

Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 13 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein im Jahr 2018

(ackerbaulich genutzte Standorte)

Auftragnehmer:

Universität Hamburg
Institut für Bodenkunde
Allende Platz 2
20146 Hamburg

Bearbeiter:

Peter Woloszczyk
Dr. Claudia Fiencke
Birgit Grabellus
Prof. Dr. Eva-Maria Pfeiffer
Dr. Dirk-Christian Elsner

im Auftrag des
Landesamtes für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bodenmikrobiologische Untersuchungen als Indikatorverfahren.....	4
2.1	Untersuchungsmethodik	4
2.2	Bedeutung der bodenmikrobiologischen Parameter.....	9
2.3	Probenahme	11
2.4	Datenauswertung.....	13
3	Standortverhältnisse	14
3.1	Allgemeiner Überblick	14
3.2	BDF04 Goldelund.....	20
3.3	BDF05 Gintoft	27
3.4	BDF06 Sönke-Nissen-Koog.....	33
3.5	BDF09 Schuby	40
3.6	BDF10 Holzdorf.....	47
3.7	BDF12 Vadersdorf/Fehmarn.....	55
3.8	BDF15 Achterwehr.....	63
3.9	BDF16 Schwartbuck	70
3.10	BDF18 Heringsdorf	77
3.11	BDF19 Mörel/Nindorf	84
3.12	BDF23 Bokhorst.....	91
3.13	BDF27 Lebatz/Tankenrade	98
3.14	BDF29 Lübeck/Niederbüssau	105
4	Ergebnisse und Diskussion	112
4.1	BDF04 Goldelund.....	113
4.2	BDF05 Gintoft	123
4.3	BDF06 Sönke-Nissen-Koog.....	134
4.4	BDF09 Schuby	145
4.5	BDF10 Maasleben.....	156
4.6	BDF12 Vadersdorf.....	167
4.7	BDF15 Achterwehr.....	178
4.8	BDF16 Schwartbuck	189
4.9	BDF18 Heringsdorf.....	200

Inhaltsverzeichnis

4.10	BDF19 Mörel.....	211
4.11	BDF23 Bokhorst	222
4.12	BDF27 Tankenrade	233
4.13	BDF29 Niederbüssau	244
4.14	Gruppierungen von BDF und vergleichende Diskussion	254
5	Methodenanwendung und -kritik	273
5.1	Eignung der Methoden	273
5.2	Eignung der Indikatoren und Zeigerwerte.....	275
6	Zusammenfassung	276
7	Anhang	283
7.1	Tabellenverzeichnis.....	283
7.2	Abbildungsverzeichnis	286
7.3	Literaturverzeichnis.....	290
7.4	Glossar.....	293
7.5	Abkürzungsverzeichnis.....	294
7.6	Legende zu Kartenausschnitten	295
7.7	Klassifikationstabellen	296
7.8	Datentabellen.....	298

1 Einleitung

Der geologische Dienst des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR-SH) betreibt als obere Bodenschutzbehörde (Fachbehörde) seit 1989 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF), von denen 37 in Betrieb sind. Zentrale Ziele der Bodendauerbeobachtung bzw. des Monitorings sind die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden, die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung. Das Untersuchungsprogramm wird nach den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, BARTH ET AL. 2000) durchgeführt und umfasst neben Bodenphysik und -chemie auch die Bodenbiologie. Die bodenbiologischen Untersuchungen gliedern sich in bodenmikrobiologische, -zoologische und vegetationskundliche Untersuchungen.

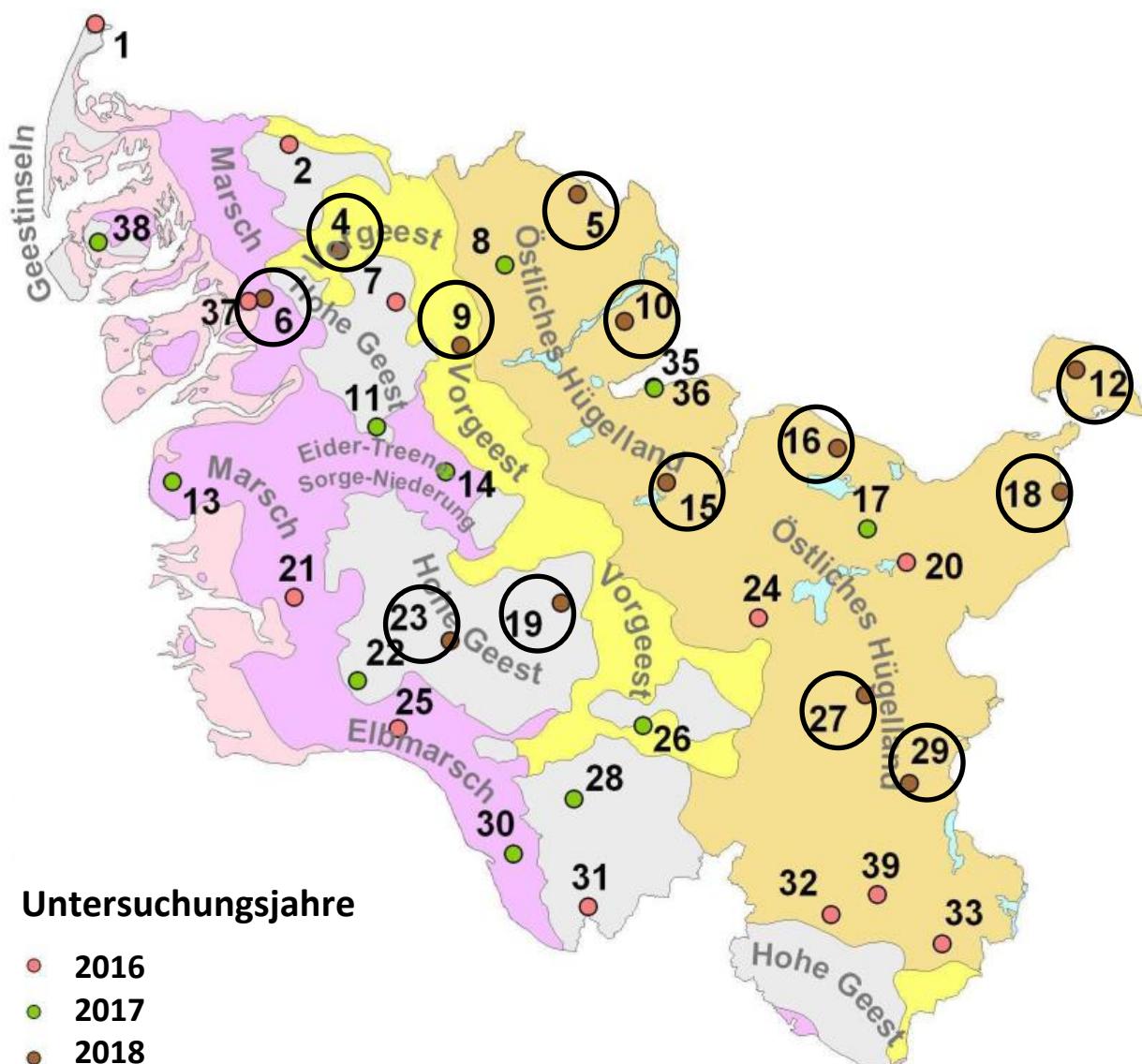


Abbildung 1.1 Lage der schleswig-holsteinischen Bodendauerbeobachtungsflächen. Die im Rahmen der Untersuchungen 2018 beprobenen Bodendauerbeobachtungsflächen sind eingekreist (Quelle: LLUR).

Einleitung

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Untersuchungen umfassen bodenmikrobiologische Parameter und abiotische Standortfaktoren. Das Untersuchungsintervall für die dargestellten Parameter beträgt 3 Jahre. Für die etwas langsamer reagierenden bodenzoologischen und vegetationskundlichen Parameter wird ein Untersuchungsintervall von 6 Jahren angesetzt. Dieser Zeitraum wurde festgesetzt um die Ergebnisse mit den Untersuchungen der Bodenmikrobiologie gemeinsam auswerten zu können. Ein Untersuchungsintervall beginnt mit vegetationskundlichen Untersuchungen, die den Frühjahrs- und den Sommerspekt erfassen. Herbstaufnahmen unterbleiben, da sie oft unvollständig sind. Im Herbst werden auf den BDF Bodentiere gefangen. Dies geschieht meist im Oktober oder November, da in diese Zeit eine Hauptaktivitätsphase der Bodenfauna fällt. Im zeitigen Frühjahr darauf erfolgt die Probenentnahme für bodenmikrobiologische Untersuchungen. Letztere erfolgt in einem Zeitfenster, das einerseits vom Ende des Frostes und andererseits von einer nennenswert gestiegenen Aktivität aufgrund der Erwärmung des Bodens begrenzt wird, meist von Mitte März bis Ende März. Im Jahr 2018 fand die Probenahme zwischen dem 13. März und dem 17. April statt. Für die verschiedenen biologischen Untersuchungen werden jeweils andere Stellen an bzw. auf den BDF aufgesucht, so dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Die Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen können aufgrund der gewählten Intervalle gut miteinander verknüpft und bewertet werden, weil die bodenzoologischen Untersuchungen den bodenmikrobiologischen zumindest an sechs der zwölf Standorten im Herbst vorausgehen. Der um vier bis fünf Monate größere zeitliche Abstand zu den bodenmikrobiologischen Untersuchungen fällt in den Winter, d. h. in den Zeitraum eingeschränkter biologischer Aktivität und ist daher in der Regel als unproblematisch anzusehen, wie ein Vergleich von Herbst- und Frühjahrbeprobungen ergeben hat (TIGGES, 2017).

Im Jahr 2018 wurden 13 BDF unter ackerbaulicher Nutzung bodenmikrobiologisch untersucht (Abbildung 1.1). Die Untersuchungsergebnisse werden nach den eingangs genannten zentralen Zielen der Bodendauerbeobachtung bewertet. Hierbei werden die Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu folgenden Faktoren besonders betrachtet:

- Bodenform und abiotischen Standortfaktoren
- Wetter bzw. Klima
- Bewirtschaftung
- Vegetationskunde
- Bodenzoologie

Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung 2018 werden mit den Ergebnissen aus vorherigen Untersuchungen der Bodendauerbeobachtungsflächen (Tabelle 1.1) als Zeitreihen dargestellt und in Beziehung gesetzt.

Tabelle 1.1: Übersicht der bisherigen bodenchemischen und bodenmikrobiologischen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein. * Seit dem Untersuchungsjahr 2010 wurde die Probenahme der Mikrobiologie mit den anderen biologischen Disziplinen zeitlich aufeinander abgestimmt.

Jahr und Anzahl der untersuchten Flächen	Bearbeiter	Institut	
1995 (16)	Herr Dr. Beyer	Institut für Pflanzernährung und Bodenkunde, Uni Kiel	
1996 (17)			
1998 (16)			
1999 (23, Gesamt-gutachten)	Frau Dr. Bode	privat, Kiel	
2001 (17)	Herr Dr. Beyer	Institut für Pflanzernährung und Bodenkunde, Uni Kiel	
2002 (19)			
2004 (23, Gesamt-gutachten 1995-2002)	Herr Dr. Quirin & Herr Dr. Emmerling	Universität Trier, Abteilung Bodenkunde	
2005 (18)	Herr Dr. Beyer	Institut für Bodenkunde und Pflanzernährung, Uni Halle	
2006 (12)	Frau Dr. Tischer		
2007 (13)	Herr Prof. Dr. Emmerling	Universität Trier, Abteilung Bodenkunde	
2010* (19)	Herr Dr. Dilly	Institut für Bodenkunde, Uni Hamburg	
2011 (20)			
2013 (12)	Frau Dr. Fiencke et al.		
2014 (12)			
2015 (13)			
2016 (12)			
2017 (12)			
2018 (13)			

2 Bodenmikrobiologische Untersuchungen als Indikatorverfahren

2.1 Untersuchungsmethodik

In Schleswig-Holstein werden die von der LABO empfohlenen Verfahren zur Untersuchung der biologischen und chemischen Parameter von Bodendauerbeobachtungsflächen angewendet. In der Tabelle 2.1 sind Parameter, Methoden, Probenentnahmestelle, Umweltrelevanz und das Untersuchungsintervall dargestellt.

Tabelle 2.1 Von der LABO empfohlene und bei der Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein eingesetzte Verfahren zur Untersuchung der Bodenbiologie; ¹HEINEMEYER et al. 1989. Quelle: LLUR.

Bodenzoologische Untersuchungen	Bodenmikrobiologische Untersuchungen	Parameter	Methode	Probenentnahme	Umweltrelevanz	Intervall
obligatorische Parameter	mikrobielle Biomasse	mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (n. ANDERSON & DOMSCH 1978 ¹), DIN ISO 14240-1	Randfläche	Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsetzung	3 Jahre auf allen BDF
		mikrobielle Biomasse	Fumigations-Extraktions-Methode (n. VANCE et al. 1987), DIN ISO 14240-2			
		mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962), DIN 19737			
		metabolischer Quotient	Berechnung aus mikrobieller Basalatmung und Biomasse (n. ANDERSON & DOMSCH 1990)			
	ergänzende Parameter	Arginin-ammonifikation	ALEF & KLEINER (1986)			
		Lumbriciden	Handauslese in Anlehnung an DIN ISO 23611-1:2007		Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsetzung, Stoffeintrag	6 Jahre auf allen BDF
		Kleinanneliden	Formalin-Austreibung in Anlehnung an DIN ISO 23611-1:2007			

Fortsetzung Tabelle 2.1

		Parameter	Methode	Proben entnahme	Umwelt relevanz	Intervall		
Vegetationskundliche Untersuchungen	obligatorische Parameter	Biotoptausstattung		Umland		6 Jahre auf nicht oder extensiv genutzten BDF		
		Artenliste Gefäßpflanzen	anerkannte Listen					
		Gesamtarten liste Gefäßpflanzen	anerkannte Listen					
		Artenliste Moose	anerkannte Listen					
		Vegetationstyp-Ausstattung	Dokumentation der Ausstattung an Vegetationstypen					
		Vegetationsaufnahme	nach LONDO (1975)					
	ergänzende Parameter	Vitalität	nach DIERSCHKE (1989)	BDF				
		Phänologie	nach DIERSCHKE (1989)					

Die bodenchemischen Laboruntersuchungen der in diesem Bericht dargestellten BDF wurden von Mai bis September 2018 am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Zu den untersuchten bodenchemischen Parametern gehörten der pH-Wert in CaCl_2 -Lösung, der Wassergehalt der Probe, die Gehalte an gelösten, anorganischen Stickstoffverbindungen und der Gesamtkohlenstoff und -stickstoffgehalt im Boden (siehe Tabelle 2.2). Die Trockenrohdichte wurde vom LLUR an ungestörten Stechzylinderproben bestimmt.

Tabelle 2.2 Untersuchte bodenchemische und -physikalische Parameter mit Kurzbeschreibung der Methoden, Angabe der DIN-Norm bzw. des Autors und Aufführung möglicher Besonderheiten bei der Probenbearbeitung.

