Schleswig-Holstein
Der echte Norden

Schleswig-Holstein
Landesamt für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume

Vergleichende Bewertung von Messreihen chemischer Untersuchungen von Oberbodenmaterialproben von Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Oktober 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
2 Untersuchungsprogramm 2
2.1 Untersuchungskonzept 2
2.2 Bodenprobennahme 4
2.2.1 Einrichtung der Fläche und Erstbeprobung 4
2.2.2 Wiederholungsbeprobungen 7
2.3 Parameter und Untersuchungsmethoden 11
2.3.1 Begleitparameter 11
2.3.2 Bewertete Parameter 14
2.3.3 Bodenschutzfachliche Bewertung 15
2.4 Ergänzung der Datenbasis 17
2.4.1 Daten aus weiteren Untersuchungen des BDF-Programms 17
2.4.2 Daten aus weiteren Untersuchungen 18
2.5 Erstellung von Zeitreihenanalysen 19
2.6 Statistische Methoden 19
2.6.1 Mittelwert 19
2.6.2 Standardabweichung 20
2.6.3 Varianzanalyse 20
3 Flächenbezogene Ergebnisse 21
3.1 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 1: Acker/Sand 23
3.1.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Goldelund (BDF04) 23
3.1.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Schuby (BDF09) 26
3.1.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Mörel/Nindorf (BDF19) 30
3.1.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bokhorst (BDF23) 33
3.1.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bornhöved (BDF24) 37
3.1.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Pinneberg (BDF31) 41
3.1.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lindhof/Acker (BDF36) 44
3.1.8 Bewertender Überblick Gruppe 1: Acker/Sand 47
3.2 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 2: Acker/Lehm 48
3.2.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Gintoft (BDF05) 48
3.2.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Sönke-Nissen-Koog (BDF06) 51
3.2.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Holzdorf (BDF10) 55
3.2.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Vadersdorf/Fehmarn (BDF12) 58
3.2.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Achterwehr (BDF15) 62
3.2.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Schönberg/Schwartbuck (BDF16) 66
3.2.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Dannau (BDF17) 69
3.2.8 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Heringsdorf (BDF18) 73

3.2.9 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lebatz/Tankenrade (BDF27) 77
3.2.10 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lübeck/Niederbüssau (BDF29) 81
3.2.11 Bewertender Überblick Gruppe 2: Acker/Lehm 85
3.3 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 3: Grünland / mineralische Böden 85
3.3.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Havetoftloit (BDF08) 85
3.3.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hindorf (BDF22) 89
3.3.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bad Bramstedt (BDF26) 92
3.3.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Groß Offenseth-Aspern (BDF28) 96
3.3.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Altendeich/Neuendorf (BDF30) 99
3.3.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lindhof/Grünland (BDF35) 102
3.3.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Witsum/Föhr (BDF38) 106
3.3.8 Bewertender Überblick Gruppe 3: Grünland/mineralische Böden 109
3.4 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 4: Grünland/organische Böden 109
3.4.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Meggerdorf (BDF14) 109
3.4.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Kudensee/Landscheide (BDF25) 113
3.4.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hellbachtal (BDF33) 116
3.4.4 Bewertender Überblick Gruppe 4: Grünland/organische Böden 120
3.5 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 5: naturnahe Standorte 121
3.5.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche List/Sylt (BDF01) 121
3.5.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Speicherkoog Dithmarschen (BDF21) 124
3.5.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hamburger Hallig (BDF37) 127
3.5.4 Bewertender Überblick Gruppe 5: naturnahe Standorte 131
3.6 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 6: Forst 132
3.6.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Süderlügum (BDF02) 132
3.6.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Pobüller Bauerholz (BDF07) 138
3.6.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Wüstenfelde (BDF20) 143
3.6.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hahnheide (BDF32) 148
3.6.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hevenbruch (BDF39) 154
3.6.6 Bewertender Überblick Gruppe 6: Forst 158
3.7 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 7: Nutzungswechsel 158
3.7.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lehmsiek (BDF11) 159
3.7.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche St. Peter-Ording (BDF13) 162
3.7.3 Bewertender Überblick Gruppe 7: Nutzungswechsel 166
3.8 Stadtboden 167
3.8.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Kiel (BDF34) 167
4 Kennwertbezogene Ergebnisse 171
4.1 Organischer Kohlenstoff 171

4.1.1.Aussagen zur landesweiten Situation der Entwicklung der Vorräte an organischem Kohlenstoff im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen 172
4.2 Gesamtstickstoff 175
4.2.1.Aussagen zur landesweiten Situation der Entwicklung der Vorräte an Gesamtstickstoff im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen 176
4.3 Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen 179
4.4 Gehalte an austauschbaren Kationen und effektive Kationenaustauschkapazität 180
4.5 pH-Wert 181
4.6 Carbonatgehalt 181
4.7 Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat 181
6 Zusammenfassung und Fazit 182
7 Literatur 185

1 Einleitung

Boden wirkt als zentrales Umweltmedium an der Schnittstelle von Atmosphäre, Hydrosphäre und Geosphäre. Er erfüllt natürliche Funktionen als Lebensraum und Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, als Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen, und er dient mit seinen Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften der Reinhaltung des Grundwassers. Boden wird in unserer Gesellschaft jedoch auch in unterschiedlichster Art genutzt. Die vielfältigen Nutzungen des Bodens und die damit häufig verbundenen Belastungen schränken seine natürlichen Grundfunktionen ein oder führen sogar zu dessen Zerstörung. Erst in den letzten Jahrzehnten rückte der Boden mit zunehmendem Flächenverbrauch als zu schützendes Gut in das öffentliche Bewusstsein. Denn Boden ist eine nur in begrenztem Umfang vorhande Ressource: Er ist nicht vermehrbar und nach schädlichen Einflüssen nicht beliebig regenerierbar.

Anforderungen zum Bodenschutz wurden durch das ‘Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten‘ (BBODSCHG) 1998 in einen gesetzlichen Rahmen gebracht und mit der ‘Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung‘ (BBODSCHV) 1999 untersetzt. Der landesrechtliche Vollzug in Schleswig-Holstein wird durch das `Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes` (Landesbodenschutz- und Altlastengesetz – LBODSCHG) 2002 sichergestellt. Dort wird in § 5 die landesweite Erfassung und Bewertung raumbezogener Daten über Bodenentwicklung und -veränderung, insbesondere von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) geregelt. Während Bodenzerstörung offensichtlich ist, sind andere Veränderungsprozesse häufig schleichend und nur schwer zu erkennen. Boden-Dauerbeobachtung dient in diesem Sinne der langfristigen Sicherung des Bodens, seiner natürlichen Bodenfunktionen (auch als Lebensraum für Mensch, Tier und Pflanze) sowie seiner Funktion als Standort land- und forstwirtschaftlicher Nutzung. Zur Überwachung der Veränderungen von Bodeneigenschaften wird in Schleswig-Holstein wie parallel in den anderen Bundesländern das Projekt Boden-Dauerbeobachtung durchgeführt.

Im Berichtszeitraum 1989 bis 2009 wurden an ausgewählten Standorten in den verschiedenen Naturräumen Schleswig-Holsteins auf definierten abgegrenzten Flächen mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften und -nutzungen in regelmäßigen zeitlichen Abständen (bisher in der Regel 10 Jahre) der Boden beprobt und die Proben auf ein bestimmtes Parameterspektrum untersucht (Merkmalsdokumentation). Zeitgleich werden Informationen über die die Bodeneigenschaften prägenden Einflussgrößen (z. B. Nutzung, Düngung, Ernteentzüge) dokumentiert. Seit 1989 wurden insgesamt 39 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet, von denen derzeit noch 37 betrieben werden. Nachdem nunmehr Ergebnisse von bis zu drei Beprobungsterminen vorliegen, werden in diesem Bericht die Daten einer Auswertung unterzogen und daraufhin untersucht, ob sich bereits Tendenzen in der Entwicklung der betrachteten Parameter abzeichnen und ob Hinweise auf Ursache-Wirkungsbeziehungen erkennbar sind. Fünf der 37 BDF wurden zu Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen (I-BDF) ausgebaut. Auf ihnen werden in kürzeren zeitlichen Intervallen Untersuchungen insbesondere zu den Stoffflüssen und –bilanzen, u. a. durch Analysen des Niederschlags- und Sickerwassers, durchgeführt (Prozessdokumentation). Erste Ergebnisse sind einem gesonderten Bericht zu entnehmen.

Im Rahmen der Einrichtung jeder der 39 Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurde der aktuelle Zustand des Bodens durch eine umfassende Standortaufnahme und Untersuchung der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften mit horizontbezogener Beprobung des gesamten Bodenprofils dokumentiert. Nach dieser Erstbeprobung wurden für die ersten Boden-Dauerbeobachtungsflächen 1999 und 2009 die Wiederholungsbeprobungen durchgeführt. Die Beprobung erfolgte bei den Wiederholungsbeprobungen nur im Oberboden und war tiefenstufenbezogen (Beprobungstiefe bei Ackerstandorten 0 bis max. 30 cm, bei Grünland und im Wald 0 bis 5 cm, im Wald zusätzlich die Humusauflage). Veränderungen werden auf der Grundlage des Vergleiches zwischen der Erstbeprobung und den beiden Wiederholungsbeprobungen überprüft. Für 32 Boden-Dauerbeobachtungsflächen stehen Ergebnisse von drei Beprobungsterminen zur Verfügung. Zur Erweiterung der Datenbasis wurden Ergebnisse aus anderen Untersuchungen verwendet, die entweder direkt auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen oder im unmittelbaren Umfeld durchgeführt wurden. Betrachtet wurden die Gehalte an Carbonat, organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, austauschbaren Kationen, doppellaktatlöslichen Kalium- und Phosphatfraktionen, die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen, die effektive Kationenaustauschkapazität sowie die pH-Werte.

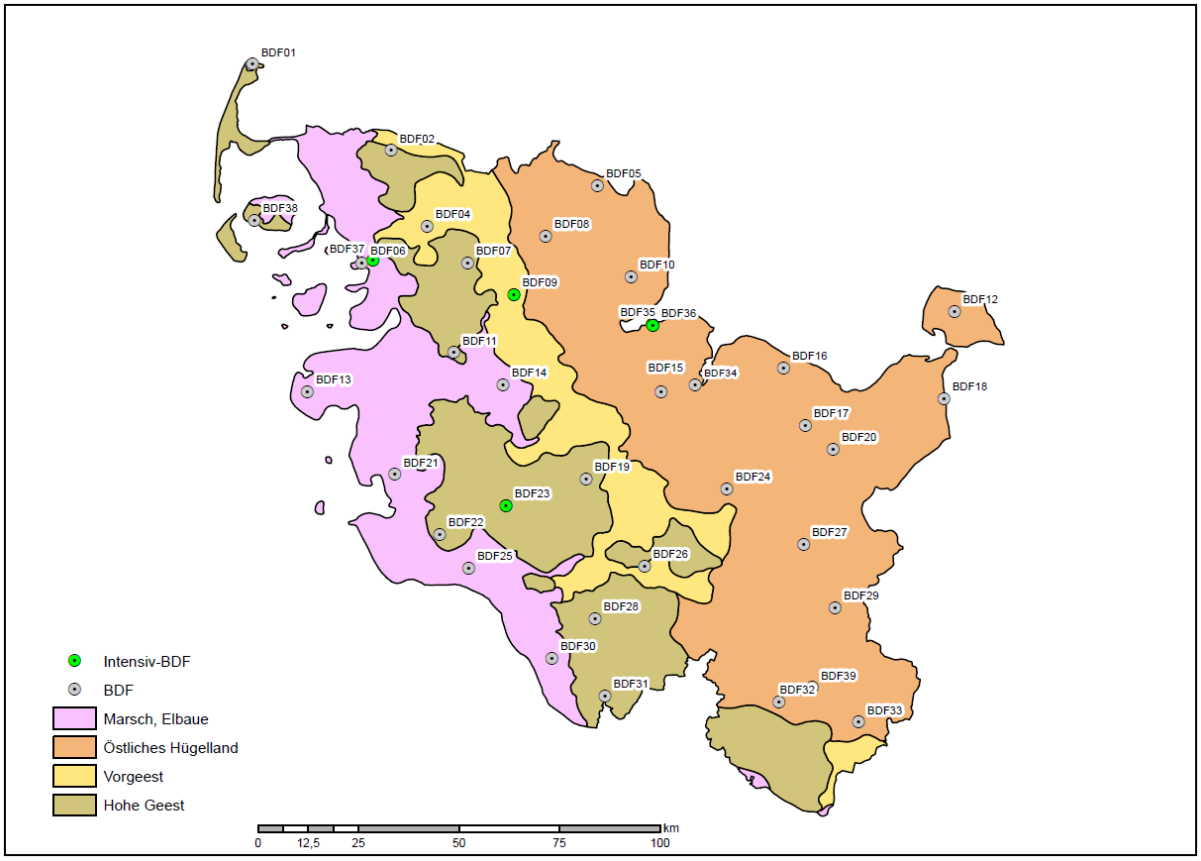
Ziel des Projektes ist es, über die Beobachtung der Entwicklung bodenbezogener Parameter im zeitlichen Verlauf und die Analyse von Ursache-Wirkungsbeziehungen Prognosen für die Entwicklung von Bodeneigenschaften zu ermöglichen und dadurch als Frühwarnsystem einen wesentlichen Bestandteil des vorsorgenden Bodenschutzes darzustellen.

2 Untersuchungsprogramm

2.1 Untersuchungskonzept

Das Untersuchungsprogramm zur Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein wurde 1989 initiiert (CORDSEN ET AL. 2000) und während des Projektverlaufs an das von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) erarbeitete und bundesweit abgestimmte Konzept "Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen" (BARTH ET AL. 2000) angepasst. Auf den Standorten, die nach Gesichtspunkten der landesspezifischen Repräsentativität ausgewählt wurden, wurden Flächen einer Größe von ca. 1000 Quadratmetern (33 m x 33 m) eingerichtet. Die Flächen sind eindeutig verortet und unterirdisch markiert. Sie unterscheiden sich optisch und in ihrer Nutzung und Bewirtschaftung nicht von ihrer direkten Umgebung. Seit dem Programmstart im Jahr 1989, schwerpunktmäßig in den Jahren 1989 bis 1993, sind insgesamt 39 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet worden, von denen 37 derzeit in Betrieb sind. Zwei Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden zwischenzeitlich eingestellt: BDF 34 (Kiel) wurde Ende 2011, BDF 03 (Föhr) wurde 1996 eingestellt. Als Ersatz für BDF03 wurde im Jahr 2003 BDF38 eingerichtet.
Die Lage der BDF kann Abbildung 2-1 entnommen werden. In ihrer Gesamtheit spiegeln diese Flächen die Vielfalt des Bodens, seiner Ausgangsmaterialien, seiner Nutzungen und seiner räumlichen Verteilung im Land wider. 28 dieser Untersuchungsstandorte liegen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen – 17 auf Acker- und 11 auf Grünlandflächen. Für eine langfristige Verfügbarkeit dieser Flächen als Boden-Dauerbeobachtungsflächen bestehen mit den Landwirten als Partnern vor Ort Gestattungsverträge, um Betretungs- und Probenent-

nahmerechte abzusichern sowie Bewirtschaftungsdaten erfassen zu lassen. Weiterhin liegen fünf Untersuchungsflächen in Wäldern und vier auf Sonderstandorten.



BDF 01 - List/Sylt
BDF 02 - Süderlügum
BDF 04 - Goldelund
BDF 05 - Gintoft
BDF 06 - Sönke-Nissen-Koog
BDF 07 - Pobüller Bauernholz
BDF 08 - Havetoftloit
BDF 09 - Schuby
BDF 10 - Holzdorf
BDF 11 - Lehmsiek
BDF 12 - Vadersdorf/Fehmarn
BDF 13 - St.Peter-Ording
BDF 14 - Meggerdorf
BDF 15 - Achterwehr
BDF 16 - Schönberg/Schwartbuck
BDF 17 - Dannau
BDF 18 - Heringsdorf
BDF 19 - Mörel/Nindorf
BDF 20 - Wüstenfelde

BDF 21 - Speicherkoog Dithmarschen
BDF 22 - Hindorf
BDF 23 - Bokhorst
BDF 24 - Bornhöved
BDF 25 - Kudensee/Landscheide
BDF 26 - Bad Bramstedt
BDF 27 - Lebatz/Tankenrade
BDF 28 - Groß Offenseth-Aspern
BDF 29 - Lübeck/Niederbüssau
BDF 30 - Altendeich/Neuendorf
BDF 31 - Pinneberg
BDF 32 - Hahnheide
BDF 33 - Hellbachtal
BDF 34 - Kiel (eingestellt)
BDF 35 - Lindhöft 1
BDF 36 - Lindhöft 2
BDF 37 - Hamburger Hallig
BDF 38 - Witsum / Föhr
BDF 39 - Hevenbruch

Abb. 2-1: Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein

(Bodenkundliche Hauptnaturräume in Schleswig-Holstein Entwurf B. Burbaum, Layout K. Litzbach)

Die erste Beschreibung des Bodenzustandes wurde im Zuge der Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen vorgenommen. Sie erfolgte an einem repräsentativen Bodenprofil und ergänzend an flächenhaften Probenentnahmen aus einer Tiefe bis zu zwei Meter unter Geländeoberfläche. Neben der ausführlichen Feldansprache liegen hierzu Ergebnisse aus bodenchemischen und -physikalischen Untersuchungen im Labor vor. Die Probenahmen zu den Wiederholungsterminen erfolgten ausschließlich im Oberboden. Im Rahmen des Monitoringprogramms sind somit zur Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen, zur ersten Wiederholungsbeprobung (1999) und zur zweiten Wiederholungsbeprobung (2009) Bodenmaterialproben entnommen worden, so dass für die Auswertung die Ergebnisse von drei Beprobungsterminen herangezogen werden können. Fünf weitere Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden zwischen 2001 und 2008 neu eingerichtet. Von diesen Flächen liegen entsprechend weniger Ergebnisse vor. Für jede Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird eine Schlagkartei geführt, in der die Bewirtschaftung detailliert und fortlaufend dokumentiert wird.

2.2 Bodenprobennahme

2.2.1 Einrichtung der Fläche und Erstbeprobung

Im Rahmen der Einrichtung wurde nach der Einmessung jeweils angrenzend an der Nordost-Ecke jeder Boden-Dauerbeobachtungsfläche eine Profilgrube (sogenanntes Leitprofil) bis zu einer Tiefe von einem Meter angelegt und beprobt (s. LP in Abb. 2-2). Diese Leitprofilaufnahme dient der grundlegenden Charakterisierung und Kennzeichnung der Flächen bezüglich der vorherrschenden Bodentypen und -formen sowie der einmaligen tiefreichenden geochemischen und bodenphysikalischen Kennzeichnung des jeweiligen Bodens in Anknüpfung an die bodenkundliche Landesaufnahme.

Da die zu erfassenden Bodenmerkmale auf der Fläche unterschiedlich ausgeprägt sind, ist es notwendig, auf den Flächen in einem definierten Beprobungsschema Bodenmaterialproben zu entnehmen und zu untersuchen. Dadurch wird die raumbezogene Streuung der Messwerte erfasst. Nur unter Berücksichtigung von Streubreiten der Werte innerhalb der Fläche ist es möglich, eine Zeitreihenanalyse der punktuell gemessenen Merkmalsausprägungen durchzuführen. Für die flächenbezogene Beprobung wurden entlang von zwei Flächendiagonalen mit je 9 Probenahmepunkten entsprechend der Fachkonzepte für Boden-Dauerbeobachtung (SAG 1991, Barth et al. 2000) von jedem Punkt Bodenproben entnommen. Der Beprobungsplan kann Abbildung 2-2 entnommen werden.

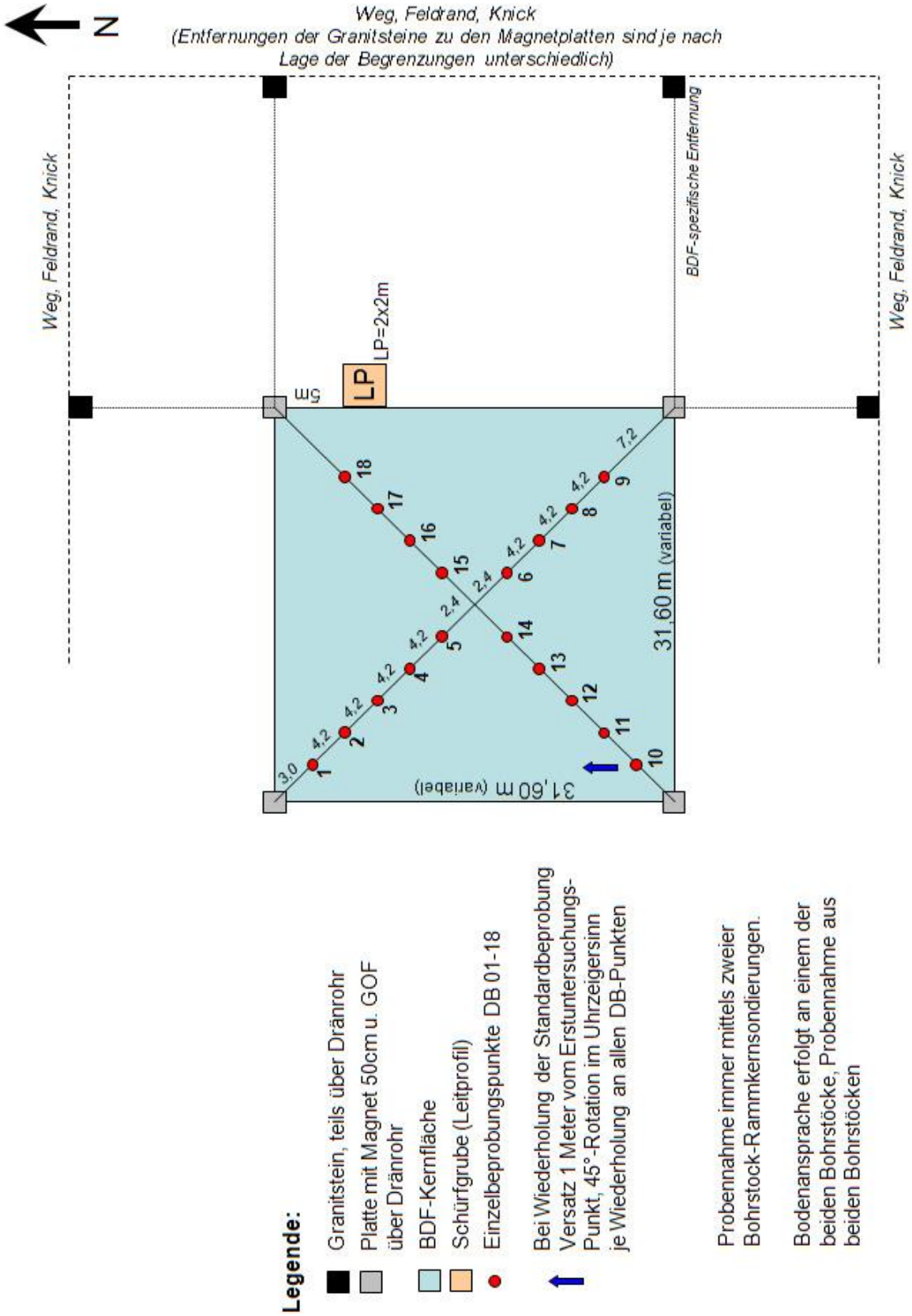


Abb. 2-2: Probenahmedesign der Erstbeprobung sowie der Wiederholungsbeprobungen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF-Abschlussbericht, 2010)

Für die Probenentnahme wurden an jedem der 18 markierten Punkte im Abstand von 10 cm zwei Rammkernsonden mit einem Durchmesser von 5 cm bis zu einem Meter in den Boden eingetrieben. Das Bodenprobenmaterial in den zu beprobenden Rammkernsonden zeigt Abbildung 2-3. Der zweite Meter wurde mit einer Peilstange erbohrt.

Abb. 2-3: Entnahme von Bodenprobenmaterial mit Rammkernsonden

An jedem der 18 Punkte erfolgte eine detaillierte bodenkundliche Profilbeschreibung bis zu einer Tiefe von 2 Metern. Gleichzeitig mit der Beschreibung wurden im Bohrgut der beiden Rammkernsonden die zu beprobenden Bereiche markiert. Die Beprobungstiefe war auf den ersten Meter begrenzt und erfolgte für die Erstbeprobung in der Regel horizontbezogen. Nach den Vorgaben des Einrichtungskonzeptes für Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden mehrere Proben zu einer sogenannten Mischprobe zusammengefasst (Barth et al., 2000). Für jede Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde auf der Grundlage der bodenkundlichen Profilbeschreibungen ein individueller Mischplan erstellt. Unter Berücksichtigung der Horizontierung, der Bodenart sowie des Humusgehaltes wurde jeweils Bodenhorizontmaterial von sechs der 18 Bohrpunkte zu drei horizontbezogenen Mischproben vereinigt. Bei Waldstandorten (BDF02, BDF07, BDF20, BDF32 und BDF39) wurde neben dem Mineralboden die Humusauflage beprobt.

Zur Beurteilung von Veränderungen der Bodeneigenschaften werden die Oberböden und ggf. die Humusauflage betrachtet. Auf Ackerstandorten wurden die Tiefen von 0 – max. 30 cm, bei Grünland- und Waldstandorten die Tiefen 0 – max. 5 cm betrachtet. Fiel bei der Be-

probung des Oberbodens von Grünland- oder Waldstandorten der oberste Mineral- oder Torfhorizont geringer als 5 cm bzw. bei Ackerstandorten geringer als 30 cm aus, so wurden zum Zwecke der Datenvergleichbarkeit die Analyseergebnisse auf die Mächtigkeiten von 5 cm bzw. 30 cm umgerechnet. Hierzu wurden Analysendaten des darunterliegenden Oberbodenhorizontes mit einbezogen. Die Vorgehensweise soll am Beispiel des organischen Kohlenstoffs an einem Grünlandstandorts erläutert werden (s. Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Exemplarische Vorgehensweise bei der Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes

Tatsächliche Entnahmetiefe	Bezugsmächtigkeit der Probe	Kohlenstoffkonzentration in %	Rechenweg zur Ermittlung des gewogenen Mittels
cm	cm		
0 – 2	2	9	2*9=18
2 –6	3	4	3*4=12
			(18+12)/5= **6**

2.2.2 Wiederholungsbeprobungen

Im Rahmen der beiden Wiederholungsuntersuchungen erfolgte die Entnahme von Bodenmaterialproben entsprechend des Schemas der Erstbeprobung. Um jedoch für Wiederholungsbeprobungen Bodenproben aus ungestörten Bereichen entnehmen zu können, wurden die Probenentnahmepunkte versetzt. Der Probenentnahmepunkt der ersten Wiederholungsbeprobung lag direkt auf der Diagonalen in einer Entfernung von einem Meter zum Probenentnahmepunkt der Erstbeprobung (s. Abb. 2-2). Der Probenentnahmepunkt der zweiten Wiederholungsbepobung (und jeder weiteren Beprobung) liegt in einer Entfernung von einem Meter zum Probenentnahmepunkt der Erstbeprobung, jedoch im Uhrzeigersinn in einem Winkel von 45 ° zur Diagonalen versetzt. Es wurden jeweils drei Mischproben für Mineralböden, Torfe und/oder Humusauflagen gewonnen und analysiert. Das Jahr der Probennahme und die Entnahmetiefe bei der ersten und zweiten Wiederholungsbeprobung sind Tabelle 2-2 zu entnehmen. In Ausnahmefällen, insbesondere bei besonders heterogenen BDF wurde im Rahmen der zweiten Wiederholungsbeprobung ergänzend eine gesonderte Mischprobe aus allen 18 Probenentnahmepunkten gebildet und analysiert. Somit lagen für 2009 für ausgesuchte Boden-Dauerbeobachtungsflächen zusätzlich Ergebnisse von einer Gesamtmischprobe vor. In mineralischen Böden und Torfen wurden im Rahmen der Wiederholungsbeprobungen nur die Oberböden beprobt, da Bodenveränderungen hauptsächlich in diesem Bereich stattfinden. Unter ackerbaulicher Nutzung betrifft dies den Pflughorizont, der in der Regel bis in eine Tiefe von 30 cm reicht. Unter Wald und Grünland und auf sonstigen Standorten betrifft es in der Regel die obersten fünf Zentimeter des Oberbodens. Die Festlegung der tiefenstufenbezogenen Beprobung erhöht die Vergleichbarkeit der Daten.

Tab. 2-2: Jahr der Flächenbeprobung und Entnahmetiefen der Auflage- und Oberboden-material-Probenentnahmen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein

	Erstbeprobung		**1. Wiederholungs-beprobung**		**2. Wiederholungs-beprobung**	
Nr. der BDF	**Jahr**	**Entnahmetiefen (cm) [1)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**
BDF01	1996	MP1: 0 bis 8 MP2: 0 bis 5 MP3: 0 bis 4 MP4: 0 bis 4	1999	0 bis 5	2009	0 bis 4
BDF02	1991	MP1: -12 bis -3; -6 bis 0 MP2: -13 bis 0; -6 bis 0 MP3: -8 bis -4; -4 bis 0 MP4: -18 bis -5; -7 bis 0	1999	-5 bis 0	2009	-6 bis 0
BDF02	1991	MP1: 0 bis 14 MP2: 0 bis 10 MP3: 0 bis 7 MP4: 0 bis 14	1999	0 bis 5	2009/ 2011	0 bis 3/ 0 bis 3
BDF03	Betrieb 1996 eingestellt					
BDF04	1990	MP1: 0 bis 16; 16 bis 32 MP2: 0 bis 16; 15 bis 32 MP3: 0 bis 15;15 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF05	1990	MP1: 0 bis 15; 15 bis 35 MP2: 0 bis 16 MP3: 0 bis 17; 15 bis 32	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF06	1993	MP1: 0 bis 23; 18 bis 36 MP2: 0 bis 23; 22 bis 37 MP3: 0 bis 24; 19 bis 37	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF07	1993	MP1: -20 bis 0 MP2: -24 bis -4; -20 bis 0 MP3: -20 bis -7; -14 bis 0	1999	-4 bis 0	2009	-20 bis -15 -15 bis 0
BDF07	1993	MP1: 0 bis 23 MP2: 0 bis 23 MP3: 0 bis 13	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF08	1991	MP1: 0 bis 8 MP2: 0 bis 9 MP3: 0 bis 9	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF09	1990	MP1: 0 bis 15; 14 bis 30 MP2: 0 bis 15; 15 bis 30 MP3: 0 bis 15; 12 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF10	1991	MP1: 0 bis 16; 14 bis 33 MP2: 0 bis 15; 13 bis 30 MP3: 0 bis 17; 13 bis 34	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF11	1992	MP1: 0 bis 19 MP2: 0 bis 27 MP3: 0 bis 20	1999	0 bis 5	2009	0 bis 30
BDF12	1990	MP1: 0 bis 17; 16 bis 34 MP2: 0 bis 18; 16 bis 36 MP3: 0 bis 17; 15 bis 34	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF13 [2)]	1991	MP1: 0 bis 10 MP2: 0 bis 10 MP3: 0 bis 10	1999	0 bis 5	2009/ 2010	0 bis 5/ 0 bis 30
BDF14	1990	MP1: 0 bis 2; 2 bis 6 MP2: 0 bis 2; 2 bis 6 MP3: 0 bis 2; 2 bis 6	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5

Fortsetzung Tab. 2-2

	Erstbeprobung		1. Wiederholungs-beprobung		2. Wiederholungs-beprobung	
Nr. der BDF	**Jahr**	**Entnahmetiefen (cm) [1) 2)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**
BDF15	1997	MP1: 0 bis 12; 10 bis 35 MP2: 0 bis 12; 11 bis 33 MP3: 0 bis 11; 11 bis 26; 26 bis 34 MP4: 0 bis 12; 10 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 5
BDF16	1991	MP1: 0 bis 15; 14 bis 30 MP2: 0 bis 16; 14 bis 33 MP3: 0 bis 17; 13 bis 35	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF17	1991	MP1: 0 bis 31 MP2: 0 bis 32 MP3: 0 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF18	1996	MP1: 0 bis 26; 23 bis 39 MP2: 0 bis 27; 23 bis 42 MP3: 0 bis 26; 21 bis 39	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF19	1990	MP1: 0 bis 15; 14 bis 30 MP2: 0 bis 14; 14 bis 28 MP3: 0 bis 14; 14 bis 28	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF20	1991	MP1: -2,5 bis -1; -1,5 bis -0,5; -0,5 bis 0 MP2: -2,5 bis -1; -1,5 bis 0; -0,5 bis 0 MP3: -4 bis -1; -2,5 bis 0	1999	-3 bis 0	2009	-3 bis 0
BDF20	1991	MP1: 0 bis 6 MP2: 0 bis 5 MP3: 0 bis 5	1999	0 bis 5	2009	0 bis 2
BDF21	1994	MP1: 0 bis 4; 4 bis 15 MP2: 0 bis 5 MP2: 0 bis 6 MP3: 0 bis 5	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF22	1992	MP1: 0 bis 18 MP2: 0 bis 13 MP3: 0 bis 16	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF23	1992	MP1: 0 bis 16; 15 bis 30 MP2: 0 bis 16; 14 bis 30 MP3: 0 bis 16; 13 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF24	1994	MP1: 0 bis 24; 15 bis 34 MP2: 0 bis 30 MP3: 0 bis 27; 12 bis 36	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF25	1990	MP1: 0 bis 2; 2 bis 6 MP2: 0 bis 2; 2 bis 6 MP3: 0 bis 2; 2 bis 6	1999	0 bis 5	2009/ 2011	0 bis 5/ 0 bis 5
BDF26	1993	MP1: 0 bis 10 MP2: 0 bis 14 MP3: 0 bis 11	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF27	1992	MP1: 0 bis 34 MP2: 0 bis 38 MP3: 0 bis 35	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF28	1990	MP1: 0 bis 2; 2 bis 6 MP2: 0 bis 2; 2 bis 6 MP3: 0 bis 2; 2 bis 6	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF29	1990	MP1: 0 bis 17; 16 bis 37 MP2: 0 bis 18; 16 bis 37 MP3: 0 bis 18; 16 bis 37	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30

Fortsetzung Tab. 2-2

	Erstbeprobung		1. Wiederholungs-beprobung		2. Wiederholungs-beprobung	
Nr. der BDF	**Jahr**	**Entnahmetiefen (cm) [1)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**	**Jahr**	**Entnahme-tiefe (cm) [1)]**
BDF30	1992	MP1: 0 bis 11 MP2: 0 bis 10 MP3: 0 bis 11	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF31	1991	MP1: 0 bis 15; 15 bis 30 MP2: 0 bis 15; 15 bis 30 MP3: 0 bis 15; 15 bis 30	1999	0 bis 30	2009	0 bis 30
BDF32	1993	MP1: -6 bis -2; -5 bis -1; -2 bis 0 MP2: -6 bis -3; -5 bis -1; -2 bis 0 MP3: -5 bis -2; -4 bis -1; -2 bis 0	1999	-3 bis 0	2009	-3 bis 0
BDF32	1993	MP1: 0 bis 5 MP2: 0 bis 5 MP3: 0 bis 6	1999	0 bis 2~	2009	0 bis 3~
BDF33	1993	MP1: 0 bis 15 MP2: 0 bis 15 MP3: 0 bis 12	1999	0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF34	_	_	1999	MP1: 0 bis 5 MP2: 0 bis 5 MP3: 0 bis 5	2009	0 bis 5
BDF35	2002	MP1: 0 bis 8 MP2: 0 bis 7 MP3: 0 bis 9 MP4: 0 bis 9	2009	0 bis 5		
BDF36	2002	MP1: 0 bis 14; 11 bis 26; 16 bis 37 MP2: 0 bis 13; 11 bis 25; 20 bis 36 MP3: 0 bis 13; 11 bis 23; 20 bis 38	2009	0 bis 30		
BDF37	2002	MP1: 0 bis 8 MP2: 0 bis 7 MP3: 0 bis 6	2009	0 bis 5		
BDF38	2003	MP1: 0 bis 7 MP2: 0 bis 7 MP3: 0 bis 7	2009	0 bis 5		
BDF39	2008	MP1: -9 bis -2; -5 bis 0 MP2: -10 bis -2; -6 bis 0 MP3: -8 bis -2; -6 bis 0	2009	-3 bis 0		
BDF39	2008	MP1: 0 bis 21 MP2: 0 bis 22 MP3: 0 bis 14	2009	0 bis 2~		

MP= Mischprobe; - = keine Probenahme ~ = Mineralboden geringmächtiger als 5 cm.

[1)] Bei der Entnahmetiefe entspricht 0 der Oberkante des Oberbodens; negative Entnahmetiefen beziehen sich auf Proben aus der Humusauflage. Zur Erstbeprobung sind die jeweils geringsten und größten Beprobungstiefen der sechs Horizontproben einer Mischprobe angegeben.

[2)] 2010 zusätzliche Beprobung 0 bis 30 cm wegen Nutzungswandel (Grünland zu Acker)

Bei den forstlich genutzten Standorten wurde neben dem mineralischen Oberboden zusätzlich die Humusauflage beprobt. Die Beprobung erstreckte sich über die gesamte Mächtigkeit der Humusauflage ohne Streu-Horizont. Die Erstellung der Mischproben erfolgte im Gegensatz zur Flächenbeprobung im Rahmen der Einrichtung bereits im Gelände.

Im Jahr 2009 fand an 32 Boden-Dauerbeobachtungsflächen die zweite Wiederholungsbeprobung statt. Ausgenommen ist lediglich BDF 03, die bereits 1999 eingestellt wurde. Wegen der großen Mächtigkeit des Oh-Horizontes wurden 2009 aus der Humusauflage auf der BDF07 zwei Proben gewonnen und einzeln analysiert. An BDF34 (Einrichtungsjahr 1996) und an den fünf nach 2001 eingerichteten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF35 bis BDF39) erfolgte bisher nur eine Wiederholungsbeprobung (2009).

2.3 Parameter und Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung werden die entnommenen Bodenmaterialproben im Labor auf verschiedene Kenngrößen hin untersucht und die Ergebnisse insbesondere hinsichtlich eventueller Veränderungen im zeitlichen Verlauf beschrieben und bewertet. Die Untersuchungen der Bodenmaterialproben wurden im Landeslabor Schleswig-Holstein durchgeführt. Die Qualitätssicherung und Plausibilitätsprüfung der Daten erfolgt anhand von Erfahrungswerten, u. a. aus Bodenuntersuchungen der geowissenschaftlichen Landesaufnahme und des Boden-Belastungskatasters. Eine detaillierte Aufstellung der untersuchten Parameter und der verwendeten Untersuchungsmethoden im Rahmen der Erstbeprobung und der ersten Wiederholungsbeprobung (z.B. Aufschlussgeräte, Messgeräte, Anwendungsjahre, etc.) ist im Abschlussbericht zur Evaluierung der Boden-Dauerbeobachtung enthalten (s. BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010). Zu den gemessenen Parametern gehören allgemeine bodenchemische Parameter wie die Korngrößenverteilung, der Gehalt an organischem Kohlenstoff, an Carbonat, an Gesamtstickstoff, an pflanzenverfügbaren Nährstoffen wie Phosphat und Kalium sowie der pH-Wert. Weiterhin gemessen wurden die Gehalte an austauschbaren Kationen und die effektive Kationenaustauschkapazität sowie die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen. Die Parameter werden in Abhängigkeit von deren Bedeutung für die weitere Untersuchung in zwei Hauptkategorien (bewertete Parameter und Begleitparameter) gegliedert (Untersuchungsmethoden s. Tab. 2-3 und 2-4).

2.3.1 Begleitparameter

Als Begleitparameter werden Kennwerte aufgeführt, die für eine Zeitreihenauswertung nicht geeignet, jedoch für die Beschreibung des Standortes und Bewertung der Daten notwendig sind. Hierzu zählen Kennwerte, die in der Regel über eine sehr lange Zeit ein stabiles Merkmal darstellen (z. B. Korngrößenverteilung) und solche, die aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung der Fläche infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen sehr kurzfristige Veränderungen zeigen (z. B. Carbonatgehalte, pflanzenverfügbares Kalium und Phosphat, pH-Wert).

Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung im Oberboden wird als Begleitparameter erfasst, da Veränderungen im Wesentlichen nur durch z. B. vertiefende Bodenbearbeitung oder Erosion auftreten. Geogen bedingt können jedoch auf einer Fläche verwandte, d. h. ähnliche Bodenarten auftreten, beispielsweise stark lehmiger Sand und sandiger Lehm, die Rückschlüsse auf die Homogenität des Standortes und somit auf die Vergleichbarkeit der im Zeitverlauf entnommenen Proben erlauben.

Tab. 2-3: Aktuelle Untersuchungsmethoden zur Bestimmung allgemeiner bodenchemischer Parameter und der Gehalte an austauschbaren Kationen

Parameter	Methode	Norm	Aufschluss-gerät	Messverfahren / Messgerät
Korngrößen-fraktion	Sedimentation nach Köhn mit Siebung	DIN 19683 Teil 1 und 2	Sedimentationszylinder und genormte Laborsiebe	Gravimetrisch (Waage)
Carbonat	Verbrennung im Sauerstoffstrom	DIN ISO 10694:1996-08 und DIN ISO 10694:1995	Röhrenofen	Leco Infrarotabsorption RC 412
Organischer Kohlenstoff	Verbrennung im Sauerstoffstrom	DIN ISO 10694:1996-08 und DIN ISO 10694:1995	Röhrenofen	Leco Infrarotabsorption RC 412
Gesamtkohlenstoff	Verbrennung im Sauerstoffstrom / Helium (Dumas)	wahrschl.: DIN ISO 10694:1996-08 und DIN ISO 10694:1995	Röhrenofen	Wärmeleitfähigkeitsdetektor Vario Max
Gesamtstickstoff	Verbrennung im Sauerstoffstrom / Helium (Dumas)	DIN ISO 13878:1998-11	Röhrenofen	Wärmeleitfähigkeitsdetektor Vario Max
pH-Wert	pH-Wert (0,01M $CaCl_2$)	DIN ISO 10390:12.2005		pH-Elektrode (3-Punkt-Kalibration)
Phosphat	Calcium-Lactatauszug nach Egner (= Doppellaktat-Auszug)	VDLUFA Methodenbuch 1	Überkopfschüttler	Vis
Kalium		VDLUFA Methodenbuch 1	Überkopfschüttler	ICP-OES
Ca, K, Mg, Na, H, Al, Fe, Mn und effektive KAK	$SrCl_2$ statt $BaCl_2$, nach Bach	HFA A3.2.1.6	Perkolator	ICP-AES

Carbonatgehalte

Carbonate, v. a. Calciumcarbonat ($CaCO_3$), sind als wichtige gesteinsbildende Komponente in vielen Locker- und Festgesteinen wie Löss, Kalk- und Mergelgesteinen enthalten. Der Gehalt an Calciumcarbonat wirkt sich in verschiedener Hinsicht auf die Standorteigenschaften eines Bodens aus. Er sorgt für den Erhalt einer guten Bodenstruktur, eines gesunden Bodenlebens, beeinflusst den pH-Wert (Säuregrad des Bodens) und somit das Pflanzenwachstum. Die meisten Kulturpflanzen benötigen in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt einen pH-Wert im Bereich zwischen etwa 5 bis 7,5, um ausreichend Nährstoffe aufnehmen zu können. Um der natürlichen Versauerung des Bodens entgegenzuwirken, erfolgen daher auf landwirtschaftlichen Flächen in regelmäßigen Abständen Erhaltungskalkungen mit dem Ziel, den Boden auf den jeweiligen pH-Wert für optimales Pflanzenwachstum einzustellen. Auf diesen Flächen hängt der Carbonatgehalt somit von bewirtschaftungsbedingten Maßnahmen ab und stellt keinen Parameter dar, der für eine Zeitreihenanalyse geeignet ist.

Phosphor

Phosphor gehört zu den Hauptnährelementen. Bestimmt wurde der Gehalt an mittelfristig pflanzenverfügbarem (doppellaktatlöslichem) Phosphor im Boden. Durch die Verwendung von mineralischen und organischen Düngemitteln wird der Phosphorgehalt auf landwirtschaftlich genutzten Böden soweit erhöht, dass der optimale Nährstoffgehalt für das Pflanzenwachstum gegeben ist und der Nährstoffbedarf gedeckt werden kann. Die Auswaschung von Phosphor oder Abschwemmung von Boden in Oberflächengewässer ist jedoch mit der Gefahr der Eutrophierung und Gewässerbelastung verbunden.

Die Verfügbarkeit von Phosphor im Boden (im Weiteren als Phosphatgehalt bezeichnet und in mg P_2O_5/100 g Boden angegeben) hängt von verschiedenen Bodeneigenschaften wie dem pH-Wert, dem Tongehalt, Art und Gehalt der organischen Substanz, der Bodenbearbeitung/-struktur und dem Wassergehalt im Boden ab. Da der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen bewirtschaftungsbedingten Änderungen unterliegt, gilt er auf diesen Standorten lediglich als Begleitparameter. Eine Einstufung der Phosphat-Vorräte nach den Richtwerten für die Düngung (LKSH 2013) erfolgt methodisch bedingt (Doppellaktat-Methode) entsprechend der Anwendungsregeln nur bei Böden mit pH-Werten unter 7.

Kalium

Kalium ist für Pflanzen ein Hauptnährelement. In Gesteinen ist es häufig in hohen Anteilen enthalten. Der Gehalt landwirtschaftlich genutzter Böden ist vor allem von der Bodenart sowie Art und Menge der Düngung abhängig. Sowohl ein Mangel an Kalium als auch ein Kaliumüberangebot ist nachteilig für das Pflanzenwachstum. Ein Mangel führt zu Ertragseinbußen, ein Überangebot verschlechtert die Aufnahme und Versorgung von Pflanzen mit anderen Nährstoffen und kann zudem zu Grundwassereinträgen führen. Bestimmt wurde der mittelfristig pflanzenverfügbare (doppellaktatlösliche) Kaliumgehalt im Boden. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist der Kaliumgehalt durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst und gilt auf diesen Standorten lediglich als Begleitparameter.

pH-Wert

Der Säuregrad des Bodens (pH-Wert) steht mit vielen Eigenschaften der Böden in mehr oder weniger enger Beziehung. Er beeinflusst insbesondere die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen wie auch die Mobilisierung von Schadstoffen. Gerade unter landwirtschaftlicher Nutzung wird zur Optimierung der Erträge der pH-Wert des Bodens über die Kalkung beeinflusst. Dadurch werden natürliche Änderungen des pH-Wertes stark überprägt, so dass pH-Messwerte je nach Messzeitpunkt und erfolgter Kalkgaben einzuordnen sind. Für Zeitreihenanalysen eignet sich der pH-Wert auf landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht. Als wichtiger Einflussfaktor wesentlicher Bodeneigenschaften wird er als Begleitparameter erfasst.

Austauschbare Kationen sowie effektive Kationenaustauschkapazität im Mineralboden

Gemessen wurden die Gehalte an austauschbaren Kationen, die als basische Kationen die Basensättigung des Bodens bestimmen sowie die Gehalte an Wasserstoff(H-)- und Aluminium(Al-)-Ionen, die bei Versauerung an Stelle der Basen am Austauscher auftreten. Um die effektive KAK eines Bodens näherungsweise bewerten zu können, wurde die Einstufung in Ermangelung vorhandener Bewertungsmaßstäbe hilfsweise entsprechend der potentiellen KAK vorgenommen (Ad hoc-AG Boden 2005). Insbesondere im niedrigen pH-Bereich liegt die effektive KAK deutlich unterhalb der potentiellen KAK, so dass bei Erhöhung des pH-Wertes eine günstigere Einstufung erfolgen würde.

2.3.2 Bewertete Parameter

Zu den in einer Zeitreihe bewerteten Parametern zählen Kennwerte, deren Veränderungen im Boden sehr langsam ablaufen und daher nur in langfristigen Zeiträumen erfasst werden können.

Organischer Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff

Der gemessene Gesamtkohlenstoffgehalt im Boden ist die Summe des Kohlenstoffs aus allen anorganischen und organischen Verbindungen. Organischer Kohlenstoff ist der Hauptbestandteil der organischen Substanz (Humus). Der Humus im Boden verbessert die Bodenstruktur, ist neben mineralischen Bodenbestandteilen eine weitere Nährstoffquelle des Bodens, ist Wasserspeicher und Lebensraum für Bodenorganismen sowie Kohlenstoff- und Stickstoffspeicher. Der Boden speichert jedoch nicht nur Kohlenstoff, sondern setzt diesen unter bestimmten Bedingungen auch an die Atmosphäre frei. Dadurch ist die organische Substanz als mögliche Kohlenstoffquelle auch für den Klimawandel von Bedeutung. Gehalt und Art des Humus im Boden sind stark von der Nutzung und Bodenbearbeitung abhängig. Während insbesondere intensiv bearbeitete ackerbaulich genutzte Böden eher niedrige Humusgehalte aufweisen, sind diese bei Böden unter Wald und Grünlandnutzung höher. Bestimmt wurde der organische Kohlenstoffgehalt im Boden bzw. in der Humusauflage. In der Humusauflage wurde der Kohlenstoffgehalt zu Beginn der Boden-Dauerbeobchtung im Glühverlust bestimmt. Bei Umrechnung auf den Humusgehalt ist methodisch bedingt ein geschätzter Umrechnungsfaktor von 2 bis 1,85 anzunehmen.

Stickstoff

Stickstoff (N) als Hauptnährelement für Pflanzen kommt in Ausgangsgesteinen nur in sehr geringen Mengen vor und muss daher bei landwirtschaftlicher Nutzung den Böden über die Düngung zugeführt werden. Darüber hinaus gelangt Stickstoff aus der Atmosphäre durch biologische Fixierung in die Böden. In Rückständen der Vegetation und der Bodenorganismen wird Stickstoff gespeichert und durch mikrobiellen Abbau aus der organischen Bindung freigesetzt (mineralisiert) und damit pflanzenverfügbar. Die Humusqualität ist umso höher zu bewerten, je stickstoffreicher die organische Substanz, d. h. je niedriger ihr Kohlen-

stoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N) ist. Das C/N-Verhältnis des Oberbodens ertragreicher Acker- und Grünlandböden beträgt meist <10 bis 15. Ein Überangebot an Stickstoff im Boden, die Mobilisierung von Stickstoff aus dem Boden und der Transport von Stickstoffverbindungen, insbesondere von Nitrat, in das Grundwasser und Oberflächengewässer stellen jedoch eine Belastungsgefahr dar. Bestimmt wurde der Gesamtstickstoffgehalt im Boden.

Schwermetalle und Arsen

Weiterhin bestimmt wurden die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im HNO_3/HF-Extrakt. Die Elemente sind zum Teil in Spuren für Pflanzen essentiell, wirken jedoch bereits in mehr oder weniger geringen Konzentrationen toxisch auf Pflanzen und können bei Mobilisierung zu einer Belastung des Grundwassers führen. Eingetragen werden sie insbesondere über Dünger und Pflanzenschutzmittel bzw. Depositionen, sinkende pH-Werte führen zudem zu einer Mobilisierung und ggf. einer Verlagerung bis in das Grundwasser. Die angewandten Messverfahren zur Bestimmung der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sind Tabelle 2-4 zu entnehmen.

Tab. 2-4: Verwendete Messgeräte zur Bestimmung der Gehalte an Schwermetallen und Arsen

Parameter	**Messgerät**	**BDF**
Arsen	ICP-MS	1-39
Cadmium	ICP-MS	1-39
	ICP-OES	8,13-14,21-26,28,30,32-35,37-39
Chrom	ICP-OES	1-39
Kupfer	ICP-MS	1-39
	ICP-OES	2,8,1414
Nickel	ICP-MS	8-10,13-14,17,22,24-26,28,31,33,35,38
	ICP-OES	1-39
Blei	ICP-MS	1-7,9-12,15-19,27,29,31,35-36
	ICP-OES	2,7-8,13-14,20-26,28,30,32-35,37-39
Zink	ICP-MS	8,13-14,22-26,28,30,32-35,39
	ICP-OES	1-2,4-7, 9-13,15-24,26-27, 29-30,33,36-39
Queck-silber	Dumas-AAS (Leco AMA)	1-39

AAS – Atomabsorptionsspektrometrie nach Dumas
CP-MS - Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
ICP-OES - optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma

2.3.3 Bodenschutzfachliche Bewertung

Für die Parameter Schwermetalle und Arsen wird zusätzlich zu den Zeitreihen auch eine bodenschutzfachliche Bewertung der Gesamtgehalte vorgenommen. Hierzu werden die „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011), die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein (LLUR 2011) bzw. die Vorsorge- und ggf. Prüf-

werte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTEN-VERORDNUNG (1999) als Bewertungsmaßstäbe herangezogen.

Die oben genannten Bewertungsmaßstäbe erfordern als Analyseverfahren die Extraktion mit Königswasser (Salzsäure-Salpeter-Gemisch, Verhältnis 3:1). Die in Königswasser extrahierten Gehalte sind als Teilfraktion der Gesamtgehalte zu betrachten, die element- und substratspezifisch anteilsmäßig um einen statistisch abgesicherten Wert an Gesamtgehalten schwanken. Die von Gesamtgehalten auf Königswassergehalte umgerechneten Werte sind somit keine exakten Äquivalenzwerte, sondern lediglich statistisch abgesicherte Schätzwerte (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010). Sofern bereits die Gesamtgehalte unterhalb der zur Bewertung herangezogenen Bewertungsmaßstäbe liegen, kann weitgehend davon ausgegangen werden, dass die Bewertungsmaßstäbe eingehalten werden. Bei Überschreitung wird bei mineralischen Bodenproben mit Hilfe der umgerechneten Schätzwerte trotz dieses problematischen Ansatzes eine annähernde Beurteilung ermöglicht. Unterschreiten die errechneten Werte die Bewertungsmaßstäbe wird angenommen, dass die Bewertungsmaßstäbe eingehalten werden.

Hintergrundwerte

Im Rahmen eines Projektes zur Ermittlung ländlicher Hintergrundgehalte in Schleswig-Holstein wurden Schadstoffgehalte ausgewertet, die für stofflich gering beeinflusste Böden des Landes repräsentativ sind. Die Hintergrundgehalte setzen sich aus einem natürlichen bodenbürtigen und einem ubiquitären (weit verbreiteten, diffusen) Stoffanteil zusammen. Aus diesen repräsentativen Daten wurden statistische Kennwerte, so genannte Hintergrundwerte für Schleswig-Holstein abgeleitet, d. h. repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte in Böden. Für die statistische Auswertung wurden u.a. 75er, 90er und 95er Perzentilwerte ermittelt. Hierzu wurden die nach Größe sortierten Beobachtungswerte (geordnete Stichprobe) in hundert gleiche Teile geteilt (Perzentile, ‚Hundertstelwerte', entsprechend einer Prozentangabe). Häufig werden die 90er- und 95er-Perzentilwerte angegeben. Letztere Werte teilen die Stichprobe so, dass 90 % bzw. 95 % der Daten unterhalb des angegebenen Wertes und lediglich 10 % bzw. 5 % darüber liegen. Im Hinblick auf eine Bewertung von Bodengehalten gibt ein Überschreiten beispielsweise des 90er-Perzentilwertes zumindest Hinweise auf zusätzliche anthropogene Beeinflussung oder andere ggf. auch natürliche Stoffanreicherungen (LLUR 2011).

Vorsorgewerte

Vorsorgewerte für Metalle (Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink) für Böden nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 des BUNDES-BODENSCHUTZGESETZES (1998) sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen ist in der Regel zu besorgen, wenn Schadstoffgehalte im Boden gemessen werden, die die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORD-

NUNG (1999) überschreiten. Böden mit Gehalten unterhalb der Vorsorgewerte können uneingeschränkt genutzt werden. Die Vorsorgewerte gelten nur für Böden mit einem Humusgehalt ≤ 8 % Humus.

Vorsorge-Hilfswerte-SH

Da Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 8 Prozent keine Anwendung finden, wird für Böden mit über 8 % Humus der Vorsorge-Hilfswert Schleswig-Holstein als Bewertungsmaßstab herangezogen (LLUR 2011). Für Arsen existieren keine bundesweit rechtsverbindlichen, vorsorgebezogenen Bodengrenzwerte. Als Bewertungsmaßstab werden daher die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Arsen mit ≤ 8 % und > 8 % Humus verwendet (LLUR 2011).

Prüfwerte

Prüfwerte sind Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt (BBodSchG § 8, Abs. 1, Nr. 1).

2.4 Ergänzung der Datenbasis

Zur Ergänzung der Datenbasis werden Messwerte aus den nachfolgenden Untersuchungen und vergleichbaren Untersuchungsprogrammen herangezogen. Die Bodenprobenentnahmetiefen und –punkte weichen z. T. von dem Probenentnahmeschema der Basis-Boden-Dauerbeobachtung ab. Diese Daten werden daher lediglich dargestellt, um Aussagen zu einem möglichen Trend in der Zeitreihe ggf. zu unterstreichen.

2.4.1 Daten aus weiteren Untersuchungen des BDF-Programms

Leitprofilaufnahmen

Es werden für einige Boden-Dauerbeobachtungsflächen Daten des jeweiligen Leitprofils ergänzend herangezogen.

Daten der Flächenbeprobung zur Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtung

Bei der Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Jahre 1989 wurde noch nicht nach der bundeseinheitlichen Vorgehensweise (Bildung von drei Mischproben aus 18 Einzelproben auf den Diagonalen) vorgegangen. Im Rahmen dieser Einrichtung fand somit eine Flächenbeprobung nach unterschiedlichen, nicht festgelegten Schemata statt.

Datenerhebung nach Nutzungsänderung

Auf einzelnen BDF wurden nach Nutzungswandel (Grünland zu Acker) Oberbodenproben ergänzend entnommen und auf unterschiedliche Parameter untersucht.

Daten aus der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung

Fünf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF35, BDF36, BDF09, BDF06 und BDF23) wurden zu Intensiv-Boden-Dauerbobachtungsflächen (I-BDF) ausgebaut. Das Untersuchungsprogramm wird hier durch zusätzliche eng getaktete Messungen, insbesondere durch die Erfassung der Nähr- und Schadstoffverlagerung mit dem Sickerwasser, ergänzt. Begleitend zu den Sickerwasseruntersuchungen werden jährlich im Frühjahr entlang der Flächendiagonalen Bodenproben entsprechend den Tiefen der Wiederholungsbeprobungen entnommen.

Daten aus bodenmikrobiologischen Untersuchungen

Im Rahmen bodenmikrobiologischer Untersuchungen an allen BDF werden in der Regel alle drei Jahre vor Beginn der Vegetationsperiode Bodenproben entnommen und zur aktuellen Kennzeichnung des Standortes auf bodenchemische Parameter untersucht. Die Entnahme der Bodenproben findet zwei Meter außerhalb der Seitenlinien der Boden-Dauerbeobachtungsflächen statt. Im Jahr 2010 und 2011 wurden Bodenproben parallel in unterschiedlichen Laboren (Universität Hamburg, Landeslabor Schleswig-Holstein) auf organischen Kohlenstoff untersucht. In der Universität Hamburg erfolgte zusätzlich eine Untersuchung auf Gesamtstickstoff. Abweichungen der Daten sind laborbedingt.

2.4.2 Daten aus weiteren Untersuchungen

Daten aus dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein

Im Rahmen des landesweiten Programms zur Ermittlung der typischen Gehalte an organischen und anorganischen Schadstoffen in stofflich gering beeinflussten Böden Schleswig-Holsteins (Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein) wurden an Standorten von Boden-Dauerbeobachtungsflächen nach einem von der Boden-Dauerbeobachtung abweichenden Verfahren Oberbodenproben entnommen.

Daten aus Untersuchungen zum Geochemischen Atlas der Ostseeanrainerstaaten

Für die Erstellung des „Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas“ wurden in Schleswig-Holstein im Jahr 1996 aus dem Ober- und Unterboden an einigen BDF ca. einen Meter außerhalb der Eckpunkte Bodenproben entnommen (REIMANN ET. AL. 2003). Die Untersuchungen der Bodenproben wurden in den Laboratorien der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe durchgeführt. Die Methodenbeschreibung ist dem Abschlussbericht zu entnehmen (REIMANN ET. AL. 2003).

Daten aus der bundesweiten Sickerwasseruntersuchung

Für das Forschungsvorhaben „Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser“ der BGR wurden in Norddeutschland auf insgesamt 50 repräsentativen Standorten, die sich auf unterschiedliche Bodenausgangsgesteine (Sand, Löss sowie Geschiebelehm) und auf verschiedene Nutzungen (Acker, Grünland und Forst) aufteilten, die Gehalte an Schadstoffen im Boden und im Sickerwasser untersucht (DUIJNISVELD et. al. 2008).

2.5 Erstellung von Zeitreihenanalysen

In die Langzeitbetrachtung der Veränderungen von Böden flossen Untersuchungsergebnisse aus der Erstbeprobung sowie aus der ersten und der zweiten Wiederholungsbeprobung ein. Für die Auswertung der Daten lagen für 32 Boden-Dauerbeobachtungsflächen von drei Beprobungsterminen Untersuchungsergebnisse vor. Die Ergebnisse der untersuchten Parameter wurden hinsichtlich beobachtbarer Trends statistisch ausgewertet und beschrieben. Zusammenhänge sollen erfasst und einer Analyse zeitlicher Entwicklungen (Zeitreihenanalyse) unterzogen werden, sofern die Bedingungen hinsichtlich der Vollständigkeit der Messreihen und der Vergleichbarkeit der angewandten Methoden erfüllt waren. Ziel der Auswertung ist, durch die Analyse der Ergebnisse im zeitlichen Verlauf zu verifizieren, ob Aussagen zu möglichen Trends in der Entwicklung einzelner Parameter auf den untersuchten Flächen möglich sind. Dazu werden statistische Methoden angewandt, mit denen überprüft werden kann, ob sich die gewonnenen Ergebnisse an den drei Beprobungsterminen im zeitlichen Verlauf signifikant verändern oder ob es sich eher um zufällige, z. B. durch Streuung von Werten innerhalb einer betrachteten Fläche oder durch andere Faktoren wie Wandel in der Nutzung oder Wechsel bei den Analysemethoden bedingte Änderungen bei den Werten handelt.

2.6 Statistische Methoden

Von den Messwerten der drei Flächenbeprobungen (Erstbeprobung, erste und zweite Wiederholungsbeprobung) werden als wesentliche statistische Kenngrößen die Durchschnittswerte (Mittelwert) und die Streuung der Messwerte um diesen Durchschnittswert (Standardabweichung) gebildet. Die varianzanalytische Verrechnung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm *WinSTAT*, einem Zusatzmodul von *Microsoft Excel*.

2.6.1 Mittelwert

Der Mittelwert (arithmetisches Mittel) beschreibt den statistischen Durchschnittswert. Für den Mittelwert werden alle Werte eines Datensatzes addiert und die Summe durch die Anzahl aller Werte geteilt. Für die Mittelwertbildung wurden Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze in Höhe der Bestimmungsgrenze angenommen, wenn der Mittelwert aller übrigen Ergebnisse der Zeitreihe höher als die Bestimmungsgrenze war. Andernfalls wurde die Messung nicht berücksichtigt.

Zur Bildung des Mittelwertes waren mindestens zwei Werte erforderlich. Bei Mineralböden und Torfen wurde für die Zeitreihenanalyse im ersten Schritt der Mittelwert bzw. das gewogene Mittel je Mischprobe ermittelt. Im zweiten Schritt wurde aus den Mittelwerten der Mischproben ein Gesamtmittelwert pro Fläche errechnet. Bei den BDF01, BDFF02 und BDF15 flossen aus der Flächenbeprobung der Erstbeprobung vier Messwerte in die Mittelwertberechnung ein. Bei den Humusauflagen wurden zuerst die Gehalte der einzelnen Horizonte einer Mischprobe gemittelt und dann die Mittelwerte der Fläche berechnet.

