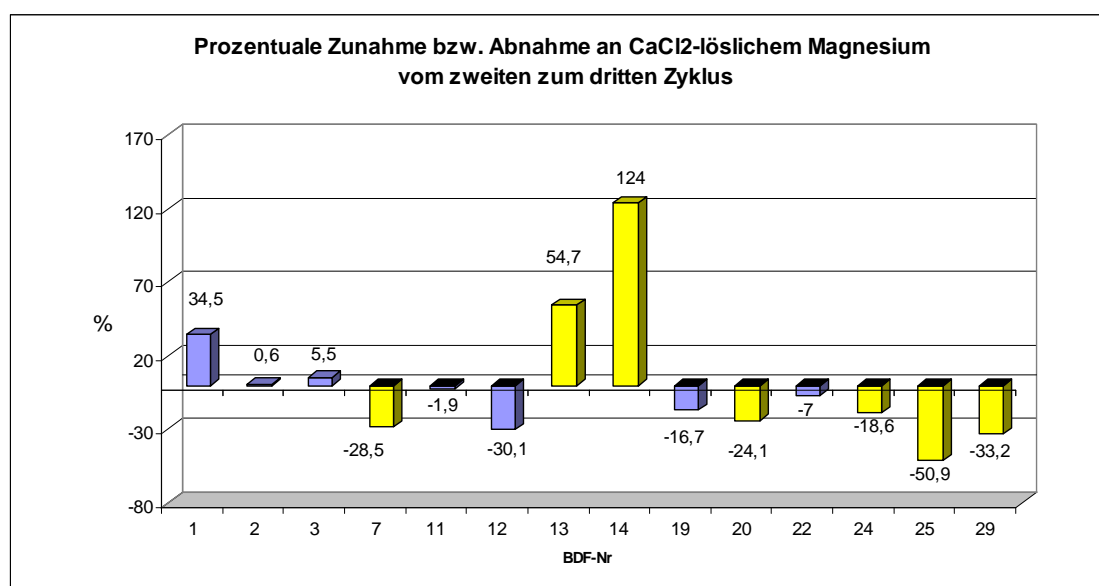


Abb. 9 Entwicklung des Gehaltes an CaCl_2 -löslichem Magnesium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF fünf statistisch signifikante Abnahmen und zwei statistisch signifikante Zunahmen des Gehaltes an löslichem Magnesium (Abb.9). Auf den übrigen sieben Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Die statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an löslichem Magnesium variierte zwischen 54,7 und 50,9 % und lag im Mittel bei 31,1 %. Die statistisch signifikante Zunahme betrug 54,7 bzw. 124%.

Als positiv relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Zunahme des Gehaltes an löslichem Magnesium auf den BDF 13 und 14 bewertet, da sich beide Standorte gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ um eine bzw. zwei Stufen verbessern und in die Gehaltsklasse C (optimaler Bereich) aufsteigen. Beide Erhöhungen sind statistisch signifikant und liegen über 25%. Als relevant negativ im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Magnesium auf den BDF 25 und 29 bewertet. Das Ergebnis ist statistisch signifikant, weist eine Abnahme von mehr als 25% auf und bedeutet gleichzeitig die Einstufung in die jeweils tiefere Gehaltsklasse (von B nach A bzw. von C nach B) gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

CaCl₂-lösliches Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/
Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM		Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM	
1	3,5	4,7	B - C	19	2,6	2,1	B - A
2	3,4	3,4	B	20	3,7	2,8	C - B
3	6,9	7,2	D	22	4,4	4,0	C
7	10,2	7,3	E	24	1,6	1,3	A
11	1,8	1,7	A	25	3,1	1,5	B - A
12	1,2	0,8	A	29	4,1	2,7	C - B
13	2,7	4,2	B - C	MW	3,6	3,4	C - B
14	2,0	4,4	A - C	stabw	2,4	2,0	

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 3,6 bzw. 3,4 mg/100gTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,61) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an löslichem Magnesium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 9).

Die Mittelwerte zeigen das Potenzial einer Ertragssteigerung durch eine gezielte Düngungsmaßnahme an. Dabei sollte von der Gehaltsklasse B ausgehend wieder der optimale Bereich der Gehaltsklasse C erreicht werden.

2.1.10 Phosphor (CAL-löslich)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF vier statistisch signifikante Abnahmen und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an löslichem Phosphor (Abb.10). Auf den übrigen neun Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Die statistisch signifikante Abnahme variierte zwischen 33,9 und 50,6 % lag im Mittel bei 41 %. Die statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an löslichem Phosphor an einem Standort betrug 34,7 %.

Als negativ relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Phosphor auf den BDF 1, 14 und 19 bewertet. Die Ergebnisse sind statistisch signifikant, weisen eine Abnahme von mehr als 25% auf und

bedeuten gleichzeitig die Herabstufung von den Gehaltsklassen D bzw. C in die suboptimalen Gehaltsklassen A bzw. B gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

Positiv relevante Veränderungen im Sinne der Nährstoffversorgung des Bodens mit löslichem Phosphor wurden nicht ermittelt. Die Verbesserung der BDF 3 von der Gehaltsstufe B nach C konnte statistisch nicht abgesichert werden.