Bodenparameter	Methode	DIN-Norm/ Autor	Besonderheit
pH-Wert	Messung der H_3O^+ -Ionen-Konzentration in $0,01 \text{ mol l}^{-1}$ CaCl_2 -Lösung	DIN ISO 10390:2005-12	Feuchtes Bodenmaterial verwendet
Trockenrohdichte	Trocknung und Wägung der ungestörten Bodenprobe im 100-cm ³ -Stechzylinder	DIN EN ISO 11272:2017-07	-
Wassergehalt	Ofentrocknung für 24 h bei 105 °C	DIN 18121-1:1998-04 DIN EN ISO 11461:2014-07	-
Gelöste anorganische Stickstoffverbindungen (N_{\min})	Photometrische Ammonium-Bestimmung und Messung der Nitrit- und Nitratkonzentration mithilfe der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC; Gerät: Agilent Binary Technologies 1200 Series)	Methodenbuch VDLUFA (1991), MEINCKE ET AL. (1992), SCHLICHTING ET AL. (1995)	feuchtes Bodenmaterial, Extraktion mit $0,0125 \text{ mol l}^{-1}$ CaCl_2 -Lösung Filtration des Eluats über N-freien Faltenfilter
Gesamtkohlenstoff und -stickstoff im Boden (C_{org} und N_t)	Trockene Verbrennung bei 900 °C im Elementaranalysator und chromatographische Auftrennung des CO_2 - N_2 -Gasgemisches 2010-11: Elementar VarioMAX CNS ab 2012: Elementar VarioMax Cube	DIN ISO 10694:1996-08 DIN ISO 13878:1998-11	-
Anorganischer Kohlenstoff (C_{anorg})	Verbrennung bei 550 °C von Corg und bei 900 °C Canorg ab 2010: Elementar liqui TOC II umgerüstet auf Feststoffproben		

Die bodenmikrobiologischen Laboruntersuchungen wurden von Mai bis September 2018 am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Zu den untersuchten bodenmikrobiologischen Parametern gehörten die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse im Boden (C_{mic} , N_{mic}) mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode sowie über die Substratinduzierte Respiration (SIR) gemessen mit der Heinemeyer-Anlage (CO_2 -Freisetzung) und am Sapromaten (O_2 -Verbrauch und CO_2 -Freisetzung). Zusätzlich zur Abundanz der Mikroorganismen wurde die potenzielle mikrobielle Aktivität über die Basalatmung ebenfalls mit der Heinemeyer-Anlage (CO_2 -Freisetzung) und mit dem Sapromaten (O_2 -Verbrauch und CO_2 -Freisetzung) sowie die Arginin-Ammonifikation bestimmt (siehe Tabelle 2.3).

Die Bodenproben wurden bis zum Zeitpunkt der Probenaufbereitung bei -20 °C gelagert.

Tabelle 2.3 Untersuchungsmethoden der bodenmikrobiologischen Parameter mit Kurzbeschreibung der Methoden, Angabe der DIN-Norm bzw. des Autors und Aufführung möglicher Besonderheiten bei der Probenbearbeitung.

Boden-mikrobiologischer Parameter	Methode	DIN-Norm/ Autor	Besonderheit
Mikrobielle Biomasse (C_{mic} und N_{mic}) nach CFE	Chloroform – Fumigation-Extraktion (CFE): C_{mic} - und N_{mic} -Bestimmung aller im Boden vorhandener Mikroorganismen aus der Konzentration von gelöstem, organischem Kohlenstoff (TOC) und Stickstoff (TON) in der Bodenlösung nach einer Inkubation mit Chloroform. ab 2010: Shimadzu TOC-L und TNM-L	DIN EN ISO 14240-2:2011-09 BROOKES ET AL. (1985) VANCE ET AL. (1987)	Filtration des Eluats der Extraktion über einen Faltenfilter Berechnungsfaktoren: C_{mic} : $K_{EC} = 0,38$ N_{mic} : $K_{EN} = 0,54$
Mikrobielle Biomasse (C_{mic}) nach SIR	Substratinduzierte Respiration (SIR): Bestimmung der glucoseaktiven mikrobiellen Biomasse durch Bestimmung von O_2 und CO_2 mit dem Sapromaten, bzw. von CO_2 mit der Heinemeyeranlage Sapromat ab 2010: SELUTEC GmbH Respirometer BSB digi Heinemeyeranlage MarCo Analytik Hildesheim: 2010-2015: Infrarot-Gasanalysator ADC 225 MK3 (Thünen-Institut Braunschweig) ab 2016: Infrarot-Gasanalysator CIRAS 3-DC (IfB Hamburg)	DIN EN ISO 14240-1:2011-09 nach ANDERSON & DOMSCH (1978) und DIN ISO 17155:2013-12 HEINEMEYER ET AL. (1989)	Verhältnis der Glucose-mischung zur Proben-einwaage nach DIN (1 %), jeweils 0,5 g / 50 g bei der Heinemeyeranlage. Keine Einstellung des Bodenwassergehalts auf 40 % - 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität vor der Messung wie in dem Bericht LLUR (2012).

Fortsetzung Tabelle 2.3

Boden-mikrobiologischer Parameter	Methode	DIN-Norm/Autor	Besonderheit
Mikrobielle Basalatmung (R_B)	<p>Infrarot-Messung der CO₂-Produktion bei der aeroben Bodenatmung heterotropher Mikroorganismen im Durchflussverfahren mit CO₂-haltiger Raumluft; Maß für die mikrobielle Aktivität im Boden</p> <p>Stöchiometrische Berechnung der CO₂-Freisetzung aus dem Verbrauch der 0,1 M Salzsäure bei der Titration der Natronlauge als CO₂-Absorber nach 24-stündiger Inkubation bei 20 °C im Sapromaten</p> <p>Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs durch minütliche Messung des O₂-Partialdrucks während 24-stündiger Inkubation bei 20 °C im Sapromaten</p> <p>Sapromat ab 2010: SELUTEC GmbH Respirometer BSB digi</p> <p>Heinemeyeranlage MarCo Analytik Hildesheim:</p> <p>2010-2015: Infrarot-Gasanalysator ADC 225 MK3 (Thünen-Institut Braunschweig)</p> <p>ab 2016: Infrarot-Gasanalysator CIRAS 3-DC (IfB Hamburg)</p>	DIN 19737:2001-04 DIN 16072:2011-09 DOMSCH (1962) HEINEMEYER ET AL. (1989) und DIN ISO 17155:2013-12	Keine Einstellung des Bodenwassergehalts auf 40 % - 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität vor der Messung wie in dem Bericht LLUR (2012).
Arginin-Ammonifikation (ARG)	Messung der potentiellen Stickstoffmineralisation in Bodenproben	ALEF & KLEINER (1987)	Inkubationsdauer 3 h bei
			30 °C

2.2 Bedeutung der bodenmikrobiologischen Parameter

Die untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter dienen als Indikatoren für den bodenökologischen Zustand. Veränderungen des ökologischen Gleichgewichts, welche durch äußere Einflüsse wie Klima und Bewirtschaftung hervorgerufen werden, spiegeln sich in diesen Parametern relativ kurzfristig wider. Nachfolgend werden die Indikatorfunktionen kurz erläutert.

Mikrobielle Biomasse (C_{mic})

Die mikrobielle Biomasse (C_{mic}) setzt sich aus dem Anteil der lebenden Mikroorganismen der gesamten organischen Bodensubstanz zusammen. Sie umfasst laut Definition alle Organismen kleiner 200 µm. Zur Mikroflora zählen sowohl die prokaryotischen Bakterien und Archaeen sowie Pilze, Flechten und Algen und zur Mikrofauna Protozoen, Rotaria sowie einige kleine Formen von Nematoden. Als Pool von leicht mineralisierbaren Haupt- und Mikronährstoffen mit hohen Umsatzraten stellt die mikrobielle Biomasse sowohl eine Senke als auch eine Quelle für Nährstoffe im Boden dar. Die mikrobielle Biomasse reagiert auf die Art und Menge der Kohlenstoffzufuhr, auf jahreszeitliche Klimaschwankungen, auf die Bewirtschaftungsweise sowie auf abiotische Bodenfaktoren (OTTOW, 2011).

Die mikrobielle Biomasse wird in der vorliegenden Untersuchung durch zwei Methoden bestimmt, die unterschiedliche Mikroorganismen nachweisen. Mit der CFE-Methode werden aktive und ruhende sowie autotrophe und heterotrophe Organismen erfasst. Dagegen wird bei der SIR-Methode nur die glucoseverwertende somit heterotrophe, aktive Biomasse bestimmt. Zudem spielt auch das Verhältnis der mit der CFE-Methode gemessene Gesamtgehalt der mikrobiellen Biomasse (C_{mic}) zu der durch die SIR-Methode bestimmten Biomasse eine Rolle als Indikator. d.h. Veränderungen im Anteil der glucoseverwertenden mikrobiellen Biomasse als Folge von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, Düngungen, Stressoren oder pedogenetischen Bodenentwicklungen lassen sich im $C_{mic-SIR}/C_{mic-CFE}$ -Verhältnis ablesen (OTTOW, 2011).

Mikrobieller Quotient (Q_{mic})

Als quantitativer Anteil der mikrobiellen Biomasse an der gesamten organischen Bodensubstanz ist der mikrobielle Quotient (Q_{mic}) ein Indikator für den Kohlenstoffhaushalt im Boden. Dieser reagiert auf Veränderungen der Kohlenstoffzufuhr wesentlich schneller als der Humusgehalt und zeigt somit durch hohe Werte eine hohe Gesamtzufuhr frischer, leicht verwertbarer organischer Substanz an. Niedrige mikrobielle Quotienten deuten dagegen auf Störungen im Kohlenstoffhaushalt hin, welche z. B. durch eine geringe Kohlenstoffzufuhr oder durch verringerten Kohlenstoffabbau im wassergesättigten Bereich verursacht werden (HÖPER & KLEEFISCH, 2001).

Basalatmung (R_B)

Die Basalatmung (R_B) bezeichnet die aerobe Respiration im Zustand minimaler Energieaufnahme der Mikroorganismen durch die Mineralisation relativ stabiler organischer Reststoffe zur Aufrechterhaltung der Stoffwechselfunktionen und somit die Sauerstoffabgabe und Kohlendioxidfreisetzung. Es findet kein Wachstum der mikrobiellen Biomasse statt. Dieser Zustand wird langfristig erreicht, wenn sich die Kohlenstoffzufuhr und der Kohlenstoffabbau im Gleichgewicht befinden, z. B. durch Einstellung von Düngemaßnahmen. Daraus resultiert eine konstante und standortspezifische Basalatmung. Die Basalatmung korreliert stets signifikant mit der mikrobiellen Biomasse sowie mit dem Gesamtkohlenstoff- und -stickstoffgehalt und kann als Parameter angesehen werden, welcher die Verfügbarkeit von relativ schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen für die Erhaltung der Bodenmikroorganismen charakterisiert (OTTOW, 2011).

Metabolischer Quotient (Q_{met})

Der metabolische Quotient (Q_{met}) berechnet sich aus der Basalatmung und aus der mikrobiellen Biomasse und gibt Auskunft über den pro Zeit- und Biomasseeinheit veratmeten Kohlenstoff. Der metabolische Quotient steht somit für die Effizienz der Substratnutzung der Mikroorganismen. Je kleiner der Quotient ist, desto weniger Substrat wird veratmet und desto mehr Substrat wird in die mikrobielle Biomasse eingebaut (JÖRGENSEN, 1995). Unter Belastung sinkt dagegen die Effizienz der Substratverwertung und der metabolische Quotient steigt. Der Q_{met} kann somit als Indikator für den Einfluss von Bodenbearbeitung bzw. Stressoren herangezogen werden, denn dadurch nimmt Q_{met} zu. Die Entwicklung eines stabilen Zustandes im Bodenökosystem führt dagegen zur Abnahme des Q_{met} (OTTOW, 2011).

2.3 Probenahme

Die Probenahme auf 13 BDF im Frühjahr 2018 wurde durch das LLUR durchgeführt (siehe Tabelle 2.4). Der Zeitpunkt wurde so gewählt, dass die Probenahme nach dem letzten Frost bei nicht mehr vollständig gefrorenem Boden und vor beginnenden Bewirtschaftungsmaßnahmen im Frühjahr stattfand (TISCHER, 2006).

Tabelle 2.4: Im Frühjahr 2018 beprobte BDF mit Datum der Probenahme und Beprobungstiefe.

BDF-Nr.	BDF-Name	Probenahme-datum	Beprobungstiefe
04	Goldelund	27.03.20018	
05	Gintoft	04.04.2018	
06	Sönke-Nissen-Koog	16.04.2018	
09	Schuby	27.03.2018	
10	Maasleben	11.04.2018	
12	Vadersdorf	09.04.2018	
15	Achterwehr	11.04.2018	Ap bis -30 cm
16	Schwartbuck	03.04.2018	
18	Heringsdorf	05.04.2018	
19	Mörel	13.03.2018	
23	Bokhorst	03.04.2018	
27	Tankenrade	10.04.2018	
29	Niederbüssau	17.04.2018	

Das Schema der Probenahme ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Entlang der vier Probenahmestrecken (je 15 Einstiche) am Rand der 1000 m² großen BDF (LLUR, 2014) wurden Bodenproben bis in 30 cm Tiefe aus dem Mineraloberboden entnommen. Die Bodenproben wurden zu jeweils vier Mischproben der einzelnen BDF-Kanten vereinigt.

Um die Umrechnung der ermittelten Ergebnisse auf die Fläche der Horizonttiefe zu gewährleisten, wurden zusätzlich zu den Bodenmischproben an den vier Probenahmestrecken Stechzylinderproben (ungestörte Bodenproben à 100 cm⁻³ Bodenvolumen) zur Ermittlung der Trockenrohdichte entnommen.

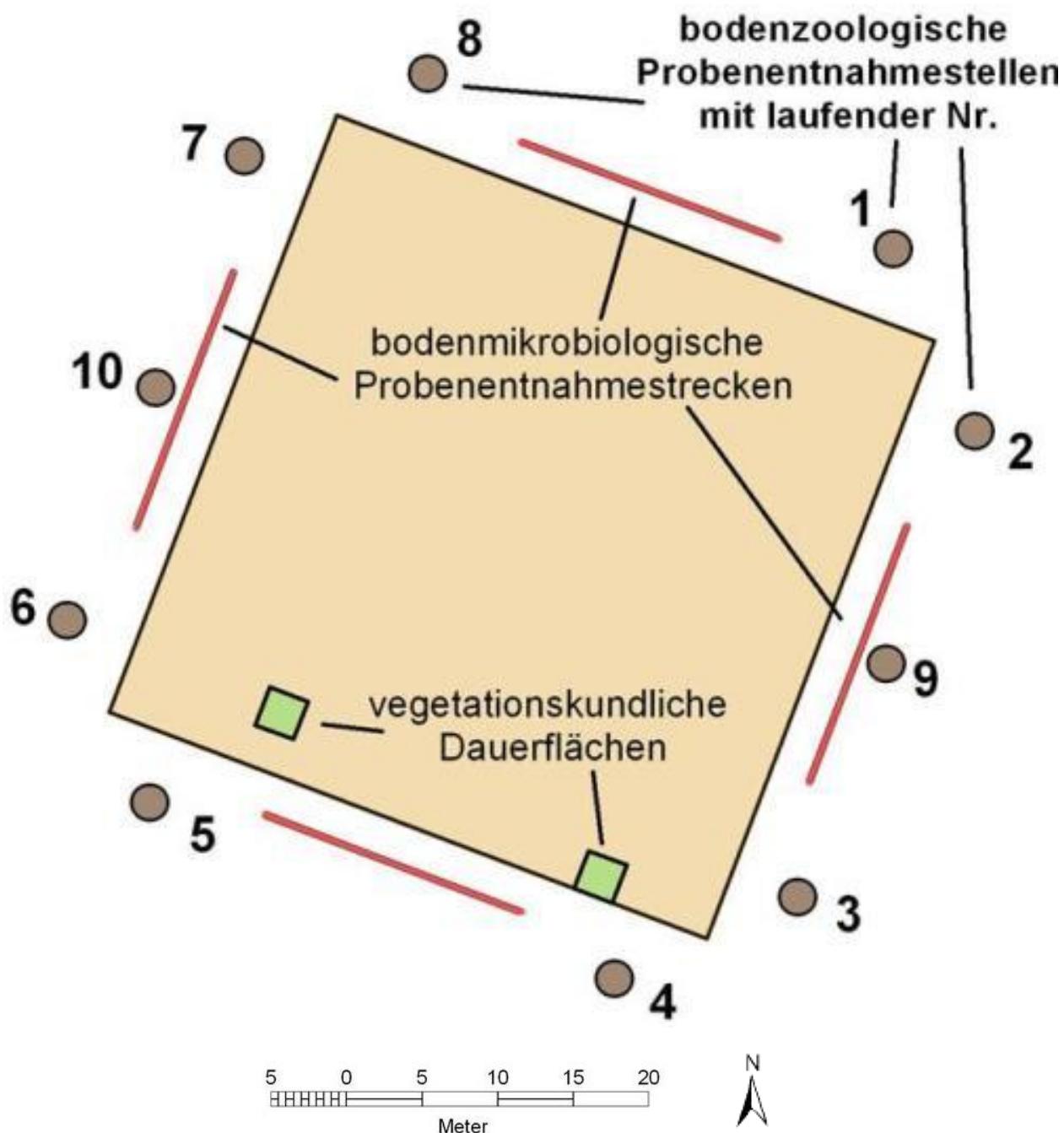


Abbildung 2.1: Schema der Fläche einer Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) mit Schema der Probenahme (aus: LLUR 2014).

