



Fachbeiträge des LUGV

Heft Nr. 143

Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“

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

Teil 1 Untersuchungszeitraum 1990–2009

Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“

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

Teil 1 Untersuchungszeitraum 1990 - 2009

Herausgeber:

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV)
Brandenburg
Seeburger Chaussee 2
OT Groß Glienicke
14476 Potsdam
Tel.: 033201 - 442171
Fax.: 033201 - 43678

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

Potsdam, im März 2015

Erarbeitung und Redaktion:

Abteilung Technischer Umweltschutz
Referat Altlasten, Bodenschutz (T6), Dr. Joachim Tessmann
joachim.tessmann@lugv.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	3
2. Ergebnisse	4
2.1 Basisparameter und Nährstoffe	4
2.1.1 pH-Wert.....	4
2.1.2 Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC).....	6
2.1.3 Gesamt-Stickstoff (Nt)	7
2.1.4 C/N-Verhältnis	9
2.1.5 Gesamt-Magnesium	10
2.1.6 Gesamt-Phosphor	11
2.1.7 Magnesium (CaCl ₂ -löslich).....	12
2.1.8 Phosphor (CAL-löslich).....	13
2.2 Arsen und Schwermetalle.....	15
2.2.1 Arsen.....	15
2.2.2 Blei	16
2.2.3 Cadmium.....	17
2.2.4 Chrom	18
2.2.5 Kupfer.....	19
2.2.6 Nickel	20
2.2.7 Quecksilber	21
2.2.8 Zink	22
2.3 Radionuklide	23
2.3.1 Cäsium-134.....	23
2.3.2 Cäsium-137	23
3. Zusammenfassung.....	24

3.1 Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus der einzelnen BDF	24
3.2 Parameterabhängiger Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus....	27
4. Ausblick.....	28
5. Literatur	30
6. Abkürzungen	30
7. Tabellenverzeichnis.....	29
8. Abbildungsverzeichnis.....	30
Anhang.....	31

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 zwei Untersuchungszeiträumen, teilweise auch bereits vom dritten Untersuchungszeitraum vor.

Im vorliegenden Bericht werden Daten des Oberbodens (A-Horizont) aus dem ersten Untersuchungszeitraum (1.Zyklus; 1990 – 1996) mit den Daten des zweiten Untersuchungszeitraumes (2.Zyklus; 1999 – 2009) 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 1. und 2. Untersuchungszeitraumes miteinander verglichen:

- a) Basisparameter und Nährstoffe: pH-Wert, TOC, Nt, C/N-Verhältnis, 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 beiden 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

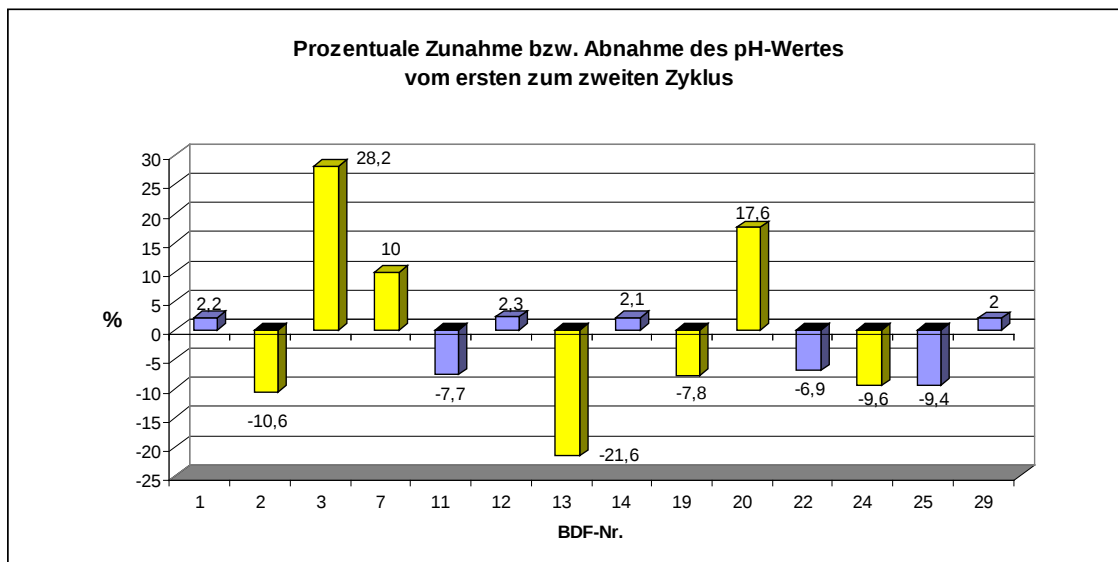


Abb.1 Entwicklung des pH-Wertes ; gelb = statistisch signifikant (t-Test ; α 0,05)

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

Tabelle 1 pH-Wert des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF Nr.	1.Zyklus	2.Zyklus	Bewertung	
			Einstufung KA5 /1/	Einstufung RE Dü BB (2000) /2/
1	4,6	4,7	s4 - s3	B
2	6,6	5,9	s1 - s2	E - D
3	4,6	5,9	s4 - s2	A - C
7	5	5,5	s3 - s2	B - C
11	5,2	4,8	s3	B
12	4,4	4,5	s4	A
13	5,1	4	s3 - s4	B - A
14	4,8	4,9	s3	B
19	6,4	5,9	s1 - s2	E - D
20	5,1	6	s3 - s2	B - C
22	5,8	5,4	s2	C
24	5,2	4,7	s3	B
25	5,3	4,8	s3	B
29	4,9	5	s3	B
MW	5,2	5,1	s2	B
stabw	0,65	0,62		

Die statistisch signifikante Abnahme der pH-Werte des zweiten Zyklus schwankt zwischen 7,8 und 21,6 % der Werte des ersten Zyklus und liegt im Mittel bei 12,4 %. Die statistisch signifikante Zunahme der pH-Werte des zweiten Zyklus schwankt zwischen 10 und 28,2 % der Werte des ersten Zyklus und liegt im Mittel bei 18,6 %. Hinsichtlich der Einstufung nach KA5 /1/ blieben acht Standorte konstant im jeweiligen schwach bis stark sauren Bereich.

Auf sechs Standorten gab es im sehr schwach bis stark sauren Bereich Veränderungen um jeweils eine Stufe. Auf einem Standort (BDF 3) veränderte sich die Einstufung im sauren Bereich um zwei Stufen von stark sauer nach schwach sauer.

Die Bewertung nach der Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ blieb ebenfalls auf acht Standorten konstant. Davon zeigte nur ein Standort den optimalen pH-Wert (C). Auf sechs Standorten war der pH-Wert suboptimal und auf einem deutlich zu sauer.

Weitere fünf Standorte zeigen Veränderungen um eine Gehaltsklasse. Auf einem Standort (BDF 3) zeigte sich eine Veränderung von zwei Stufen von deutlich zu sauer nach optimal.

Als positiv relevant wird die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 3, als negativ relevant die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 13 eingeschätzt. Die Entwicklung des pH-Wertes der BDF 3 ist einerseits statistisch signifikant und andererseits durch den Übergang von der Gehaltsklasse A in die Gehaltsklasse C, optimaler Zustand, gekennzeichnet. Dagegen wird die negative Bewertung der BDF 13 neben der statistischen Signifikanz mit dem Übergang von der Gehaltsklasse B in die ungünstigste Gehaltsklasse A begründet.

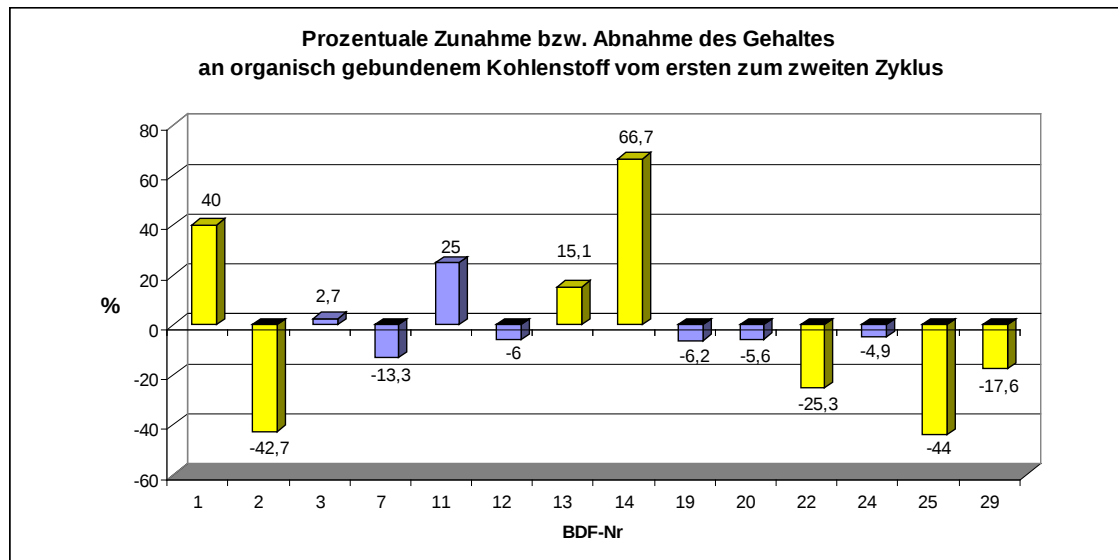
Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 5,2 bzw. 5,1 mittels t-Test ($n=14$; $\alpha 0,05$; p-Wert 0,69) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** der Bodenreaktion im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 1).

Die Einstufung nach KA5 /1/ ergibt für beide Zeiträume den Bereich schwach sauer (s2).