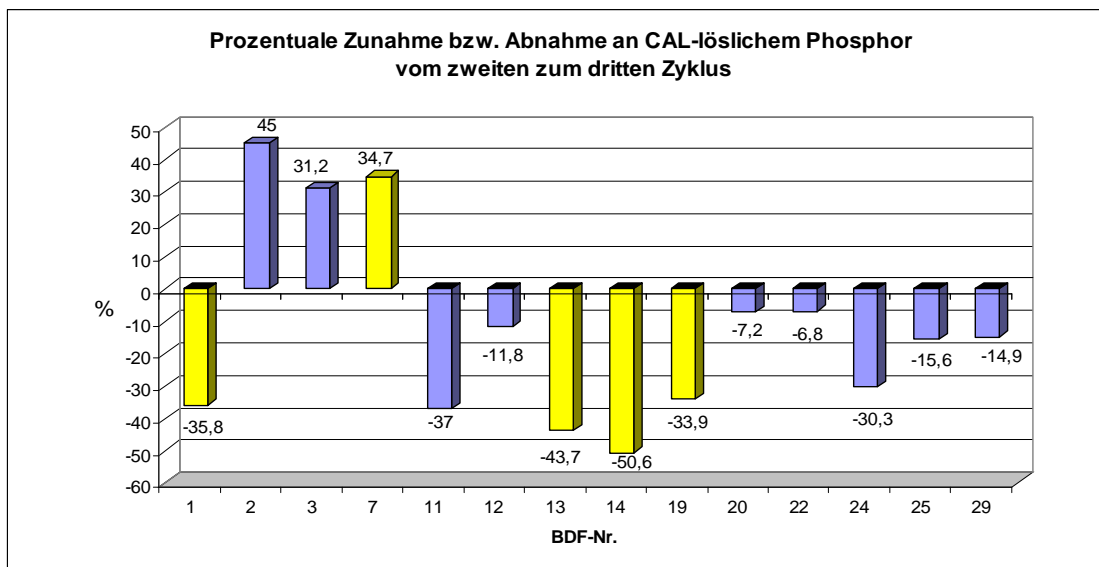


Abb. 10 Entwicklung des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus von 6,6 bzw. 5,6 mg/100gTM mittels t-Test ($n=13$; α 0,05; p-Wert 0,1) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an löslichem Phosphor im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 10).

Der Mittelwert beider Untersuchungszeiträume führt zur Einstufung in die optimale Gehaltsklasse C. Andererseits wurde im zweiten bzw. dritten Zyklus auf fünf bzw. acht Standorten eine suboptimale Versorgung mit pflanzenverfügbarem Phosphor ermittelt.

Tabelle 10 CAL-löslicher Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/
Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM		Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM	
1	8,5	5,4	D - B	19	4,3	2,8	B - A
2	6,1	8,8	C - D	20	4,5	4,2	B
3	4,3	5,6	B - C	22	5,6	5,2	C - B
7	5,7	7,6	C	24	2,6	1,8	A
11	5,3	3,3	B	25	5,6	4,7	C - B
12	15	13,2	E	29	6,5	5,5	C - B
13	11,2	6,3	D - C	MW	6,6	5,6	C
14	7,7	3,8	C - B	stabw	3,2	2,9	0,1

2.2 Arsen und Schwermetalle

2.2.1 Arsen

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF zwei statistisch signifikante Abnahmen des Gehaltes an Arsen (Abb.11). Auf den übrigen 12 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

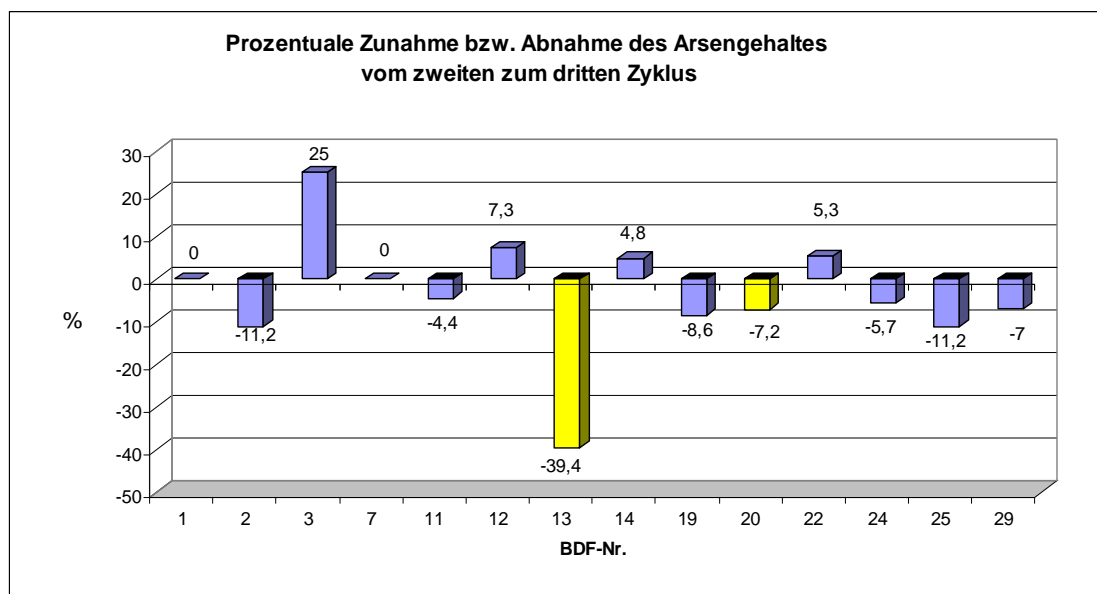


Abb. 11 Entwicklung des Gehaltes an Arsen (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 2,3 bzw. 2,2 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,18) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Arsen im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 Arsengehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM
1	2,5	2,5	19	2,6	2,4
2	2,2	2,0	20	2,4	2,3
3	1,4	1,8	22	1,9	2,0
7	1,7	1,7	24	2,6	2,5
11	2,3	2,2	25	2,2	2,0
12	2,4	2,6	29	3,6	3,3
13	2,4	1,4	MW	2,3	2,2
14	2,1	2,2	stabw	0,50	0,46

Die Mediane beider Zyklen von 2,3 bzw. 2,2 mg/kgTM befinden sich im Bereich des aktuellen Hintergrundwertes für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 3 mg/kgTM /5/.

2.2.2 Blei

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergab sich für die BDF 2 eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Blei um 18,3 %. Die auf den übrigen Flächen ermittelten Veränderungen stellten sich als statistisch nicht signifikant heraus (Abb. 12).