2.6.2 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß dafür, wie weit die jeweiligen Werte um den Mittelwert (arithmetisches Mittel) streuen und damit dafür, wie homogen eine Fläche hinsichtlich eines betrachteten Parameters ist. Je höher die Standardabweichung desto mehr überlagert die Streuung der Werte innerhalb einer Fläche die Unterschiede zwischen den Werten zweier Beprobungszyklen.
Die Standardabweichung wird aus mindestens zwei Werten berechnet. Es erfolgt dann der Eintrag „keine Angabe“ bei der Standardabweichung, wenn entweder kein Messwert vorlag, ein oder mehrere Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen oder nur ein einziger Messwert ermittelt wurde. Im letzteren Fall wurde dieser Wert gleichzeitig als Mittelwert betrachtet.

2.6.3 Varianzanalyse

Besonders wesentlich für die Beschreibung und Analyse möglicher beobachtbarer Veränderungen ist es, zu überprüfen, ob die Messergebnisse zu den einzelnen Beprobungsterminen eindeutige Trends im zeitlichen Verlauf aufweisen, die sich nicht durch flächenbezogene Heterogenitäten erklären lassen, sondern deren Unterschiede über die Streubreiten jeweils innerhalb der einzelnen Beprobungszyklen hinausgehen. Die Messreihen je Boden-Dauerbeobachtungsfläche und je Parameter werden dazu mittels Varianzanalyse nach signifikanten Unterschieden untersucht. Bei Feststellung eindeutiger negativer bzw. positiver Tendenzen zwischen den Beprobungsterminen wurden diese Unterschiede statistisch überprüft. An den Ergebnissen der Erstbeprobung, der ersten und zweiten Wiederholungsuntersuchung fand die statistische Überprüfung unter Verwendung einer einfaktoriellen Varianzanalyse statt. Unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Streubreiten bei jedem Beprobungstermin wird dadurch ermittelt, ob die Unterschiede der Mittelwerte in ihrer zeitlichen Entwicklung stärkere tendenzielle Unterschiede zeigen als durch große Streubreiten zu belegende flächenbezogene Heterogenitäten bedingt. Erst bei Überschreitung einer die Streubreiten berücksichtigenden kritischen Schwelle zwischen den Mittelwerten bei den Beprobungszeitpunkten (kritische Mittelwertdifferenz) können Unterschiede als signifikant betrachtet werden.

3 Flächenbezogene Ergebnisse

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen sind gezielt im Hinblick auf Nutzung, Naturraum, Ausgangsmaterial und Bodentyp in Schleswig-Holstein ausgewählt worden, um anhand dieser repräsentativen Flächen Aussagen zu möglichen Veränderungen im Land zu ermöglichen. Ziel war immer eine standortbezogene Auswertung. Eine rein nutzungsbezogene Auswertung stand nicht im Mittelpunkt der Boden-Dauerbeobachtung. Im Folgenden werden die Boden-Dauerbeobachtungsflächen dennoch gruppiert, um gegebenenfalls gleichgerichtete Veränderungen feststellen zu können (s. Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Gruppierung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Nr. der BDF	Nutzung	Bodenart des Oberbodens	Hauptnaturraum
Gruppe 1: Acker/Sand			
4	Acker	Sand	Geest/Vorgeest
9	Acker	Sand	Geest/Vorgeest
19	Acker	Sand	Geest/Hohe Geest
23	Acker	Sand	Geest/Hohe Geest
24	Acker	Sand	Östliches Hügelland
31	Baumschule	Sand	Geest/Hohe Geest
Gruppe 2: Acker/Lehm			
5	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
6	Acker	Lehm	Marschen (Nordsee)
10	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
12	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
15	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
16	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
17	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
18	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
27	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
29	Acker	Lehm	Östliches Hügelland
36*	Acker	Sand	Östliches Hügelland
Gruppe 3: Grünland/mineralische Böden			
8	Grünland	Lehm	Östliches Hügelland
22	Grünland	Sand	Geest/Hohe Geest
26	Grünland	Sand	Geest/Niederung
28	Grünland	Sand	Geest/Hohe Geest
30	Grünland	Ton	Marschen (Elbe)
35*	Grünland	Sand	Östliches Hügelland
38*	Grünland	Sand	Nordfriesische Marsch
Gruppe 4: Grünland/organische Böden			
14	Grünland	Niedermoor	Geest/Niederung
25	Grünland	Niedermoor	Marschen (Elbe)
33	Grünland	Niedermoor	Östliches Hügelland
Gruppe 5: naturnahe Standorte			
1	Naturschutzgebiet	Sand	Marschen (Nordsee)/Hohe Geest
21	Naturschutzgebiet	Schluff	Marschen (Nordsee)
37*	Naturschutzgebiet	Schluff	Nordfriesische Marsch
Gruppe 6: Forst			
2	Forst	Sand	Geest/Hohe Geest
7	Forst	Sand	Geest/Hohe Geest

Fortsetzung Tab. 3-1

20	Forst	Lehm	Östliches Hügelland
32	Forst	Sand	Östliches Hügelland
39*	Forst	Sand	Östliches Hügelland
Gruppe 7: Nutzungswechsel			
11	Grünland/Acker	Lehm	Geest/Hohe Geest
13	Grünland/Acker	Lehm	Marschen (Nordsee)
Stadtboden			
34 (eingestellt 2012)	Park	Sand (Boden-auftrag)	Östliches Hügelland

* - Die Daten aus den BDF35 bis BDF39 sind in der Zeitreihenanalyse nicht berücksichtigt worden, da bei diesen Flächen nur Ergebnisse von zwei Messterminen vorlagen.

Zur Beurteilung von Veränderungen im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung werden nur Ergebnisse von Standorten verwendet, die mindestens drei Untersuchungszeitpunkte aufweisen. Flächen mit Ergebnissen von nur zwei Untersuchungszeitpunkten, wie BDF34 bis BDF39, werden ausschließlich kurz charakterisiert.

Werden nach varianzanalytischer Berechnung der Ergebnisse der drei Flächenbeprobungen signifikante Veränderungen von Parametern festgestellt, erfolgt eine Analyse der möglichen Ursachen. Diese können beispielsweise in der Änderung der Umweltsituation, der Nutzungseinflüsse oder in der Beprobung liegen. Auch ein Nutzungswechsel während dieser langen Beobachtungsperiode, wie im Fall der BDF11 und BDF13, muss Berücksichtigung finden. Bei diesen Flächen erfolgte im Jahr 2002 bzw. 2009 ein Nutzungswechsel von Grünland zu Ackerland.

3.1 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 1: Acker/Sand

3.1.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Goldelund (BDF04)

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf der westlichen Schleswiger Vorgeest im Kreis Nordfriesland. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im oberen Einzugsgebiet der Soholmer Au. Die geologisch-bodenkundliche Beschaffenheit dieser Niederung ist charakteristisch für das Gebiet der weichselzeitlichen Außensander. Es überwiegen, je nach Grundwassereinfluss, vergleyte Podsole bis Gley-Podsole vergesellschaftet mit Moor-Podsolen, podsolierten Gleyen und Anmoorgleyen aus Flugsand über Sandersand bzw. vergleyten Braunerden aus Geschiebedecksand über Sandersand oder Niedermooren aus Niedermoortorf über Sand. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Gley-Podsol aus Flugsand über tiefem Sandersand.

Der Landschaftsgeschichte des Naturraumes entsprechend handelt es sich bei der Fläche um eine ehemalige Heidefläche, die unter der derzeitigen Nutzung als Acker mit Maisanbau einer deutlichen Gefährdung durch Winderosion unterliegt. Die BDF04 wurde über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg als Ackerfläche genutzt. Die Leitprofilbeprobung und die Erstbeprobung fanden im Rahmen der Einrichtung 1990 statt. Die Bodenart der untersuchten Proben (1990 bis 2009) schwankte aufgrund natürlicher Heterogenität der Fläche geringfügig zwischen feinsandigem Mittelsand und mittelsandigem Feinsand.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Oberboden der BDF04 ist als mittel bis stark humos einzustufen. Gesamtstickstoff, pH-Wert sowie doppellaktatlöslicher Phosphat zeigen im Beobachtungszeitraum signifikant abnehmende Werte (s. Tab. BDF04-1). Die Phosphatgehalte sind als mittel bis hoch (Gehaltsklasse C bis D), die Kaliumgehalte als gering bis mittel (Gehaltsklasse B bis C) einzustufen (LKSH 2013). Die pH-Werte liegen im mäßig bis stark sauren Bereich. Laut dem Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten ist der Boden in die pH-Klassen A und B (sehr niedrig bis niedrig) einzuordnen (VDLUFA 2000). Die Bodenreaktion liegt somit deutlich unterhalb eines optimalen Boden-pH-Wertes für z. B. Bodenstruktur, Nährstoffverfügbarkeit bzw. zur Verhinderung erhöhter Schwermetallfreisetzung.

Tab. BDF04-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**			**K_2O**			**P_20_5**		
	%			**%**						**mg/100 g Boden**			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	2,53	2,27	1,88	0,18	0,15	0,14	4,78	4,70	4,19	14,29	5,37	8,66	36,33	34,60	30,47
SD	0,09	0,09	0,04	0,02	0,02	0,01	0,07	0,26	0,12	0,53	0,72	0,70	3,53	1,35	2,44

Im Hinblick auf die C_{org}-Gehalte im mineralischen Oberboden wurde bis 2009 eine signifikante Abnahme über alle drei Beprobungstermine (1990, 1999, 2009) festgestellt. Der Rückgang

der Gehalte an organischer Substanz kann neben einer ggf. veränderten Bewirtschaftung (Verringerung der organischen Düngung) unter anderem auf Auswehungseffekte zurückgeführt werden. Dies lässt sich aus Untersuchungen im Rahmen von mehrjährigen Winderosionsmessungen an diesem Standort schließen. Das C/N-Verhältnis als Kennzeichen für die Humusqualität und das Stickstoffnachlieferungsvermögen aus der organischen Bodensubstanz liegt mit Werten von 13 bis 15 im für Ackerflächen typischen Bereich.

Die Ergebnisse der Wiederholungsuntersuchungen zu C_{org}-Gehalten werden durch Untersuchungen des Bodenbelastungskatasters und mikrobiologische Untersuchugen im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung im Wesentlichen bestätigt (s. Abb. BDF04-1).

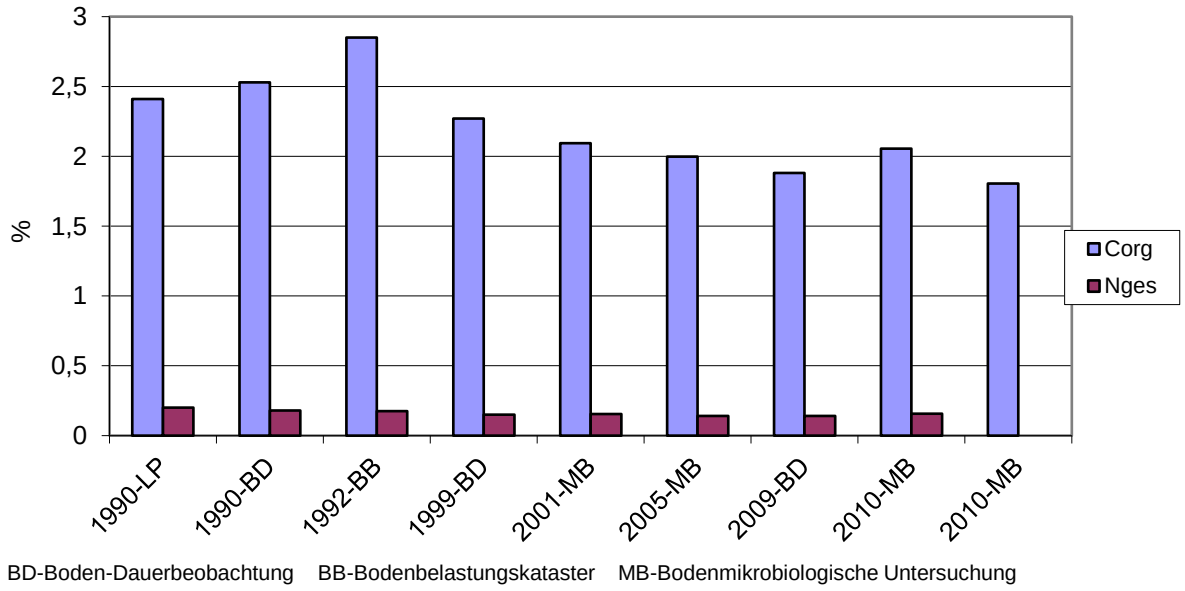


Abb. BDF04-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sind aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials als gering einzustufen. Sie unterschreiten, bis auf Chrom und Nickel, bereits als Gesamtgehalte die „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Vorgeest). Chrom unterschreitet das 95er Perzentil bzw. einmalig, sowie auch Nickel 2009, den Maximalwert der Hintergrundwerte leicht (LLUR 2011). Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) sowie auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen werden deutlich eingehalten (s. Tab. BDF04-2).

Tab. BDF04-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	1,95	1,48	2,04	<0,2	<0,2	0,13	11,28	13,73	11,40	<10	<10	5,89
SD	-	0,61	0,06	-	-	0,01	1,22	2,48	1,82	-	-	0,41
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	3,72	11,22	11,26	10,24	22,55	25,33	18,57	0,02	0,02	n.b.
SD	-	-	1,47	1,78	1,64	1,69	2,88	1,76	1,42	0	0	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Veränderungstendenzen der Gesamtgehalte sind nicht festzustellen. Arsen, Chrom, Blei und Zink weisen lediglich Schwankungen auf; Cadmium-, Kupfer- und Nickelgesamtgehalte konnten erst durch eine verbesserte Analytik und somit Senkung der Bestimmungsgrenzen zum Zeitpunkt der zweiten Wiederholungsbeprobung ermittelt werden (s. Tab. BDF04-2).

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Bei den Gehalten an austauschbaren Kationen ist im Beobachtungszeitraum mit abnehmendem Gehalt an organischer Substanz sowie sinkendem pH-Wert eine signifikante Abnahme des austauschbaren Calciums und Kaliums sowie der effektiven Kationenaustauschkapazität zu beobachten. Die übrigen Kationen weisen in ihrer Entwicklung keinen einheitlichen Trend auf (s. Tab. BDF04-3). Aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials und des niedrigen pH-Wertes ist die Kationenaustauschkapazität und somit die Fähigkeit Schwermetalle zu binden als sehr gering einzustufen.

Tab. BDF04-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	3,80	2,25	1,27	0,26	0,18	0,17	0,51	<0,01	0,02	0,04	0,06	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
SD	0,12	0,11	0,08	0,03	0,04	0,02	0,14	-	-	-	0,04	0,01	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	<0,01	0,31	0,67	<0,01	<0,01	<0,02	0,07	0,10	0,07	3,80	2,47	1,99			
SD	-	-	0,03	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,12	0,36	0,04			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 04 auf der Schleswiger Vorgeest, ein Gley-Podsol aus Flugsand, zeichnet sich durch einen sandigen, mittel bis stark humosen Oberboden mit abnehmenden Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie sinkendem pH-Wert im Beobachtungszeitraum aus. Der mittelfristig pflanzenverfügbare Nährstoffvorrat an Phosphat ist als mittel bis hoch, der an Kalium als gering bis mittel einzustufen. Die Bodenreaktion liegt deutlich unterhalb eines optimalen Boden-pH-Wertes. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen im umweltrelevant unbedenklichen Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden. Die Gehalte an Cadmium, Kupfer, Nickel und Quecksilber lagen 1990 und 1999 unterhalb der Bestimmungsgrenze. Schwermetalle wie auch Arsen zeigen keine Tendenzen der Veränderungen. Der Boden weist entsprechend des Ausgangsmaterials eine sehr geringe Kationenaustauschkapazität und somit auch ein sehr geringes Vermögen zur Bindung von Nähr- oder Schadstoffkationen auf. Dementsprechend ist von einer hohen Auswaschungsgefährdung aus diesem durch Grundwasser beeinflussten Boden auszugehen.

3.1.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Schuby (BDF09)

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im relativ endmoränennahen Übergangsbereich der Schleswiger Vorgeest im Kreis Schleswig-Flensburg. Das Umland der BDF09 zeigt die charakteristische Bodenvergesellschaftung der weichselzeitlichen Außensander. In der Fläche dominieren vergleyte Podsole bis Gley-Podsole, vergesellschaftet mit Moor-Podsolen, podsolierten Gleyen und Anmoorgleyen aus mit Flugsand beigemengtem Sandersand bzw. vergleyten Braunerden aus Geschiebedecksand über Sandersand - im Bereich spät- und postglazial angelegter Entwässerungsrinnen auch vergesellschaftet mit Niedermooren über Sand. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Gley-Podsol aus weichselzeitlichem Flugsand über Sandersand. Alle drei Beprobungen wiesen einheitlich feinsandigen Mittelsand als Bodenart auf. Die Leitprofilbeprobung und die Erstbeprobung fanden im Rahmen der Einrichtung 1990 statt. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Acker mit vorwiegend Mais- neben Getreideanbau genutzt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Oberboden der BDF 09 ist als stark humos einzustufen. Die pH-Werte sowie die doppellaktatlöslichen Phosphatgehalte nehmen von 1990 bis 2009 signifikant zu; die Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium, organischem Kohlenstoff sowie Gesamtstickstoff schwanken (s. Tab. BDF09-1). Das C/N-Verhältnis liegt mit 15 bis 19 für Ackerböden im eher hohen Bereich, jedoch wird erst bei einem weiteren C/N-Verhältnis von ca. 25 der Abbau der organischen Substanz beeinträchtigt und mineralischer Stickstoff mikrobiologisch festgelegt.

Tab. BDF09-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	3,64	4,02	3,70	0,24	0,21	0,21	4,62	5,00	5,13
SD	0,30	0,22	0,25	0,01	0,03	0,01	0,08	0,10	0,07
	K_2O			**$P_2 0_5$**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	8,45	9,80	7,22	24,60	26,43	34,57			
SD	2,53	1,57	1,89	0,92	2,06	0,60			

Die pH-Werte steigen bewirtschaftungsbedingt von pH-Klasse B (niedrig) auf die für optimales Pflanzenwachstum anzustrebende pH-Klasse C an (VDLUFA 2000). Der Gehalt an doppellaktatlöslichem Phosphat ist durch mineralische sowie auch organische Düngung derzeit als mittel bis hoch einzustufen (Gehaltsklasse C bis D), die des doppellaktatlöslichen Kaliums als eher niedrig (Gehaltsklasse B) (LKSH 2013).

Die vorliegenden Daten der Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff werden durch Ergebnisse weiterer Untersuchungen bestätigt. Im Rahmen der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung werden unter anderem auf dieser Fläche seit 2006 neben der wöchentlichen Erfassung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser jeweils im Frühjahr Bodenproben entnommen und unter anderem auf C_{org}- und N_{ges}-Gehalte bestimmt (s. Abb. BDF09-1). Seit Beginn der Boden-Dauerbeobachtung zeigen sich keine Tendenzen der Veränderung.

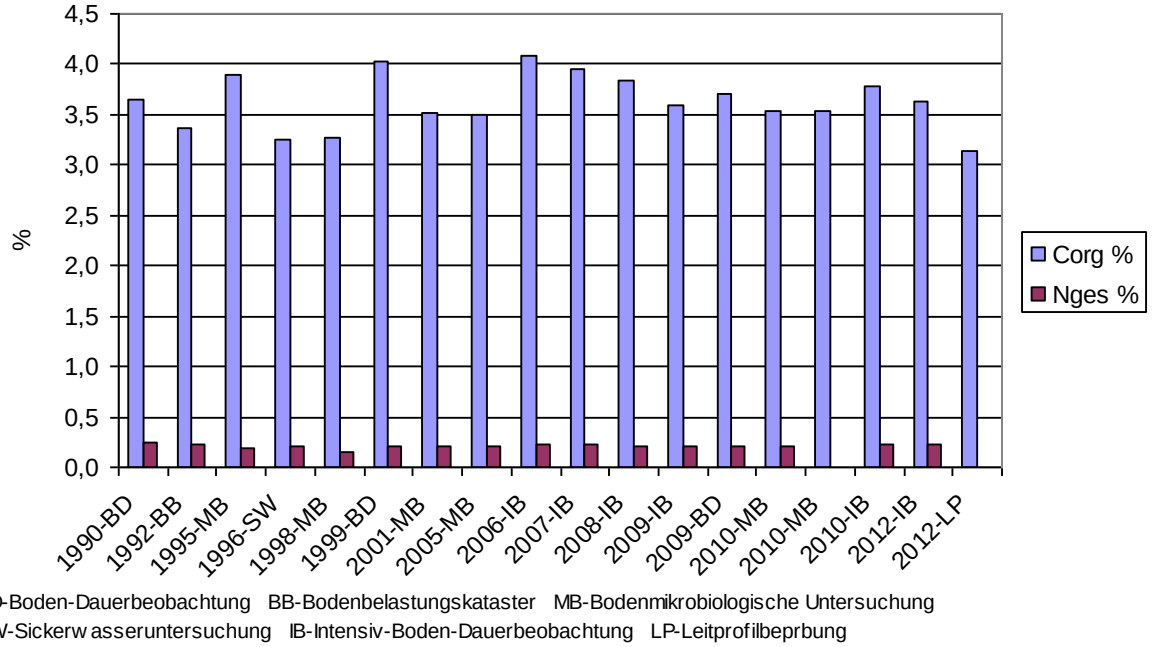


Abb. BDF09-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

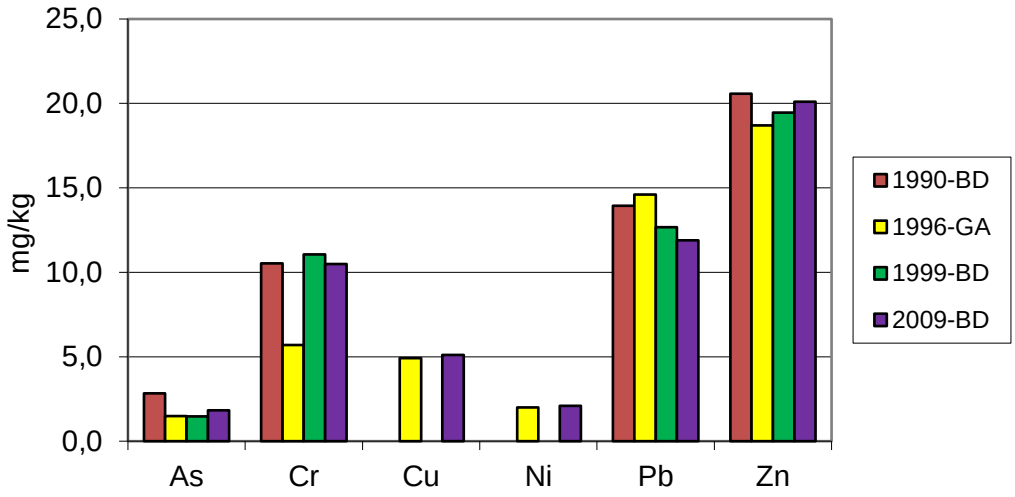
Der Standort zeichnet sich entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials durch relativ geringe Schwermetallgehalte im mineralischen Oberboden aus. Sie unterschreiten, bis auf Cadmium und Chrom, als Gesamtgehalte die „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Vorgeest) (LLUR 2011). Cadmium und Chrom unterschreiten den 95er-Perzentilwert. Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) und der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird deutlich unterschritten. Die Gehalte an Cadmium, Kupfer und Nickel liegen methodisch bedingt in den Jahren 1990 und 1999 unterhalb der damaligen Bestimmungsgrenze. Blei zeigt abnehmende, jedoch nicht signifikante Gehaltsveränderungen. Für die übrigen Schwermetalle und Arsen kann keine eindeutige Veränderungstendenz festgestellt werden (s. Tab. BDF09-2).

Tab. BDF09-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	2,06	0,82	1,83	<0,2	<0,2	0,19	10,53	11,05	10,50	<10	<10	5,11
SD	-	-	0,03	-	-	0	0,75	2,27	0,78	-	-	0,21
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	2,09	13,95	12,67	11,90	20,58	19,47	20,10	0,04	0,04	n.b.
SD	-	-	0,19	1,29	1,68	0,10	1,16	2,10	0,62	0	0	-

<- Bestimmungsgrenze

Ergänzend können Daten aus Untersuchungen zum geochemischen Altas der Ostseeanrainerstaaten zur Kennzeichnung von Spurenelementgehalten in Böden für Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink im Gesamtaufschluss dargestellt werden. Die Ergebnisse entsprechen, abgesehen von dem deutlich niedrigeren Gehalt an Chrom, den Ergebnissen der Boden-Dauerbeobachtung (s. Abb. BDF09-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung GA-Geochemischer Atlas

Abb. BDF09-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Bei den Gehalten an austauschbaren Kationen ist nach Datenlage von der Erstbeprobung (1990) bis zur zweiten Wiederholungsbeprobung (2009) keine Veränderungstendenz erkennbar (s. Tab. BDF09-3). Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen ist entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials als gering einzustufen.

Tab. BDF09-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	5,03	4,83	5,66	0,15	0,35	0,13	0,55	<0,01	0,98	0,03	0,07	0,06	<0,01	<0,01	<0,05
SD	0,24	0,17	0,08	0,05	0,15	0,01	0,06	-	0,01	0,01	0,04	0	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	0,60	0,69	0,24	<0,01	<0,01	<0,02	0,06	0,06	0,04	5,72	5,67	6,55			
SD	0,09	0,20	0,03	-	-	-	0,01	0,01	0	0,22	0,26	0,12			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 09 der Schleswiger Vorgeest, ein Gley-Podsol aus Flugsand, weist hinsichtlich der allgemeinen bodenchemischen Parameter im stark humosen Oberboden keine auffälligen Veränderungen auf. Der pH-Wert nimmt entsprechend der Bewirtschaftung signifikant zu, der C_{org}-Gehalt schwankt. Der Gehalt an pflan-

zenverfügbarem Phosphat ist mittel bis hoch, der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium als niedrig einzustufen. Die Schwermetallgehalte sind umweltrelevant unbedenklich. Die Gehalte an Cadmium, Kupfer und Nickel liegen zum Teil unterhalb der Bestimmungsgrenze. In Bezug auf die Kationenaustauschkapazität lässt sich im Untersuchungszeitraum kein eindeutiger Trend im mineralischen Oberboden feststellen. Der Boden weist entsprechend des Ausgangsmaterials eine geringe Kationenaustauschkapazität und somit ein geringes Vermögen auf, Nähr- oder Schadstoffkationen zu binden. Dies ist gleichbedeutend mit einer entsprechend hohen Auswaschungsgefährdung aus diesem durch Grundwasser geprägten Boden.

3.1.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Mörel/Nindorf (BDF19)

Die im Jahre 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf einem Altmoränenrücken der Hohenwestedter Geest (Heide-Itzehoer Geest) im Kreis Rendsburg-Eckernförde. Die Fläche ist Teil eines Milchviehhaltung betreibenden Futterbau-Marktfruchtbaubetriebes. Die Böden im Umfeld der BDF19 zeigen die für die saalezeitliche Grundmoränenplatte typische Vergesellschaftung von Pseudogleyen bis podsolierten Pseudogleyen aus Geschiebedecksand über drenthestadialem Geschiebelehm mit Pseudogley-Braunerden und Braunerden über Parabraunerde aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm bzw. podsolierten Braunerden aus Geschiebedecksand. Es handelt sich um einen intensiv genutzten Ackerstandort, auf dem im Untersuchungszeitraum vorwiegend Getreide, Ackergras, Silomais und Zuckerrüben angebaut wurden. Der Boden des Leitprofils ist eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebedecksand über saalezeitlichem Geschiebelehm.
Die Leitprofilbeprobung sowie die Erstbeprobung wurden im Rahmen der Einrichtung 1990 durchgeführt. Im Oberboden wurden bei den Beprobungen (1990 bis 2009) aufgrund natürlicher Heterogenität des Standortes schwach lehmiger Sand und lehmiger Sand als Bodenart festgestellt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Die Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden zeigen im 19-jährigen Beobachtungszeitraum keine Veränderungstendenzen (s. Tab. 19-1). Der Oberboden ist als schwach humos zu bezeichnen. Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 9 und 11 und sind zu den Beprobungszeitpunkten als relativ eng, jedoch für Ackerböden als typisch anzusehen. Die Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium lagen in der Gehaltsklasse B (niedrig), die der doppellaktatlöslichen Phosphate in der Gehaltsstufe C (mittel) (LKSH 2013). Die pH-Werte sind in die pH-Klasse B (niedrig) einzuordnen (VDLUFA 2000). Es waren somit zu den Beprobungsterminen noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit gegeben bzw. eine erhöhte Löslichkeit von Schwermetallen möglich.

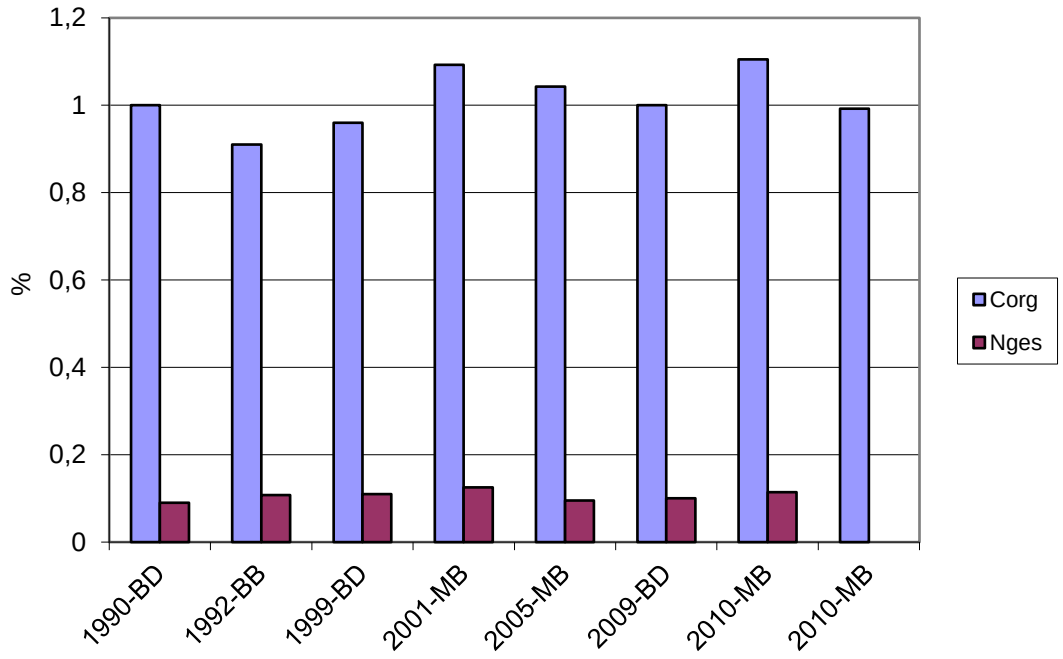
Tab. BDF19-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**			**%**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	<0,1	-	-	1,00	0,96	1,00	0,09	0,11	0,10	4,94	5,57	5,41
SD	-	-	-	0,29	0	0,01	0,03	0	0	0,25	0,06	0,06

	K_2O			**P_2O_5**		
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	7,43	11,97	13,21	29,96	21,67	27,23
SD	1,22	0,91	2,97	4,39	1,26	1,04

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. – nicht bestimmt

Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster und aus bodenmikrobiologischen Untersuchungen auf der BDF 19 bestätigen für organischen Kohlenstoff sowie für Gesamtstickstoff die Daten der Boden-Dauerbeobachtung (s. Abb. BDF19-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF19-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Untersuchungen zeigen, dass auf dieser ackerbaulich genutzten Fläche in einem Zeitraum von 19 Jahren keine größeren Änderungen der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden festzustellen sind (s. Tab. BDF19-2).

Tab. BDF19-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	3,86	3,19	3,04	0,21	0,25	0,20	23,46	23,67	22,67	<10	12,20	10,93
SD	1,74	0,05	0,08	-	0,01	0,01	4,14	0,61	0,91	-	1,06	0,91
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	8,86	7,45	7,77	14,68	17,03	13,97	40,66	40,6	37,93	0,04	n.b.	n.b.
SD	2,61	1,75	0,97	6,69	1,21	0,15	16,33	1,8	0,49	0,01	-	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Es zeigen sich leicht abnehmende, nicht signifikante Tendenzen bei Arsen und Zink. Die Gehalte an Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink unterschreiten bereits als Gesamtgehalte die Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (90. Perzentil, Acker/Hohe Geest). Die Gesamtgehalte an Arsen, Cadmium und Nickel liegen unterhalb des 95. Perzentils (Acker/Hohe Geest). Nur die Chromgesamtgehalte liegen leicht höher, unterschreiten jedoch den Maximalwerte deutlich (LLUR 2011). Da die Königswassergehalte für Chrom laut Literaturangaben ca. 57 % der Gesamtgehalte erfassen, kann auch für Chrom von unbedenklichen Hintergrundgehalten ausgegangen werden. Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) bzw. der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (10 mg/kg TM) werden deutlich eingehalten (LLUR 2011).

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Entsprechend des vorwiegend sandigen Ausgangsmaterials ist die effektive Kationenaustauschkapazität im Oberboden als gering einzustufen. Die Zunahme der Kationenaustauschkapazität ist zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung als signifikant zu betrachten. Im Rahmen der fast zwanzigjährigen Beobachtung wurde zudem bedingt durch regelmäßige Kalkdüngung eine signifikante Zunahme des austauschbaren Calciums nachgewiesen (s. Tab. BDF19-3).

Tab. BDF19-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittel-wert	3,14	3,31	4,08	0,13	0,3	0,3	0,64	0,62	0,48	0,02	0,06	0,06	0,24	<0,05	<0,05
SD	0,24	0,11	0,14	0,03	0,01	0,06	0,01	0,01	0,12	-	0	0	-	-	-
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittel-wert	<0,3	0,05	<0,02	<0,01	<0,02	<0,02	0,18	0,25	0,25	4,06	4,21	4,55			
SD		0,01	-	-	-	-	0,08	0,01	0,01	0,27	0,09	0,24			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1990 auf einem Altmoränenrücken der Hohenwestedter Geest eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 19, eine Pseudogley-Parabraunerde, zeigt bei den allgemeinen bodenchemischen Parametern wie C_{org}, N_{ges} und pH-Wert keine Veränderungstendenzen im Untersuchungszeitraum. Der Standort weist eine niedrige Versorgung mit pflanzenverfügbarem Kalium und ein mittlere mit pflanzenverfügbarem Phosphat auf. Im Hinblick auf die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen weist der Standort keine signifikanten Veränderungen auf. Die Gehalte befinden sich im Bereich unbedenklicher Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins. Der Boden weist entsprechend des Ausgangsmaterials eine geringe Kationenaustauschkapazität und somit ein geringes Vermögen auf, Nähr- oder Schadstoffkationen zu binden.

3.1.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bokhorst (BDF23)

Die im Jahre 1992 auf der Hohenwestedter Geest (Heide-Itzehoer Geest) im Kreis Steinburg eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche unterlag mehrfach wechselnden Nutzungen (Acker-/Grünland). Das Umfeld der BDF23 zeigt eine für die Grundmoränenplatten und Endmoränen der Altmoränenlandschaft charakteristische Bodenvergesellschaftung von Braunerden bis Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebesand und gering verbreitet Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über tiefem Geschiebelehm. Bei dem Leitprofil handelt es sich um eine Braunerde aus Geschiebedecksand über drenthestadialem Schmelzwassersand. Seit dem Bewirtschafterwechsel im Jahre 1996 wird diese ursprüngliche Wechselweide ausschließlich intensiv ackerbaulich genutzt. Im Rahmen der Einrichtung erfolgten die Leitprofil- und die Erstbeprobung im Jahre 1992. Als Bodenarten des Oberbodens wurden zu den Beprobungsterminen zwischen 1992 und 2009 mittelsandi-

ger Feinsand, schwach toniger Sand, schwach schluffiger Sand und schwach lehmiger Sand vorgefunden.

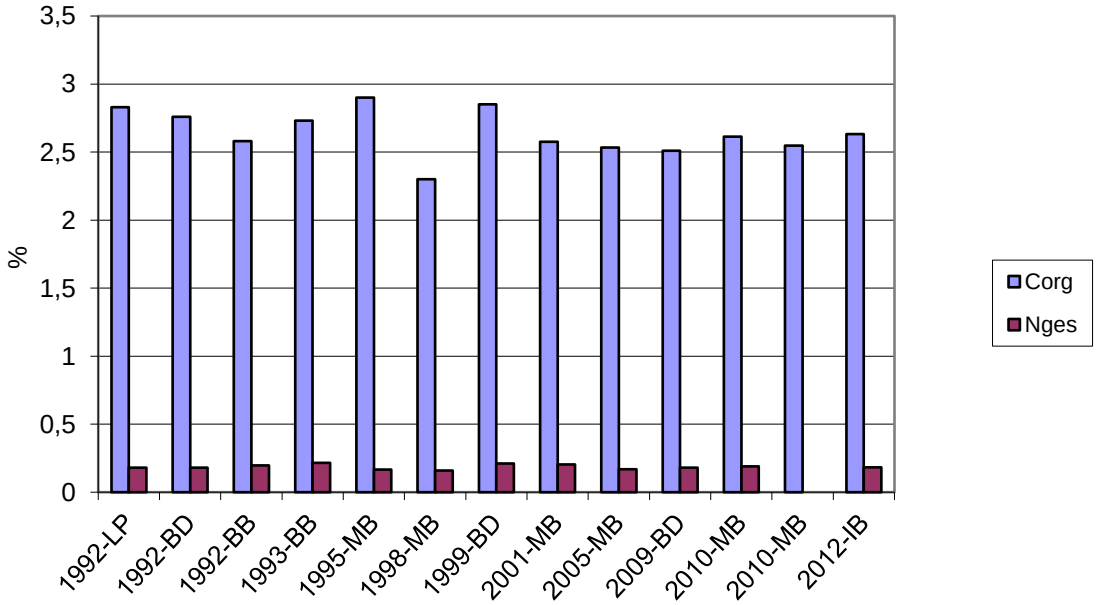
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der stark humose Oberboden zeigt bewirtschaftungsbedingte Veränderungen bei den pH-Werten, den Gesamtstickstoff- sowie den doppellaktatlöslichen Phosphat- und Kaliumgehalten. Die Kaliumgehalte liegen in der Gehaltsklasse C bis D (mittel bis hoch), die Phosphatgehalte in der Gehaltsklasse C (mittel) (LKSH 2013) (s. Tab. BDF23-1). Die pH-Werte sind im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit bei der Erstbeprobung in die pH-Klasse B (niedrig) einzustufen. Bei den Wiederholungsbeprobungen ist der Boden optimal eingestellt (pH-Klasse C) (VDLUFA 2000). Die C/N-Verhältnisse liegen etwa zwischen 13 und 15 und können als typische Werte für Oberböden von Ackerflächen angesehen werden.

Tab. BDF23-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	2,76	2,85	2,51	0,18	0,21	0,18	5,52	6,17	6,15
SD	0,06	0,06	0,07	0,01	0,01	0	0,05	0,15	0,05
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	21,5	24,6	18,03	21,8	27,7	30,97			
SD	1,58	0,46	1,40	1,78	7,22	1,46			

Die vorliegenden Daten der Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff werden durch Ergebnisse im Rahmen weiterer Untersuchungen auf dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche bestätigt (s. Abb. BDF23-1).



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung IB-Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung

Abb. BDF23-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

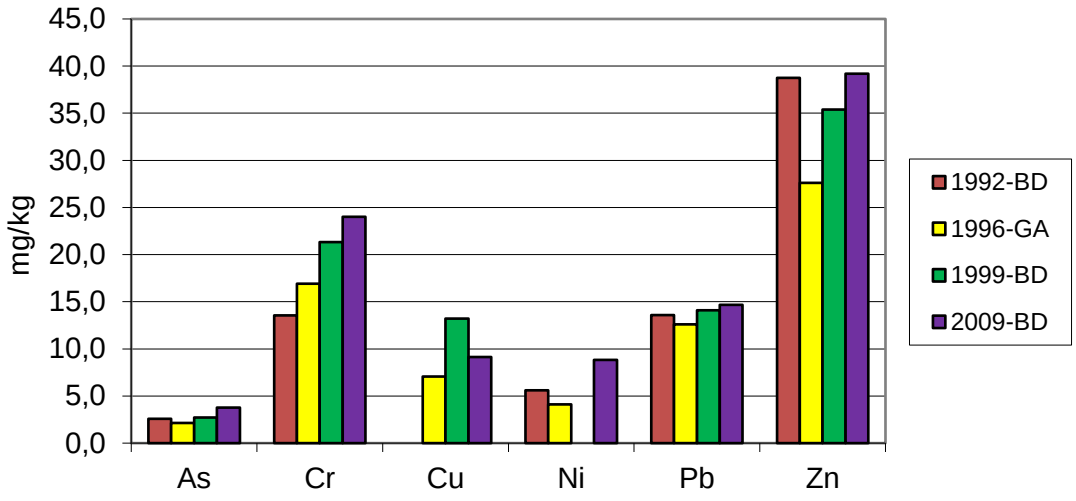
Dieser sandige Standort zeichnet sich durch relativ geringe Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden aus. Die Gesamtgehalte an Blei, Zink, Kupfer und Quecksilber liegen unterhalb des 90. Perzentilwertes (Acker/Hohe Geest) der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (LLUR 2011). Die Gesamtgehalte an Cadmium, Nickel und Chrom werden z. T. erst durch das 95. Perzentil erfasst. Da laut Literaturangaben die in Königswasserextrakt ermittelten Hintergrundwerte für Chrom einen Anteil von 57 %, für Cadmium 82 % und für Nickel 85 % an den Gesamtgehalten haben (LLUR 2011), ist anzunehmen, dass Cadmium und Nickel nur leicht über dem 90er-Perzentilwert liegen. Die Gehalte an Chrom und auch Arsen steigen signifikant an, jedoch auch die höheren Gehalte liegen auf einem typischerweise vorkommenden Niveau des Naturraums. Bei den übrigen Elementen sind die Veränderungstendenzen nicht eindeutig (s. Tab. BDF23-2). Die Vorsorgewerte (BBodSchV 1999) sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) werden bereits als Gesamtgehalte zu allen Terminen deutlich unterschritten.

Tab. BDF23-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	2,58	2,71	3,78	<0,2	<0,2	0,24	13,54	21,33	24	<10	11,07	9,12
SD	0,22	0,57	0,07	-	-	0	0,35	0,74	0,69	-	-	0,6
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	5,31	<5	8,83	13,59	14,1	14,67	38,74	35,4	39,2	0,05	0,05	<0,044
SD	-	-	4,44	1,45	0,53	1,04	2,29	1,32	0,4	0,01	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Im Rahmen der Erstellung des Geochemischen Atlas wurden 1996 Bodenproben gewonnen und auf Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink im Gesamtaufschluss untersucht. Die Ergebnisse sind Abbildung BDF23-2 zu entnehmen. Bei Chrom zeichnet sich auch hier tendenziell ein kontinuierlicher Anstieg der Gehalte ab.



BD-Boden-Dauerbeobachtung GA-Geochemischer Atlas

Abb. BDF23-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität des stark humosen Oberbodens und somit das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen ist in den mittleren Bereich einzustufen. Die austauschbaren Kationen sowie auch die effektive Kationenaustauschkapazität weisen keine Veränderungstendenzen im mineralischen Oberboden auf (s. Tab. BDF23-3).

Tab. BDF23-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	5,98	9,95	8,37	0,51	0,6	0,37	0,63	<0,01	0,83	0,08	0,08	<0,06	1,09	<0,01	<0,05
SD	0,89	0,13	0,06	0,02	0,01	0,04	0,07	-	0,03	0,03	0,01	-	0,42	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	<0,01	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,02	<0,01	0,02	8,32	10,17	9,59			
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0	0,55	0,06	0,06			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Bei der im Jahre 1992 auf der Hohenwestedter Geest eingerichteten Boden-Dauerbeobachtungsfläche 23, einer Braunerde aus Geschiebedecksand, werden bei dem Gehalt an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff und pH-Wert keine Tendenzen einer Veränderung beobachtet. Der Standort weist eine mittlere bis hohe Versorgung mit pflanzenverfügbarem Kalium sowie eine mittlere Versorgung mit pflanzenverfügbarem Phosphat auf. Die Schwermetall- und Arsengesamtgehalte sind als unbedenklich einzustufen. Chrom und auch Arsen zeigen nach derzeitiger Datenlage zwar einen signifikanten Anstieg der Gehalte, jedoch auch die höheren Gehalte liegen im Bereich natürlicher Hintergrundwerte. Bezüglich der Entwicklung der effektiven Kationenaustauschkapazität und der Gehalte an austauschbaren Kationen sind für den Beobachtungszeitraum keine Veränderungstendenzen erkennbar. Bedingt durch das zwar vorwiegend sandige, aber stark humose Oberbodenmaterial liegt die effektive Kationenaustauschkapazität im mittleren Bereich.

3.1.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bornhöved (BDF24)

Die im Jahre 1989 auf einem Moränenrücken im Bereich der „Bornhöveder Seenkette“ (Holsteinische Schweiz) im Kreis Plön eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird ackerbaulich genutzt. Der Standort gehörte in den 90er Jahren zu den Hauptuntersuchungsflächen des Forschungsvorhabens „Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette“ der Universität Kiel. Das Umfeld der BDF24 zeigt eine für die Jungmoränenlandschaft des Projektgebietes charakteristische Vergesellschaftung von Braunerden bis Bänderparabraunerden aus Schmelzwassersand oder Geschiebedecksand mit Schluff- und Lehmlagen über Schmelzwassersand sowie gering verbreitet Pseudogley-Braunerden und Braunerde-Parabraunerden aus Schmelzwassersand oder Geschiebedecksand über Geschiebelehm. Bei dem Leitprofil handelt es sich um eine Braunerde aus Geschiebedecksand über Schmelzwassersand. Der ursprünglich intensiv in Mais-Monokultur genutzte Standort wird seit 1996 extensiv ackerbaulich bewirtschaftet. Die Ackernutzung zeichnet sich durch eine

geringe Intensität und weite Fruchtfolgen aus. Die Leitprofilbeprobung erfolgte im Rahmen der Einrichtung 1989, die Erstbeprobung fand 1994 statt. Im Rahmen der drei Messtermine wurden als Bodenart des Oberbodens schwach schluffiger Sand, schwach lehmiger Sand und schwach toniger Sand ermittelt. Dies spricht für einen heterogenen Standort.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der sandige Boden des Standorts zeichnet sich durch einen schwach humosen Oberboden mit relativ niedrigen pH-Werten aus. Die pH-Werte sind in die pH-Klasse A bis B (sehr niedrig bis niedrig) einzustufen, so dass von Beeinträchtigungen im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sowie von erhöhter Löslichkeit von Schwermetallen ausgegangen werden muss (VDLUFA 2000). Bei den Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sind keine Tendenzen der Veränderung erkennbar. Die C/N-Verhältnisse liegen etwa zwischen 10 und 13 und können als typische Werte für Oberböden von Ackerflächen angesehen werden. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sind nutzungsbedingt starken Schwankungen unterworfen. Die Gehalte an Kalium liegen in der Gehaltsklasse B bis D (niedrig bis hoch), die Gehalte an Phosphat in der Gehaltsklasse C (mittel) (LKSH 2013)

Tab. BDF24-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**			**K_2O**			**P_2O_5**		
	%			**%**						**mg/100 g Boden**			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	1,03	1,14	1,03	0,10	0,09	0,09	4,38	5,23	4,87	19,88	6,47	15,80	24,26	21,60	30,97
SD	0,07	0,02	0,07	0	0	0	0,11	0,23	0,19	2,81	0,45	0,72	2,58	1,18	1,46

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff werden durch Ergebnisse im Rahmen weiterer Untersuchungen auf dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche bestätigt (s. Abb. BDF24-1).

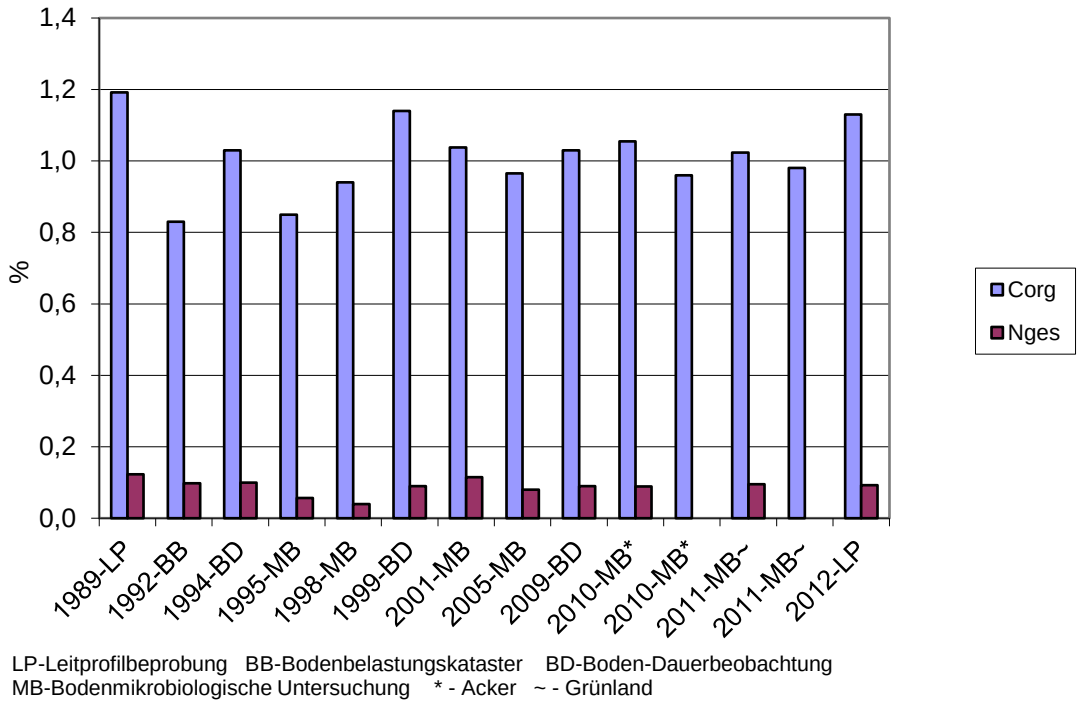


Abb. BDF24-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

An diesem sandigen Standort liegen die Schwermetall- und Arsengehalte im umweltrelevant unbedenklichen Bereich. Cadmium, Kupfer und Nickel sowie Quecksilber weisen z. T. Gesamtgehalte im mineralischen Oberboden unterhalb der Bestimmungsgrenzen auf. Die übrigen Schwermetalle, Chrom, Blei und Zink, sowie Arsen zeigen schwankende Gehalte. Veränderungstendenzen zeigen sich über die drei Beobachtungstermine nicht.

Tab. BDF24-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	1,71	1,32	2,70	<0,2	<0,2	0,17	12,44	15,63	12,77	<10	<10	6,17
SD	-	0,57	0,04	-	-	0,01	-	1,17	1,05	-	-	0,77
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	9,27	16,40	14,53	17,70	28,33	24,73	32,37	0,04	0,03	<0,044
SD	-	-	2,14	3,38	1,33	0,95	0,77	2,20	6,63	0	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Bis auf Nickel unterschreiten die Schwermetalle und Arsen bereits als Gesamtgehalte die Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (90. Perzentil,

Acker/Sand). Nickel unterschreitet das 95. Perzentil (Acker/Sand) der Hintergrundwerte (LLUR 2011). Die Gesamtgehalte an Schwermetallen liegen deutlich unter den Vorsorgewerten (BBODSCHV 1999). Auch der Gesamtgehalt für Arsen unterschreitet den Vorsorge-Hilfswert-SH deutlich (LLUR 2011).

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Diese Boden-Dauerbeobachtungsfläche zeichnet sich entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials durch eine sehr geringe Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden aus. Es wird eine leichte Zunahme des Gehaltes an austauschbarem Calcium beobachtet, bei den übrigen Kationen zeigen sich lediglich Schwankungen der Gehalte (s. Tab. BDF24-3). Durch die sehr geringe Kationenaustauschkapazität ergibt sich eine erhöhte Gefährdung der Auswaschung von Nähr- und Schadstoffkationen aus dem Boden ins Grundwasser.

Tab. BDF24-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	1,26	1,78	1,87	0,45	0,13	0,33	0,24	0,11	0,23	0,03	0,03	<0,06	0,08	0,17	<0,05
SD	0,07	0,11	0,36	0,01	0,06	0,04	0,04	0,01	0,09	-	-	-	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009			
Mittelwert	0,44	<0,3	0,23	<0,01	<0,01	<0,02	0,17	0,09	0,09	2,68	2,29	2,43			
SD	0,0,2	-	0,08	-	-	-	0,02	0,01	0,01	0,08	0,36	0,56			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1989 auf einem Moränenrücken im Bereich der „Bornhöveder Seenkette“ (Holsteinische Schweiz) eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 24, eine Braunerde aus Geschiebedecksand, zeigt im mineralischen Oberboden geringe Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff. Die pH-Werte liegen im stark bis mäßig sauren Bereich und sind für ackerbauliche Nutzung als zu niedrig einzustufen. Es ist von erhöhter Freisetzung von Schwermetallen auszugehen. Die pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte schwanken stark. Der Standort weist niedrige bis hohe Vorräte an Kalium und mittlere Vorräte an pflanzenverfügbarem Phosphat auf. Die Schwermetall- und Arsengesamtgehalte liegen im umweltrelevant unbedenklichen Bereich der Hintergrundwerte und unterschreiten die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Entsprechend des Ausgangsmaterials ist die Kationenaustauschkapazität als sehr gering einzustufen, so dass eine erhöhte

Gefährdung der Auswaschung von Nähr- und Schadstoffkationen gegeben ist. Veränderungstendenzen wurden nicht festgestellt.

3.1.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Pinneberg (BDF31)

Im Jahre 1991 wurde auf dem Gelände einer Baumschule der Barmstedt-Pinneberger Geest (Kreis Pinneberg) eine Boden-Dauerbeobachtungsfläche eingerichtet. Die Altmoränenlandschaft der Barmstedt-Pinneberger Geest gehört zum größten in sich geschlossenen Baumschulgebiet Europas. Im Umfeld der BDF31 dominieren Braunerden bis Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksand über saalezeitlichem Geschiebesand und gering verbreitet Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über tiefem Geschiebelehm. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Braunerde-Hortisol aus anthropogen umgelagertem Sand über Geschiebedeck- und Schmelzwassersand. Als Bodenart des Oberbodens wurde bei allen drei Beprobungen schwach schluffiger Sand festgestellt. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahre 1991. Vor 1988 wurde dieser Standort über 10 Jahre landwirtschaftlich genutzt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Oberboden ist als mittel bis stark humos einzustufen. Es wurde eine signifikante Abnahme der Gehalte an organischem Kohlenstoff von 1991 bis 2009 festgestellt. Aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung vor 1988 kann davon ausgegangen werden, dass sich noch kein der gegenwärtigen Nutzung als Baumschule entsprechendes Gleichgewicht eingestellt hat. Hier bedarf es einer weiteren Beobachtung zur Absicherung dieser Veränderung. Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen ca. 17 und 19, so dass noch keine Festlegung von mineralischem Stickstoff bei Abbau organischer Bodensubstanz stattfindet. Die pH-Werte zeigen eine mäßig bis schwach saure Bodenreaktion.

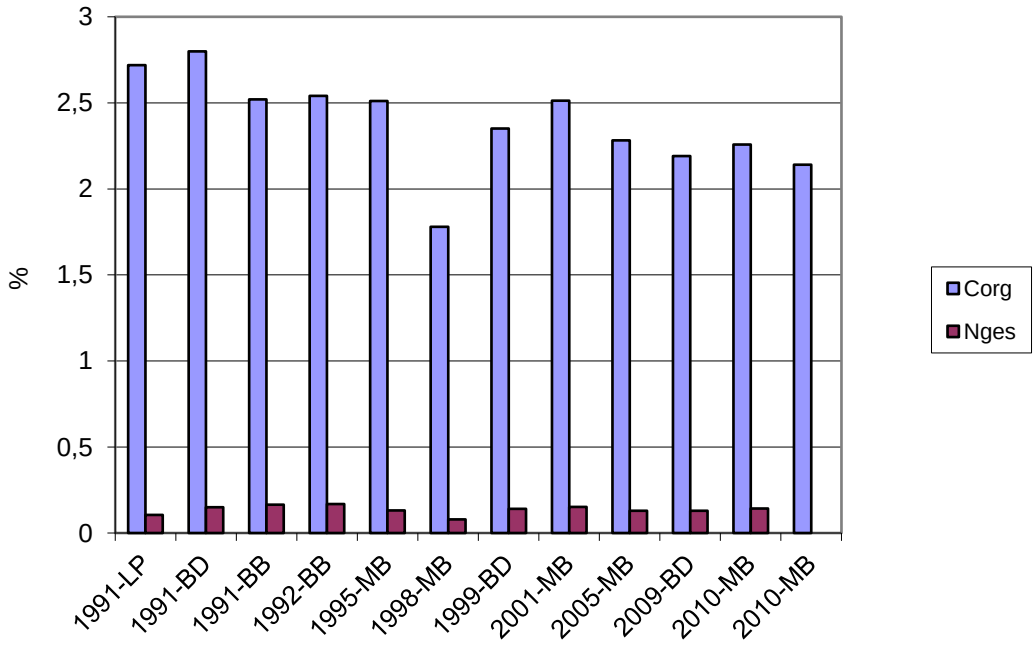
Tab. BDF31-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	2,80	2,35	2,19	0,15	0,14	0,13	5,18	5,47	4,93
SD	0,11	0,31	0,06	0,01	0,02	0	0,03	0,03	0,03
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	14,93	22,33	14,87	42,75	37,10	34,13			
SD	1,53	7,16	1,00	5,07	7,83	1,69			

Erfolgt für diese Fläche (Baumschule) eine Einstufung wie für ackerbaulich genutzte Flächen, so ist der Boden in die pH-Klasse B (niedrig) einzustufen. Demnach kann noch nicht von optimalen Bedingungen im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit ausgegangen werden, hingegen aber von leicht erhöhter Löslichkeit von Schwermetallen

(VDLUFA 2000). Die doppellaktatlöslichen Kaliumgehalte sind in die Gehaltsklasse C bis D (mittel bis hoch), die doppellaktatlöslichen Phosphatgehalte in die Gehaltsklasse D (hoch) einzuordnen (LKSH 2013). Die Abnahme der Phosphat-Gehalte (s. Tab. BDF31-1) ist als nicht signifikant zu betrachten.

Die Erweiterung der Datenbasis im Hinblick auf die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen bestätigt im Wesentlichen die tendenzielle Abnahme der Gehalte an C_{org} im mineralischen Oberboden seit der Erstbeprobung 1991 (s. Tab. Abb. BDF31-1).



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF31-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Der sandige Boden des Standortes ist im Wesentlichen durch geringe Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden gekennzeichnet. In einigen Fällen liegen die Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die Gesamtgehalte an Arsen, Kupfer, Nickel und Zink liegen unterhalb des 90er-Perzentilwertes der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (Acker/Hohe Geest) (LLUR 2011). Die Cadmium- und Chromgehalte liegen unterhalb des 95er-Perzentilwertes. Blei überschreitet den 95er-Perzentilwertes einmalig zu Beginn der Untersuchung. Quecksilber überschreitet bei einmaliger Untersuchung im Jahr 1999 als einziges Schwermetall den Maximalwert der Hintergrundwerte für Ackerflächen der Hohen Geest (0,07 mg/kg TM). Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH (LLUR 2011) für Arsen werden jedoch bereits als Gesamtgehalte für Schwermetalle wie

auch Arsen eingehalten. Quecksilber unterschreitet als Gesamtgehalt den Vorsorgewert (0,1 mg/kg) knapp. Die Bleigehalte zeigen eine signifikant abnehmende Tendenz zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsuntersuchung.

Tab. BDF31-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden 1991 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	2,40	<0,5	2,16	0,25	<0,2	0,22	13,40	16,63	11,55	11,47	<10	8,19
SD	-	-	0,05	-	-	0,01	0,85	4,76	1,7	-	-	0,31
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	2,54	6,76	4,57	31,75	22,30	16,30	31,75	31,23	27,80	n.b.	0,09	n.b.
SD	0,17	1,32	1,68	3,68	0,17	0,36	1,65	3,35	0,98	-	0,01	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität kann entsprechend des mittel bis stark humosen Oberbodens und in Abhängigkeit vom aktuell vergleichsweise niedrigen pH-Wert als gering eingestuft werden. Mit abnehmenden Gehalten an organischer Substanz sowie geringeren Tongehalten der Bodenprobe nimmt die Kationenaustauchkapazität signifikant ab. In gleicher Weise sowie vor allem auch nutzungsbedingt ist eine signifikante Abnahme des Gehaltes an austauschbarem Calcium festzustellen. Für die übrigen Kationen zeigen sich keinerlei Tendenzen der Veränderung (s. Tab. BDF31-3).

Tab. BDF31-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	6,74	5,71	4,06	0,3	0,49	0,32	0,34	0,44	0,39	0,04	0,13	0,09	0,41	<0,05	<0,05
SD	0,56	0,35	0,08	0,02	0,05	0,01	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,03	0,7	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	0,11	<0,03	0,38	<0,01	<0,01	<0,02	0,02	0,04	0,04	7,86	5,08	4,81			
SD	0,04	-	0,05	-	-	-	0,01	0,01	0	1,24	0,55	0,11			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1991 auf dem Gelände einer Baumschule in der Altmoränenlandschaft Barmstedt-Pinneberger Geest eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 31, ein Braunerde-

Hortisol, zeichnet sich im Hinblick auf die Bodenart durch eine hohe Homogenität (schwach schluffiger Sand) aus. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff zeigt eine signifikant abnehmende Tendenz, die in weiteren Untersuchungen abzusichern wäre. Der Standort weist mittlere bis hohe pflanzenverfügbare Vorräte für Kalium sowie hohe pflanzenverfügbare Vorräte an Phosphat auf. Die Schwermetallgesamtgehalte sind als unbedenklich einzustufen. Zwar zeigt Quecksilber 1999 im Vergleich zu Hintergrundwerten für Ackerflächen der Hohen Geest höhere Gesamtgehalte, die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung werden jedoch auch von Quecksilber eingehalten, so dass der Boden uneingeschränkt nutzbar ist. Es lassen sich kaum Veränderungstendenzen bei den Schwermetall- und Arsengehalten erkennen. Lediglich Blei weist signifikant abnehmende Gesamtgehalte auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist als gering einzustufen.

3.1.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lindhof/Acker (BDF36)

Die 2001 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 36 befindet sich auf dem Versuchsgut für ökologischen Landbau der Universität Kiel in der naturräumlichen Einheit Schwansen, Dänischer Wohld in der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften. Die Ackerfläche weist entsprechend der ökologischen Bewirtschaftung eine vielfältige Fruchtfolge aus diversen Futterpflanzen, Kartoffeln und Getreidearten auf. Das Umland dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche auf dem Lindhof ist durch eine Vergesellschaftung von sandigen Braunerden, (Gley-)Kolluvisolen, Gleyen, Parabraunerden, Parabraunerde-Pseudogleyen, Pseudogley-Parabraunerden sowie Pseudogleyen und Niedermooren aus spätglazialen Deckschichten, Geschiebesanden und Geschiebelehmen sowie Niedermooren geprägt. Die betrachtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt auf einer ebenen Hochfläche. Das Leitprofil wird als Parabraunerde aus Geschiebedecklehm über weichselzeitlichem Geschiebelehm und -sand angesprochen. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahr 2001 bzw. 2002. Die erste Wiederholungsbeprobung fand im Jahr 2009 statt. Als Oberbodenart dominiert lehmiger Sand.