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)



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

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF vier statistisch signifikante Abnahmen und drei statistisch signifikante Zunahmen des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff (Abb.2). Auf den übrigen sieben Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden (Abb.2). Die statistisch signifikante Abnahme des TOC-Gehaltes schwankte zwischen 17,6 und 44 % und lag im Mittel bei 32,4 %. Die statistisch signifikante Zunahme schwankte zwischen 15,1 und 66,7 % und lag im Mittel bei 40,6 %.

Als positiv relevant im Sinne der Humusbilanz der Standorte wird die Zunahme des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff auf den BDF 1 und 14 bewertet. Beide Erhöhungen sind statistisch signifikant, liegen über 25% und ergeben die Einstufung von h2 nach h3 gemäß KA5 /1/. Die starke Zunahme des TOC-Gehaltes der BDF 14 erklärt sich vor allem aus der veränderten Nutzung der Fläche. Während die Fläche im ersten Zyklus als Acker diente, wurde die Fläche während des zweiten Zyklus als Grasland mit zeitweiliger Beweidung genutzt. Als negativ relevant im Sinne der Humusbilanz der Standorte wird die Entwicklung des TOC-Gehaltes auf den BDF 2, 22 und 25 bewertet. Alle drei Werte sind statistisch signifikant und weisen eine Abnahme von mehr als 25% auf.

Tabelle 2 TOC des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	Bewertung	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	Bewertung
Nr.	%TM	% TM	Einstufung KA5 /1/	Nr.	%TM	% TM	Einstufung KA5 /1/
1	1	1,4	h2 - h3	19	0,8	0,75	h2
2	1,1	0,63	h2	20	0,54	0,51	h1
3	0,74	0,76	h2	22	0,83	0,62	h2
7	1,5	1,3	h3	24	0,82	0,86	h2
11	0,44	0,55	h1	25	1	0,56	h2 - h1
12	0,83	0,78	h2	29	1,7	1,4	h3
13	0,86	0,99	h2	MW	0,92	0,89	h2
14	0,78	1,3	h2 - h3	stabw	0,34	0,33	

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

Auf zwei Standorten erhöhte sich der TOC-Gehalt von schwach zu mittel humos. Auf einem Standort führte die Abnahme des TOC-Gehaltes von der Einstufung schwach humos zur Einstufung sehr schwach humos.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 0,92 bzw. 0,89 %TM mittels t-Test ($n=14$; $\alpha 0,05$; p-Wert 0,62) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 2).

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

2.1.3 Gesamt-Stickstoff (Nt)

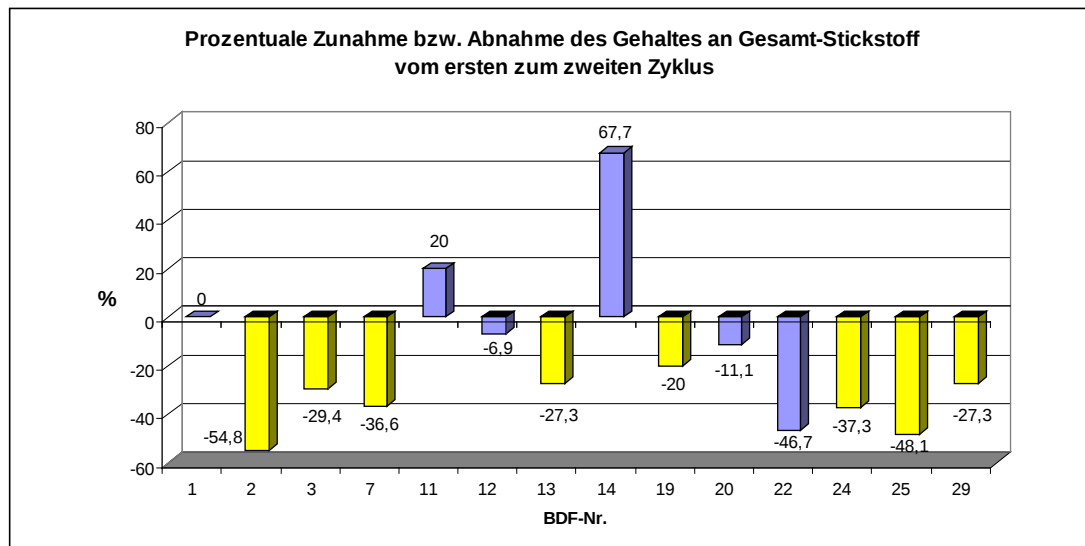


Abb.3 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff (Nt); gelb = statistisch signifikant (t-Test; $\alpha 0,05$)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF acht statistisch signifikante Abnahmen (Abb.3) und keine statistisch signifikante Zunahmen des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff. Auf den übrigen sechs Standorten wa-

ren die Werte nicht statistisch signifikant verschieden. Die statistisch signifikante Abnahme des Nt-Gehaltes schwankte zwischen 20 und 54,8 % und lag im Mittel bei 35,1 %.

Die größte Veränderung fand wie beim TOC-Gehalt mit einer Zunahme von 67,7 % auf der BDF 14 statt. Das Ergebnis war jedoch statistisch nicht signifikant. Der Grund für den Anstieg wird wie beim TOC in der Umnutzung des Standortes von Acker zu Grasland mit zeitweiliger Beweidung gesehen.

Tabelle 3 Nt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	% TM	% TM	lfd.-Nr.	% TM	% TM
1	0,140	0,140	19	0,088	0,070
2	0,155	0,070	20	0,090	0,080
3	0,128	0,090	22	0,113	0,060
7	0,205	0,130	24	0,128	0,080
11	0,050	0,060	25	0,135	0,070
12	0,085	0,080	29	0,193	0,140
13	0,165	0,120	MW	0,13	0,09
14	0,078	0,130	stabw	0,04	0,03

Die Tendenz zu geringeren Gehalten an Gesamt-Stickstoff im zweiten Zyklus gegenüber dem ersten Zyklus wird auch beim Vergleich der Mittelwerte beider Untersuchungszeiträume deutlich.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 0,13 bzw. 0,09 %TM mittels t-Test ($n=14$; $\alpha 0,05$; p-Wert 0,009) zeigt eine **statistisch hoch signifikante Abnahme** des Gehaltes an Gesamt-Stickstoff 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.

In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, dass sich das C/N- Verhältnis des Bodens im Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus von 7,6 auf den für Böden eher typischen Wert von 9,4 erhöht hat. Diese Veränderung stellte sich im t-Test als hoch signifikant dar (siehe auch 2.1.4).

2.1.4 C/N-Verhältnis

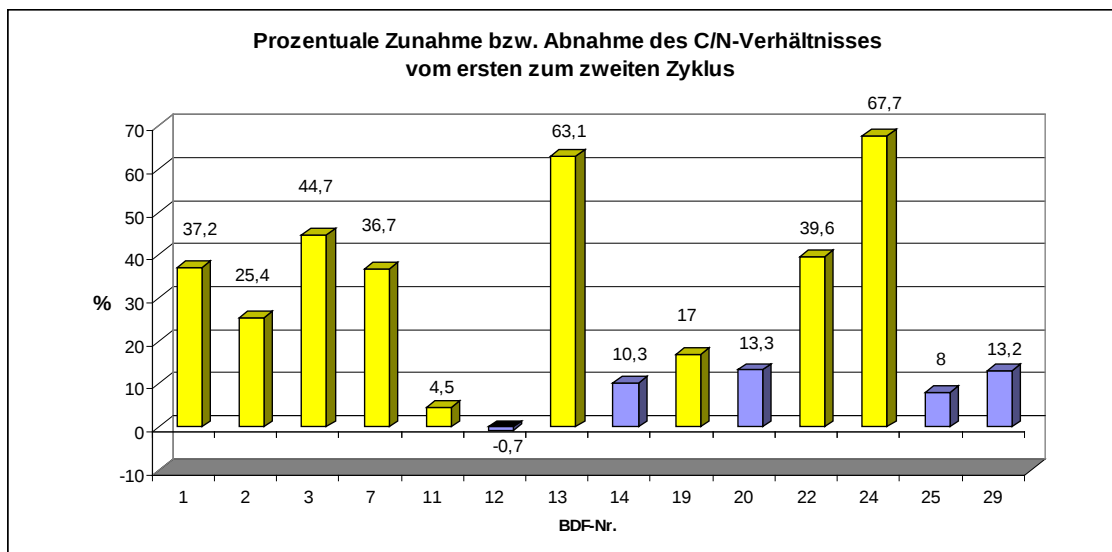


Abb.4 Entwicklung des C/N-Verhältnisses; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF neun signifikante Zunahmen (Abb.4) und keine signifikante Abnahme des C/N-Verhältnisses. Auf den übrigen fünf Standorten waren die Werte nicht signifikant verschieden. Die signifikante Zunahme des C/N-Verhältnisses schwankte zwischen 4,5 und 67,7 % und lag im Mittel bei 37,3 %.

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

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

Die Tendenz zu einem höheren C/N-Verhältnis im zweiten Zyklus gegenüber dem ersten Zyklus wird auch beim Vergleich der Mittelwerte beider Untersuchungszeiträume erkennbar.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 7,6 bzw. 9,4 mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,00012) zeigt eine **statistisch hoch signifikante Zunahme** des C/N-Verhältnisses im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 4).