In Kapitel 4 ist jedem Standort ein Unterkapitel gewidmet, welches jeweils die Situation während der Probenahme beschreibt und u.a. auch das Probenahmeprotokoll enthält.

2.4 Datenauswertung

Die durch die bodenchemischen und -mikrobiologischen Untersuchungen erhobenen Daten wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2016 auf Gramm Trockengewicht bzw. Gramm Trockengewicht und Stunde und mithilfe der Trockenrohdichte aus den Stechzylinderproben auf m^2 Fläche der jeweiligen Horizonttiefe bzw. m^2 Fläche der jeweiligen Horizonttiefe und Stunde umgerechnet. Anschließend wurde für jeden Parameter der Flächen-Mittelwert aus den Einzelwerten der vier BDF-Kanten mit der zugehörigen Standardabweichung (Flächenheterogenität) berechnet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte ebenfalls mit dem Programm Microsoft Excel 2016.

Die Korrelationen der Untersuchungsparameter wurden als bivariate (zweiseitige) Korrelationen nach Pearson mithilfe der Software IBM SPSS Statistics, Version 21, ermittelt. Hierfür wurden bei den einzelnen BDF die Ergebnisse der gesamten Zeitreihe von der Erstuntersuchung bis zur aktuellen Untersuchung verwendet. Für die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse 2018 wurden die Korrelationen aus den Daten der aktuellen Untersuchung aller BDF ermittelt. Abschließend erfolgte eine Korrelation der Zeitreihen aller BDF zusammen.

Für die Bewertung der erhobenen Daten wurden vom LLUR zur Verfügung gestellte Informationen zu Klima, Nutzung und Standortverhältnissen auf den BDF (z.B. Bodenart) herangezogen und die Klassifikationssysteme für Grünland- und Ackerstandorte von QUIRIN & EMMERLING (2004), (basierend auf den bisherigen Daten zur Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein) verwendet.

3 Standortverhältnisse

3.1 Allgemeiner Überblick

3.1.1 Boden und Geologie und abiotische Faktoren

Die dreizehn im Jahr 2018 untersuchten Acker-BDF sind auf ganz Schleswig-Holstein verteilt und decken die Landschaftsformen Marsch, Geest und Östliches Hügelland ab (Abbildung 1.1).

Die Marsch ist gekennzeichnet durch feinkörnige, bindige Substrate, welche unter dem Einfluss der Gezeiten als marine bzw. perimarine Sedimente nach der letzten Eiszeit abgelagert wurden. Aufgrund ihres Kalkgehaltes sind die Böden, die sich aus diesen Substraten entwickelt haben, zunächst durch höhere pH-Werte charakterisiert (Rohmarschen, Kalkmarschen). Der Boden der BDF06 Sönke-Nissen-Koog spiegelt als Kalkmarsch diese Entwicklung wider.

Die BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby, BDF19 Mörel und BDF23 Bokhorst zählen landschaftlich zu der Geest (Hohe Geest und Vorgeest), welche durch die Altmoränen der Saale-Eiszeit sowie später durch das Periglazial der Weichsel-Eiszeit und durch holozäne Depositionen geprägt wurde. Die Substrate der Geest sind somit auf die direkten Ablagerungen der Gletscher und auf spätere glazifluviatile (Sander) und solifluidale (Decksand) Umlagerungen der Weichsel-Eiszeit und äolische Einlagerungen des Holozäns (Flugsande) zurückzuführen. In der Regel sind die Substrate der Altmoränenlandschaft tiefgründig entkalkt, was die Bodenversauerung an diesen Standorten begünstigt.

Acht der dreizehn BDF (BDF05 Gintoft, BDF10 Maasleben, BDF12 Vadersdorf, BDF15 Achterwehr, BDF16 Schwartbuck, BDF18 Heringsdorf, BDF27 Tankenrade, BDF29 Niederbüssau) befinden sich im Östlichen Hügelland. Dieses zeichnet sich durch ein stärkeres Relief, welches durch die jüngeren Grund- und Endmoränen der letzten Weichselvereisung geformt wurde. Die hügelige Landschaft begünstigte beim Rückgang des Gletschereises das Bodenfließen, so dass das ursprünglich abgelagerte Moränensediment zum Teil als Fließerde umgelagert wurde.

In den einzelnen Unterkapiteln wird auf die Besonderheiten jeder BDF eingegangen. Zur besseren Einordnung und Vergleichbarkeit der untersuchten Standorte werden sie in Abbildung 3.1 im Zusammenhang von bodenkundlicher Feuchtestufe und pH-Wert dargestellt. Die farbigen Bereiche der Graphik stellen die Bodenlebensgemeinschaftstypen nach BEYLICH ET AL. (2005) dar. Zudem befindet sich nachfolgend in Tabelle 3.1 eine Übersicht der geologischen und bodenkundlichen Standortbedingungen.

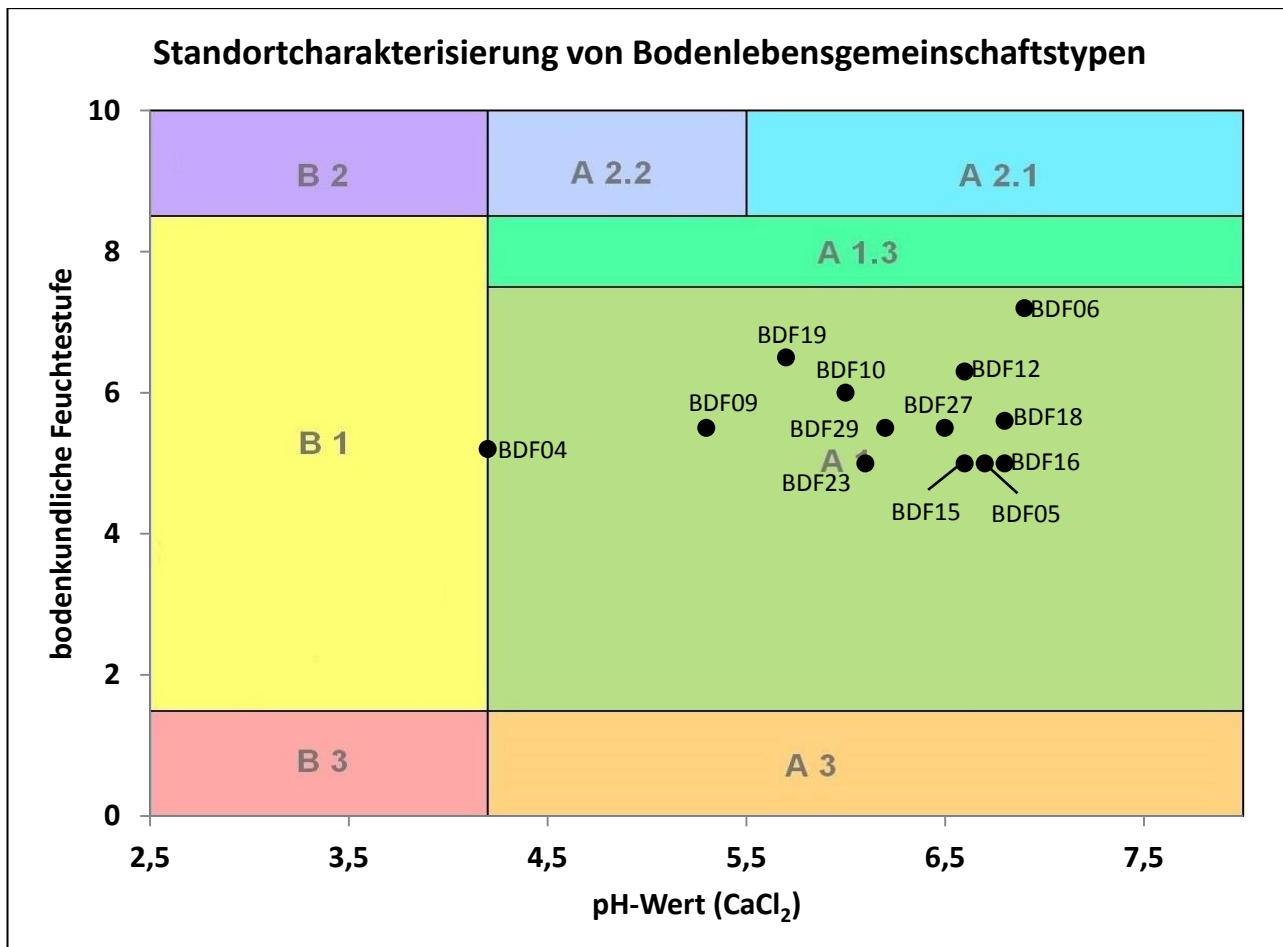
Tabelle 3.1: Zusammenfassung der dreizehn im Jahr 2018 untersuchten BDF mit Angaben zum Naturraum, Substrat, Bodentyp, Bodenart und Stau- bzw. Grundwassereinfluss. Die Bestimmung der Bodentypen und der Bodenarten erfolgte durch das LLUR.

BDF	Name	Naturraum	Substrat Stratigraphie	Bodentyp Bodenart	Grund- bzw. Stauwassereinfluss
04	Goldelund	Vorgeest	Flugsande qh	Gley-Podsol SI3	ab 100 cm
05	Gintoft	Östliches Hügelland	Fließerde qp	Pseudogley- Parabraunerde SI3-SI4	schwache Pseudovergleyung
06	Sönke-Nissen- Koog	Marsch	Marine Schluffe und Tone qh	Kalkmarsch Ls2	ab 100 cm
09	Schuby	Vorgeest	Flugsande qh	Gley-Podsol mSfs-Su2	ab 130 cm
10	Maasleben	Östliches Hügelland	Geschiebelehm qp	Parabraunerde- Pseudogley SI4	starke Hydromorphie- merkmale ab 40 cm
12	Vadersdorf	Östliches Hügelland	Geschiebelehm qp	Pseudogley SI4	ab 150 cm
15	Achterwehr	Östliches Hügelland	Kolluvium qh	Pseudogley- Kolluvisol Su	ab 75 cm
16	Schwartbuck	Östliches Hügelland	Geschiebelehm qp	Pseudogley- Parabraunerde SI4	starke Rostflecken ab 90 cm
18	Heringsdorf	Östliches Hügelland	Geschiebelehm qp	Pseudogley- Parabraunerde SI4	schwache Rostflecken ab 110 cm
19	Mörel	Hohe Geest	Geschiebedecksand qp	Pseudogley- Parabraunerde Su2-Su3	wasserstauend ab 60 cm
23	Bokhorst	Hohe Geest	Geschiebedecksand qp	Braunerde Su2-Su3	nicht vorhanden
27	Tankenrade	Östliches Hügelland	Geschiebelehm qp	Pseudogley- Parabraunerde SI4-Ls3	schwache Rostflecken im Unterboden
29	Niederbüssau	Östliches Hügelland	Beckenschluffe und -tone qp	Braunerde- Pseudogley Lt2-Lu	wasserstauend im Unterboden

qh = Quartär-Holozän, qp = Quartär-Pleistozän

Standortverhältnisse

Aus der Standortcharakterisierung nach Beylich et al. (2005, Abbildung 3.1) geht hervor, dass die im Jahr 2018 untersuchten Ackerflächen im pH- und BKF-Bereich A 1 liegen. Dieser Bereich ist durch stark sauer bis schwach alkalische sowie durch mittel trockene bis schwach feuchte Bodenverhältnisse gekennzeichnet. Lediglich die BDF04 ist durch ihren niedrigen pH am Übergang zum B 1-Bereich (äußerst bis stark sauer) eingeordnet. Somit bieten mit Ausnahme der BDF04 alle Standorte vergleichbare Bedingungen für die bodenzoologischen Lebensgemeinschaften.



A 1	stark sauer bis schwach alkalisch, mittel trocken bis schwach feucht	A 3	stark sauer bis schwach alkalisch, stark bis mittel trocken
A 1.3	stark sauer bis schwach alkalisch, schwach bis mittel feucht	B 1	äußerst bis stark sauer, mittel trocken bis mittel feucht
A 2.1	mittel sauer bis schwach alkalisch, mittel feucht bis nass	B 2	äußerst bis stark sauer, mittel feucht bis nass
A 2.2	stark bis mittel sauer, mittel feucht bis nass	B 3	äußerst bis stark sauer stark bis mittel trocken

Abbildung 3.1: Die im Jahr 2018 untersuchten BDF im Ökogramm der Standortfaktoren. Bodenlebensgemeinschaftstypen A1 bis B3 nach BEYLICH ET AL. (2005). Werte für pH und bodenkundliche Feuchtestufe stammen aus dem Jahr 2015 und wurden vom LLUR erhoben.

3.1.2 Klima- und Witterungseinflüsse

Tabelle 3.2: Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der 15 Monate vor der Probenentnahme, sowie jährliches, 6-jährliches und langfristiges Mittel der im Jahr 2018 untersuchten BDF. Quelle: LLUR.