Allgemeine bodenchemische Parameter

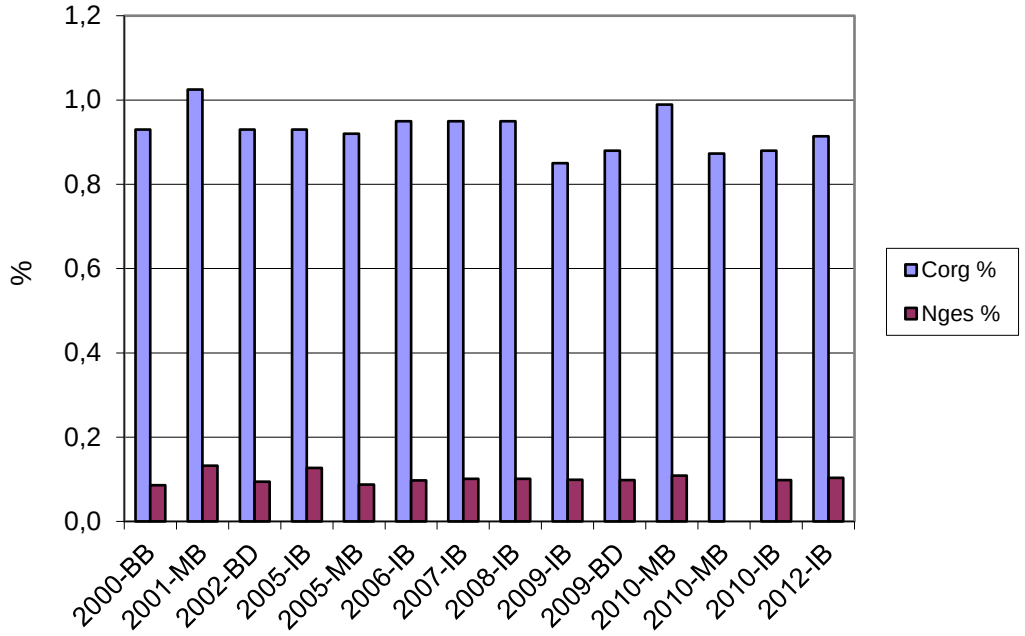
Im schwach humosen Oberboden zeigt sich ein für landwirtschaftlich genutzte Flächen enges, aber typisches C/N-Verhältnis von etwa 9-10. Die sehr schwach saure Bodenreaktion ist im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit in die pH-Klasse C bis D (optimal bis hoch) einzustufen (VDLUFA 2000).

Tab. BDF36-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden von 2002 und 2009

	C_{org}		**N_{ges}**		**pH-Wert**		**K_2O**		**P_2O_5**	
	%		**%**				**mg/100 g Boden**		**mg/100 g Boden**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	0,93	0,88	0,09	0,10	6,12	6,68	27,53	17,17	13,38	13,43
SD	0,02	0,02	0,01	0	0,13	0,18	6,47	1,51	1,07	0,61

Entsprechend der Nutzung sind die Gehalte an doppellaktatlöslichem Phosphat und Kalium in die für ertragreiches Pflanzenwachstum anzustrebende Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013). Die Ergebnisse der beiden Beprobungen können der Tabelle BDF36-1 entnommen werden.

Seit 2005 werden an dieser Fläche im Rahmen der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung neben der wöchentlichen Erfassung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser zur Charakterisierung der Austragssituation jeweils im Frühjahr Bodenproben entnommen. Diese sowie Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen zu Gehalten an C_{org} und N_{ges} auf dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche zeigt Abbildung BDF36-1. Tendenzen der Veränderung sind weder für den Gehalt an organischer Substanz noch für den Gehalt an Gesamtstickstoff festzustellen.



BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung BD-Boden-Dauerbeobachtung IB-Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung

Abb. BDF36-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden (s. Tab. BDF36-2) weisen Werte unterhalb des 90er-Perzentilwertes (Acker/Östliches Hügelland) der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011) auf. Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen werden bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden der Boden-Dauerbeobachtungsfläche sind als unbedenklich einzustufen

Tab. BDF36-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 2002 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Pro-benahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	4,59	4,89	<0,35	0,20	29,63	27,53	10,30	9,82
SD	0,58	0,16	-	0,01	0,33	0,91	-	0,29
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Pro-benahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	11,10	12,33	14,77	14,77	44,82	41,87	0,04	0,05
SD	1,36	0,80	1,25	0,81	10,92	0,91	0	0

Die um Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster erweiterte Datenbasis scheint eine geringfügige Zunahme der Gehalte an Nickel und Blei und eine Abnahme der Gehalte an Chrom und Zink anzudeuten. Für die Gehalte an Arsen liegen nur die beiden Werte aus der Boden-Dauerbeobachtung vor (s. Abb. BDF36-2).

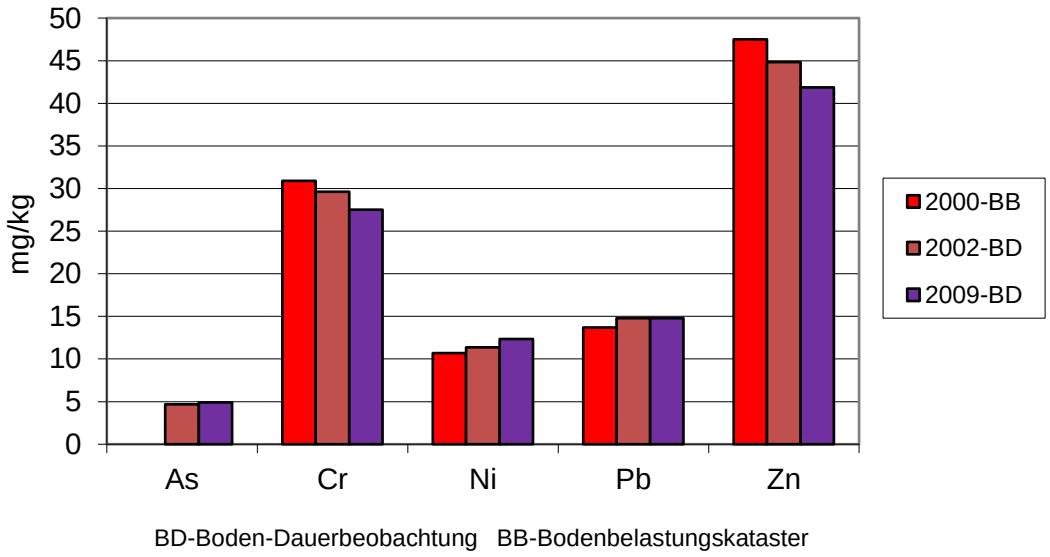


Abb. BDF36-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Im schwach humosen Oberboden dieses Ackerstandortes weist die effektive Kationenaustauschkapazität durch den geringen Tongehalt des sandig-lehmigen Mineralbodens ein eher geringes Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffe auf. Die Austauscher sind bewirtschaftungsbedingt vornehmlich mit basischen Kationen, insbesondere Calcium, Kalium und Magnesium, belegt. Die Gehalte an austauschbaren Kationen und die effektive Kationenaustauschkapazität können Tabelle BDF36-3 entnommen werden.

Tab. BDF36-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im Oberboden 2002 und 2009

	Ca		K		Mg		Na		H	
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	5,75	5,87	0,53	0,42	0,46	0,71	0,03	<0,06	<0,01	<0,05
SD	0,49	0,17	0,03	0,01	0,02	0,01	-	-	-	-

	Al		Fe		Mn		KAK	
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	<0,3	<0,02	<0,01	<0,02	0,07	0,16	6,08	7,16
SD	-	-	-	-	0,01	0,01	0,78	0,15

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 36 in der naturräumlichen Einheit Schwansen, Dänischer Wohld (Östliches Hügelland), eine Parabraunerde, befindet sich auf einer unter Ackernutzung befindlichen Fläche des Versuchsgutes für ökologischen Landbau der Universität Kiel. Im schwach humosen, sehr schwach sauren Oberboden zeigt sich ein für landwirtschaftlich genutzte Flächen anzustrebender Vorrat an pflanzenverfügbarem Phosphat und Kalium. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen entsprechen den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden im Östlichen Hügelland. Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) für Schwermetalle wie auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen werden eingehalten. Die Gehalte sind als unbedenklich einzustufen. Die effektive Kationenaustauschkapazität weist aufgrund des geringen Tongehalts des sandig-lehmigen Oberbodens ein eher geringes Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffe auf. Entsprechend des derzeit lediglich aus zwei Beprobungsterminen bestehenden Datenmaterials können erst nach weiteren Untersuchungen mögliche Tendenzen der Veränderung festgestellt werden.

3.1.8 Bewertender Überblick Gruppe 1: Acker/Sand

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen weisen deutliche Unterschiede im Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden (0,9 bis 4,0 % C_{org}) auf. Der höchste Gehalt an organischem Kohlenstoff ist auf der BDF 09, einem Gley-Podsol, festzustellen. Tendenziell finden sich die höchsten C/N-Verhältnisse bei den Ackerflächen der podsolierten Böden. Signifikante Änderungen des Gehaltes an organischer Substanz mit abnehmenden Tendenzen wurden bis 2009 lediglich auf der BDF 04 und 31 festgestellt. Auf den übrigen Boden-Dauerbeobachtungsflächen zeigen sich keine Veränderungstendenzen. In Abhängigkeit von Ton- und Humusgehalt sowie pH-Wert variiert die Einstufung der effektiven Kationenaustauschkapazität von sehr gering bis gering. Dies ist gleichbedeutend mit einem sehr geringen bis geringen Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen. Sofern im Untergrund sandige und somit sorptionsschwache Schichten vorliegen, ist bei geringer Kationenaustauschkapazität von einer erhöhten Auswaschungsgefährdung des Standortes auszugehen.

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen in der Regel im Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins und können somit als umweltrelevant unbedenklich angesehen werden. Lediglich auf der BDF 31 (Baumschulstandort) überschreitet der Gesamtgehalt an Quecksilber im Jahr 1999 den Maximalwert der Hintergrundwerte (Acker/Hohe Geest) leicht. Der Vorsorgewert der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung wird jedoch als Gesamtgehalt noch eingehalten.

3.2 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 2: Acker/Lehm

3.2.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Gintoft (BDF05)

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im nordöstlichen Bereich der Teillandschaft Angeln (Hauptnaturraum Östliches Hügelland) im Kreis Schleswig-Flensburg. Die ausschließlich als Marktfruchtstandort (Acker) genutzte Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im unmittelbaren Hinterland der Flensburger Förde (westlich der „Geltinger Bucht"), das eine für die Jungmoränenlandschaft typische Vergesellschaftung von Parabraunerden bis Pseudogley-Parabraunerden bzw. (Norm-)Pseudogleyen aus Geschiebelehm (z. T. über Geschiebemergel) und gering verbreiteten Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm zeigt. In Senkenlagen sind diese Bodentypen vergesellschaftet mit Kolluvisolen über Geschiebelehm. Bei dem Bodentyp der Boden-Dauerbeobachtungsfläche handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel. Die Leitprofil- und Erstbeprobung fand im Rahmen der Einrichtung 1990 statt. Bezüglich der Korngrößenverteilung wiesen die entnommenen Proben der Erstbeprobung und der Wiederholungsbeprobungen Unterschiede auf. Es wurden stark schluffiger Sand, lehmiger bis stark lehmiger Sand sowie schluffig-lehmiger Sand als Bodenart ermittelt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Oberboden der Boden-Dauerbeobachtungsfläche ist als mittel humos zu bezeichnen. Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 8 und 10 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Die doppellaktatlöslichen Kalium- und Phosphatgehalte sind in die Nährstoff-Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013).

Tab. BDF05-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**			**K_2O**			**P_20_5**		
	%			**%**						**mg/100 g Boden**			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	1,26	1,24	1,3	0,13	0,15	0,14	6,52	7,37	6,89	22,7	17,1	19,9	29,98	19,6	18,6
SD	0,03	0,03	0,02	0,01	0	0	0,03	0,06	0,06	3,19	1,21	1,53	2,04	5,86	0,64

Die pH-Werte sind als sehr schwach sauer bis sehr schwach alkalisch zu bezeichnen und in die pH-Klassen C und D (optimal und hoch), 1999 mit 7,4 in die pH-Klasse E (sehr hoch) einzustufen (VDLUFA 2000). Somit liegen die pH-Werte z. T. deutlich oberhalb des Optimalbereichs für das Pflanzenwachstum, da hierdurch die Gefahr einer Festlegung von Spurenelementen gegeben ist.

Die Einbeziehung von Ergebnissen aus weiteren Untersuchungen zum Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie auch Gesamtstickstoff bestätigt einen nahezu konstanten Gehalt beider Parameter (s. Abb. BDF05-1).

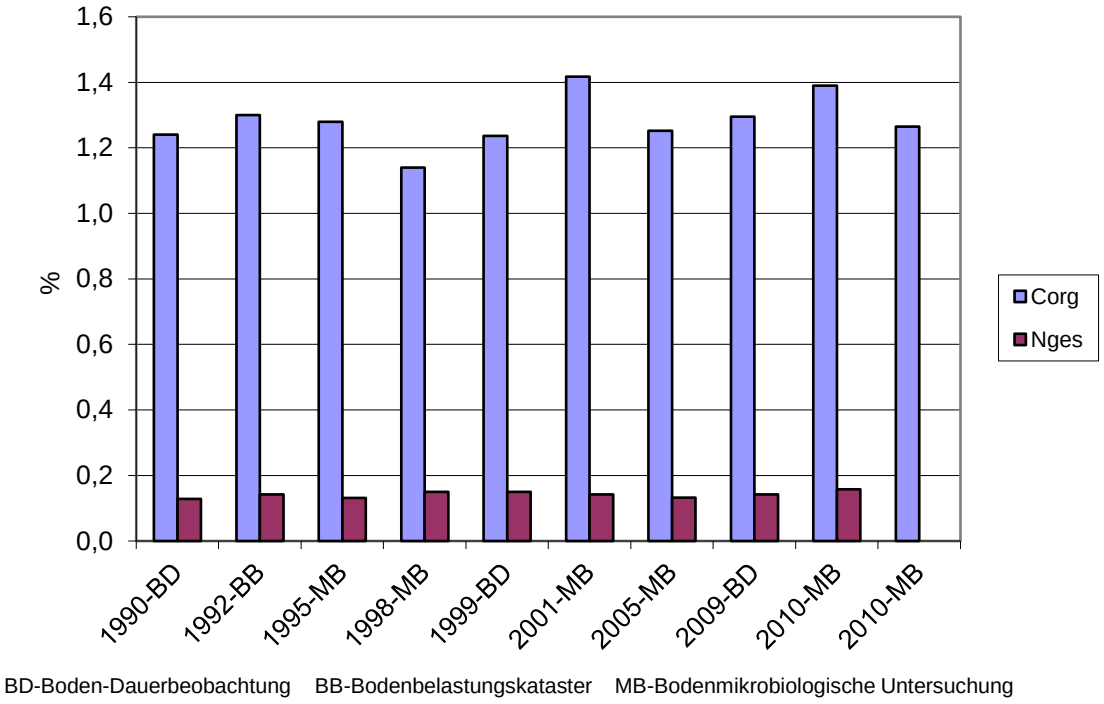


Abb. BDF05-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} unter Einbeziehung der Ergebnisse weiterer Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Vergleicht man die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen mit den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (LLUR 2011), so sind die Gehalte auf der betrachteten Boden-Dauerbeobachtungsfläche als noch landesteiltypische Gehalte des Östlichen Hügellandes einzustufen (s. Tab. BDF05-2). Die Gehalte an Kupfer, Blei, Zink und Quecksilber liegen im Bereich des 90er-Perzentilwertes (Acker/Östliches Hügelland) der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“. Chrom und Nickel zeigen 1999 zwar höhere Werte, die auch durch Nachanalysen bestätigt wurden, jedoch liegen sie wie auch Cadmium und Arsen unterhalb der Maximalwerte. Da die in Königswasser aufgeschlossenen Gehalte laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) lediglich ca. 57 % (Chrom), 85 % (Nickel) bzw. 82 % (Cadmium) der Gesamtgehalte erfassen, dürfte angenommen werden, dass die ermittelten Gesamtgehalte an Schwermetallen auch 1999 im Bereich der natürlichen Hintergrundwerte liegen. Die Vorsorgewerte der BUNDES-

BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) werden für alle Schwermetalle bereits als Gesamtgehalte eingehalten, auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) wird deutlich unterschritten. Blei weist zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikant sinkende Gehalte auf. Weitere Untersuchungen können diese Veränderungstendenz für Blei absichern.

Tab. BDF05-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	5,79	2,73	5,90	<0,2	<0,2	0,27	32,39	48,87	32,27	11,48	<10	12,07
SD	0,69	1,25	0,05	-	-	0	0,94	1,17	0,21	0,20	-	0,38
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	15,25	22,53	12,93	20,9	19,03	16,90	56,67	60,63	54,70	0,06	0,06	n.b
SD	1,46	1,71	1,10	1,69	0,49	0,10	0,94	0,72	0,10	0,01	0	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Im Rahmen eines Vorhabens der Ostseeanrainerstaaten zur Kennzeichnung von Spurenelementgehalten im Boden (Erstellung eines geochemischen Atlas) wurden die Gehalte an Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink im Gesamtaufschluss untersucht. Die Ergebnisse bestätigen - mit Ausnahme der höheren Chrom- und Nickelgehalte 1999 - die Daten der Boden-Dauerbeobachtung (s. Abb. BDF05-2).

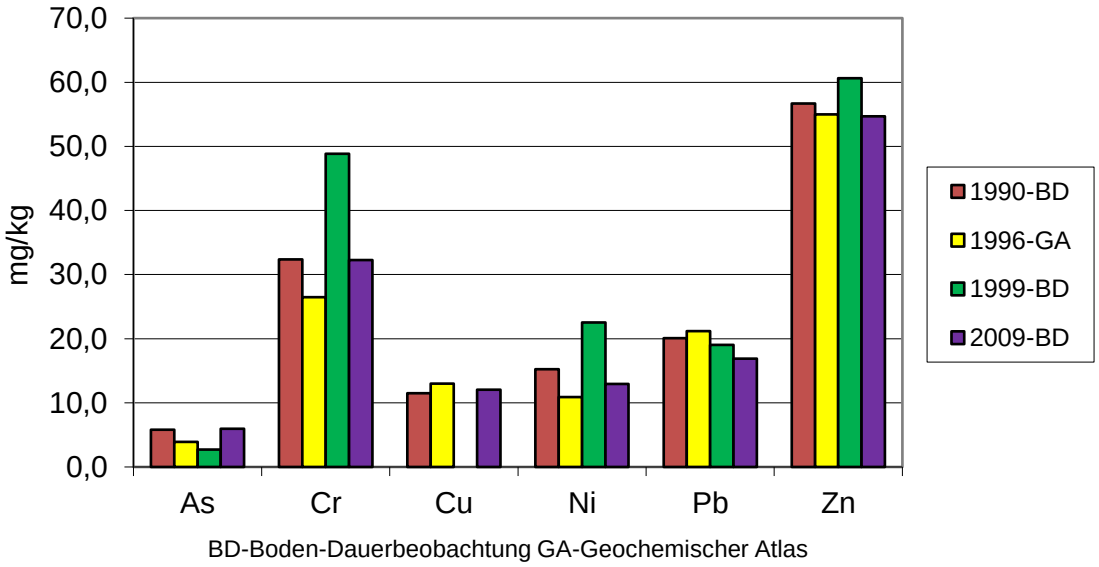


Abb. BDF05-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität des Oberbodens entspricht einer mittleren Einstufung im Hinblick auf das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen. Die austauschbaren Anteile an Magnesium und Kalium nehmen zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikant ab. Alle anderen Kationen zeigen schwankende Werte (s. Tab. BDF05-3).

Tab. BDF05-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	7,1	9,85	9,03	0,59	0,43	0,42	1,71	1,23	0,7	0,09	0,05	0,08	<0,01	<0,01	<0,05
SD	0,17	0,5	0,13	0,03	0,06	0,04	0,07	0,03	0,07	0,02	0,01	0	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,09	0,03	0,08	9,07	11,6	9,1			
SD	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0,32	0,50	0,24			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 05 in Angeln, eine Pseudogley-Parabraunerde, zeigt im mittel humosen Oberboden eine mittlere effektive Kationenaustauschkapazität und somit ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen. Die pH-Werte liegen z. T. oberhalb des Optimalbereichs, so dass von einer Festlegung von Spurenelementen im Boden ausgegangen werden kann. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Kalium und Phosphat liegen in der anzustrebenden mittleren Gehaltsklasse C. Für die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen dürfte angenommen werden, dass sie im Bereich der typischen Hintergrundgehalte des Östlichen Hügellandes liegen. Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sowie auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen werden bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Die signifikant sinkenden Gehalte an Blei werden in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

3.2.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Sönke-Nissen-Koog (BDF06)

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im Bereich des 1924-1926 eingedeichten Sönke-Nissen-Kooges (Teillandschaft Nordfriesische Marsch) im Kreis Nordfriesland. Entsprechend der relativ jungen Bodenentwicklung dominieren im Umfeld der Boden-Dauerbeobachtungsfläche Kalkmarschen aus sandigen bis schluffigen, gering verbreitet auch schluffigen bis tonigen Sedimenten mariner Herkunft (Wattenschlick). Beim Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche handelt es sich um eine Kalkmarsch aus tonigem

Schluff über schluffigen Sanden. Die Leitprofilbeprobung fand 1989, die Erstbeprobung 1993 statt. Im Rahmen der Erst- und Wiederholungsbeprobungen wurden schluffiger Lehm, schwach toniger Lehm sowie sandig-lehmiger Schluff als Bodenart bestimmt. Diese Heterogenität ist auf die kleinräumig schwankenden Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. Entsprechend des hohen Ertragspotenzials der Kalkmarschstandorte dominiert im Sönke-Nissen-Koog der für die „junge Marsch" Nordfrieslands typische Anbau von Marktfrüchten, der bei relativ geringer Flächenausstattung der Betriebe in der Regel mit einer intensiven Veredelungswirtschaft (Schweinemast) verbunden ist.

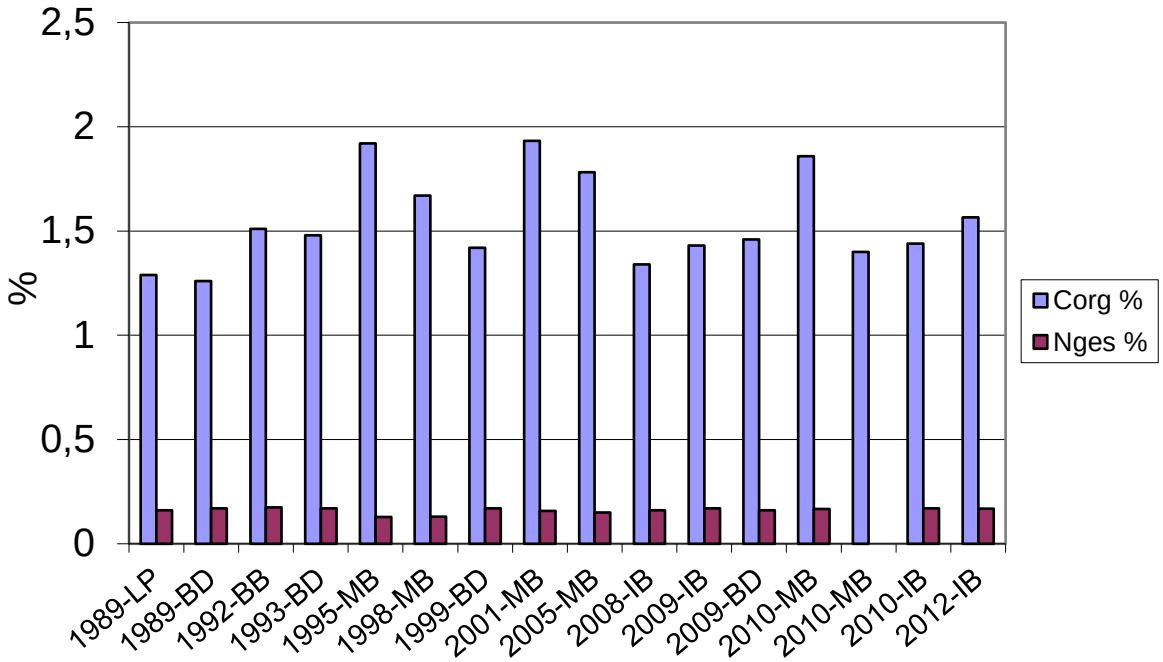
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der humose Oberboden der Boden-Dauerbeobachtungsfläche ist während des gesamten Beobachtungszeitraums schwach carbonathaltig. Die pH-Werte liegen im sehr schwach alkalischen Bereich und sind in die pH-Klassen D und E (hoch und sehr hoch) einzustufen (VDLUFA 2000). Eine Bewertung der Vorräte an Phosphat erfolgt nicht, da die DL-Methode nur für Böden mit einem pH-Wert von weniger als 7.0 anwendbar ist (LKSH 2013). Die Vorräte an doppellaktatlöslichem Kalium sind in Gehaltsklasse C bis D (mittel bis hoch) einzustufen (LKSH 2013). Der Kaliumgehalt zeigt eine signifikant abnehmende Tendenz. Eine im Zuge der natürlichen Bodenentwicklung auftretende Kalkauswaschung aus dem Oberboden kann derzeit noch nicht festgestellt werden. Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 8 und 10 im Bereich typischer Werte für Ackerböden.

Tab. BDF06-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**		
	%			**%**			**%**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	3,53	4,37	2,90	1,48	1,42	1,46	0,16	0,17	0,16
SD	0,22	0,46	0,11	0,08	0,04	0,01	0,01	0	0
	pH-Wert			**K_2O**			**P_20_5**		
				mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	7,37	7,67	7,36	32,24	30,57	27,80	118,38	46,57	78,73
SD	0,10	0,15	0,04	0,39	2,48	0,95	1,35	2,47	9,87

Auf dieser Fläche werden seit 2007 nach Ausbau zu einer Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung mit Klimastation und Saugkerzenanlage wöchentlich Nährstoffeinträge sowie -austräge mit dem Sickerwasser erfasst. Zur Erfassung bodenchemischer Parameter werden seit 2008 jährlich im Frühjahr Bodenproben aus dem mineralischen Oberboden entnommen und unter anderem die Gehalte an C_{org} und N_{ges} bestimmt. Die Einbeziehung dieser sowie Ergebnisse weiterer Untersuchungen bestätigt, dass keine Tendenzen der Veränderung dieser Parameter vorliegen (s. Abb. BDF06-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
IB-Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF06-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Im landesweiten Vergleich weisen Marschen geogen bedingt höhere Gehalte an Arsen, Chrom, Nickel und häufig auch Zink auf (LLUR 2011). Die Arsen-, Blei-, Cadmium und Quecksilbergesamtgehalte unterschreiten an diesem Boden-Dauerbeobachtungsstandort die 95er Perzentilwerte der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (Acker/Junge Marsch). Die Gesamtgehalte an Chrom und Kupfer überschreiten an zwei Terminen und Zink an allen drei Terminen diesen Perzentilwert. Nickel überschreitet 1993 im Gesamtgehalt auch den Maximalwert der Hintergrundwerte.

Im Hinblick auf die BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) werden die Vorsorgewerte für Schwermetalle eingehalten, lediglich Chrom überschreitet einmalig im Jahr 1999 als Gesamtgehalt den entsprechenden Vorsorgewert. Da die Königswassergehalte für Chrom laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) jedoch lediglich 57 % der Gesamtgehalte erfassen, ist anzunehmen, dass auch Chrom den Vorsorgewert einhält. Der Vorsorge-Hilfswert für Arsen (15 mg/kg in Königswasseraufschluss, LLUR 2011) wird bereits als Gesamtgehalt eingehalten.

Tab. BDF06-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	14,8	11,2	14,9	<0,2	<0,2	0,25	50	70,2	57,1	18,15	13,1	18,1
SD	0,5	1,5	0,23	-	-	0	3,47	2,22	2,15	-	3,27	0,64
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	40,6	24,8	19,7	16,6	21,9	20,4	95,3	78,5	78,9	n.b.	0,07	n.b.
SD	4,84	1,65	1,7	6,11	1,12	0,26	5,42	2,96	1,15	-	0	-

<- Bestimmungsgrenze n.b. - nicht bestimmt

Im Rahmen eines Vorhabens der Ostseeanrainerstaaten zur Kennzeichnung von Spurenelementgehalten im Boden (Erstellung eines geochemischen Atlasses) wurden Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink im Gesamtaufschluss untersucht (s. Abb. BDF06-2). Nach Ergänzung der Daten aus der Boden-Dauerbeobachtung zeigt sich auch für den Gehalt an Nickel keine Tendenz der Veränderung im Oberboden der BDF06.

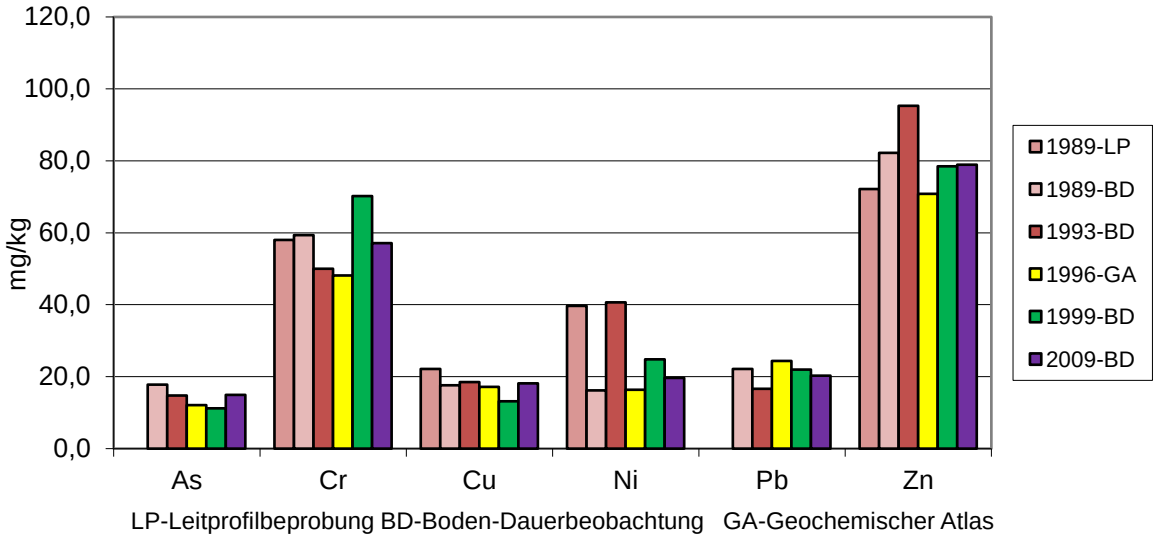


Abb. BDF06-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Der humose Oberboden weist eine hohe effektive Kationenaustauschkapazität mit einer entsprechend dem pH-Wert hohen Belegung mit Calcium auf. Bei den Gehalten an austauschbarem Magnesium war ein signifikanter Rückgang der Gehalte zu beobachten. Die übrigen

Gehalte an austauschbaren Kationen zeigen keine signifikanten Änderungen (s. Tab. BDF06-3).

Tab. BDF06-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	14,6	14,6	15,1	0,79	0,68	0,62	1,36	1,23	0,85	0,16	0,12	0,1	0	<0,01	<0,05
SD	1,5	1,95	0,07	0,46	0,03	0,01	0,03	0,05	0,02	0,05	0,03	0,01	0	-	-

	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	0,02	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,02	0,01	0,04	17	16,7	14,2
SD	0,01	-	-		-	-	0	-	0	1,42	2	0,07

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 06 des 1924-1926 eingedeichten Sönke-Nissen-Kooges, eine Kalkmarsch, weist im humosen, schwach carbonathaltigen Oberboden eine hohe effektive Kationenaustauschkapazität mit vorwiegender Calciumbelegung auf. Die pH-Werte befinden sich im sehr schwach alkalischen Bereich. Die relativ hohen Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen entsprechen weitgehend den typischen, geogen bedingten Gehalten in Böden der Marschen und können als umweltrelevant unbedenklich betrachtet werden. Die Löslichkeit der Schwermetalle und Arsen und somit deren Pflanzenverfügbarkeit und Verlagerbarkeit ist bei den vorliegenden sehr hohen pH-Werten stark eingeschränkt.

3.2.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Holzdorf (BDF10)

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 10 liegt auf einem viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbetrieb der Halbinsel Schwansen (Östliches Hügelland) im Kreis Rendsburg-Eckernförde. Die sanft welligen, stellenweise deutlich kuppig ausgeprägten Hofflächen liegen im zentralen Bereich einer morphologisch schwach ausgeprägten Endmoränenlage (Rückzugsstadium des Schleigletschers) und weisen gegenüber dem Umland einen deutlich höheren Anteil an Kolluvisolen und Pseudogleyen auf. Beim Leitprofil handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel und Geschiebesand. Diese Fläche wird ackerbaulich genutzt.

Die Leitprofil- und Erstbeprobung fand 1991 statt. An diesem Standort wurden zu den drei Beprobungsterminen stark lehmiger Sand, stark sandiger Lehm und sandiger Lehm als Bodenarten festgestellt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Oberboden der BDF10 ist als schwach bis mittel humos anzusprechen. Die pH-Werte befinden sich im sehr schwach sauren bis sehr schwach alkalischen Bereich und sind in die pH-Klassen B bis D (niedrig bis hoch) einzustufen (VDLUFA 2000). Der pH-Wert des Oberbodens schwankt somit bewirtschaftungsbedingt um den Optimalbereich für ertragreiches Pflanzenwachstum. Die tendenziell abnehmenden Gehalte an organischem Kohlenstoff sind nicht signifikant. Das C/N-Verhältnis liegt bei etwa 9 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Die doppellaktatlöslichen Kalium- und Phosphatgehalte sind in die Nährstoff-Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013).

Tab. BDF10-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			%			%					
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	<0,1	0,59	<0,9	1,16	1,12	1,09	0,13	0,13	0,12	6,20	7,27	6,59
SD	-	0,14	-	0,09	0,04	0,03	0	0	0	0,10	0,21	0,09
	K_2O			**P_20_5**								
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**								
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009						
Mittelwert	24,02	16,40	20,70	26,86	18,77	18,67						
SD	0,84	1,65	0,56	1,15	3,58	2,39						

Die Einbeziehung von Daten weiterer Untersuchungen bestätigen einen konstanten Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie auch Gesamtstickstoff im Oberboden (s. Abb. BDF10-1).

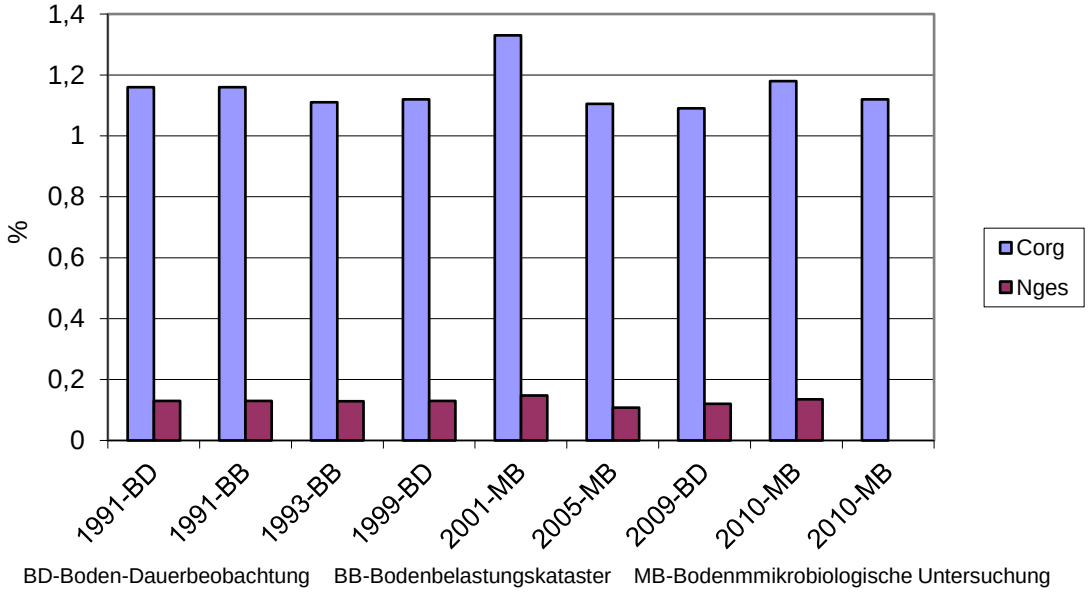


Abb. BDF10-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

An diesem Standort wurden im Rahmen der Erstbeprobung und der ersten Wiederholungsbeprobung im mineralischen Oberboden Gesamtgehalte an Cadmium und Kupfer unterhalb der Bestimmungsgrenze vorgefunden. Die Gesamtgehalte an Kupfer, Blei und Zink unterschreiten die 90er-Perzentilwerte (Acker/Östliches Hügelland) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011), Cadmium und Quecksilber die 95er-Perzentilwerte. Arsen überschreitet 2009 einmalig den 95er-Perzentilwert. Nickel und Chrom weisen 1991 und 2009 übliche Gesamtgehalte auf (90. Perzentil), im Jahr 1999 wurden für Nickel und Chrom jedoch höhere Gehalte festgestellt, die den 95er-Perzentilwert der Hintergrundwerte für Ackerflächen im Östlichen Hügelland überschreiten. Die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) werden dennoch von allen Schwermetallen bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Da für Arsen keine vorsorgebezogenen Bodengrenzwerte existieren, wird als Bewertungsmaßstab der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen herangezogen. Diesen Bewertungsmaßstab unterschreitet Arsen deutlich. Veränderungstendenzen sind nicht festzustellen.

Tab. BDF10-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	4,65	3,00	6,91	<0,2	<0,2	0,25	35,80	52,30	35,33	<10	<10	11,80
SD	2,57	0,73	0,14	-	-	0	0,11	2,34	0,50	-	-	0,50
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	12,85	26,67	19,43	18,13	18,47	15,83	53,48	54,93	48,90	0,06	0,07	n.b.
SD	2,70	1,22	2,77	2,18	0,86	0,60	0,59	3,76	0,60	0	0	-

<- Bestimmungsgrenze n.b. - nicht bestimmt - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität im Oberboden entspricht an diesem Standort einer mittleren Bindungskapazität für Nähr- und Schadstoffkationen. Signifikante Veränderungstendenzen, die jedoch unter Ackernutzung bewirtschaftungsbedingt sind, zeigen sich lediglich bei den Gehalten an austauschbarem Magnesium, das von 1991 bis 2009 stetig abnehmende Gehalte aufweist (s. Tab. BDF10-3).

Tab. BDF10-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	8,99	10,4	8,97	0,52	0,43	0,46	1,62	1,12	0,9	0,07	0,06	<0,06	<0,01	<0,01	<0,05
SD	0,47	0,7	0,04	0,07	0,02	0	0,06	0,13	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02	0,11	0,04	0,14	9,63	12,13	9,5			
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0	0,10	0,95	0,18			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Zusammenfassende Bewertung

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 10 auf der Halbinsel Schwansen (Östliches Hügelland), eine Pseudogley-Parabraunerde, zeigt im schwach bis mittel humosen Oberboden einen für eine landwirtschaftliche Nutzung anzustrebenden mittleren Gehalt an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat. Die Gesamtgehalte an Arsen und Schwermetallen sind für eine Fläche des Östlichen Hügellands als im Wesentlichen durchschnittlich einzustufen. Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) werden eingehalten. Die relativ hohen pH-Werte im sehr schwach sauren bis sehr schwach alkalischen Bereich verhindern zudem eine Mobilisierung und somit eine übermäßige Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle. Die effektive Kationenaustauschkapazität weist auf ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen hin. Veränderungstendenzen sind nicht feststellbar.

3.2.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Vadersdorf/Fehmarn (BDF12)

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im Zentrum der Ostseeinsel Fehmarn (Östliches Hügelland/Kreis Ostholstein). Auf der Grundmoräne im Umfeld der Boden-Dauerbeobachtungsfläche überwiegen Pseudogleye bis Tschernosem-Pseudogleye, vergesellschaftet mit Pseudogley-Pararendzinen und Pararendzinen aus Geschiebelehm über Geschiebemergel. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Pseudogley aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über Geschiebemergel.

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt auf einem Ackerschlag eines für die ertragsstarke Jungmoränenlandschaft Fehmarns typischen, viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbaubetriebes. Diese Fläche wird intensiv ackerbaulich genutzt. Im Rahmen der Einrichtung fand die Leitprofil- und Erstbeprobung 1990 statt. Bei der Erstbeprobung sowie bei der ersten Wiederholungsbeprobung wurde als Bodenart stark sandiger Lehm festgestellt. Bei der zweiten Wiederholungsbeprobung wurde zusätzlich sandiger Lehm ermittelt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

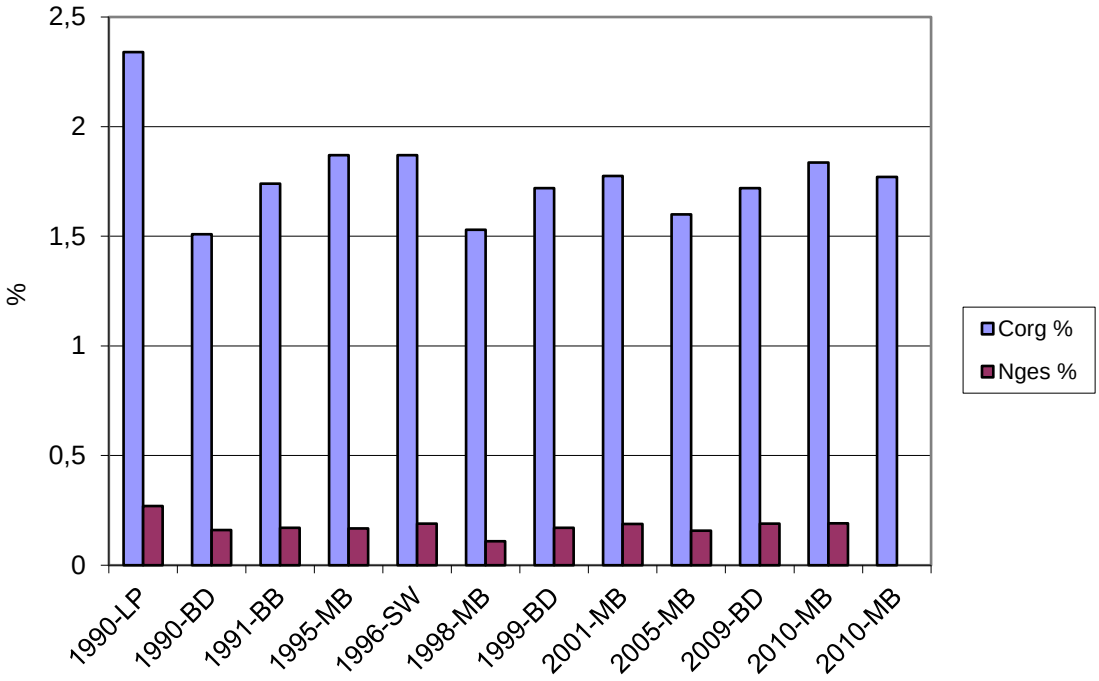
Im humosen, sehr schwach sauren Oberboden dieser Ackerfläche ist die Bodenreaktion des Oberbodens in die pH-Klasse C einzustufen und bietet somit für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit optimale Bedingungen (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis liegt bei etwa 9 – 10 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Die signifikante Zunahme der doppellaktatlöslichen Anteile an Phosphat im mineralischen Oberboden ist auf Düngungsmaßnahmen zurückzuführen. Die Phosphatgehalte wurden so von der Gehaltsklasse A (sehr niedrig) auf Gehaltsklasse C (mittel) angehoben. Der Gehalt an doppellaktatlöslichem Kalium entspricht der Gehaltsklasse C (mittel) (LKSH 2013). Die Gehalte an organischem Kohlenstoff zeigen kaum Veränderungstendenzen, die Gehalte an Gesamtstickstoff weisen diesen Daten zufolge einen leichten Anstieg auf. Der leichte Anstieg des pH-Wertes ist nicht signifikant (s. Tab. BDF12-1).

Tab. BDF12-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**			**%**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	-	-	<0,9	1,51	1,72	1,72	0,16	0,17	0,19	6,75	6,77	6,81
SD	-	-	-	0,04	0,06	0	0,01	0,02	0	0,06	0,06	0,03
	K_2O			**P_20_5**								
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**								
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009						
Mittelwert	20,79	32,17	31,67	0,86	10,70	25,33						
SD	1,69	7,84	2,43	0,33	0,56	2,75						

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigen für den Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie auch Gesamtstickstoff entgegen der derzeitigen Daten aus der Boden-Dauerbeobachtung schwankende Gehalte und somit keine Veränderungstendenz im mineralischen Oberboden (s. Abb. BDF12-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
SW-Sickerwasseruntersuchung LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF12-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen in der Regel unterhalb der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Östliches Hügelland) (LLUR 2011). Lediglich die Gehalte an Cadmium und Arsen liegen im Bereich des 95. Perzentils. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen befinden sich somit im Bereich natürlicher Hintergrundgehalte des Östlichen Hügellandes und unterschreiten auch deutlich die Vorsorgewerte (BBodSchV 1999) sowie den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011).

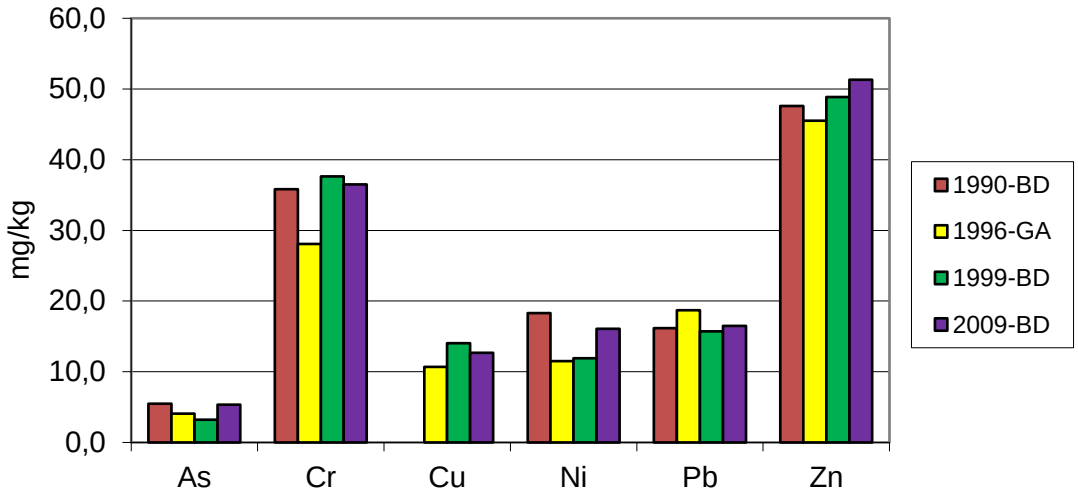
Tab. BDF12-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	5,48	3,22	5,37	<0,2	<0,2	0,26	35,84	37,63	36,50	<10	12,70	12,67
SD	0,89	1,17	0,30	-	-	0,01	1,11	0,42	0,87	-	-	0,32
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	18,28	11,90	16,07	16,19	15,70	16,47	47,59	48,87	51,30	0,05	0,04	n.b.
SD	1,93	0,26	2,25	0,86	2,16	0,12	2,05	0,80	1,04	0	0,01	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Für Zink ist ein nur tendenzieller Anstieg der Gesamtgehalte zu beobachten, dennoch liegen auch die höheren Gehalte deutlich unterhalb der Vorsorgewerte. Die übrigen Schwermetalle sowie Arsen zeigen im betrachteten Zeitraum von 20 Jahren keine Veränderungstendenzen (s. Tab. BDF12-2).

Die Einbeziehung von Ergebnissen aus dem Vorhaben der Ostseeanrainerstaaten zur Kennzeichnung von Spurenelementgehalten im Boden (Erstellung eines geochemischen Atlas) bestätigen die Untersuchungen der Boden-Dauerbeobachtung (s. Abb. BDF12-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung GA-Geochemischer Atlas

Abb. BDF12-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit die Bindungskapazität für Nähr- und Schadstoffkationen im lehmigen Oberboden ist als hoch einzustufen (s. Tab. BDF12-3).

Tab. BDF12-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	15,62	17,73	13,77	0,70	0,76	0,65	1,15	<0,01	1,48	0,08	0,09	0,08	0,03	0,69	<0,05
SD	0,88	0,12	0,12	0,06	0,09	0,04	0,06	-	0	-	0,03	0,01	-	0,17	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,07	0,03	0,08	17,65	19,30	15,90			
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0	0,77	0,10	0,36			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Entsprechend des pH-Wertes sind die Austauscher vorwiegend mit Calcium belegt. Über den Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2009 zeigen sich keine Veränderungstendenzen.

Zusammenfassende Bewertung

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 12 auf der Ostseeinsel Fehmarn, ein Pseudogley, weist hinsichtlich der allgemeinen bodenchemischen Parameter keine auffälligen Veränderungen auf. Es zeigen sich im Oberboden gleichbleibende pH-Werte sowie relativ konstante Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff und an doppellaktatlöslichem Kalium. Veränderungen im Gehalt an doppellaktatlöslichem Phosphat sind nutzungsbedingt. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich der Hintergrundwerte des Östlichen Hügellandes. Zink zeigt als einziges Schwermetall einen nur tendenziell leicht ansteigenden Gesamtgehalt, der in weiteren Untersuchungen zu überprüfen ist. Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit das Vermögen Nähr- und auch Schadstoffkationen reversibel zu binden, ist entsprechend des lehmigen Ausgangsmaterials als hoch einzustufen.

3.2.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Achterwehr (BDF15)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 15 liegt im Bereich der lebhaft reliefierten Jungmoränenlandschaft des Westensee-Gebietes (NW des Ostholsteiner Hügel- und Seenlandes) im Kreis Rendsburg-Eckernförde. In dieser Region überwiegen Parabraunerden bis Pseudogley-Parabraunerden sowie Pseudogleye aus Geschiebelehm, zum Teil über Geschiebemergel. In Senkenlagen sind diese vergesellschaftet mit Kolluvisolen über Geschiebelehm oder Niedermoortorf. Bei dem Leitprofil handelt es sich um einen Kolluvisol über einem Pseudogley aus kolluvialen Sanden über Fließerde über weichselzeitlichem Beckenton und –schluff. Dieser Standort wird ausschließlich intensiv ackerbaulich genutzt. Die Einrichtung dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche erfolgte 1989. Die Erstbeprobung (Diagonalbeprobung) fand 1997 statt.

Der Oberboden der Boden-Dauerbeobachtungsfläche zeichnet sich durch eine Vielfalt von Bodenarten aus (schluffiger Sand, lehmiger Sand, stark lehmiger Sand sowie stark sandiger Lehm). Diese Heterogenität des Standortes ist darauf zurückzuführen, dass es sich hier um eine Fläche in der Endmoräne handelt, die zudem stark kolluviert ist.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der schwach humose Oberboden zeigt im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie den pH-Werten keine Veränderungstendenzen. Die Abnahme der Carbonatgehalte bis zur zweiten Wiederholungsbeprobung ist nutzungsbedingt. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im neutralen Bereich und ist in die pH-Klassen D - E (hoch – sehr hoch) einzustufen. Die Bodenreaktion ist dementsprechend höher als für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Nährstoffverfügbarkeit anzustreben ist (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis liegt bei etwa 9 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Die

doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium entsprechen der Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel), die an Phosphor wurden nicht bewertet, da die DL-Methode nur bei Böden von weniger als 7.0 anwendbar ist. (LKSH 2013).

Tab. BDF15-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1997 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**			**%**					
Jahr der Probenahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009
Mittelwert	1,27	1,67	<0,9	1,07	0,95	1,03	0,12	0,11	0,12	7,03	7,22	7,04
SD	0,34	0,08	-	0,03	0,03	0,04	0	0	0	0,14	0,04	0,03
	K_20			**P_2O_5**								
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**								
Jahr der Probenahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009						
Mittelwert	9,70	21,77	20,20	24,28	25,67	24,67						
SD	8,20	2,44	2,18	3,05	4,70	2,25						

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Ergänzung der Datenbasis um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen bestätigt schwankende Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff.

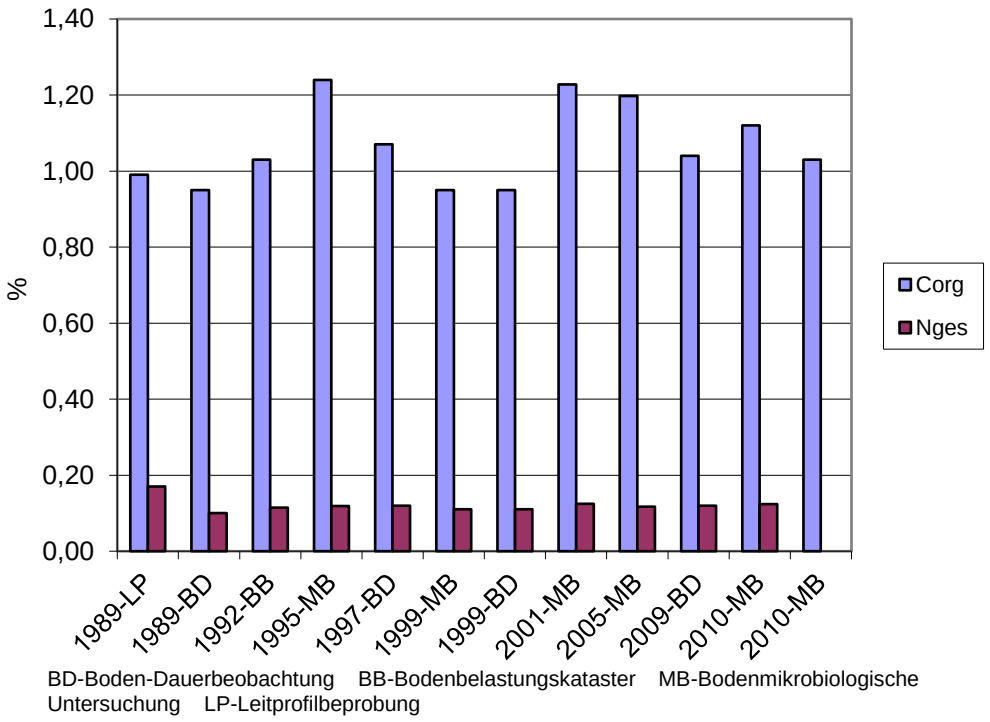


Abb. BDF15-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich natürlicher Hintergrundgehalte der Ackerflächen im Östlichen Hügelland. Sie unterschreiten als Gesamtgehalte die im Königswasser aufgeschlossenen Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Östliches Hügelland) (LLUR 2011). Lediglich Cadmium zeigt leicht höhere Werte und wird 1999 erst durch das 95. Perzentil erfasst.

Die Schwermetallgesamtgehalte liegen bis auf Chrom unterhalb der Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999). Da die Chrom-Gehalte in Königswasseraufschluss laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) lediglich ca. 57 % an den Gesamtgehalten erfassen, ist anzunehmen, dass auch Chrom den Vorsorgewert einhält. Es ist somit von unauffälligen Schwermetallgehalten auszugehen. Der Gehalt an Nickel weist tendenziell einen leichten Anstieg, der Gehalt an Kupfer tendenziell eine leichte Abnahme auf (s. Tab. BDF15-2). Die übrigen Schwermetalle und Arsen zeigen keine Tendenzen der Veränderung.

Tab. BDF15-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1997 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009
Mittelwert	2,41	4,62	4,42	<0,2	0,26	0,24	28,18	30,40	28,70	10,26	10,19	9,62
SD	0,79	0,11	0,06	-	0,05	0	1,46	2,21	0,53	-	0,28	0,21
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009
Mittelwert	7,14	11,01	11,77	17,02	18,53	14,97	49,23	51,6	49,37	0,05	n.b.	n.b.
SD	-	1,08	0,57	3,94	0,25	0,40	4,31	1,25	0,31	0,01	-	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Bei Berücksichtigung der Daten aus der Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsfläche aus dem Jahre 1989 wird diese Einschätzung bestätigt (s. Abb. BDF15-2).

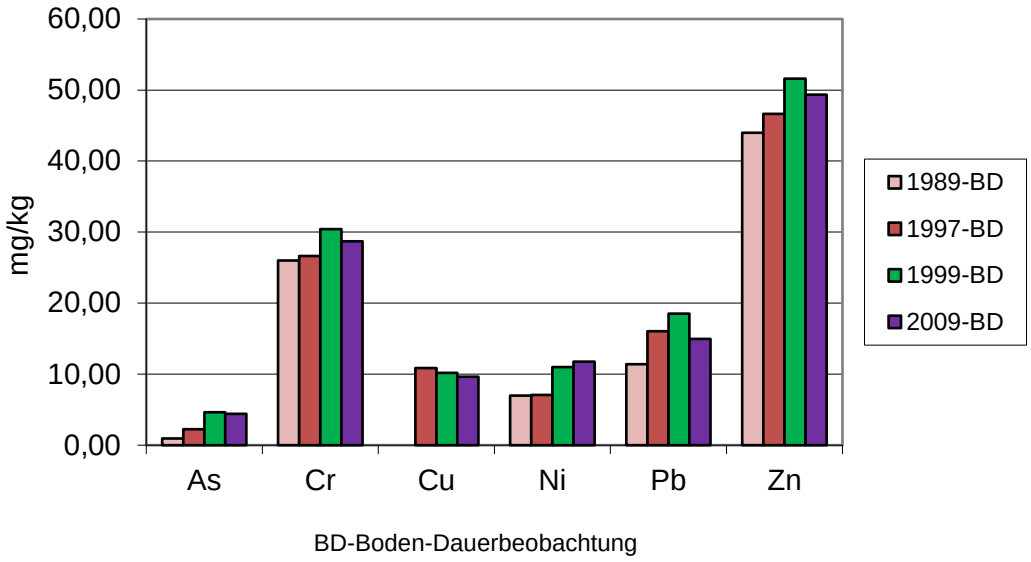


Abb. BDF15-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die gemessene Kationenaustauschkapazität im mineralischen, schwach humosen Oberboden der BDF 15 zeigt konstante Werte mit einer mittleren Einstufung im Hinblick auf das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen. Entsprechend des hohen pH-Wertes sind die Austauscher mit basischen Kationen belegt. Signifikante Veränderungen sind (nutzungsbedingt) lediglich für die Gehalte an austauschbarem Kalium festzustellen (s. Tab. BDF15-3).

Tab. BDF15-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1997 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009
Mittel-wert	7,73	8,13	8,73	0,61	0,47	0,44	0,94	0,8	0,76	0,03	0,06	0,06	<0,01	<0,05	<0,05
SD	1,14	0,15	0,11	0,05	0,06	0,03	0,17	0,06	0,07	-	0	0	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**Mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009	1997	1999	2009			
Mittel-wert	<0,3	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02	<0,02	0,07	0,06	0,14	9,37	8,89	8,75			
SD	-	-	-	-	-	-	0,02	0	0,01	1,15	0,2	0,18			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 15 nahe des Westensees im Östlichen Hügelland, ein Kolluvisol über einem Pseudogley, zeigt im schwach humosen Oberboden im Hinblick auf Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, pH-Werten, effektive Kationenaustauschkapazität sowie Gehalt an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat keine Veränderungstendenzen. Die Bodenreaktion liegt im neutralen Bereich und ist damit höher als für das ackerbauliche Pflanzenwachstum anzustreben ist. Der Nährstoffvorrat für mittelfristig pflanzenaufnehmbares Kalium ist in die Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel) einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich natürlicher Hintergrundgehalte der Ackerflächen im Östlichen Hügelland. Der Gehalt an Nickel weist tendenziell einen leichten Anstieg, der Gehalt an Kupfer eine leichte Abnahme auf. Beides ist in weiteren Bodenuntersuchungen zu überprüfen. Die übrigen Schwermetalle und Arsen zeigen keine Tendenzen der Veränderung.

3.2.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Schönberg/Schwartbuck (BDF16)

Diese Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Jahr 1991 auf einem Ackerschlag des nordwestlichen Ostholsteiner Hügel- und Seenlandes (Probstei und Selenter Seengebiet/Kreis Plön) eingerichtet. Die relativ schwach reliefierte Jungmoränenlandschaft bei Schönberg (Grundmoräne) ist überwiegend von Parabraunerden bis Pseudogley-Parabraunerden sowie Pseudogleyen aus Geschiebelehm, zum Teil über Geschiebemergel geprägt. In geringer Verbreitung finden sich auch Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm und Kolluvisole über Geschiebelehm. Beim Leitprofil handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel. Dieser Standort wird intensiv ackerbaulich genutzt. Die Leitprofil- und Erstbeprobung fand im Rahmen der Einrichtung 1991 statt. Während der drei Messtermine, Erstbeprobung und 1. sowie 2. Wiederholungsbeprobung, wurde im Oberboden stark lehmiger Sand als Bodenart ermittelt, so dass von einem homogenen Standort ausgegangen werden kann.

Allgemeine bodenchemische Parameter

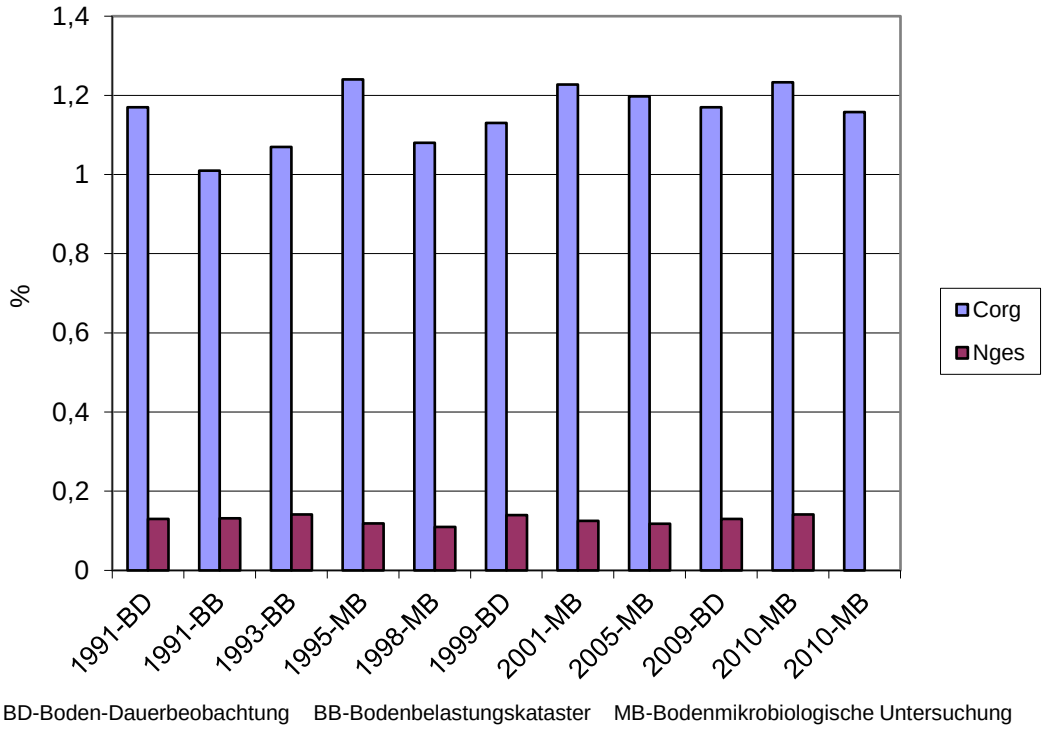
Der schwach bis mittel humose Oberboden dieser intensiv genutzten Ackerfläche weist gleichbleibende Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat auf. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im sehr schwach sauren bis neutralen Bereich und ist in die pH-Klassen C und D (optimal bis hoch) einzustufen. Die Bodenreaktion ist dementsprechend lediglich 1999 höher als für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Nährstoffverfügbarkeit anzustreben ist (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis liegt zwischen 8 und 9 im niedrigeren Bereich typischer Werte für Ackerböden. Die tendenzielle Abnahme der Carbonatgehalte im mineralischen Oberboden ist auf eine verringerte Erhaltungskalkung zurückzuführen. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat entspricht der Gehaltsklasse C (mittel) (LKSH 2013) (s. Tab. BDF16-1).