2.1.5 Gesamt-Magnesium

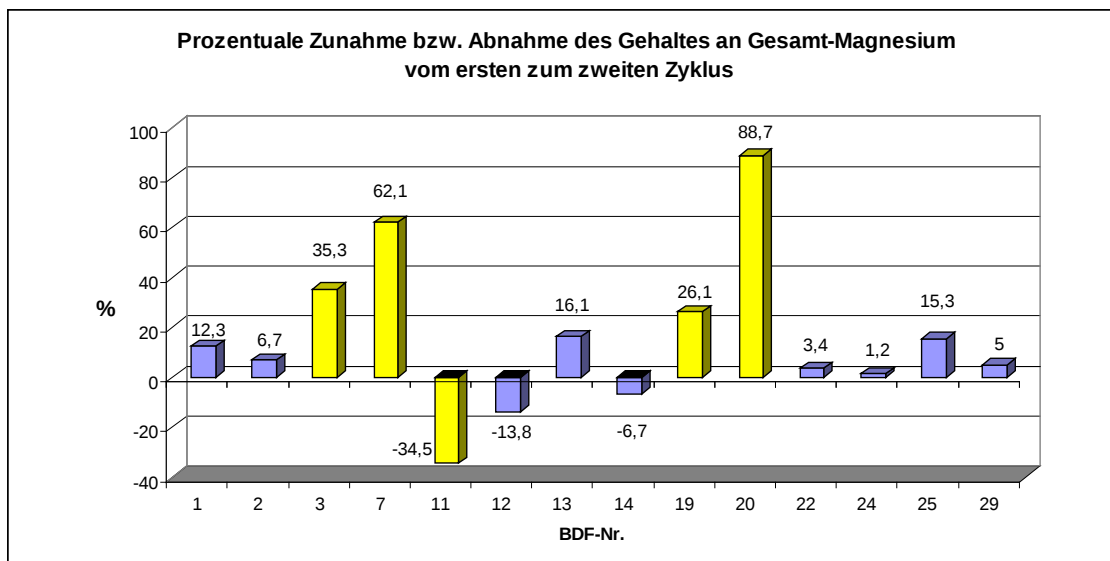


Abb. 5 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Magnesium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF eine statistisch signifikante Abnahme und vier statistisch signifikante Zunahmen des Gehaltes an Gesamt-Magnesium (Abb.5). Auf den übrigen 10 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Die einzige statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an Gesamt-Magnesium lag bei 34,5 %. Die statistisch signifikante Zunahme variierte zwischen 26,1 und 88,7 % in einem recht weiten Bereich und lag im Mittel bei 53,1 %.

Als relevant positiv im Sinne einer potenziellen Verbesserung der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Zunahme des Gesamt-Magnesiumgehaltes auf den BDF 3, 7, 19 und 20 bewertet. Alle Erhöhungen sind statistisch signifikant und liegen über 25%. Als relevant negativ im Sinne einer potenziellen Verschlechterung der Nährstoffversorgung des Standortes wird die Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Magnesium auf der BDF 11 bewertet. Das Ergebnis ist statistisch signifikant und weist eine Abnahme von mehr als 25% auf.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 752 bzw. 804 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,41) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Gesamt-Magnesium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 5).

Der Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus steht unter dem Vorbehalt der Verwendung verschiedener Aufschlussmethoden. Während die Bodenproben des ersten Zyklus mittels Flusssäure/Salpetersäure extrahiert wurden, kam im zweiten Zyklus Königswasser als Extraktionsmittel zum Einsatz. Dieser Umstand ist ebenfalls beim Parameter Gesamt-Phosphor zu beachten (siehe 2.1.6)

Tabelle 5 Gesamt-Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	543	610	19	769	970
2	577	615	20	363	685
3	1020	1380	22	585	605
7	561	910	24	465	470
11	1480	970	25	503	580
12	1450	1250	29	708	743
13	304	353	MW	752	804
14	1200	1120	stabw	385	303

2.1.6 Gesamt-Phosphor

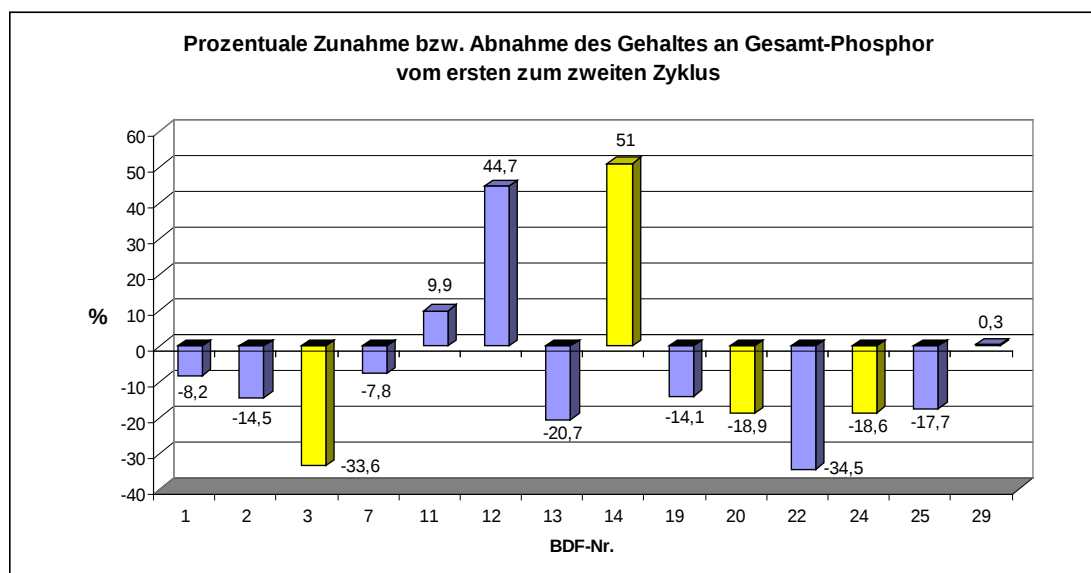


Abb. 6 Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Phosphor; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF drei statistisch signifikante Abnahmen und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Gesamt-Phosphor (Abb.6). Auf den übrigen 10 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Die statistisch signifikante Abnahme variierte zwischen 18,6 und 33,6 % und lag im Mittel bei 23,7 %. Die einzige statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Gesamt-Phosphor fiel mit 51 % recht hoch aus. Hierbei handelte es sich um die Folgen der Umnutzung des Standortes (BDF 14) von Acker zu Grasland mit Beweidung.

Tabelle 6 Gesamt-Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	588	540	19	553	475
2	447	382	20	380	308
3	487	323	22	665	435
7	445	410	24	338	275
11	435	478	25	468	385
12	878	1270	29	641	643
13	435	345	MW	520	504
14	520	785	stabw	139	260

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 520 bzw. 504 mg/kgTM mittels t-Test (n=14; α 0,05; p-Wert 0,07) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Gesamt-Phosphor im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 6).

2.1.7 Magnesium (CaCl_2 -löslich)

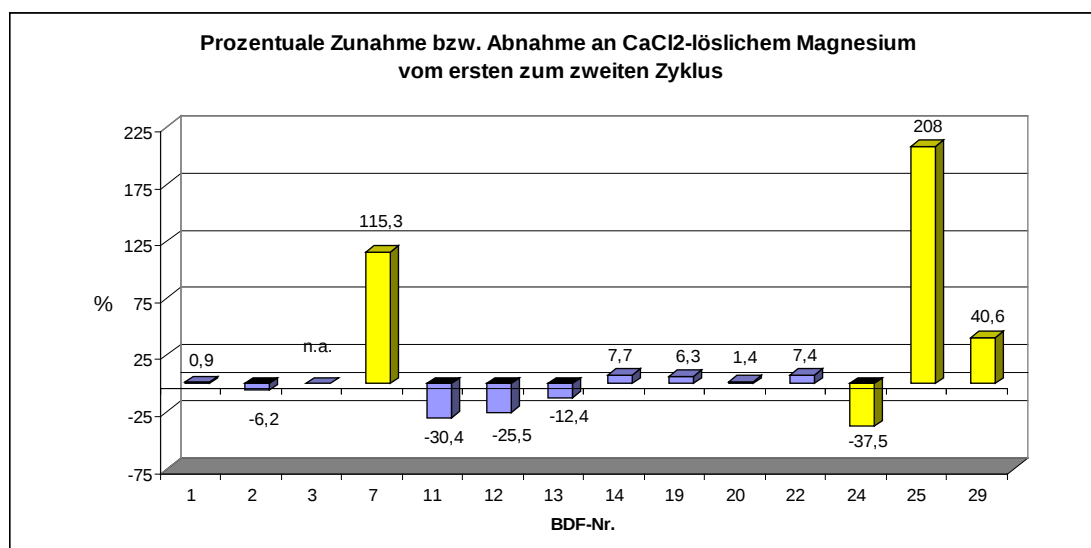


Abb. 7 Entwicklung des Gehaltes an CaCl_2 -löslichem Magnesium; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF eine statistisch signifikante Abnahme (BDF 24) und drei statistisch signifikante Zunahmen (BDF 7, 25 und 29) des Gehaltes an löslichem Magnesium (Abb.7). Auf den übrigen 10 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Die einzige statistisch signifikante Abnahme des Gehaltes an löslichem Magnesium lag bei 37,5 %. Die statistisch signifikante Zunahme variierte zwischen 40,6 und 208 % in einem recht weiten Bereich.

Als positiv relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Zunahme des Gehaltes an löslichem Magnesium auf den BDF 25 und 29 bewertet, da sich beide Standorte gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ um jeweils eine Stufe verbessern. Beide Erhöhungen sind statistisch signifikant und

liegen über 25%. Als praktisch nicht relevant wird die Zunahme auf der BDF 7 bewertet, da sich die Fläche bereits vorher in der Gehaltsklasse C gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/ und somit bereits im optimalen Bereich befand.