Projekt	Mittel 1961- 1990	Mittel 2012- 2017	Mittel 2017 Jahr	De.17- Fe.18	Durchschnittstemperatur in °C												2018				
					01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	
04	7,9	9,5	9,6	14,5	2,3	1,5	2,6	6,0	6,9	12,9	15,8	16,2	16,4	13,7	12,2	6,3	4,1	3,1	-0,4	1,6	9,6
05	8,2	9,3	9,4	14,4	2,2	1,3	2,5	5,9	6,8	12,8	15,7	16,1	16,4	13,5	11,7	5,8	3,9	3,1	-0,4	1,3	9,2
06	8,0	9,5	9,6	14,5	2,3	1,6	2,6	6,0	6,9	12,8	15,7	16,2	16,4	13,7	12,2	6,4	4,2	3,1	-0,3	1,5	9,6
09	8,0	9,4	9,5	14,6	2,1	1,1	2,6	6,2	7,1	13,2	16,0	16,3	16,5	13,6	11,8	5,9	3,8	3,0	-0,5	1,6	9,8
10	8,0	9,4	9,4	14,4	2,3	1,2	2,7	5,9	6,9	12,8	15,7	16,1	16,4	13,6	11,7	5,9	3,9	3,2	-0,2	1,4	9,1
12	8,3	9,7	9,9	15,0	2,7	1,4	2,3	5,7	7,3	12,6	16,2	16,8	17,6	14,4	12,4	7,1	4,4	3,5	0,1	1,2	9,1
15	8,3	9,6	9,6	14,7	2,3	1,1	2,6	6,4	7,1	13,2	16,1	16,5	16,7	13,7	11,9	6,1	4,1	3,3	-0,5	1,7	9,9
16	8,4	9,3	9,4	14,5	2,2	0,9	2,4	6,0	6,8	12,8	15,9	16,3	16,7	13,6	11,8	6,1	3,9	3,2	-0,5	1,3	9,2
18	8,3	9,6	9,7	14,8	2,4	1,0	2,3	6,1	7,2	12,9	16,2	16,7	17,2	13,9	12,0	6,4	4,2	3,4	-0,5	1,3	9,5
19	7,8	9,1	9,2	14,3	1,8	0,4	2,2	6,0	6,6	12,8	15,7	16,0	16,2	13,2	11,6	5,7	3,6	2,9	-1,1	1,3	9,9
23	7,9	9,5	9,5	14,6	2,1	0,8	2,6	6,4	7,0	13,2	16,0	16,4	16,5	13,5	12,0	6,1	3,9	3,3	-0,8	1,7	10,2
27	8,1	9,3	9,4	14,5	1,9	0,4	2,2	6,1	6,8	13,1	16,0	16,4	16,6	13,5	11,7	5,9	3,8	3,1	-1,1	1,2	9,9
29	8,1	9,6	9,6	14,9	2,0	0,5	2,1	6,5	7,1	13,7	16,5	16,8	17,0	13,6	11,9	5,9	4,0	3,4	-1,4	1,2	10,7
Niederschlagssumme in mm																					
04	888	947	1098	669	92	46	64	53	53	51	129	71	121	146	151	99	114	119	43	60	84
05	755	868	999	592	81	50	67	53	47	45	118	90	112	108	119	94	96	114	34	58	60
06	763	889	1023	627	84	44	57	52	52	48	116	68	110	137	148	89	102	110	39	49	92
09	894	929	1115	680	89	45	67	55	61	54	124	93	122	132	155	105	102	124	40	55	60
10	766	878	985	584	79	48	62	54	45	39	115	91	108	116	115	90	102	103	32	66	64
12	569	571	679	450	39	33	35	42	32	53	99	92	52	66	88	43	44	60	12	78	61
15	791	839	986	582	76	45	63	57	53	51	125	105	74	86	141	94	92	113	24	58	62
16	703	726	888	549	69	46	44	49	55	52	119	121	64	74	119	62	83	98	25	57	59
18	597	628	752	498	44	40	34	48	32	58	107	101	52	78	102	49	51	67	15	74	56
19	904	950	1141	671	90	57	65	63	60	59	147	123	77	93	172	117	108	140	23	51	57
23	966	997	1207	697	103	61	67	70	56	51	150	124	77	103	192	126	130	151	28	49	51
27	724	778	965	596	69	54	55	58	48	60	136	121	58	78	143	77	104	25	67	38	
29	670	658	860	553	61	46	42	52	41	65	145	102	51	82	108	67	59	94	29	65	29

In der mittel- und langfristigen Bewertung der Entwicklung der Bodendauerbeobachtungsflächen spielen auch klimatische Einflüsse eine Rolle. Der Tabelle 3.2 kann entnommen werden, dass die Durchschnittstemperatur im Vorjahr 2017 auf allen BDF durchschnittlich 1,4 °C über dem langjährigen Mittel (1961-1990) lag. Damit zeigt sich zwar langfristig ein zunehmender Trend der Temperaturen, kurzfristig jedoch eine Temperaturabnahme, da der Unterschied zum langfristigen Mittel im Vorjahr der letzten Untersuchungskampagne 2014 bei 2,5 °C lag. Gegenüber dem Zeitraum 2012-2017 lag die mittlere Jahrestemperatur 2017 nahezu auf dem gleichen Niveau.

Die Niederschlagsmengen des Jahres 2017 zeigten durchweg hohe Werte. Verglichen mit dem langjährigen Mittel (1961-1990) waren die Niederschlagsmengen 2017 im Durchschnitt ca. 200 mm höher und auch in Bezug auf den Zeitraum 2012-2017 lag 2017 eine positive Differenz von durchschnittlich ca. 150 mm vor.

3.1.3 Bewirtschaftung

Die dreizehn im Jahr 2018 untersuchten BDF unterliegen alle der konventionellen ackerbaulichen Nutzung. Auf allen Flächen dominiert der Getreideanbau, welcher jedoch in unterschiedlicher Weise durchgeführt wird. Die überwiegende Anzahl der Ackerflächen dient dem Anbau von Winterweizen. Auf vier Flächen (BDF04, 05, 09 und 23) wird Maisanbau zum Teil langjährig (BDF04 und 09) praktiziert. Der Anbau von Zuckerrüben erfolgt nur vereinzelt und unregelmäßig, Winterraps als weitere Blattfrucht findet sich jedoch in der Fruchtfolge aller BDF (mit Ausnahme der BDF04) vereinzelt bis regelmäßig (BDF05, 10, 18, 27) wieder. Neben Monokulturen von Mais und Winterweizen werden auf den BDF auch klassische Fruchtfolgen aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste angebaut.

Die BDF23 stellt die einzige Fläche dar, welche zwischenzeitlich als Grünland genutzt und mit bis zu 36 GVE/ha (1992 bis 1995) intensiv beweidet wurde. Die Nährstoffversorgung erfolgt auf allen Ackerflächen durch Düngung mit organischen und mineralischen Düngern in unterschiedlicher Intensität (Tabelle 3.3). Die Düngung sowie der Einsatz kombinierter Pflanzenschutzmittel (Herbizide, Insektizide, Fungizide) und die mechanische Bodenbearbeitung zielen auf eine hohe Produktivität der Böden ab und verhindern die Ausbreitung natürlicher Pflanzengesellschaften.

Tabelle 3.3: Zusammenfassung der Nutzungsformen mit der überwiegenden Düngung und der letzten Kulturpflanze zum Beprobungszeitpunkt der dreizehn untersuchten BDF aus den Angaben der Standortbeschreibungen, der Probenahmeprotokolle und der Schlagkartei.

BDF	Name	Nutzung	letzte Kulturpflanze	Düngung
04	Goldelund	überwiegend Maismonokultur	Mais	viel Mineralstickstoff, Gülle, Mist, Gärreste
05	Gintoft	Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Wintergerste	Mais	sehr viel Mineralstickstoff, Gärreste
06	Sönke-Nissen-Koog	weizenbetonter Marktfruchtbau	Winterweizen	sehr viel Mineraldünger, wenig Gülle
09	Schuby	Mais, abwechslungsreiche Fruchtfolge	Mais	Mineraldünger und Gärreste
10	Maasleben	Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Wintergerste	Winterweizen	nur mineralisch und Klärschlamm
12	Vadersdorf	winterweizenbetonte Fruchtfolge	Winterweizen	viel Mineralstickstoff, Strohdüngung
15	Achterwehr	Fruchtfolge Zuckerrübe, Winterweizen, Winterweizen	Winterraps	viel Mineralstickstoff, Gülle
16	Schwartbuck	Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Wintergerste	Winterweizen	viel Mineralstickstoff, Erntereste
18	Heringsdorf	Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Winterweizen	Winterweizen	sehr viel Mineralstickstoff
19	Mörel	abwechslungsreiche Fruchtfolge	Winterweizen	sehr viel Mineraldünger, Gülle
23	Bokhorst	sehr vielseitige Fruchtfolge	Mais	Gülle, Mist, Gärreste, wenig Mineraldünger
27	Tankenrade	Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Winterweizen	Winterweizen	Mineraldünger, Erntereste
29	Niederbüssau	überwiegend Winterweizen, Blattfrüchte	Zucchini	mineralisch und wenig Gülle

3.2 BDF04 Goldelund



3.2.1 Landschaft

Die BDF04 liegt etwa 12,5 km südöstlich von Leck in der Schleswiger Vorgeest. Sie befindet sich in tiefer gelegenen Teilen der Vorgeest. Diese wird hier von den verbreiteten Gley-Podsolen aus Schmelzwassersand dominiert. In den Senken gehen sie in gering verbreitete Gleye, sowie seltenen Anmoorgleye und Moorgleye über. Niedermoore sind hier sehr selten. Mit ansteigendem Relief treten verstärkt mächtigere Flugsanddecken bis geringmächtige Dünen auf, aus denen sich die gering verbreiteten Podsole entwickelt haben. Der 1 km südlich gelegene Ort Goldelund

befindet sich auf einer Altmoräne. Deren Geschiebebedecksandschicht ist häufig mächtig, weswegen sich hieraus häufig Podsole bis Gley-Podsolen entwickelt haben. Südlich von Goldelund reicht der Geschiebelehm dichter an die Geländeoberfläche heran, über dem sich das Wasser stauen kann. Dies hat hier zur Ausbildung von hier seltenen Pseudogley-Braunerden geführt.

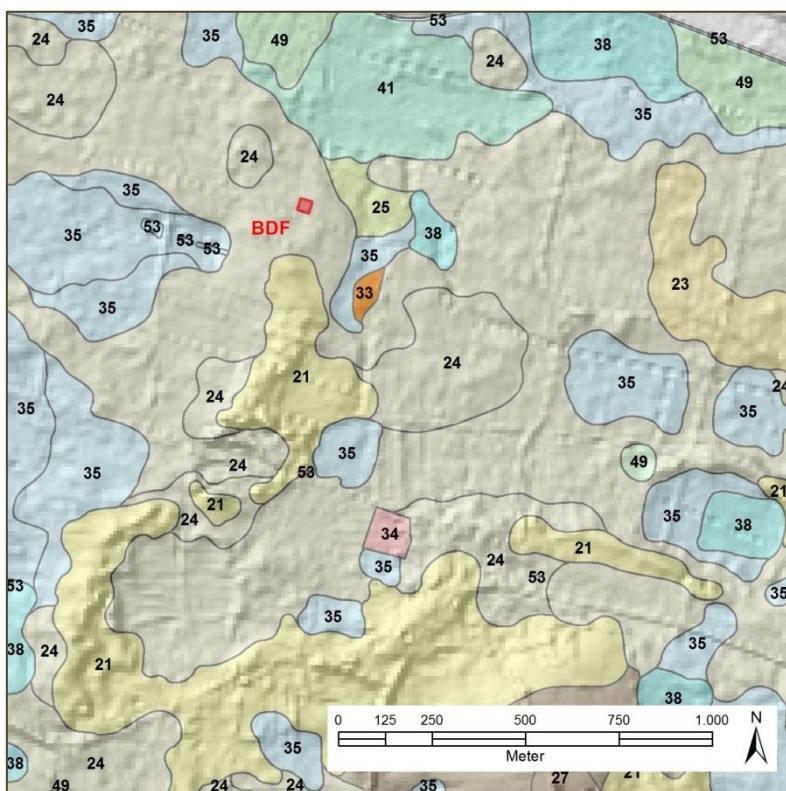


Abbildung 3.2: Bodenformen im Umland der BDF04 (Legende im Anhang S. 295)

3.2.2 Boden und Geologie

Der Gley-Podsol der BDF ist aus einer ca. 80 cm mächtigen Flugsanddecke über Schmelzwassersand entstanden. Das gesamte Profil besteht aus mittelsandigem Feinsand bis Mittelsand. Der Oberboden besteht aus mittel lehmigem Sand und ist rund 3,5 % mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull weiten C/N-Verhältnis von 14. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 4,3-4,4 sehr niedrig und im unteren Rand des Austauscher-Pufferbereiches. Die leicht löslichen Gehalte an Hauptnährstoffen sind hoch bis sehr hoch. Die hydromorphen Merkmale des Unterbodens weisen ab 40 cm Tiefe unter GOF auf einen Grundwassereinfluss hin. Da die heutigen Grundwasserhöchststände im Winter bei ca. 100 cm liegen, müssen die Grundwasserhorizonte bis in diese Tiefe als relikтив gelten.

3.2.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Der Standort zählt landesweit zu den etwas kühleren und feuchteren im Land. Im Zeitraum von 1961-1990 betrug die Jahresschnittstemperatur 8,0 °C und die Jahresniederschlagssumme 849 mm, was deutlich auf Steigungsregen aufgrund der höheren Lage zum westlichen Vorland hinweist. In den letzten sechs Jahren war es demgegenüber 1,3 °C wärmer bei einer um ca. 50 mm höheren Jahresniederschlagssumme von 902 mm. Der Standort besaß kaum oder keinen Grundwasseranschluss und wurde als mittel frisch eingestuft (BKF 4,8). Das vergangene Jahr hingegen war vergleichbar warm wie in den letzten 6 Jahren. Aufgrund etwas höherer Temperaturen und etwas niedrigeren Niederschlägen war der Standort etwas trockener, d. h. eher schwach frisch (BKF 4,2).

Die Jahresschnittstemperatur beträgt 7,9°C. Die eher hohen Jahresniederschläge von 888 mm sind auf die nahe Lage zur höher gelegenen Altmoräne zurückzuführen.

Der sandige Standort liegt einige Meter über den tieferen Stellen der Umgebung und ist daher gut drainiert. Im Durchschnitt der Jahre liegt die bodenkundlichen Feuchtestufe bei 5 der Standort ist also als mittel frisch anzusprechen. Das Grundwasser steht im Jahresschnitt zwischen 140 und 190 cm tief unter GOF. Von der Feldkapazität von 173 mm sind etwa 129 mm pflanzenverfügbar. Dieses Angebot wird von einem kapillarem Aufstieg von rund 150 mm/a ergänzt.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grundw. (cm Tiefe)
1961-1990	7,9	888		
2012-2017	9,5	947	4,7	148
2017	9,6	1.098	6,1	141

Tabelle 3.4: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm unter Geländeoberfläche

In den Jahren von 2012 bis 2017 lag die Temperatur im Schnitt bei 9,5 °C und damit etwa 1,5 °C höher als im Schnitt des langjährigen Durchschnittes von 1961-1990. Die jährliche Niederschlagssumme lagen stieg um rund 66 mm auf rund 950 mm, schwankte aber von Jahr zu Jahr sehr. Der Standort wurde als mittel frisch eingestuft.

Das Jahr 2017 war vergleichbar warm wie in 2012-2017, aber es fielen mit fast 1.100 mm etwa 150 mehr Niederschläge. Der Standort wurde bei einer bodenkundlichen Feuchtestufe 6 (stark frisch) deutlich feuchter eingestuft. Der Sprung war besonders groß zum Jahr 2016, wo etwa 260 mm weniger Niederschlag fiel und der Standort als mittel trocken eingestuft wurde.