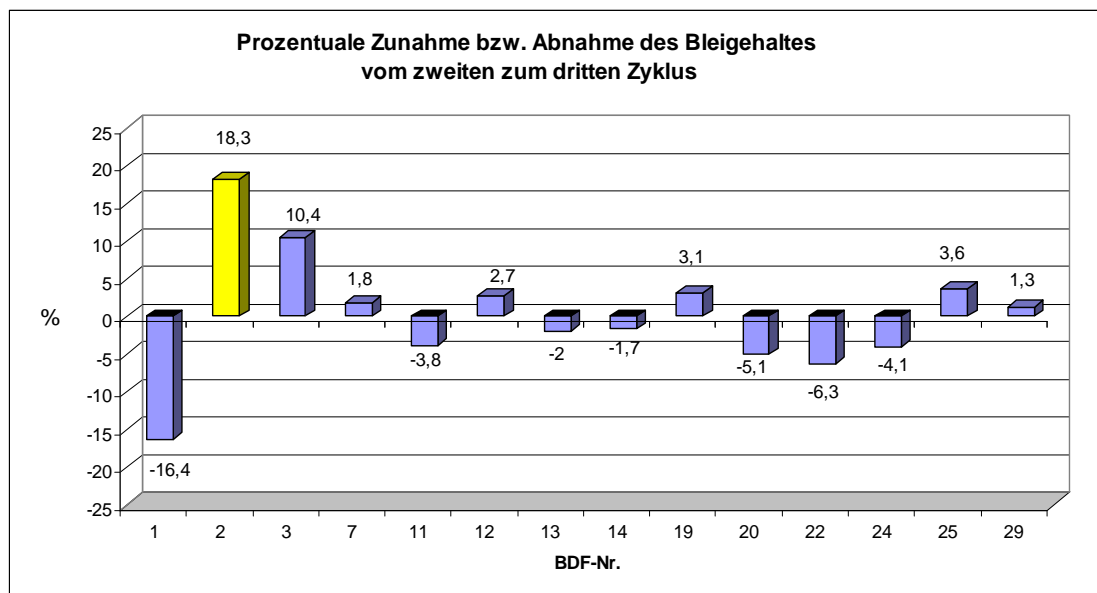


Abb. 12 Entwicklung des Gehaltes an Blei (KWA)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 14,6 bzw. 14,5 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,75) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Blei im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12 Bleigehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM
1	16,8	14,0	19	16,3	16,8
2	8,1	9,6	20	14,8	14,0
3	12,0	13,3	22	12,3	11,5
7	13,8	14,0	24	18,5	17,8
11	13,0	12,5	25	14,0	14,5
12	18,8	19,3	29	18,8	19,0
13	12,8	12,5	MW	14,6	14,5
14	14,8	14,5	stabw	3,0	2,8

Die Mediane beider Zyklen von 14,4 bzw. 14 mg/kgTM befinden sich im Bereich des aktuellen Hintergrundwertes für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 12 mg/kgTM /5/.

Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 40 mg/kgTM /3/ durch die Mediane der zwei Zyklen liegt bei 36 % (2.Zyklus) bzw. 35 % (3.Zyklus).

2.2.3 Cadmium

Ein statistischer Vergleich der Cadmiumwerte des zweiten und dritten war nicht möglich, da die meisten Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Im Ergebnis überschreitet keiner der untersuchten Standorte sowohl im zweiten, als auch im dritten Zyklus den Wert von 0,2 bzw. 0,25 mg/kgTM (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13 Cadmiumgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	< 0,2	< 0,2	19	< 0,2	< 0,2
2	< 0,06	< 0,2	20	< 0,2	< 0,2
3	0,07	< 0,2	22	< 0,2	< 0,2
7	< 0,25	< 0,2	24	< 0,2	< 0,2
11	< 0,1	< 0,2	25	< 0,2	< 0,2
12	< 0,1	< 0,2	29	< 0,2	< 0,2
13	< 0,06	0,096	MW	keine Angabe	
14	< 0,2	< 0,2	stabw		

Ein exakter Vergleich mit dem Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 0,1 mg/kgTM /5/ ist aufgrund der hohen Bestimmungsgrenze nicht möglich.

Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 0,4 mg/kgTM /3/ durch die überwiegend ermittelten Ergebnisse von < 0,2 mg/kgTM liegt bei maximal 50 %, ist aber wahrscheinlich deutlich niedriger anzusetzen, wie die Ergebnisse der BDF 2, 3, 11, 12 und 13 zeigen. Hier liegen die Werte im Bereich des Hintergrundwertes für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 0,1 mg/kgTM /5/. Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV /3/ beträgt bei diesen Standorten maximal 25 %.

2.2.4 Chrom

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF eine statistisch signifikante Abnahme um 5,2 % und drei statistisch signifikante Zunahmen von 7,1 bis 26,2 % des Gehaltes an Chrom. Die ermittelten Veränderungen auf den übrigen Flächen stellten sich als statistisch nicht signifikant heraus (Abb. 13).

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von jeweils 8 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,98) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Chrom im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 14).

Die Mediane beider Zyklen von 7,7 bzw. 7,2 mg/kgTM liegen über dem aktuellen Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 4 mg/kgTM und entsprechen eher dem dort ausgewiesenen 90. Perzentil von 7 mg/kgTM /5/.

Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 30 mg/kgTM /3/ durch die Mediane der zwei Zyklen liegt bei 30 % (2.Zyklus) bzw. 24 % (3.Zyklus).

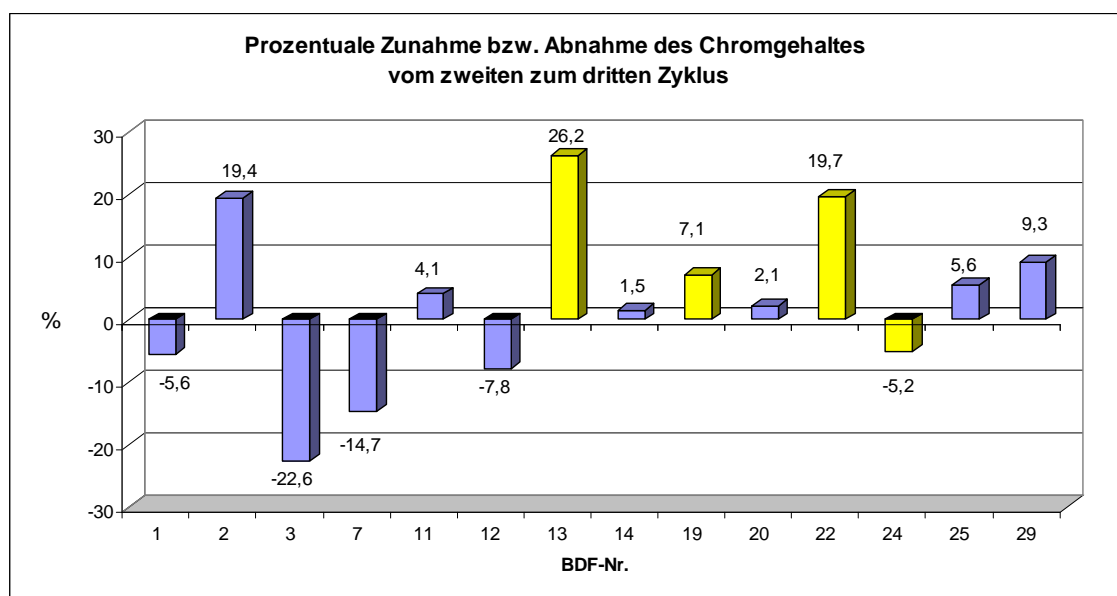


Abb. 13 Entwicklung des Gehaltes an Chrom (KWA)

Tabelle 14 Chromgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM
1	6,7	6,3	19	8,5	9,1
2	4,9	5,9	20	9,7	9,9
3	14,3	11,0	22	5,1	6,1
7	7,1	6,1	24	8,2	7,8
11	10,3	10,7	25	6,2	6,6
12	9,6	8,9	29	10,8	11,8
13	4,2	5,3	MW	8,0	8,0
14	6,7	6,8	stabw	2,7	2,2

2.2.5 Kupfer

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF zwei statistisch signifikante Abnahmen und eine statistisch signifikante Zunahme (Abb.14). Die Veränderungen auf den übrigen 11 BDF waren statistisch nicht signifikant.