Als relevant negativ im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Magnesium auf der BDF 24 bewertet. Das Ergebnis ist statistisch signifikant, weist eine Abnahme von mehr als 25% auf und bedeutet gleichzeitig die Einstufung in die schlechteste Gehaltsklasse (von B nach A) gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 2,9 bzw. 3,4 mg/100gTM mittels t-Test ($n=13$; $\alpha 0,05$; p-Wert 0,31) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an löslichem Magnesium im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 7).

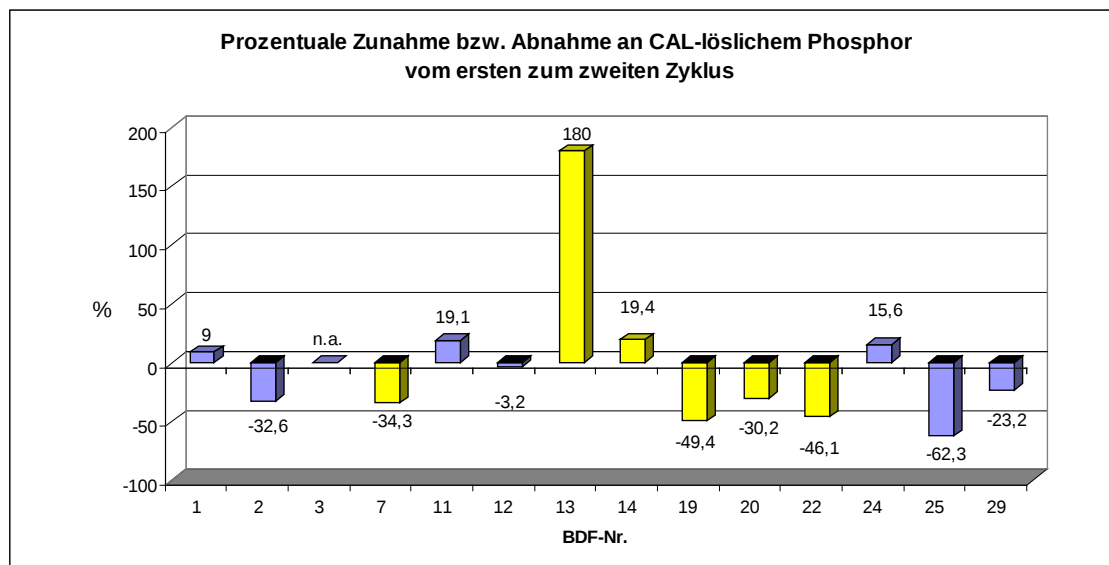
Die Mittelwerte zeigen das Potenzial einer Ertragssteigerung durch eine gezielte Düngungsmaßnahme an. Dabei sollte von der Gehaltsklasse B ausgehend der optimale Bereich der Gehaltsklasse C erreicht werden.

Tabelle 7 CaCl₂-lösliches Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

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

* bei der Mittelwertberechnung nicht berücksichtigt

2.1.8 Phosphor (CAL-löslich)



Projekt „Boden-Dauerbeobachtung im Land Brandenburg“
Dynamik von Basisparametern, Nährstoffgehalten, Arsen- und Schwermetallgehalten sowie Radionukliden von Sandböden im zeitlichen Verlauf – Teil 1 Untersuchungszeitraum 1990 – 2009
LUGV Brandenburg, Referat Altlasten, Bodenschutz

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

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF vier statistisch signifikante Abnahmen (BDF 7, 19, 20, 22) und zwei statistisch signifikante Zunahmen (BDF 13, 14) des Gehaltes an löslichem Phosphor (Abb.8). Auf den übrigen acht Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden. Die statistisch signifikante Abnahme variierte zwischen 30,2 und 49,4 %. Die statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an löslichem Phosphor lag zwischen 19,4 % - 180 %.

Als negativ relevant im Sinne der Nährstoffversorgung der Standorte wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Phosphor auf den BDF 19, 20 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 suboptimale Gehaltsklasse B gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

Als positiv relevant im Sinne der Nährstoffversorgung des Standortes wird die Entwicklung des Gehaltes an löslichem Phosphor auf der BDF 13 bewertet. Das Ergebnis ist statistisch signifikant, weist eine Zunahme von mehr als 25% auf und bedeutet gleichzeitig die Heraufstufung von der suboptimalen Gehaltsklasse B in die Gehaltsklasse D (hoher Nährstoffgehalt) gemäß Rahmenempfehlung zur Düngung im Land Brandenburg (2000) /2/.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 7,3 bzw. 6,6 mg/100gTM mittels t-Test ($n=13$; α 0,05; p-Wert 0,57) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an löslichem Phosphor im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 8).

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

Tabelle 8 CAL-löslicher Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	Einstufung RE Dü BB 2000 /2/
Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM		Nr.	mg/100gTM	mg/100gTM	
1	7,8	8,5	C - D	19	8,4	4,3	D - B
2	9,1	6,1	D - C	20	6,5	4,5	C - B
3	n.a.	4,3*	B*	22	10,3	5,6	D - C
7	8,6	5,7	D - C	24	2,3	2,6	A - A
11	4,5	5,3	B - B	25	3,5	5,6	B - C
12	15,5	15,0	E - E	29	8,4	6,5	D - C
13	4,0	11,2	B - D	MW	7,3	6,6	C
14	6,5	7,7	C - C	stabw	3,5	3,2	

* bei der Mittelwertberechnung nicht berücksichtigt

2.2 Arsen und Schwermetalle

2.2.1 Arsen

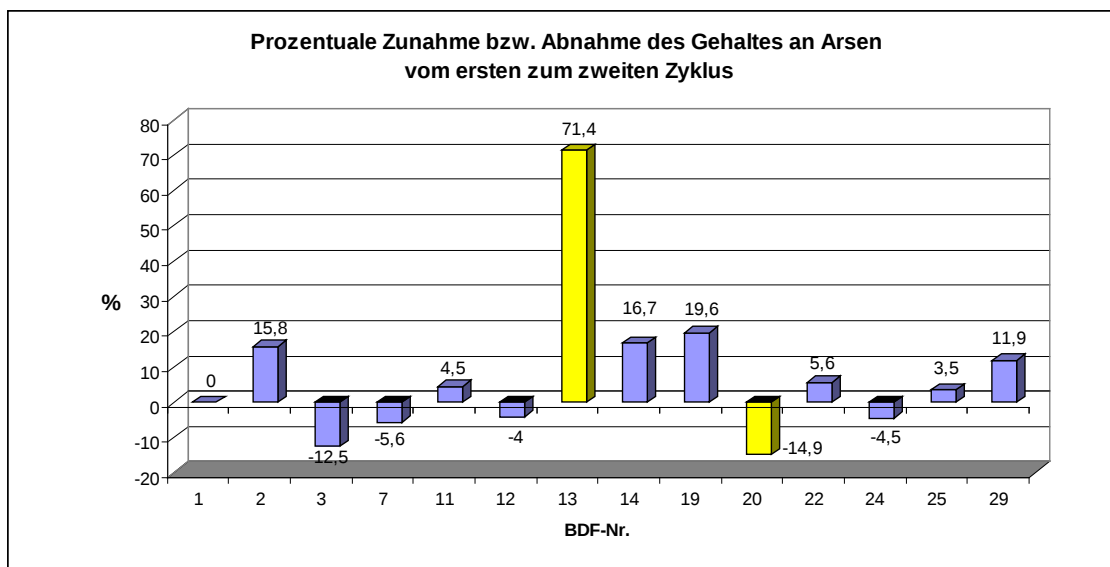


Abb. 9 Entwicklung des Gehaltes an Arsen (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF eine statistisch signifikante Abnahme und eine statistisch signifikante Zunahme des Gehaltes an Arsen (Abb.9). Auf den übrigen 12 Standorten waren die Werte statistisch nicht signifikant verschieden.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von jeweils 2,2 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,45) zeigt verständlicherweise **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Arsen im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 9).

Alle ermittelten Werte befinden sich unterhalb des aktuellen **Hintergrundwertes für das Land Brandenburg** (Median, Acker, Sande) von 3 mg/kgTM /5/.

Tabelle 9 Arsengehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	2,5	2,5	19	2,3	2,8
2	1,9	2,2	20	2,9	2,4
3	1,6	1,4	22	1,8	1,9
7	1,8	1,7	24	2,8	2,6
11	2,2	2,3	25	2,2	2,2
12	2,5	2,4	29	2,7	2,4
13	1,4	2,4	MW	2,2	2,2
14	1,8	2,1	stabw	0,46	0,36

2.2.2 Blei

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF keine statistisch signifikante Abnahme bzw. Zunahme des Gehaltes an Blei. Die auf 11 der 14 Flächen ermittelten Veränderungen im Bereich von 17,2 % Zunahme bzw. 23,3 % Abnahme (Abb. 10) stellten sich als statistisch nicht signifikant heraus.