Tab. BDF16-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	0,91	0,84	<0,9	1,17	1,13	1,17	0,13	0,14	0,13	6,52	6,93	6,69
SD	0,06	0,08	-	0,04	0,06	0,02	0	0	0	0,11	0,06	0,1
	K_2O			**P_2O_5**								
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**								
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009						
Mittelwert	25,87	21,17	22	23,46	30,2	14,4						
SD	1,38	1,4	0,44	1,27	4,01	1,35						

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Erweiterung der Datenbasis zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen bestätigt die Beobachtung stabiler Humusgehalte (s. Abb. BDF16-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF16-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Bezüglich der Entwicklung der Schwermetallgehalte waren an diesem Standort keine eindeutigen Tendenzen erkennbar. Cadmium und Kupfer zeigen erst im Rahmen der zweiten Wiederholungsbeprobung durch verbesserte Analysemethoden Gehalte oberhalb der Bestim-

mungsgrenze. Die Gesamtgehalte an Schwermetalle liegen im Bereich der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Östliches Hügelland); lediglich der Gehalt an Cadmium liegt 2009 höher und wird erst durch das 95. Perzentil erfasst. Arsen liegt 2009 noch deutlich unterhalb des Maximalwertes (LLUR 2011).

Die Schwermetallgesamtgehalte unterschreiten die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) deutlich. Auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird bereits als Gesamtgehalt eingehalten.

Tab. BDF16-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	2,68	2,66	6,05	<0,2	<0,2	0,25	37,34	36,07	36,70	<10	<10	11,90
SD	0,41	1,45	0,20	-	-	0,01	0,52	1,59	0,95	-	-	1,17
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	13,42	11,97	16,57	17,16	13,23	15,67	53,55	45,90	46,73	0,04	0,04	n.b.
SD	0,19	0,15	1,71	1,97	0,95	0,64	1,30	0,46	0,90	0	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Der lehmige Oberboden der BDF16 weist bezüglich der austauschbaren Kationen sowie der effektiven Kationenaustauschkapazität keine Veränderungstendenzen auf. Die Kationenaustauschkapazität zeigt entsprechend des Ausgangsmaterials im Östlichen Hügelland ein typisches mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen. Die Austauscher sind bedingt durch die sehr schwach saure bis basische Bodenreaktion im Wesentlichen mit basischen Kationen belegt (s. Tab. BDF16-3).

Tab. BDF16-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittel-wert	9,03	10,08	8,62	0,5	0,67	0,45	0,82	0,39	0,96	0,07	0,1	0,06	<0,01	0,09	<0,05
SD	0,64	0,56	0,67	0,04	0,08	0,04	0,02	-	0,05	0,01	0,1	0	-	-	-

	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittel-wert	<0,3	<0,3	<0,02	0,02	0,02	<0,02	0,09	0,05	0,1	10,28	11,37	9,46
SD	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0	0,31	0,21	0,34

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 16 in der Probstei im Östlichen Hügelland, eine Pseudogley-Parabraunerde, weist entsprechend des Ausgangsmaterials (stark lehmiger Sand) eine mittlere Kationenaustauschkapazität im schwach bis mittel humosen Oberboden auf. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sowie des pH-Wertes zeigen keine Tendenzen der Veränderung. Die leicht schwankenden Gehalte sind ebenso wie die Abnahme der Carbonatgehalte Folge der üblichen landwirtschaftlichen Bodennutzung. Gemäß der Bewirtschaftung liegt der Vorrat an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat im anzustrebenden mittleren Bereich für ertragreiches Pflanzenwachstum. Die Schwermetall- und Arsengesamtgehalte entsprechen den natürlichen, unbedenklichen Hintergrundwerten des Naturraums ohne eindeutige Veränderungstendenzen.

3.2.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Dannau (BDF17)

Die im Jahre 1991 im Bereich des Bungsberggebietes (Ostholsteiner Hügel- und Seenland NW) im Kreis Plön eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird ökologisch (biologisch-dynamisch) bewirtschaftet. Die Jungmoränenlandschaft im Umfeld des Bungsberges, maßgeblich während der Saale-Kaltzeit gebildet, ist geprägt vom Wechsel weichselglazialer Grundmoränenplatten und Endmoränen. Es überwiegen Parabraunerden und gering verbreitet Pseudogleye aus Geschiebelehm über Geschiebemergel, stellenweise vergesellschaftet mit Pararendzinen aus Geschiebemergel, in Senkenlagen auch mit Kolluvisolen über Geschiebelehm oder Niedermoortorf. Beim Leitprofil handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel. Diese Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Acker mit vorwiegendem Anbau von Getreide und

Kleegras genutzt. Im Rahmen der Einrichtung fand die Leitprofil- und Erstbeprobung 1991 statt. Als Bodenart des Oberbodens wurden stark lehmiger Sand, stark sandiger Lehm und sandiger Lehm ermittelt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche weist im humosen, sehr schwach sauren Oberboden keine Tendenzen der Veränderung im Hinblick auf organischen Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, pH-Wert und doppellaktatlöslichem Kalium auf. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im sehr schwach sauren bis schwach sauren Bereich und ist in die pH-Klassen B und C (niedrig bis optimal) einzustufen. Die Bodenreaktion ist lediglich 2009 niedriger als für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit bzw. im Hinblick auf erhöhte Pflanzenverfügbarkeit an Schwermetallen anzustreben ist (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis liegt zwischen 9 und 10 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Der pflanzenverfügbare Nährstoffvorrat an Kalium ist in die Gehaltsklasse A bis B (sehr niedrig bis niedrig), der des Phosphats in die Gehaltsklasse A bis C (sehr niedrig bis mittel) einzustufen (LKSH 2013). Die schwankenden Gehalte an Kalium sind genau wie die zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikante Abnahme an doppellaktatlöslichem Phosphat nutzungsbedingt (s. Tab. BDF17-1).

Tab. BDF17-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	1,52	1,41	1,43	0,15	0,14	0,16	6,27	6,70	6,05
SD	0,05	0,06	0,04	0,01	0,01	0	0,12	0,10	0,08
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	9,94	10,60	7,87	17,47	8,04	7,27			
SD	3,68	1,81	0,78	2,05	1,16	0,27			

Die Erweiterung der Datenbasis im Hinblick auf die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen liefert vergleichbare Resultate (s. Abb. BDF17-1).

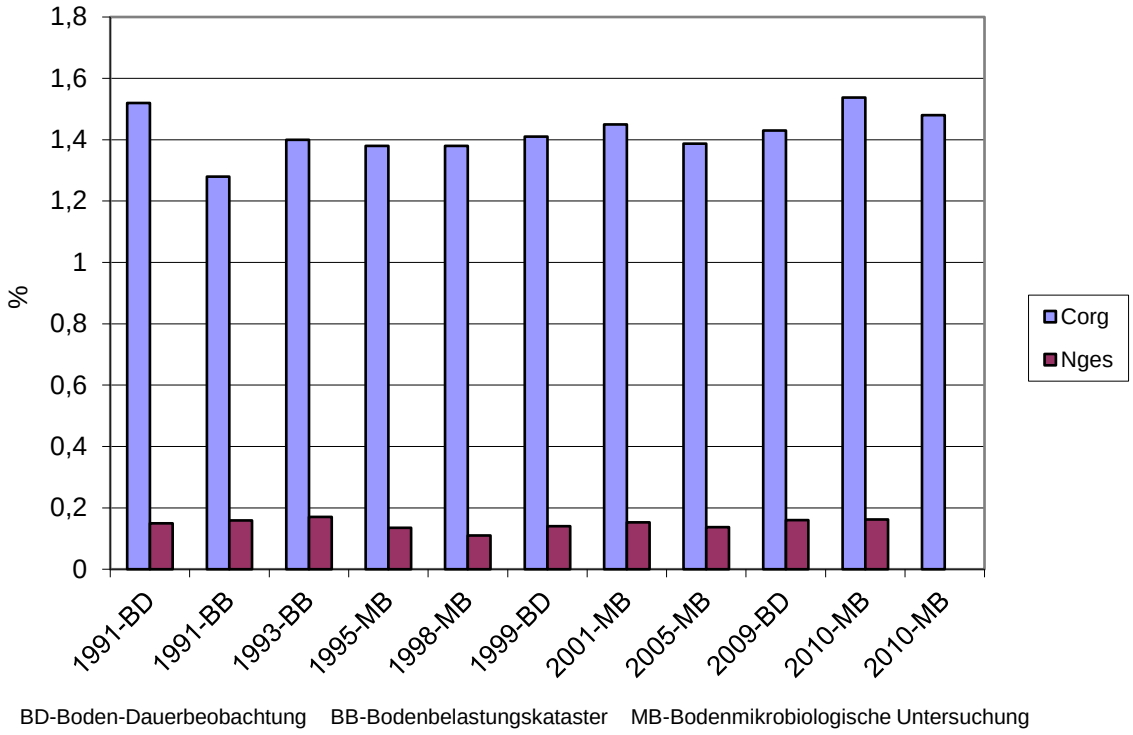


Abb. BDF17-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink liegen im Bereich der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (90. Perzentil, Acker/Östliches Hügelland). Die Cadmium-Gesamtgehalte 2009 werden erst durch das 95. Perzentil der Hintergrundwerte erfasst (LLUR 2011). Die Gesamtgehalte an Nickel und Chrom liegen 1999 zur ersten Wiederholungsbeprobung einmalig deutlich höher als zu den Beprobungsterminen 1991 und 2009, unterschreiten jedoch den Maximalwert der Hintergrundwerte.

Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung werden von alle Schwermetallen über den Beobachtungszeitraum eingehalten (BBodSchV 1999). Der Gesamtgehalt an Arsen überschreitet 2009 zwar leicht den 95er-Perzentilwert (Acker/Östliches Hügelland), unterschreitet jedoch den Vorsorge-Hilfswert-SH (LLUR 2011) deutlich. Tendenzen der Veränderung für die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen werden nicht festgestellt. Lediglich Blei weist zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikant leicht ansteigende Gehalte auf (s. Tab. BDF17-2)

Tab. BDF17-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	3,80	1,88	5,72	<0,2	<0,2	0,23	26,50	58,53	39,50	<10	10,33	11,30
SD	0,59	0,75	0,30	-	-	0	12,00	15,71	0,36	-	-	0,62
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	11,63	25,40	16,67	15,50	17,07	17,60	54,33	55,43	54,77	0,04	0,04	n.b.
SD	1,50	5,89	3,16	1,20	0,91	0,52	1,95	1,01	3,26	0	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Wird die Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen erweitert, bestätigt sich diese Entwicklung für Blei nicht.

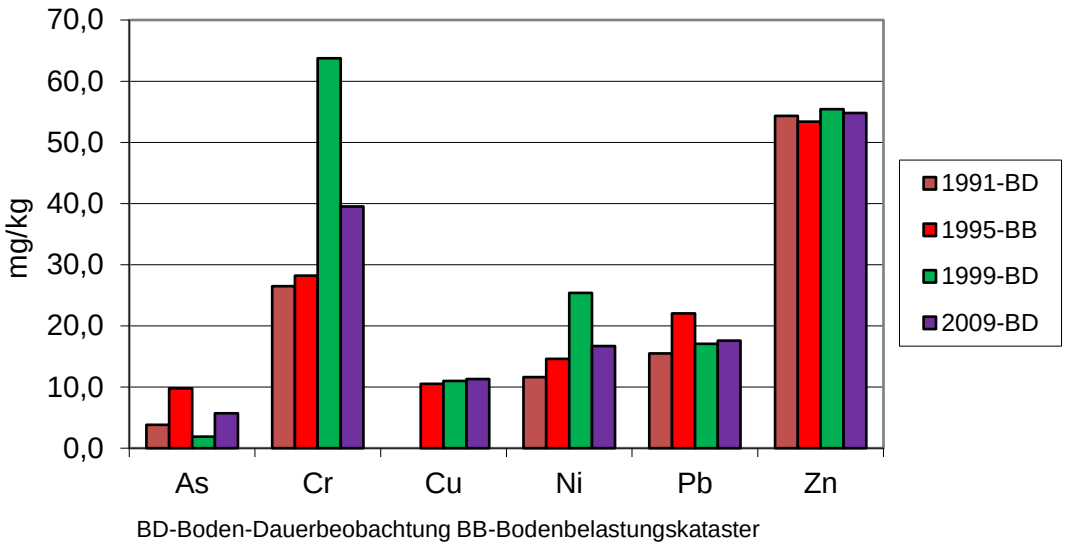


Abb. BDF17-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität des mineralischen Oberbodens liegt im Bereich eines mittleren bis hohen Bindungsvermögens für Nähr- und Schadstoffkationen. Entsprechend des pH-Wertes sind die Austauscher vornehmlich mit basischen Kationen belegt (s. Tab. BDF17-3).

Tab. BDF17-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittel-wert	11,77	11,17	8,44	0,26	0,28	0,15	1,33	1,25	1,41	0,04	0,06	0,06	2,75	0,06	0,17
SD	0,61	0,21	0,43	0,05	0,02	0,02	0,06	0,05	0,10	0,01	0,01	0	0,45	-	-

	Al			Fe			Mn			KAK		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittel-wert	<0,01	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,08	0,05	0,12	16,23	12,77	10,21
SD	-	-	-	-	-	-	0	0,01	0,01	0,47	0,35	0,34

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1991 im Östlichen Hügelland eingerichtete, biologisch-dynamisch bewirtschaftete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 17, eine Pseudogley-Parabraunerde, weist im humosen, sehr schwach sauren Oberboden keine Tendenzen der Veränderung im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie dem pH-Wert auf. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat weisen auf relativ geringe Nährstoffvorräte zum Zeitpunkt der Beprobung hin. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen liegen im Bereich der natürlichen Hintergrundgehalte des Östlichen Hügellandes. Die höheren, aber unbedenklichen Gehalte an Chrom und Nickel im Jahr 1999 können mit keinen Bewirtschaftungsmaßnahmen in Verbindung gebracht werden. Weitere Untersuchungen werden die Entwicklung überprüfen. Die effektive Kationenaustauschkapazität bestätigt entsprechend des lehmigen Ausgangsmaterials ein mittleres bis hohes Bindungsvermögen für Kationen im Oberboden.

3.2.8 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Heringsdorf (BDF18)

Die im Jahre 1989 in Nordoldenburg im Kreis Ostholstein eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird konventionell ackerbaulich genutzt. Die Betriebsflächen grenzen im Osten direkt an die Steilküste der Ostsee. Im Umfeld der BDF18 dominieren die für die Jungmoränenlandschaft Nordoldenburgs und Fehmarns typischen lehmigen und nährstoffreichen Böden der weichselglazialen Grundmoränenplatte. Es überwiegen Pseudogley-Parabraunerden bis Tschernosem-Parabraunerden, gering verbreitet Pseudogleye und Tschernosem-Pseudogleye aus Geschiebelehm über Geschiebemergel, selten Pararendzinen aus Geschiebemergel, Braunerden aus fluvioglazialem Sand und Pseudogley-Kolluvisole über Geschiebelehm. Beim Leitprofil handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel. Im Rahmen der Einrichtung 1989 erfolgte die Leitprofilbeprobung, die Erstbeprobung fand 1996

statt. Im Oberboden wurde sandiger Lehm, vereinzelt schluffig-lehmiger Sand als Bodenart vorgefunden. Dies weist auf eine relativ homogene Fläche hin.

Allgemeine bodenchemische Parameter

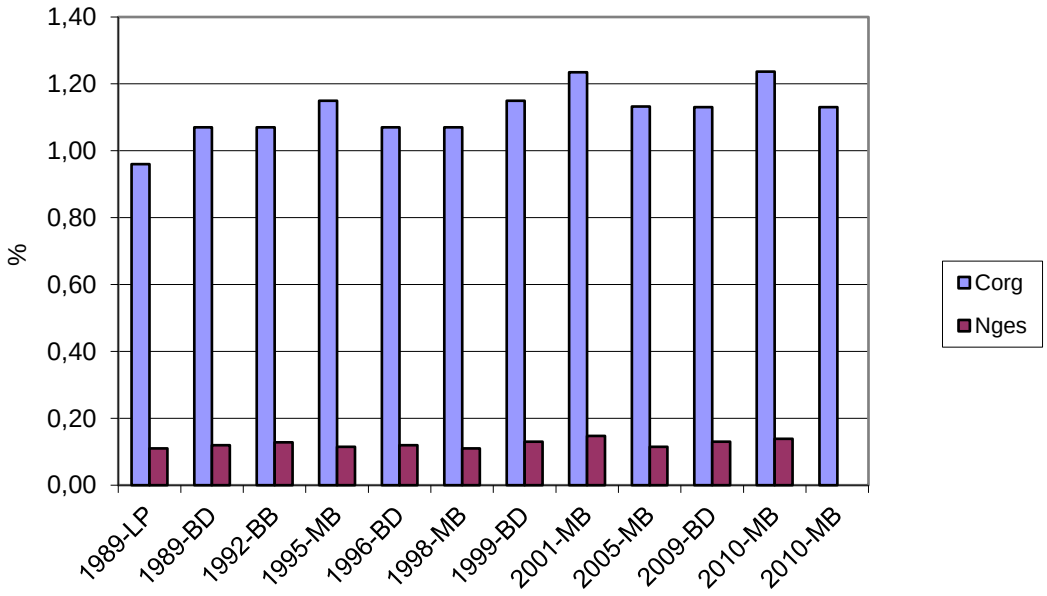
Der schwach humose Oberboden weist im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie dem pH-Wert keine Tendenzen der Veränderung auf. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im neutralen Bereich und ist in die pH-Klasse C einzustufen. Die Bodenreaktion ist dementsprechend für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit optimal eingestellt (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis liegt etwa bei 9 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Infolge der intensiven ackerbaulichen Nutzung mit hohen Erträgen bei entsprechender Düngung liegen die doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium in der Gehaltsklasse D (hoch). Die Vorräte an Phosphat werden nicht bewertet, da die DL-Methode nur für Böden bis pH 7 anwendbar ist. (LKSH 2013) (s. Tab. BDF18-1).

Tab. BDF18-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1996 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**		
	%			**%**			**%**		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	0,95	1,10	<0,9	1,07	1,15	1,13	0,12	0,13	0,13
SD	0,08	0,32	-	0	0,02	0,03	0	0,01	0
	pH-Wert			**K_2O**			**P_2O_5**		
				mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	6,87	7,07	7,06	31,89	34,90	31,30	27,72	27,70	26,20
SD	0,10	0,06	0,05	0,32	2,50	2,35	2,36	13,35	2,08

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Erweiterung der Datenbasis von organischem Kohlenstoff und Stickstoff um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen bestätigt die stabilen Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden (s. Abb. BDF18-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF18-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen im mineralischen Oberboden zeigen kaum Tendenzen der Veränderung in dem betrachteten Zeitraum von 13 Jahren. Es zeigen sich lediglich leichte Schwankungen. Auch Chrom weist mit einem nur leichten Anstieg noch keine signifikante Tendenz der Entwicklung auf (s. Tab. BDF18-2). Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich natürlicher Hintergrundwerte, d. h. unterhalb des 90er-Perzentilwertes (Acker/Östliches Hügelland) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“. Die Gesamtgehalte an Arsen und Chrom unterschreiten die 95er-Perzentilwerte (Acker/Östliches Hügelland) (LLUR 2011).

Die Gesamtgehalte der Schwermetalle unterschreiten die Vorsorgewerte (BBodSchV 1999) deutlich. Auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird bereits als Gesamtgehalt unterschritten (LLUR 2011).

Tab. BDF18-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1996 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	5,10	4,73	5,56	0,22	<0,2	0,21	42,08	43,73	44,90	14,73	13,70	13,70
SD	0,89	0,45	0,11	-	-	0	0,69	0,97	1,41	2,67	0,46	0,71
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	14,05	13,50	15,23	15,86	16,50	16,03	49,72	46,40	47,57	0,06	0,06	n.b.
SD	1,76	0,40	0,67	1,09	0,78	0,06	1,53	0,44	0,55	0	0	-

< Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität zeigt ein mittleres bis hohes Vermögen Nähr- und Schadstoffkationen im Oberboden zu binden. Die Austauscher sind entsprechend der neutralen Bodenreaktion mit basischen Kationen belegt. Bei den Gehalten an austauschbaren Kationen sowie der Kationenaustauschkapazität sind nach 13-jähriger Beobachtung keine Tendenzen der Veränderung erkennbar (s. Tab. BDF18-3).

Tab. BDF18-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1996 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	8,27	11,13	10,20	0,71	1,04	0,73	1,36	<0,01	0,92	0,03	0,06	0,06	<0,01	0,05	<0,05
SD	0,44	0,21	0,10	0,04	0,03	0,03	0,05	-	0,12	0,02	0,02	0	-	-	-
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,16	0,04	0,16	10,50	12,37	10,80			
SD	-	-	-	-	-	-	0,04	0,01	0,01	0,40	0,15	0,44			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1989 in Nordoldenburg im Kreis Ostholstein eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 18, eine Pseudogley-Parabraunerde, zeigt im schwach humosen Oberboden über den untersuchten Zeitraum von 13 Jahren keine Tendenzen der Verände-

rung im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie die Kationenaustauschkapazität. Entsprechend der Bodenart weist dieser Standort ein mittleres bis hohes Vermögen auf, Nähr- und Schadstoffkationen zu binden. Der mittelfristig pflanzenaufnehmbare Nährstoffvorrat an Kalium liegt entsprechend der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im mittleren bis hohen Bereich. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich natürlicher Hintergrundgehalte im Östlichen Hügelland. Für die Schwermetalle und Arsen zeigen sich keine Veränderungstendenzen.

3.2.9 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lebatz/Tankenrade (BDF27)

Im Jahre 1992 wurde auf der Ackerfläche eines Marktfruchtbau-Veredelungsbetriebes im Südosten des Ostholsteiner Hügel- und Seenlandes (Kreis Ostholstein) die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 27 eingerichtet. Im Umfeld der im Ahrensböker Endmoränengebiet gelegenen Boden-Dauerbeobachtungsfläche dominieren, wie für das Jungmoränengebiet charakteristisch, Parabraunerden bis Pseudogley-Parabraunerden sowie Pseudogleye aus Geschiebelehm, z.T. über Geschiebemergel, stellenweise vergesellschaftet mit Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm und Kolluvisolen über Geschiebelehm in Senkenlagen. Beim Leitprofil handelt es sich um eine Pseudogley-Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebelehm über tiefem Geschiebemergel. Die Leitprofil- und Erstbeprobung fand 1992 statt. Im Oberboden wurden während der drei Messtermine stark lehmiger Sand, schluffig-lehmiger Sand und sandiger Lehm als Bodenarten ermittelt.

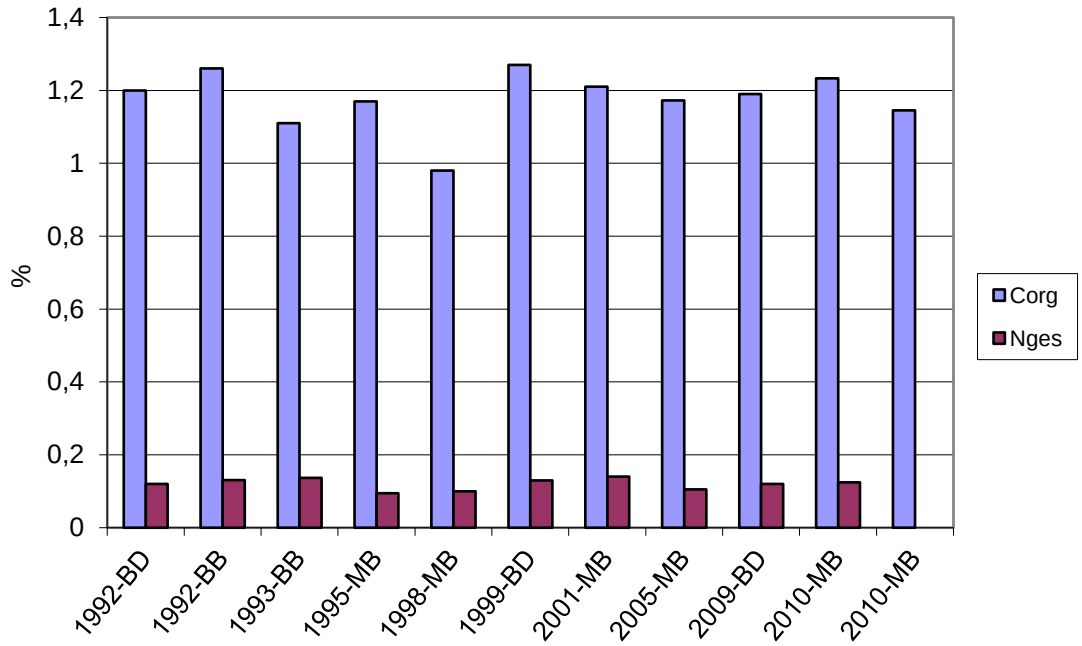
Allgemeine bodenchemische Parameter

Im humosen, sehr schwach sauren Oberboden zeigen sich im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff keine Tendenzen der Veränderung. Das C/N-Verhältnis liegt mit etwa 9 im Bereich typischer Werte für Ackerböden. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im neutralen Bereich und ist in die pH-Klassen C einzustufen. Die Bodenreaktion ist dementsprechend für ertragreiches Pflanzenwachstum im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit optimal eingestellt (VDLUFA 2000). Die pflanzenverfügbaren Vorräte an Kalium und Phosphat sind in die Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel) einzustufen (LKSH 2013). Die signifikante Abnahme des Gehaltes an Phosphat wie auch der Anstieg der pH-Werte ist bewirtschaftungsbedingt (s. Tab. BDF27).

Tab. BDF27-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	1,20	1,27	1,19	0,12	0,13	0,12	6,33	6,67	6,77
SD	0,06	0,05	0,02	0	0,01	0	0,15	0,06	0,09
	K_2O			P_2O_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	25,07	31,07	17,34	23,27	19,73	9,14			
SD	2,10	10,87	0,64	0,57	6,95	0,88			

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen bestätigt die gleichbleibenden Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff auf der Ackerfläche (s. Abb. BDF27-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF27-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, Cadmium und Zink im mineralischen Oberboden liegen im Bereich des 90er-Perzentils (Acker/Östliches Hügelland) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beein-

flusster Böden Schleswig-Holsteins“. Die Gehalte an Chrom und Arsen unterschreiten z. T. erst den 95er-Perzentilwert der Hintergrundwerte (Acker/Östliches Hügelland) (LLUR 2011). Die Gesamtgehalte der Schwermetalle unterschreiten die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTEN-VERORDNUNG (1999) deutlich. Auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) wird bereits als Gesamtgehalt eingehalten.

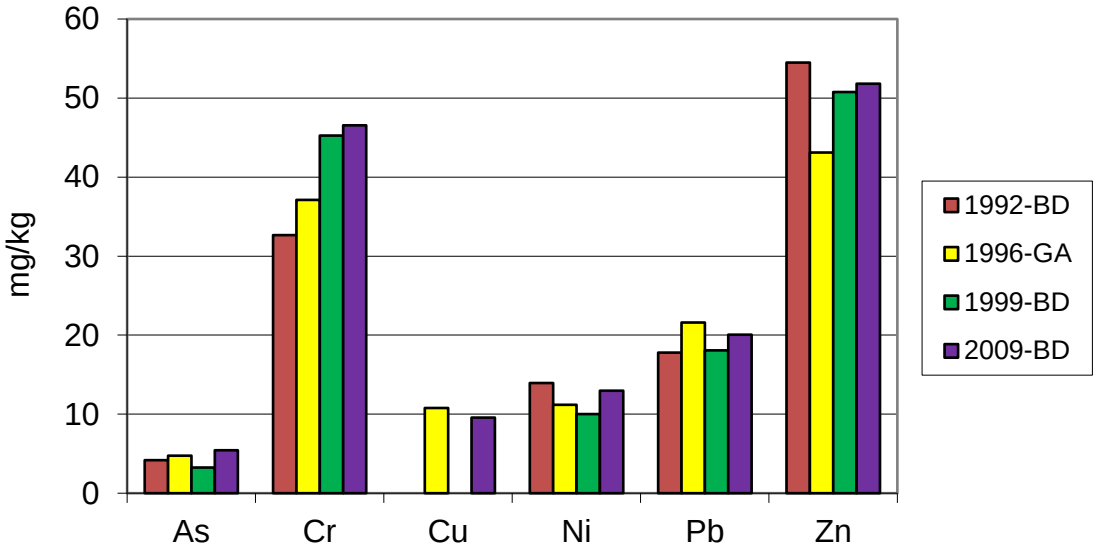
Die Gesamtgehalte an Cadmium und Kupfer im mineralischen Oberboden lagen im Rahmen der Erstbeprobung bzw. der ersten Wiederholungsbeprobung unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine Beurteilung der Entwicklung der Gehalte dieser beiden Elemente über die Zeit ist daher nicht möglich. Bei Chrom war eine signifikante Zunahme der Gehalte zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung zu beobachten. Der Anstieg der Bleigehalte war hingegen nicht signifikant.

Tab. BDF27-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	4,18	3,25	5,45	<0,2	<0,2	0,22	32,67	45,27	46,53	<10	10,8	9,56
SD	0,37	1,55	0,08	-	-	0,01	11,01	2,11	1,59	-	-	0,65
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	13,95	10,03	12,97	17,77	18,07	20,7	54,50	50,77	51,83	0,06	0,05	n.b.
SD	6,92	2,66	0,35	5,32	0,38	0,50	6,44	6,07	0,70	0	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Bei Einbeziehung von Ergebnissen eines Vorhabens der Ostseeanrainerstaaten zur Kennzeichnung von Spurenelementgehalten in Böden (Geochemischer Atlas) werden die Daten der Boden-Dauerbeobachtung bestätigt (Abb. BDF27-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung GA-Geochemischer Atlas

Abb. BDF27-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität im humosen Oberboden zeigt ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen mit überwiegend basischen Kationen an den Austauschern. Mit Ausnahme der bewirtschaftungsbedingt signifikant sinkenden Gehalte an Calcium und Kalium sind keine Veränderungstendenzen erkennbar (s. Tab. BDF27-3).

Tab. BDF27-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	9,75	9,72	8,92	0,65	0,51	0,33	0,67	0,46	0,47	0,03	0,04	< 0,06	0,42	0,01	<0,05
SD	0,21	0,42	0,35	0,05	0,02	0	0,02	-	0,03	-	0,02	-	0,32	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	<0,01	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,10	0,04	0,09	11,6	9,01	9,80			
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0	0,1	1,09	0,32			

< - Bestimmungsgrenze

Zusammenfassende Bewertung

Die 1992 eingerichtete, im Ahrensböker Endmoränengebiet gelegene Boden-Dauerbeobachtungsfläche 27 (Östliches Hügelland), eine Pseudogley-Parabraunerde, zeigt im humo-

sen, sehr schwach sauren Oberboden im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff keine Tendenzen der Veränderung. Die pflanzenverfügbaren Vorräte an Kalium und Phosphat sind über den Beobachtungszeitraum in die Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel) einzustufen. Die Höhe der Nährstoffvorräte wie auch der Anstieg der pH-Werte ist bewirtschaftungsbedingt. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich der Hintergrundwerte im Östlichen Hügelland und unterschreiten die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTEN-VERORDNUNG (1999) deutlich. Bei Chrom war eine leichte signifikante Zunahme der Gesamtgehalte zu beobachten, jedoch auch die höheren Gehalte liegen unterhalb der Vorsorgewerte. Die effektive Kationenaustauschkapazität zeigt entsprechend des lehmigen Ausgangsmaterials ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen.

3.2.10 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lübeck/Niederbüssau (BDF29)

Die im Jahre 1990 im Lübecker Becken (Südöstliches Ostholsteiner Hügel- und Seenland, Hansestadt Lübeck) eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich unter Ackernutzung. Das Gelände in diesem Teil des Jungmoränengebietes ist lediglich schwach wellig. Je nach Stau- bzw. Grundwassereinfluss dominieren Pseudogleye bis Gleye aus weichselzeitlichem glazialem Beckenschluff bis -ton. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Braunerde-Pseudogley aus weichselzeitlichen Beckenlehmen und -tonen. Die Leitprofil- und Erstbeprobung erfolgte im Jahre 1990. Im Oberboden wurden schwach sandiger Lehm und sandig-lehmiger Schluff als Bodenart bestimmt.

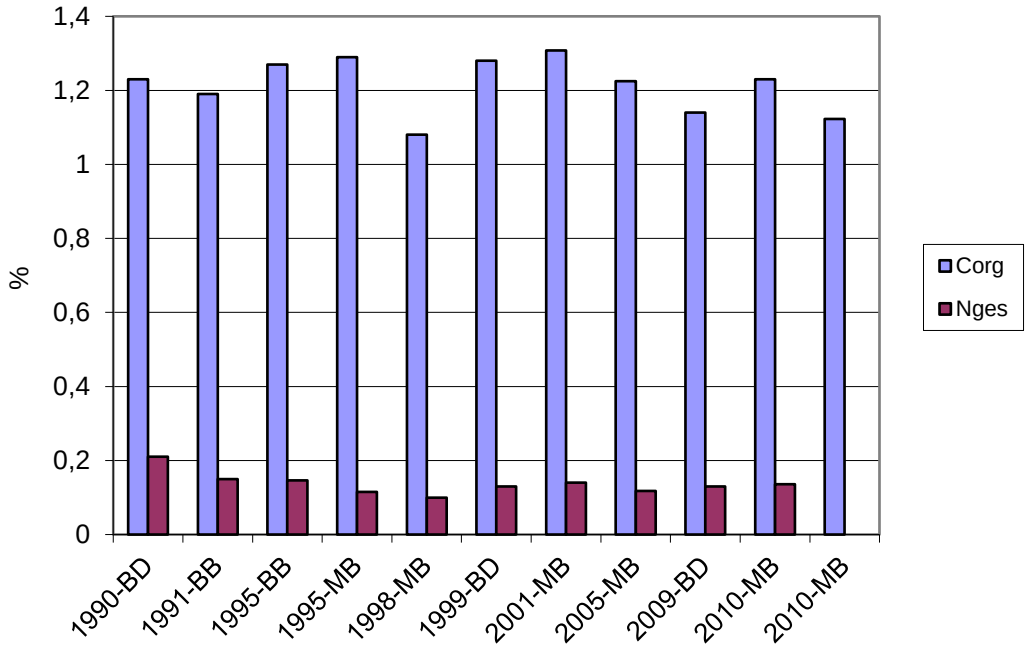
Allgemeine bodenchemische Parameter

Im schwach bis mittel humosen Oberboden zeigen sich im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat sowie den pH-Wert keine Tendenzen der Veränderung. Das C/N-Verhältnis weist mit etwa 6-10 relativ enge, aber für landwirtschaftliche Flächen typische Werte auf. Der pH-Wert liegt im sehr schwach sauren Bereich und ist in die pH-Klasse B bis C (niedrig bis optimal) einzustufen (VDLUFA 2000). Im Hinblick auf Bodenstruktur, Nährstoffverfügbarkeit und insbesondere Mobilisierbarkeit von Schwermetallen ist die pH-Klasse C anzustreben. Die pflanzenverfügbaren Vorräte an Phosphat schwanken bewirtschaftungsbedingt stark zwischen den Gehaltsklassen A bis C (niedrig bis mittel), die an Kalium sind konstant in die Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013).

Tab. BDF29-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	1,23	1,28	1,14	0,21	0,13	0,13	6,28	6,70	6,21
SD	0,01	0,05	0,01	0,09	0	0	0,12	0	0,02
	K_2O			P_2O_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	22,53	20,7	21,2	4,39	24,47	15,47			
SD	1,14	2,65	2,01	5,21	5,66	1,08			

Die Erweiterung der Datenbasis von C_{org} und N_{ges} um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen bestätigt die Daten der Boden-Dauerbeobachtung (s. Abb. 29-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF29-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Der Oberboden weist im landesweiten Vergleich insgesamt höhere Gehalte an Schwermetallen und Arsen auf. Neben den anthropogenen Einträgen ist auch von einer bereits geogen bedingten Grundlast durch das Ausgangsmaterial (Beckenablagerungen) auszugehen. Vergleicht man die Gesamtgehalte mit den im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalten der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011)

zeigt sich, dass auch die Maximalwerte der Hintergrundwerte (Acker/Östliches Hügelland) z. T. überschritten werden (Cadmium, Kupfer). Quecksilber und Blei überschreiten die Maximalwerte zu allen Beprobungsterminen.

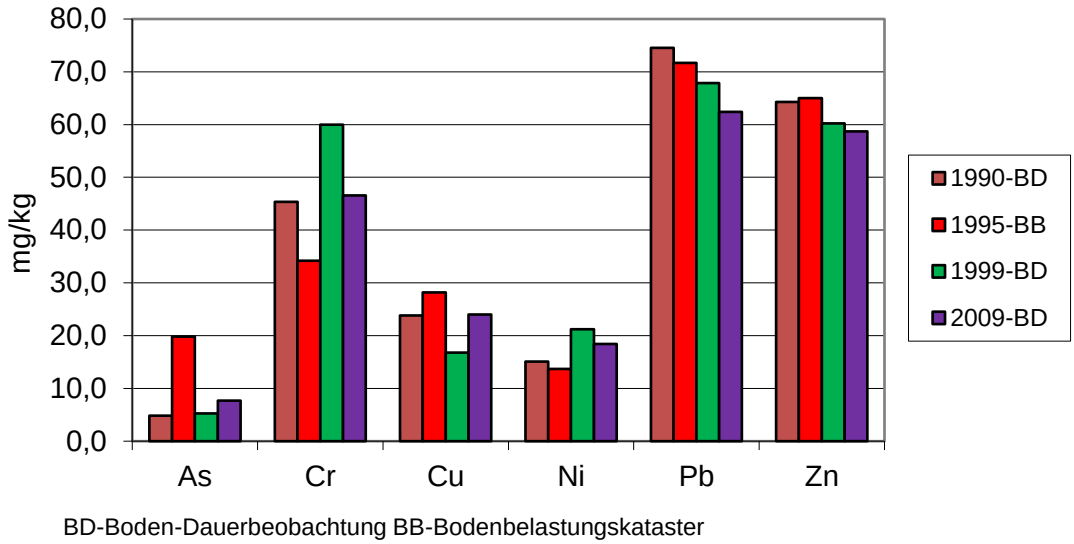
Blei überschreitet im Jahr 1990 als Gesamtgehalt den Vorsorgewert der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTEN-VERORDNUNG (1999) leicht. Laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) wird für Blei im Königswasseraufschluss nur ein Anteil von etwa 63 % am Gesamtgehalt erfasst. Unter Berücksichtigung der hier gemessenen Gesamtgehalte ist daher anzunehmen, dass der Vorsorgewert eingehalten wird. Die übrigen Schwermetalle unterschreiten die Vorsorgewerte bereits als Gesamtgehalte. Auch Arsen hält den Vorsorge-Hilfswert-SH bereits als Gesamtgehalt ein. Die Höhe der Gesamtgehalte an Schwermetallen und der signifikante Anstieg von Arsen werden in weiteren Untersuchungen überprüft (s. Tab. BDF29-2). Die Abnahme der Gehalte an Blei und Zink ist nicht signifikant.

Tab. BDF29-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	4,92	5,27	7,67	0,48	0,24	0,36	45,33	59,97	46,57	23,82	16,80	24,00
SD	0,35	1,58	0,11	-	-	0,01	1,30	3,86	0,97	1,73	7,10	0,26
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	15,06	21,23	18,43	74,55	67,87	62,43	63,24	60,20	58,70	0,19	0,20	n.b.
SD	1,42	5,11	1,70	6,80	8,30	6,44	4,38	0,46	0,17	0,01	0,02	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein zeigt auch für Arsen eher schwankende Gehalte; für die Schwermetalle zeigen sich keine Tendenzen der Veränderung, lediglich der Gehalt an Blei weist auf eine abnehmende Tendenz hin, die durch weitere Untersuchungen zu prüfen ist (s. Abb. BDF29-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF29-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Im schwach bis mittel humosen Oberboden dieses Ackerstandortes weist die effektive Kationenaustauschkapazität entsprechend des lehmigen Mineralbodens ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen mit überwiegend basischen Kationen an den Austauschern auf. Im Rahmen der bisher durchgeführten Untersuchungen zeigt sich bewirtschaftungsbedingt eine signifikante Abnahme der Gehalte an austauschbarem Calcium sowie bei Magnesium eine signifikante Zunahme des Gehaltes. Bei den übrigen Parametern treten lediglich Schwankungen auf (s. Tab. BDF29-3).

Tab. BDF29-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	9,43	8,79	7,67	0,65	0,69	0,41	1,41	1,85	1,88	0,03	0,06	0,06	<0,01	<0,01	<0,05
SD	0,17	0,16	0,05	0,05	0,07	0,03	0,03	0,07	0,04	-	0,01	0	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,19	0,11	0,16	11,34	11,57	9,91			
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0	0,2	0,32	0,33			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1990 im Lübecker Becken (Östliches Hügelland) eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 29, ein Braunerde-Pseudogley, zeigt im schwach bis mittel humosen Oberboden im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat sowie des pH-Wertes keine Tendenzen der Veränderung, sondern lediglich bewirtschaftungsbedingte Schwankungen. Die effektive Kationenaustauschkapazität weist entsprechend des lehmigen Mineralbodens ein mittleres Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen mit überwiegend basischen Kationen an den Austauschern auf. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden weisen zwar im landesweiten Vergleich insgesamt höhere Werte auf, die Vorsorgewerte werden jedoch eingehalten; denn auch für Blei kann rein rechnerisch angenommen werden, dass der Vorsorgewert unterschritten wird. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen werden in weiteren Untersuchungen zu überprüfen sein.

3.2.11 Bewertender Überblick Gruppe 2: Acker/Lehm

Die ackerbaulich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen auf Lehmböden weisen im Oberboden maximal 1,7 % organischen Kohlenstoff auf. Die C/N-Verhältnisse zeigen im Vergleich zu den Flächen der Gruppe Acker/Sand in der Regel etwas engere Werte (6-10). Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen ist aufgrund der Bodenart mittel bis hoch. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich natürlicher Hintergrundgehalte des jeweiligen Naturraums, lediglich die BDF 29 im Lübecker Becken weist für Chrom, Kupfer, Quecksilber und Blei im Vergleich zum Naturraum (Acker/Östliches Hügelland) höhere Werte auf. Dennoch ist anzunehmen, dass auch hier die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen eingehalten werden. Tendenzen der Veränderung in Form von ansteigenden wie auch abnehmenden Gehalten zeigen sich nach derzeitigem Stand der Boden-Dauerbeobachtung für einige Schwermetalle und Arsen nur sehr vereinzelt.

3.3 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 3: Grünland / mineralische Böden

3.3.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Havetoftloit (BDF08)

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 08 liegt im zentralen Bereich der Teillandschaft Angeln (Östliches Hügelland/Kreis Schleswig-Flensburg). Das Umland der BDF08 zeigt eine für die Grundmoränenplatten und Endmoränen des Jungmoränengebietes typische Vergesellschaftung von Parabraunerden und Braunerde-Parabraunerden aus Geschiebe(deck-)lehmen und gering verbreiteten Kolluvisolen über Geschiebe(deck-)lehm oder Niedermoortorf. Beim Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche in Havetoftloit handelt es sich um eine Parabraunerde aus Fließerden über tiefem Geschiebelehm und –mergel. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung 1991. Es wurde im Rahmen der drei Beprobungen stark lehmiger Sand als Bodenart bestimmt. Bezüglich der Flächennutzung handelt es sich um eine in Hofnähe gelegene Intensiv-Weide.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Die Untersuchungen der allgemeinen bodenchemischen Parameter zeigen, dass die Gehalte an C_{org} im stark humosen mineralischen Oberboden zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikant abnehmen. Diese Abnahme dürfte z. T. auf den starken Viehtritt zum Zeitpunkt der Beprobung mit entsprechender Heterogenität der Fläche zurückzuführen sein. Der Gehalt an Gesamtstickstoff zeigt keine signifikanten Veränderungen. Die C/N Verhältnisse weisen für landwirtschaftliche Flächen typische Werte von ca. 10 und 12 auf. Der pH-Wert des Oberbodens liegt im mäßig sauren Bereich und ist in die pH-Klasse A - B (sehr niedrig bis niedrig) (VDLUFA 2000) einzustufen. Im Hinblick auf optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sowie insbesondere zur Vermeidung erhöhter Schwermetalllöslichkeit sollte die Bodenreaktion der pH-Klasse C entsprechen. Die Gehalte an doppellaktatlöslichem Phosphat sind in die Gehaltsklasse D (hoch), die Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium in die Gehaltsklasse D bis E (hoch bis sehr hoch) einzustufen (LKSH 2013) (s. Tab. BDF08-1). Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat wie auch die pH-Werte sind bewirtschaftungsbedingten Schwankungen unterworfen.

Tab. BDF08-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	4,42	3,45	3,44	0,37	0,36	0,33	4,80	5,23	5,13
SD	0,28	0,08	0,11	0,08	0,01	0,01	0,10	0,06	0,05
	K_2O			P_20_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	42,27	42,23	25,00	41,77	35,20	37,33			
SD	5,92	2,46	8,00	2,58	0,90	4,50			

Die Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen bestätigt nur schwach die tendenzielle Abnahme der Gehalte an C_{org} an diesem Standort (s. Abb. BDF08-1).

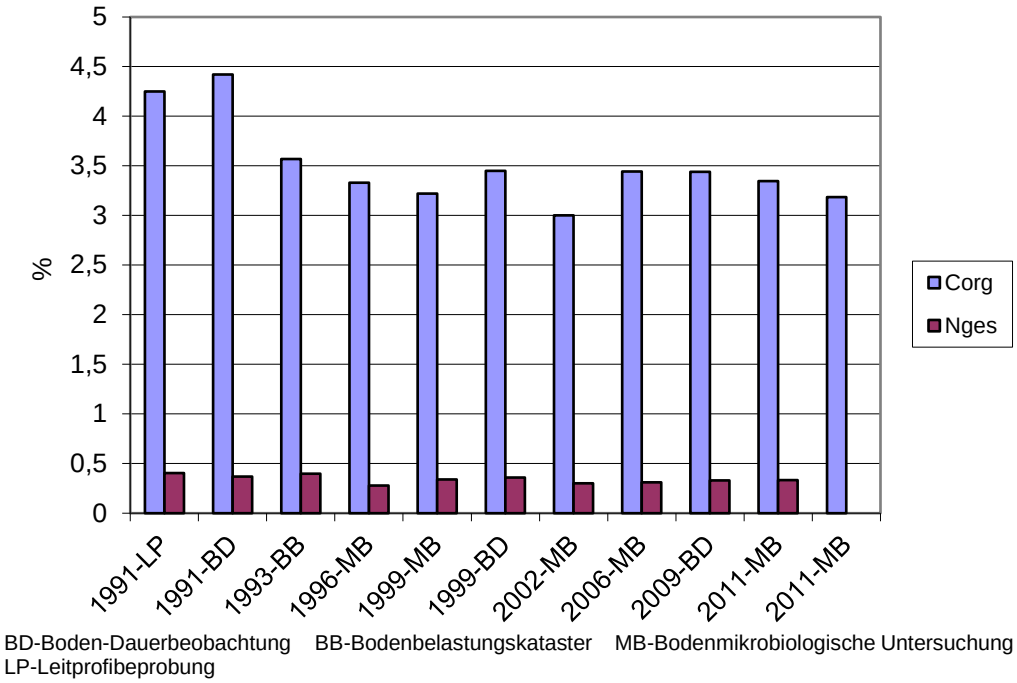


Abb. BDF08-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Der Boden aus stark lehmigem Sand weist für Cadmium und Kupfer im mineralischen Oberboden zum Teil Gesamtgehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen unterhalb des 90er-Perzentilwertes (Grünland/Östliches Hügelland) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Arsen wird 1991 erst durch den 95er-Perzentilwert erfasst, unterschreitet jedoch den Vorsorge-Hilfswert-SH (LLUR 2011) deutlich. Nickel zeigt 1991 und 1999 Gesamtgehalte deutlich unterhalb des 90er-Perzentilwertes. Im Jahr 2009 liegt der Gehalt höher, jedoch unterhalb des Maximalwertes der Hintergrundwerte für Grünlandflächen im Östlichen Hügelland.

Die Schwermetalle unterschreiten - bis auf Nickel und Zink im Jahr 2009 – bereits als Gesamtgehalte die im Königswasserextrakt ermittelten Gehalte der Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999). Aufgrund des niedrigen pH-Wertes unterhalb von 6 gelten für Cadmium, Nickel und Zink infolge erhöhter Löslichkeit der genannten Schwermetalle die niedrigeren Vorsorgewerte der Bodenart Sand. Nickel und Zink überschreiten entsprechend dieser pH-bezogenen Anwendungsregel 2009 die Vorsorgewerte als Gesamtgehalte. Zusätzliche Untersuchungen im Königswasserextrakt zeigten jedoch für Nickel wie für Zink Gehalte unterhalb der Vorsorgewerte. Nickel zeigt zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung eine signifikante Zunahme der Gesamtgehalte (s. Tab. BDF08-3).

Tab. BDF08-3: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	5,75	3,97	5,06	<0,2	<0,2	0,30	31,47	29,87	32,47	11,50	<10	12,23
SD	3,41	0,31	0,14	-	-	0,01	1,69	0,68	1,25	-	-	2,81
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	8,97	9,93	21,20	21,40	18,87	23,50	59,87	56,80	64,33	0,05	0,05	<0,044
SD	3,06	0,73	1,84	1,41	1,00	2,60	5,02	0,72	1,27	0	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Bei der Untersuchung der Gehalte an austauschbaren Kationen wurde eine signifikante Abnahme für Calcium, Mangan und der effektiven Kationenaustauschkapazität festgestellt (s. Tab. BDF08-4). Da die Belegung der Kationen am Austauscher düngungsabhängig ist, sind Änderungen vor allem als nutzungsbedingt anzusehen. Die Abnahme der Kationenaustauschkapazität wird hingegen im Wesentlichen durch den Gehalt an Tonmineralen und organischer Substanz bestimmt, so dass der unterschiedliche Gehalt an Ton und insbesondere Humus in der Bodenprobe die Daten beeinflussen. Die gemessene Kationenaustauschkapazität ist aufgrund des lehmigen Ausgangsmaterials sowie der organischen Substanz trotz der mäßig sauren Bodenreaktion als mittel bis hoch einzustufen.

Tab. BDF08-4: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	7,31	6,29	5,87	0,93	0,93	0,56	1,77	1,57	2,14	0,11	0,09	0,12	3,48	1,50	<0,05
SD	0,15	0,24	0,27	0,19	0,03	0,18	0,15	0,08	0,17	0,02	0,02	0,02	0,39	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	0,13	<0,3	0,20	0,02	0,01	<0,02	0,27	0,26	0,19	14,03	13,7	8,29			
SD	-	-	0,04	0,01	-	-	0,06	0,03	0,01	0,32	-	0,34			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 08 in Angeln (Östliches Hügelland/ Kreis Schleswig-Flensburg), eine Parabraunerde, zeigt in den Untersuchungen der allgemeinen bodenchemischen Parameter keine Tendenzen der Veränderung im Hinblick auf Gesamtstickstoff, pH-Wert sowie pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat. Die leichte Abnahme von organischem Kohlenstoff im stark humosen Oberboden sollte durch weitere Untersuchungen überprüft werden. Die C/N Verhältnisse weisen für landwirtschaftliche Flächen typische Werte von ca. 10 und 12 auf, der pH-Wert des Oberbodens liegt im mäßig sauren Bereich und ist im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sowie im Hinblick auf erhöhte Schwermetalllöslichkeit als zu niedrig einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen im Bereich typischer Hintergrundwerte für Grünland im Östlichen Hügelland. Die Schwermetalle – auch Nickel und Zink - unterschreiten die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999). Überschreitungen des Vorsorgewertes bei pH < 6 für Böden aus Lehm sind aufgrund der pH-bezogenen Anwendungsregel der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung landesweit häufiger zu beobachten, da Lehmböden deutlich höhere Grundgehalte gegenüber Sandböden aufweisen. Nickel zeigt eine signifikante Zunahme der Gesamtgehalte. Weitere Untersuchungen werden diesen Trend überprüfen. Tendenzen der Veränderung lassen sich für die übrigen Schwermetalle und Arsen nicht feststellen. Die gemessene Kationenaustauschkapazität im Oberboden ist bedingt durch das lehmige Ausgangsmaterial und die organische Substanz im Boden als mittel bis hoch einzustufen.

3.3.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hindorf (BDF22)

Diese Untersuchungsfläche liegt im Bereich der südwestlichen Dithmarscher Geest (Heide-Itzehoer Geest) im Kreis Dithmarschen. Im Umland der BDF dominiert die für die Grundmoränenplatten und Endmoränen der periglaziär überprägten Altmoränenlandschaft typische Bodenvergesellschaftung von Braunerden bis Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebesand und Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über tiefem Geschiebelehm. Im Rahmen der Einrichtung dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahr 1991 bzw. 1992. Beim Leitprofil handelt es sich um einen vergleyten Pseudogley-Podsol aus Geschiebedecksand über tiefen Fließerden und saalezeitlichem Geschiebelehm. Die Fläche wird als Jungviehweide genutzt. Als Bodenart des Oberbodens wurden schwach schluffiger Sand und in einem Fall mittelsandiger Feinsand ermittelt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

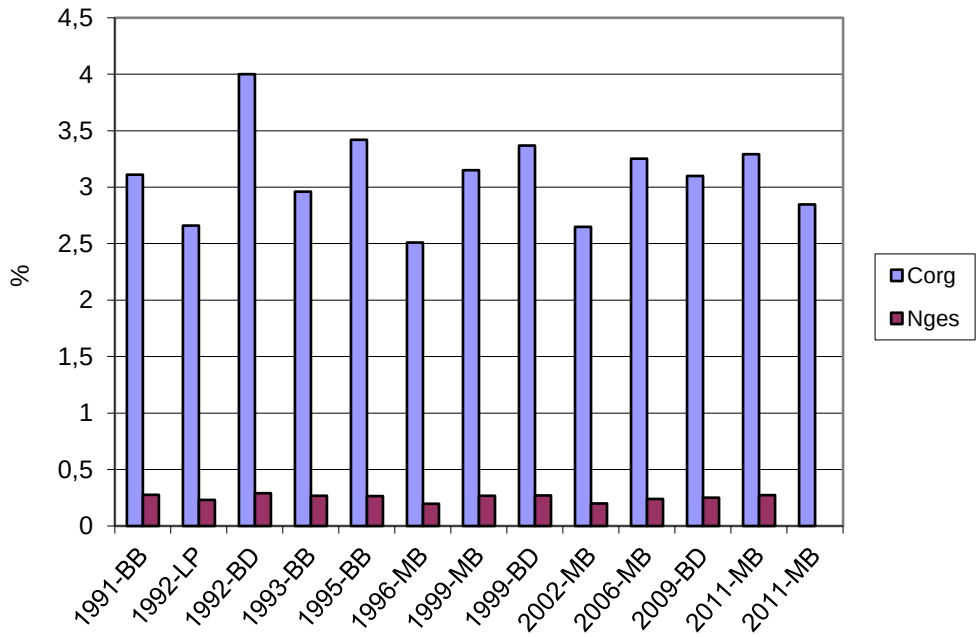
Der stark humose mineralische Oberboden ist stark bis mäßig sauer. Für einen Grünlandstandort ist der Boden in die pH-Klasse B bis C (niedrig bis optimal) einzustufen. Im Hinblick auf Bodenstruktur, Nährstoffverfügbarkeit sowie Löslichkeit von Schwermetallen ist die pH-Klasse C anzustreben (VDLUFA 2000). Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 12 bis 14. Für Gesamtstickstoff zeigt sich eine signifikante Abnahme der Gehalte, die Abnahme des Gehaltes an organischem Kohlenstoff ist nicht signifikant. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Ka-

lium sind in die Gehaltsklassen B bis E (niedrig bis sehr hoch), die an Phosphat in die Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel) einzustufen (LKSH 2013) (s. Tab. BDF22-1).

Tab. BDF22-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	4,00	3,37	3,10	0,29	0,27	0,25	4,37	5,03	4,68
SD	0,81	0,19	0,24	0,02	0,01	0,02	0,15	0,06	0,05
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	27,20	5,13	13,32	19,60	10,93	14,80			
SD	2,78	0,58	4,22	3,68	0,51	3,03			

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen zeigt auch für Stickstoff eher schwankende Gehalte als eine abnehmende Tendenz (s. Abb. BDF22-1). Weitere Untersuchungen werden mögliche Veränderungen abklären.



BD-Boden-Dauerbeobachtung LP-Leitprofilbeprobung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF22-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen - mit Ausnahme von Chrom und Nickel – liegen unterhalb des 90er-Perzentilwertes (Grünland/Hohe Geest) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Chrom liegt im Jahr 1999 noch unterhalb des Maximalwertes der Hintergrundwerte. Nickel überschreitet im Jahr 2009 den Maximalwert (Grünland/Hohe Geest). Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) werden jedoch auch von Chrom und Nickel bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Der Gesamtgehalt an Arsen überschreitet im Jahr 1992 zwar den Maximalwert der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“, der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird jedoch deutlich unterschritten (LLUR 2011).

Die Gehalte an Cadmium, Kupfer, Nickel und Quecksilber im mineralischen Oberboden liegen teilweise unterhalb der damaligen Bestimmungsgrenze, so dass für diese Elemente bezüglich der Entwicklung ihrer Gehalte keine Aussagen getroffen werden können. Bei den übrigen Schwermetallen zeigen sich keine Tendenzen (s. Tab. BDF22-2).

Tab. BDF22-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	4,55	<0,5	1,66	<0,2	<0,2	0,21	15,17	17,03	13,27	<10	<10	3,05
SD	1,32	-	0,08	-	-	0,02	1,96	1,21	1,99	-	-	0,56
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	9,41	12,45	16,17	13,20	20,90	25,53	20,10	n.b.	0,03	<0,044
SD	-	-	2,66	2,78	9,30	3,12	3,06	7,03	1,65	-	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 22 weist entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials eine geringe effektive Kationenaustauschkapazität im Oberboden auf. Die abnehmende Tendenz ist als nicht signifikant zu betrachten. Bei den austauschbaren Kationen zeigen sich keine Tendenzen, lediglich Calcium weist signifikant abnehmende Gehalte auf (s. Tab. BDF22-3).

Tab. BDF22-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	4,35	3,50	2,83	0,47	0,13	0,28	0,66	0,50	0,76	0,18	0,07	0,11	<0,01	0,46	0,09
SD	0,45	0,21	0,25	0,14	0,02	0,10	0,09	0,04	0,15	0,09	0,01	0,03	-	0,19	-
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	0,73	0,56	0,61	0,03	0,01	0,02	0,15	0,06	0,06	5,74	5,30	4,74			
SD	0,26	0,15	0,10	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0	0,81	0,58	0,36			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahr 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 22, ein vergleyter Pseudogley-Podsol, liegt im Bereich der südwestlichen Dithmarscher Geest (Heide-Itzehoer Geest) im Kreis Dithmarschen. Der Grünlandstandort weist einen stark humosen, stark bis mäßig sauren mineralischen Oberboden auf. Tendenzen der Veränderung sind für den Gehalt an organischem Kohlenstoff und für Gesamtstickstoff nicht festzustellen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen im Oberboden entsprechen im Wesentlichen den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (Grünland/Hohe Geest). Nickel und Chrom zeigen vereinzelt höhere Werte, jedoch liegen auch diese unterhalb der Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Der Gesamtgehalt an Arsen überschreitet 1992 den Maximalwert der Hintergrundwerte für Grünlandstandorte auf der Hohen Geest, jedoch wird der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen deutlich unterschritten. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sind somit als unbedenklich einzustufen. Tendenzen der Veränderung sind nicht festzustellen. Der Oberboden weist eine geringe effektive Kationenaustauschkapazität auf. Die abnehmenden Gehalte an austauschbarem Calcium sind bewirtschaftungsbedingt.

3.3.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bad Bramstedt (BDF26)

Die im Jahre 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt nahe Bad Bramstedt in der Störniederung im Kreis Segeberg auf einem typischen Futterbaubetrieb der Holsteinischen Vorgeest. Im Umland der BDF26 dominieren vergleyte Podsole bis Gley-Podsole, gering verbreitet Moor-Podsole, podsolierte Gleye und Anmoorgleye aus Flugsand über Sandersand bzw. vergleyte Braunerden aus Geschiebedecksand über Sandersand oder Niedermoore über Sand in Senkenlagen. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Gley-Podsol aus weichselzeitlichen Sandersanden. Die Fläche wird als Mähweide intensiv bewirtschaftet. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofilbeprobung 1989, die Erstbeprobung fand 1993 statt. In den Oberböden wurden Mittelsand und Grobsand als Bodenarten ermittelt.

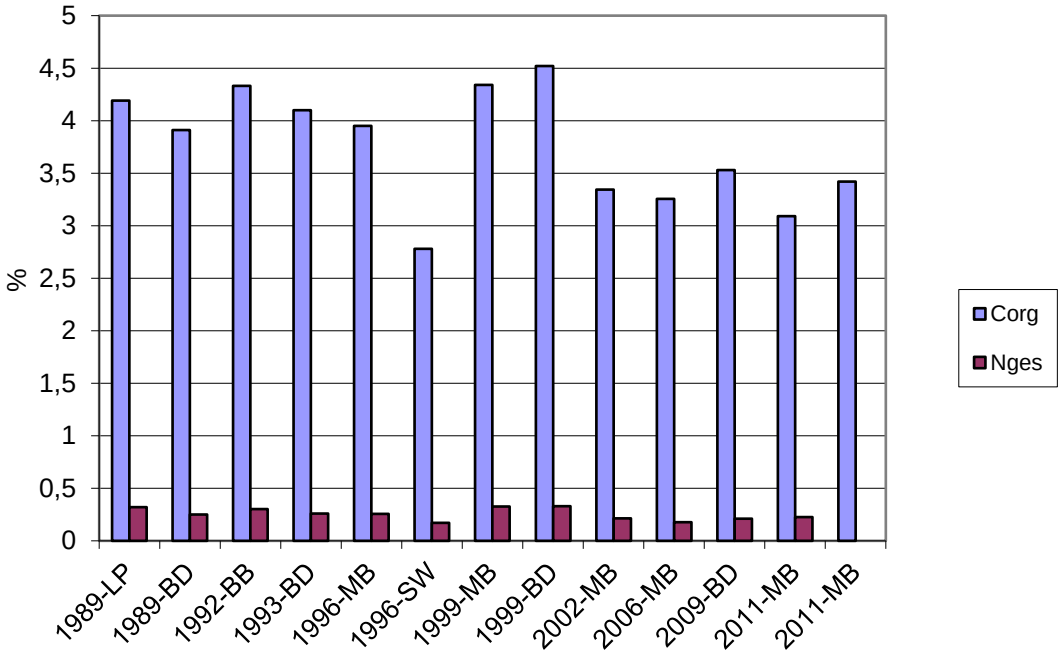
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der stark humose, sandige und grundwasserbeeinflusste Standort zeichnet sich durch schwankende Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie des pH-Wertes im mineralischen Oberboden aus. Das C/N-Verhältnis ist mit ca. 13 – 17 als eher hoch einzustufen. Die Bodenreaktion ist in die pH-Klasse C bis E (optimal bis sehr hoch) einzustufen (VDLUFA 2000). Zu hohe pH-Werte (1999) können die Nährstoffverfügbarkeit negativ beeinflussen und zu Ertragseinbußen führen. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium nehmen über den Beobachtungszeitraum von Gehaltsklasse D (hoch) signifikant ab und erreichen 2009 als Folge geringer Düngung ein sehr niedriges Niveau (Gehaltsklasse A) (LKSH 2013). Auch die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat (Gehaltsklasse B, niedrig) gehen bewirtschaftungsbedingt signifikant zurück (s. Tab. BDF26-1)

Tab. BDF26-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**			**K_2O**			**P_2O_5**		
	%			**%**						**mg/100 g Boden**			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	4,10	4,52	3,53	0,26	0,33	0,21	5,00	5,95	4,96	20,57	13,2	3,82	15,9	12,16	11,39
SD	0,58	0,20	0,67	0,06	0,01	0,03	0	0,07	0,13	6,94	6,12	0,73	1,75	2,98	1,76

Die Ergänzung der Datenbasis um Ergebnisse weiterer Untersuchungen bestätigt die schwankenden Gehalte an C_{org} und N_{ges} (s. Abb. BDF26-1).