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 4,3 bzw. 4,6 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,21) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Kupfer im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 15).

Die Mediane beider Zyklen von 4,3 bzw. 4,4 mg/kgTM entsprechen dem aktuellen Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 4 mg/kgTM /5/.

Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 30 mg/kgTM /3/ durch die Mediane der zwei Zyklen liegt bei 21,5 % (2.Zyklus) bzw. 22 % (3.Zyklus).

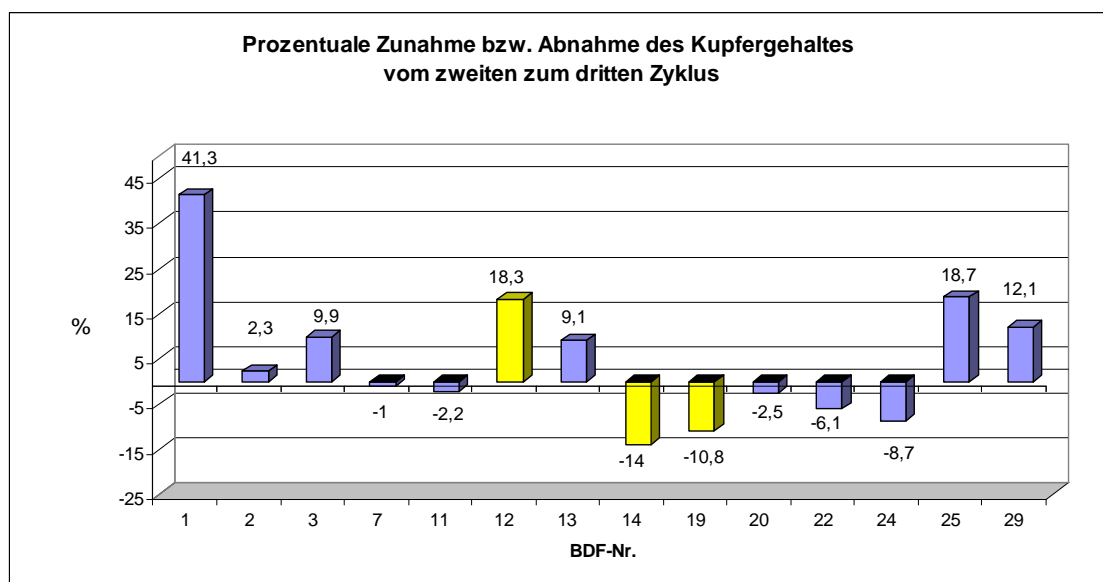


Abb. 14 Entwicklung des Gehaltes an Kupfer (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Tabelle 15 Kupfergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM
1	4,2	5,9	19	4,7	4,2
2	3,3	3,4	20	5,0	4,9
3	4,8	5,3	22	3,7	3,5
7	7,4	7,3	24	2,9	2,6
11	4,5	4,4	25	3,8	4,5
12	4,7	5,5	29	6,2	6,9
13	2,5	2,7	MW	4,3	4,6
14	3,4	2,9	stabw	1,3	1,5

2.2.6 Nickel

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF keine statistisch signifikanten Veränderungen (Abb.15).

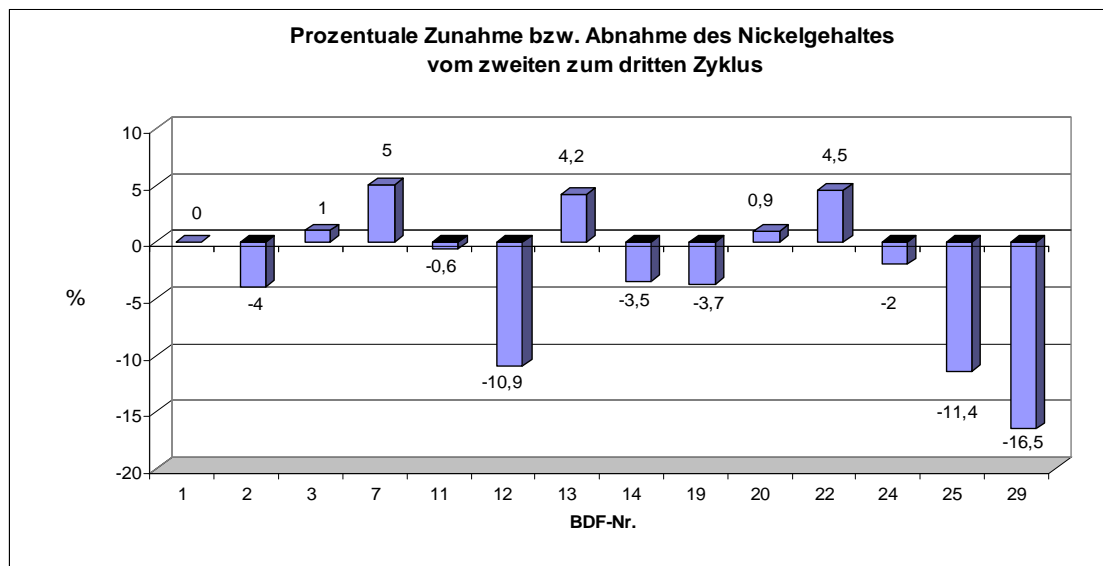


Abb. 15 Entwicklung des Gehaltes an Nickel (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 3,7 bzw. 3,6 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,12) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Nickel im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16 Nickelgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus mg/kgTM	3.Zyklus mg/kgTM
1	2,5	2,5	19	4,7	4,5
2	3,8	3,6	20	2,9	2,9
3	5,2	5,3	22	2,2	2,3
7	5,5	5,8	24	2,5	2,5
11	4,4	4,4	25	3,9	3,5
12	4,6	4,1	29	4,6	3,8
13	1,2	1,3	MW	3,7	3,6
14	3,6	3,5	stabw	1,3	1,2

Die Mediane beider Zyklen von 3,8 bzw. 3,5 mg/kgTM liegen über dem aktuellen Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 2 mg/kgTM /5/. Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 15 mg/kgTM /3/ durch die Mediane des zweiten und dritten Zyklus liegt bei 25,3 bzw. 23,3 %.