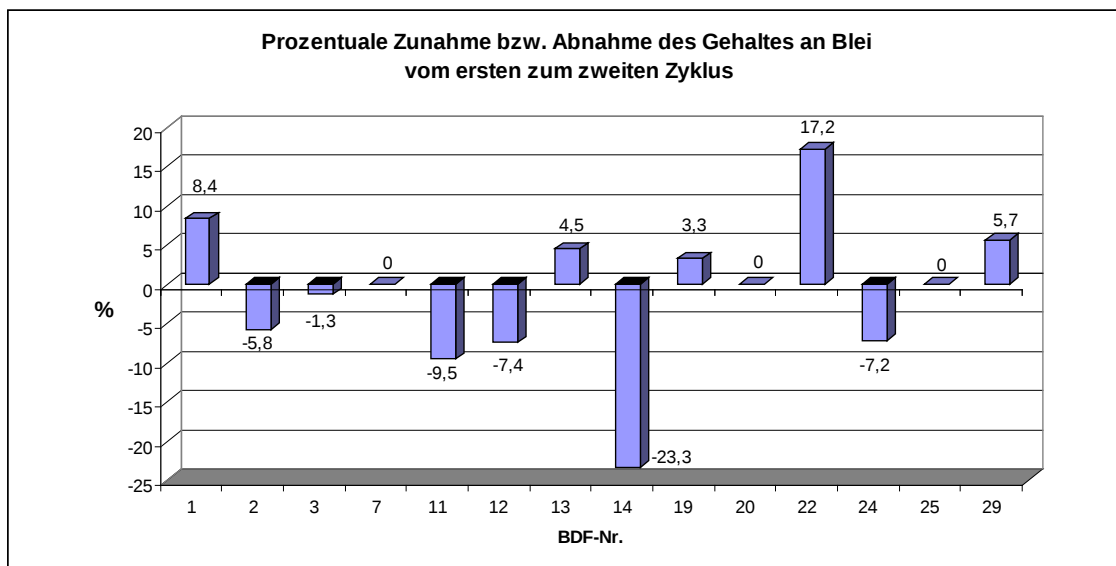


Abb. 10 Entwicklung des Gehaltes an Blei (KWA)

Tabelle 10 Bleigehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	15,5	16,8	19	15	15,5
2	8,6	8,1	20	14,8	14,8
3	15,5	15,3	22	10,5	12,3
7	11,3	11,3	24	17,3	18,5
11	11,1	10,0	25	14,0	14,0
12	20,3	18,8	29	17,5	16,5
13	10,1	10,5	MW	14,2	14,0
14	18,3	14,0	stabw	3,5	3,2

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 14,2 bzw. 14,0 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,58) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Arsen im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 10).

Die Mittelwerte beider Zyklen 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 Werte der einzelnen Flächen liegt zwischen 20,3 (BDF 2) und 50,8 % (BDF 12).

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 40 mg/kgTM /3/ durch die Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus liegt bei 35,5 bzw. 35 %.

2.2.3 Cadmium

Ein statistischer Vergleich der Cadmiumwerte des ersten und zweiten Zyklus war nur für zwei Standorte (BDF 3 und 24) möglich, da die meisten Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Für die BDF 3 konnte eine statistisch signifikante Abnahme des Cadmiumgehaltes im zeitlichen Verlauf mittels t-Test nachgewiesen werden. Die Veränderung auf der BDF 24 war statistisch nicht signifikant.

Als Problem bei der Auswertung der Daten stellten sich die bei der Analyse vom Labor verwendeten unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen heraus (0,06; 0,2; 0,25 mg/kgTM). Im Ergebnis überschreitet keiner der untersuchten Standorte sowohl im ersten, als auch im zweiten Zyklus den Wert von 0,25 mg/kgTM (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 Cadmiumgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	0,12	<0,06	19	< 0,2	< 0,2
2	0,09	<0,06	20	< 0,2	< 0,2
3	0,15	0,07	22	< 0,2	< 0,2
7	< 0,25	< 0,25	24	0,05	0,07
11	< 0,25	< 0,25	25	< 0,2	< 0,2
12	< 0,25	< 0,25	29	< 0,2	< 0,2
13	< 0,25	< 0,25	MW	keine Angabe	keine Angabe
14	< 0,25	< 0,25	stabw		

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

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 0,4 mg/kgTM /3/ durch die „Mittelwerte“ des ersten und zweiten Zyklus liegt bei Verwendung der Bestimmungsgrenze von 0,25 mg/kgTM maximal bei 62,5 %, ist aber wahrscheinlich deutlich niedriger anzusetzen, wie die Ergebnisse der BDF 1, 2, 3 und 24 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 etwa 25 %.

2.2.4 Chrom

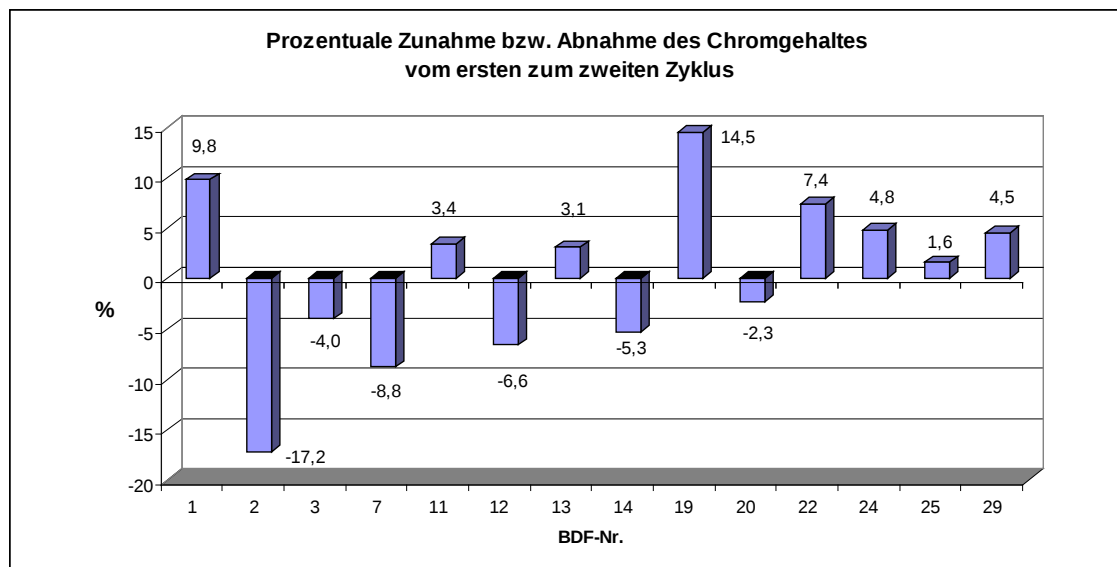


Abb. 11 Entwicklung des Gehaltes an Chrom (KWA)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergab sich für die einzelnen BDF keine statistisch signifikante Abnahme bzw. Zunahme des Gehaltes an Chrom. Die ermittelten Veränderungen im Bereich von 14,5 % Zunahme bzw. 17,2 % Abnahme (Abb. 11) stellten sich als statistisch nicht signifikant heraus.

Tabelle 12 Chromgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

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

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 7,8 bzw. 7,7 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,61) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Chrom im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 12).

Die Mittelwerte beider Zyklen 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 Werte der einzelnen Flächen liegt zwischen 13,7 (BDF 13) und 49,7 % (BDF 3).

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 30 mg/kgTM /3/ durch die Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus liegt bei 26 bzw. 25,7 %.

2.2.5 Kupfer

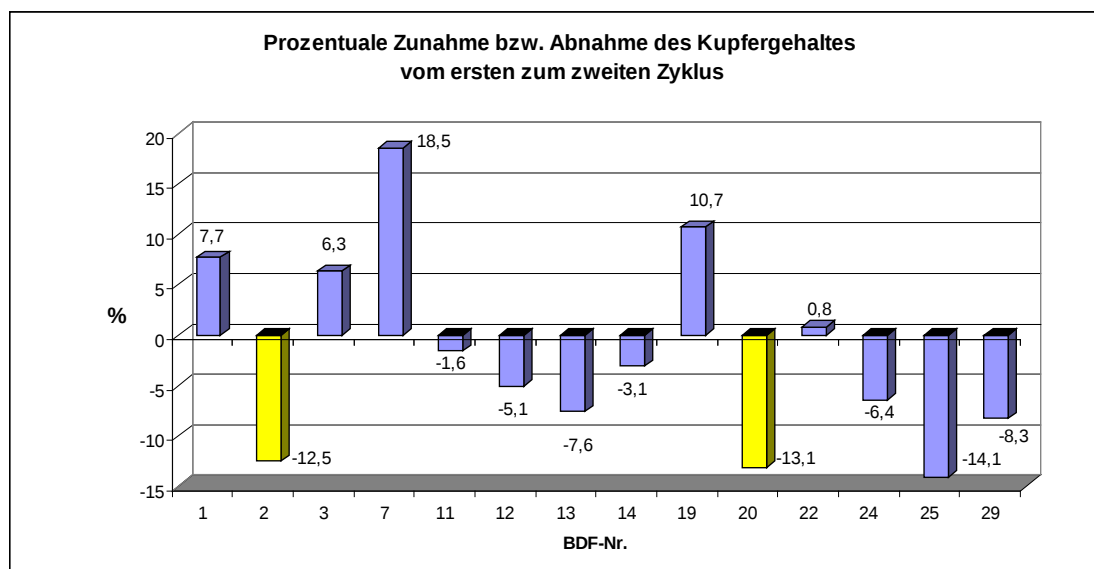


Abb. 12 Entwicklung des Gehaltes an Kupfer (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergaben sich für die einzelnen BDF zwei statistisch signifikante Abnahmen von 12,5 bzw. 13,1 % (Abb.12 gelbe Säulen) auf den BDF 2 und 20. Die Veränderungen auf den übrigen 12 BDF waren statistisch nicht signifikant.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 4,1 bzw. 4,0 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,51) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Kupfer im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 13).

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

Tabelle 13 Kupfergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

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

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 20 mg/kgTM /3/ durch die Werte der einzelnen Flächen liegt zwischen 9 (BDF 13) und 33,5 % (BDF 3).