Standortverhältnisse

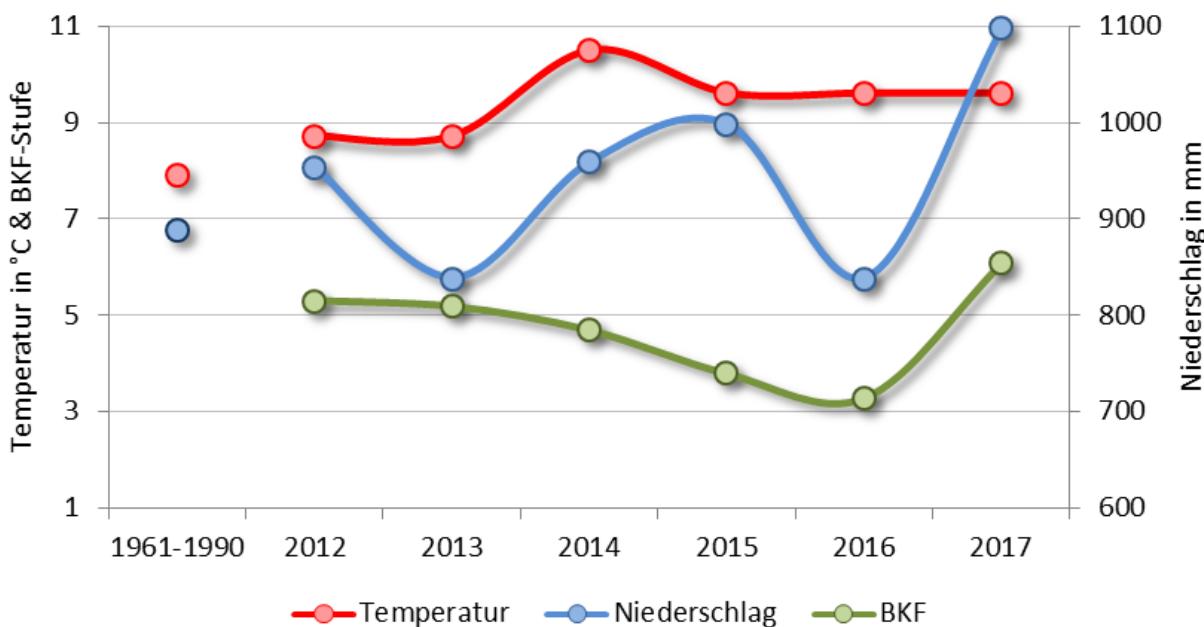


Abbildung 3.3: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF04

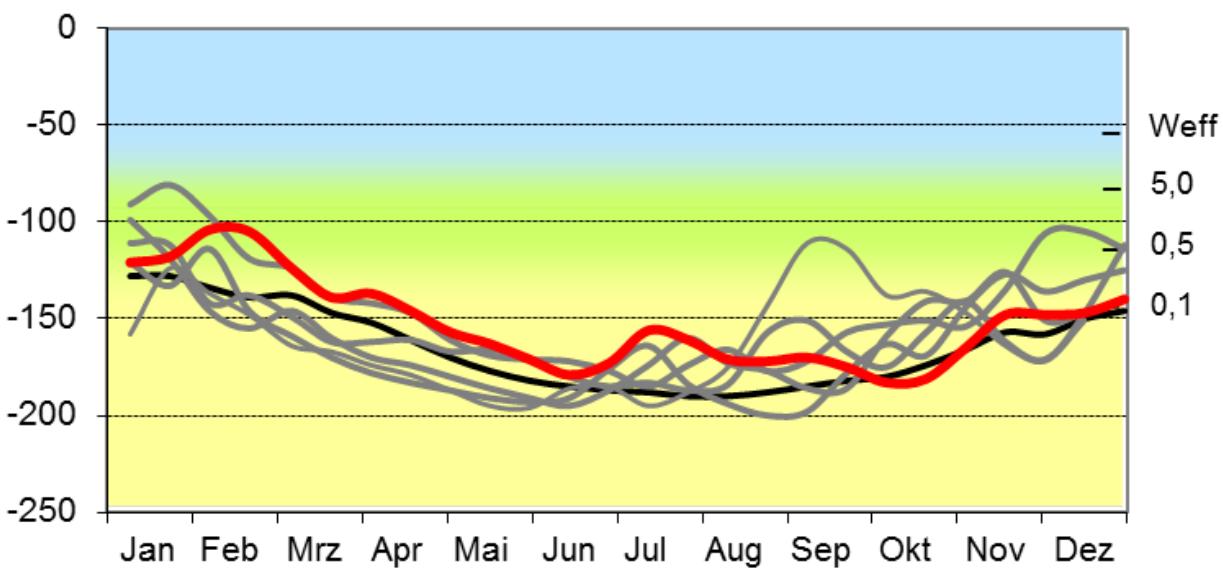


Abbildung 3.4: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017 (schwarz, Durchschnitt), 2012 - 2016 (grau) sowie 2017 (rot), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

Der Winter 2018 war mit einer Durchschnittstemperatur von 3,0°C so warm, aber mit 156 mm Niederschlag deutlich trockener wie im Zeitraum 2012-2017. Im Zeitraum 1961-1990 war es mit einer Temperatur 0,8°C und 64 mm Niederschlag deutlich kühler und trockener.

3.2.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die Bodenschätzung hat die Böden als eher nass und für die Grünlandnutzung geeignet angesprochen. Nach dem DLM (Stand 02.2009) werden heutzutage die offenen Flächen werden aber fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei nimmt der Maisanbau zur Futtergewinnung und in jüngster Zeit auch für die Biogasgewinnung eine hervorragende Stellung ein. Das Grünland ist nur selten anzutreffen, obwohl auf etwa 20% der Fläche deutlich grundwasserbeeinflusste Böden vorkommen. Im Rahmen des Aufforstungsprogrammes für so genannte Grenzertragsstandorte wurde auf trockenen Podsolen neuer Wald begründet, der heute etwa 3% der Fläche ausmacht.

Auf dem Standort wurde von 1991 bis 2017 ausschließlich Mais in Monokultur angebaut, bei einem relativ hohen Düngeneiveau von gut 200 kg N / ha x a. Allerdings unterblieb bis 2007 die Kalkung, was zu einer relativen Versauerung des Standortes führte. In 2008 und 2009 wurde jeweils eine Melorationskalkung von 2 t Kalk / ha durchgeführt und seitdem erhält der Standort öfters Kalk. Jedes Jahr gelangen etwa 35-40 m³ Gülle sowie in unregelmäßigen Abständen oft 100 dt Mist auf die Fläche. In 2015 und 2016 wurden erstmalig 35 und 40 m³ Biogasgärreste ausgebracht. Die Bodenbearbeitung umfasst eine regelmäßige Stoppelbearbeitung, Pflugeinsatz sowie eine Saatbettbereitung. Das Pflanzenschutzniveau ist relativ niedrig. Meist wird kurz nach der Aussaat eine Unkrautbekämpfung durchgeführt. In 2017 ist das Düngeneiveau drastisch zurückgefahren, aber gekalkt worden.

Tabelle 3.5: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)	Düngung, Stickstoff (kgN/ha)	Düngung, Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Düngung, Guelle (m ³ /ha)	Düngung, Biogasgärreste (m ³ /ha)	Düngung, Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anz.)	tiefere Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anz.)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1991-2017	Mais im Selbstanbau	264	170	282	39		125	0,9	0,9	1,0	0,5	1,3	2,8	
2003-2017	Mais im Selbstanbau	129	217	117	507	41		69	0,8	0,8	1,0	0,5	1,4	3,1
2012-2017	Mais im Selbstanbau	138	212	122	573	36	13	98	1,0	1,0	1,7	0,2	1,2	2,3
2017	Mais im Selbstanbau	155	85	71	840	35		70	1,0	1,0	2,0		1,0	4,0

Standortverhältnisse

Tabelle 3.6: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1990

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kulturertrag (dt/ha), * = m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Biogasgereste (m³/ha)	Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anz.)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1990	Mais			60	54						1	2	1			2	5
1991	Mais			64	663	591		40	600		2	1	2				
1992	Mais				532	474		40	400							1	2
1993	Mais				360	300		40	200	1	1	1			2	3	
1994	Mais				462	266		40	300	1	2	1			1	2	
1995	Mais				406	379		40	350	1	1	2			2	2	
1996	Mais				346	205		35	300	1	1				2	1	
1997	Mais				304	196		40	200	1	1	2			1	2	
1998	Mais				184	96		40		1	1				1	1	
1999	Mais				58	47		5		1	1	1	1	1	1	3	
2000	Mais				184	96		40		1	1	1	1	1	1	3	
2001	Mais				184	96		40		1	1	1	1	1	1	3	
2002	Mais				184	96		40		1	1				1	3	
2003	Mais				184	96		40		1	1				1	3	
2004	Mais				256	124		60		1	1				1	1	
2005	Mais				238	117		55		1	1				1	1	
2006	Mais				184	96		40		1	1				1	1	
2007	Mais				130	302	163	45	200						1	1	
2008	Mais				120	214	118	2083	40	100					2	1	
2009	Mais				110	214	118	2083	40	100					2	1	
2010	Mais				120	203	95		35	20	1	1	1		2	4	
2011	Mais				110	186	105		35	20	1	1	1		2	3	
2012	Mais				122	326	189	840	35	300	1	1	2		1	2	
2013	Mais				125	213	105	960	35	20	1	1	1		2	4	
2014	Mais				144	194	106	800	40		1	1	2		1	2	
2015	Mais				140	226	129		35	40	100	1	1	1	1	1	
2016	Mais				140	226	129		35	35	100	1	1	2		1	
2017	Mais				155	85	71	840	35	70	1	1	2		1	4	

Tabelle 3.7: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018

Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
05.05.	organische Düngung	Rindergülle	35	m ³ /ha
	Stoppelbearbeitung	Grubber	10	cm Tiefe
07.05.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
08.05.	Kalkung	kohlensaurer Kalk	2000	kg/ha
09.05.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	Mineraldüngung	NP (20/20)	250	kg/ha
	Saat	Mais	25	kg/ha
11.05.	organische Düngung	Rindermist	70	dt/ha
03.06.	Herbizideinsatz	Cato	0,03	kg/ha
		Certrol	0,25	l/ha
		Callisto	0,5	l/ha
		Successor	2	l/ha
18.10.	Ernte	Mais	155	dt/ha
15.11. Tierfang für bodenzoologische Untersuchung				
keine Bewirtschaftungsdaten verfügbar, aber zum Zeitpunkt der Probenentnahme weder Bodenbearbeitungsmaßnahmen noch Düngespuren erkennbar				
27.03. Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung				

3.2.5 Vegetationskunde

Der Boden wurde 1991, 1994, 1997 und 2005 untersucht. Aus pflanzensoziologischer Sicht befindet sich auf der BDF eine artenarme Maismonokultur. Sie besitzt nur ein bescheidenes Arteninventar, was auf Herbizid- und Düngereinsatz und die häufige Bodenbearbeitung zurückzuführen ist. Der Boden ist auf der Grundlage der Pflanzengesellschaft als gestört, mittelfeucht und stickstoffreich einzuschätzen.

3.2.6 Bodenzoologie

Im Untersuchungsjahr 2017 wurden sowohl endogäische als auch epigäische Regenwürmer nachgewiesen. Abundanz und Biomasse der Regenwürmer erreichten verglichen mit den Referenzwertbereichen für sandige Ackerstandorte nach BEYLICH & GRAEFE (2009) hohe Werte. Die Abundanz der Kleinringelwürmer ist dagegen als durchschnittlich einzustufen. Die Artenzahlen können für diese Standortskategorie als hoch (Kleinringelwürmer) bzw. sehr hoch (Regenwürmer) angesehen werden.

Hauptmerkmal der Artengemeinschaft der Ringelwürmer ist die hohe Dominanz der *Enchytraeus*-Arten unter den Enchytraeiden sowie das Fehlen anecischer Regenwürmer. Diese Merkmalskombination ist typisch für den Zersetzergesellschaftstyp *Fridericio-Enchytraeetum*. Zwar ist ein

Standortverhältnisse

Teil der vorkommenden Kleinringelwurmarten säuretolerant, doch dominieren die Schwachsäurezeiger deutlich.

Seit der Erstuntersuchung schwanken die Aktivitätsparameter beider Tiergruppen stark, ausgelöst durch unterschiedliche Bewirtschaftungsmaßnahmen. Entscheidend für die Entwicklung der letzten zehn Jahre sind 1. wiederholte Kalkungen, die zu einem leichten Rückgang der Säurezeiger geführt haben und 2. die regelmäßige Ausbringung von Mist, die das Auftreten epigäischer Regenwurmarten sowie die hohe Dominanz von r-Strategen unter den Kleinringelwürmern fördern. Das Auftreten der säureempfindlichen anecischen Arten ist selbst bei regelmäßiger Kalkung wenig wahrscheinlich, solange jährlich wendend bearbeitet wird. Eine Entwicklungstendenz in Richtung *Fridericio-Lumbricetum* ist derzeit nicht erkennbar.



Abbildung 3.5: Bodenoberfläche der BDF04 bei der Probenentnahme am 27.03.2018

3.3 BDF05 Gintoft



3.3.1 Landschaft

Die BDF05 liegt etwa 21 km östlich von Flensburg in Nordangeln an der Flensburger Außenförde.

Die BDF liegt etwa 31 m über der Ostsee auf einem Moränenrücken. Dieser besteht hier aus Geschiebelehm. Daraus sind an trockenen Stellen überwiegend Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden entstanden, die in tieferen Geländepositionen in Pseudogleye und Gleye übergehen. In den Senken und in den Tälern, die zur Flensburger Förde hin entwässern, befinden sich zahlreiche kleine, teilweise mächtige Niedermoore.

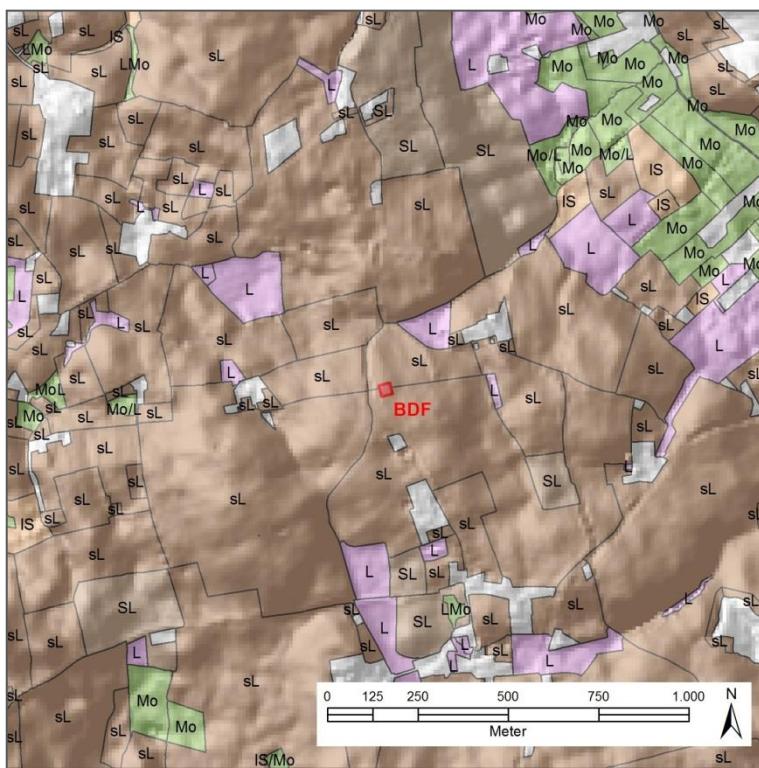


Abbildung 3.6: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF05; (L=Lehm, sL=sandiger Lehm, SL=stark lehmiger Sand, IS=lehmiger Sand, Mo=Moor, Mo/L=Moor über Lehm, LMo="Moorlehm").