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung SW-Sickerwasseruntersuchung

Abb. BDF26-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

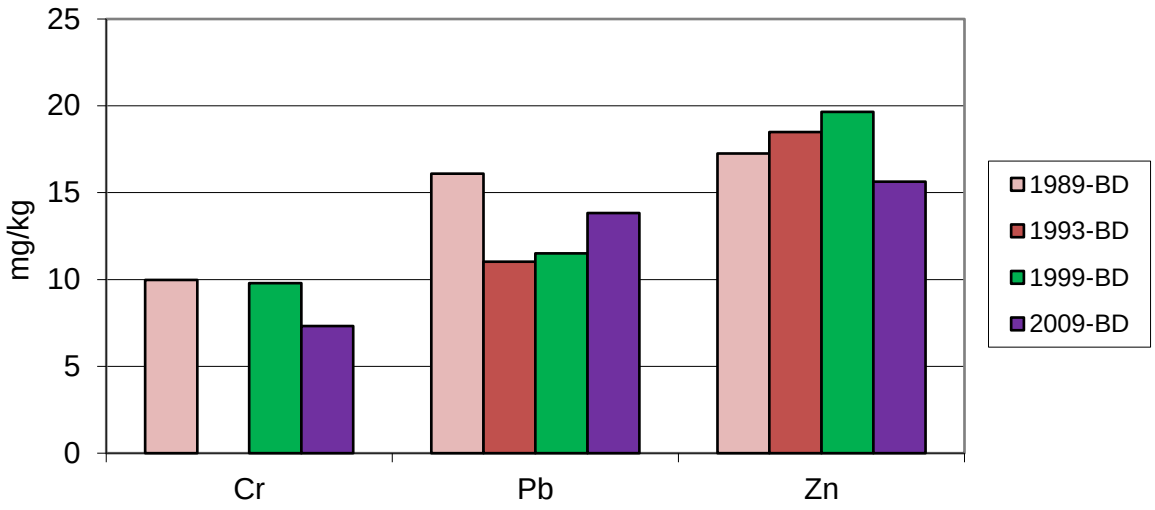
Der Standort zeichnet sich aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials durch relativ geringe Gehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden aus. So lagen die Konzentrationen an Cadmium, Kupfer und Nickel bei der Erstbeprobung und der ersten Wiederholungsbeprobung unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze. Bis auf Nickel im Jahr 2009 liegen die Gesamtgehalte der Schwermetalle und Arsen unterhalb des 90er-Perzentilwertes (Grünland/Vorgeest) der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Der einmalig höhere Gesamtgehalt an Nickel im Jahr 2009 unterschreitet deutlich den Maximalwert der Hintergrundwerte. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) werden bereits als Gesamtgehalte unterschritten. Signifikante Tendenzen der Veränderung sind nicht feststellbar (s. Tab. BDF26-2).

Tab. BDF26-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	0,65	<0,5	1,13	<0,2	<0,2	0,16	<7	9,78	7,32	<10	<10	7,04
SD	0,13	-	0,02	-	-	0,01	-	0,30	0,55	-	-	2,43
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	3,23	11,02	11,50	13,83	17,33	18,10	15,63	0,04	0,04	<0,044
SD	-	-	1,22	3,17	1,96	1,79	-	-	0,55	0,01	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Im Rahmen der Einrichtung im Jahr 1989 wurden an den Eckpunkten der Boden-Dauerbeobachtungsfläche Bodenproben gewonnen und auf die Gehalte an Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink im Gesamtaufschluss untersucht. Die messbaren Analysedaten für Chrom, Blei und Zink (s. Abb. BDF 26-2) entsprechen den Ergebnissen in der Tabelle BDF26-2.



BD-Boden-Dauerbeobachtung

Abb. BDF26-2: Gesamtgehalte an Chrom, Blei und Zink im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse aus der Einrichtung 1989

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Auf dem sandigen und stark humosen Standort sind im mineralischen Oberboden kaum Tendenzen der Veränderung festzustellen. Es zeigen sich im Wesentlichen Schwankungen im Gehalt an austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität. Lediglich Natrium lässt eine signifikante Zunahme erkennen. Die Abnahme des Gehalts an austauschbarem Kalium ist nicht signifikant. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist als gering bis mittel einzustufen (s. Tab. BDF26-3).

Tab. BDF26-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	5,55	8,99	6,46	0,34	0,26	0,09	0,71	2,45	1,34	0,07	0,14	0,17	1,14	0,05	<0,05
SD	1,16	0,73	0,39	0,19	0,14	0,02	0,31	0,19	0,05	0,02	0,06	0,02	1,73	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	0,16	<0,3	0,20	<0,01	<0,01	<0,02	0,06	0,04	0,05	7,97	11,5	7,87			
SD	-	-	0,05	-	-	-	0,01	0,01	0,01	1,93	1,39	0,45			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 26 auf einem typischen Futterbaubetrieb der Holsteinischen Vorgeest, ein Gley-Podsol, zeichnet sich durch ein sandiges, stark humoses Substrat im Oberboden aus. Es zeigen sich keine Tendenzen der Veränderung im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie dem pH-Wert, den Gesamtgehalten an Schwermetallen und Arsen sowie der Kationenaustauschkapazität. Das C/N-Verhältnis ist mit ca. 13 – 17 als eher hoch einzustufen, die effektive Kationenaustauschkapazität als gering bis mittel. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in Böden unter Grünlandnutzung auf der Vorgeest entsprechen den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins. Auch der einmalig höhere Gesamtgehalt an Nickel im Jahr 2009 ist unbedenklich und unterschreitet den Vorsorgewert der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung deutlich.

3.3.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Groß Offenseth-Aspern (BDF28)

Im Jahre 1990 wurde auf der Barmstedt-Pinneberger Geest (Hohe Geest, Kreis Pinneberg) die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 28 eingerichtet. Im Umfeld der als intensiv genutzten Mähweide bewirtschafteten Fläche dominieren überwiegend vergleyte Podsole bis Gley-Podsole aus Flugsand über Sandersand, in geringem Umfang auch vergesellschaftet mit Moor-Podsolen, podsolierten Gleyen und Anmoorgleyen oder Niedermooren bzw. Braunerden aus Geschiebedecksand über Sandersand. Bei dem Leitprofil handelt es sich um einen Pseudogley aus Fließerden über Deckschluff und saalezeitlichem Geschiebemergel. Die Leitprofil- und Erstbeprobung erfolgte im Rahmen der Einrichtung im Jahre 1990. An zwei Beprobungszeitpunkten wurde lehmiger Sand als Bodenart im Oberboden ermittelt, im weiteren Fall schluffiger Sand.

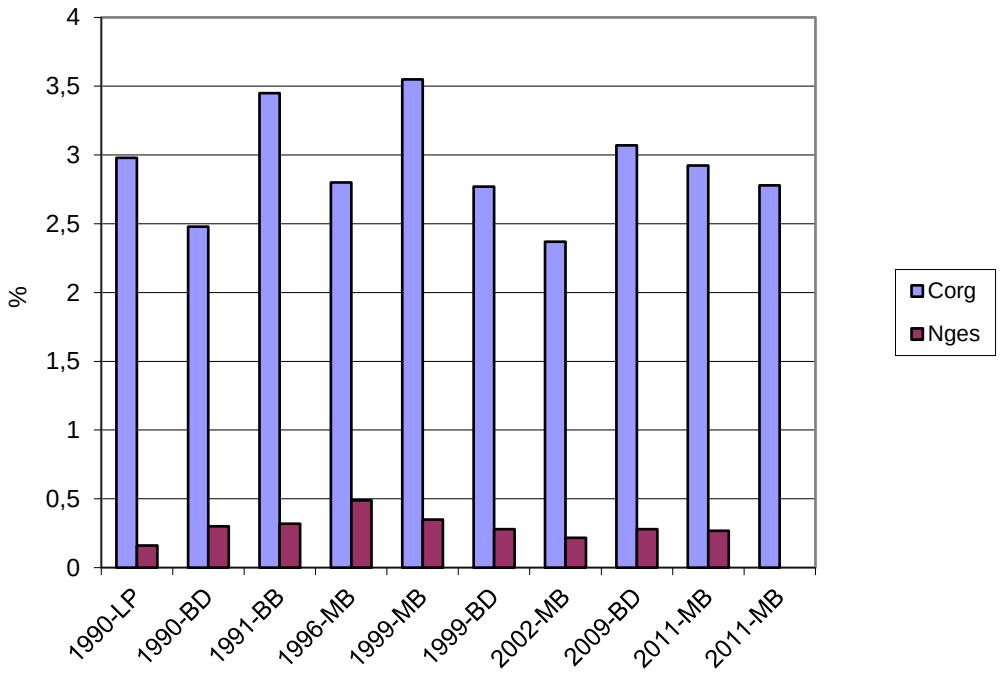
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der Standort zeichnet sich durch einen stark humosen Oberboden mit einem für landwirtschaftliche Flächen typischen C/N-Verhältnis von ca. 8-11 aus. Der organische Kohlenstoff weist bei Betrachtung ausschließlich dieser Daten signifikant steigende Gehalte auf. Die Bodenreaktion ist als mäßig sauer zu bezeichnen und weist schwankende Werte auf, die in die Gehaltsklassen B bis C (niedrig bis optimal) (VDLUFA 2011) einzustufen sind. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Kalium sind bewirtschaftungsbedingt signifikant während des Beobachtungszeitraums gesunken und entsprechen den Gehaltsklassen E bis B (sehr hoch bis niedrig), die Gehalte an Phosphat sind in die Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013) (s. Tab. BDF28-1).

Tab. BDF28-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	2,48	2,77	3,07	0,30	0,28	0,28	5,02	5,30	5,21
SD	0,34	0,24	0,18	0,04	0,01	0,01	0,20	0	0,17
	K_2O			P_2O_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	25,86	10,96	8,11	30,67	18,57	19,03			
SD	0,52	2,09	2,22	1,15	2,32	1,85			

Die Erweiterung der Datenbasis von organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigt keine ansteigenden Gehalte des organischen Kohlenstoffs, sondern eher deutliche Schwankungen im mineralischen Oberboden ohne eindeutige Tendenzen (s. Abb. BDF28-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF28-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen auf diesem Standort entsprechen überwiegend den im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalten der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Böden unter Grünlandnutzung auf der Hohen Geest (LLUR 2011). Kupfer, Blei und Quecksilber unterschreiten als Gesamtgehalte

zu allen Terminen den 90er-Perzentilwert, Arsen und Cadmium den 95er-Perzentilwert, Zink den Maximalwert. Die Gesamtgehalte an Chrom und Nickel (2009) überschreiten zwar den Maximalwert der Hintergrundwerte, unterschreiten jedoch wie die übrigen Schwermetalle bereits als Gesamtgehalte die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTEN-VERORDNUNG (1999). Auch Arsen unterschreitet deutlich den Vorsorge-Hilfswert-SH (LLUR 2011). Die Schwermetall- wie auch die Arsengehalte sind als unbedenklich einzustufen (s. Tab. BDF28-2). Tendenzen der Veränderung zeichnen sich nicht ab.

Tab. BDF28-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	3,56	2,93	3,25	0,22	<0,2	0,24	26,29	26,03	26,87	5,78	<10	7,26
SD	0,30	0,76	0,15	0,02	-	0,06	0,71	2,46	0,9	1,13	-	0,94
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	6,77	<5	13,2	18,03	13,93	18,03	44,75	41,93	44,73	n.b.	0,06	0,04
SD	0,54	-	2,62	2,26	1,42	0,9	3,12	1,71	2,22	-	0	0,02

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Entsprechend des sandig-lehmigen, stark humosen Oberbodens ist die effektive Kationenaustauschkapazität als mittel bis hoch einzustufen. Die Gehalte an austauschbarem Magnesium haben signifikant leicht zugenommen, die an Kalium und Mangan signifikant leicht abgenommen. Die Gehalte der übrigen Kationen und die effektive Kationenaustauschkapazität zeigen keine Tendenzen der Veränderung (s. Tab. BDF28-3).

Tab. BDF28-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1990 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	6,81	6,9	6,5	0,58	0,27	0,2	0,94	1,43	1,67	0,06	0,13	0,13	0,26	4,97	<0,05
SD	0,24	0,12	0,29	0,03	0,04	0,05	0,15	0,07	0,18	0,02	0,03	0,01	0,18	4,34	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	0,1	<0,3	0,05	0,03	0,02	<0,02	0,18	0,13	0,11	8,97	13	8,35			
SD	0,15	-	0,01	0,02	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,28	5,57	0,46			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1990 auf der Barmstedt-Pinneberger Geest (Hohe Geest, Kreis Pinneberg) eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 28, ein Pseudogley, weist einen stark humosen Oberboden mit einem für landwirtschaftliche Flächen typischen C/N-Verhältnis von ca. 8-11 auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des stark humosen, sandiglehmigen Oberbodens als mittel bis hoch einzustufen. Die Gesamtgehalte an Arsen sowie die Schwermetalle - außer Chrom und Nickel - entsprechen im Wesentlichen den „Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Böden unter Grünlandnutzung der Hohen Geest. Die Gesamtgehalte an Chrom und z. T. auch Nickel überschreiten zwar den Maximalwert der Hintergrundwerte, jedoch unterschreiten sie wie die übrigen Schwermetalle die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und sind somit als unbedenklich einzustufen. Tendenzen der Veränderung sind im Hinblick auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, die effektive Kationenaustauschkapazität sowie die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen nicht erkennbar.

3.3.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Altendeich/Neuendorf (BDF30)

Die im Jahre 1992 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 30 in der Kremper Marsch (Holsteinische Elbmarschen, Kreis Pinneberg) wird im Umfeld dominiert durch für das Elbe-Ästuar typische Klei- und Dwogmarschen (Flussmarschen) aus Schluff bis Ton. Bei dem Leitprofil handelt es sich um eine Kleimarsch aus perimarinen Tonen, Lehmen und Schluffen. Die Bewirtschaftung der als Intensiv-Weide genutzten Boden-Dauerbeoachtungsfläche erfolgt durch einen milchviehhaltenden Futterbaubetrieb. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahre 1992. Mit einer Ausnahme (toniger Lehm) wurde im Oberboden schluffiger Ton als Bodenart festgestellt.

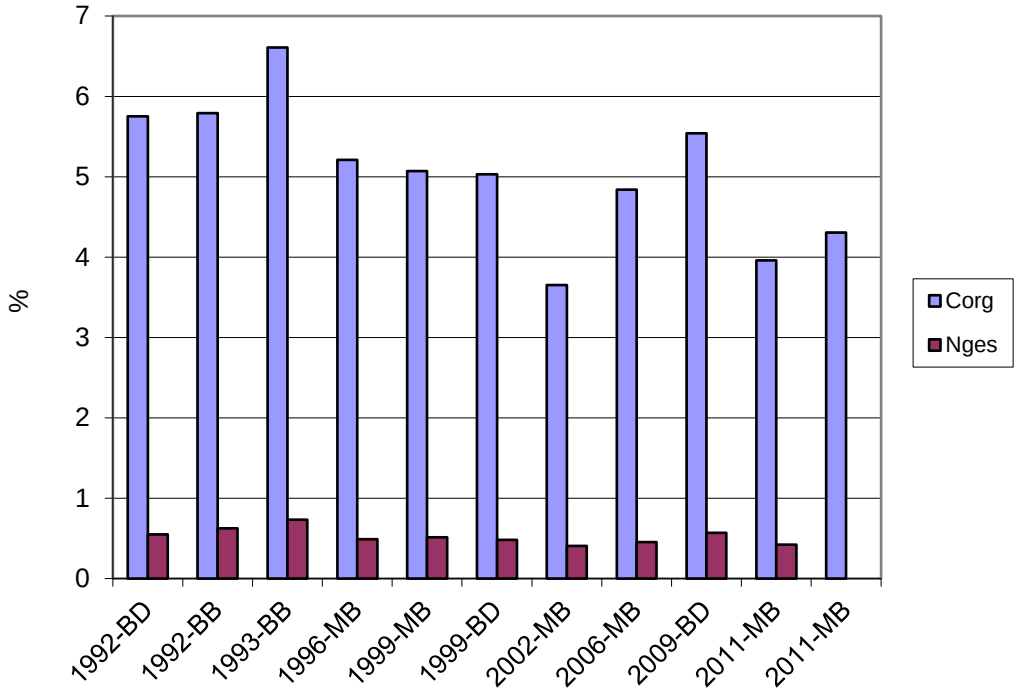
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der sehr stark humose, mäßig bis schwach saure Oberboden weist ein für landwirtschaftliche Flächen typisches C/N-Verhältnis von etwa 10 auf. Die Bodenreaktion entspricht der pH-Klasse B bis C (niedrig bis optimal) (VDLUFA 2000). Das pflanzenverfügbare Phosphat ist in die Gehaltsstufe C bis D (mittel bis hoch), das pflanzenverfügbare Kalium in die Gehaltsstufe B bis E (niedrig bis sehr hoch) einzustufen (LKSH 2013). Bewirtschaftungsbedingt zeigt sich für Kalium eine signifikante Abnahme. Die übrigen Parameter zeigen keine Tendenz der Veränderung (s. Tab. BDF30-1).

Tab. BDF30-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	5,75	5,03	5,54	0,55	0,48	0,57	5,30	6,00	5,59
SD	0,79	0,85	0,2	0,05	0,07	0	0,10	0	0,04
	K_2O			P_2O_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	64,80	35,80	27,87	39,47	28,53	32,13			
SD	13,46	12,56	1,51	9,91	4,43	1,07			

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigt für den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff stark schwankende Ergebnisse (s. Abb. BDF30-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF30-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen im Bereich der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011) für Böden unter Grünlandnutzung der Al-

ten Marsch. Lediglich Chrom und Nickel weisen einmalig für 1999 deutlich höhere Gesamtgehalte auf. Die Gesamtgehalte an Chrom wie auch an Nickel übersteigen 1999 auch die Maximalwerte der Hintergrundwerte. Da der in Königswasseraufschluss ermittelte Gehalt an Chrom laut Literaturangaben nur etwa 57 % der Gesamtgehalte entspricht (LLUR 2011), ist dennoch anzunehmen, dass auch Chrom im Bereich natürlicher Hintergrundwerte liegt. Nickel liegt jedoch rein rechnerisch auch bei Berücksichtigung der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte (85 % der Gesamtgehalte) 1999 über dem Maximalwert. Die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein für Böden mit mehr als 8 % Humus werden jedoch für alle Schwermetalle eingehalten. Arsen zeigt als einziges Element eine signifikante Zunahme der Gehalte im Boden (s. Tab. BDF30-2). Der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird dennoch deutlich unterschritten.

Tab. BDF30-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	12,80	13,63	18,37	<0,2	<0,2	0,41	29,83	85,73	64,67	11,33	<10	18,50
SD	1,21	0,64	2,20	-	-	0,03	0,57	2,50	1,36	0,60	-	1,95
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	19,93	38,90	27,10	22,67	27,53	25,47	99,30	102,87	97,80	0,07	0,07	0,06
SD	1,86	2,39	1,59	3,40	3,86	0,21	14,74	4,20	1,93	0	0,01	0

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität im tonigen, sehr stark humosen Oberboden ist als sehr hoch bis extrem hoch einzustufen. Im Verlauf der Untersuchung zeigen sich signifikant sinkende Gehalte an austauschbarem Kalium und Mangan sowie der Kationenaustauschkapazität. Die übrigen austauschbaren Kationen zeigen keine Tendenzen der Veränderung (s. Tab. BDF30-3).

Tab. BDF30-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	22,8	19,3	20,2	1,73	1,22	0,68	5,67	5,22	5,52	0,23	0,26	0,13	5,02	0,15	<0,05
SD	0,62	1,1	0,6	0,22	0,4	0,07	0,29	0,21	0,16	0,05	0,02	0,05	0,26	-	-
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	<0,01	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,44	0,34	0,25	35,87	26,3	24,97			
SD	-	-	-	-	-	-	0,06	0,02	0,03	1,1	1,55	0,51			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1992 in der Kremper Marsch (Holsteinische Elbmarschen, Kreis Pinneberg) eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 30, eine Kleimarsch, wird durch intensive Beweidung genutzt. Der sehr stark humose, mäßig bis schwach saure Oberboden weist ein für landwirtschaftliche Flächen typisches C/N-Verhältnis von etwa 10 auf. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff wie auch an Gesamtstickstoff zeigen keine Tendenzen der Veränderung. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des tonigen und sehr stark humosen Oberbodens als sehr hoch bis extrem hoch einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen weisen für Marschen im landesweiten Vergleich geogen bedingt relativ hohe Gehalte auf. Die Gehalte entsprechen dennoch im Wesentlichen den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (LLUR 2011) für Grünland der Alten Marsch. Lediglich für Nickel ist anzunehmen, dass der errechnete Gehalt 1999 den Maximalwert der Hintergrundwerte überschreitet. Arsen zeigt als einziges Element eine signifikante Zunahme der Gehalte im Boden. Die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein für Böden mit mehr als 8 % Humus werden von allen Schwermetallen sowie auch Arsen deutlich eingehalten. Tendenzen der Veränderung sind für die Gesamtgehalte an Schwermetallen nicht feststellbar.

3.3.6 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lindhof/Grünland (BDF35)

Diese Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Mai 2001 auf dem Versuchsgut für ökologischen Landbau der Universität Kiel eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit Schwansen, Dänischer Wohld in der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften. Eingebettet in die Gemarkung Lindhöft, befindet sich das Gut an der Südküste der Eckernförder Bucht, einem weichselzeitlich geprägten Eiszungenbecken. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt auf einer Weide, die in der Vergangenheit (vor dem Jahr 2001) auch als Ackerfläche genutzt wurde. Auch wenn während der Beobachtungszeit kein Nutzungswechsel stattfand, so ist der Untergrund dennoch durch die ehemalige ackerbauli-

che Nutzung geprägt. Das Umland dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche auf dem Lindhof ist durch eine Vergesellschaftung von sandigen Braunerden, (Gley-)Kolluvisolen, Gleyen, Parabraunerden, Parabraunerde-Pseudogleyen, Pseudogley-Parabraunerden sowie Pseudogleyen und Niedermooren aus spätglazialen Deckschichten, Geschiebesanden und Geschiebelehmen sowie Niedermooren geprägt. Die betrachtete Boden-Dauerbeobachtungfläche erstreckt sich von einer ebenen Erhebung bis in die Hangfläche in Richtung Steilküste, die nur ca. 70-80 m entfernt ist.

Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als (Norm-)Parabraunerde aus weichselzeitlichem Geschiebedecksand über weichselzeitlichem Geschiebelehm angesprochen. Dieser Grünlandstandort wird ökologisch bewirtschaftet. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahre 2001 bzw. 2002. Die erste Wiederholungsbeprobung fand im Jahr 2009 statt. Als Bodenart des Oberbodens liegt wechselnd schluffiger Sand bis schwach bzw. stark lehmiger Sand vor.

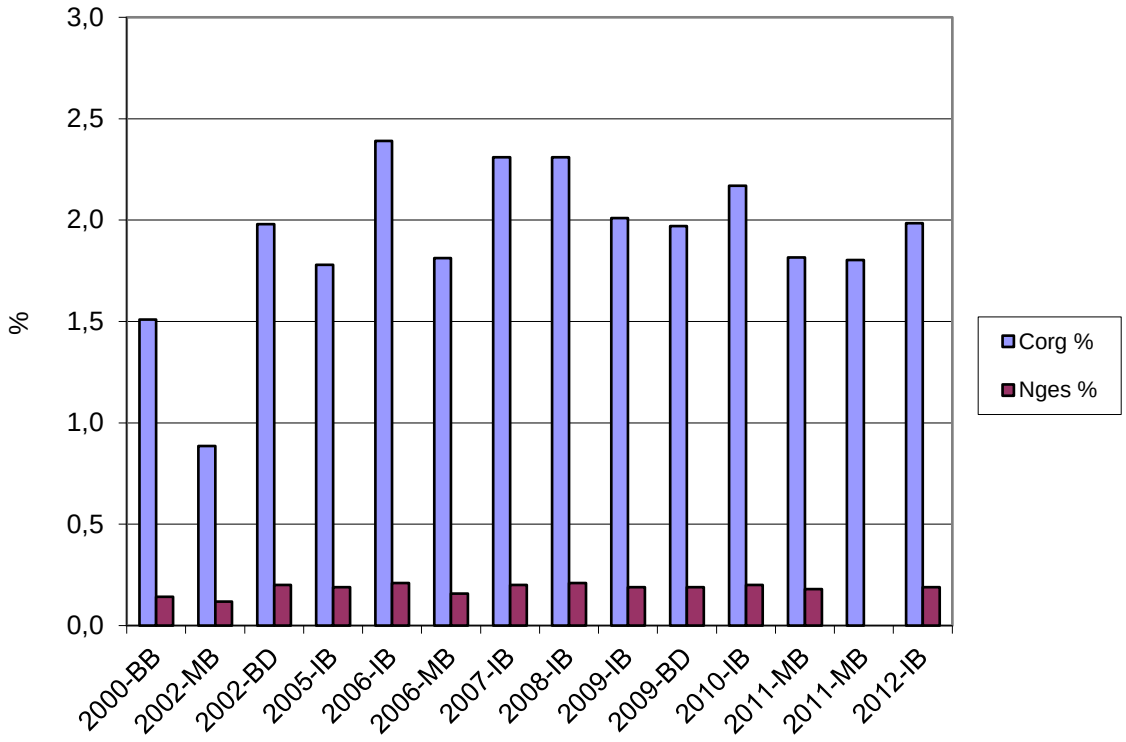
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der mittel humose, mäßig bis schwach saure Oberboden ist im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit in die anzustrebende pH-Klasse C (mittel) einzustufen (VDLUFA 2000). Das C/N-Verhältnis von etwa 10 entspricht den typischen Werten landwirtschaftlich genutzter Flächen. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium sind in die Gehaltsklassen C bis E (mittel bis sehr hoch), die an pflanzenverfügbarem Phosphat in die Gehaltsklasse B (niedrig) einzustufen (LKSH 2013).

Tab. BDF35-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden 2002 und 2009

	C_{org}		**N_{ges}**		**pH-Wert**		**K_2O**		**P_2O_5**	
	%		**%**				**mg/100 g Boden**		**mg/100 g Boden**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	1,98	1,97	0,20	0,19	5,53	5,16	27,53	16,97	12,10	16,47
SD	0,16	0,08	0,01	0,01	0,09	0,09	4,13	4,84	2,82	1,84

Seit 2003 werden auf dieser Fläche im Rahmen der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung wöchentlich Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser erfasst. Zur Charakterisierung der Austragssituation werden hierzu seit 2005 jeweils im Frühjahr Bodenproben entnommen. Darin werden u.a. die Gehalte an C_{org} und N_{ges} bestimmt. Die Zusammenführung der Ergebnisse aus der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung sowie weiterer Untersuchungen zeigt Abbildung BDF35-1. Es ist erkennbar, dass die Gehalte an C_{org} stark schwanken, auch die Gehalte an N_{ges} zeigen keine eindeutigen Zu- oder Abnahmen.



BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung BD-Boden-Dauerbeobachtung IB-Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung

Abb. BDF35-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

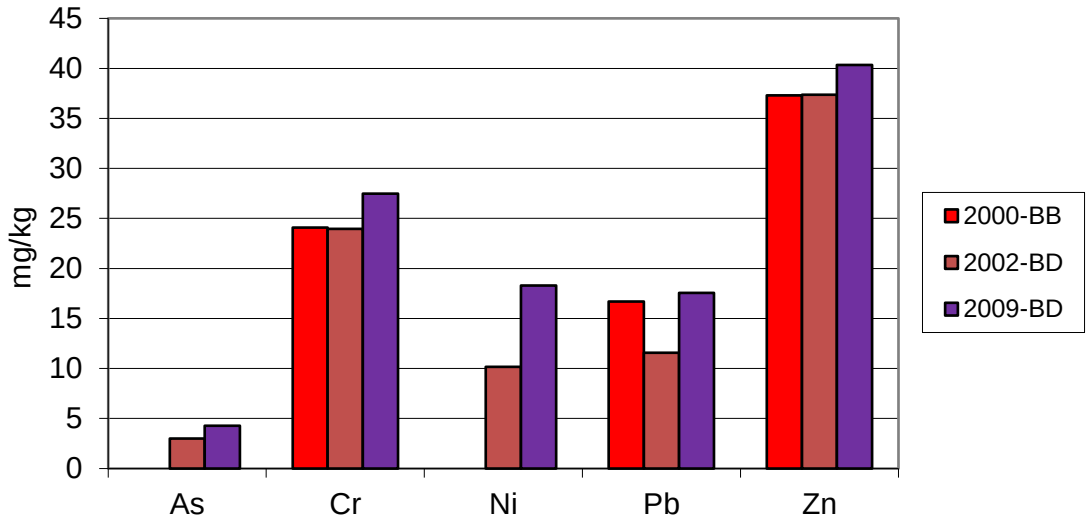
Die Schwermetalle und Arsen liegen bereits als Gesamtgehalte weitgehend unterhalb des 90er-Perzentilwertes der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Grünland im Östlichen Hügelland (LLUR 2011). Lediglich der Gehalt an Nickel liegt im Jahr 2009 höher (s. Tab. BDF35-2), unterschreitet jedoch den Maximalwert der Hintergrundwerte deutlich. Der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen wird deutlich eingehalten. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für die Bodenart Sand werden bis auf Nickel im Jahr 2009 bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Hintergrundwerte sowie auch Vorsorgewerte werden im Königswasserextrakt ermittelt und stellen nur einen Anteil am Gesamtgehalt im Boden dar. Zusätzlich durchgeführte Analysen im Königswasserextrakt zeigen 2009 auch für Nickel Bodengehalte, die deutlich unterhalb der Vorsorgewerte liegen.

Tab. BDF35-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 2002 und 2009

	As		Cd		Cr		Cu	
	mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	3	4,28	<0,2	0,21	23,95	27,47	<10	7,93
SD	0,52	0,28	-	0,01	3,35	2,3	-	1,04
	Ni		Pb		Zn		Hg	
	mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	10,16	18,3	11,58	17,57	37,38	40,33	0,04	<0,044
SD	3,07	2,39	1,72	1,36	5,21	2,16	0	-

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die um die Untersuchungsergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster erweiterten Daten der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden zeigen für die Gehalte an Chrom, Blei und Zink keine eindeutigen Tendenzen der Veränderung. Bezüglich der übrigen Gehalte können keine Aussagen getroffen werden, da häufig mehrere Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen (s. Abb. BDF35-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF35-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des mittel humosen, eher sandigen Oberbodens im Hinblick auf das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen als gering einzustufen. Die Austauscher sind nutzungsbedingt im Wesentlichen durch Calcium belegt (s. Tab. BDF35-3).

Tab. BDF35-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im Oberboden 2002 und 2009

	Ca		K		Mg		Na		H	
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	6,44	5,48	0,61	0,37	0,62	0,79	0,07	<0,06	<0,01	0,10
SD	0,53	0,47	0,16	0,12	0,12	0,06	-	-	-	-

	Al		Fe		Mn		KAK	
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	<0,3	0,12	<0,01	<0,02	0,06	0,11	6,82	6,95
SD	-	0,02	-	-	0,01	0,01	1,28	0,53

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 2001 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 35, eine Parabraunerde, befindet sich auf dem Versuchsgut für ökologischen Landbau der Universität Kiel in der naturräumlichen Einheit Schwansen, Dänischer Wohld (Östliches Hügelland). Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt auf einer Weide, die in der Vergangenheit (vor 2001) auch als Ackerfläche genutzt wurde. Der mittel humose, mäßig bis schwach saure Oberboden weist mit einem C/N-Verhältnis von etwa 10 typische Werte landwirtschaftlich genutzter Flächen auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des mittel humosen, eher sandigen Oberbodens im Hinblick auf das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffkationen als gering einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen für Grünlandflächen im Östlichen Hügelland weitgehend im Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden in Schleswig-Holstein und unterschreiten die Vorsorgewerte und den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen deutlich. Nickel weist 2009 zwar höhere Gesamtgehalte auf, unterschreitet jedoch als Gehalt im Königswasserextrakt deutlich den Vorsorgewert.

3.3.7 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Witsum/Föhr (BDF38)

Im Jahre 2003 wurde auf einer Dauergrünlandfläche der Nordseeinsel Föhr (Nordfriesische Geestinseln, Kreis Nordfriesland) als Ersatz für einen 1996 aufgegebenen Standort (BDF03) eine neue Boden-Dauerbeobachtungfläche eingerichtet. Diese Fläche liegt auf einem saalezeitlichen Moränenrücken, der das südliche „Rückgrat“ der im Norden von weitläufigen Marschenflächen geprägten Insel bildet (maximale Höhe 13 m). Wie für die Altmoränen der Hohen Geest typisch, dominieren podsolierte Braunerden bis Braunerde-Podsole aus Flugsand und Geschiebedecksand über saalezeitlichem Geschiebesand bzw. Geschiebelehm. Beim Leitprofil handelt es sich um einen Podsol aus Flug- und Geschiebedecksand über saalezeitlichem Schmelzwassersand. Dieser Grünlandstandort wird als Mähweide genutzt. Als Bodenart wurden mittelsandiger Feinsand, feinsandiger Mittelsand und schwach schluffiger Sand festgestellt. Dies weist entsprechend des Ausgangsmaterials auf eine gewisse Hetero-

genität des Standortes hin. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahr 2003. Die erste Wiederholungsbeprobung fand im Jahr 2009 statt.

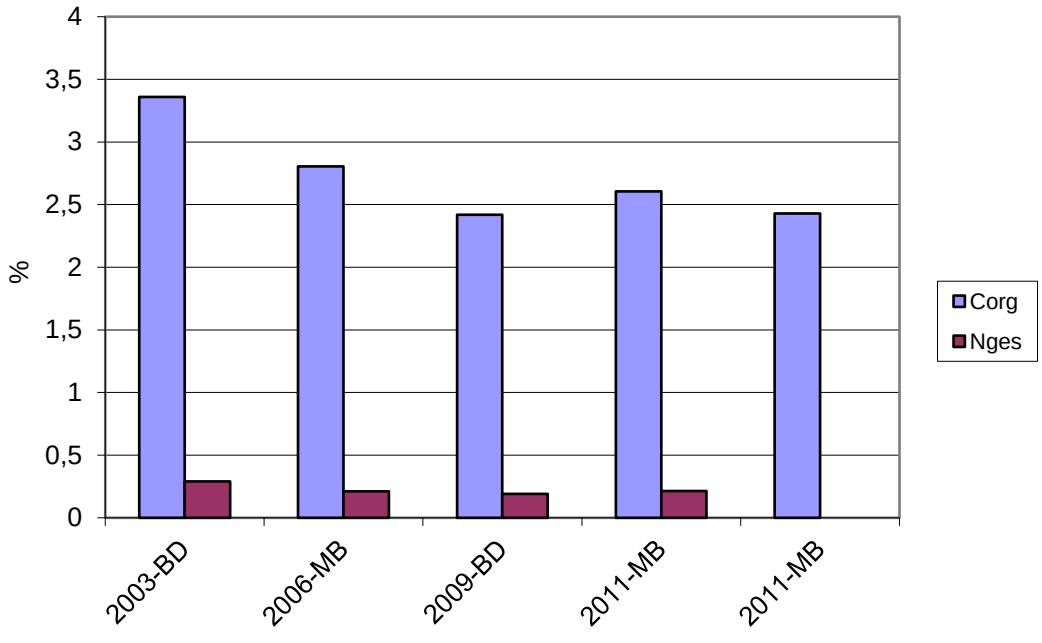
Allgemeine bodenchemische Parameter

Der sandige, stark humose und mäßig saure Oberboden weist im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit eine für Grünland als optimal einzustufende Bodenreaktion auf (pH-Klasse C) (VDLUFA 2000). Die C/N-Verhältnisse liegen bei ca. 12-13. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium sind in die Gehaltsklasse E (sehr hoch), die an Phosphat in die anzustrebende Gehaltsklasse C (mittel) einzustufen (LKSH 2013). Für Kalium wurde zu den Beprobungszeitpunkten ein überhöhter Nährstoffgehalt ermittelt, der insbesondere aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials zu vermehrter Auswaschung von Kalium aus dem durchwurzelten Bodenraum ins Grundwasser führen kann. Die Ergebnisse der beiden Beprobungen können der Tabelle BDF38-1 entnommen werden.

Tab. BDF38-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden 2003 und 2009

	C_{org}		**N_{ges}**		**pH-Wert**		**K_2O**		**P_2O_5**	
	%		**%**				**mg/100 g Boden**		**mg/100 g Boden**	
Jahr der Probenahme	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009
Mittelwert	3,36	2,42	0,29	0,19	4,79	4,74	21,00	23,17	22,03	22,57
SD	0,25	0,12	0,03	0,01	0,10	0,05	6,02	4,39	1,47	1,25

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus der Standortcharakterisierung im Rahmen bodenmikrobiologischer Untersuchungen deutet leicht sinkende Gehalte an C_{org} und N_{ges} an diesem Standort zwischen 2003 und 2011 an (s. Abb. BDF38-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF38-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse der mikrobiologischen Bodenuntersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen unterhalb des 90er-Perzentilwertes der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Böden unter Grünlandnutzung auf der Hohen Geest (LLUR 2011). Lediglich Chrom und Nickel überschreiten 2009 als Gesamtgehalte die Maximalwerte der Hintergrundwerte (s. Tab. BDF38-2). Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. der Vorsorge-Hilfswerte für Arsen (LLUR 2011) werden für die Schwermetalle und Arsen bereits als Gesamtgehalte deutlich eingehalten.

Tab. BDF38-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 2003 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009
Mittelwert	2,22	3,09	0,10	0,14	16,97	18,83	5,46	4,71
SD	0,34	0,08	-	0,01	0,65	0,32	-	0,68
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009
Mittelwert	5,59	8,03	9,97	15,07	27,27	21,33	n.b.	< 0,044
SD	-	4,35	5	1,99	2,86	0,78	-	-

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. – nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität dieses sehr sandigen Ausgangsmaterials (Flug- und Geschiebedecksand) zeigt im Hinblick auf Nähr- und Schadstoffkationen ein entsprechend geringes Bindungsvermögen, so dass an diesem Standort von einer erhöhten Auswaschungsgefährdung für Kationen auszugehen ist (s. Tab. BDF38-3).

Tab. BDF38-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im Oberboden 2003 und 2009

	Ca		**K**		**Mg**		**Na**		**H**	
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**	
Jahr der Probenahme	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009
Mittelwert	3,69	2,58	0,46	0,53	1,23	0,87	0,11	0,16	0,02	0,15
SD	0,19	0,11	0,07	0,11	0,17	0,08	0,01	0,03	0	0,03
	Al		**Fe**		**Mn**		**KAK**			
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**			
Jahr der Probenahme	2003	2009	2003	2009	2003	2009	2003	2009		
Mittelwert	<0,02	0,45	0,02	<0,02	0,05	0,06	5,52	4,80		
SD	-	0,06	0	-	0,01	0	0,33	0,24		

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahr 2003 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 38 auf einem saalezeitlichen Moränenrücken der Nordseeinsel Föhr (Nordfriesische Geestinseln, Kreis Nordfriesland), ein Podsol aus Flug- und Geschiebedecksand, zeichnet sich durch einen sandigen, stark humosen und mäßig sauren Oberboden aus, der ein entsprechend geringes Nähr- und Schadstoffbindungsvermögen aufweist. Zu den Beprobungsterminen lagen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit optimale pH-Werte vor. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Phosphat wurden als optimal, die an Kalium als überhöht eingestuft. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen – mit Ausnahme von Chrom und Nickel – im Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Grünland auf der Hohen Geest. Erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999), sind auch die Nickel- und Chromgehalte als unbedenklich einzustufen.

3.3.8 Bewertender Überblick Gruppe 3: Grünland/mineralische Böden

Die als Grünland genutzten Böden der Boden-Dauerbeobachtungsflächen weisen entsprechend des Ausgangsmaterials bei sandigen Böden eine geringe, bei tonigen Böden z. T. eine extrem hohe effektive Kationenaustauschkapazität auf. Der Gehalt an Humus variiert von mittel bis sehr stark humos. Bei den C/N-Verhältnissen zeigen sich ansteigende Werte mit zunehmendem Grad der Podsolierung. Bewirtschaftungsbedingte Einflüsse zeigen sich erwartungsgemäß bei den pH-Werten sowie den pflanzenverfügbaren Gehalten an Kalium und Phosphat. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen befinden sich in der Regel im Bereich der natürlichen Hintergrundwerte des jeweiligen Naturraums. Auch die VORSORGEWERTE DER BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. der Vorsorge-Hilfswert für Arsen (LLUR 2011) werden eingehalten. Einzelne Tendenzen der Zunahme von Gehalten an Schwermetallen (BDF35, Nickel) und Arsen (BDF30) werden durch Erweiterung der Datenbasis durch zukünftige Untersuchungsergebnisse zu überprüfen sein.

3.4 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 4: Grünland/organische Böden

3.4.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Meggerdorf (BDF14)

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 14 liegt im Bereich der Eider-Treene-Sorge-Niederung im Kreis Schleswig-Flensburg. Im Umfeld der zwischen den stark periglaziär überprägten Altmoränenrücken gelegenen BDF14 erstreckt sich eine ausgedehnte Niedermoorlandschaft, deren Bodenentwicklung aufgrund historischer Sturmfluteinbrüche zum Teil auch deutlich marin-tidalen Einfluss zeigt. Es dominieren Niedermoore aus Schilf- und Seggentorfen (stellenweise über Mudden), vergesellschaftet mit flachen Organomarschen über Niedermoor (Moormarschen) aus flachem, humosem Ton über Niedermoortorf. Beim Leitprofil handelt es sich um ein stark zersetztes Mulmniedermoor aus holozänen Niedermoortorfen, z. T. mit Sandbeimengungen. Die BDF14 liegt in der Gemeinde Meggerdorf und wird von einem intensiv wirtschaftenden Futterbaubetrieb als Mähweide genutzt. Seit

einschließlich 1995 erfolgte weder eine mineralische P- noch eine mineralische K-Düngung. Im Rahmen der Einrichtung fand die Leitprofil- und Erstbeprobung 1990 statt. Der Oberboden war anmoorig bis organisch. Der Grundwasserstand schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen ca. 10 – 80 cm unter Geländeoberfläche. Eine Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte nicht.

Allgemeine bodenchemische Parameter

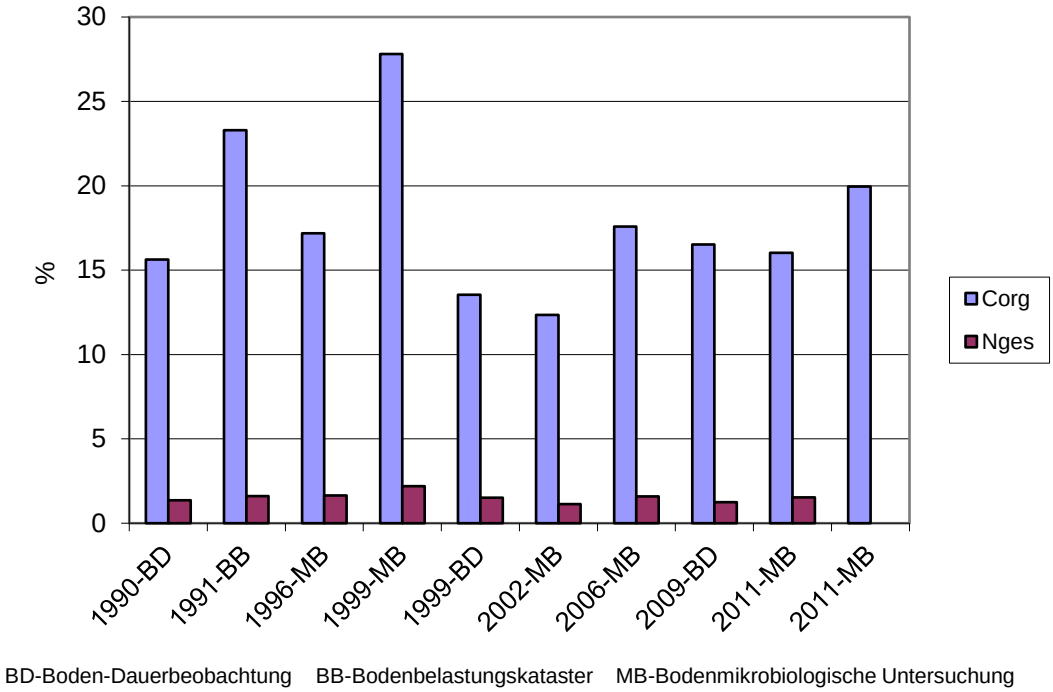
Der anmoorige bis torfige, stark bis mäßig saure Oberboden des Niedermoores weist ein C/N Verhältnis von ca. 9-13 auf. Der pH-Wert ist im Hinblick auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit in die pH-Klasse B bis C (niedrig bis optimal) einzustufen. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium entsprechen der Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel), die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat der anzustrebenden Gehaltsklasse C (LKSH 2013) (s. Tab. BDF14-1). Tendenzen der Veränderung sind nicht feststellbar.

Tab. BDF14-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden 1990 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	15,63	13,53	16,53	1,36	1,50	1,25	5,14	5,17	4,63
SD	2,37	2,63	3,05	0,20	0,36	0,09	0,08	0,06	0,32
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009			
Mittelwert	n.b.	24,40	22,63	n.b.	32,07	28,13			
SD	-	3,86	5,77	-	3,46	5,05			

- keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen bestätigt die Beobachtung schwankender Gehalte an C_{org} und N_{ges} im stark zersetzten und durch Sandbeimengung beeinflussten Oberboden dieses Standortes (s. Abb. BDF14-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF14-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Im Rahmen der Erstbeprobung wurden keine Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen bestimmt. Es liegen somit nur für zwei Messtermine Daten vor. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen unterschreiten in der Regel den 90er-Perzentilwert für Grünlandflächen auf Anmoor bzw. Torf der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Lediglich Nickel weist 2009 höhere Werte auf, die den 95er-Perzentilwert für Grünlandflächen auf Torf leicht überschreitet. Da in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für Böden über 8 % Humusgehalt keine Vorsorgewerte ausgewiesen sind, werden für diese Böden als Bewertungshilfe die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein (LLUR 2011) herangezogen. Es zeigt sich, dass die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen die Vorsorge-Hilfswerte-SH deutlich unterschreiten. Die Ergebnisse können der Tabelle BDF 14-2 entnommen werden.

Tab. BDF14-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 1990 und 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	-	4,30	6,34	-	<02	0,69	-	43,10	39,80	-	10,13	15,20
SD	-	0,27	0,76	-	-	0,03	-	3,70	4,64	-	-	1,15
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	-	7,61	20,47	-	67,27	57,23	-	62,37	63,83	-	0,19	0,20
SD	-	-	3,11	-	19,26	4,27	-	7,74	1,50	-	0,03	0

- keine Angabe < - Bestimmungsgrenze SD - Standardabweichung

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Im Rahmen der Erstbeprobung wurden keine Gehalte an austauschbaren Kationen bestimmt, so dass nur für 1990 und 2009 Daten vorliegen. Die effektive Kationenaustauschkapazität dieses stark zersetzten Niedermoores ist aufgrund des Gehaltes an organischer Substanz verglichen mit Mineralböden als sehr hoch einzustufen. Die Belegung der Austauscher erfolgt im Wesentlichen durch Calcium (s. Tab. BDF14-3).

Tab. BDF14-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität von 1999 bis 2009

	Ca		K		Mg		Na		H	
	mmol/z/100g		mmol/z/100g		mmol/z/100g		mmol/z/100g		mmol/z/100g	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	22,77	20,77	0,52	0,36	3,36	2,68	0,22	0,23	-	-
SD	3,13	1,91	0,12	0,03	0,74	0,19	0,01	0,04	-	-
	Al		Fe		Mn		KAK			
	mmol/z/100g		mmol/z/100g		mmol/z/100g		mmol/z/100g			
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009		
Mittelwert	-	0,39	0,02	0,02	0,25	0,24	25,63	21,83		
SD	-	0,01	0,02	-	0,05	0,01	3,78	1,59		

Zusammenfassende Bewertung

Die 1990 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 14, ein stark zersetztes Mulmniedermoor, liegt im Bereich der Eider-Treene-Sorge-Niederung im Kreis Schleswig-Flensburg. Der stark bis mäßig saure Oberboden weist ein für landwirtschaftliche Böden typisches C/N Verhältnis von ca. 9-13 auf. Der pH-Wert liegt im niedrigen bis optimalen Bereich. Die Vorräte an pflanzenverfügbarem Kalium sind als niedrig bis mittel einzustufen, die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat entsprechen der anzustrebenden Gehaltsklasse C. Die Ge-

samtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Anmoor- bzw. Torfflächen unter Grünlandnutzung. Die Gesamtgehalte unterschreiten auch die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein für Böden über 8 % organischer Substanz und sind somit als unbedenklich einzustufen. Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit das Nähr- und Schadstoffbindungvermögen dieses stark zersetzten Niedermoores ist aufgrund des hohen Gehaltes an organischer Substanz verglichen mit Mineralböden als sehr hoch einzustufen, dennoch ist aufgrund des hohen Grundwasserstandes eine hohe Auswaschungsgefährdung gegeben. Die Belegung der Austauscher erfolgt im Wesentlichen durch Calcium. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie Gesamtstickstoff zeigt nach 3 Messprioden keine Veränderung. Tendenzen der Veränderung können für die Gehalte an Schwermetallen und Arsen sowie der Kationenaustauschkapazität nicht abgeleitet werden, da bisher nur für zwei Untersuchungstermine Daten vorliegen.

3.4.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Kudensee/Landscheide (BDF25)

Im Jahre 1990 wurde in der Wilstermarsch (Holsteiner Elbmarschen) im Kreis Steinburg die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 25 eingerichtet. Im Umfeld der bis 1994 als intensive Mähweide genutzten Fläche dominieren fast ausschließlich Niedermoore und flache Organomarschen über Niedermoor aus flachem, humosem Ton über Niedermoortorf. Bei dem Leitprofil handelt es sich um ein Mulmniedermoor aus stark zersetztem Niedermoortorf über brackischen Mudden. Die Bewirtschaftung der Boden-Dauerbeobachtungsfläche erfolgt durch einen Milchviehhaltung betreibenden Futterbaubetrieb. Seit 1995 wird dieser Standort sehr extensiv genutzt und nicht gedüngt. Der Grundwasserstand schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen 0 – ca. 80 cm unter Geländeoberfläche. Die Leitprofil- und Erstbeprobung fand 1990 statt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

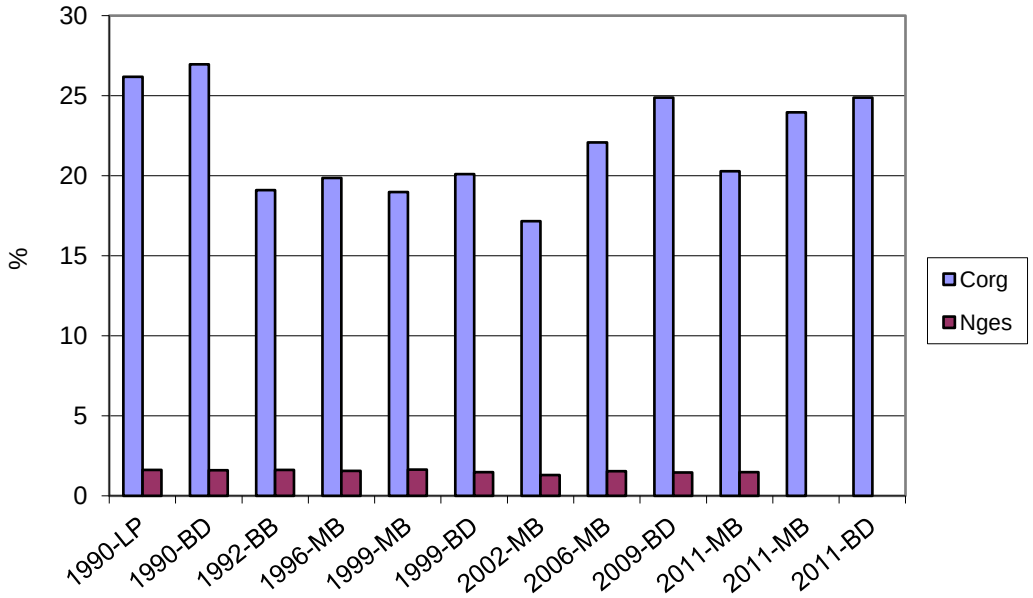
Der organische Oberboden des Niedermoores weist geogen bedingt eine mäßig saure Bodenreaktion auf. Das pflanzenverfügbare Kalium ist in die Gehaltsklasse B (niedrig) und das pflanzenverfügbare Phosphat in die anzustrebende Gehaltsklasse C einzustufen (LKSH 2013). Die C/N-Verhältnisse liegen mit ca. 14-17 im etwas höheren Bereich. Der pH-Wert sowie die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sind neben der Bewirtschaftung durch beigemengte Marschensedimente beeinflusst. Der Gehalt an Stickstoff zeigt diesen Daten zufolge eine signifikant abnehmende Tendenz (s. Tab. BDF25-1).

Tab. BDF25-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden von 1990 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert			K_2O			P_2O_5		
	%			%						mg/100 g Boden			mg/100 g Boden		
Jahr der Probe-nahme	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009	1990	1999	2009
Mittelwert	26,96	20,1	24,87	1,6	1,48	1,45	4,89	5,23	4,76	n.b.	25,97	18,43	n.b.	35,3	34,63
SD	0,5	0,95	3,07	0,02	0,05	0,08	0,07	0,06	0,15	-	2,8	1,05	-	9,91	3,39

- keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Entgegen der Daten aus 3 Messperioden der Boden-Dauerbeobachtung deutet sich bei Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen ein eher schwankender Verlauf der Gehalte für C_{org} und N_{ges} im Oberboden an (s. Tab. BDF25-1).



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF25-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungsergebnissen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Auf der BDF 25 wurden im Rahmen der Erstbeprobung keine Gesamtgehalte an Schwermetallen im Oberboden erfasst. Dies erfolgte erstmalig im Rahmen der Wiederholungsbeprobungen, so dass dementsprechend keine Tendenzen abgeleitet werden können. Im Hinblick auf die im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ unterschreiten Arsen, Quecksilber, Chrom und Kupfer den 90er-Perzentilwert für Grünlandflächen auf Torf bereits als Gesamtgehalte; Blei und Cadmium unterschreiten den 95er-Perzentilwert, Nickel und Zink liegen noch unterhalb des Maximalwertes der Hintergrundwerte (LLUR 2011). Als Bewertungshilfe für Böden über 8 % Humusgehalt und Torf/Waldauflage werden die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-

Holstein angewendet (LLUR 2011). Lediglich Cadmium überschreitet als Gesamtgehalt 2009 den von Königswassergehalten abgeleiteten Vorsorge-Hilfswert-SH (1,5 mg/kg) leicht. Im Hinblick auf die Hintergrundwerte für Grünlandflächen auf Torf (>30 % org. Substanz) liegt Cadmium als Gesamtgehalt nur leicht über dem 90er Perzentilwert. Königswassergehalte als direkte Vergleichswerte liegen nicht vor.

Tab. BDF25-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden in den Jahren 1999 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	9,31	12,93	n.b.	1,69	55,2	47,47	12,8	20,8
SD	2,92	0,55	-	0,08	1,54	2,67	3,38	1,23
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	20,7	26,13	80,47	70,07	119,67	115	0,19	0,21
SD	0,89	4,3	17,14	1,81	3,21	4,58	0	0,01

n. b. – nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Im Rahmen der Erstbeprobung wurden keine Gehalte an austauschbaren Kationen und keine Kationenaustauschkapazität im Oberboden bestimmt. Bei den folgenden Beprobungen zeigen sich extrem hohe effektive Kationenaustauschkapazitäten und somit Bindungskapazitäten für Nähr- wie auch Schadstoffkationen verglichen mit mineralischen Böden (s. Tab. BDF25-3). Die Austauscher sind im Wesentlichen durch Calcium belegt. Im Rahmen der Beprobung im Jahr 1999 wurde zudem ein für ein Niedermoor deutlich höherer Wert an austauschbarem Natrium vorgefunden, der 10 Jahre später jedoch deutlich niedriger ausfiel. Der höhere Wert ist möglicherweise auf Beimengungen von perimarinen Sedimenten zurückzuführen. Nachfolgende Entsalzung führt zu verringerten Gehalten.

Tab. BDF25-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität in den Jahren 1999 und 2009

	Ca		K		Mg		Na		H	
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	36,07	35,50	0,70	0,38	6,67	5,12	0,62	0,27	<0,01	<0,05
SD	0,21	2,76	0,04	0,03	0,50	0,41	0,07	0,02	-	-
	Al		Fe		Mn		KAK			
	mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g		mmol/z/100 g			
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009		
Mittelwert	<0,3	0,32	0,02	0,04	0,30	0,26	33,13	34,43		
SD	-	0,07	0	0,01	0,03	0,03	0,86	2,91		

Zusammenfassende Bewertung

Die im Jahre 1990 in der Wilstermarsch (Holsteiner Elbmarschen) im Kreis Steinburg eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 25, ein Mulmniedermoor, wird seit 1995 nur extensiv genutzt. Seit einschließlich 1995 erfolgte weder eine mineralische noch eine organische Düngung. Der Oberboden ist mäßig sauer mit niedrigen Gehalten an pflanzenverfügbarem Kalium, mittleren Gehalten an pflanzenverfügbarem Phosphat sowie C/N-Verhältnisse von 14-17. Die effektive Kationenaustauschkapazität und somit das Bindungsvermögen für Nährstoff- und Schwermetallkationen ist entsprechend des organischen Ausgangsmaterials als extrem hoch einzustufen. Aufgrund des hohen Grundwasserstandes ist jedoch dennoch eine hohe Auswaschungsgefährdung gegeben. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen entsprechen im Wesentlichen den natürlichen Hintergrundwerten für Grünlandflächen auf Torf. Nickel und Zink liegen als Gesamtgehalte im Hinblick auf die Hintergrundwerte noch unterhalb der Maximalwerte.

Die Schwermetalle und Arsen unterschreiten bis auf Cadmium die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden über 8 % Humusgehalt und Torf/Waldauflage. Cadmium überschreitet als Gesamtgehalt den Vorsorge-Hilfswert leicht, liegt jedoch nur leicht über dem Hintergrundwert für Grünlandflächen auf Torf (90er Perzentilwert). Tendenzen der Veränderung werden sich erst im Laufe weiterer Untersuchungen zeigen, da für die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sowie auch für die Gehalte an austauschbaren Kationen erst Ergebnisse aus zwei Untersuchungsterminen vorliegen.

3.4.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hellbachtal (BDF33)

Im Jahre 1989 wurde auf einer extensiv beweideten Dauergrünlandfläche eines Naturschutzgebietes im Westmecklenburgischen Seen-Hügelland im Kreis Herzogtum-Lauenburg die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 33 eingerichtet. Bei dem 1987 eingerichteten 157 ha großen Naturschutzgebiet handelt es sich um eine geschlossene, reich gegliederte, naturnahe Talniederung der Jungmoränenlandschaft. Im Umfeld der Boden-Dauerbeobachtungsfläche überwiegen Niedermoore, z.T. über Sand, Geschiebelehm oder

Beckenablagerungen, z.T. vergesellschaftet mit Gleyen bis Anmoorgleyen aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm oder Beckenablagerungen, seltener Kolluvisolen über Niedermoor. Beim Leitprofil handelt es sich um ein sandüberlagertes Erdniedermoor aus flachem anthropogen aufgeschüttetem Sand über holozänem, mäßig entwässertem Niedermoortorf. Auf den Torf wurde vor über 30 Jahren als eine damals übliche Meliorationsmaßnahme Sand aufgebracht, um die Standfestigkeit des Moorstandortes zu erhöhen. Der Standort wird in der Regel extensiv beweidet, in den Jahren 2003 bis 2006 erfolgte keinerlei landwirtschaftliche Nutzung. Seit einschließlich 2001 wurde nicht gedüngt. Der Grundwasserstand schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen 0 – ca. 60 cm unter Geländeoberfläche. Die Leitprofilbeprobung fand 1989, die Erstbeprobung 1993 statt. Der Oberboden der BDF33 ist als anmoorig zu bezeichnen.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der anmoorige, mäßig saure Oberboden zeigt ein relativ enges C/N-Verhältnis von ca. 11-13. Die Bodenreaktion ist in die pH-Klasse C bis D (optimal bis hoch) (VDLUFA 2000), die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sind in die Gehaltsklasse B bis C (niedrig bis mittel) einzustufen (LKSH 2013). Signifikante Tendenzen der Veränderung zeigen sich bisher nur in der Abnahme des pH-Wertes. Die übrigen Parameter zeigen lediglich Schwankungen oder Trends, die derzeit noch als nicht signifikant zu betrachten sind (C_{org}, doppellaktatlösliches Kalium) (s. Tab. BDF33-1).

Tab. BDF33-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden von 1993 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	10,73	11,52	11,77	0,97	0,86	0,91	5,30	5,17	5,08
SD	3,21	2,39	1,55	0,09	0,13	0,12	0	0,12	0,04
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	18,20	13,83	11,47	20,27	5,53	10,08			
SD	7,41	2,37	1,42	1,42	0,19	0,71			

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen verdeutlicht die Schwankungen der Gehalte an C_{org} und N_{ges} (s. Abb. BDF33-1).

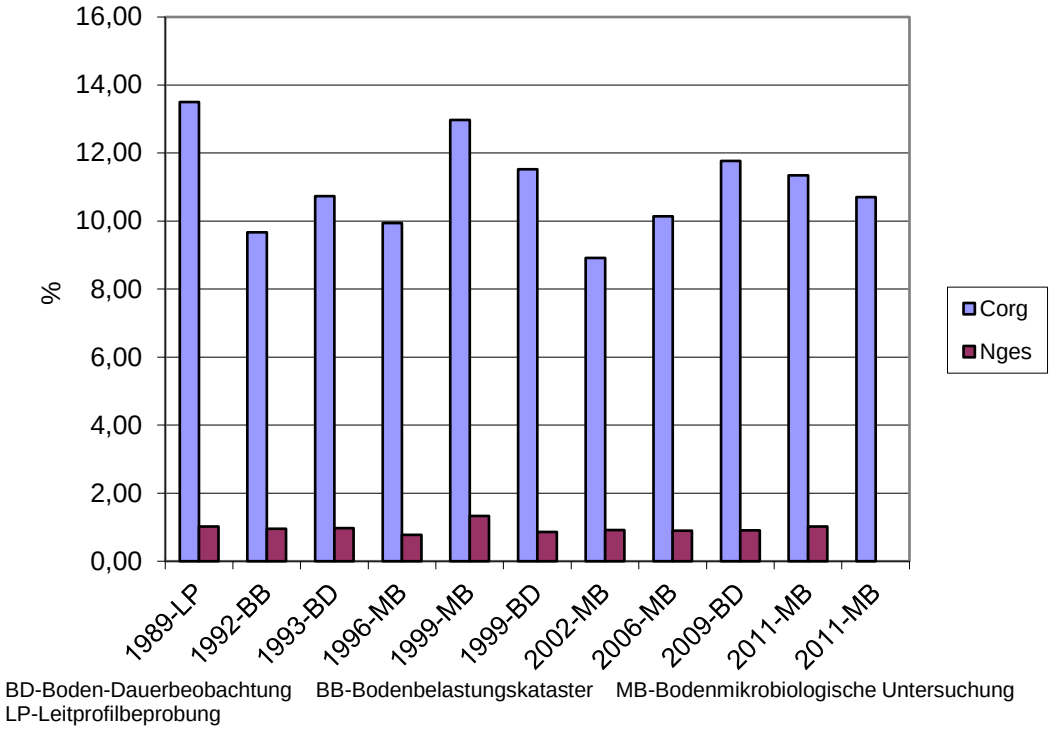


Abb. BDF33-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen unterschreiten bis auf Kupfer den 90er-Perzentilwert der Grünlandflächen auf Anmoor der in Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“. Kupfer überschreitet als Gesamtgehalt im Jahr 2009 einmalig den 95er-Perzentilwert der Hintergrundwerte. Bereits als Gesamtgehalte unterschreiten die Schwermetalle und Arsen die Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humusgehalt und Torf/Waldauflage (LLUR 2011) deutlich, so dass von unbedenklichen Gehalten ausgegangen werden kann. Bei Chrom und Blei ist eine signifikante Zunahme im Untersuchungszeitraum zu beobachten (s. Tab. BDF33-2).