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 20 mg/kgTM /3/ durch die Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus liegt nahezu unverändert bei 20,5 bzw. 20 %.

2.2.6 Nickel

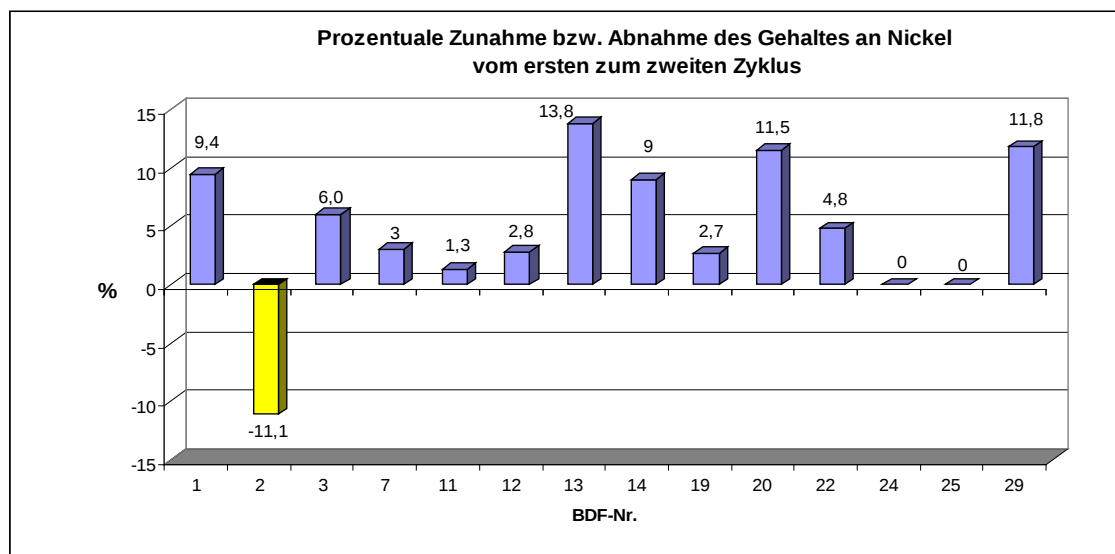


Abb. 13 Entwicklung des Gehaltes an Nickel (KWA); gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergab sich für die einzelnen BDF eine statistisch signifikante Abnahme von 11,1 % (Abb.13) auf der BDF 2. Auf den BDF 24 und 25 waren die Werte des ersten und zweiten Zyklus identisch. Die Veränderungen auf den übrigen 11 BDF waren statistisch nicht signifikant.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 3,4 bzw. 3,3 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,25) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Nickel im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 14).

Die Mittelwerte beider Zyklen liegen leicht 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 Werte der einzelnen Flächen liegt zwischen 4,7 (BDF 13) und 35,3 % (BDF 3).

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 15 mg/kgTM /3/ durch die Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus liegt nahezu unverändert bei 22,3 bzw. 21,8 %.

Tabelle 14 Nickelgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM

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

2.2.7 Quecksilber

Ein statistischer Vergleich der Quecksilberwerte des ersten und zweiten Zyklus war nur für einen Standort (BDF 7) möglich, da an den anderen Standorten mindestens ein Wert von beiden Zyklen unterhalb der Bestimmungsgrenze lag. Für die BDF 7 konnte keine statistisch signifikante Veränderung des Quecksilbergehaltes im zeitlichen Verlauf mittels t-Test nachgewiesen werden. Im ersten Zyklus lagen sechs der untersuchten Standorte unterhalb der Bestimmungsgrenze von 50 µg/kgTM und die übrigen Gehalte leicht darüber (siehe Tabelle 15). Im zweiten Zyklus lagen dagegen 13 Standorte unterhalb der Bestimmungsgrenze und nur einer leicht darüber.

Tabelle 15 Quecksilbergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	µg/kgTM	µg/kgTM	Nr.	µg/kgTM	µg/kgTM
1	<50	<50	19	53,0	<50
2	60,0	<50	20	<50	<50
3	<50	<50	22	73,0	<50
7	82,5	77,5	24	50,0	< 50
11	<50	<50	25	70,0	< 50
12	<50	<50	29	70,0	< 50
13	60,0	<50	MW	keine Angabe	keine Angabe
14	<50	<50	stabw		

Die ermittelten Werte entsprechen überwiegend dem **Hintergrundwert für das Land Brandenburg** (Median, Acker, Sande) von < 50 µg/kgTM bzw. liegen leicht darüber /5/.

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 100 µg/kgTM /3/ durch die „Mittelwerte“ des ersten und zweiten Zyklus liegt bei Verwendung der Bestimmungsgrenze von 50 µg/kgTM zwischen 50 und maximal 82,5 %. Durch die Herabsetzung der Bestimmungsgrenze seitens der Laboranalyse ab dem dritten Zyklus ist eine genauere Beurteilung und in der Tendenz eine geringere Auslastung der Vorsorgewerte absehbar.

2.2.8 Zink

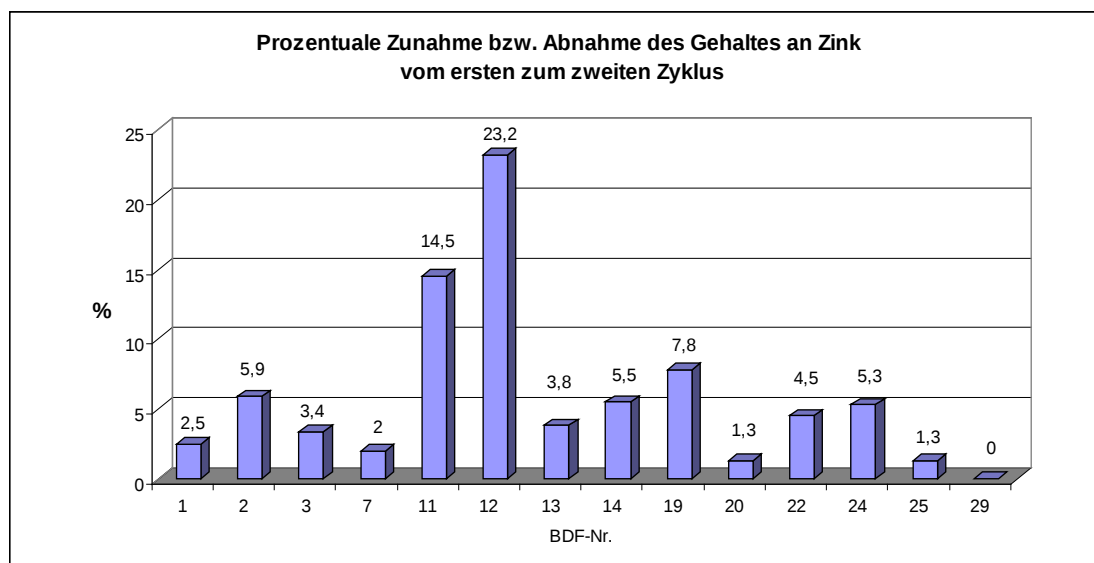


Abb. 14 Entwicklung des Gehaltes an Zink (KWA)

Im Vergleich der Werte des ersten und zweiten Zyklus ergab sich für die einzelnen BDF keine statistisch signifikante Abnahme bzw. Zunahme des Gehaltes an Zink. Die ermittelten Veränderungen im Bereich von 1,3 bis 23,2 % Zunahme (Abb. 14) stellten sich als statistisch nicht signifikant heraus.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 24,7 bzw. 24,4 mg/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,71) zeigt **keine statistisch signifikante Veränderung** des Gehaltes an Zink im zeitlichen Verlauf (siehe Tabelle 16).

Die Mittelwerte beider Zyklen 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 Werte der einzelnen Flächen liegt zwischen 22,2 (BDF 13) und 77,5 % (BDF 12).

Die Auslastung des **Vorsorgewertes der BBodSchV** für Sandböden von 60 mg/kgTM /3/ durch die Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus liegt nahezu unverändert bei 41,2 bzw. 40,7 %.

Tabelle 16 Zinkgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM	Nr.	mg/kgTM	mg/kgTM
1	31,8	31	19	25,5	27,5
2	17	16	20	19,8	19,5
3	29,3	28,3	22	19,6	20,5
7	24,5	25	24	18,8	19,8
11	19,0	21,8	25	19,0	18,8
12	46,5	35,8	29	26,8	26,8
13	13,3	13,8	MW	24,7	24,4
14	34,8	36,7	stabw	8,7	7,0

2.3 Radionuklide

2.3.1 Cäsium-134

Im ersten Zyklus konnte der Wert für Cs-134 auf allen untersuchten Standorten quantitativ erfasst werden und lag im Mittel bereits bei einem sehr niedrigen Wert von 0,48 Bq/kgTM. Das 1986 beim Atomreaktorunfall in Tschernobyl freigesetzte Cs-134 weist eine Halbwertszeit von zwei Jahren auf und lag folgerichtig auf allen Standorten im zweiten Zyklus unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,2 Bq/kgTM.

2.3.2 Cäsium-137

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. Die Abnahme gegenüber dem ersten Zyklus variierte zwischen 18,5 % auf der BDF 1 und 42,1 % auf der BDF 22 (Abb. 15). Die Abnahme von 19,5 % auf der BDF 29 erwies sich als statistisch nicht signifikant. Von der BDF 20 lagen keine Werte vom ersten Zyklus vor. Von den zwölf statistisch signifikanten Abnahmen werden elf als positiv relevant eingeschätzt, da die Abnahme im Bereich > 25 % liegt und das Potenzial für eine schädliche Einwirkung auf den Boden abnimmt.