2.2.7 Quecksilber

Ein statistischer Vergleich der Quecksilberwerte des zweiten und dritten Zyklus war nur eingeschränkt möglich, da für neun Standorte hinsichtlich des zweiten Zyklus nur Er-

gebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze vorlagen. Für die BDF 7 konnte eine statistisch signifikante Abnahme des Quecksilbergehaltes im zeitlichen Verlauf von 75,8 µg/kgTM auf 39,4 µg/kgTM mittels t-Test nachgewiesen werden (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17 Quecksilbergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	2.Zyklus µg/kgTM	3.Zyklus µg/kgTM	BDF Nr.	2.Zyklus µg/kgTM	3.Zyklus µg/kgTM
1	36,3	30,9	19	41,5	33,4
2	< 50	17,2	20	21,3	19,5
3	< 50	27,5	22	< 50	25,0
7	75,8	39,4	24	< 50	22,3
11	< 50	20,3	25	< 50	32,0
12	< 50	27,3	29	< 50	40,8
13	< 50	27,5	MW	keine Angabe	27,6
14	37,5	23,5	stabw		7,1

Die ermittelten Werte entsprechen mit einer Ausnahme (2.Zyklus, BDF 7) dem Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von < 50 µg/kgTM /5/. Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 100 µg/kgTM /3/ durch den Median des dritten Zyklus liegt 27,4 %.

2.2.8 Zink

Im Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF keine statistisch signifikanten Veränderungen des Gehaltes an Zink (Abb. 16).

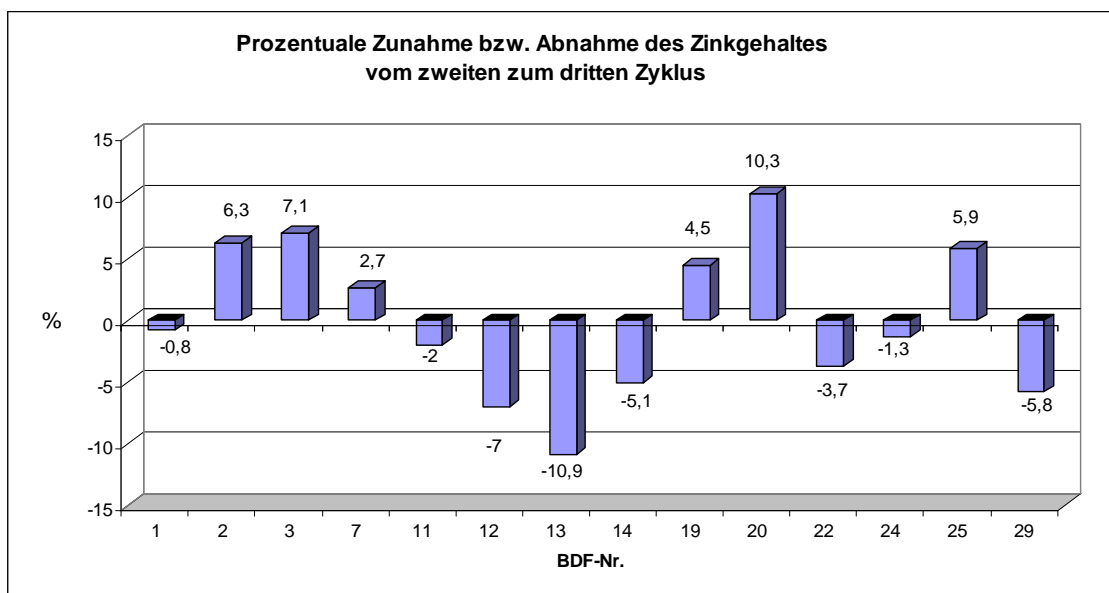


Abb. 16 Entwicklung des Gehaltes an Zink (KWA)); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 24,1 bzw. 24,0 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p -Wert 0,89) zeigt keine statistisch signifikante Veränderung des Gehaltes an Zink im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18 Zinkgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	31,0	30,8	19	27,5	28,8
2	16,0	17,0	20	19,5	21,5
3	24,5	26,3	22	20,5	19,8
7	28,3	29,0	24	19,8	19,5
11	24,8	24,3	25	21,3	22,5
12	35,8	33,3	29	30,3	28,5
13	13,8	12,3	MW	24,1	24,0
14	24,5	23,3	stabw	6,1	5,8

Die Mediane beider Zyklen von 24,5 bzw. 23,8 mg/kgTM liegen über dem aktuellen Hintergrundwert für das Land Brandenburg (Median, Acker, Sande) von 15 mg/kgTM und entsprechen eher dem 90. Perzentil von 25 mg/kgTM /5/.

Die Auslastung des Vorsorgewertes der BBodSchV für Sandböden von 60 mg/kgTM /3/ durch die Mediane des zweiten und dritten Zyklus liegt bei 40,8 bzw. 39,7 %.

2.3 Radionuklide

2.3.1 Cäsium-134

Das 1986 beim Atomreaktorunfall in Tschernobyl freigesetzte Cs-134 weist eine Halbwertszeit von zwei Jahren auf und lag auf allen Standorten im zweiten und dritten Zyklus unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,2 Bq/kgTM.