3.3.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Parabraunerde ist aus einer Fließerde über Geschiebelehm entstanden. In etwa einem Meter Tiefe steht der Geschiebemergel an.

Der Oberboden aus mittel bis stark lehmigem Sand ist mit 2,0-2,4 % Humusanteil mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 9-10. Der pH (CaCl_2) ist mit Werten von 6,5-7,0 für Ackerböden neutral und liegt im Carbonat-Pufferbereich. Die leicht löslichen Gehalte an Hauptnährstoffen sind hoch bis sehr hoch. Der schwach pseudovergleyte Unterboden geht in stark lehmigen Sand bis stark sandigen Lehm über, dem ab etwa 1 m Tiefe der kalkhaltige Geschiebemergel folgt.

3.3.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,2 °C. Die Jahresniederschläge von 755 mm deuten bereits auf eine Lage im Regenschatten des Mittelrückens (Schleswiger Geest) hin.

Der lehmige Standort liegt auf einem Moränenrücken, der bereits nach gut einem Kilometer in die 30 m tiefer gelegene Haberniser Au und von dort in die Ostsee entwässert. Aufgrund des lehmigen Substrates reicht die effektive Durchwurzelung nur bis 76 cm. Von der Feldkapazität von 191 mm sind nur 82 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleyung besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch den Getreide- und Rapsanbau verstärkt wird. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist im Schnitt der letzten Jahre als schwach frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,2	755	
2012-2017	9,3	868	4,5
2017	9,4	999	5,5

Tabelle 3.8: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um gut 1 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei um gut 100 mm (15 %) erhöhten Niederschlägen. Der Standort wurde als mittel frisch eingestuft.

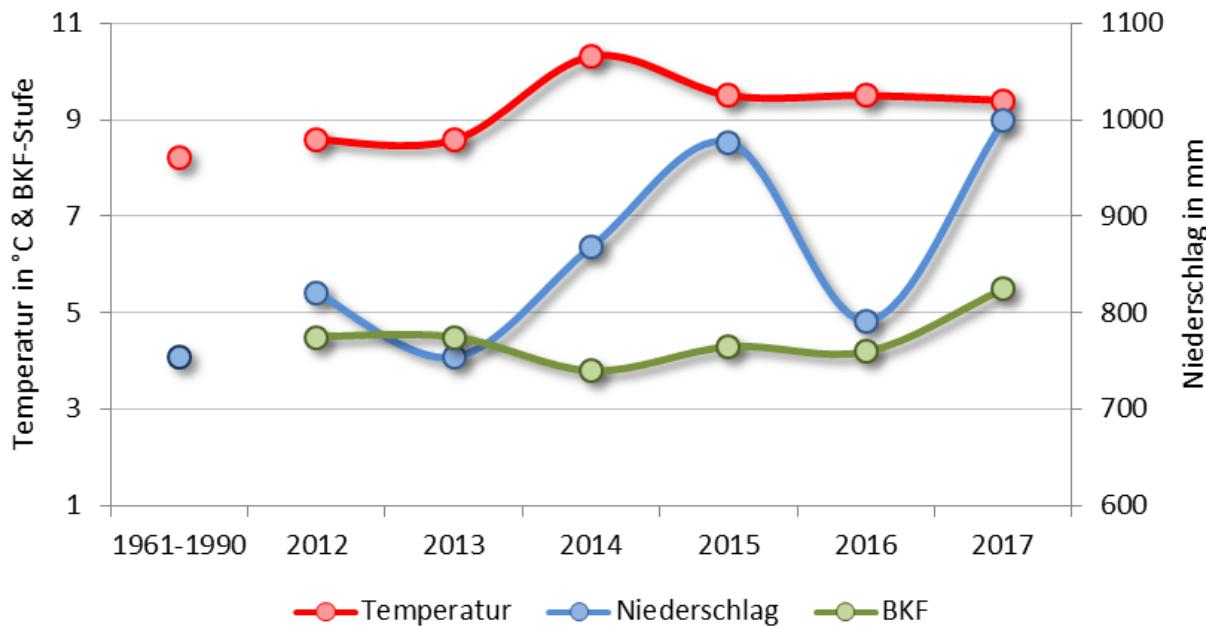


Abbildung 3.7: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF05

Das Jahr 2017 war im Vergleich zum Zeitraum 2012-2017 mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,4 °C vergleichbar warm bei fast 1000 mm (nochmals 15 % erhöhten) Niederschlägen. Die bodenkundliche Feuchtestufe sprang von mittel frisch auf stark frisch (BKF6).

3.3.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominiert der Getreidebau mit der klassischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste. Der Maisanbau hat nicht zuletzt wegen der Förderung der Biogaserzeugung erhebliche Flächenanteile erringen können. Das Grünland ist nur selten und bevorzugt in den grundwasserbeeinflussten Senken anzutreffen. Zur Flensburger Förde hin liegen einige kleine Waldflächen.

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren in der typischen Ackerbau-Fruchtfolge des Östlichen Hügellandes, bestehend aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste, bewirtschaftet. Seit 2012 wurde diese für das Östliche Hügelland typische Fruchtfolge durch eine „Fruchtfolge“ aus Mais und Winterweizen ersetzt und das bis 2009 regelmäßig auf dem Feld verbleibende Stroh wird seitdem abgefahren. Das Niveau des Mineralstickstoffeinsatzes, der Kalkung und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist sehr hoch. Obwohl es seit 2012 etwas reduziert wurde ist dieses Niveau immer noch als mindestens hoch zu bezeichnen.

Tabelle 3.9: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Biogasgärreste (m³/ha)	Erntereste (Verbleib auf Feld)	wendende Bodenbearbeitung (Anz.)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anz.)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1991-2017	Raps-Weizen-Gerste	171	44	547	9	6	0,6	0,8	0,9	0,6	1,9	4,3	8,1
2003-2017	seit 2012 Mais-Weizen	168	34	351	4	11	0,5	0,7	0,9	0,9	1,1	5,1	10,7
2012-2017	Mais-Weizen	132	37	311		28		0,8	0,8	1,2	0,5	2,7	8,0
2017	Mais	168	91	91		40		1,0	1,0	1,0		2,0	6,0

Tabelle 3.10: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1990

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)	*=m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Biogasgärreste (m³/ha)	Erntereste (Verbleib auf Feld)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1990	Winterraps	34	115	55	3108	15			1					2	2
1991	Winterweizen	89	102	100	1243	40			1	1	1		1	3	3
1992	Wintergerste	84	182	74	1088	27			1				4	5	5
1993	Winterraps	42	165	65	1085	20			1	1	1		2	2	2
1994	Winterweizen	90	146	40		20				1	1		4	4	6
1995	Wintergerste	74	182	50	2426	25				1	1		3	4	7
1996	Winterraps	35	140	45		10			1	1	1		4	1	1
1997	Winterweizen	111	197	20					1	1	1		4	3	4
1998	Wintergerste	85	200	74	1730	27			1	1	1		4	4	8
1999	Wintergerste	83	194	50	682	25				1	1		3	6	10
2000	Winterraps	38	171	25					1	1	1		3	1	1
2001	Winterweizen	105	221	131					1	1	1	1	2	4	7
2002	Winterweizen	79	206	20	1260				1	1	1	1	2	6	9
2003	Wintergerste	77	193	80	1554	30			1	1	1	1	2	9	13
2004	Winterraps	52	216	25					1		1		2	4	7
2005	Winterweizen	87	158	20					1	1	1	2	1	6	13
2006	Winterweizen	96	173	20					1					6	12
2007	Winterraps	44	169	50		15			1		1		2	12	12
2008	Winterweizen	90	178	20					1	1	1	1	2	4	11
2009	Winterweizen	102	197	45	1848	15			1	1	1	1	2	9	17
2010	Winterraps	45	142								1		1	3	8
2011	Winterweizen	99	298	22						1	1	2		3	16
2012	Winterweizen	89	253	26	1865		9		1	1	1			3	11
2013	Mais	154	59	46			26		1	1	1			2	6
2014	Mais	176	20	9			50		1	1	3	1		2	7
2015	Winterweizen	105	182	26			25		1	1	1	1		4	7
2016	Winterweizen	87	178	24			20						1	3	11
2017	Silomais	168	97	91			40		1	1	1			2	6

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt in der Regel bis zu zwei Wochen vor der Aussaat der Folgefrucht. Diese erfolgt für Winterraps in der zweiten Augusthälfte, für Wintergerste Mitte September, für Winterweizen in der zweiten Septemberhälfte bis Anfang Oktober sowie für Mais Ende April bis Anfang Mai. Bis zu drei Wochen nach der Aussaat erfolgt die erste Herbizidbehandlung. Nach der Winterruhe beginnen bei Winterfrüchten die Pflanzenschutzmaßnahmen Mitte April bis Anfang Mai. Dazu werden an zwei bis drei Terminen bis Mitte Juni oft im Cocktail Herbicide, Fungizide, Wachstumsregulatoren und für die Nährstoffversorgung Stickstofflösungen gespritzt. Wintergerste wird Ende Juli, Winterraps Ende Juli bis Anfang August, Winterweizen Mitte August sowie Mais in der ersten Oktoberhälfte geerntet. Das Ertragsniveau ist meist hoch. Das Stroh verbleibt meist, seit 2012 nicht mehr, auf dem Feld. Nach der Ernte wird in unregelmäßigen Abständen Schweinegülle oder Kalium- und Phosphordünger ausgebracht. Eine Brache wird nicht eingeschaltet. Bis zur Aussaat der nächsten Frucht vergehen, mit Ausnahme beim Wechsel Winterweizen zu Mais meist bis zu sechs Wochen, selten mehr als zwei Monate.

Tabelle 3.11: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018

Jahr	Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	10.04.	Mineraldüngung	Kornkali	150	kg/ha
	20.04.	organische_Düngung	Biogasgärrest	20	m³/ha
	25.04.	Melioration	Tiefengrubber	20	cm Tiefe
	28.04.	Unterfußdüngung und Saat	DAP	180	kg/ha
			Silomais	260	kg/ha
	02.06.	Herbizideinsatz	Calaris	0,8	l/ha
			Cato	0,02	kg/ha
			Dual Gold	0,65	l/ha
			Peak	0,07	kg/ha
	20.06.	organische_Düngung	Biogasgärrest	20	m³/ha
	22.06.	Mineraldüngung	Harnstoff	100	kg/ha
	14.10.	Ernte	Silomais	168	dt/ha
	30.10.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
		Saatbettbereitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
		Saat	Winterweizen	170	kg/ha
	05.11.	Herbizideinsatz	Herold	0,15	l/ha
		Fungizideinsatz	Fence	0,15	l/ha
2018	27.02.	Mineraldüngung	SSA	200	kg/ha
	18.03.	organische_Düngung	Biogasgärrest	25	m³/ha
	10.04.	Mineraldüngung	Kornkali	150	kg/ha
	04.04. Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung				

Standortverhältnisse

Im letzten Jahr wurde vor der Maisbestellung nicht gepflügt. Der Mais erhielt 88 kg N/ha, 40 m³/ha Biogasgärreste und eine Herbizidbehandlung mit vier Mitteln. Geerntet wurde Mitte Oktober. Ende Oktober wurde direkt nach der Pflugfurche Winterweizen eingebracht und Anfang November eine erste Herbizid- und Fungizidbehandlung durchgeführt. In 2018 wurden noch vor der Probenentnahme Ende Februar Mineraldünger und Mitte März Biogasgärreste ausgebracht.



Abbildung 3.8: Bodenoberfläche der BDF05 bei der Probenentnahme am 04.04.2018

3.3.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2006 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die gefundenen Arten ließen keine Zuordnung zu einer Pflanzengesellschaft zu. Dies ist auf die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch Herbizideinsatz zurückzuführen.

3.3.6 Bodenzoologie

Bodenlebewesen wurden in den Jahren 1997 und 2003 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer leben überwiegend endogäisch und weniger anecisch (Tiefgräber). Unter den Kleinringelwürmern überwiegen die K-Strategen die r-Strategen. Es kommen fast ausschließlich Schwachsäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Die Feuchtezahl von 5,0 bis 5,3 weist auf einen mittel-feuchten Standort hin. Die bodenkundliche Feuchtestufe von unter 2 und der pH-Wert von etwa 6,5 (CaCl_2) weisen auf eine Bodenlebensgemeinschaft lehmiger Ackerböden hin, die Wärme und Trockenheit toleriert.

3.4 BDF06 Sönke-Nissen-Koog

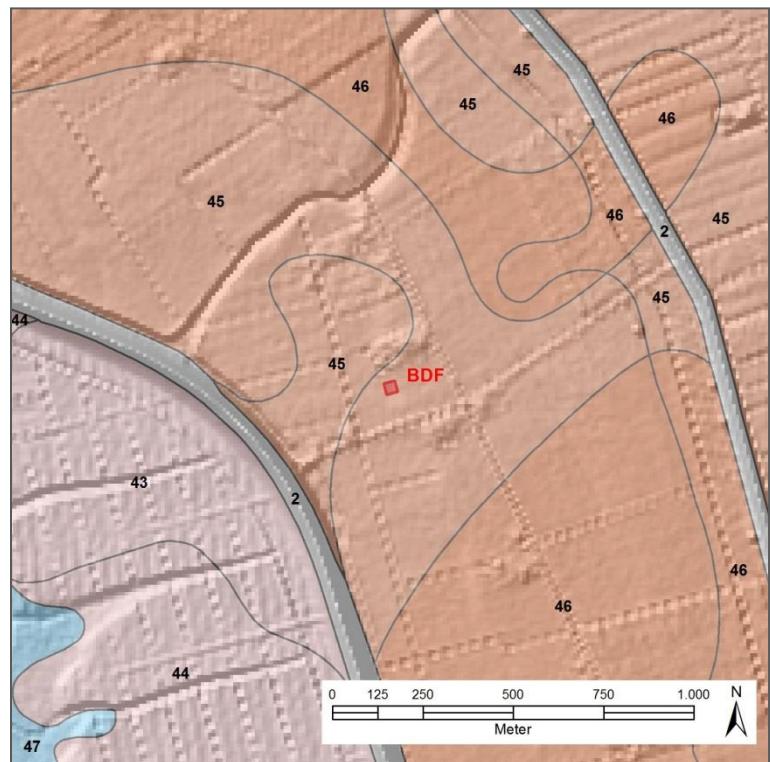


3.4.1 Landschaft

Die BDF06 liegt rund 400 m von den Außendeichen zur Nordsee entfernt.

Die BDF liegt im Sönke-Nissen-Koog, der erst 1923 eingedeicht wurde. Zur Ablagerung kamen fast ausschließlich schluffige, kalkhaltige, marine Sedimente z. T. über Sand. Aus ihnen entwickelten sich fast ausschließlich ausgesüßte Kalkmarschen. Vor dem Deich sind aus diesem Material entsprechend mehr oder weniger salzhaltige Rohmarschen entstanden, die weiter zur Nordsee hin in Wattflächen übergehen.

Abbildung 3.9: Bodenformen im Umland der BDF06 (Legende im Anhang S. 295)



3.4.2 Boden und Geologie

Die typische Kalkmarsch ist aus marinem Sedimenten entstanden. Diese bestehen bis in 37 cm Tiefe aus schwach sandigen Lehmen mit hoher Lagerungsdichte, darunter aus mehr oder weniger schluffigen Sanden mit mittlerer Lagerungsdichte. Der Boden weist nur bis 20 cm Tiefe ein Krümelgefüge auf, das unterhalb des Oberbodens in ein Plattengefüge übergeht.