Tab. BDF33-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden von 1993 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	6,89	4,27	7,19	0,66	0,40	0,87	22,17	26,73	33,77	32,67	36,93	47,07
SD	2,20	0,62	1,00	0,20	0,05	0,14	2,55	2,31	1,11	11,61	5,18	6,76
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	8,73	38,30	40,87	48,67	46,83	43,37	60,87	n.b.	0,11	0,14
SD	-	-	2,07	4,32	3,35	3,11	4,21	4,63	7,84	-	0	0,01

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität des anmoorigen Oberbodens ist als hoch bis sehr hoch zu bezeichnen. Im Wesentlichen erfolgt die Belegung der Austauscher durch Calcium-Ionen. Der Standort weist eine signifikante Abnahme der Gehalte an austauschbarem Magnesium auf. Die übrigen Kationen und die Kationenaustauschkapazität zeigen lediglich schwankende Gehalte (s. Tab. BDF33-3).

Tab. BDF33-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im Oberboden von 1993 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	20,63	18,7	20,8	0,3	0,17	0,21	1,32	0,89	0,86	0,17	0,07	0,15	2,25	<0,01	<0,05
SD	2,4	0,12	1,31	0,08	0,01	0,01	0,18	-	0,06	0,03	0,01	0,02	-	-	-
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	0,06	<0,01	0,01	<0,02	0,17	0,14	0,22	24,7	18,3	19,7			
SD	-	-	0,01	-	-	-	0,02	0,03	0,02	6,09	0,53	1,35			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Im Jahre 1989 wurde auf einer extensiv beweideten Dauergrünlandfläche eines Naturschutzgebietes im Westmecklenburgischen Seen-Hügelland (Kreis Herzogtum-Lauenburg), ein sandüberlagertes Erdniedermoor, die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 33 eingerichtet. Der anmoorige, mäßig saure Oberboden weist ein für landwirtschaftlich genutzte Flächen typisches C/N-Verhältnis von ca. 11-13 auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des organischen Ausgangsmaterials als hoch bis sehr hoch zu bewerten. Die Bodenreaktion sinkt im Beobachtungszeitraum signifikant bis zum pH-Optimalbereich. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sind als niedrig bis mittel einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Bereich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Grünlandflächen auf Anmoor. Sie unterschreiten zudem die Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humusgehalt und Torf/Waldauflage und gelten somit als unbedenklich. Signifikante Tendenzen der Veränderung zeigen sich derzeit für Chrom und Blei. Die Gesamtgehalte weisen eine signifikante Zunahme im Untersuchungszeitraum auf. Da die Fläche nur extensiv genutzt wird und von möglichen Emittenten weit entfernt gelegen ist, werden die Daten mit Hilfe der Ergebnisse zukünftiger Untersuchungen abzusichern sein.

3.4.4 Bewertender Überblick Gruppe 4: Grünland/organische Böden

Die drei Grünlandflächen auf Niedermoor bzw. sandüberlagertem Niedermoor zeigen entsprechend der Nutzung und des Ausgangsmaterials C/N-Verhältnisse zwischen 9-17. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des hohen Gehaltes an organischer Substanz als hoch bis extrem hoch einzustufen. Eine erhöhte Auswaschungsgefährdung für Nähr- und Schadstoffkationen ergibt sich dennoch durch den hoch anstehenden Grundwasserstand. Die pH-Werte sind stark bis mäßig sauer. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen für BDF 14 und 33 im Wesentlichen im Bereich der natürlichen Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Grünlandflächen auf Anmoor bzw. Torf und unterschreiten auch die Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein deutlich. Die BDF 25 in der Wilstermarsch weist verglichen mit den BDF 14 und 33 geogen bedingt etwas höhere Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen auf. Die Vorsorge-Hilfswerte für Schwermetalle und Arsen für Böden über 8 % Humus und Torf/Waldauflage werden jedoch auch auf BDF 25 bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Lediglich Cadmium überschreitet auf BDF25 als Gesamtgehalt den aus Königswassergehalten abgeleiteten Vorsorge-Hilfswert leicht. Dennoch liegt der Gesamtgehalt an Cadmium nur leicht oberhalb des 90er-Perzentilwertes der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Grünlandflächen auf Torf. Tendenzen der Veränderung können für BDF 14 und 25 erst nach weiteren Untersuchungsterminen erfolgen. Für beide Standorte liegen für Schwermetalle und Arsen sowie austauschbare Kationen erst zwei Beprobungen vor. Auf BDF 33 zeigt sich derzeit für Chrom und Blei eine signifikante Zunahme. Da die Fläche jedoch nur extensiv genutzt wird und von möglichen Emittenten weit entfernt gelegen ist, werden die Daten mit Hilfe weiterer Untersuchungsergebnisse überprüft werden.

3.5 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 5: naturnahe Standorte

3.5.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche List/Sylt (BDF01)

Die BDF01 wurde 1989 auf der Insel Sylt eingerichtet (Leitprofil- und Flächenbeprobung). Sie befindet sich in der naturräumlichen Einheit der Nordfriesischen Geestinseln bzw. der Bodenregion des Küstenholozäns. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt in einer Dünenlandschaft im Ellenbogen (Nehrungshaken) des Listlandes im Nord-Westen der Insel in einem Naturschutzgebiet. In den Dünengebieten der Insel liegen Flugsande mit schwacher Bodenbildung vor. Im Laufe der Dünensukzession ist mit zunehmendem Alter und Genese der Böden eine Humusanreicherung im Oberboden bzw. eine Anreicherung von Sesquioxiden im Unterboden zu erwarten. Der terrestrische Dünenboden ist mit grundwasserbeeinflussten Böden in Dünensenken bzw. Marschböden im Tideeinflussbereich vergesellschaftet. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als podsolierter Regosol aus holozänen Flugsanden angesprochen. Die Leitprofilbeprobung erfolgte zur Einrichtung 1989, die Erstbeprobung fand 1996 statt. Die Untersuchung der Korngrößenverteilung von der Erstbeprobung und den beiden Wiederholungsbeprobungen weist einheitlich Mittelsand als Bodenart aus.

Allgemeine bodenchemische Parameter

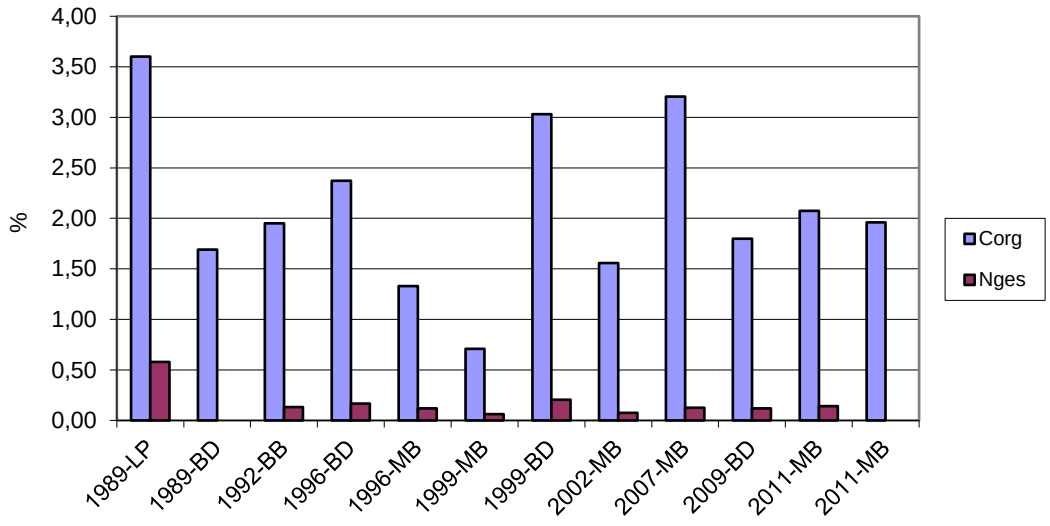
Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 01 ist entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials eines Dünenbodens als sehr nährstoffarm und sehr stark sauer einzustufen. Die beginnende Bodenentwicklung hat zu einem mittel bis stark humosen Oberboden mit einem C/N-Verhältnis von etwa 14-15 geführt. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff weisen derzeit keine Tendenzen der Veränderung auf. Bis auf eine extensive Schafbeweidung erfolgt keine Nutzung. Eine nachfolgende Einschätzung in Nährstoffgehaltsklassen (LKSH 2013) hat nur theoretischen Wert, da keine Düngungsmaßnahmen erfolgen. Es bestätigt jedoch im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen den geringen natürlichen Nährstoffvorrat dieses Standortes. Für pflanzenverfügbares Kalium würde eine Einstufung in die Gehaltsklasse A bis B (sehr niedrig bis niedrig), für pflanzenverfügbares Phosphat in die Gehaltsklasse A (sehr niedrig) erfolgen. Da für die Gehalte an Kalium und Phosphat derzeit nur zwei Untersuchungstermine vorliegen, können trotz abnehmender Gehalte keine signifikanten Tendenzen festgestellt werden. Weitere Untersuchungen sind daher abzuwarten (s. Tab. BDF01-1).

Tab. BDF01-1: Entwicklung der allgemeinen bodenchemischen Parameter im mineralischen Oberboden im Zeitraum von 1996 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	2,37	3,03	1,80	0,17	0,21	0,12	3,60	3,56	3,62
SD	0,22	0,45	0,37	0,04	0,03	0,01	0,08	0,11	0,06
	K_2O			P_20_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009			
Mittelwert	-	5,39	3,32	-	1,40	1,27			
SD	-	2,57	0,52	-	0,62	0,04			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Einbeziehung von Daten zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff aus weiteren Untersuchungen bestätigt schwankende Gehalte an C_{org}- und N_{ges} im Oberboden. (s. Abb. BDF01).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF01-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gehalte an Schwermetallen unterschreiten zum ersten Untersuchungstermin meist die damaligen Bestimmungsgrenzen. Entsprechend der später durchgeführten Analysen sind aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials die Gesamtgehalte als sehr gering zu bezeichnen. Bis auf Blei im Jahr 1999, das als Gesamtgehalt nur leicht über dem 95er-Perzentilwert für Grünlandflächen der Bodenart Sand liegt, liegen alle übrigen Schwermetalle wie auch Arsen bereits als Gesamtgehalt unterhalb des 90er-Perzentilwertes der „Hintergrundwerte

stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Dementsprechend wird auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) bzw. werden die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für Schwermetalle deutlich unterschritten. Tendenzen der Veränderung sind bei derzeitiger Datenlage nicht erkennbar (s. Tab. BDF01-2).

Tab. BDF01-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen von 1996 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	<0,5	2,87	1,54	<0,2	<0,2	0,04	<7	<7	2,12	<10	<10	1,29
SD	-	0,84	0,21	-	-	0	-	-	0,52	-	-	0,67
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	1,15	9,93	20,60	7,97	<15	<15	5,77	0,02	0,04	<0,044
SD	-	-	0,26	-	3,26	2,39	-	-	1,24	-	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b.- nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität auf diesem im Wesentlichen der natürlichen Entwicklung überlassenen Standort ist aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials als sehr gering einzustufen. Die Gehalte sind im Jahr 1999 zwar entsprechend des Gehalts an organischer Substanz ebenfalls höher, verbleiben jedoch auf einem sehr niedrigen Niveau (s. Tab. BDF01-3). Aufgrund des niedrigen pH-Wertes ist der Standort basenarm.

Tab. BDF01-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität von 1996 bis 2009 im mineralischen Oberboden

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009
Mittelwert	0,37	0,57	0,36	0,08	0,14	0,09	0,32	0,65	0,31	0,05	0,13	0,08	0,58	1,48	0,83
SD	0,06	0,27	0,07	0,03	0,04	0,01	0,05	0,27	0,07	-	0,02	0,01	0,17	0,53	0,1
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probenahme	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009	1996	1999	2009			
Mittelwert	<0,03	<0,03	0,27	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	1,45	3,04	1,97			
SD	-	-	0,04	0,01	0,03	0	0,01	0,02	-	0,18	0,9	0,22			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die auf der Insel Sylt in einem Dünengebiet eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 01, ein podsolierter Regosol aus holozänen Flugsanden, ist im Wesentlichen der natürlichen

Entwicklung überlassen und wird lediglich extensiv durch Schafbeweidung genutzt. Der mittel bis stark humose Oberboden ist als sehr nährstoffarm und sehr stark sauer einzustufen. Das C/N-Verhältnis liegt bei etwa 14-15. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen sind als sehr gering einzustufen und liegen im Wesentlichen auch als Gesamtgehalte unterhalb des 90er-Perzentilwertes der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins. Dementsprechend werden sowohl der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen als auch die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für Schwermetalle deutlich unterschritten. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials als sehr gering einzustufen. Tendenzen der Veränderung sind derzeit nicht feststellbar.

3.5.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Speicherkoog Dithmarschen (BDF21)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Oktober 1989 in einem Naturschutzgebiet eingerichtet. Die Untersuchungsfläche befindet sich in der naturräumlichen Einheit der Dithmarscher Marsch und in der Bodenregion des Küstenholozäns. Sie liegt im 1978 durch Eindeichung des landeinwärts gelegenen Teils der Meldorfer Bucht entstandenen Speicherkoog Dithmarschen. Der Speicherkoog Dithmarschen ist damit einer der jüngsten Köge an der schleswig-holsteinischen Westküste. Er lässt sich in den Speicherkoog Süd mit 1600 ha und den Speicherkoog Nord mit ca. 3200 ha untergliedern. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im Nordkoog. Hier werden 1200 ha landwirtschaftlich genutzt, 1200 ha sind Schafhütungsareal und 785 ha werden durch zwei Naturschutzgebiete eingenommen. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche (Sukzessionsfläche mit Ruderal- und Pionierpflanzengesellschaften) wird als Kalkmarsch aus holozänen geschichteten marinen Sedimenten angesprochen. Die Leitprofilbeprobung fand im Rahmen der Einrichtung im Jahr 1989 statt, die Erstbeprobung erfolgte 1994. Als Bodenart wurde schluffiger Lehm bei allen Messterminen ermittelt, so dass von einem homogenen Standort auszugehen ist.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Auf diesem nicht bewirtschafteten Standort werden im stark humosen, neutral bis sehr schwach alkalischen Oberboden keine signifikanten Entwicklungstendenzen beobachtet. Der Oberboden weist ein C/N-Verhältnis von etwa 10-11 auf und ist auch nach mehreren Jahrzehnten der Eindeichung noch als carbonatarm bis schwach carbonathaltig einzustufen. Da eine Bewirtschaftung mit entsprechender Düngung sowie Pflanzenentzug nicht erfolgt, ist die Einstufung der doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium und Phosphat nur von theoretischer Bedeutung, sie gibt jedoch einen Einblick in die vom Ausgangsmaterial bestimmte Höhe der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte (s. Tab. BDF21-1). Die doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium würden in die Gehaltsklasse D bis E (hoch bis sehr hoch) und die Gehalte an Phosphat 1994 und 2009 in die Gehaltsklasse C (mittel) eingestuft werden (LKSH 2013).

Tab. BDF21-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	Carbonat			**C_{org}**			**N_{ges}**		
	%			**%**			**%**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	1,84	2,38	1,15	4,27	3,41	4,01	0,38	0,35	0,36
SD	0,19	0,19	-	0,53	0,25	0,26	0,03	0,02	0,02
	pH-Wert			**K_2O**			**P_2O_5**		
				mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	6,76	7,27	6,91	35,04	33,03	43,27	27,88	23,77	23,33
SD	0,31	0,12	0,20	1,04	2,25	4,90	3,80	4,34	1,44

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen bestätigt stark schwankende Gehalte von C_{org} und N_{ges} auf dieser der Natur überlassenen Fläche (s. Abb. BDF21-1).

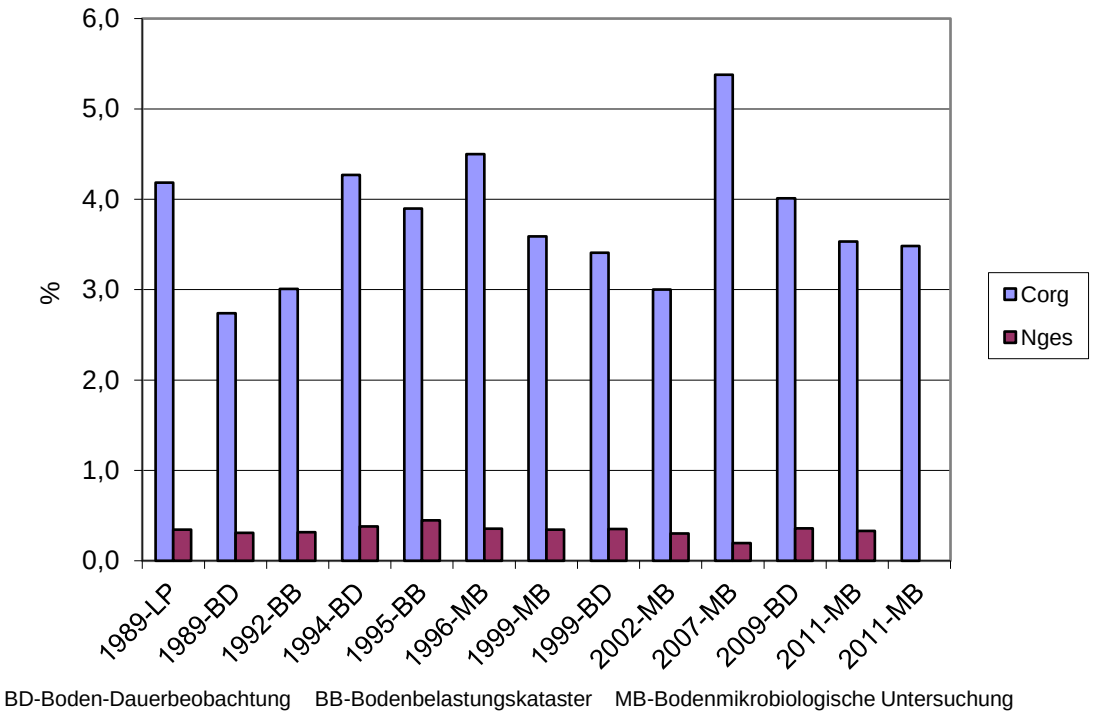


Abb. BDF21-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Im landesweiten Vergleich finden sich geogen bedingt in Marschen häufig höhere Gehalte an Arsen und einigen Schwermetallen. Um eine Einstufung dieses Sukzessionsstandortes zu ermöglichen, werden die im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Grünlandflächen der Jun-

gen Marsch herangezogen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen liegen mit Ausnahme von Cadmium und Quecksilber unterhalb der 95er-Perzentilwerte bzw. z. T. unterhalb der 90er-Perzentilwerte der Hintergrundwerte. Cadmium überschreitet 2009 den 95er-Perzentilwert, Quecksilber 1999 und 2009 den Maximalwert. Im Hinblick auf die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) überschreitet von den Schwermetallen nur Chrom im Jahr 1999 als Gesamtgehalt diesen Beurteilungsmaßstab. Da die Chrom-Gehalte in Königswasseraufschluss laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) lediglich ca. 57 % an den Gesamtgehalten erfassen, ist anzunehmen, dass auch Chrom den Vorsorgewert einhält.

Arsen überschreitet geogen bedingt als Gesamtgehalt 1994 und 2009 den 95er-Perzentilwert der Hintergrundwerte für Grünlandflächen der Jungen Marsch. Auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden mit weniger als 8 % Humus (15 mg/kg TM, Königswasseraufschluss) wird in den betreffenden Jahren als Gesamtgehalt überschritten. Legt man für 2009 den ergänzend in Königswasserextrakt ermittelten Gehalt (12,93 mg/kg) zu Grunde, so kann angenommen werden, dass neben 2009 auch der in 1994 als Gesamtgehalt gemessene Arsen-Gehalt den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen unterschreitet. Tendenzen der Veränderung sind bei den Gesamtgehalten an Schwermetallen und Arsen nicht feststellbar. Die Gehaltsveränderungen bei Nickel und Zink sind als nicht signifikant zu betrachten (s. Tab. BDF21-2).

Tab. BDF21-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	16,68	13,63	19,33	<0,2	<0,2	0,38	49,42	71,87	57,50	10,61	<10	13,53
SD	2,3	2,08	0,32	-	-	0,02	2,77	4,51	0,62	-	-	1,07
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	21,77	22,73	25,27	39,83	34,23	36,03	117,00	114,33	107,33	n.b.	0,26	0,26
SD	2,40	2,51	7,26	1,64	2,22	0,12	16,70	9,29	1,15	-	0,04	0,01

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Aufgrund des mineralischen Ausgangsmaterials sowie des relativ hohen Gehaltes an organischer Substanz ist die Kationenaustauschkapazität als sehr hoch einzustufen. Signifikante Tendenzen der Veränderung wurden lediglich bei austauschbarem Calcium in Form sinkender Gehalte im mineralischen Oberboden dieser Sukzessionsfläche beobachtet. Die Gehalte der übrigen Kationen und die effektive Kationenaustauschkapazität zeigen Schwankungen oder lediglich nicht signifikante Tendenzen (s. Tab. BDF21).

Tab. BDF21-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1994 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	22,39	20,17	19,37	0,72	0,81	0,99	4,36	4,73	5,13	0,23	0,2	0,14	0	<0,01	<0,05
SD	1,96	0,15	0,38	0,15	0,12	0,1	0,23	0,23	0,72	0,07	0,05	0,02	-	-	-

	Al			Fe			Mn			KAK		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009	1994	1999	2009
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,02	0,05	0,05	0,08	27,31	25,67	25,17
SD	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	1,71	0,6	1,12

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 21, eine Kalkmarsch, liegt im 1978 durch Eindeichung entstandenen Speicherkoog Dithmarschen. Als Sukzessionsfläche unterliegt sie keiner Bewirtschaftung. Der Oberboden ist auch nach Jahrzehnten der Eindeichung noch als carbonatarm bis schwach carbonathaltig anzusprechen und weist ein C/N-Verhältnis von etwa 10-11 auf. Im stark humosen Oberboden sind im Hinblick auf die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat keine signifikanten Entwicklungstendenzen festgestellt. Aufgrund fehlender Bewirtschaftung sind der hohe bis sehr hohe Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium sowie der mittlere Gehalt an Phosphat im Wesentlichen auf das Ausgangsmaterial zurückzuführen. Geogen bedingt finden sich an diesem Marschenstandort relativ hohe Gehalte an Schwermetallen und Arsen. Verglichen mit den Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins für Grünlandflächen der Jungen Marsch weisen insbesondere Cadmium, Quecksilber und Arsen höhere Gehalte auf. Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung werden jedoch für alle Schwermetalle, rechnerisch auch für Chrom, eingehalten. Arsen weist in den Jahren 1994 und 2009 höhere Gesamtgehalte auf, jedoch kann angenommen werden, dass die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Arsen in beiden Jahren eingehalten werden. Tendenzen der Veränderung sind für die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen nicht feststellbar. Aufgrund des Ausgangsmaterials ist die Kationenaustauschkapazität als sehr hoch einzustufen. Signifikante Tendenzen der Veränderung bei den Gehalten an austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität wurden lediglich für den Gehalt an austauschbarem Calcium in Form sinkender Gehalte beobachtet.

3.5.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hamburger Hallig (BDF37)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im August 2001 eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit Nordfriesische Marsch in der Bodenregion des Küstenho-

lozäns. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt in einem Naturschutzgebiet und wird zur extensiven Schafbeweidung genutzt. Im Rahmen der Einrichtung erfolgt die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahr 2001 bzw. 2002. Die erste Wiederholungsbeprobung fand im Jahr 2009 statt.
Das Profil befindet sich auf einer welligen Ebene, die durch Entwässerungsmaßnahmen (Furchen bzw. Grüppen) geprägt ist. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Rohmarsch aus holozänen, geschichteten, marinen Sedimenten (toniger Schluff über Reinsanden) angesprochen. Bei den Bodenarten handelt es sich um einen tonigen Schluff, stark tonigen Schluff und um einen schluffigen Ton.

Allgemeine bodenchemische Parameter

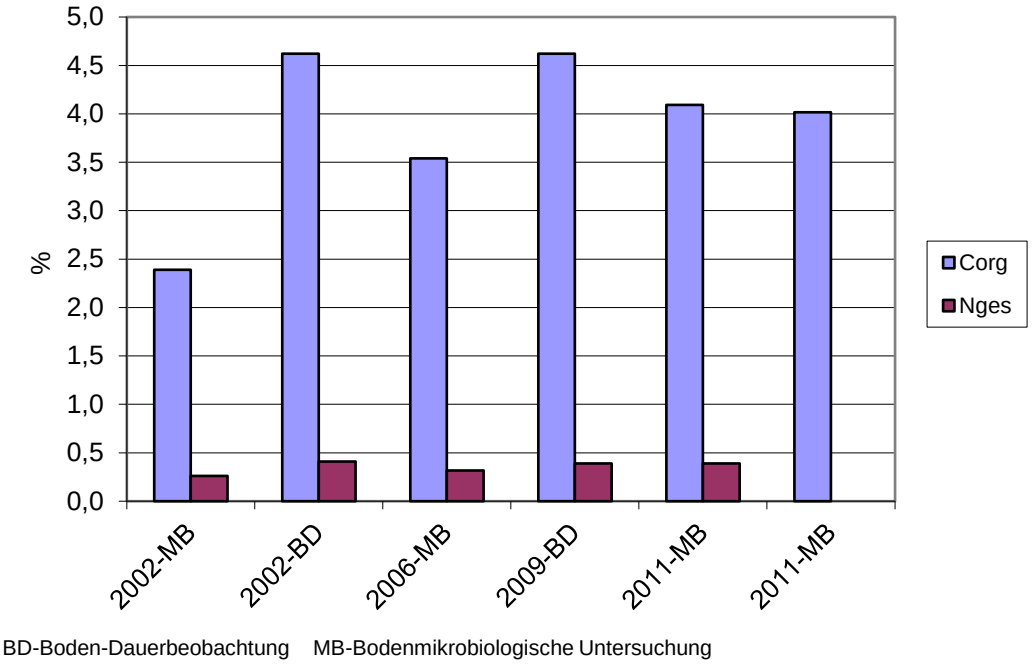
Der stark humose, sehr schwach alkalisch bis neutrale Oberboden ist z. T. noch schwach carbonathaltig. Das C/N-Verhältnis liegt etwa bei 11-12. Da eine Bewirtschaftung mit entsprechender Düngung sowie Pflanzenentzug nur extensiv durch Schafbeweidung erfolgt, ist die Einstufung der doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium und Phosphat eher von theoretischer Bedeutung, sie gibt jedoch einen Einblick in die vom Ausgangsmaterial bestimmte Höhe der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Kalium auf dieser extensiv genutzten Fläche entsprechen geogen bedingt der Gehaltklasse E (sehr hoch). Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat liegen 2009 in der Gehaltsklasse C (mittel) (LKSH 2013). Die Ergebnisse der bisherigen zwei Beprobungen können der Tabelle BDF37-1 entnommen werden.

Tab. BDF37-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden 2002 und 2009

	Carbonat		**C_{org}**		**N_{ges}**		**pH-Wert**		**K_2O**		**P_2O_5**	
	%		**%**		**%**				**mg/100 g Boden**		**mg/100 g Boden**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	2,83	<0,9	4,62	4,62	0,41	0,39	7,50	7,00	117,10	126,33	13,67	21,13
SD	0,83	-	0,32	0,08	0,02	0,01	0,10	0,18	21,49	8,02	2,76	3,16

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus bodenmikrobiologischen Untersuchungen verdeutlicht, dass die Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden stark schwanken. Werden nur die im Rahmen der mikrobiologischen Untersuchungen gemessenen Gehalte an C_{org} betrachtet, so scheint sich eine leichte Zunahme zwischen 2002 und 2011 abzuzeichnen, während die Daten der Boden-Dauerbeobachtung keine Tendenz erkennen lassen (s. Abb. BDF37-1). Zur Absicherung von Veränderungen sind weitere Untersuchungen abzuwarten.



BD-Boden-Dauerbeobachtung MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF37-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse der mikrobiologischen Bodenuntersuchung

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Typisch für Böden aus Marschensedimenten sind die im landesweiten Vergleich geogen bedingt häufig höheren Gehalte an Schwermetallen und Arsen. Während die Gesamtgehalte an Blei, Chrom, Kupfer und Zink (s. Tab. BDF37-2) den 90er- bzw. häufig 95er-Perzentilwert der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Grünlandflächen der Jungen Marsch unterschreiten, überschreiten Arsen und Nickel als Gesamtgehalte 2009 die Maximalwerte. Der Quecksilber-Gesamtgehalt entspricht 2009 dem Maximalwert der Hintergrundwerte (LLUR 2011). Da die Hintergrundwerte von Gehalten im Königswasseraufschluss abgeleitet wurden, die nur einen bestimmten Anteil der Gesamtgehalte darstellen, würden laut Literaturangaben (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) Nickel (85 %) wie auch Quecksilber (90 %) rechnerisch die Maximalwerte der Hintergrundwerte unterschreiten.

Im Hinblick auf die Vorsorgewerte (BBODSCHV 1999) überschreitet nur Chrom als Gesamtgehalt diesen Beurteilungsmaßstab. Da jedoch laut Literaturangaben die in Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte nur etwa 57 % der Gesamtgehalte erfassen, würde rechnerisch auch Chrom die Vorsorgewerte einhalten. Da für Arsen in der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) kein Vorsorgewert genannt ist, wird als Bewertungsmaßstab der Arsen-Vorsorge-Hilfswert-SH für Böden der Bodenart Lehm/Schluff (15 mg/kg) bzw. Ton (20 mg/kg) mit weniger als 8 % Humusgehalt herangezogen. Der Arsengesamtgehalt überschreitet auf diesem jungen Marschboden in den Jahren 2002 (Vorsorge-Hilfswert-SH Bodenart Lehm/Schluff 15 mg/kg) und 2009 (Vorsorge-Hilfswert-SH Bodenart Ton 20 mg/kg) den Vorsorge-Hilfswert als Gesamtgehalt. Im Jahr 2002 erfolgte ergänzend eine Analyse im Königswasseraufschluss. Als Königswassergehalt gemessen (16,6 mg/kg)

wird der Vorsorge-Hilfswert-SH ebenfalls überschritten. Im Jahr 2009 wird der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen zwar als Gesamtgehalt überschritten, eine ergänzend im Königswasserextrakt durchgeführte Messung (17,1 mg/kg) führt jedoch zur Einschätzung, dass der Vorsorge-Hilfswert für Arsen eingehalten wird. Höhere Gehalte an diesem Standort sind auf geogene Grundlasten in der Marsch zurückzuführen.

Tab. BDF37-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 2002 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	18,23	25,77	0,51	0,32	69,5	71,47	11,83	15,9
SD	1,35	1,76	-	0,02	1,87	2,63	1,19	1,15
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	25,23	30,87	33,3	34,33	117,67	111,67	0,18	0,2
SD	2,3	3,58	1,4	2	12,1	7,02	0,02	0,01

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend der Bodenart des Ausgangsmaterials und des hohen Humusgehaltes als hoch bis sehr hoch einzustufen. Die Zusammensetzung der austauschbaren Kationen ist durch die Überflutung und somit den hohen Salzgehalt des Meerwassers geprägt. Dies zeigt sich insbesondere an den hohen Natriumgehalte im Boden, die durch Überflutung, Niederschläge sowie auch Trockenperioden im Jahresablauf beeinflusst sind (s. Tab. BDF37-3).

Tab. BDF37-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität im Oberboden 2002 und 2009

	Ca		**K**		**Mg**		**Na**		**H**	
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**	
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Mittelwert	16	11,33	2,46	3,01	16,4	20,13	50,47	70,57	<0,01	<0,05
SD	0,69	0,61	0,36	0,2	0,36	0,32	2,02	2,8	-	-
	Al		**Fe**		**Mn**		**KAK**			
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**			
Jahr der Probenahme	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009		
Mittelwert	<0,3	<0,02	<0,01	<0,02	0,04	0,07	28,57	30,03		
SD	-	-	-	-	0	0,03	2,86	0,67		

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 2001 in einem Naturschutzgebiet der Nordfriesischen Marsch eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 37, eine auch gegenwärtig durch Überflutung geprägte Rohmarsch, wird lediglich zur extensiven Schafbeweidung genutzt. Der stark humose Oberboden ist z. T. noch schwach carbonathaltig, das C/N-Verhältnis liegt etwa bei 11-12. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Kalium sind geogen bedingt sehr hoch, die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat als mittel einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen weisen, wie für Marschböden häufig feststellbar, im landesweiten Vergleich der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden geogen bedingt höhere Gehalte auf. Die Schwermetallgesamtgehalte unterschreiten jedoch dennoch - rechnerisch auch Chrom - die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999). Arsen weist Gehalte auf, die den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen geogen bedingt z. T. überschreiten. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend der Bodenart des Ausgangsmaterials und des hohen Humusgehaltes als hoch bis sehr hoch einzustufen. Da für derzeitige Auswertungen erst Daten aus zwei Beprobungsterminen vorliegen, sind keine Aussagen zu Veränderungstendenzen möglich.

3.5.4 Bewertender Überblick Gruppe 5: naturnahe Standorte

Die nicht oder nur sehr extensiv zur Schafbeweidung genutzten Flächen (BDF01, BDF21 und BDF37) unterscheiden sich entsprechend ihres Ausgangsmaterials sehr stark. Der aus Flugsand entstandene podsolierte Regosol auf Sylt (BDF01) zeichnet sich durch Nährstoffarmut sowie auch geringe Gehalte an Schwermetallen und Arsen aus. Die beiden Böden der Marsch (BDF21 und BDF37) weisen hingegen geogen bedingt hohe Nährstoffgehalte, sehr hohe Kationenaustauschkapazitäten sowie auch z. T. geogen bedingt hohe Gehalte an Schwermetallen und Arsen auf. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) werden rein rechnerisch dennoch auch auf den Marschböden eingehalten. Die Gehalte an Arsen hingegen überschreiten z. T. auf der BDF 37 den Vorsorge-Hilfswert-SH (LLUR 2011). Tendenzen der Veränderung sind derzeit nur für BDF 21, der Kalkmarsch auf der Sukzessionsfläche im Speicherkoog Dithmarschen, durch sinkende Gehalte an austauschbarem Calcium feststellbar. Insbesondere für die Rohmarsch der BDF 37, für die bisher nur Daten zu zwei Beprobungen vorliegen, wird mit zunehmender Datenmenge eine weitergehende Auswertung möglich sein.

3.6 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 6: Forst

Humusauflage und mineralischer Oberboden wurden auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen unter Forst gesondert untersucht.

3.6.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Süderlügum (BDF02)

Die BDF02 wurde im Oktober 1989 bei Süderlügum eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit der Lecker Geest. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche (Forst: Kiefer, Fichte, Weißtanne) wurde als Podsol über flachem Podsol aus holozänen Flugsanden angesprochen, wobei eine Überprägung des ursprünglichen Podsols durch Melioration (Tiefenumbruch) erfolgte. Der Boden ist u. a. mit Pseudogley- bzw. Gley-Podsolen aus Flugsand bis Geschiebedecksand, vorherrschend über Geschiebelehm, vergesellschaftet. Die Leitprofilbeprobung erfolgte zur Einrichtung 1989, die Erstbeprobung fand 1991 statt. Es wurde bei allen Beprobungen feinsandiger Mittelsand als Bodenart ermittelt.

Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage

Die in ihrer Höhe stark unterschiedlichen Gehalte an organischem Kohlenstoff sowie auch Gesamtstickstoff zu den Beprobungsterminen sind auf die Beimengung an mineralischem Oberboden in der Humusauflage zurückzuführen. Das C/N-Verhältnis liegt zwischen 21 und 32 und die pH-Werte liegen erwartungsgemäß im extrem sauren Bereich (s. Tab. BDF02-1)

Tab. BDF02-1: Allgemeine bodenchemische Parameter von 1991 bis 2009 in der Humusauflage

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	50,31	25,22	44,23	1,57	1,19	1,75	3,04	3,13	2,87
SD	3,94	2,95	0,81	0,22	0,14	0,05	0,23	0,06	0,08

Die Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen zu den Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff zeigt, dass keine Tendenzen der Entwicklung der Gehalte an C_{org} und N_{ges} in der Humusauflage dieses Standortes feststellbar sind. Es sind auch hier probenahmebedingt sehr starke Schwankungen, insbesondere der C_{org}-Gehalte, zu beobachten (s. Abb. BDF02-1).

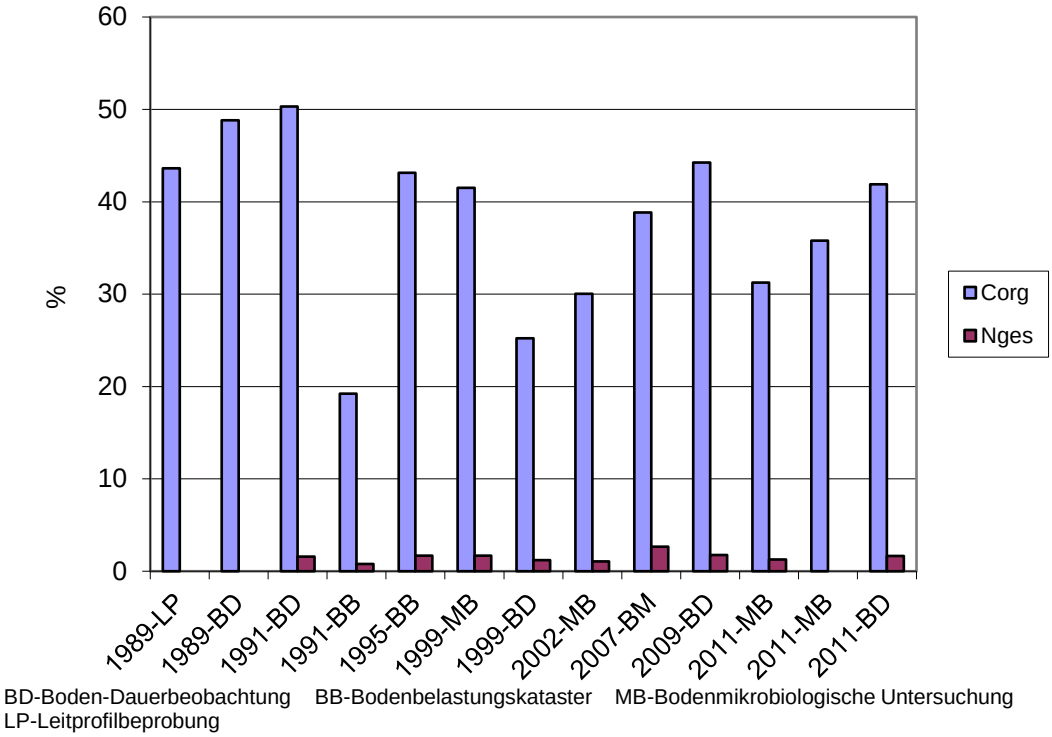


Abb. BDF02-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} in der Humusauflage unter Einbeziehung der Ergebnisse weiterer Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

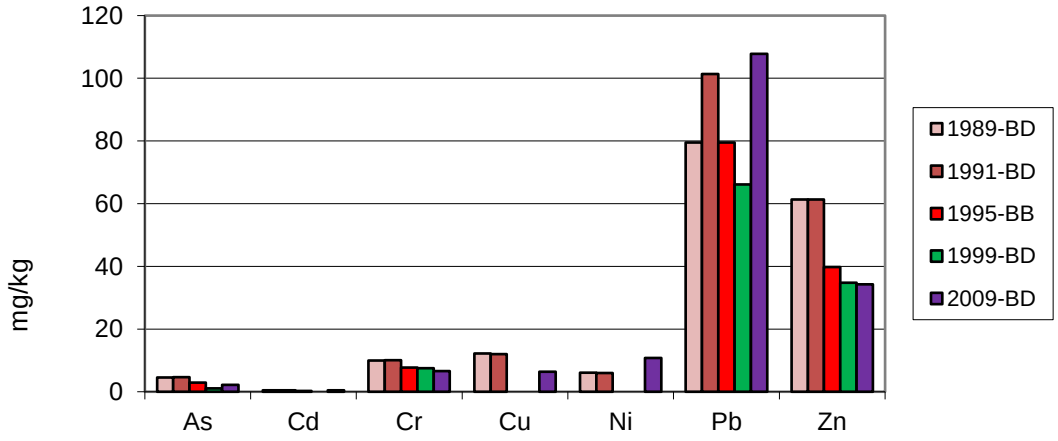
Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen weisen überwiegend relativ niedrige Werte in der Humusauflage auf. Die Gehalte an Cadmium, Kupfer und Nickel liegen teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die analysierbaren Gesamtgehalte liegen für Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink unterhalb des 90er-Perzentilwertes der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Waldauflagen (LLUR 2011). Die Gesamtgehalte an Arsen, Blei und Chrom unterschreiten z. T. erst den 95er-Perzentilwert und Nickel den Maximalwert. Die Vorsorge-Hilfswerte für Böden mit Humusgehalten über 8 % und Torf/Waldauflagen werden bis auf den Gehalt an Blei bereits als Gesamtgehalt eingehalten (LLUR 2011). Blei überschreitet 1991 und 2009 als Gesamtgehalt den Vorsorge-Hilfswert (100 mg/kg). Berücksichtigt man für 2009 den ergänzend ermittelten Königswassergehalt (89,9 mg/kg), so kann angenommen werden, dass neben 2009 auch 1991 der Vorsorge-Hilfswert eingehalten wurde. Signifikante Tendenzen der Entwicklung der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sind in der Humusauflage nach derzeitiger Datenlage lediglich für Zink in Form abnehmender Gehalte festzustellen (Tab. BDF02-2).

Tab. BDF02-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage von 1991 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	4,04	1,11	2,19	0,46	<0,2	0,41	9,62	7,17	6,61	11,09	<10	6,37
SD	-	0,41	0,63	-	-	0,03	-	-	0,56	-	-	1,77
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	5,66	<5	10,73	101,36	66,10	107,8	61,33	34,77	34,30	n.b.	0,27	n.b.
SD	-	-	2,56	14,83	9,57	115,63	11,30	4,85	2,52	-	0,04	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Einbeziehung von Ergebnissen aus dem Bodenbelastungskataster bestätigen die Tendenz abnehmender Gehalte bei Zink sowie die schwankenden Gehalte der übrigen Schwermetalle und Arsen in der Humusauflage. Aussagen zur Entwicklung leicht abnehmender Gehalte an Chrom bedürfen weiterer Untersuchungen (s. Abb. BDF02-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF02-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage der BDF02 unter Einbeziehung der Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster

Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden

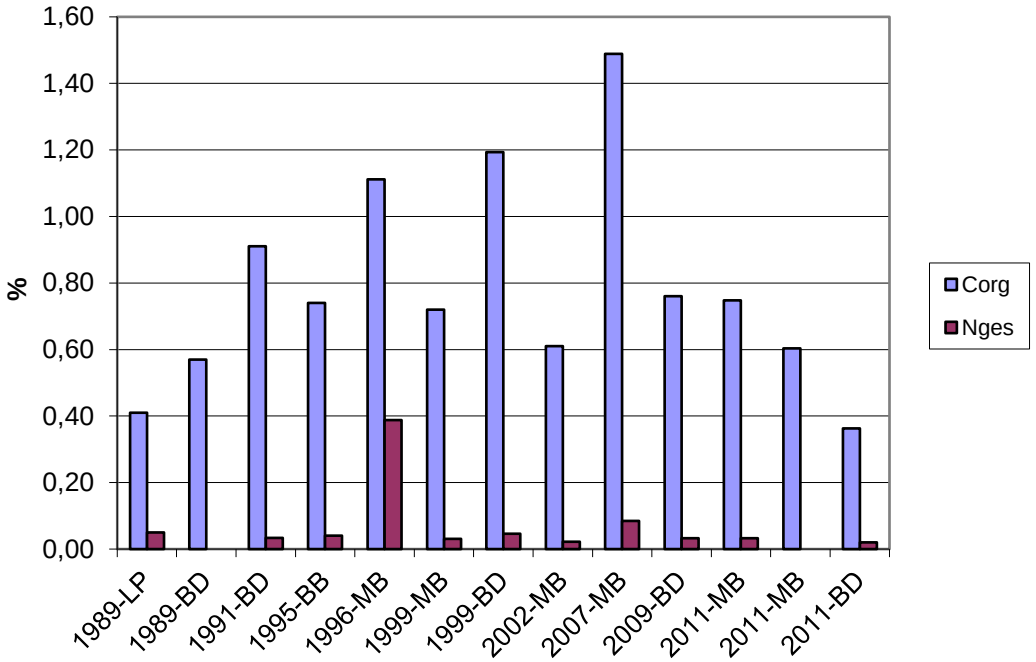
Im schwach humosen, sehr stark bis extrem sauren Oberboden der BDF02 werden stark schwankende Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat festgestellt. Das C/N-Verhältnis beträgt ca. 24 bis 30. Die Oberboden-Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sind verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen als gering einzustufen. Tendenzen der Veränderung lassen sich derzeit nicht

ableiten (s. Tab. BDF02-3). Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) handelt es sich bei diesem Waldstandort um einen mäßig versorgten (schwach mesotrophen) Standort.

Tab. BDF02-3: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	0,91	1,19	0,76	0,03	0,05	0,03	3,33	3,40	3,30
SD	0,27	0,06	0,12	0,02	0	0,01	0,01	0	0,05
	K_2O			$P_2 0_5$					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	0,80	2,70	0,80	0,65	6,77	0,32			
SD	0,48	3,87	0,64	0,64	1,48	-			

Die Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen bestätigt stark schwankende Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff (s. Abb. BDF02-3).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF02-3: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden

Im sandigen Ausgangsgestein, das der Bodenbildung zu Grunde liegt, werden in der Regel sehr geringe Gesamtgehalte an Schwermetallen vorgefunden. Mit Verbesserung der Analyseverfahren und der damit verbundenen Senkung der methodischen Bestimmungsgrenze können zum Teil erstmals bei der zweiten Wiederholungsbeprobung Schwermetalle im Boden quantifiziert werden. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen für Böden der Bodenart Sand unter Waldnutzung liegen deutlich unterhalb des 90er-Perzentilwertes der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalt der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011). Es werden auch die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für Schwermetalle sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) sehr deutlich unterschritten. Lediglich bei Blei konnten bei allen drei Beprobungen Gehalte bestimmt werden. Es zeigt sich zwar eine leichte, jedoch nicht signifikante Abnahme. Für die Gehalte der übrigen Elemente sind keine Aussagen bezüglich ihrer Entwicklung möglich (s. Tab. BDF02-4).

Tab. BDF02-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen von 1991 bis 2009 im mineralischen Oberboden

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	1,95	<0,5	0,64	<0,2	<0,2	0,04	<7	<7	3,01	<10	<10	0,20
SD	0,93	-	0,07	-	-	0,01	-	-	0,57	-	-	0,13
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	<5	<5	2,03	5,66	5,19	4,56	<15	<15	3,54	n.b.	0,01	n.b.
SD	-	-	1,26	1,43	0,42	1,19	-	-	0,90	-	0	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Werden Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster sowie weitere Beprobungen auf der Boden-Dauerbeobachtungsfläche in die Auswertung einbezogen, ist für die Gehalte an Blei tendenziell eine Abnahme zu beobachten, die in weiteren Untersuchungen auf Signifikanz zu prüfen ist (s. Abb. BDF02-4).

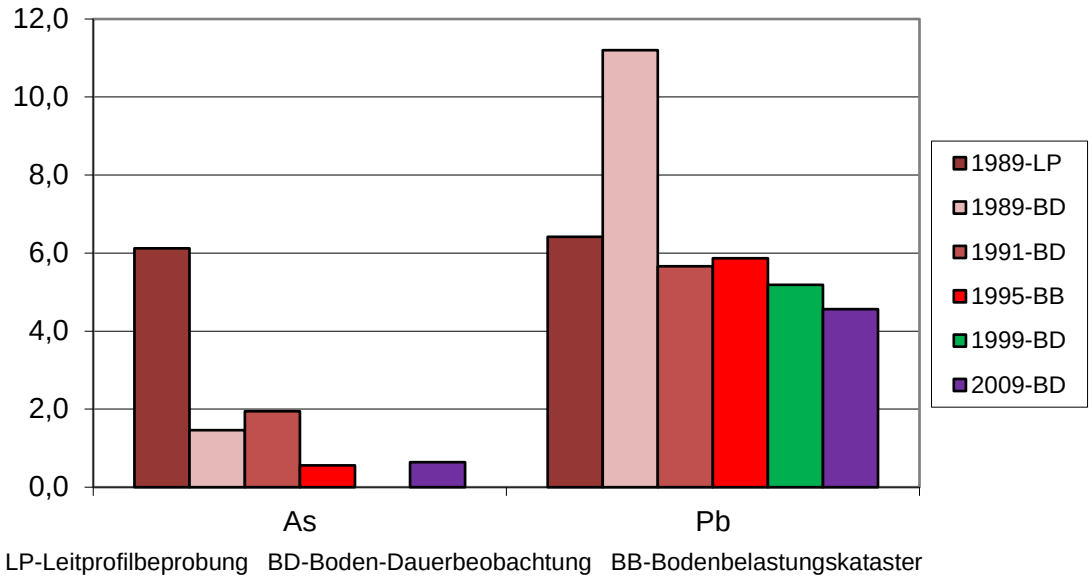


Abb. BDF02-4: Gesamtgehalte an Blei und Arsen im mineralischen Oberboden der BDF02 unter Einbeziehung der Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die Gehalte an austauschbaren Kationen im mineralischen Oberboden zeigen im Verlauf des Untersuchungszeitraums keine eindeutigen Tendenzen. Häufig lagen die gemessenen Werte aufgrund des sandigen Ausgangsmaterials unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist aufgrund des niedrigen pH-Wertes als sehr gering bis gering einzustufen. Die Belegung der Austauscher – im Wesentlichen der organischen Substanz – erfolgt pH-bedingt überwiegend durch saure Kationen, vor allem H- und Al-Ionen (s. Tab. BDF02-5).

Tab. BDF02-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			**K**			**Mg**			**Na**			**H**		
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	0,19	0,22	0,05	0,08	<0,1	<0,02	0,08	0,08	<0,02	0,03	0,01	<0,06	0,41	4,53	0,77
SD	0,03	0,07	0,01	0,03	-	-	0,04	0,01	-	0,02	-	-	0,39	-	0,25
	Al			**Fe**			**Mn**			**KAK**					
	mmol/z/100 g			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**			**mmol/z/100 g**					
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	0,69	<0,3	0,19	0,02	0,03	<0,02	0,01	<0,01	<0,01	1,48	5,30	1,02			
SD	0,58	-	0,06	0,01	0,01	-	-	-	-	0,97	-	0,3			

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 bei Süderlügum auf der Lecker Geest eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 02, ein Podsol aus Flugsand unter Nadelwald, weist weder für die Humusauflage noch für den mineralischen Oberboden eine Tendenz der Veränderung im Hinblick auf die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, den pH-Wert und die effektive Kationenaustauschkapazität auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität im Oberboden ist auf Grund des sandigen Ausgangsmaterials und des niedrigen pH-Wertes als sehr gering bis gering einzustufen. Als Waldstandort laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) bewertet, handelt es sich um einen mäßig versorgten Standort. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen weisen in der Humusauflage im Vergleich zu Daten der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins im Wesentlichen relativ niedrige Gehalte auf. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden liegen deutlich unterhalb des 90er-Perzentilwertes für Waldböden der Bodenart Sand. Lediglich Arsen, Blei und Chrom unterschreiten z. T. erst den 95er-Perzentilwert und Nickel den Maximalwert. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) sowie die Vorsorge-Hilfswerte für Arsen bzw. für Böden mit Humusgehalten über 8 % Humus (LLUR 2011) werden für die Humusauflage wie auch den Oberboden eingehalten. Die Entwicklung der Gesamtgehalte an Zink zeigt in der Humusauflage signifikant abnehmende Tendenzen. Für die übrigen Schwermetalle und Arsen werden sich sowohl in der Humusauflage wie auch dem Oberboden erst mit zunehmender Datendichte gesicherte Aussagen zu Tendenzen der Veränderung feststellen lassen.

3.6.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Pobüller Bauerholz (BDF07)

Diese Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Oktober 1989 eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit Bredstedter Geest (Hohe Geest). Das Pobüller Bauernholz liegt auf der Grenze der Kreise Nordfriesland und Schleswig-Flensburg zwischen Husum und Flensburg. Das Waldgebiet umfasst eine Fläche von ca. 130 ha, von denen 4,6 ha seit 1939 als Naturschutzgebiet ausgewiesen sind. Das Gebiet erstreckt sich über den Ost- bis Südhang einer Altmoränenkuppe und wird begrenzt durch landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche (Forst: Eiche, Buche; Naturschutzgebiet) wird als Pseudogley-Podsol aus Geschiebedecksanden und Fließerden über saalezeitlichem Geschiebelehm angesprochen. Der Boden ist unter anderem mit podsolierten Pseudogley-Braunerden und podsolierten Pseudogleyen aus Flugsand bis Geschiebedecksand über Geschiebelehm bzw. podsolierten Brauerden bis Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksand vergesellschaftet. Die Leitprofilbeprobung erfolgte 1989, die Erstbeprobung fand 1993 statt. Im Rahmen der drei Beprobungstermine wurden schwach schluffiger und schwach lehmiger Sand im mineralischen Oberboden als Bodenart bestimmt.

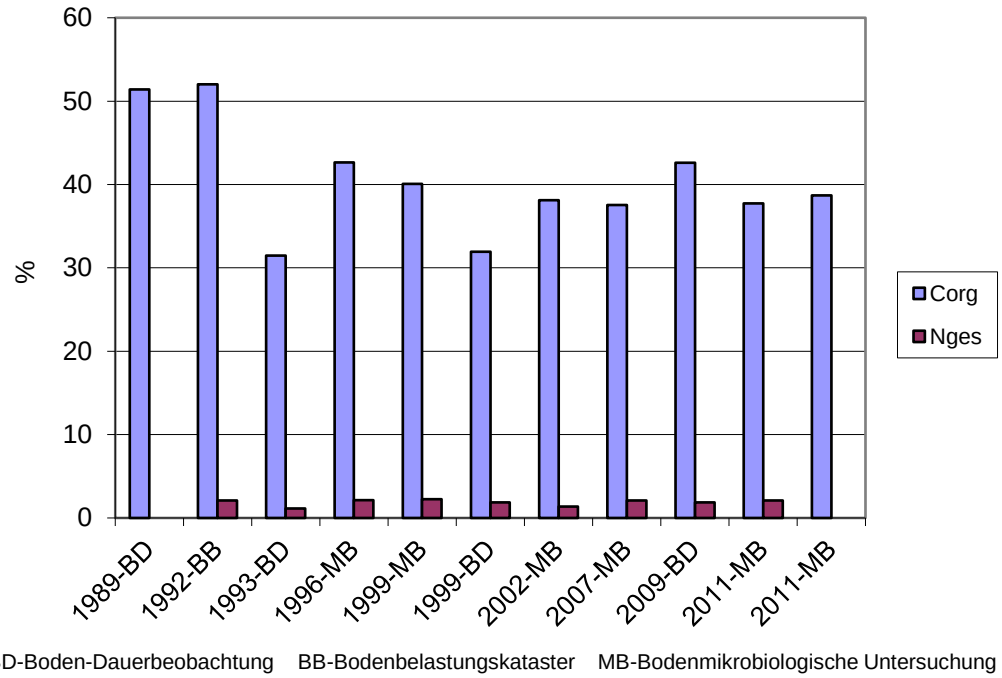
Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage

Dieser Standort zeichnet sich durch eine extrem mächtige Humusauflage aus. Während der Erstbeprobung wurden mittlere Mächtigkeiten der Of-Horizonte von 4 cm und der Oh-Horizonte von 11 cm gemessen. Die beiden Horizonte wurden gemeinsam beprobt. Das C/N-Verhältnis liegt zwischen 17 und 27. Der pH-Wert ist als extrem sauer einzustufen. Die Gehalte an C_{org} und an N_{ges} nehmen bis 2009 diesen Daten zufolge signifikant zu (s. Tab. BDF07-1).

Tab. BDF07-1: Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage von 1993 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	31,47	31,95	42,6	1,16	1,85	1,87	2,92	3,27	2,96
SD	7,95	4,15	1,06	0,37	0,17	0,02	0,04	0,06	0,26

Die Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen zu den Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff zeigen keine eindeutigen Tendenzen der Veränderungen, so dass weitere Untersuchungen abzuwarten sind (s. Abb. BDF07-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF07-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} in der Humusauflage unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

Die Gesamtgehalte der Schwermetalle und Arsen in der Waldauflage liegen im Wesentlichen unterhalb des 90er-Perzentilwertes der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“, lediglich Cad-

mium unterschreitet erst den 95er-Perzentilwert bzw. Arsen und Chrom den Maximalwert. Die Vorsorge-Hilfswerte für Böden mit über 8 % Humus und Torf/Waldauflagen werden für die Schwermetalle und Arsen deutlich unterschritten (LLUR 2011). Tendenzen der Veränderung lassen sich derzeit nicht feststellen (s. Tab. BDF07-2).

Tab. BDF07-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage von 1993 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	6,42	0,90	3,55	0,43	0,36	0,50	11,08	7,53	8,9	10,88	14,6	7,63
SD	2,34	-	0,2	0,04	0,02	0,07	1,00	-	3,35	-	-	0,64
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	6,60	5,62	8,03	59,63	69,67	58,03	36,33	49,47	37,27	n.b.	0,21	n.b.
SD	-	-	5,02	7,27	3,82	18,14	5,23	6,80	1,61	-	0,01	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

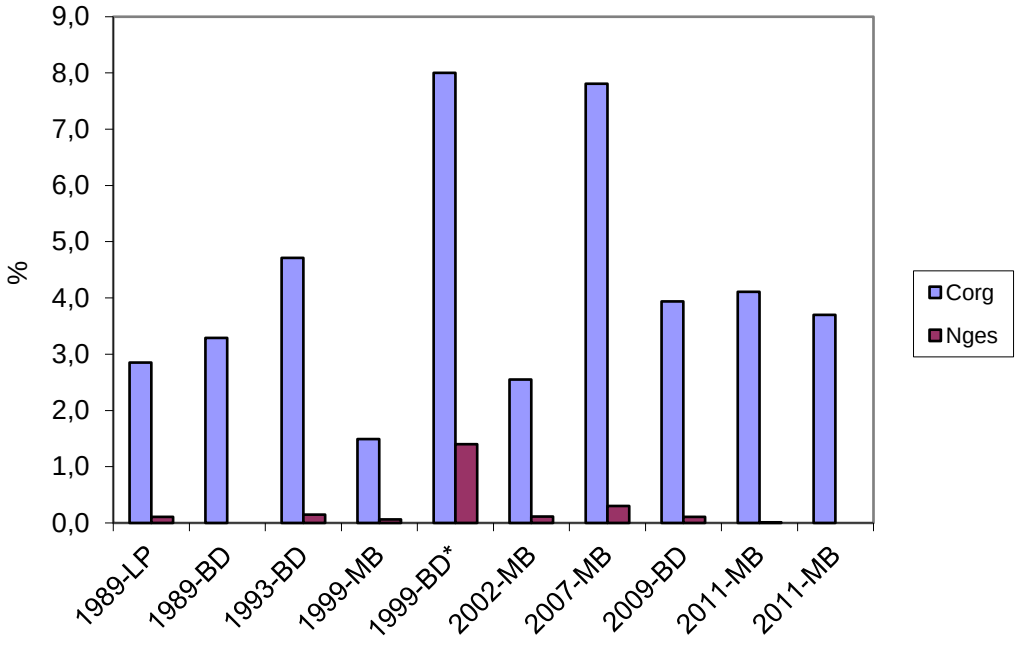
Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden

Ein Vergleich des mineralischen Oberbodens kann nur zwischen der Erstbeprobung (1993) und der zweiten Wiederholungsbeprobung erfolgen, da im Jahre 1999 dem mineralischen Oberboden bei der Probenahme Humusauflage beigemischt wurde (s. Tab. BDF07-3). Der stark bis sehr stark humose Oberboden weist 1993 und 2009 ein C/N-Verhältnis von 31 und 36 auf. Die Bodenreaktion ist als extrem sauer, die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen als sehr gering einzustufen. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser Waldstandort als mäßig und tendenziell etwas schlechter mit Nährstoffen versorgt (schwach mesotroph) einzustufen.

Tab. BDF07-3: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	4,71	26,2	3,94	0,15	1,4	0,11	3,07	3,3	3,03
SD	1,68	1,93	1,43	0,06	0,25	0,03	0,06	0,1	0,05
	K_2O			**P_2O_5**					
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	2,57	23,85	1,40	1,54	12,61	0,40			
SD	1,34	4,88	0,65	0,87	5,37	0,15			

Auch bei Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff zeigen sich keine Tendenzen der Veränderung (s. Abb. BDF07-2).



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung * - Maximalwert: C_{org} 26,2 %

Abb. BDF07-2: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden der BDF07 unter Einbeziehung der Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden

Da bei der Bodenprobe aus dem Jahr 1999 durch Einmischung mit Auflagenmaterial der Gehalt an organischem Material deutlich erhöht ist, werden nur die Oberbodenproben der Jahre 1993 und 2009 bei der Bewertung berücksichtigt. Die Daten des Jahres 1999 werden vollständigkeitshalber aufgeführt (s. Tab. BDF07-4).

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen z. T. deutlich unterhalb des 90er-Perzentilwerts der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Böden der Bodenart Sand unter Wald (LLUR 2011). Arsen, Blei, Kupfer und Zink unterschreiten den 50er-Perzentilwert. Die in der BUNDES-BODENSCHUTZ UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) genannten Vorsorgewerte für Schwermetalle bzw. die Vorsorge-Hilfswerte für Böden mit Humusgehalten über 8 % sowie der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) werden für die Schwermetalle und Arsen zu allen Beprobungsterminen bereits als Gesamtgehalte eingehalten.

Tab. BDF07-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	2,53	3,80	1,61	<0,35	<0,2	0,11	11,53	19,40	11,03	<10	<10	1,53
SD	0,83	1,64	0,28	-	-	0,04	1,89	2,02	0,45	-	-	0,86
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	<5	11,87	1,03	8,25	73,23	7,05	<15	26,50	4,44	n.b.	0,32	n.b.
SD	-	1,12	0,20	3,02	14,28	1,46	-	4,37	0,59	-	0,07	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden

Die Untersuchung auf Gehalte an austauschbaren Kationen zeigt 1999 auf Grund der Beimischung von Auflagenmaterial im Vergleich zur Erstbeprobung und zweiten Wiederholungsbeprobung erwartungsgemäß höhere Werte. Wird nur der Oberboden 1993 und 2009 betrachtet, so ist die ermittelte effektive Kationenaustauschkapazität als gering einzustufen. Die Belegung der Austauscher wird entsprechend des geringen pH-Wertes durch Protonen und Aluminium-Ionen dominiert (s. Tab. BDF07-5).