2.3.2 Cäsium-137

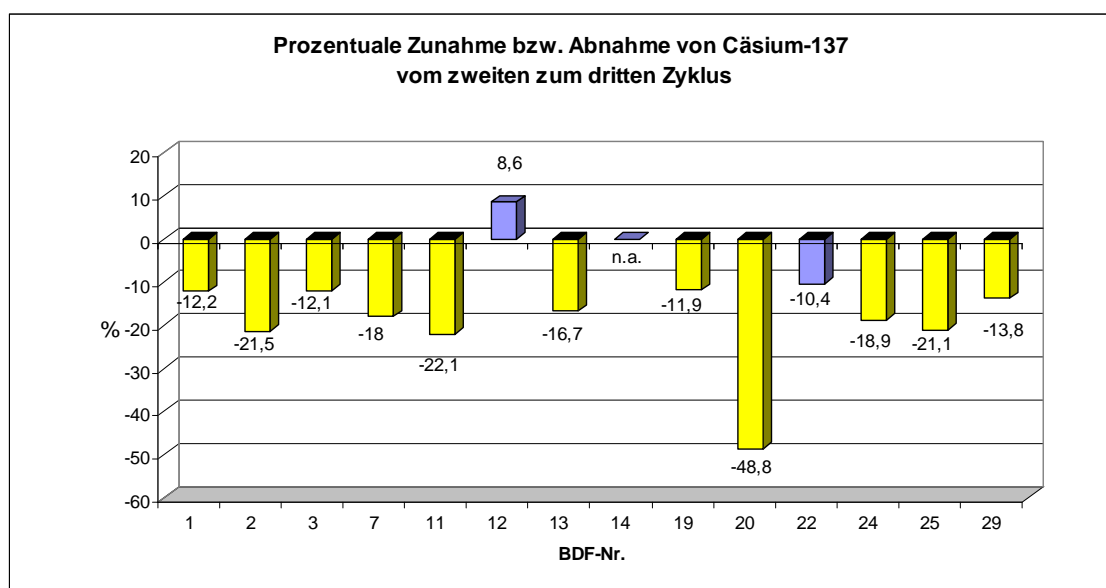


Abb. 17 Entwicklung des Gehaltes an Cäsium-137; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Das Radionuklid Cs-137 stammt aus Kernwaffentests in den sechziger Jahren sowie dem Atomreaktorunfall in Tschernobyl und hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren.

Auf 12 der untersuchten Standorte zeigte sich im t-Test eine statistisch signifikante Abnahme an Cäsium-137 (Abb.17). Die statistisch signifikanten Abnahmen werden als positiv relevant eingeschätzt, da das Potenzial für eine schädliche Einwirkung auf den Boden abnimmt.

Der Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus von 9,4 bzw. 7,9 Bq/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,0003) zeigt eine statistisch hoch signifikante Abnahme an Cäsium-137 im zeitlichen Verlauf von 16 % (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19 Cäsium-137 des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	2.Zyklus	3.Zyklus	BDF	2.Zyklus	3.Zyklus
Nr.	Bq/kgTM	Bq/kgTM	Nr.	Bq/kgTM	Bq/kgTM
1	18,5	16,3	19	9,9	8,7
2	11,8	9,2	20	9,3	4,8
3	14,5	12,8	22	10,6	9,5
7	6,7	5,5	24	7,9	6,4
11	8,9	6,6	25	5,7	4,5
12	7,8	8,5	29	6,2	5,3
13	4,8	4,0	MW	9,4	7,9
14	n.a.	8,4	stabw	3,8	3,4

3. Zusammenfassung

3.1 Vergleich der Werte des zweiten und dritten Zyklus der einzelnen BDF

Insgesamt konnten für 20 Parameter 237 statistische Vergleiche der Werte des zweiten und dritten Zyklus für die einzelnen BDF vorgenommen werden. Im Ergebnis stellten sich davon 77 (32,5 %) als statistisch signifikante und 45 (19 %) darüber hinaus als positiv bzw. negativ praktisch relevante Veränderungen heraus (Tabelle 20).

Die meisten statistisch signifikanten Veränderungen traten erwartungsgemäß in der Parametergruppe Basisparameter/Nährstoffe auf, da diese in besonderem Maße von der landwirtschaftlichen Nutzung geprägt wird. Die Anzahl der statistisch signifikanten Veränderungen der 14 untersuchten BDF ergibt folgende Anordnung:

K (CAL) 11 > Mg (CaCl₂) 7 > Nt + K (gesamt) + Mg (gesamt) 6 > C/N-Verhältnis + P (CAL) 5 > pH-Wert 4 > TOC 3 > P (gesamt) 2.

Während der TOC-Gehalt, die Gesamtgehalte an Magnesium und Phosphor sowie der Gehalt an löslichem Kalium relativ gleichmäßig verteilte statistisch signifikante Zunahmen und Abnahmen aufweisen, zeigen sich beim Nt-Gehalt, dem Gesamtgehalt an Kalium und bei löslichem Magnesium und Phosphor mehr Abnahmen als Zunahmen. Aus der Entwicklung des TOC und des Nt-Gesamtgehaltes resultiert die Tendenz zu einem weiteren C/N-Verhältnis, die auf fünf BDF nachgewiesen werden konnte.

Die wenigsten statistisch signifikanten Veränderungen in dieser Parametergruppe konnten für den Gehalt an Gesamt-Phosphor ermittelt werden (Tabelle 20).

Neben der statistischen Signifikanz stellt sich die Frage nach der praktischen Relevanz (Bewertungskriterien siehe Anhang Tabelle A-F) der ermittelten Veränderungen.

Von den vier statistisch signifikanten Veränderungen des pH-Wertes werden alle als praktisch relevant, davon drei als positiv und eine als negativ relevant eingeschätzt, obwohl keine der Veränderungen > 25% betrug. Begründet werden die Einstufungen als positiv relevant mit dem Erreichen der optimalen Gehaltsklasse C ausgehend von der Gehaltsklasse B auf den BDF 1 und 29, sowie die Verbesserung von der Gehaltsklasse A in die Gehaltsklasse B gemäß RE Düngung BB (2000) /2/ auf der BDF 13. Die Einstufung als negativ relevant der Veränderung auf der BDF 25 geht einher begründet sich mit der Herabstufung von der Gehaltsklasse B nach A gemäß RE Düngung BB (2000) /2/.

Tabelle 20 Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom zweiten zum dritten Zyklus – Vergleich der einzelnen BDF (n=14)

Parameter	Entwicklung der Werte vom zweiten zum dritten Zyklus – Anzahl der Standorte (n=14)		
	Basisparameter Nährstoffe	Statistisch nicht signifikant	Stat. signifikante Zunahme/ Relevanz
pH-Wert	10	3 / 3	1 / 1
TOC	11	1 / 0	2 / 2
Nt	8	1 / 0	5 / 3
C/N-Verhältnis	9	5 / 3	0
K (gesamt)	8	1 / 1	5 / 3
K (CAL)	3	6 / 6	5 / 1
Mg (gesamt)	8	3 / 1	3 / 0
Mg (CaCl ₂)	7	2 / 2	5 / 2
P (gesamt)	12	1 / 0	1 / 0
P (CAL)	9	1 / 0	4 / 3
Arsen Schwermetalle			
As	12	0	2 / 1
Pb	13	1 / 0	0
Cd	k.A.	k.A.	k.A.
Cr	10	3 / 1	1 / 0
Cu	11	1 / 0	2 / 0
Ni	14	0	0
Hg	k.A.	k.A.	k.A.
Zn	14	0	0
Radionuklide			
Cs-134	k.A.*	k.A.	k.A.
Cs-137	2	0	12 / 12

k.A.* keine Angabe, da zahlreiche Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen

Von den drei statistisch signifikanten Veränderungen des TOC-Gehaltes werden die zwei Abnahmen als praktisch negativ relevant hinsichtlich der Humusversorgung der Standorte eingeschätzt. Dabei handelt es sich um statistisch signifikante Veränderungen des TOC-Gehaltes in der Größenordnung von > 25 %. Die Standorte werden nunmehr gemäß KA5 /1/ als schwach humos (h2) eingestuft, nachdem sie vorher als mittel humos (h3) bewertet wurden.