Der krümelige, intensiv durchwurzelte Oberboden aus schwach sandigem Lehm ist mit 2,9-3,3 % Humusanteil mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull relativ weiten C/N-Verhältnis von rund 12. Der pH (CaCl_2) liegt mit einem Wert von etwa 7,2 im neutralen bzw. im Carbonat-Puffer-Bereich. Die leicht löslichen Gehalte an Hauptnährstoffen sind hoch bis sehr hoch. Im unteren Bereich des Oberbodens tritt bei zunehmendem Plattengefüge bereits der Grundwassereinfluss auf, der im Unterboden rasch zunimmt. Die Durchwurzelung nimmt im Unterboden mit steigender Tiefe und Wechsel zum Polyedergefüge rasch ab, bis in einem Meter Tiefe keine Wurzeln mehr zu finden sind.

3.4.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,0 °C. Die Jahresniederschläge von 763 mm liegen aufgrund der Küstenlage unterhalb derjenigen des Mittelrückens (Schleswiger Geest).

Die Feldkapazität beträgt etwa 230 mm, wovon aufgrund des hohen Tongehaltes nur gut die Hälfte pflanzenverfügbar ist. Die BDF liegt in einem intensiv entwässerten Koog. Um den Schlag herum befinden sich tiefe Gräben, die regelmäßig gepflegt werden. Das Grundwasser steht von Mitte November bis Ende März meist in etwa einem Meter Tiefe. Aus dieser Tiefe heraus wird fast die maximale Grundwassernachlieferung von 5 mm/Tag erreicht. Anfang April sinkt der Grundwasserstand rasch bis er Anfang Juni 160 - 250 cm Tiefe, d. h. im Schnitt der Jahre etwa 140 cm, erreicht hat. Von Mai bis einschließlich Juli ist mit Trockenheit zu rechnen (Wasserbilanzdefizit). Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers schwankt in diesem Zeitraum in Abhängigkeit vom mehr oder weniger schnell sinkenden Grundwasser und entsprechender Wassernachlieferung stark. Sie ist jedoch meist deutlich höher als in entsprechenden grundwasserfernen Schluff- bzw. Lehmböden. Ab Juni beträgt die Grundwassernachlieferung im Schnitt etwa 15 mm im Monat, in Dürrezeiten weniger. Ab September steigt der Grundwasserspiegel wieder an und erreicht Ende Oktober den winterlichen Stand von etwa 100 cm.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grundw. (cm Tiefe)
1961-1990	8,0	763		
2012-2017	9,5	889	6,9	131
2017	9,6	1023	6,6	174

Tabelle 3.12: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um etwa 1,5 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990. Die Niederschläge nahmen um knapp 130 mm zu. Bei Jahresgrundwasserständen um 130 cm ist der Standort als schwach feucht (BKF 7) anzusprechen.

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,6 °C vergleichbar warm bei deutlich erhöhten Niederschlägen. Da das Grundwasser um gut 40 cm tiefer stand, war der Standort trotz der sehr hohen Niederschläge als stark frisch (BKF6) anzusprechen.

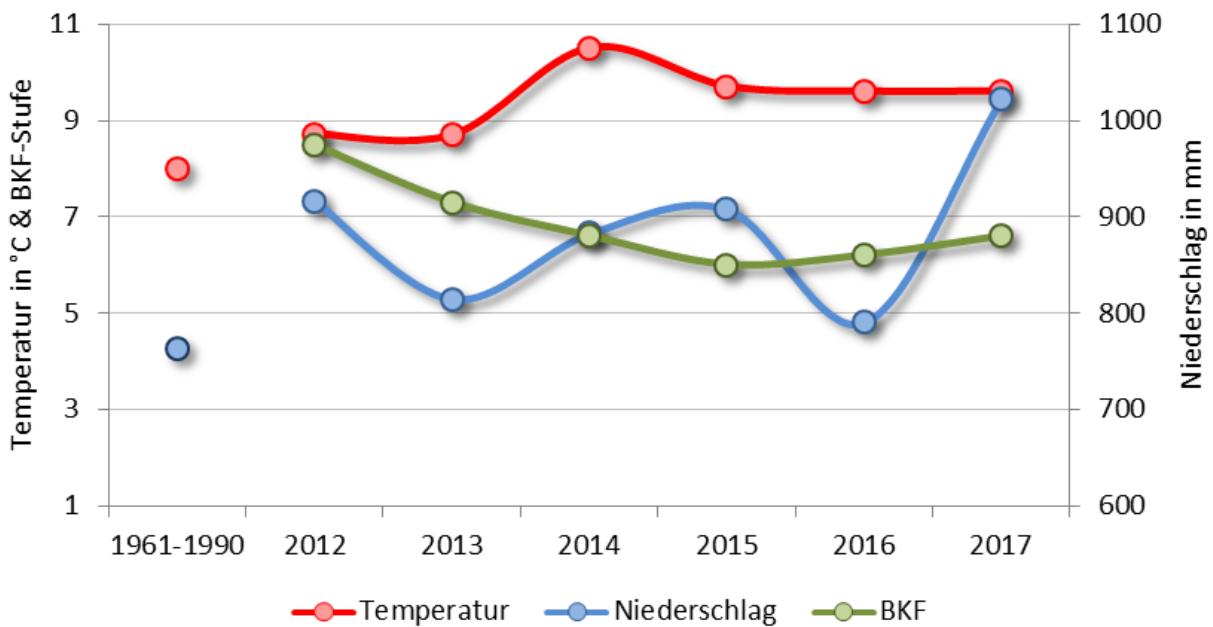


Abbildung 3.10: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF06

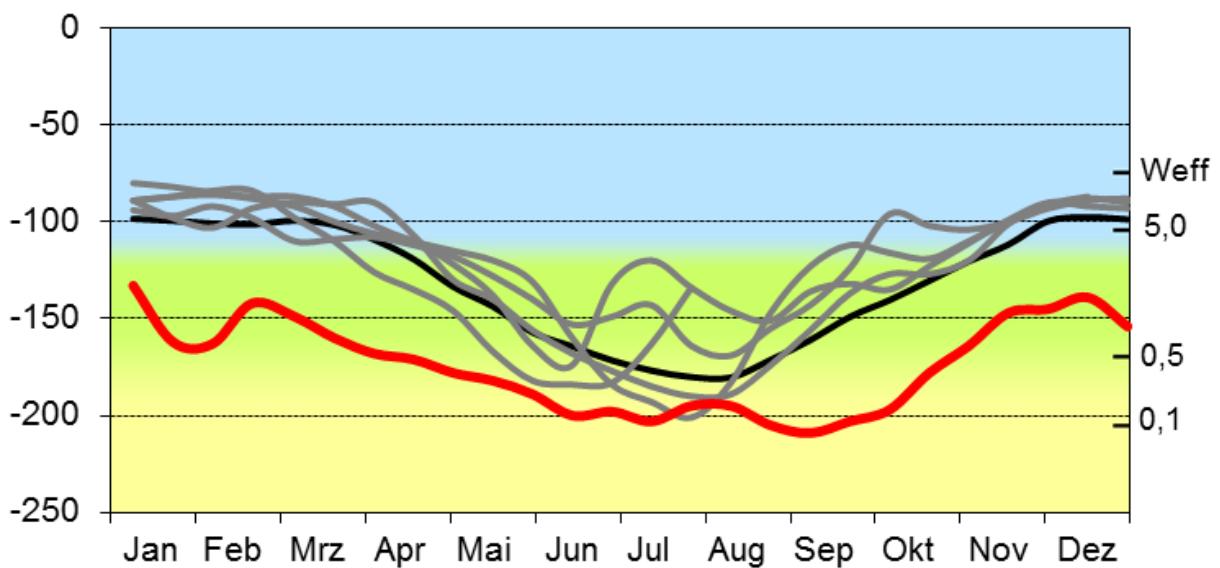


Abbildung 3.11: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017 (schwarz, Durchschnitt), 2012 - 2016 (grau) sowie 2017 (rot), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: W_{eff} = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

3.4.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Der Sönke-Nissen-Koog ist nach dem ATKIS (Stand 02. 2009) ein fast reines Ackerbaugebiet, in das landwirtschaftliche Betriebe sowie vereinzelt kleine Grünlandflächen eingestreut sind. Die Deiche und das Vorland werden als Schafweide genutzt.

Auf diesem Standort wird seit Beginn der Boden-Dauerbeobachtung ein weizenbetonter Marktfruchtbau betrieben. Ein Jahr Rapsanbau wechselt sich ab mit drei Jahren Weizenanbau. Der Pflug wird nahezu jährlich eingesetzt, begleitet von häufiger flacher bis mitteltiefer Bodenbearbeitung. Das Stroh verbleibt überwiegend auf dem Feld. Das Mineraldüngungsniveau ist bei etwa 230-250 kg N/ha und Jahr sehr hoch, begleitet von geringen Güllegaben (etwa 20 m³/ha und Jahr). Eine Kalkung ist zurzeit noch nicht erforderlich. Der Pflanzenschutzmitteleinsatz erreicht ein mittleres bis hohes Niveau.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt in der Regel ein paar Tage vor der Aussaat der Folgefrucht. Diese erfolgt für Winterraps Ende August und für Winterweizen Mitte September bis Anfang Oktober. In den ersten vier Wochen nach der Aussaat erfolgt eine erste Herbizidbehandlung. Nach der Winterruhe beginnen die Pflanzenschutzmaßnahmen Ende März bis zur zweiten Junihälfte. Dazu werden an drei bis vier Terminen bis Mitte Juni oft im Cocktail Herbicide, Fungizide und Wachstumsregulatoren gespritzt. Im März, April sowie Mai/Juni wird Stickstoff in mineralischer Form als Einzelgaben von 40-100 kg N/ha ausge-

Tabelle 3.13: Bewirtschaftungsform der BDF06 und durchschnittliche Düngergaben zu verschiedenen Zeiträumen.

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m ³ /ha)	Erntereste (Verbleib auf Feld)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1991-2017	3x Weizen - 1x Raps	228	39	0	19	0,7	0,9	0,9	2,2	0,6	4,7	7,4
2003-2017	3x Weizen - 1x Raps	240	36	0	18	0,7	0,9	0,9	1,8	0,9	5,1	8,3
2012-2017	3x Weizen - 1x Raps	253	46	0	20	0,8	0,8	0,8	2,0	0,7	5,8	12,3
2017	Winterweizen	208									5,0	16,0

Tabelle 3.14: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1990

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)	*=m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Erntereste (Verbleib auf Feld)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl PS-Mittel)
1990	Winterweizen	97	232	60		30	1	1	1	2	2		6	9
1991	Winterraps	39	202	0			1			2			2	3
1992	Winterweizen	98	193	96		48	1	1	1	4			5	7
1993	Winterweizen	97	198	44		22		1	1	3			5	6
1994	Winterweizen	94	221	40		20	1	1	1	4			5	7
1995	Winterweizen	98	221	40		20		1	1	3			5	5
1996	Winterraps	42	178	40		20	1	1	1	2			4	6
1997	Wintergerste	92	193	40		20	1	1	1	4			3	4
1998	Winterweizen	99	225	40		20		1	1	4			3	4
1999	Winterweizen	98	244	50		25	1	1	1	4			5	8
2000	Winterweizen	109	221	40		20	1	1	1	2			6	8
2001	Winterraps	49	221	40		20	1	1	1	1	2		2	2
2002	Winterweizen	82	245	40		20	1	1	1	1	1		6	7
2003	Winterweizen	86	239	40		20	1	1	1	2	1		6	8
2004	Winterweizen	91	235	0			1	1	1	2	1		6	7
2005	Winterraps	45	200	40		20	1	1	1	2	1		3	6
2006	Winterweizen	104	196	30		20							3	4
2007	Winterweizen	100	236	40		20							4	9
2008	Winterweizen	114	233	40		20		1	1	2	1		4	7
2009	Winterraps	56	219	0			1	1	1	3	2		3	4
2010	Winterweizen	118	294	40		20		1	1	2			6	7
2011	Winterweizen	101	236	36		18	1	1	1	1	2		6	8
2012	Winterweizen	102	302	56		28	1	1	1	2			7	10
2013	Winterraps	39	208				1	1	1	1	2		5	7
2014	Winterweizen	105	243	62		21	1	1	1	3	1		7	18
2015	Winterweizen	100	329	116		48	1	1	1	3			8	15
2016	Winterraps	35	228	40		20	1	1	1	3	1		3	8
2017	Winterweizen	93	208										5	16

Standortverhältnisse

bracht. Winterraps wird Ende Juli bis Anfang August und Winterweizen in der ersten Augusthälfte geerntet. Das Ertragsniveau ist konstant hoch bis sehr hoch. Das Stroh verblieb meistens auf dem Feld. Nach der Ernte wird oft Schweinegülle (20 m^3) ausgebracht. Eine Brache wird nicht eingeschaltet. Bis zur Aussaat der nächsten Frucht vergehen nach der Ernte bis zu zwei Monate.

Im Zeitraum 2012-2017 änderte sich hieran nichts wesentliches, außer dass der Pflanzenschutz stark intensiviert wurde.

Tabelle 3.15: Bewirtschaftungsmaßnahmen bis zur Ernte 2017, danach bis auf Pflugeinsatz unbekannt

Jahr	Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	14.03.	Mineraldüngung	Harnstoff	250	kg/ha
	25.03.	Mineraldüngung	AHL	30	kg/ha
		Herbizid	Atlantis	0,5	l/ha
			FHS	1	l/ha
	09.04.	Fungizid	Dithane neotec	1,25	kg/ha
		Wachstumsregulator	Stefes CCC	1	l/ha
			Lotus CCC	0,5	l/ha
	19.04.	Fungizid	Dithane neotec	1,25	kg/ha
		Wachstumsregulator	CCC	1	l/ha
			Moddus	0,2	l/ha
		Mineraldüngung	Harnstoff	107	kg/ha
	07.05.	Fungizid	Aviator Xpro	0,6	l/ha
		Wachstumsregulator	Calma	0,2	l/ha
			CCC	1	l/ha
	14.05.	Fungizid	Aviator Xpro	0,25	l/ha
		Wachstumsregulator	Medax	0,5	l/ha
			Camposan Extra	0,25	l/ha
	03.06.	Mineraldüngung	KAS	130	kg/ha
	14.06.	Herbizid	Tebucur	1	l/ha
		Fungizid	Taspa	0,25	l/ha
	15.07.	Ernte	Winterweizen	93	dt/ha
2018	27.02.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	30	cm Tiefe
	16.04.	Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung			

Für das Jahr 2017 liegen ab der Ernte des Winterweizens keine Schlagkarteien vor. Aus dem Probenentnahmeprotokoll vom 16.04.2018 geht jedoch hervor, dass die Fläche gepflügt wurde und vorgesehen war, dort Mais anzusäen. Es waren keine Düngemaßnahmen erkennbar.

3.4.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1991, 1995, 1998 und 2007 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die gefundenen Arten konnten bis 1995 einer Acker-Wildkrautflur (*Chenopodietea*), danach nur noch einer extrem verarmten Basalgesellschaft (*Stellarietea media*) zugeordnet werden. Die Artenzahl der Begleitflora sank von 8 auf 2. Dies ist auf die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch Herbizideinsatz zurückzuführen. Eine sichere Charakterisierung der Pflanzengesellschaft durch Zeigerwerte war nicht möglich.