Tab. BDF07-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	0,23	1,52	0,12	0,05	0,47	0,07	0,09	1,56	0,13	0,08	0,43	0,1	2	3,43	1,87
SD	0,08	0,2	0,04	-	0,11	0,02	-	0,33	0,05	0,07	0,02	0,03	0,83	4,84	0,31
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	2,25	3,82	2,4	0,08	0,42	0,07	<0,01	0,03	<0,01	4,77	9,8	4,75			
SD	0,38	0,36	0,34	0,02	0,07	0	-	0,01	-	1,56	6,36	0,77			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 07, ein Pseudogley-Podsol in einem Naturschutzgebiet der Bredstedter Geest (Hohe Geest) ist ein von Eichen dominierter

Waldstandort, der sich durch eine sehr mächtige Humusauflage mit extrem saurer Bodenreaktion in Auflage wie mineralischem Oberboden auszeichnet. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen liegen in der Humusauflage wie auch dem mineralischen Oberboden im Wesentlichen unterhalb der 90er-Perzentilwerte der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins. Im Hinblick auf die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit mehr als 8 % Humus und Torf/Waldauflagen (LLUR 2011) liegen die Schwermetalle bereits als Gesamtgehalte unterhalb dieser Bewertungsmaßstäbe. In gleicher Weise unterschreitet auch Arsen als Gesamtgehalt den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen in Humusauflage und mineralischem Oberboden deutlich. Die effektive Kationenaustauschkapazität des mineralischen Oberbodens ist verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen und entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials sowie des niedrigen pH-Wertes als gering einzustufen. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser Waldstandort als mäßig und tendenziell etwas schlechter mit Nährstoffen versorgt (schwach mesotroph) anzusprechen. Tendenzen der Veränderung sind für keinen der untersuchten Parameter feststellbar.

3.6.3 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Wüstenfelde (BDF20)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Oktober 1989 eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit Ostholsteinisches Hügel- und Seenland bzw. der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften. Der Boden ist überwiegend mit Parabraunerden sowie mit Pseudogleyen aus Geschiebelehm über Geschiebemergel, Pararendzinen aus Geschiebemergel, selten Kolluvisolen über Geschiebelehm oder Niedermoortorf vergesellschaftet. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Parabraunerde-Pseudogley aus flacher Fließerde über weichselzeitlichem Geschiebelehm und –mergel angesprochen. Im Rahmen der Einrichtung fand die Leitprofil- und Erstbeprobung im Jahre 1991 statt. Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche unter Wald (Buche, Eiche) weist im mineralischen Oberboden als Bodenarten stark lehmigen Sand, stark sandigen Lehm und sandigen Lehm auf.

Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage

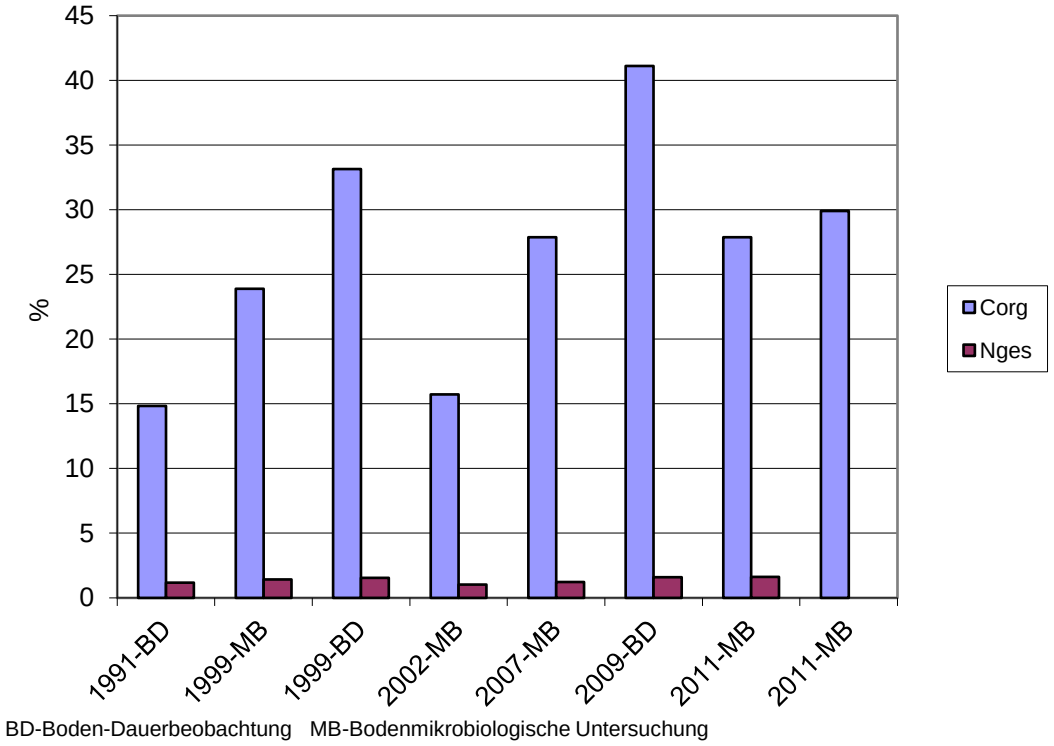
Die Humusauflage dieses Standortes war mit ca. 3 cm sehr geringmächtig. Diese geringe Mächtigkeit der Humusauflage sowie die räumlich heterogene Mächtigkeit der Auflage kann der Grund für die Beimengung von mineralischem Oberbodenmaterial bei der Erstbeprobung 1991 gewesen sein. Erkennbar ist dies deutlich an der sehr hohen Standardabweichung (s. Tab. BDF20-1). Die Auflageproben der Jahre 1999 und 2009 zeigen ein C/N-Verhältnis von 21-26 bei stark bis mäßig saurer Bodenreaktion.

Tab. BDF20-1: Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage von 1990 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert			K_2O			P_2O_5		
	%			%						mg/100 g Boden			mg/100 g Boden		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	14,84	33,1	41,1	1,17	1,55	1,6	4	4,33	4,76	13,58	n.b.	n.b.	9,9	n.b.	n.b.
SD	20,28	1,65	1,75	0,13	0,09	0,09	0,05	0,25	0,02	4,43	-	-	2,35	-	-

- keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Erweiterung der Datenbasis durch Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigt deutliche Schwankungen der Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff (s. Abb. BDF20-1). Tendenzen der Veränderung sind nicht erkennbar.



BD-Boden-Dauerbeobachtung MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF20-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} in der Humusauflage unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Waldauflage unterschreiten in der Regel den 90er-Perzentilwert der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011); lediglich Nickel unterschreitet 2009 erst den 95er-Perzentilwert und Chrom 1991 und 1999 den Maximalwert. Die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % und Torf/Waldauflagen werden für Schwermetalle und Arsen bereits als Gesamtgehalte deutlich

unterschritten. Bei den Elementen Arsen, Blei und Zink wurde eine signifikante Abnahme der Gehalte beobachtet. Auch hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass für 1991 keine reine Auflagenprobe vorliegt. Die Entwicklung der Gehalte an Cadmium und Quecksilber konnte nicht beurteilt werden, da die Gehalte z. T. unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen bzw. nicht bestimmt wurden (s. Tab. BDF20-2). Weitere Untersuchungen werden insbesondere auch Aussagen zu Veränderungen der Gehalte an Chrom und Kupfer absichern können.

Tab. BDF20-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage von 1991 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	3,00	2,62	1,13	0,25	<0,2	0,35	22,23	14,23	7,57	12,77	13,03	9,96
SD	1,87	1,05	0,14	-	-	0,02	-	0,58	2,17	-	2,17	0,48
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	7,84	5,92	8,88	41,79	23,37	9,75	49,57	43,90	43,87	n.b.	0,18	n.b.
SD	-	0,42	4,02	24,04	4,96	1,94	5,74	0,53	0,58	-	0,01	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden

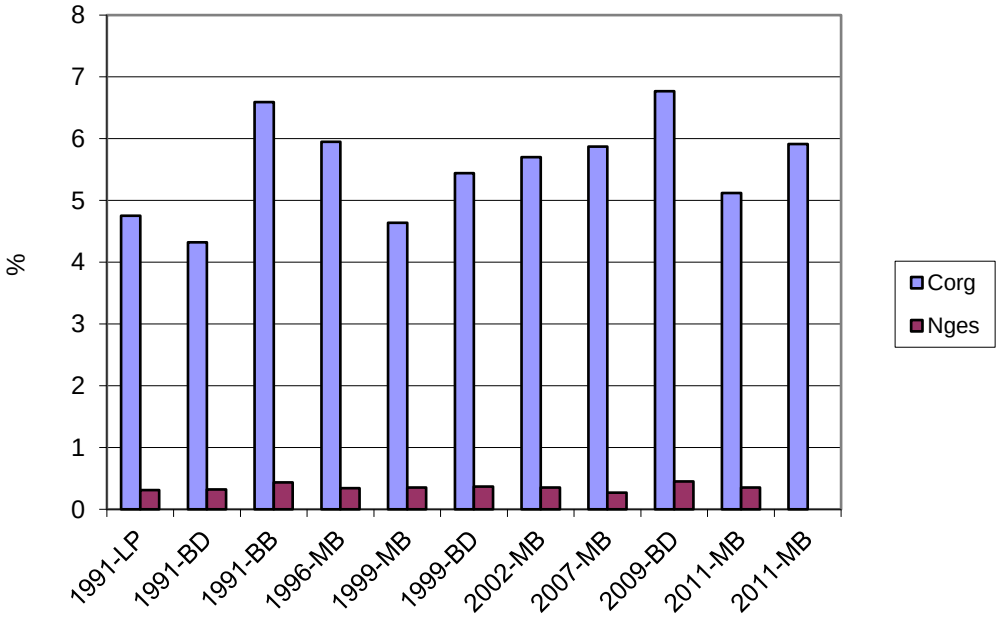
Der Oberboden ist stark bis sehr stark humos. Der pH-Wert ist erwartungsgemäß als sehr stark sauer einzustufen (s. Tab. BDF20-3). Das C/N-Verhältnis liegt zwischen 13 und 15. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat im Oberboden sind verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen gering, jedoch aufgrund des lehmigen Ausgangsmaterials höher als bei den Waldstandorten BDF 02 und 07. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser Waldstandort als mit Nährstoffen gut versorgt (eutroph) einzustufen.

Tab. BDF20-3: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	4,32	5,44	6,77	0,32	0,37	0,45	3,47	3,65	3,59
SD	0,48	0,86	0,88	0,02	0,04	0,04	0,06	0,07	0,02
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	9,87	13,40	13,90	6,4	2,89	3,74			
SD	0,32	0,42	1,00	1,39	0,28	0,46			

Die Gehalte an C_{org}, N_{ges} sowie doppellaktatlöslichem Kalium weisen nach Ergebnissen der Boden-Dauerbeobachtung (1991, 1999 und 2009) eine signifikante Zunahme im minerali-

schen Oberboden auf (s. Tab. BDF20-3). Die Erweiterung der Datenbasis zu Gehalten an organischem Kohlestoff und Gesamtstickstoff durch Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigen jedoch eher deutliche Schwankungen (s. Abb. BDF20-2). Eine Verdichtung der Datenbasis durch nachfolgende Analysen wird zu einer Klärung und Absicherung der Aussagen führen.



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF20-2: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden

Bei den Gesamtgehalten an Schwermetallen und Arsen überschreiten Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Arsen zu einzelnen Beprobungsterminen auch die Maximalwerte der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Waldböden auf Lehm (LLUR 2011). Der Gehalt an Blei unterschreitet den Maximalwert deutlich, die Gehalte an Quecksilber und Zink unterschreiten bereits den 90er-Perzentilwert. Alle Schwermetalle sowie auch Arsen unterschreiten bereits als Gesamtgehalte die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit Humusgehalten über 8 % und Torf/Waldauflagen (LLUR 2011). Tendenzen der Veränderung zeigen sich nach derzeitigem Datenmaterial lediglich für Arsen. Hier ist ein signifikanter Anstieg der Gehalte zu beobachten (s. Tab. BDF20-4). Auch die höheren Gehalte unterschreiten den Vorsorge-Hilfswert-SH deutlich.

Tab. BDF20-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	4,36	6,75	7,48	<0,2	<0,2	0,18	30,23	29,63	30,17	<10	<10	8,51
SD	0,45	1,15	1,13	-	-	0,03	3,55	1,86	0,95	-	-	1,01
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	9,06	6,18	10,90	52,47	43,00	51,33	42,23	33,60	38,80	n.b.	0,13	n.b.
SD	0,94	-	2,22	3,15	9,14	3,87	3,21	1,97	0,46	-	0,03	-

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden

Die effektive Kationenaustauschkapazität im lehmigen Oberboden ist aufgrund des sehr niedrigen pH-Wertes als gering bis mittel einzustufen. Die Belegung der Austauscher erfolgt entsprechend der Bodenreaktion im Wesentlichen durch Protonen und Aluminium-Ionen. Tendenzen der Veränderung sind nicht erkennbar, da auch die ansteigenden Gehalte an austauschbarem Calcium als nicht signifikant zu betrachten sind (s. Tab. BDF20-5)

Tab. BDF20-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	1,47	2,17	2,79	0,27	0,22	0,31	0,43	0,43	0,49	0,03	0,04	0,10	0,41	2,39	0,29
SD	0,2	0,35	0,61	0,03	0,02	0,05	0,14	0,06	0,13	0,01	0,02	0	0,31	0,17	0,17
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probe-nahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	4,39	2,75	4,00	0,27	0,18	0,41	0,17	0,14	0,16	6,39	8,17	8,16			
SD	0,22	0,11	0,51	0,1	0,09	0,06	0,07	0,02	0,06	2,08	0,51	0,47			

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 20, ein Parabraunerde-Pseudogley im Östlichen Hügelland, weist an diesem durch Buchen dominierten Waldstandort nur eine sehr geringmächtige Humusauflage von ca. 3 cm auf. Im Hinblick auf die Gehalte an C_{org} und N_{ges} in Humusauflage und mineralischem Oberboden zeigen sich keine Tendenzen der Ver-

änderung. Der pH-Wert im stark bis sehr stark humosen Oberboden ist erwartungsgemäß niedrig und als sehr stark sauer einzustufen. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat im lehmigen Oberboden sind verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen zwar als gering zu bezeichnen, wird dieser Waldstandort jedoch laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) bewertet, so gilt die Fläche als mit Nährstoffen gut versorgt (eutroph). Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen in der Humusauflage im Bereich der Hintergrundwerte für Waldauflagen in Schleswig-Holstein. Im mineralischen Oberboden hingegen werden die Maximalwerte der Hintergrundwerte häufig überschritten. Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999) bzw. die Vorsorge-Hilfswerte in Schleswig-Holstein werden jedoch bereits als Gesamtgehalte in Humusauflage und mineralischem Oberboden eingehalten. Mit Ausnahme signifikant steigender Gehalte an Arsen im Oberboden zeigen die Gesamtgehalte der übrigen Elemente keine Tendenzen der Veränderung. Die effektive Kationenaustauschkapazität an diesem Standort war aufgrund des sehr niedrigen pH-Wertes als gering bis mittel einzustufen. Auch die Gehalte an austauschbaren Kationen und die effektive Kationenaustauschkapazität zeigen keine signifikanten Veränderungen.

3.6.4 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hahnheide (BDF32)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Oktober 1989 eingerichtet. Sie befindet sich in der naturräumlichen Einheit des Ostholsteinischen Hügel- und Seenlandes bzw. der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften (Stormarner Endmoränengebiet). Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich unter Laubwald (Buche, Naturschutzgebiet). Der Boden ist mit Bänderparabraunerden aus fluvioglazialem Sand oder Geschiebedecksand über fluvioglazialem Sand und mit Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm und Kolluvisolen über Geschiebedecksand vergesellschaftet. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Podsol-Braunerde aus Geschiebedecksand über weichselzeitlichen glaziofluvialen Sanden angesprochen. Die Leitprofilbeprobung erfolgte zur Einrichtung 1989, die Erstbeprobung fand 1993 statt. Für den mineralischen Oberboden wurde lehmiger Sand als Bodenart festgestellt, im Rahmen der letzten Beprobung schwach lehmiger Sand.

Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage

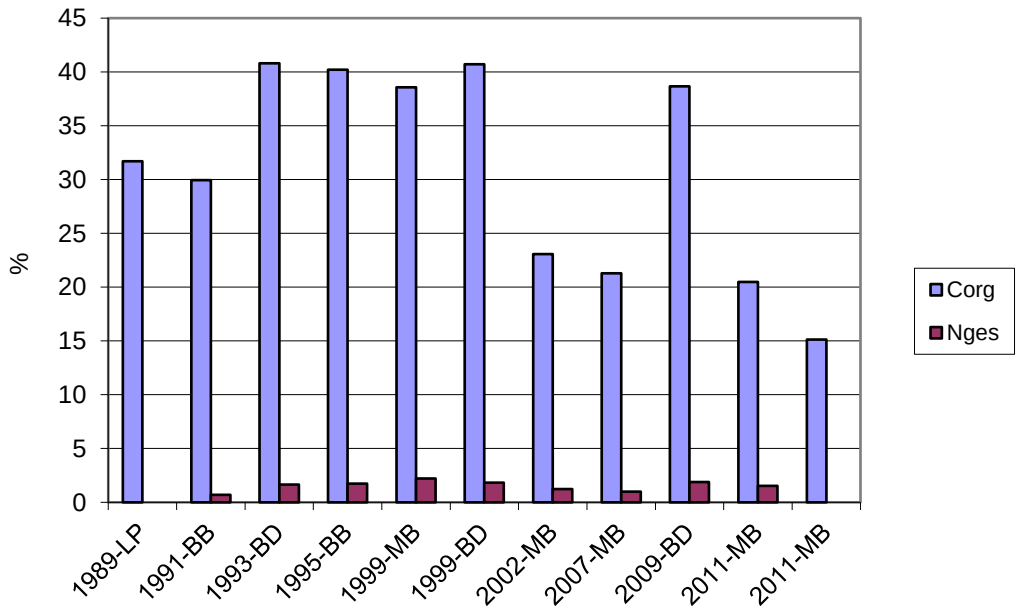
In der Humusauflage dieses Laubwaldes ist eine signifikante Zunahme des Gehalts an N_{ges} zu beobachten. Die leichte Abnahme des C_{org}-Gehaltes ist als nicht signifikant zu betrachten. Das C/N-Verhältnis sinkt von 25 auf 20. Der signifikant sinkende pH-Wert ist als sehr stark bis extrem sauer einzustufen (s. Tab. BDF32-1).

Tab. BDF32-1: Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage von 1993 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	40,81	40,70	38,67	1,64	1,83	1,89	3,81	3,40	3,18
SD	1,56	2,55	2,15	0,05	0,08	0,10	0,02	0,10	0,12
	K_2O			P_2O_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	47,6	n.b.	n.b.	27,13	n.b.	n.b.			
SD	10,28	-	-	3,51	-	-			

- keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Erweiterung der Datenbasis zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen belegt eher stark schwankende Gehalte an C_{org} wie auch N_{ges} (siehe Abb. BDF32-1).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF32-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} in der Humusauflage unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

Chrom und Nickel überschreiten in der Waldauflage an einzelnen Beprobungsterminen als Gesamtgehalte die Maximalwerte der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011).

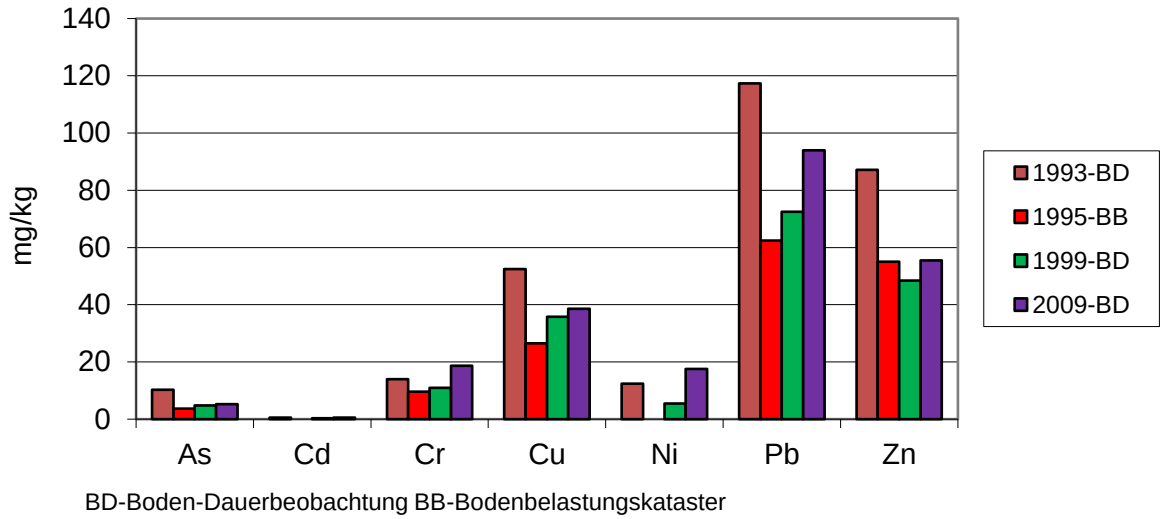
Arsen, Cadmium, Kupfer und Zink unterschreiten den Maximalwert zum Teil sehr deutlich, Blei und Quecksilber unterschreiten den 95er-Perzentilwert. Die Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humus bzw. Torf/Waldauflagen werden bis auf Blei bereits als Gesamtgehalte deutlich unterschritten; Blei überschreitet einmalig 1993 den Vorsorge-Hilfswert-SH (100 mg/kg TM). Königswassergehalte als direkte Vergleichswerte liegen nicht vor. Tendenzen der Veränderung werden in der Humusauflage für Schwermetalle und Arsen nicht festgestellt (s. Tab. BDF32-2).

Tab. BDF32-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage von 1993 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	8,84	4,82	5,19	0,53	0,29	0,59	14,01	10,97	18,63	52,42	35,80	38,57
SD	-	0,86	1,10	0,3	-	0,04	1,19	1,17	4,92	3,51	4,46	1,83
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	12,36	5,43	17,50	117,30	72,43	93,93	87,16	48,43	55,50	n.b.	0,28	0,37
SD	1,41	-	1,15	8,11	11,66	16,95	1,06	6,30	1,93	-	0,04	0,04

- keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Die Erweiterung der Datenbasis um Untersuchungsergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein bestätigt diese Einschätzung (s. Abb. BDF32-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF32-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen auf der BDF32 in der Humusauflage unter Einbeziehung der Ergebnisse des Boden-Belastungskatasters

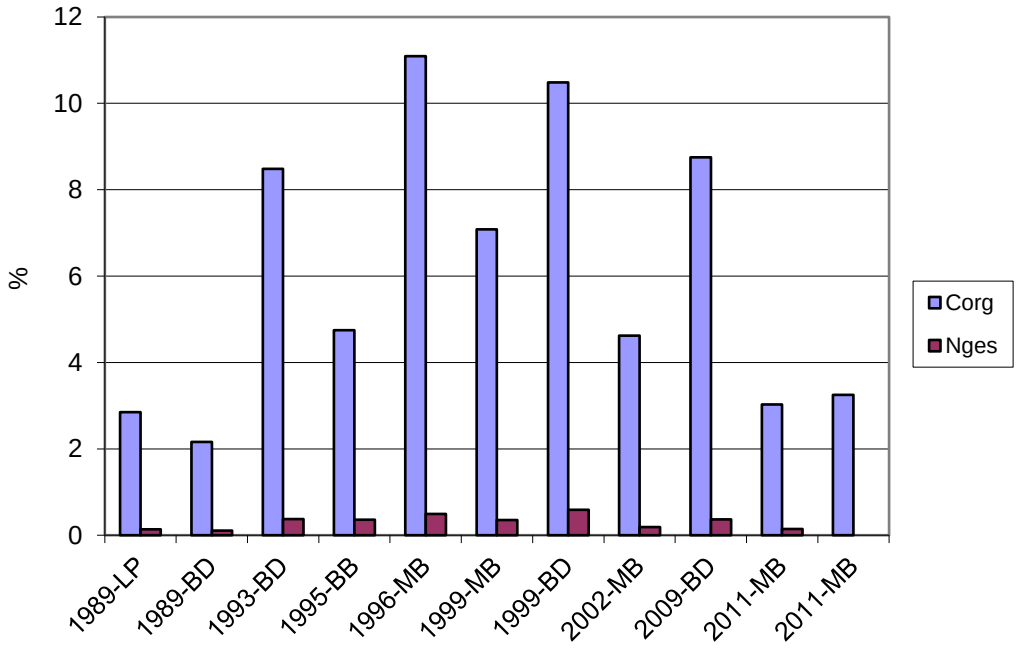
Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden

Der extrem humose Oberboden weist ein C/N-Verhältnis von 18-24 auf. Die Bodenreaktion ist extrem sauer. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat im Oberboden sind verglichen mit landwirtschaftlich genutzten Flächen gering. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser Standort als Wald im Hinblick auf die Nährstoffversorgung als mäßig und tendenziell etwas besser versorgt (schwach mesotroph) einzustufen. Der Gehalt an C_{org} und N_{ges} sowie der pH-Wert haben sich während des Beobachtungszeitraums nicht verändert. Im Gegensatz dazu nahmen dieser Datenlage zufolge die Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat über den betrachteten Zeitraum signifikant ab (s. Tab. BDF32-3).

Tab. BDF32-3: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	8,49	10,48	8,75	0,38	0,59	0,37	2,97	3,03	2,94
SD	1,74	1,57	1,49	0,04	0,27	0,06	0,06	0,06	0,10
	K_2O			**P_2O_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009			
Mittelwert	15,00	13,23	8,71	8,90	3,08	2,11			
SD	1,97	3,33	1,72	1,85	0,42	0,59			

Die Erweiterung der Datenbasis zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zeigt schwankende Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden (s. Abb. BDF32-3). Die stark unterschiedlichen C_{org}-Gehalte im mineralischen Oberboden sind neben der räumlich heterogenen Verteilung der Auflage vor allem probenahmebedingt. Aufgrund der geringen Mächtigkeit des Ah-Horizontes (ca. 2-3 cm) kann eine Einmischung mit Auflagenmaterial nicht ausgeschlossen werden.



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
LP-Leitprofilbeprobung

Abb. BDF32-3: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden

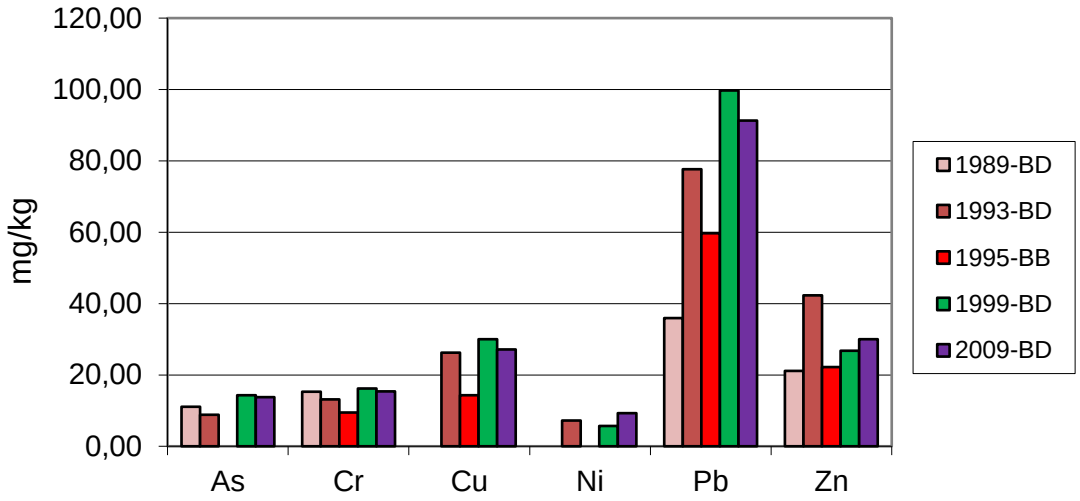
Im extrem humosen Oberboden überschreiten die Gesamtgehalte an Blei, Cadmium, Chrom und Kupfer die Maximalwerte der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Waldböden auf Sand an einzelnen Beprobungsterminen; die Gesamtgehalte an Nickel überschreiten die Hintergrundwerte an allen drei Terminen. Die Gesamtgehalte an Arsen, Quecksilber und Zink unterschreiten die Maximalwerte zum Teil deutlich (LLUR 2011). Werden als Bewertungshilfe die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit über 8 % Humus herangezogen (LLUR 2011), so zeigt sich, dass die Schwermetalle und Arsen die Vorsorge-Hilfswerte in Schleswig-Holstein bereits als Gesamtgehalte einhalten. Tendenzen der Veränderung sind im mineralischen Oberboden nicht feststellbar (s. Tab. BDF32-4).

Tab. BDF32-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	8,81	14,33	13,77	<0,2	<0,2	0,34	13,10	16,17	15,40	26,20	30,03	27,17
SD	2,27	1,57	1,98	-	-	0,08	1,32	1,75	0,95	9,15	10,21	5,77
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	7,18	5,24	9,29	77,67	99,70	91,27	42,33	26,80	30,00	n.b.	0,22	0,23
SD	2,70	-	4,69	29,75	26,44	20,11	12,92	3,55	4,12	-	0,04	0,05

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Wird die Datenbasis um Untersuchungsergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster Schleswig-Holstein erweitert, bestätigen sich die schwankenden Gehalte an Schwermetallen (s. Abb. BDF32-4).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF32-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden

Auf Grund des niedrigen pH-Wertes dominieren an diesem Standort die Wasserstoff- und Aluminium-Ionen an den Austauschern im Boden. Bei den Gehalten an austauschbaren Kationen waren mit Ausnahme des Eisens keine Tendenzen der Entwicklung erkennbar. Der Gehalt an austauschbarem Eisen nahm zwischen Erstbeprobung und zweiter Wiederholungsbeprobung signifikant zu. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials und der extrem sauren Bodenreaktion als gering einzustufen (s. Tab. BDF32-5).

Tab. BDF32-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1993 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	0,7	0,86	0,45	0,35	0,35	0,21	0,32	<0,01	0,33	0,09	0,14	0,07	2,79	3,98	3,01
SD	0,12	0,1	0,13	0,08	0,1	0,06	0,05	-	0,11	0,02	0,04	-	0,46	0,62	0,61

	Al			Fe			Mn			KAK		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009	1993	1999	2009
Mittelwert	2,57	1,65	2,69	0,17	0,26	0,29	0,05	0,07	0,05	7,03	7,3	7,09
SD	0,39	0,22	0,29	0,03	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01	0,39	0,66	1,25

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1989 in einem Naturschutzgebiet mit Buche-Laubwald eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 32, eine Podsol-Braunerde im Stormarner Endmoränengebiet, weist keine Tendenzen der Veränderung im Hinblick auf die Gehalte an organischen Kohlenstoff und Gesamtstickstoff im Oberboden auf. Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Kalium und Phosphat zeigen hingegen signifikante Abnahmen. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser Waldstandort im Hinblick auf Nährstoffgehalte als mäßig und tendenziell etwas besser versorgt (schwach mesotroph) einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen überschreiten zum Teil an einzelnen Beprobungsterminen in Humusauflage wie mineralischem Oberboden zwar die Maximalwerte der Hintergrundwerte für stofflich gering beeinflusste Böden Schleswig-Holsteins, sie halten jedoch die Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humus bzw. Torf/Waldauflage ein; lediglich Blei überschreitet als Gesamtgehalt 1993 einmalig den Vorsorge-Hilfswert in der Auflage. Tendenzen der Veränderung werden in der Humusauflage wie auch dem mineralischen Oberboden für Schwermetalle und Arsen nicht festgestellt. Die effektive Kationenaustauschkapazität im Oberboden ist entsprechend des sandigen Ausgangsmaterials und des sehr niedrigen pH-Wertes als gering einzustufen. Entsprechend der extrem sauren Bodenreaktion dominieren Wasserstoff- und Aluminium-Ionen am Austauscher. Eine Tendenz der Veränderung zeigt sich bei den austauschbaren Kationen bisher lediglich in einem Anstieg des Gehaltes an austauschbarem Eisen.

3.6.5 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hevenbruch (BDF39)

Die BDF39 liegt im Jungmoränengebiet im Süd-Osten Schleswig-Holsteins im Kreis Herzogtum-Lauenburg. Es handelt sich um eine Naturwaldparzelle, die dementsprechend forstwirtschaftlich nicht genutzt wird. Das Umland zeigt eine Bodengesellschaft aus verbreitet Pseudogley-Parabraunerden bis Parabraunerden und verbreitet Pseudogleye aus Geschiebelehm, z. T. über Geschiebemergel, gering verbreitet Pseudogley-Braunerden aus Geschie-

bedecksand oder fluvioglazialem Sand über Geschiebelehm, gering verbreitet Pseudogley-Kolluvisole über Geschiebelehm oder Niedermoortorf. Die Erstbeprobung fand 2008 und die erste Wiederholungsbeprobung im Jahr 2009 statt. Das Leitprofil wurde als Parabraunerde-Pseudogley-Braunerde aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm und über Geschiebesand angesprochen. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofilbeprobung im Jahr 2007, die Erstbeprobung 2008. Wegen der sehr kurzen Abstände zwischen der Erstbeprobung und der ersten Wiederholungsbeprobung 2009 sind Interpretationen im Hinblick auf Tendenzen der Veränderung nicht möglich. Es erfolgt daher lediglich eine Darstellung und Einordnung der Untersuchungsergebnisse.

Allgemeine bodenchemische Parameter in der Humusauflage

In der ca. 9 cm mächtigen Humusauflage wurde ein C/N-Verhältnis von 22-26 festgestellt. Der pH-Wert ist erwartungsgemäß als sehr stark bis stark sauer anzusprechen.

Tab. BDF39-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} sowie pH-Wert in der Humusauflage

	C_{org}		**N_{ges}**		**pH-Wert**	
	%		**%**			
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	44,18	41,77	1,68	1,94	4,43	3,47
SD	2,09	1,19	0,27	0,04	0,52	0,03

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

Im Vergleich zu den anderen betrachteten Waldstandorten aus dem Programm der Boden-Dauerbeobachtung werden bei bisher einmaliger Analyse (2009) relativ geringe Gehalte an Schwermetallen und Arsen vorgefunden (s. Tab. BDF39-2). Die Schwermetalle wie auch Arsen unterschreiten in der Waldauflage bereits als Gesamtgehalte den 90er-Perzentilwert der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ deutlich (LLUR 2011). Als weitere Bewertungshilfe werden die Vorsorge-Hilfswerte in Schleswig-Holstein für Böden mit über 8 % Humus bzw. Torf/Waldauflage herangezogen (LLUR 2011). Auch die Vorsorge-Hilfswerte in Schleswig-Holstein werden sehr deutlich unterschritten.

Tab. BDF39-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen in der Humusauflage

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	n.b.	2,14	n.b.	0,42	n.b.	6,11	n.b.	18,53
SD	-	1,03	-	0,05	-	2,40	-	2,04
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	n.b.	7,69	n.b.	30,50	n.b.	39,83	n.b.	0,24
SD	-	4,22	-	6,16	-	2,35	-	0,01

n.b. – nicht bestimmt - keine Angabe

Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden

Als Bodenart im mineralischen Oberboden wurde lehmiger Sand festgestellt. Der Oberboden des Standortes ist als sehr stark bis extrem humos einzustufen. Im Jahr 2009 dürften die Daten zudem durch die Variabilität des Bodens beeinflusst sein, die zu einer Vermischung des Oberbodens mit dem stark zersetzten Auflagenmaterial geführt hat (s. Tab. BDF39-3). Das C/N-Verhältnis beträgt 18-23, die Bodenreaktion ist als extrem sauer zu bezeichnen. Verglichen mit einem landwirtschaftlich genutzten Boden sind die pflanzenverfügbaren Kalium- und Phosphatgehalte im Oberboden als sehr gering einzustufen. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser als Wald genutzte Standort als mit Nährstoffen ziemlich gut versorgt (mesotroph) einzustufen.

Tab. BDF39-3: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden 2008 und 2009

	C_{org}		**N_{ges}**		**pH-Wert**		**K2O**		**P205**	
	%		**%**				**mg/100 g Boden**		**mg/100 g Boden**	
Jahr der Probenahme	**2008**	**2009**	**2008**	**2009**	**2008**	**2009**	**2008**	**2009**	**2008**	**2009**
Mittelwert	4,75	9,05	0,27	0,40	3,30	3,08	4,49	6,75	1,22	1,56
SD	1,31	0,94	0,08	0,02	0,07	0,02	1,20	0,18	0,60	0,35

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden

Im sehr stark bis extrem humosen Oberboden liegen die Gesamtgehalte für Arsen, Cadmium, Chrom und Nickel über dem Maximalwert der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte für stofflich gering beeinflusste Böden Schleswig-Holsteins“. Kupfer, Quecksilber und Blei liegen unterhalb des Maximalwertes und Zink unterhalb des 90er- bzw. 95er-Perzentilwertes für Waldböden auf Sand (LLUR 2011). Da die Königswassergehalte lediglich einen Teilgehalt der Gesamtgehalte darstellen, werden für Arsen, Cadmium, Chrom und Nickel ergänzend die Königswassergehalte zur Bewertung herangezogen.

So zeigen sich für Arsen (2008: 9,36 mg/kg, <95er-Perz. | 2009: 8,53 mg/kg, <90er-Perz.), Cadmium (2008: 0,167 mg/kg, < Max. | 2009: 0,209 mg/kg, < Max)., Chrom (2008: 9,11 mg/kg, <90er-Perz. | 2009: 9,35 mg/kg, <90er-Perz.) und Nickel (2008; 4,28 mg/kg, <95er-Perz. | 2009: 4,29 mg/kg, <95er-Perz.) im Wesentlichen Gehalte im Bereich der Hintergrundwerte. Die Vorsorge-Hilfswerte-SH für Böden mit mehr als 8 % Humusgehalt unterschreiten die Schwermetallen und Arsen bereits als Gesamtgehalte deutlich (s. Tab. 39-4).

Tab. BDF39-4: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden in 2008 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	18,00	10,43	0,2	0,35	22,9	20,23	14,6	17,47
SD	1,31	0,75	0,02	0,11	0,75	1,31	1,3	2,28
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	18,9	9,94	63,73	71,1	32,93	30,77	n.b.	0,18
SD	1,05	0,57	3,16	9,37	3,81	0,35	-	0,03

n.b. – nicht bestimmt - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden

Der Waldstandort zeichnet sich aufgrund der sauren Bodenreaktion durch eine sehr geringe Belegung der Austauscher mit Calcium, Kalium, Magnesium und Natrium aus. Er weist dementsprechend eine hohe Belegung der Austauscher mit Aluminium-, Wasserstoff- sowie auch Eisen-Ionen auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist trotz des Gehaltes an organischer Substanz aufgrund des niedrigen pH-Wertes als gering bis mittel einzustufen (s. Tab. 39-5).

Tab. BDF39-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden

	Ca		**K**		**Mg**		**Na**		**H**	
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**	
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Mittelwert	1,57	0,69	0,16	0,15	0,24	0,34	0,11	0,10	0,23	2,03
SD	1,91	0,03	0,01	0,01	0,03	0,05	0,01	0	-	0,18
	Al		**Fe**		**Mn**		**KAK**			
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**			
Jahr der Probenahme	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009		
Mittelwert	3,96	5,30	0,42	0,51	0,01	0,01	5,74	9,13		
SD	0,28	0,43	0,06	0	-	0	0,69	0,48		

Zusammenfassende Bewertung

Die 2007 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 39 im Kreis Herzogtum-Lauenburg (Östliches Hügelland), eine Parabraunerde-Pseudogley-Braunerde in einer Naturwaldparzelle, weist bisher nur für 2008 und 2009 erste Untersuchungsergebnisse auf. Der mineralische Oberboden ist sehr stark bis extrem humos und extrem sauer. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist aufgrund des Ausgangsmaterials (lehmiger Sand) trotz des hohen Gehaltes an organischer Substanz entsprechend des niedrigen pH-Wertes lediglich gering bis mittel. Laut Forstlicher Standortaufnahme (NFP UND LLUR 2009) ist dieser als Wald genutzte Standort als mit Nährstoffen ziemlich gut versorgt (mesotroph) einzustufen. Die Schwermetalle und Arsen liegen in der Auflage im Vergleich mit Hintergrundwerten stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins auch als Gesamtgehalte bereits unterhalb des 90er-Perzentilwertes. Die Gesamtgehalte im mineralischen Oberboden überschreiten zwar zum Teil die Maximalwerte der Hintergrundwerte, als Königswassergehalte liegen jedoch alle Schwermetalle und Arsen deutlich unterhalb der Maximalwerte und unterschreiten auch deutlich die Vorsorge-Hilfswerte für Böden mit über 8 % Humus.

3.6.6 Bewertender Überblick Gruppe 6: Forst

Die fünf Boden-Dauerbeobachtungsflächen unter Wald weisen entsprechend ihres unterschiedlichen Ausgangsmaterials, des Gehaltes an organischer Substanz und der sehr stark bis extrem sauren pH-Werte im Oberboden in der Regel eine nur geringe effektive Kationenaustauschkapazität auf; lediglich BDF 20 (Östliches Hügelland, Parabraunerde-Pseudogley, Lehm) weist eine geringe bis mittlere effektive Kationenaustauschkapazität auf. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen überschreiten als Gesamtgehalte in Humusauflage und im mineralischem Oberboden z. T. die Maximalwerte der Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins (LLUR 2011), unterschreiten jedoch in allen Fällen die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999), die Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humus sowie den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011). Blei als einziges Element überschreitet einmalig aufi BDF 32 (1993) in der Auflage als Gesamtgehalt den Vorsorge-Hilfswert für Schleswig-Holstein. Blei unterschreitet jedoch deutlich den 95er-Perzentilwert der Hintergrundwerte für Waldauflagen. Tendenzen der Veränderung lassen sich nur vereinzelt feststellen. In der Humusauflage auf BDF 02 zeigt sich ein sinkender Gesamtgehalt an Zink, auf der BDF 20 im mineralischen Oberboden ein Anstieg des Gehalts an Arsen und BDF 32 zeigt sinkende Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat sowie ansteigende Gehalte an austauschbarem Eisen.

3.7 Boden-Dauerbeobachtungsflächen Gruppe 7: Nutzungswechsel

Seit Beginn der Boden-Dauerbeobachtung ist bis 2009 auf zwei Standorten (BDF 11 und 13) ein Nutzungswechsel von Grünland zu Acker erfolgt.

3.7.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Lehmsiek (BDF11)

Die 1992 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im Süden der Bredstedt-Husumer Geest (Hohe Geest/Kreis Nordfriesland). Sie liegt auf einem periglaziär überprägten Altmoränenrücken nördlich des Treeneunterlaufes. Wie für die Grundmoränenplatten und Endmoränen der Altmoränenlandschaft typisch, dominieren im Umfeld der Boden-Dauerbeobachtungsfläche vor allem Braunerden bis Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebesand, häufig vergesellschaftet mit podsolierten Pseudogleyen aus Fließerden über Geschiebelehm, seltener mit Pseudogley-Braunerden und Braunerden über Parabraunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm. Beim Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche in Lehmsiek handelt es sich um einen Pseudogley aus Fließerde über saalezeitlichem Geschiebelehm und –ton. Im Rahmen der Einrichtung erfolgte die Leitprofil- und die Erstbeprobung in 1992.

Die als hofnahe Intensivweide genutzte Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde im Jahr 2002 umgebrochen und ackerbaulich (Maisanbau) genutzt. Mit diesem Nutzungswandel veränderte sich auch die entsprechende Beprobungstiefe: Bei der 1. Wiederholungsbeprobung 1999 erfolgte die Beprobung in einer Tiefe von 0 bis 5 cm, bei der 2. Wiederholungsbeprobung 2009 in einer Tiefe von 0 – 30 cm. Die Beprobung des Oberbodens ergab bei den Beprobungen die Bodenarten schluffiger Sand, lehmiger Sand, stark lehmiger Sand sowie stark sandiger Lehm.

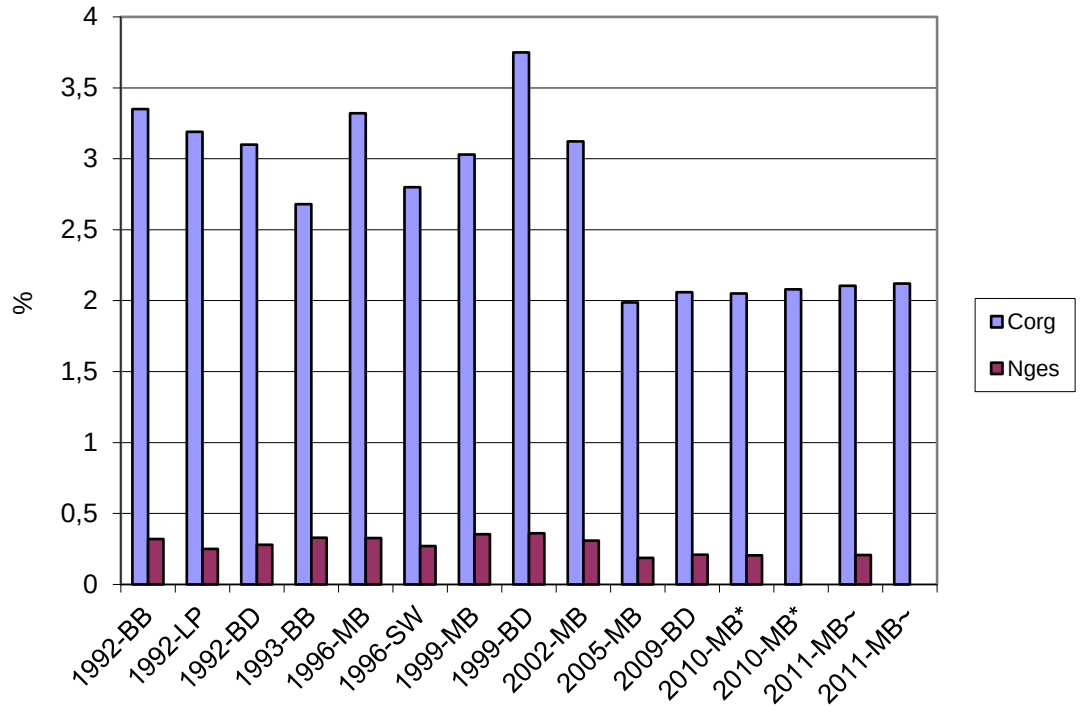
Allgemeine bodenchemische Parameter

Nach dem Umbruch der Grünlandfläche im Jahr 2002 zeigen sich 2009 im Vergleich zu den vorherigen Beprobungen deutlich geringere Gehalte an $C_{org,}$ N_{ges} und doppellaktatlöslichem Phosphat (s. Tab. BDF11-1). Diese Abnahme ist neben dem Grünlandumbruch mit entsprechender Bearbeitungstiefe auch auf eine Veränderung der Probenentnahmetiefe von 5 cm bei Grünland auf dann 30 cm bei Acker zurückzuführen (s. Tab. 2-1). Bei der 2. Wiederholungsbeprobung 2009 ist somit von einem deutlichen Verdünnungseffekt auszugehen. Der mäßig bis schwach saure Oberboden ist als stark humos bzw. nach Grünlandumbruch als mittel humos anzusprechen. Das C/N-Verhältnis hat sich mit Werten von 11 und 10 (1992, 1999) bzw. 10 (2009) nicht geändert. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat sind von Gehaltsklasse C (mittel) auf B (niedrig) gesunken, die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium von C/D (mittel/hoch) auf B (niedrig) (LKSH 2013). Der pH-Wert ist bei Grünlandnutzung in die pH-Klassen B (niedrig) bzw. C (optimal) und bei Ackernutzung 2009 in die pH-Klasse B (niedrig) einzustufen (VDLUFA 2000).

Tab. BDF11-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	C_{org}			N_{ges}			pH-Wert		
	%			%					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	3,10	3,75	2,06	0,28	0,36	0,21	4,73	5,57	5,00
SD	0,07	0,06	0,09	0,03	0	0,01	0,29	0,06	0,04
	K_2O			P_20_5					
	mg/100 g Boden			mg/100 g Boden					
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009			
Mittelwert	18,00	28,87	14,10	24,70	23,37	14,10			
SD	6,56	2,48	1,05	2,95	2,15	0,70			

Die Erweiterung der Datenbasis zu Gehalten an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff um Ergebnisse aus anderen Untersuchungen bestätigt die Beobachtung abnehmender Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden durch Verdünnungseffekte als Folge des Umbruchs der langjährig als Weide genutzten Fläche im Jahre 2002 (s. Abb. BDF11-1).



BB-Bodenbelastungskataster BD-Boden-Dauerbeobachtung MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung
SW-Sickerwasseruntersuchung LP-Leitprofilbeprobung * - Acker ~ - Grünland

Abb. BDF11-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Bei Interpretation der Gehalte ist auch hier die Nutzungsänderung zu berücksichtigen. Geringere Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Jahr 2009 müssen auch auf einen Verdünnungseffekt zurückgeführt werden.

Unter Grünlandnutzung unterschreiten bis auf Chrom, Nickel und Quecksilber die Gesamtgehalte der Schwermetalle und Arsen den 90er-Perzentilwert der im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalte der „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ für Grünlandflächen der Hohen Geest (LLUR 2011). Chrom, Nickel und Quecksilber überschreiten den Maximalwert. Unter Ackernutzung überschreitet lediglich Chrom als Gesamtgehalt den Maximalwert, Cadmium und Nickel unterschreiten den 95er-Perzentilwert und die übrigen Schwermetalle und Arsen den 90er-Perzentilwert (Acker/Hohe Geest). Da die Königswassergehalte laut Literaturangaben lediglich einen Anteil an den Gesamtgehalten bilden, überschreitet nur Chrom mit einem Anteil von 57 % (BDF-ABSCHLUSSBERICHT 2010) rein rechnerisch im Jahr 1999 den Maximalwert für Grünland der Hohen Geest. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) halten die Schwermetalle – auch Chrom - sowie Arsen bereits als Gesamtgehalte deutlich ein. Aussagen zu Tendenzen der Veränderung können nach der Nutzungsänderung nicht erfolgen. Arsen zeigt über den Messzeitraum von 1992 – 2009 zwar einen leichten, signifikanten Anstieg der Gesamtgehalte, dieser ist jedoch durch die Änderung der Nutzung und Probenahmetiefe beeinflusst und in einer Zeitreihe nicht auswertbar (s. Tab. BDF11-2).

Tab. BDF11-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	As			**Cd**			**Cr**			**Cu**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	1,92	2,33	3,55	<0,2	<0,2	0,23	15,10	38,93	29,43	<10	<10	8,88
SD	0,15	0,41	0,07	-	-	0,01	0,96	0,57	0,31	-	-	0,33
	Ni			**Pb**			**Zn**			**Hg**		
	mg/kg			**mg/kg**			**mg/kg**			**mg/kg**		
Jahr der Probenahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	<5	8,34	8,62	15,47	19,43	17,57	47,63	51,20	43,83	0,05	0,04	n.b.
SD	-	0,65	0,65	3,18	1,29	0,90	4,34	6,34	1,39	0	0	-

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität zeigt in Abhängigkeit von der durch Korngrößenanalyse ermittelten Bodenart der Bodenprobe (stark lehmiger Sand 1992 und 1999 bzw. lehmiger Sand 2009) und dem geringeren Gehalt an organischer Substanz in 2009 eine entsprechend geringere Austauschkapazität nach dem Grünlandumbruch 2002. Im Jahr 1992 war die Austauschkapazität als hoch einzustufen, im Jahr 2009 als gering. Nach der Nutzungsänderung wurde zudem ein geringerer Gehalte an austauschbaren Kationen (Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Mangan) im mineralischen Oberboden festgestellt (s. Tab. BDF11-3).

Tab. BDF11-3: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im mineralischen Oberboden von 1992 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			Mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	8,88	8,38	5,43	0,40	0,59	0,29	2,14	2,42	1,28	0,09	0,14	0,09	3,86	0,33	0,41
SD	0,33	0,46	0,19	0,06	0,03	0,03	0,11	0,17	0,03	0,06	0,03	0,03	0,18	-	-

	Al			Fe			Mn			KAK		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probe-nahme	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009	1992	1999	2009
Mittelwert	<0,01	<0,3	0,09	0,01	0,01	<0,02	0,11	0,14	0,08	15,50	11,97	7,55
SD	-	-	0,01	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,26	0,64	0,36

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe n.b. - nicht bestimmt

Zusammenfassende Bewertung

Die 1992 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 11, ein Pseudogley auf der Hohen Geest im Kreis Nordfriesland, wurde ursprünglich als hofnahe Intensivweide genutzt. Im Jahr 2002 wurde die Fläche umgebrochen und ackerbaulich genutzt. Durch das Umbrechen der Grünlandfläche und die damit verbundene Erhöhung der Bearbeitungstiefe sowie der Bodenprobenentnahmetiefe von 5 cm auf dann 30 cm zeigt sich bei vielen Parametern ein Verdünnungseffekt in Form verringerter Gehalte. Dies lässt sich bei den allgemeinen bodenchemischen Parametern, den Gehalten an austauschbaren basischen Kationen und der effektiven Kationenaustauschkapazität deutlich feststellen.

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen im Bereich der Hintergrundwerte des Naturraums, lediglich Chrom überschreitet 1999 rein rechnerisch den Maximalwert der Hintergrundwerte für Grünland der Hohen Geest. Die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) wie auch der Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) werden jedoch für alle Schwermetalle und für Arsen bereits als Gesamtgehalte eingehalten. Aussagen zu Tendenzen der Veränderung lassen sich aufgrund der Nutzungsänderung nicht treffen. Hierzu sind weitere Messungen abzuwarten.

3.7.2 Boden-Dauerbeobachtungsfläche St. Peter-Ording (BDF13)

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt im bereits um 1150 n. Chr. eingedeichten Westen der Halbinsel Eiderstedt (Eiderstedter Marsch/Kreis Nordfriesland). Bei der BDF13 handelt es sich, wie für Eiderstedt weitgehend typisch, um eine als Dauergrünland genutzte Knickmarsch aus holozänen marinen Lehmen, Schluffen und Tonen. In der relativ einheitlich strukturierten Region dominieren ausschließlich Dwogmarschen bis Knickmarschen aus Schluff bis Ton. Diese Fläche wurde im Frühjahr 2009 umgebrochen und wird seitdem als Acker genutzt. Vor dem Umbruch erfolgte die zweite Wiederholungsbepro-

bung aus der Tiefe von 0 bis 5 cm (Grünlandnutzung). In 2010 erfolgte eine zusätzliche Wiederholungsbeprobung in der Tiefe von jetzt 0 bis 30 cm (Ackernutzung). Im Rahmen der Einrichtung 1991 fand die Leitprofil- und Erstbeprobung statt. Die Bodenart des Standortes ist toniger Lehm, der bei allen drei Messterminen festgestellt wurde.

Allgemeine bodenchemische Parameter

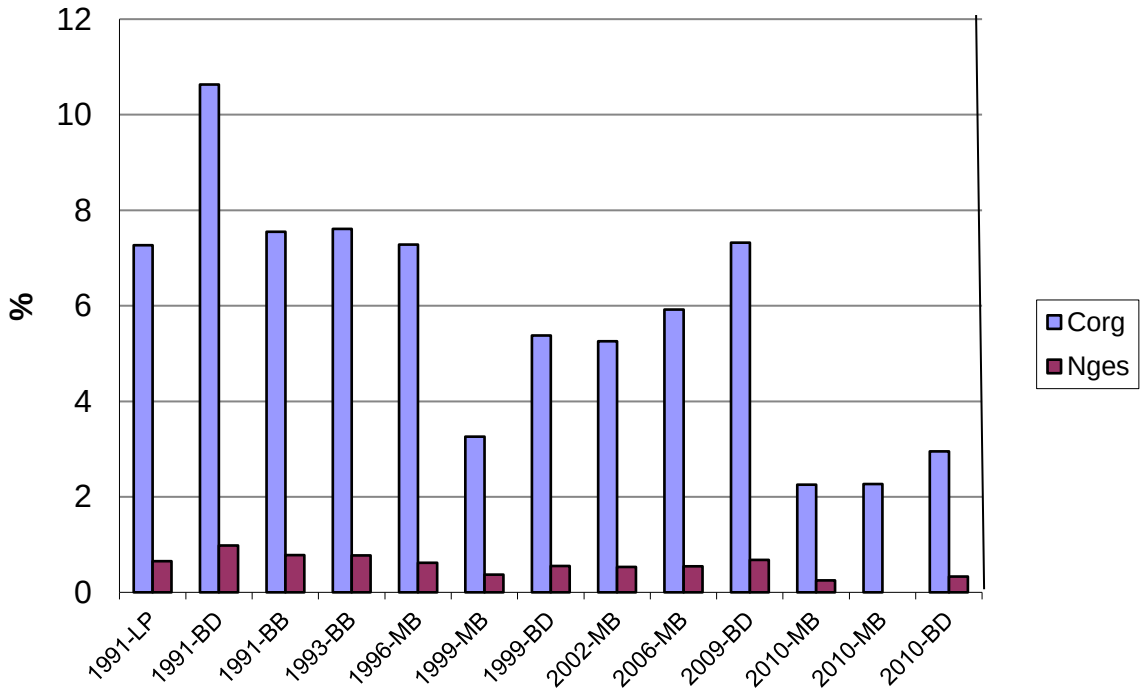
Der mineralische Oberboden ist unter Grünlandnutzung bis 2009 als sehr stark bis extrem humos einzustufen. Das C/N-Verhältnis liegt mit 10-11 im üblichem Bereich landwirtschaftlich genutzter Flächen. Die Bodenreaktion ist als mäßig bis schwach sauer zu bezeichnen und in die pH-Klasse B (niedrig) einzustufen (VDLUFA 2000). Der Gehalt an doppellaktatlöslichem Kalium ist in die Gehaltsklasse C (mittel) und B (niedrig) und der Gehalt an doppellaktatlöslichem Phosphat in die Gehaltsklasse D (hoch) einzustufen (LKSH 2013).

An diesem Standort wurden vor dem Grünlandumbruch während des gesamten Betrachtungszeitraums bis 2009 schwankende Gehalte an C_{org}, N_{ges}, sowie an doppellaktatlöslichem Kalium festgestellt. Die Abnahme an doppellaktatlöslichem Phosphat im mineralischen Oberboden ist als nicht signifikant zu betrachten (s. Tab. BDF13-1). Tendenzen der Veränderung sind somit vor dem Grünlandumbruch nicht erkennbar.

Tab. BDF13-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	C_{org}			**N_{ges}**			**pH-Wert**		
	%			**%**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	10,63	5,38	7,32	0,98	0,55	0,68	5,00	5,53	5,22
SD	0,92	0,21	0,36	0,05	0,02	0,03	0,10	0,06	0,03
	K_2O			**P_20_5**					
	mg/100 g Boden			**mg/100 g Boden**					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	35,79	17,07	21,00	39,47	36,27	31,67			
SD	27,90	3,46	0,85	13,29	7,11	1,16			

Die Erweiterung der Datenbasis um Ergebnisse aus dem Jahr 2010 sowie ergänzend aus anderen Untersuchungen zeigen nach dem Nutzungswandel 2009 erwartungsgemäß geringere Gehalte an C_{org} und N_{ges} (s. Abb. BDF13-1). Die deutliche Abnahme der Gehalte an C_{org} und N_{ges} in den Bodenproben ist einerseits auf den Verdünnungseffekt durch den Nutzungswandel mit entsprechend tieferer Bodenbearbeitung und andererseits auf die damit verbundene Erweiterung der Entnahmetiefe von 0 bis 5 cm auf 0 bis 30 cm zurückzuführen. Die C_{org}-Gehalte im Leitprofil (Aufnahme 1991) verdeutlichen dies: In der Tiefe von 6 bis 20 cm wurden 2,3 % C_{org} und in der Tiefe von 20 bis 40 cm lediglich noch 0,9 % C_{org} festgestellt.



LP-Leitprofilbeprobung BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster
MB-Bodenmikrobiologische Untersuchung

Abb. BDF13-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen unterschreiten in der Regel den 90er-Perzentilwert der im Königswasseraufschluss ermittelten „Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins“ (LLUR 2011) für Böden unter Grünlandnutzung der Alten Marsch. Lediglich Chrom weist leicht höhere Gehalte auf, die 1999 auch den 95er-Perzentilwert überschreiten. Für Cadmium und Kupfer liegen die Gesamtgehalte in den Jahren 1991 und 1999 unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die Vorsorge-Hilfswerte für Böden mit Humusgehalten über 8 % sowie den Vorsorge-Hilfswert-SH für Arsen (LLUR 2011) unterschreiten die Schwermetalle und Arsen bereits als Gesamtgehalte deutlich. Tendenzen der Veränderung sind an diesem Standort kaum erkennbar. Es ist lediglich ein tendenzieller, nicht signifikanter Anstieg der Gehalte an Arsen und Blei sowie eine signifikante Abnahme an Zink im mineralischen Oberboden zu beobachten. Bei den übrigen Schwermetallen zeigen sich schwankende Gehalte (s. Tab. BDF13-4).

Tab. BDF13-4: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden von 1991 bis 2009

	As			Cd			Cr			Cu		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	9,35	11,20	12,80	<0,2	<0,2	0,43	67,47	74,03	60,10	<10	<10	12,90
SD	7,80	0,10	0,53	-	-	0	21,53	1,02	1,01	-	-	0,87
	Ni			Pb			Zn			Hg		
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	22,00	22,93	18,87	25,27	28,87	29,37	97,57	92,17	89,90	0,09	0,07	0,07
SD	8,35	0,55	0,23	8,79	0,95	2,21	3,44	4,42	0,35	0,01	0	0

< - Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des tonig-schluffigen Ausgangsmaterials als sehr hoch bis extrem hoch einzustufen. Die Belegung der Austauscher erfolgt im Wesentlichen durch Calcium und Magnesium.

Auf dieser bis einschließlich 2009 als Grünland genutzten Boden-Dauerbeobachtungsfläche ist eine signifikante Abnahme der Gehalte an austauschbarem Calcium und Natrium festzustellen. Auch die effektive Kationenaustauschkapazität zeigt von der Erstbeprobung zu den Wiederholungsbeprobungen eine signifikant sinkende Tendenz, die in weiteren Untersuchungen zu überprüfen ist (s. Tab. BDF13-5).

Tab. BDF13-5: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität von 1991 bis 2009

	Ca			K			Mg			Na			H		
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g		
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009
Mittelwert	25,9	18,8	15	1,76	0,43	0,5	6,35	5,52	5,84	0,82	0,49	0,47	<0,01	0,09	1,07
SD	1,83	0,46	0,17	0,23	0,06	0,04	0,35	0,23	0,06	0,08	0,01	0,02	-	-	0,17
	Al			Fe			Mn			KAK					
	mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g			mmol/z/100 g					
Jahr der Probenahme	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009	1991	1999	2009			
Mittelwert	<0,3	<0,3	<0,02	0,03	0,01	0,03	0,23	0,17	0,36	30,5	25,3	23,3			
SD	-	-	-	0,02	-	0	0,05	0,02	0,03	3,59	0,87	0,25			

<- Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1991 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 13, eine Knickmarsch im bereits um 1150 n. Chr. eingedeichten Westen der Halbinsel Eiderstedt, wurde ursprünglich als

Dauergrünland genutzt. Im Frühjahr 2009 wurde diese Fläche umgebrochen und seit dem als Ackerland bewirtschaftet.

Im sehr stark bis extrem humosen Oberboden finden sich bis zum Grünlandumbruch 2009 für landwirtschaftliche Flächen übliche C/N-Verhältnisse von etwa 10-11. Die Bodenreaktion, die Gehalte an austauschbaren Kationen wie auch die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat unterliegen bewirtschaftungsbedingten Veränderungen. Die Gehalte an Schwermetallen und Arsen liegen im Wesentlichen im Bereich natürlicher Hintergrundwerte und sehr deutlich unterhalb der Vorsorge-Hilfswerte Schleswig-Holsteins für Böden mit über 8 % Humus. Tendenzen der Veränderung sind bis zum Grünlandumbruch lediglich für Zink feststellbar. Die Gesamtgehalte an Zink zeigen bis 2009 eine signifikante Abnahme im Oberboden. Als Folge des Nutzungswandels von Dauergrünland zu Acker (2009) nahmen die Gehalte an C_{org} und N_{ges} erwartungsgemäß durch Verdünnungseffekte als Folge tieferer Bodenbearbeitung und größerer Probenentnahmetiefen deutlich ab. Im Hinblick auf eine Zeitreihenanalyse sind für diesen seit 2009 als Acker genutzten Standort weitere Messungen abzuwarten.