Der **Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus** von 14,1 bzw. 9,4 Bq/kgTM mittels t-Test ($n=14$; α 0,05; p-Wert 0,0000006) zeigt **eine statistisch hoch signifikante Abnahme** an Cäsium-137 im zeitlichen Verlauf von 33,7 % (siehe Tabelle 17) und wird im Sinne einer geringeren Schädigung auf den Boden als praktisch positiv relevant bewertet.

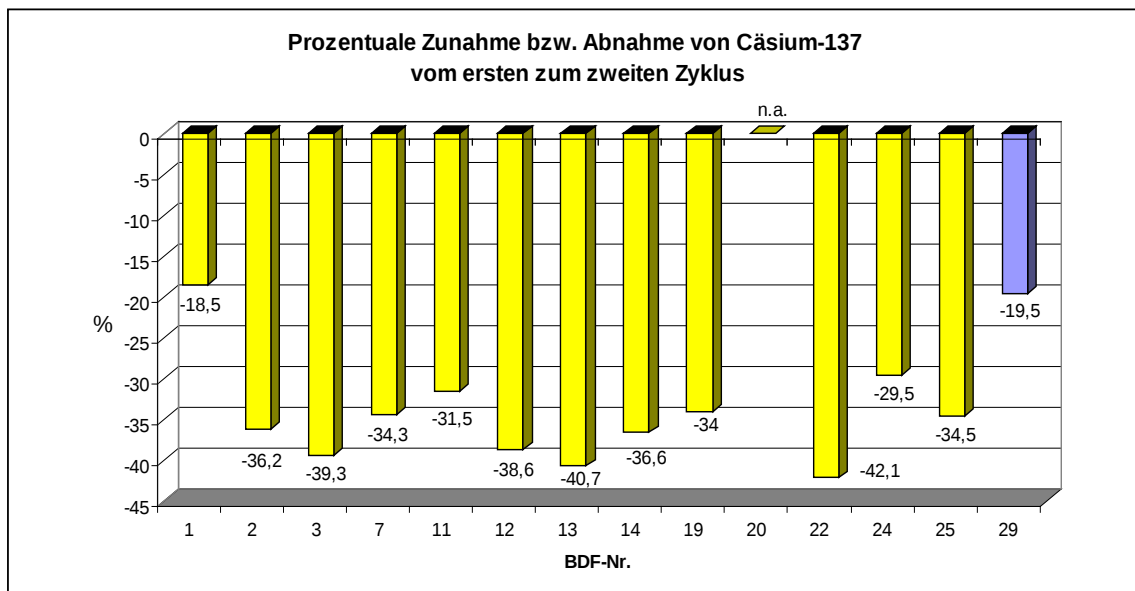


Abb. 15 Entwicklung des Gehaltes an Cäsium-137; gelb = statistisch signifikant (t-Test; α 0,05)

Tabelle 17 Cäsium-137 des Oberbodens im zeitlichen Verlauf

BDF	1.Zyklus	2.Zyklus	BDF	1.Zyklus	2.Zyklus
Nr.	Bq/kgTM	Bq/kgTM	Nr.	Bq/kgTM	Bq/kgTM
1	22,7	18,5	19	15	9,9
2	18,5	11,8	20	n.a.	9,3
3	23,9	14,5	22	18,3	10,6
7	10,2	6,7	24	11,2	7,9
11	13	8,9	25	8,7	5,7
12	12,7	7,8	29	7,7	6,2
13	8,1	4,8	MW	14,1	9,4
14	13,1	8,3	stabw	5,3	3,7

3. Zusammenfassung

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

Insgesamt konnten für 15 Parameter 207 statistische Vergleiche der Werte des ersten und zweiten Zyklus für die einzelnen BDF vorgenommen werden. Im Ergebnis stellten sich davon 67 (32,4 %) als statistisch signifikante und 44 (21,4 %) darüber hinaus als positiv bzw. negativ praktisch relevante Veränderungen heraus.

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: C/N-Verhältnis 9 > Nt 8 > pH-Wert+TOC 7 > P (CAL) 6 > Mg (gesamt) 5 > P (gesamt) + Mg (CaCl₂) 4.

Während der pH-Wert und der TOC-Gehalt sowohl statistisch signifikante Zunahmen als auch Abnahmen relativ gleichmäßig verteilt aufweisen, zeigt sich beim Nt-Gehalt ein deutlicher Trend zur Abnahme. Aus letzterem resultiert die Tendenz zu einem weiteren C/N-Verhältnis, die auf neun BDF nachgewiesen werden konnte.

Die wenigsten statistisch signifikanten Veränderungen in dieser Parametergruppe konnten für den Gehalt an Magnesium (CaCl₂) und Gesamt-Phosphor ermittelt werden (Tabelle 18).

Tabelle 18 Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom ersten zum zweiten Zyklus – Vergleich der einzelnen BDF (n=14)

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

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

Neben der statistischen Signifikanz stellt sich die Frage nach der **praktischen Relevanz** (Bewertungskriterien siehe Anhang Tabelle A-F) der ermittelten Veränderungen. Von den sieben statistisch signifikanten Veränderungen des **pH-Wertes** werden zwei als praktisch relevant, davon eine als positiv und eine als negativ relevant eingeschätzt. Auf der BDF 3 wurde eine Zunahme des pH-Wertes um 28,2 % von 4,6 auf 5,9 ermittelt. Das bedeutet gleichzeitig eine Verbesserung der Einstufung gemäß RE Düngung BB (2000) /2/ von deutlich zu sauer (Gehaltsklasse A) zu einer optimalen Bodenreaktion (Gehaltsklasse C).

Dagegen zeigte sich auf der BDF 13 eine Abnahme des pH-Wertes um 21,6 % von 5,1 auf 4. Dadurch wird der gemäß RE Düngung BB (2000) /2/ bereits im ersten Zyklus vorliegende suboptimale Zustand (Gehaltsklasse B) der Fläche in den Bereich deutlich zu sauer (Gehaltsklasse A) verschlechtert.

Von den sieben statistisch signifikanten Veränderungen des **TOC-Gehaltes** werden fünf als praktisch relevant, davon zwei Zunahmen als positiv relevant und drei Abnahmen als negativ relevant im Sinne einer optimalen Humusversorgung der Standorte, eingeschätzt. Dabei handelt es sich um statistisch signifikante Veränderungen des TOC-Gehaltes in der Größenordnung von > 25 %.

Von den acht statistisch signifikanten Abnahmen des **Nt-Gehaltes** werden sieben als 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 neun statistisch signifikanten Zunahmen des **C/N-Verhältnisses** werden sieben als praktisch positiv relevant eingeschätzt, da hier eine Normalisierung von zu niedrigen Werten in den Bereich um den Wert 10 zu beobachten ist.

Die Bewertung der Ergebnisse für Gesamt-Magnesium stehen unter dem Vorbehalt der Verwendung verschiedener Aufschlussverfahren im ersten und zweiten Zyklus (siehe 2.1.5)

Alle vier statistisch signifikanten Zunahmen des **Mg (gesamt) – Gehaltes** liegen im Bereich > 25 % und werden als positiv relevant in Sinne einer potenziell verbesserten Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen eingeschätzt. Eine statistisch signifikante Abnahme des **Mg (gesamt) – Gehaltes** liegt im Bereich > 25 % und wird als negativ relevant in Sinne einer potenziell schlechteren Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen eingeschätzt. Entscheidend für die optimale Nährstoffversorgung ist letztlich der Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium.

Von den vier statistisch signifikanten Veränderungen des **Mg (CaCl₂) - Gehaltes** werden zwei als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich jeweils um eine Zunahme 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 Bewertung der Ergebnisse für Gesamt-Phosphor stehen unter dem Vorbehalt der Verwendung verschiedener Aufschlussverfahren im ersten und zweiten Zyklus (siehe 2.1.5)

Von den vier statistisch signifikanten Veränderungen des **P (gesamt) - Gehaltes** werden zwei als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich jeweils um eine Zunahme und eine Abnahme im Bereich > 25 %, die als positiv relevant bzw. negativ relevant im Sinne einer potenziell besseren bzw. schlechteren Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bewertet werden. Auch hier gilt wie beim Magnesium, dass der pflanzenverfügbare Anteil (P(CAL))entscheidend für die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen ist.

Von den sechs statistisch signifikanten Veränderungen des **P (CAL) - Gehaltes** werden drei als praktisch relevant eingeschätzt. Dabei handelt es sich jeweils um eine Zunahme und zwei Abnahmen im Bereich > 25 %, die als positiv relevant bzw. negativ relevant im Sinne einer optimalen bzw. suboptimalen Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bewertet werden.

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

Für die Elemente **Pb, Cr und Zn** konnten auf keiner BDF statistisch signifikante Veränderungen festgestellt werden. Für das Element **As** wurde auf jeweils einer Fläche eine statistisch signifikante Zunahme bzw. Abnahme ermittelt. Die Elemente **Cu und Ni** zeigten auf zwei bzw. einer BDF eine statistisch signifikante Abnahme.

Von den fünf statistisch signifikanten Veränderungen wird keine als praktisch relevant eingeschätzt, da sich alle Werte nach wie vor im Bereich der Hintergrundwerte des Landes Brandenburg /5/ befinden und mit einer Ausnahme (BDF 13; Zunahme As: 71,4 %) Veränderungen von < 25 % aufweisen.