Von den fünf statistisch signifikanten Abnahmen des Nt-Gehaltes werden dreioals positiv relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich um statistisch signifikante Abnahmen des Nt-Gehaltes in der Größenordnung von > 25 %.

Die Einschätzung der Abnahme des Nt-Gehaltes als positiv relevant wird einerseits mit den Folgen des momentan hohen Stickstoffeinsatzes in der Landwirtschaft für die Umwelt (Nitrat im Grundwasser, Eutrophierung von Oberflächengewässern; N-Emission in die Luft) und andererseits mit einer Normalisierung des C/N-Verhältnisses des Bodens begründet.

Von den fünf statistisch signifikanten Zunahmen des C/N-Verhältnisses werden drei als praktisch positiv relevant eingeschätzt, da hier eine Normalisierung von zu niedrigen Werten in den Bereich um den Wert 10 zu beobachten ist.

Die statistisch signifikante Zunahme des Kalium (gesamt) – Gehaltes auf der BDF 14 wird als positiv relevant im Sinne einer potenziell verbesserten Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen eingeschätzt da es sich um eine Zunahme von > 25 % handelt. Entscheidend für die optimale Nährstoffversorgung ist letztlich der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium.

Von den elf statistisch signifikanten Veränderungen des K (CAL) - Gehaltes werden sieben als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich um sechs Zunahmen und eine Abnahme im Bereich > 25 %, die als positiv relevant bzw. negativ relevant im Sinne einer optimalen bzw. suboptimalen Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bewertet werden. Die Zunahme führte auf sechs BDF zu verbesserten Gehaltsklassen gemäß RE Düngung BB (2000) /2/. Die Abnahme führte auf der BDF 14 zu einer Einstufung in die Gehaltsklasse A ausgehend von der Gehaltsklasse E gemäß RE Düngung BB (2000) /2/.

Von den jeweils drei statistisch signifikanten Zunahmen bzw. Abnahmen des Mg (gesamt) – Gehaltes wird eine als positiv relevant in Sinne einer potenziell verbesserten Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen eingeschätzt da es sich um eine Zunahme von > 25 % handelt. Entscheidend für die optimale Nährstoffversorgung ist letztlich der Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium.

Von den sieben statistisch signifikanten Veränderungen des Mg (CaCl₂) - Gehaltes werden vier als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich jeweils um zwei Zunahmen und Abnahme im Bereich > 25 %, die als positiv relevant bzw. negativ relevant im Sinne einer optimalen bzw. suboptimalen Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bewertet werden. Die Zunahme führte auf den BDF 13 und 14 zu einer Einstufung in die Gehaltsklasse C ausgehend von den Gehaltsklassen A bzw. B gemäß RE Düngung BB (2000) /2/. Die Abnahme führte auf den BDF 25 und 29 zu einer Einstufung in die Gehaltsklassen A bzw. B ausgehend von den Gehaltsklassen B bzw. C gemäß RE Düngung BB (2000) /2/.

Von den zwei statistisch signifikanten Veränderungen des P (gesamt) - Gehaltes wird keine als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich jeweils um eine Zunahme und eine Abnahme im Bereich < 25 %. Entscheidend für die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen ist der pflanzenverfügbare Phosphoranteil (P(CAL)).

Von den fünf statistisch signifikanten Veränderungen des P (CAL) - Gehaltes werden drei als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich um drei Abnahmen im Bereich > 25 %, die als negativ relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bewertet werden. Hier kommt es auf den BDF 1, 14 und 19 zu negativen Veränderungen der Gehaltsklassen gemäß RE Düngung BB (2000) /2/.

Die Parametergruppe Arsen/Schwermetalle ist insgesamt durch eine sehr hohe Konstanz der Stoffgehalte des Oberbodens im Verlaufe der Zeit gekennzeichnet.

Für die Elemente Nickel und Zink konnten auf keiner BDF statistisch signifikante Veränderungen festgestellt werden. Für die Elemente Blei, Arsen, Kupfer und Chrom wurden eine, zwei, drei bzw. vier statistisch signifikante Zunahmen bzw. Abnahmen ermittelt.

Alle statistisch signifikanten Veränderungen werden als praktisch nicht relevant eingeschätzt, da sich alle Werte nach wie vor im Bereich der Hintergrundwerte des Landes Brandenburg /5/ befinden und mit zwei Ausnahmen (As + Cr auf der BDF 13) Veränderungen von < 25 % aufweisen.

Die genaue Erfassung der Gehalte an Cadmium und Quecksilber wird in vielen Fällen durch die im Labor verwendete Bestimmungsgrenze limitiert. Die auf dieser Basis ermittelten Werte schließen jedoch praktisch relevante Erhöhungen in Bezug auf die Vorsorgewerte der BBodSchV /3/ aus.

In der Parametergruppe Radionuklide werden alle zwölf statistisch signifikanten Abnahmen an Cäsium-137 als positiv relevant eingeschätzt, da sich das Potenzial für eine schädliche Einwirkung auf den Boden verringert.

3.2 Parameterabhängiger Vergleich der Mittelwerte des zweiten und dritten Zyklus

Die Mittelwerte von 20 Parametern des zweiten und dritten Zyklus der untersuchten Standorte wurden mittels statistischer Verfahren verglichen. Die dabei ermittelten statistisch signifikanten Veränderungen wurden hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz für den Bodenzustand bewertet.

Für 14 Parameter waren die Ergebnisse statistisch nicht signifikant und ohne praktische Relevanz. Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Parameter:

pH-Wert, Organisch gebundener Kohlenstoff, Kalium (gesamt+CAL); Magnesium (gesamt+CaCl₂); Phosphor (gesamt+CAL), Arsen, Blei, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink.

Für drei Parameter konnten statistisch signifikante Veränderungen verbunden mit praktischer Relevanz hinsichtlich der Bodeneigenschaften ermittelt werden.

Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Parameter:

Gesamt-Stickstoff, C/N-Verhältnis und Cäsium-137.

Für Gesamt-Stickstoff wurde eine statistisch hochsignifikante Abnahme vom zweiten zum dritten Zyklus von 16,3 % festgestellt. Die Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff wird als praktisch positiv relevant eingeschätzt, da der momentan hohe Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft mit negativen Folgen für die Umwelt (Nitrat im Grundwasser, Eutrophierung von Oberflächengewässern; N-Emission in die Luft) verbunden ist. Andererseits geht damit eine Erhöhung des C/N-Verhältnisses des Bodens von 9,4 auf 10,4 einher. Auch diese Veränderung stellte sich als statistisch hoch signifikant dar. Für Cäsium-137 wurde eine statistisch hochsignifikante Abnahme vom zweiten zum dritten Zyklus von 19 % festgestellt. Die Abnahme des Gehaltes an Cäsium-137 wird im Sinne eines reduzierten Schadstoffgehaltes des Bodens als praktisch positiv relevant eingeschätzt.

Für die Parameter Cadmium, Quecksilber und Cäsium-134 war ein Vergleich mit statistischen Verfahren nicht möglich, da der überwiegende Teil der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lag.

Tabelle 21 Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom zweiten zum dritten Zyklus – Vergleich der Mittelwerte (t-Test; n=14; α 0,05)

Parameter	Entwicklung der Werte vom zweiten zum dritten Zyklus (n=14)		
	Statistisch signifikant	Stat. signifikante Zunahme / Relevanz	Stat. signifikante Abnahme / Relevanz
pH-Wert	nein; p-Wert 0,45		
TOC	nein; p-Wert 0,12		
Nt	ja		ja; p-Wert 0,005 / ja
C/N-Verhältnis	ja	ja; p-Wert 0,0001 / ja	
K (gesamt)	nein; p-Wert 0,21		
K (CAL)	nein; p-Wert 0,4		
Mg (gesamt)	nein; p-Wert 0,79		
Mg (CaCl ₂)	nein; p-Wert 0,61		
P (gesamt)	nein; p-Wert 0,4		
P (CAL)	nein; p-Wert 0,1		
Arsen+ Schwermetalle			
As	nein; p-Wert 0,18		
Pb	nein; p-Wert 0,75		
Cd	keine Angabe		
Cr	nein; p-Wert 0,98		
Cu	nein; p-Wert 0,21		
Ni	nein; p-Wert 0,12		
Hg	keine Angabe		
Zn	nein; p-Wert 0,89		
Radionuklide			
Cs-134	k. A.*		
Cs-137	ja		ja; p-Wert 0,0003 / ja

k.A.* keine Angabe, da zahlreiche Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen

4. Ausblick

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse stellen entsprechend des Projektfortschrittes die Entwicklung vom zweiten Untersuchungszeitraum (1999 – 2009) zum dritten Untersuchungszeitraum (2009 – 2016) dar.

Eine Fortschreibung der Beurteilung der weiteren Entwicklung der Bodeneigenschaften ist nach Vorliegen der Daten des 2016 beginnenden vierten Untersuchungszeitraumes geplant.

5. Literatur

- /1/ AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. bearb. u. erw. Aufl., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover
 /2/ Anonym (2000): Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg, MLUR Brandenburg

- /3/ BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12.7.1999, BGBl.I, Nr.36, S. 1554 - 1582
- /4/ Standpunkt des VDLUFA (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden, Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt
- /5/ Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden – 3. überarbeitete und ergänzte Auflage
- /6/ Lozan, J.L. und H. Kausch (2007): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler – 4. überarbeitete und ergänzte Auflage - Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg

6. Abkürzungen

BDF	Boden-Dauerbeobachtungsfläche
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz-Altlastenverordnung
CAL	Calzium-Acetat-Lactat
KA 5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, 2005
KWA	Königswasseraufschluss
Nt	Gesamt-Stickstoff
RE Dü BB	Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000)
TOC	Organisch gebundener Kohlenstoff
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	pH-Wert des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 2	TOC des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 3	Nt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 4	C/N-Verhältnis des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 5	Gesamt-Kalium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 6	Gesamt-Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 7	Gesamt-Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 8	CAL-lösliches Kalium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 9	CaCl ₂ -lösliches Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 10	CAL-löslicher Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 11	Arsengehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 12	Bleigehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 13	Cadmiumgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 14	Chromgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 15	Kupfergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 16	Nickelgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 17	Quecksilbergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 18	Zinkgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 19	Cäsium-137 des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 20	Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom zweiten zum dritten Zyklus – Vergleich der einzelnen BDF (n=14)
Tabelle 21	Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom zweiten zum dritten Zyklus – Vergleich der Mittelwerte (t-Test; n=14; α 0,05)

Tabellen im Anhang

Tabelle A	Praktische Relevanz von Veränderungen – pH-Wert
Tabelle B	Praktische Relevanz von Veränderungen – Organisch gebundener Kohlenstoff
Tabelle C	Praktische Relevanz von Veränderungen – Gesamtstickstoff
Tabelle D	Praktische Relevanz von Veränderungen – Nährstoffgesamtgehalte
Tabelle E	Praktische Relevanz von Veränderungen – Lösliche Nährstoffe
Tabelle F	Praktische Relevanz von Veränderungen – Arsen, Schwermetalle und Radionuklide
Tabelle G	Analysemethoden

8. Abbildungsverzeichnis

Abb.1	Entwicklung des pH-Wertes
Abb.2	Entwicklung des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC)
Abb.3	Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff (Nt)
Abb.4	Entwicklung des C/N-Verhältnisses
Abb.5	Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Kalium
Abb.6	Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Magnesium
Abb.7	Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Phosphor
Abb.8	Entwicklung des Gehaltes an CAL-löslichem Kalium
Abb.9	Entwicklung des Gehaltes an CaCl ₂ -löslichem Magnesium
Abb.10	Entwicklung des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor
Abb.11	Entwicklung des Gehaltes an Arsen (KWA)
Abb.12	Entwicklung des Gehaltes an Blei (KWA)
Abb.13	Entwicklung des Gehaltes an Chrom (KWA)
Abb.14	Entwicklung des Gehaltes an Kupfer (KWA)
Abb.15	Entwicklung des Gehaltes an Nickel (KWA)
Abb.16	Entwicklung des Gehaltes an Zink (KWA)
Abb.17	Entwicklung des Gehaltes an Cäsium-137