3.7.3 Bewertender Überblick Gruppe 7: Nutzungswechsel

Die 1992 eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 11, ein Pseudogley auf der Hohen Geest, wurde im Jahr 2002 und somit vor der 2. Wiederholungsbeprobung umgebrochen und ackerbaulich genutzt. Bei der 1991 eingerichteten Boden-Dauerbeobachtungsfläche 13, einer Knickmarsch, erfolgte der Umbruch im Jahr 2009 nach der 2. Wiederholungsbeprobung, so dass für den Beobachtungszeitraum ausschließlich Grünlandnutzung erfolgte.

Da die BDF 11 zum Zeitpunkt der 2. Wiederholungsbeprobung bereits als Acker genutzt wurde, zeigt sich hier anhand der verringerten Gehalte an z. B. organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, austauschbaren basischen Kationen und auch der effektiven Kationenaustauschkapazität deutlich der Verdünnungseffekt, der durch tiefere Bodenbearbeitung und größere Probenentnahmetiefen auftritt. Aussagen zu Tendenzen der Veränderung lassen sich auf BDF 11 aufgrund des Grünlandumbruchs 2002 nicht treffen. Auf BDF 13 zeigt der Gehalt an Zink noch vor dem Grünlandumbruch eine signifikante Abnahme im Oberboden. Die Schwermetall- sowie Arsengehalte liegen auf beiden Flächen auch als Gesamtgehalte unterhalb der Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) bzw. der Vorsorge-Hilfswerte für Schleswig-Holstein (LLUR 2011).

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen 11 und 13 sind durch den Nutzungswandel in ihrer Interpretierbarkeit für eine Zeitreihenanalyse derzeit nur eingeschränkt nutzbar. Sie liefern jedoch wichtige Informationen zu Veränderungen von Bodeneigenschaften im Rahmen des Nutzungswandels von Grünland zu Ackerland. Im Hinblick auf Tendenzen der Veränderung sind weitere Messungen abzuwarten.

3.8 Stadtboden

3.8.1 Boden-Dauerbeobachtungsfläche Kiel (BDF34)

Die Boden-Dauerbeobachtungsfläche 34 wurde im August 1996 im Kieler Innenstadtbereich (anthropogene Landschaft) eingerichtet und befindet sich in der naturräumlichen Einheit des Ostholsteinischen Hügel- und Seenlandes bzw. der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften. Die in einem Stadtpark gelegene Boden-Dauerbeobachtungsfläche liegt in einem Abgrabungsbereich, in dem holozäne, anthropogene Aufschüttungen natürlicher bzw. technogener Herkunft (siedlungsbedingte Auffüllung, Trümmerschutt) das Ausgangsgestein bilden. Als Substrate liegen im Wesentlichen Reinsande sowie lehmige und schluffige Sande in unterschiedlichen Mächtigkeiten vor. In Abhängigkeit vom Ausgangsgestein, den Wasserverhältnissen, der Reliefposition und der Nutzung sind im Kieler Raum Braunerden, Parabraunerden, Pseudogleye, Kolluvisole, Gleye und Niedermoore bzw. deren Sub- und Übergangstypen entwickelt. Das Leitprofil der Boden-Dauerbeobachtungsfläche wird als Pararendzina aus anthropogen aufgetragenem Sand und Lehm natürlicher bzw. technogener Herkunft angesprochen.

Als Bodenarten wurden auf dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche schwach schluffiger Sand, lehmiger Sand und stark sandiger Lehm festgestellt. Die erste flächenhafte Beprobung fand 1999 statt, die erste Wiederholungsbeprobung erfolgte 2009. Im Jahre 2011 wurde beschlossen, die Boden-Dauerbeobachtung einzustellen. Die Fläche wies aufgrund des Ausgangsmaterials eine sehr hohe Variabilität auf, war einer intensiven Parknutzung (auch stofflich durch Brandreste) ausgesetzt und wurde letztlich durch die Verlegung von Fernwärmeleitungen stark beeinträchtigt.

Allgemeine bodenchemische Parameter

Der stark humose Oberboden ist schwach bis sehr schwach sauer. Das C/N-Verhältnis weist verglichen mit landwirtschaftlichen Flächen ähnliche Werte von 11-12 auf. Da eine Bewirtschaftung mit entsprechender Düngung sowie Pflanzenentzug nur im Rahmen einer Parkpflege erfolgt, ist die Einstufung der doppellaktatlöslichen Gehalte an Kalium und Phosphat in Gehaltsklassen entsprechend der Richtwerte für die Düngung bei landwirtschaftlicher Nutzung eher von theoretischer Bedeutung, sie gibt jedoch einen Einblick in die Höhe der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte. Die Gehalte an pflanzenverfügbaren Kalium wären bei landwirtschaftlicher Nutzung in die Gehaltsstufe B (gering), die an pflanzenverfügbarem Phosphat in die Gehaltsstufe B und C (gering bis mittel) einzustufen (LKSH 2013).

Tab. BDF34-1: Allgemeine bodenchemische Parameter im Oberboden von 1999 und 2009

	C_{org}		N_{ges}		pH-Wert		K_2O		P_2O_5	
	%		%				mg/100 g Boden		mg/100 g Boden	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	1999	1999	2009
Mittelwert	4,02	2,78	0,38	0,23	6,37	5,91	13,68	9,29	10,59	18,4
SD	0,25	0,36	0,02	0,04	0,32	0,3	6,35	0,54	1,76	1,68

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Die um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen ergänzte Datenbasis verdeutlicht die starke Variabilität dieses Standortes bezüglich der Gehalte an C_{org} und N_{ges} (s. Abb. BDF34-1).

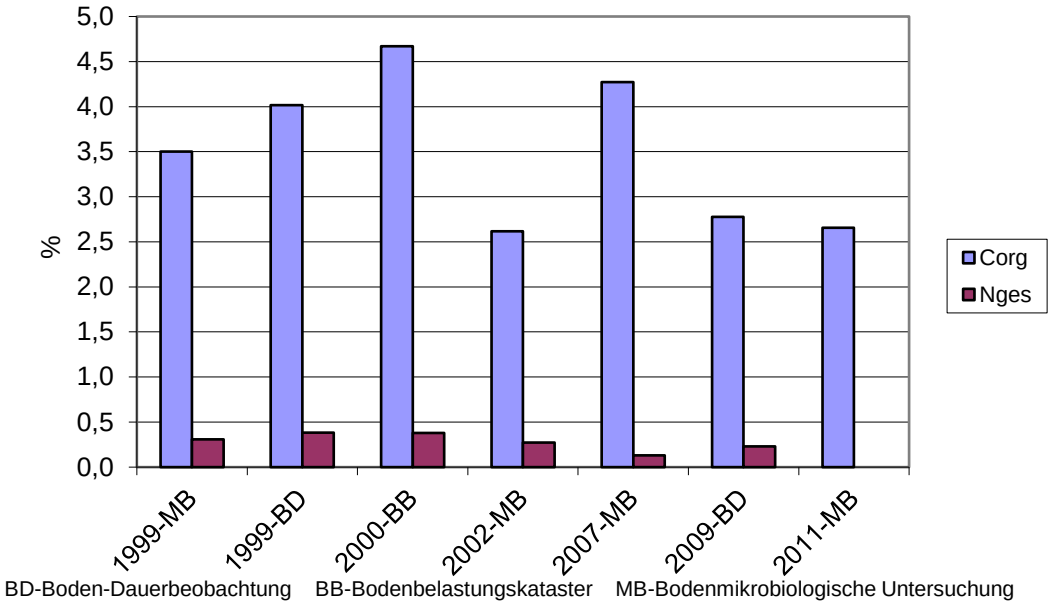


Abb. BDF34-1: Gehalte an C_{org} und N_{ges} im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung der Ergebnisse von weiteren Untersuchungen

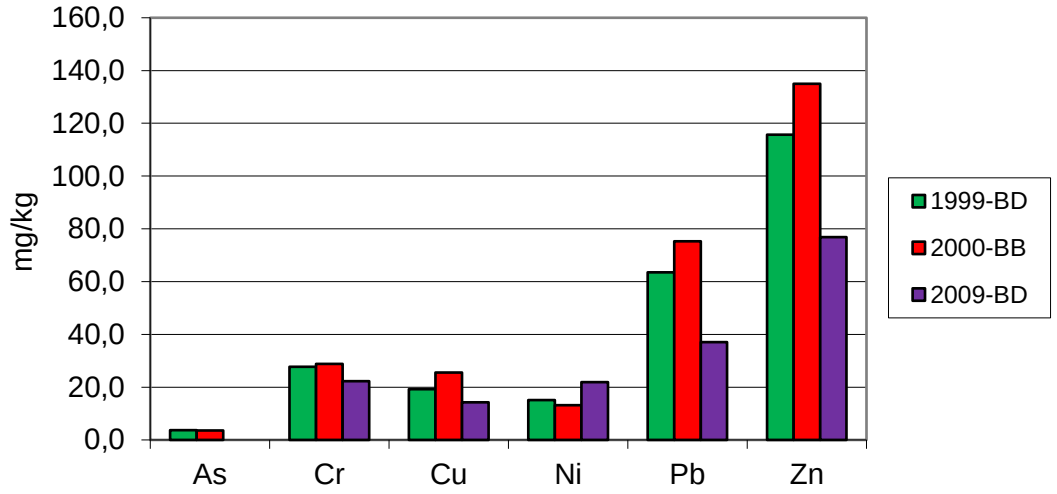
Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Aufgrund des heterogenen Ausgangsmaterials dieses Bodens einer Parkanlage im Stadtgebiet sind höhere Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen zu erwarten und auch festzustellen. Bei Vergleich dieser Parkfläche mit landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigt sich, dass Quecksilber, Nickel und Zink abhängig von der Bodenart als Gesamtgehalt z. T. die Vorsorgewerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) überschreiten. Als entscheidender Bewertungsmaßstab sind jedoch die Prüfwerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für die direkte Aufnahme von Schadstoffen (Wirkungspfad Boden – Mensch) in Park- und Freizeitanlagen heranzuziehen. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und auch Quecksilber unterschreiten die Prüfwerte sehr deutlich; ein Prüfwert für Zink existiert nicht.

Tab. BDF34-2: Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Oberboden 1999 und 2009

	As		**Cd**		**Cr**		**Cu**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	3,05	3,79	0,53	0,31	27,67	22,27	19,23	14,30
SD	0,54	0,21	0,19	0,04	0,85	1,63	2,55	1,04
	Ni		**Pb**		**Zn**		**Hg**	
	mg/kg		**mg/kg**		**mg/kg**		**mg/kg**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	15,10	21,93	63,47	37,10	115,67	76,9	0,26	0,15
SD	1,47	7,66	8,00	2,12	5,69	11,995	0,03	0,02

Die um Ergebnisse aus dem Bodenbelastungskataster erweiterte Datenbasis verdeutlicht die starken Schwankungen der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden (s. Abb. BDF34-2).



BD-Boden-Dauerbeobachtung BB-Bodenbelastungskataster

Abb. BDF34-2: Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen im mineralischen Oberboden unter Einbeziehung weiterer Untersuchungsergebnisse

Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität

Die effektive Kationenaustauschkapazität der Pararendzina ist entsprechend des heterogenen Ausgangsmaterials als gering bis mittel einzustufen. Die Belegung der Austauscher erfolgt entsprechend des pH-Wertes vorwiegend durch basische Kationen (s. Tab. BDF34-1).

Tab. BDF34-1: Gehalte an austauschbaren Kationen und Kationenaustauschkapazität im Oberboden 1999 und 2009

	Ca		**K**		**Mg**		**Na**		**H**	
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	18,07	9,97	0,22	0,18	0,5	0,33	0,06	0,07	<0,01	<0,05
SD	1,89	2,08	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	-	-

	Al		**Fe**		**Mn**		**KAK**	
	mmol/z/100 g		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**		**mmol/z/100 g**	
Jahr der Probenahme	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Mittelwert	<0,3	<0,02	<0,01	<0,02	0,05	0,05	6,53	10,57
SD	-	-	-	-	0,01	0,01	0,29	2,09

< - unterhalb der Bestimmungsgrenze - keine Angabe

Zusammenfassende Bewertung

Die 1996 in einem Stadtpark in Kiel eingerichtete Boden-Dauerbeobachtungsfläche 34, eine Pararendzina aus natürlichem wie technogenem Ausgangsmaterial (siedlungsbedingte Auffüllung, Trümmerschutt), ist durch starke Heterogenität geprägt. Der Oberboden ist stark humos und schwach bis sehr schwach sauer. Das C/N-Verhältnis weist für Grünflächen typische Werte von 11-12 auf. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist entsprechend des heterogenen Ausgangsmaterials als gering bis mittel einzustufen. Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen liegen erwartungsgemäß höher als auf landwirtschaftlichen Flächen. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber unterschreiten jedoch sehr deutlich die Prüfwerte der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) für den Wirkungspfad Boden – Mensch in Park- und Freizeitanlagen. Ein Prüfwert für Zink existiert nicht. Tendenzen der Veränderung können nach nur zwei Beprobungen nicht festgestellt werden. Die Boden-Dauerbeobachtung wurde 2012 eingestellt.

4 Kennwertbezogene Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse der Boden-Dauerbeobachtungsflächen werden nachfolgend zusammenfassend betrachtet. Hierzu werden - wie in den vorangegangenen Kapiteln - auch Daten aus anderen Untersuchungsprogrammen, die in unmittelbarer Entfernung zur Fläche erhoben wurden, ergänzend mit berücksichtigt.

4.1 Organischer Kohlenstoff

Neben den drei Messwerten aus Erstbeprobung und Wiederholungsbeprobungen konnte im Falle des Gehaltes an organischem Kohlenstoff durch Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen die Datenbasis auf bis zu sechzehn Werte für eine Boden-Dauerbeobachtungsfläche erhöht werden. Die Untersuchungen der Gehalte an organischem Kohlenstoff zeigen bis 2009 auf keiner der betrachteten 38 Boden-Dauerbeobachtungsflächen eine signifikante Zunahme des Gehaltes an C_{org} im Oberboden. Eine gesicherte Abnahme der Gehalte an C_{org} wurde lediglich auf vier der 38 Standorte ermittelt (s. Tab. 4-1).

Tab. 4-1: Abnahme der Gehalte an C_{org} bei 4 Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Nr. der BDF	Nutzung	Bodenart des Oberbodens	abnehmender C_{org}- Gehalt in %
BDF04	Acker	feinsandiger Mittelsand	1990: 2,5 1999: 2,3 2009: 1,9
BDF31	Baumschule	mittelsandiger Feinsand bis schwach lehmiger Sand	1991: 2,8 1999: 2,4 2009: 2,2
BDF11	Grünland/Acker	schluffiger Sand bis stark sandiger Lehm	1992: 3,1 1999: 3,8 Grünlandumbruch 2002 2009: 2,1
BDF13	Grünland/Acker	toniger Lehm	1991: 10,6 1999: 5,4 2009: 7,3 Grünlandumbruch: 2009 2010: 3,0

Die Abnahme der Gehalte an C_{org} können für zwei Flächen auf Nutzungsänderungen als Ursache zurückgeführt werden. Die BDF11 wurde in 2002, die BDF13 im Jahre 2009 von Dauergrünland zu einem Ackerstandort umgewandelt. Die Bearbeitungstiefe sowie die Probenentnahmetiefe nahmen entsprechend von 0 bis 5 cm auf 0 bis 30 cm zu und führten zu einem Verdünnungseffekt durch Einmischung des Humus in den Pflughorizont.

Die BDF04 ist ein durch Winderosion geprägter Standort auf der Niederen Geest. An diesem Standort wurde im Beobachtungszeitraum ausschließlich Silomais angebaut. Für die stetige Abnahme der Gehalte an C_{org} spielt neben Bewirtschaftungsmaßnahmen (Maisanbau, Verringerung der organischen Düngung mit Stallmist als Erosionsschutz) die Vermischung mit

eingetragenem humusfreien Sand bzw. die Auswehung humusreicher Bestandteile die wichtigste Rolle. Die Abnahme ist jedoch keinem der genannten Gründe eindeutig zuzuordnen.

Die BDF31 ist ein als Baumschule genutzter Standort. Aufgrund der Nutzung unterscheidet sich dieser Standort durch die unregelmäßig durchgeführten Bodenbearbeitungsmaßnahmen deutlich von denen landwirtschaftlicher Ackerflächen, deren Boden in der Regel jährlich bearbeitet wird. Zudem ist der Baumschulstandort durch eine 10-jährige vor 1988 erfolgte landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst, so dass davon auszugehen ist, dass sich noch kein der Bewirtschaftung entsprechender Humusgehalt im Boden entwickelt hat. Die Abnahme der Humusgehalte auf der BDF31 wird in weiteren Untersuchungen zu überprüfen sein.

4.1.1. Aussagen zur landesweiten Situation der Entwicklung der Vorräte an organischem Kohlenstoff im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen

Anhand der Untersuchungen zur Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein konnten auf Flächen, die seit Beginn des Monitorings ausschließlich unter Acker- bzw. Grünlandnutzung standen, keine generellen Veränderungen der Vorräte an organischem Kohlenstoff im mineralischen Oberboden in Schleswig-Holstein festgestellt werden. Die Abbildungen 4-1 bis 4-3 stellen die mithilfe der ermittelten Trockenrohdichten berechneten Mengen an organischem Kohlenstoff im mineralischen Oberboden dar. Es wurden neben den Hauptuntersuchungen zusätzlich Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung (Mikrobiologie, Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung, Zwischeninventur) berücksichtigt. Bei einigen Boden-Dauerbeobachtungsflächen lagen vom Erstbeprobungstermin keine Daten zur Trockenrohdichte vor, so dass für diese Flächen keine Mengen an organischem Kohlenstoff für den Erstbeprobungstermin ermittelt werden konnten.

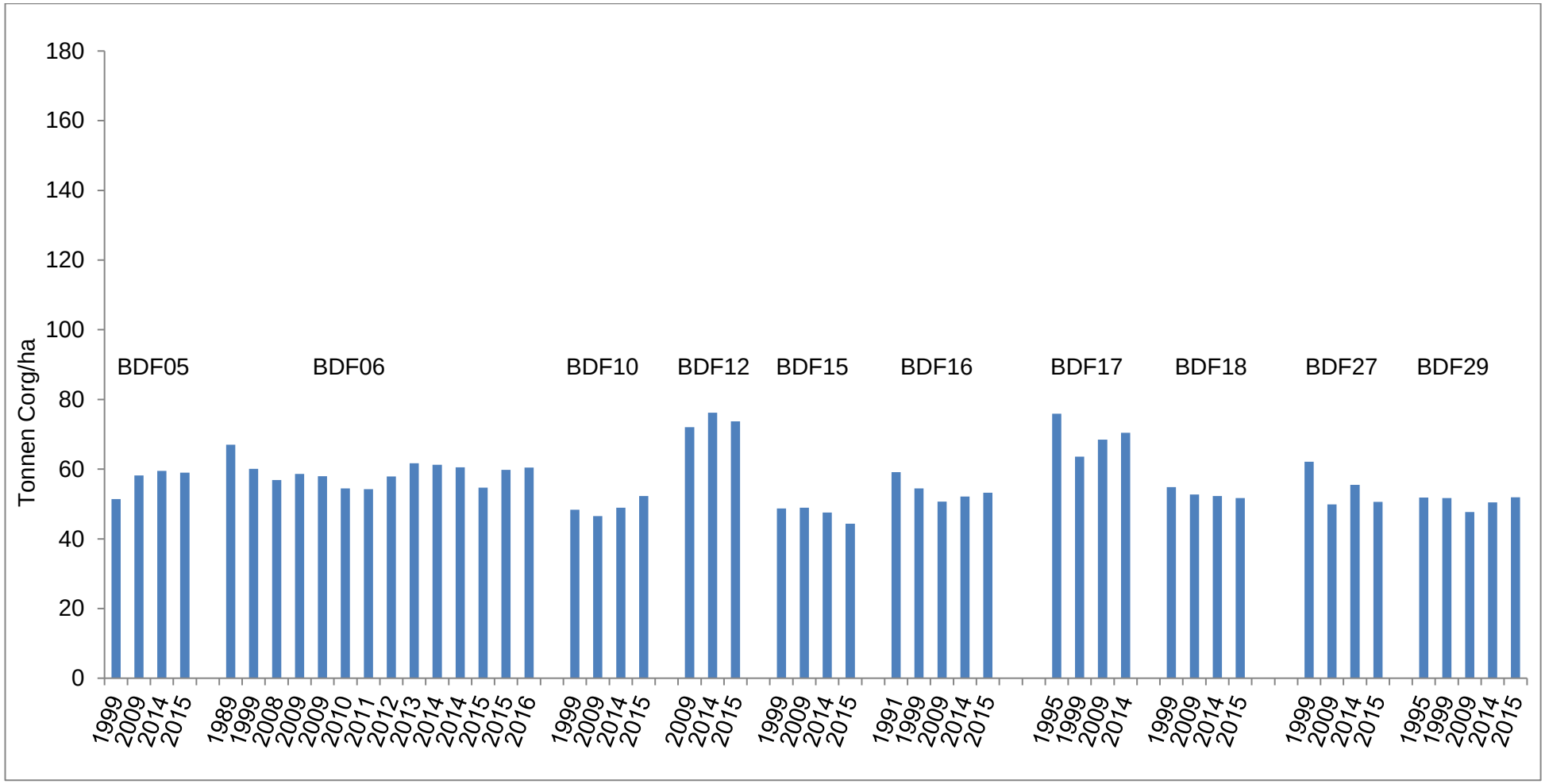


Abb. 4-1: Mengen an organischem Kohlenstoff im mineralischen Oberboden der Bodenart Lehm (Ap, max. 0-30 cm) von Standorten der Boden-Dauerbeobachtung unter Ackernutzung

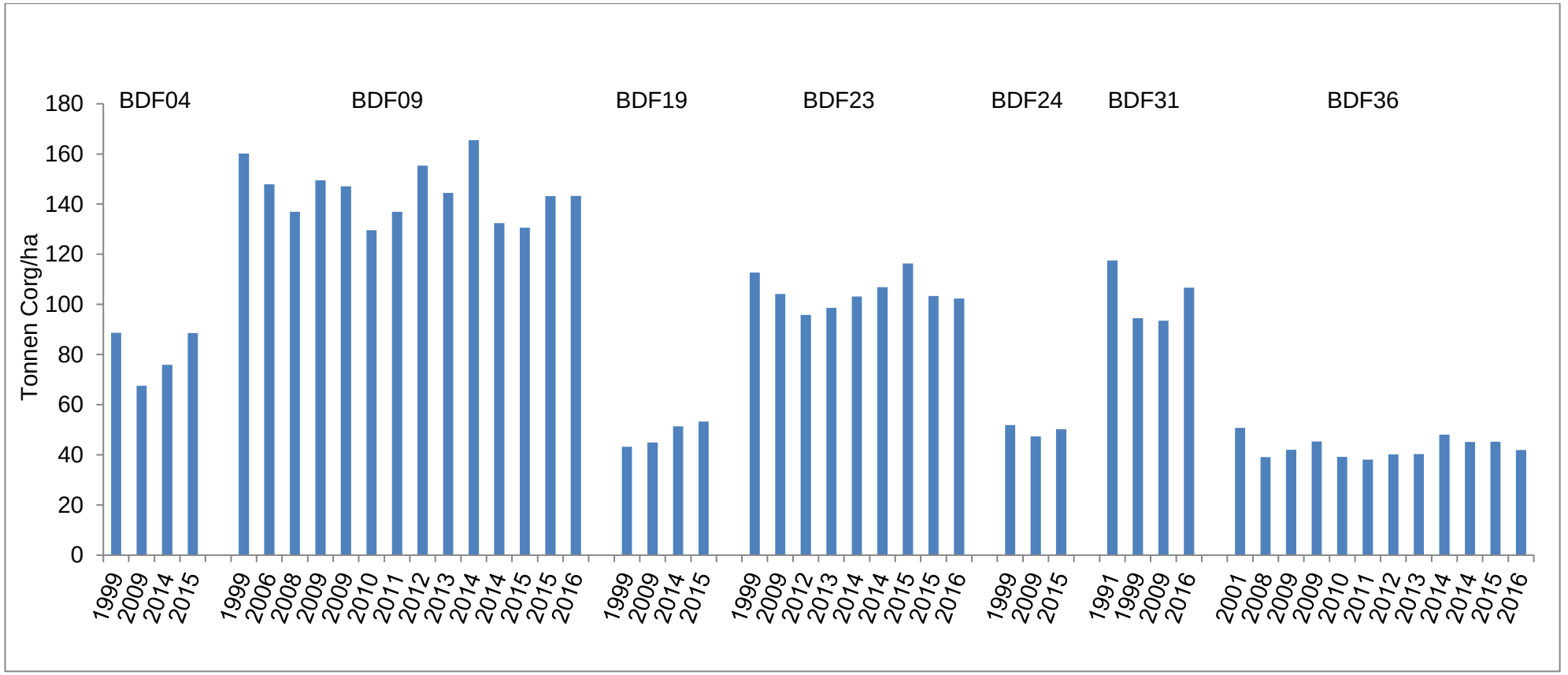


Abb. 4-2: Mengen an organischem Kohlenstoff im mineralischen Oberboden der Bodenart Sand (Ap, max. 0-30 cm) von Standorten der Boden-Dauerbeobachtung unter Ackernutzung

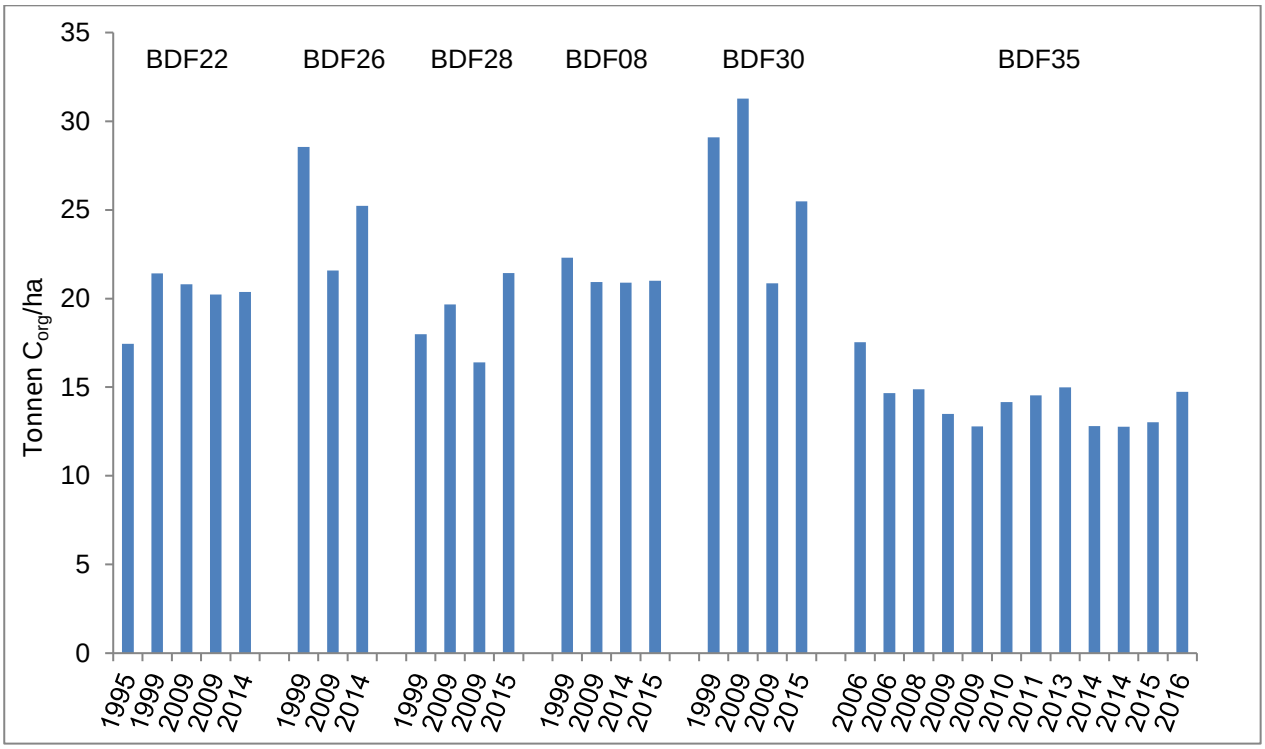


Abb. 4-3: Mengen an organischem Kohlenstoff im mineralischen Oberboden unterschiedlicher Bodenarten (0-5 cm) von Standorten der Boden-Dauerbeobachtung unter Grünlandnutzung

Auch im Rahmen der zwanzigjährigen Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen und Bayern wurden sowohl Zunahmen als auch Abnahmen der C_{org}-Gehalte beobachtet. In den meisten Fällen veränderten sich die Gehalte dieses Parameters jedoch nicht grundsätzlich (HÖPER UND SCHÄFER, 2012). Diese Aussage lässt sich somit nach Auswertung der bisherigen Untersuchungsergebnisse auf Schleswig-Holstein übertragen.

4.2 Gesamtstickstoff

Der Gehalt an Gesamtstickstoff korreliert in der Regel positiv mit dem Gehalt an C_{org}. Je intensiver ein Standort genutzt wird, desto enger fällt häufig das C/N-Verhältnis, ein Merkmal der Bodenfruchtbarkeit, aus. Änderungen in den C_{org}-Gehalten bewirken in der Regel Änderungen der N_{ges}-Gehalte. Auf ertragreichen landwirtschaftlich genutzten Grünland- und Ackerstandorten beträgt das C/N-Verhältnis Mitteleuropas meist <10 – 15. In Waldböden ist das C/N-Verhältnis in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Streu deutlich höher. Eine Verringerung des Stickstoffgesamtgehalts konnte auf 3 Boden-Dauerbeobachtungsflächen festgestellt werden (s. Tab.4-2). Auf BDF11 und BDF13 wurde analog zur Änderung des Gehalts an organischem Kohlenstoff eine Abnahme als Folge des Grünlandumbruchs mit veränderter Bearbeitungstiefe und dem damit verbundenen Verdünnungseffekt beobachtet. Eine Abnahme der N_{ges}-Gehalte im Oberboden auf der BDF04 kann – entsprechend des abnehmenden Gehalts an organischem Kohlenstoff - neben Bewirtschaftungsmaßnahmen (Maisanbau, Verringerung der organischen Düngung) vor allem auch als Folge von Winderosion gesehen werden. Ein sinkender Gehalt an Gesamtstickstoff auf

BDF31 – analog zum sinkenden Gehalt an organischem Kohlenstoff - ist als nicht signifikant zu betrachten.

Tab. 4-2: Abnahme der N-Gesamtgehalte bei 3 Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Nr. der BDF	Nutzung	abnehmender N_{ges}- Gehalt in %
BDF04	Acker	1990: 0,18 1999: 0,15 2009: 0,14
BDF11	Grünland/Acker	1992: 0,28 1999: 0,36 Grünlandumbruch 2002 2009: 0,21
BDF13	Grünland/Acker	1991: 0,98 1999: 0,55 2009: 0,68 Grünlandumbruch: 2009 2010: 0,33

Die Einbeziehung von Ergebnissen weiterer Untersuchungen konnte die Datenbasis zu den Boden-Dauerbeobachtungsflächen ergänzen. Dadurch konnten oft die vorherrschenden Tendenzen hinsichtlich der Entwicklung der Gehalte an Gesamtstickstoff überprüft und gegebenenfalls bestätigt werden. Teilweise konnten jedoch trotz des erweiterten Datenumfangs noch keine verlässlichen Aussagen getroffen werden.

4.2.1.Aussagen zur landesweiten Situation der Entwicklung der Vorräte an Gesamtstickstoff im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen

Anhand der Untersuchungen zur Boden-Dauerbeobachtung konnten auf Flächen, die seit Beginn des Monitorings ausschließlich unter Acker- bzw. Grünlandnutzung standen, keine generellen Veränderungen der Vorräte an Gesamtstickstoff im mineralischen Oberboden in Schleswig-Holstein festgestellt werden. Die Gesamtgehalte an Stickstoff korrelieren in der Regel positiv mit dem Vorrat an organischem Kohlenstoff im Boden. Die Abbildungen 4-4 bis 4-6 stellen die berechneten Mengen an Gesamtstickstoff unter Acker- und Grünlandnutzung dar. Es zeigen sich analog der Mengen an organischem Kohlenstoff z. T. sehr deutliche Schwankungen, jedoch keine generellen Tendenzen der Veränderung in Schleswig-Holstein.

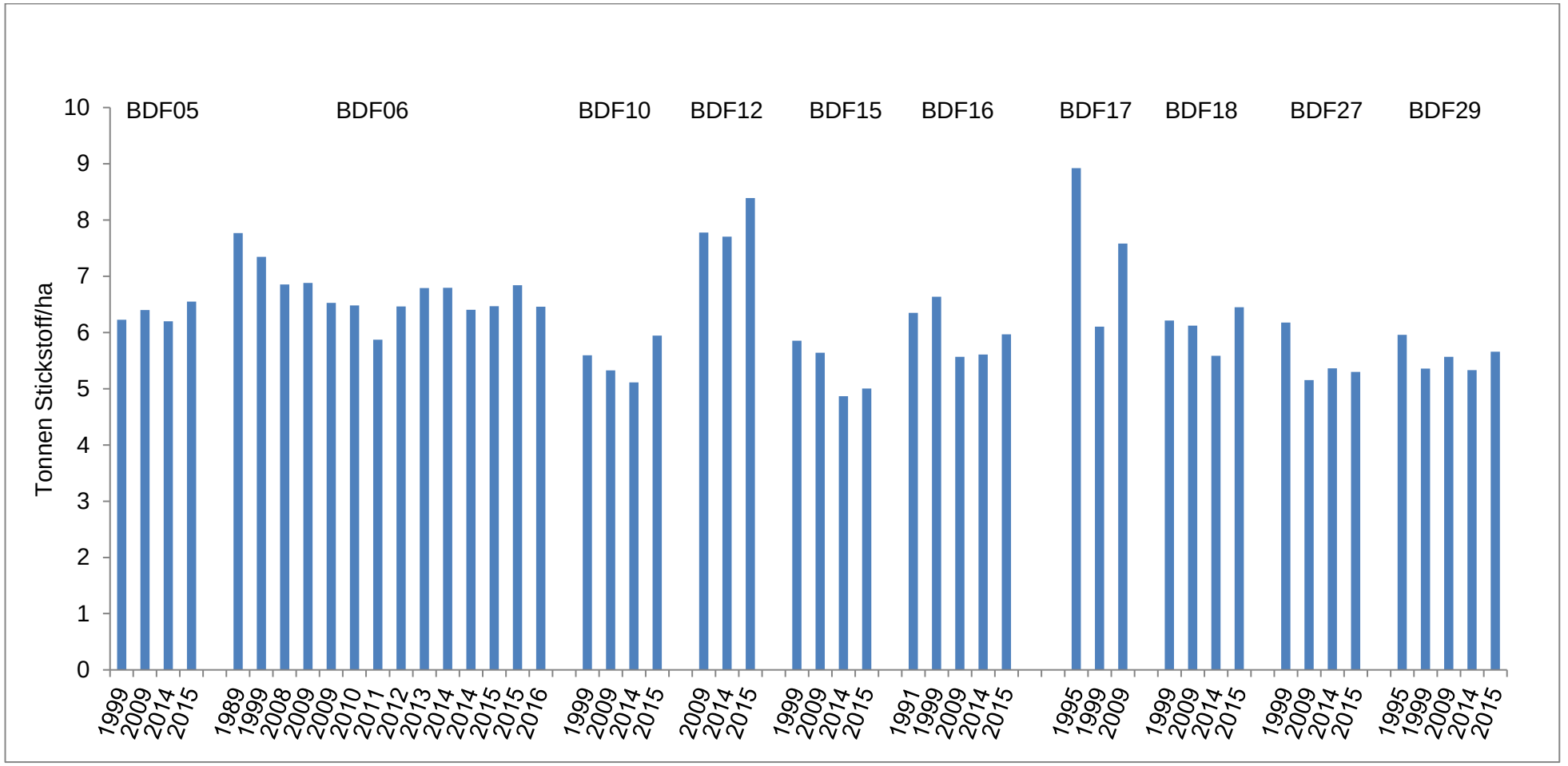


Abb. 4-4: Mengen an Gesamtstickstoff im mineralischen Oberboden der Bodenart Lehm (Ap, max. 0–30 cm) von Standorten der Boden-Dauerbeobachtung unter Ackernutzung

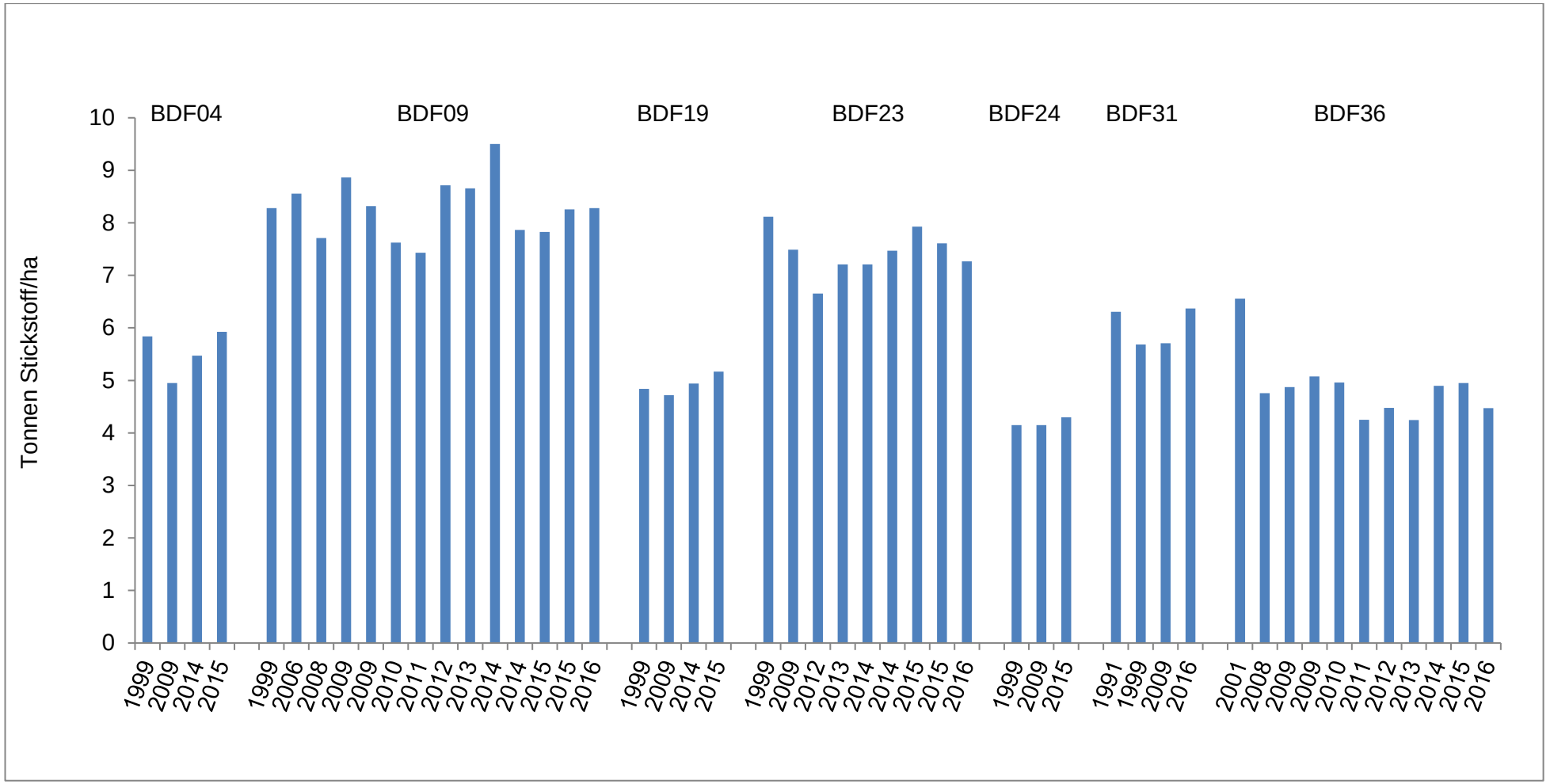


Abb. 4-5: Mengen an Gesamtstickstoff im mineralischen Oberboden der Bodenart Sand (Ap, max. 0-30 cm) von Standorten der Basis-Boden-Dauerbeobachtung unter Ackernutzung

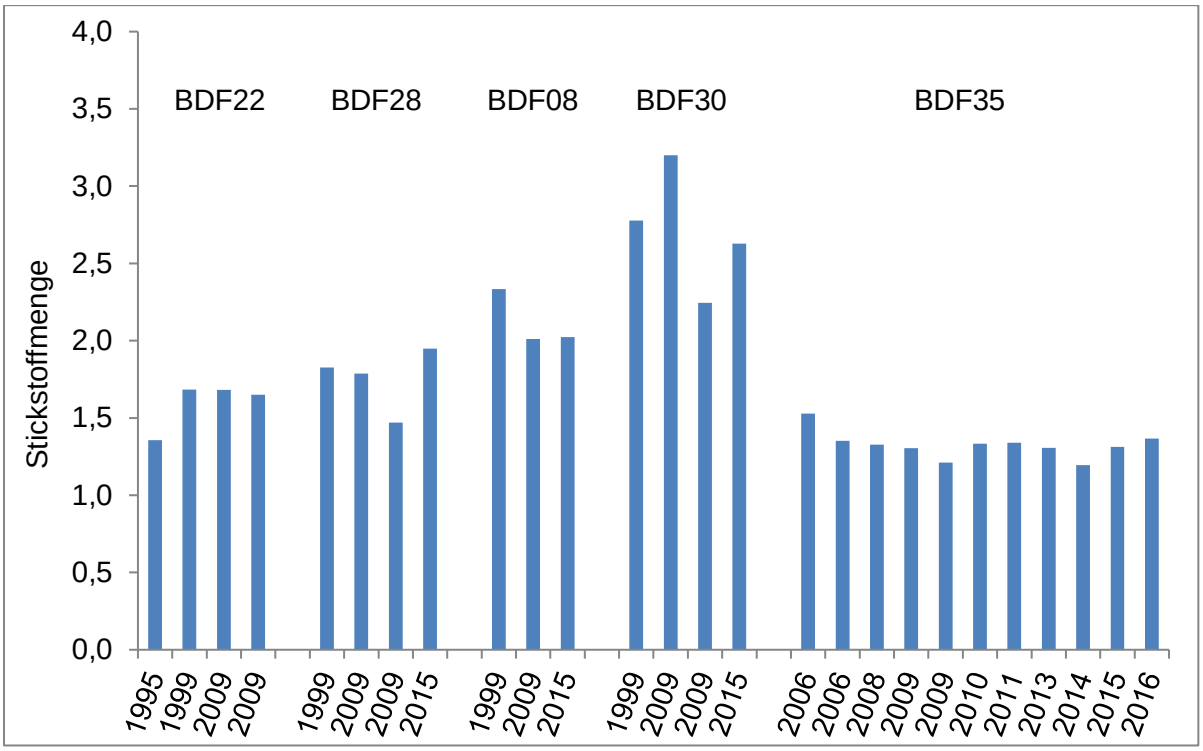


Abb. 4-6: Mengen an Gesamtstickstoff im mineralischen Oberboden (0-5 cm) von Standorten der Boden-Dauerbeobachtung unter Grünlandnutzung unterschiedlicher Bodenarten

4.3 Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen

Bei sandigem Ausgangsmaterial der Bodenbildung wurden auf den betreffenden Boden-Dauerbeobachtungsflächen in der Regel sehr geringe Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen vorgefunden. Anfangs lagen die Werte methodisch bedingt z. T. unterhalb der Bestimmungsgrenze. Mit Senkung der methodischen Bestimmungsgrenze konnten auf diesen Standorten häufig erst bei der zweiten Wiederholungsbeprobung alle Schwermetall- und Arsengehalte im Boden quantifiziert werden. Im Beobachtungszeitraum wurden aus diesem Grund bei sandigen Standorten für Schwermetalle und Arsen an bisher 3 Beprobungsterminen gegebenenfalls nur ein bzw. zwei Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. Dies gilt insbesondere für Cadmium, Kupfer, Nickel, Chrom, Quecksilber und z. T. für Zink. Deutliche Beispiele hierfür sind die Boden-Dauerbeobachtungsflächen BDF01 (Düne), BDF02 (Flugsand) und BDF04 sowie BDF09 (Flugsand über Sandersand, Niedere Geest). Weitere Standorte weisen entsprechend der späten Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsfläche bisher lediglich 2 Beprobungstermine auf. Die Erstellung von Zeitreihen war aus diesen beiden genannten Gründen bei einigen Boden-Dauerbeobachtungsflächen mangels ausreichender Werte zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Die Daten zu Gesamtgehalten an Schwermetallen und Arsen konnten zum Teil aus anderen Untersuchungen, wie z.B. dem Bodenbelastungskastaster Schleswig-Holstein, erweitert werden. Diese Ergänzung der Datenbasis war jedoch nicht so umfangreich wie bei den Ge-

halten an organischem Kohlenstoff und an Gesamtstickstoff. Zur Ableitung von Aussagen zu Entwicklungen bezüglich der Schwermetall- und Arsengehalte war die Datengrundlage häufig zu gering. Eine Verdichtung der Daten ist erforderlich und wird seit 2014 durch Zwischeninventuren mit reduziertem Untersuchungsumfang durchgeführt. Mit der gleichzeitig verbesserten Analytik sind zukünftig belastbarere Aussagen möglich. Bei vorhandenem Datenmaterial aus derzeit drei Messperioden ergab die bisherige Auswertung, dass die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sich häufig durch stark schwankende Verläufe auszeichnen. Schwankende Gehalte bei Schwermetalluntersuchungen wurden auch im Rahmen anderer Boden-Monitoringprogramme beobachtet (DESAULES ET AL. 2000 und 2006). An einzelnen Standorten der Boden-Dauerbeobachtung zeigen sich derzeit Tendenzen einer Zunahme von Schwermetall- und Arsengehalte. Aufgrund der jetzigen Datenlage aus nur 3 Messperioden und dem Wissen um häufig festgestellte Schwankungen der Schwermetallgehalte müssen diese Tendenzen jedoch durch zukünftige Untersuchungsergebnisse überprüft werden, um gesicherte Aussagen treffen zu können.

Im Hinblick auf die Landessituation in Schleswig-Holstein zeigen die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen in Oberböden der Boden-Dauerbeobachtungflächen in der Regel bei sandigem Ausgangsmaterial der Bodenbildung sehr geringe Werte. Lehmige Böden sowie insbesondere Böden aus Marschensediment weisen geogen bedingt im landesweiten Vergleich deutlich höhere Gehalte auf (LLUR 2011). In Ermangelung vorhandener Bewertungsmaßstäbe wurden die Gesamtgehalte hilfsweise mit den Vorsorgewerten (BBodSchV 1999) bzw. den Vorsorge-Hilfswerten (LLUR 2011) verglichen. Vorsorge- und Vorsorge-Hilfswerte sind von im Königswasseraufschluss ermittelten Gehalten abgeleitet worden und stellen eine Teilfraktion der Gesamtgehalte dar, so dass sie in der Regel einen Anteil von unter 100 % an den Gesamtgehalten aufweisen. Die Vorgehensweise, Gesamtgehalte anhand von Vorsorgewerten bzw. Vorsorge-Hilfswerten zu beurteilen, ist insbesondere dann geeignet, wenn die Gesamtgehalte unterhalb der Vorsorge- bzw. Vorsorge-Hilfswerte liegen. Die ermittelten Gehalte an Schwermetallen bzw. Arsen liegen für den Großteil der untersuchten Bodenprobenbereits als Gesamtgehalt im Bereich der Vorsorgewerte (BBodSchV 1999) bzw. der Vorsorge-Hilfswerte (LLUR 2011). Insgesamt sind die Gehalte an Schwermetallen und Arsen im Boden in SchleswigHolstein sowie ihre Änderung als gering zu bezeichnen.

4.4 Gehalte an austauschbaren Kationen und effektive Kationenaustauschkapazität

Die Höhe der Kationenaustauschkapazität korreliert vorrangig mit dem Gehalt an organischer Substanz sowie mit dem Tongehalt. Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Parametern liegen für die Gehalte an austauschbaren Kationen sowie für die effektive Kationenaustauschkapazität kaum ergänzende Daten aus anderen Untersuchungen vor.

Die Gehalte an austauschbaren Kationen und auch die effektive Kationenaustauschkapazität unterliegen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen den deutlichen Einflüssen der Bewirtschaftungsmaßnahmen. Im Laufe der über 20-jährigen Dauer der Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein werden daher an einigen wenigen Standorten zwar nachweisbare,

jedoch nutzungsbedingte Veränderungen festgestellt. Hingegen zeigen sich auf der Sukzessionsfläche BDF21 als Folge natürlicher Prozesse signifikant abnehmende Gehalte an austauschbarem Calcium. Weitere Tendenzen sind derzeit als nicht signifikant zu betrachten. Auf Waldstandorten zeigen sich z. T. Tendenzen der Veränderung, die jedoch nach derzeitiger Datenlage noch nicht von der Erstbeprobung bis zur zweiten Wiederholungsbeprobung als signifikant zu betrachten sind.

4.5 pH-Wert

Durch Kalkungsmaßnahmen werden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen die für Nährstoffverfügbarkeit und Pflanzenwachstum optimalen pH-Werte im Boden angestrebt. Mit Auswertung der von den Bewirtschaftern geführten flächenbezogenen Aufzeichnungen (Schlagkarteien) erklären sich die angestiegenen oder auch gesunkenen pH-Werte im Oberboden. Für landwirtschaftlich genutzte Flächen ist der pH-Wert somit durch die Nutzung überprägt und wird nur als Begleitparameter erfasst.

Auf den nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen (BDF01, BDF21) sowie auch unter den Boden-Dauerbeobachtungsflächen unter Wald (BDF02, BDF07, BDF20 und BDF32) zeigen sich nach derzeit drei Untersuchungsterminen noch keine Tendenzen der Veränderung im mineralischen Oberboden.

4.6 Carbonatgehalt

Unter landwirtschaftlicher Nutzung ändert sich auch der Carbonatgehalt des Bodens in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Kalkung). Der Carbonatgehalt wurde somit lediglich als Begleitparameter gemessen und liefert – soweit Carbonat primär (gesteinsbürtig) nicht im Oberboden vorkommt - auf landwirtschaftlich genutzten Böden keine Aussagen über deren langfristige Veränderungen.

Eine Abnahme des Carbonatgehaltes als natürlicher Prozess der Bodenentwicklung - z. B. im Boden der BDF21 (junge Marsch) - konnte im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung über die letzten 20 Jahre in Schleswig-Holstein noch nicht festgestellt werden.

4.7 Gehalte an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat unterliegen im landwirtschaftlich genutzten Boden entsprechend der Bewirtschaftung starken Konzentrationsschwankungen. Durch Düngung mit mineralischen und organischen Düngern werden dem Boden die mit dem Erntegut und durch Auswaschung abgeführten Kalium- und Phosphatmengen für den Anbau der nachfolgenden Kultur wieder zugeführt. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird der Gehalt an doppellaktatlöslichem Kalium und Phosphat somit als Begleitparameter gemessen. Er dient zur Einstufung des Nährstoffversorgungszustands des Bodens.

Auf den nicht oder nur extensiv genutzten Standorten BDF01, BDF21 und BDF37 sowie auf den Waldstandorten (BDF02, BDF7, BDF20, BDF32 und BDF39) zeigt sich hingegen der durch das Ausgangsmaterial geogen bedingte Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium und Phosphat. Eine Tendenz der Veränderung zeigt sich bisher lediglich im mineralischen Oberboden eines Waldstandortes (BDF32). Nach derzeitiger Datenlage nimmt der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium wie auch Phosphat auf dieser Boden-Dauerbeobachtungsfläche signifikant ab und weist somit auf eine Nährstoffverarmung im oberen Mineralbodenhorizont hin.

6 Zusammenfassung und Fazit

Bodeneigenschaften ändern sich nur sehr langsam. Boden-Dauerbeobachtung - wie Monitoringverfahren in anderen medialen Bereichen wie Wasser, Luft und Klima auch - muss daher auf eine lange Laufzeit ausgerichtet sein, um als stabiles Monitoring belastbare Ergebnisse zu liefern. Das Hauptaugenmerk dieses Berichts liegt auf Veränderungen des Humuskörpers und der Schwermetalle und Arsen.

Nach derzeit drei Messperioden im Rahmen der Basis-Boden-Dauerbeobachtung sind in Schleswig-Holstein im Hinblick auf den Gehalt und Vorrat an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff keine Tendenzen der Veränderung im Oberboden festzustellen. Es zeigen sich - wie auch bei dem Gehalt an Schwermetallen und Arsen - häufig schwankende Verläufe. Wenn möglich wurde die Datenbasis durch Ergebnisse weiterer Untersuchungsprogramme ergänzt. Für die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff konnte hierdurch die Auswertung der Zeitreihen abgesichert werden. Für andere Parameter wie die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen war dies aus Mangel an Untersuchungsergebnissen kaum möglich. Aus diesem Grunde wurde es notwendig, die Untersuchungsintervalle im Rahmen der Basis-Boden-Dauerbeobachtung für allgemeine bodenchemische Parameter sowie für Schwermetalle und Arsen zu verkürzen, um in einem kürzeren Zeitraum über mehr Ergebnisse zu verfügen. Seit 2014 werden die Probenentnahmeintervalle schrittweise verkürzt und gleichzeitig in die 3- bzw. 6-jährigen Untersuchungsintervalle für biologische Aufnahmen (bodenmikrobiologisch, pflanzensoziologisch und bodenzoologisch) eingepasst. Je kürzer die Untersuchungsintervalle ausfallen, desto eher können abgesicherte Aussagen zur Entwicklung der Bodeneigenschaften getroffen werden, da die Anzahl der Messergebnisse zunimmt. Dabei wird eine weitgehende Kontinuität der derzeitigen Untersuchungen (Probennahmemuster, Beprobungstiefe, Analysemethoden, Labor) sichergestellt, da nur so eine uneingeschränkte Auswertung von häufig nur schleichenden Veränderungen möglich und die Vergleich- und Interpretierbarkeit der erzielten Untersuchungsergebnisse gegeben ist. Zusätzlich zu den Hauptintervallen der Wiederholungsbeprobungen nach 12 Jahren werden Beprobungen als Zwischenintervalle nach sechs Jahren mit einem reduzierten Parameterumfang durchgeführt. Im Gegensatz zu den Hauptintervallen wird im Rahmen der Zwischenintervalle auf die Bestimmungen der Korngrößenverteilung (ein sehr stabiler und sich wenig veränderbarer Parameter), der Eisen- und Mangan- sowie Aluminiumgehalte (Sesquioxidgehalte) im Oxalat- sowie im Dithionit-Extrakt, der effektiven Kationenaustauschkapazität sowie der Gehalte an Schwermetallen im Königswasserauszug verzichtet. Im Rahmen der Zwischeninventuren werden u.a. die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen, der Gehalt an organischem Kohlenstoff, der Gesamtgehalt an Stickstoff, die pH-Werte sowie die im

Lactatextrakt gemessenen Gehalte an Phosphat, Kalium und Magnesium an Bodenmaterialproben in gestörter Lagerung erfasst. Ferner werden die Trockenraumdichte, die Wasserdurchlässigkeit der gesättigten Bodenmaterialprobe und die Porengrößenverteilung an Bodenmaterialproben in ungestörter Lagerung ermittelt. Die bisherige Bewertung der erhobenen Daten der Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein wird zudem um die Bewertung langfristiger Veränderungen der bodenphysikalischen Eigenschaften sowie der Gehalte an organischen Schadstoffen in Böden erweitert. Eine zusätzliche Betrachtung der Stoffvorräte bzw. -mengen in Böden bedarf neben der erfolgten Beurteilung von Konzentrationen einer weiteren Aus- und Bewertung, um umfassendere Stoffhaushaltsanalysen zu ermöglichen. In Baden-Württemberg, in Hessen sowie in Bayern werden nach zwanzig Jahren Projektlaufzeit mit zehnjährigen Intervallen nun in fünfjährigen Intervallen (Ober-) Bodenmaterialproben entnommen. Die Nationale Bodenbeobachtung NABO der Schweiz wendet diesen Turnus schon seit Projektbeginn im Hinblick auf die Aussagefähigkeit des Verfahrens erfolgreich an. Die Ableitung von Trends aus maximal drei Werten mit einem Intervall von je 10 Jahren war aus verschiedenen Gründen schwierig: Der Wechsel der Analysemethoden führte zu einer Senkung der Bestimmungsgrenzen und damit zum Teil erstmalig bei den Wiederholungsuntersuchungen zu eindeutigen Ergebnissen. Eine durch Nutzungswandel (Grünland zu Acker) bedingte Änderung der Bodenbearbeitungs- und auch Probenentnahmetiefe führt zu Verdünnungseffekten und folglich zu niedrigeren Messergebnissen, deren direkte Vergleichbarkeit mit vorherigen Daten nur eingeschränkt möglich ist. Bei nur drei Beprobungsterminen können somit Nutzungs- oder Methodikänderungen eine mögliche Tendenz der Entwicklung von Bodeneigenschaften im Untersuchungszeitraum überlagern. Gerade für die ersten Jahre der Boden-Dauerbeobachtung sind Auswertungen daher nur eingeschränkt möglich. Die Ergänzung der Datenbasis um Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen war jedoch aus methodischen Gründen nur in einem begrenzten Ausmaße möglich. Mit Hilfe zukünftiger Untersuchungen und Ergebnisse wird die Aussagefähigkeit der Boden-Dauerbeobachtung zunehmend verbessert werden. Nach der in der Anfangsphase der Boden-Dauerbeobachtung wechselnden Methodik für Probenentnahme und Analytik befindet sich das Monitoring jetzt in einem Stadium, in dem mit zunehmender Anzahl von Wiederholungsuntersuchungen der Einsatz weiterer statistischer Bewertungsverfahren möglich sein wird, um Trends und Entwicklungen der langfristigen Veränderungen von Böden nachvollziehbarer beurteilen zu können. Die Ergebnisse der Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein werden bei Standortähnlichkeit zudem mit Monitoring-Programmen anderer Bundesländer, insbesondere Niedersachsen, abgeglichen, um Informationen zur Entwicklung von Böden gemeinsam über Landesgrenzen hinaus auszuwerten. Nur eine auf Langfristigkeit angelegte Untersuchung des Bodens erlaubt eine unabhängig von saisonalen Einflüssen oder Bewirtschaftungsmaßnahmen belastbare Auswertung von Daten und bietet damit die Grundlage zur Abbildung von Entwicklungs- und möglichen Gefährdungstendenzen.

Unter Umsetzung fachlicher Anforderungen, die sich auch durch erforderliche intermediale Ansätze des Gewässer- und Klimaschutzes ergeben, und Konsolidierung der eingesetzten Methoden bietet Boden-Dauerbeobachtung eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für vorausschauenden vorsorgenden Bodenschutz. Die Boden-Dauerbeobachtung soll sowohl als Frühwarnsystem für Bodenveränderungen dienen als auch für die langfristige Überwachung von Veränderungen tauglich sein. Sie zielt auf die Ableitung von Prognosen für die

zukünftige Entwicklung des Bodens ab. Dabei sind insbesondere die Bodennutzung und der Klimawandel in ihren Einflüssen auf den Boden zu untersuchen und zu dokumentieren. Dementsprechend muss das Kennwertspektrum sowohl die kurzfristig als auch die erst langfristig und träge reagierenden Bodenparameter umfassen. Zur Erhöhung der statistischen Auswertbarkeit sind sowohl die Untersuchungsfrequenz möglichst eng zu takten als auch eine langfristige Laufzeit des Programmes unabhängig von aktuellen Fragestellungen sicherzustellen. Erforderlich ist die langfristige Beibehaltung der datenerhebenden Institutionen bei möglichst gleich bleibendem Personal. Die Untersuchungsverfahren sind zur Sicherstellung der langfristigen Reproduzierbarkeit detailliert zu dokumentieren. Allein aus methodischen Gründen können wir im derzeitigen Stadium der Boden-Dauerbeobachtung nicht erwarten, dass eine Vielzahl an Veränderungen festzustellen ist.

7 Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.

BDF-ABSCHLUSSBERICHT (2010): Boden-Dauerbeobachtung Schleswig-Holstein: Auswertung der Projektergebnisse im Hinblick auf Aussagen zu Veränderungen von Böden, Aussagefähigkeit und Optimierung der eingesetzten Untersuchungsverfahren. Ökologie-Zentrum der CAU, im Auftrage des LLUR.

BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B., SCHILLING, B. und UTERMANN, J. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. In: Rosenkranz, D., Bachmann, G., König, W., Einsele, G. (Hrsg.): Bodenschutz. Kennziffer 9152, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

BBODSCHG, BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ VOM 17. MÄRZ 1998 – (BGBL. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S.1966).

BBODSCHV , BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG VOM 12. JULI 1999 – (BGBL. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 102 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)

CORDSEN, E., ELSNER, D.-C. und FILIPINSKI, M. (2000): Böden unter die Lupe genommen – Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein. In: LANU Jahresbericht 1999. 81-86.

DESAULES, A. und DAHINDEN, R. (2000): NABO – Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie, Bern 2000

DESAULES, A., SCHWAB, P., KELLER, A., AMMANN, S., PAUL, J. und BACHMANN, H.J. (2006): Anorganische Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz und Veränderungen nach 10 Jahren - Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung 1985-1999. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich. 139 S.

DUIJNISVELD, W. H.M., GODBERSEN, L. DILLING, J., GÄBLER, H.-E., UTERMANN, J., KLUMP, G. und SCHEEDER, G. (2008): Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser. UBA-Forschungsvorhaben 204 72 264

HÖPER, H. und SCHÄFER, W. (2012): Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralböden für den Klimaschutz. Bodenschutz, Bd. 03.12.

LBODSCHG, GESETZ ZUR AUSFÜHRUNG UND ERGÄNZUNG DES BUNDES-BODENSCHUTZGESETZES (LANDESBODENSCHUTZ- UND ALTLASTENGESETZ) VOM 14. MÄRZ 2002, GVOBL. SCHL.-H. S. 60, GEÄNDERT AM 12. JUNI 2007, GVOBL. SCHL.-H. S. 292.

LKSH (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN (2013): RICHTWERTE FÜR DÜNGUNG. 23. AUFLAGE, LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN.

LLUR (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN) (2011): HINTERGRUNDWERTE STOFFLICH GERING BEEINFLUSSTER BÖDEN SCHLESWIG-HOLSTEINS.

LAUSEN, P. (2012):DIE BODENFRUCHTBARKEIT IST RÜCKLÄUFIG. BAUERNBLATT, NR. 30.

NFP UND LLUR (2009): FORSTLICHE STANDORTAUFNAHME, GELÄNDEÖKOLOGISCHER SCHÄTZRAHMEN. HRSG: NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT, LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN; REDAKTION: GESELLSCHAFT FÜR FORSTPLANUNG

REIMAN, C., SIEWERS, U., TARVAINEN, T., BITYUKOWA, L., ERIKSSON, J., GILUCIS, V.G., LUKASHEV, V., MATINIAN, N. UND PASIECZA, A. (2003): AGRICULTURAL SOILS IN NORTHERN EUROPE: A GEOCHEMICAL ATLAS, GEOLOGISCHES JAHRBUCH, REIHE D, HEFT SD 5.

SAG, SONDERARBEITSGRUPPE INFORMATIONSGRUNDLAGEN UMWELTSCHUTZ DER UMWELTMINISTERKONFERENZ (1991): KONZEPTION ZUR EINRICHTUNG VON BODEN-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN – BERICHT DER UNTERARBEITSGRUPPE ‘BODEN-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN‘ IM AUFTRAG DER SONDERARBEITSGRUPPE ‘INFORMATIONSGRUNDLAGEN BODENSCHUTZ‘. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (HERAUSGEBER): ARBEITSHEFTE BODENSCHUTZ 1.

VDLUFA (VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN) (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.