Die genaue Erfassung der Gehalte an **Cd und Hg** 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 beim **Cs-137** von zwölf statistisch signifikanten Abnahmen elf als positiv relevant eingeschätzt, da die Abnahme im Bereich > 25 % liegt und das Potenzial für eine schädliche Einwirkung auf den Boden abnimmt.

3.2 Parameterabhängiger Vergleich der Mittelwerte des ersten und zweiten Zyklus

Die Mittelwerte von 15 Parametern des ersten und zweiten 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 12 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, 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 ersten zum zweiten Zyklus von 31,8 % 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 Normalisierung des C/N-Verhältnisses des Bodens von 7,6 auf 9,4 einher. Auch diese Veränderung stellte sich als statistisch hoch signifikant dar.

Tabelle 19 Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom ersten zum zweiten Zyklus – Vergleich der Mittelwerte (t-Test; n=13/14; α 0,05)

Parameter	Entwicklung der Werte vom ersten zum zweiten Zyklus (n=14)		
Basisparameter Nährstoffe	Statistisch signifikant	Stat. signifikante Zunahme / Relevanz	Stat. signifikante Abnahme / Relevanz
pH-Wert	nein; p-Wert 0,69	nein	nein
TOC	nein; p-Wert 0,62	nein	nein
Nt	ja	nein	ja; p-Wert 0,009 / ja
C/N-Verhältnis	ja	ja; p-Wert 0,00012 / ja	nein
Mg (gesamt)	nein; p-Wert 0,41	nein	nein
Mg (CaCl ₂)	nein; p-Wert 0,31	nein	nein
P (gesamt)	nein; p-Wert 0,07	nein	nein
P (CAL)	nein; p-Wert 0,57	nein	nein
Arsen+ Schwermetalle			
As	nein; p-Wert 0,45	nein	nein
Pb	nein; p-Wert 0,58	nein	nein
Cd	k.A.*	k.A.	k.A.
Cr	nein; p-Wert 0,61	nein	nein
Cu	nein; p-Wert 0,51	nein	nein
Ni	nein; p-Wert 0,25	nein	nein
Hg	k.A.	k.A.	k.A.
Zn	nein; p-Wert 0,71	nein	nein
Radionuklide			
Cs-134	k.A.	k.A.	k.A.
Cs-137	ja	nein	ja; p-Wert 0,0000006 / ja

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

Für Cäsium-137 wurde eine statistisch hochsignifikante Abnahme vom ersten zum zweiten Zyklus von 33,3 % 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.

4. Ausblick

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse stellen entsprechend des Projektfortschrittes die Entwicklung vom ersten Untersuchungszeitraum (1990 – 1996) zum zweiten Untersuchungszeitraum (1999 – 2009) dar.

Eine Fortschreibung der Beurteilung der weiteren Entwicklung der Bodeneigenschaften ist nach Vorliegen der Daten des dritten Untersuchungszeitraumes (2010 – 2016) geplant.

5. Literatur

- /1/ **AG BODEN (2005):** Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. berb. 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-Acetate-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-Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 6	Gesamt-Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 7	CaCl ₂ -lösliches Magnesium des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 8	CAL-löslicher Phosphor des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 9	Arsengehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 10	Bleigehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 11	Cadmiumgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 12	Chromgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 13	Kupfergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 14	Nickelgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 15	Quecksilbergehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 16	Zinkgehalt des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 17	Cäsium-137 des Oberbodens im zeitlichen Verlauf
Tabelle 18	Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom ersten zum zweiten Zyklus – Vergleich der einzelnen BDF (n=14)
Tabelle 19	Statistische Signifikanz und praktische Relevanz der Entwicklungen auf den BDF vom ersten zum zweiten Zyklus – Vergleich der Mittelwerte (t-Test; n=13/14; 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-Magnesium
Abb.6	Entwicklung des Gehaltes an Gesamt-Phosphor
Abb.7	Entwicklung des Gehaltes an CaCl_2 -löslichem Magnesium
Abb.8	Entwicklung des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor
Abb.9	Entwicklung des Gehaltes an Arsen (KWA)
Abb.10	Entwicklung des Gehaltes an Blei (KWA)
Abb.11	Entwicklung des Gehaltes an Chrom (KWA)
Abb.12	Entwicklung des Gehaltes an Kupfer (KWA)
Abb.13	Entwicklung des Gehaltes an Nickel (KWA)
Abb.14	Entwicklung des Gehaltes an Zink (KWA)
Abb.15	Entwicklung des Gehaltes an Cäsium-137

Anhang

1. Bewertung der praktischen Relevanz von Veränderungen der Bodeneigenschaften

Tabelle A Praktische Relevanz von Veränderungen – pH-Wert

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen		
pH-Wert	t-Test (alpha 0,05)		
	nicht signifikant	signifikant	
	nein	< 25 %	>= 25 %
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	ja
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	negativ relevant
		RE Dü BB (2000) Wechsel der Gehalts- klasse von A oder B nach C oder D	RE Dü BB (2000) Wechsel der Gehaltsklas- se von C oder höher nach B oder A

Tabelle B Praktische Relevanz von Veränderungen – Organisch gebundener Kohlenstoff

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen		
TOC	t-Test (alpha 0,05)		
	nicht signifikant	signifikant	
	nein	< 25 %	>= 25 %
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	ja
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	negativ relevant
		Zunahme; Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch optimalen Humusgehalt; kann verbunden sein mit Höherstufung nach KA5	Abnahme; Einschränkung der Bodenfruchtbarkeit durch suboptimalen Hu- musgehalt; kann verbunden sein mit Tieferstufung nach KA5

Tabelle C Praktische Relevanz von Veränderungen – Gesamtstickstoff

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen		
Nt	t-Test (alpha 0,05)		
	nicht signifikant	signifikant	
	nein	< 25 %	>= 25 %
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	ja
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	negativ relevant
		a) Abnahme bei N- Übersorgung; Verhinderung einer N- Übersorgung und einer damit verbundenen Verminderung der N- Emissionen ins Grund- und Oberflächenwasser sowie in die Luft b) Zunahme bei N- Unterversorgung; Erhö- hung der Bodenfrucht- barkeit durch optimalen Humusgehalt	a) Zunahme bei N- Übersorgung; Gefahr einer N- Übersorgung verbun- den mit N-Emissionen ins Grund- und Oberflächen- wasser sowie in die Luft b) Abnahme bei N- Unterversorgung; Ein- schränkung der Boden- fruchtbarkeit durch subop- timalen Humusgehalt

Tabelle D Praktische Relevanz von Veränderungen – Nährstoffgesamtgehalte

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen			
Mg, P (KWA)	t-Test (alpha 0,05)			
	nicht signifikant	signifikant		
	nein	< 25 %	>= 25 %	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	ja	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant	negativ relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	Zunahme; potenzielle Verbesserung der Nährstoffversorgung	Abnahme; potenzielle Verschlechterung der Nährstoffversorgung

Tabelle E Praktische Relevanz von Veränderungen – Lösliche Nährstoffe

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen			
Mg (CaCl ₂), P (CAL)	t-Test (alpha 0,05)			
	nicht signifikant	signifikant		
	nein	< 25 %	>= 25 %	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	ja	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant	negativ relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	Zunahme bei Unterversorgung; Verbesserung der Nährstoffversorgung; RE Dü BB (2000) Wechsel der Gehaltsklasse von A oder B nach C oder höher	Abnahme bei optimaler Versorgung; Verschlechterung der Nährstoffversorgung; RE Dü BB (2000) Wechsel der Gehaltsklasse von C oder höher nach B oder A

Tabelle F Praktische Relevanz von Veränderungen – Arsen, Schwermetalle und Radionuklide

Parameter	Praktische Relevanz von Veränderungen			
As+ Schwermetalle; Radionuklide	t-Test (alpha 0,05)			
	nicht signifikant	signifikant		
	nein	< 25 %	>= 25 %	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	nein	Ja*	
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	positiv relevant	negativ relevant
	xxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxx	Abnahme verbunden mit einem geringeren Schadstoffpotenzial; Arsen+Schwermetalle: insbesondere im Verhältnis zu den Vorsorgewerten der BBodSchV sowie den Hintergrundwerten des Landes Brandenburg	Zunahme verbunden mit einem höheren Schadstoffpotenzial; Arsen+Schwermetalle: insbesondere bei Überschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV sowie der Hintergrundwerte des Landes Brandenburg

* mit Ausnahme von Standorten mit sehr niedrigen Schadstoffgehalten

2. Analysemethoden

Tabelle G Analysemethoden

Parameter	Analysemethoden
pH-Wert (CaCl ₂)	DIN 19684/1 ; DIN ISO 10390 (CaCl ₂)
Organisch gebundener Kohlenstoff	DIN ISO 10694
Gesamt-Stickstoff	DIN 19684/4 ; DIN ISO 13878
Magnesium (gesamt)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Magnesium (CaCl ₂)	VDLUFA-Methode (1991)
Phosphor (gesamt)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Phosphor (CAL)	VDLUFA-Methode (1991)
Arsen (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Blei (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Cadmium (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Chrom (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Kupfer (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Nickel (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Quecksilber	DIN 38414 S7 - DIN EN 1483; EPA 7473
Zink (KWA)	DIN 38414 S7 – DIN EN ISO 11885
Cäsium-134	DIN ISO 18589; γ-Spektrometrie
Cäsium-137	DIN ISO 18589; γ-Spektrometrie

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg**

**Landesamt für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Seeburger Chaussee 2
14476 Potsdam OT Groß Glienicke
Tel.: 033201 442-171
Fax: 033201 43678
E-Mail: infoline@lugv.brandenburg.de
www.lugv.brandenburg.de