Abbildung 3.12: Bodenoberfläche der BDF06 bei der Probenentnahme am 16.04.2018

3.4.6 Bodenzoologie

Bodentiere wurden in den Jahren 1996 und 2003 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer leben überwiegend endogäisch und kaum anecisch (Tiefgräber). Unter den Kleinringelwürmern sind K-Strategen und r-Strategen etwa gleich stark vertreten. Es kommen nur Schwachäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Die Feuchtezahl von 5,0 bis 6,0 weist auf einen feuchten Standort hin. Die bodenkundliche Feuchtestufe von 3 und der pH-Wert von über 7,0 (CaCl_2) weisen auf eine Bodenlebensgemeinschaft lehmiger Ackerböden hin.

3.5 BDF09 Schuby



3.5.1 Landschaft

Die BDF09 liegt etwa 8,5 km westlich von Schleswig in der Schleswiger Vorgeest.

Die BDF befindet sich im tief gelegenen Teil der Vor-geest, der direkt an den westlichen Rand der Jungmoräne angrenzt. Dieser befindet sich in 3 km Entfernung. Die Vorgeest wird hier von

verbreiteten Gley-Podsolen, Gley-Braunerden sowie Gleyen aus Schmelzwassersand eingenommen. In tieferer Senkenlage gehen sie in gering verbreitete Moorgleye und Niedermoore über. Mit ansteigendem Relief treten verstärkt mächtigere Flugsanddecken auf, aus denen sich die gering verbreiteten Podsole entwickelt haben.

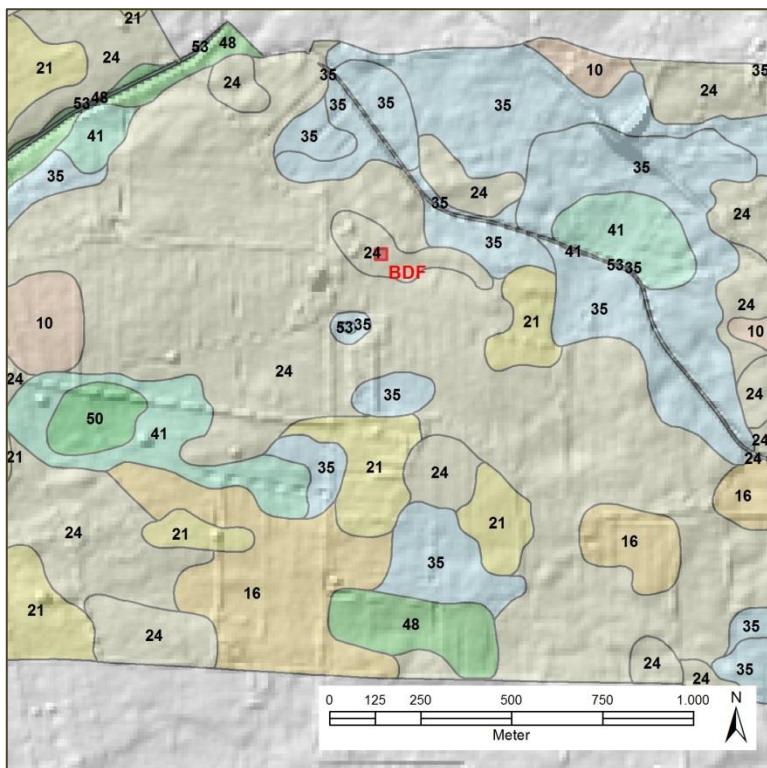


Abbildung 3.13: Bodenformen im Umland der BDF09 (Legende im Anhang S. 295)

3.5.2 Boden und Geologie

Der Gley-Podsol der BDF ist aus einer ca. 40 cm mächtigen Flugsanddecke über Schmelzwassersand entstanden. Das gesamte Profil besteht überwiegend aus Mittelsand. Der Oberboden besteht aus feinsandigem Mittel-sand und schwach schluffigem Sand und ist rund 6 % stark humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull sehr weiten C/N-Verhältnis von 18. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 4,6-5,5 im mäßig sauren Bereich und zwischen Silikat- und Austauscher-Pufferbereich. Die hydromorphen Merkmale des Unterbodens weisen ab 43 cm Tiefe unter GOF auf einen Grundwassereinfluss hin. Da die heutigen Grundwasserhöchststände im Winter bei ca. 130 cm liegen, müssen die Grundwasserhorizonte bis in diese Tiefe als relikтив gelten.

3.5.3 Klima, Witterungseinflüsse und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,0°C. Die eher hohen Jahresniederschläge von 894 mm sind auf die nahe Lage zum höher gelegenen westlichen Rand der Jungmoräne zurückzuführen.

Der sandige Standort liegt nur einen Meter über der Puckholmbek, ist aber aufgrund seines groben Substrates gut drainiert. Im Durchschnitt der Jahre liegt die bodenkundlichen Feuchtestufe bei 5, der Standort ist also als mittel frisch anzusprechen.

Das Grundwasser steht im Jahresdurchschnitt etwa 200 cm tief unter GOF. Von der Feldkapazität von 149 mm sind etwa 112 mm pflanzenverfügbar. Dieses Angebot wird ergänzt von einem kapillaren Aufstieg von rund 30 mm, so dass sich daraus für Pflanzen ein mögliches Wasserangebot von rund 140 mm ergibt.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Gru-wa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,0	894		
2012-2017	9,4	929	3,7	177
2017	9,5	1.115	5,6	156

Tabelle 3.16: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Das tatsächliche Wasserangebot ergibt sich aus der Niederschlagsmenge abzüglich der Evapotranspiration unter Mais. Dieses ist jedoch nur teilweise nutzbar, da ab Mai bis August mit Wasserknappheit zu rechnen ist. Das Grundwasser steht in der Vegetationszeit (Mai - Okt.) bei etwa 210 cm an, so dass in dieser Zeit fast kein Grundwasseranschluss besteht, d. h. die sehr geringe kapillare Aufstiegsrate in der Regel zu vernachlässigen ist, oft auch in nassen Jahren. Wintergetreide und Winterraps beanspruchen den Wasserhaushalt dieses Standortes sehr stark. Hier ist von Mai bis Juli mit deutlichem Trockenstress zu rechnen. Bei Mais ist hingegen in der Regel mit einem relativ ausgeglichenen Wasserhaushalt zu rechnen. Von September bis März wird der Wasservorrat wieder allmählich aufgefüllt. Ab November kommt in einigen Jahren wieder ein nennenswerter Aufstieg aus dem Grundwasser hinzu, der bis Mitte März andauern kann.

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um 1,4 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990. Die Niederschläge waren vergleichbar. Bei Grundwasserständen um die 175 cm unter GOF ist der Standort als schwach frisch (BKF 4) einzustufen.

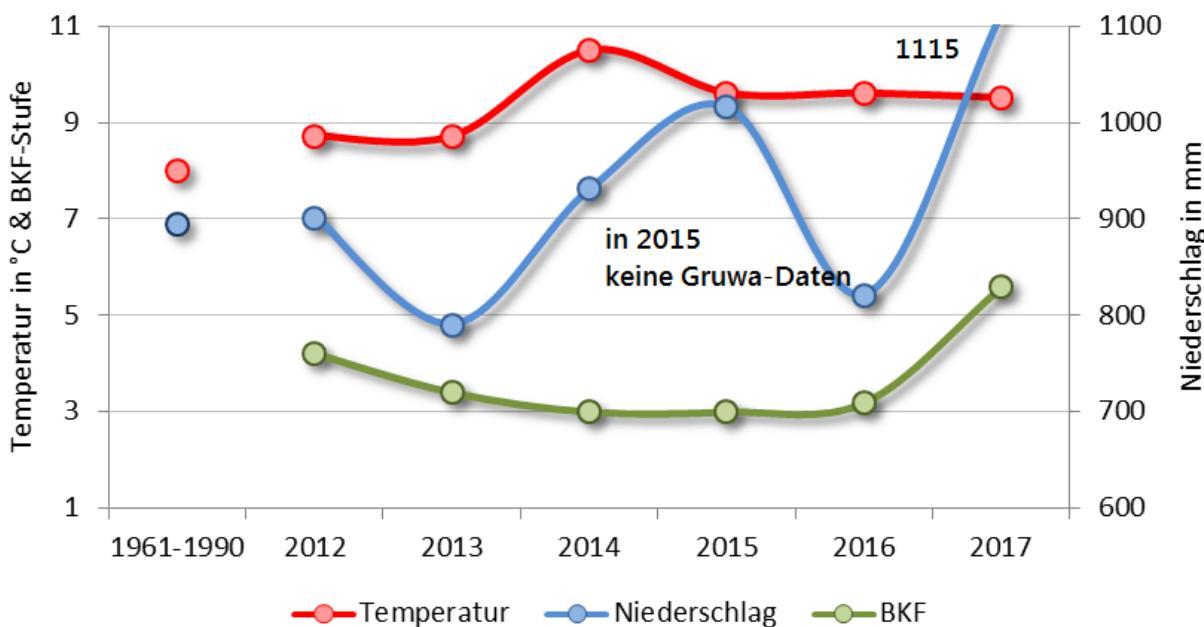


Abbildung 3.14: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF09

Die Jahresdurchschnittstemperatur entsprach 2017 dem Durchschnitt der letzten 6 Jahre Jahr, bei sehr viel höheren Niederschlägen sowie Grundwasserständen die um 20 cm höher standen, so dass der Standort wie in den Jahren zuvor als mittel bis stark frisch einzustufen war.

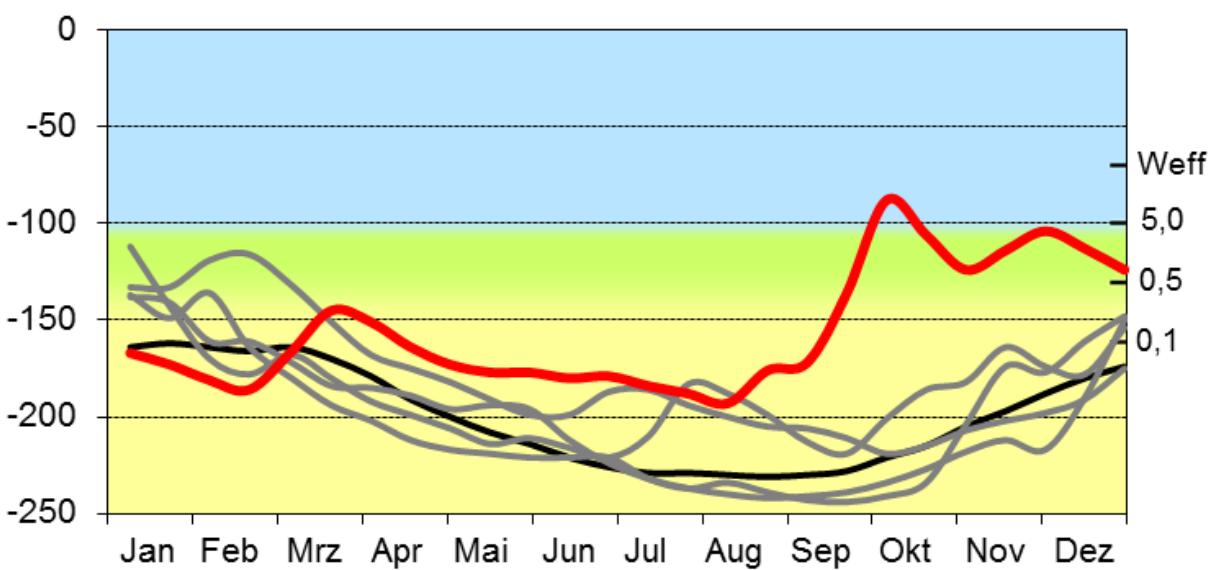


Abbildung 3.15: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017 (schwarz, Durchschnitt), 2012 - 2016 (grau), 2017 (rot), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: W_{eff} = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

3.5.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die Bodenschätzung hat diesen Standort als ackerfähiges Grünland mit einer Grundzahl von 32 angesprochen. Die natürliche Ertragsfähigkeit ist für diesen Naturraum als geringer einzustufen. Nach dem DLM (Stand 02.2009) werden heutzutage die offenen Flächen werden aber fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei nimmt der Maisanbau zur Futtergewinnung eine bedeutende Stellung ein, seit bald 10 Jahren für die Biogasgewinnung. Das Grünland ist nur selten anzutreffen, obwohl auf etwa 40% der Fläche deutlich grundwasserbeeinflusste Böden vorkommen. Im Rahmen des Aufforstungsprogrammes für so genannte Grenzertragsstandorte wurde auf trockenen Podsolen neuer Wald begründet, der heute etwa 1% der Fläche ausmacht.

Der Standort wurde bis 1996 in Maismonokultur genutzt. Seitdem besteht eine abwechslungsreiche Fruchtfolge, die keiner Regel unterliegt. Der Maisanteil beträgt rund 60%. Seit 2009 dient der Mais der Biogasgewinnung. Der Mais bzw. das Getreide erhielten bis 2009 pro Jahr in der Regel um die 200 kgN/ha und 35 m³ Gülle. Seit dem Anbau von Mais für die Biogasgewinnung sank die Düngereintensität auf etwa kgN/ha und statt Gülle werden Biogasgärreste ausgebracht. Vor jeder Frucht erfolgt eine Pflugfurche, zuzüglich Stoppelbearbeitung und Saatbettbereitung. Es wird ab und zu gekalkt. Der Pflanzenschutz bewegt sich auf mittlerem bis hohem Niveau.

Tabelle 3.17: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Düngung, Stickstoff (kgN/ha)	Düngung, Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Düngung, Guelle (m ³ /ha)	Düngung, Biogasgärreste (m ³ /ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	maisbetonter Ackerbau	180	86	438	24	11	1,0	1,0	2,1	0,3	2,9	6,1
2003-2017	maisbetonter Ackerbau	158	62	329	11	21	0,9	0,9	1,5	0,2	3,1	7,5
2012-2017	Roggen/Mais	121	48	83		37	1,0	1,0	1,3	0,2	2,8	6,5
2017	Mais	76	60			40	1,0	1,0	2,0		3,0	7,0

In 2017 wurde Mais angebaut. Es wurden nur 76 kgN/ha gegeben, dazu 40 m³/ha Biogasgärreste. Der Pflanzenschutz blieb auf mittlerem bis hohem Niveau. Einzelheiten sind in Tabelle 3.19 einzusehen.

Tabelle 3.18: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha), * = m³/ha			Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Biogasgärreste (m³/ha)	Klärschlamm (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Mais	47	171	125	777	40			1	1	3		1	2
1991	Mais	60	222	125	777	40			1	1	3		2	2
1992	Mais	40	203	102	777	40			1	1	4	1	1	1
1993	Mais	45	185	95		35			1	1	2		3	6
1994	Mais	40	182	126	990	35			1	1	3	1	3	7
1995	Mais	45	146	69		35					2	1	2	3
1996	Mais	45	270	127		65			2	2	3	2	2	3
1997	Winterweizen	48	233	35		25					3		3	5
1998	Hafer	72	146	42		30			1	1	2		3	3
1999	Mais	60	274	386	4000	40	200		1	1	2		3	6
2000	Mais	47	166	89		35			1	1	2		3	5
2001	Hafer	70	212	70		50			2	2	4		4	5
2002	Winterweizen	75	273	69		35			1	1	3		4	9
2003	Wintergerste	75	234	39		28			1	1	2		6	11
2004	Winterraps	44	302	239	2770	30	128		1	1	3		4	6
2005	Winterweizen	80	228	28		20							3	11
2006	Mais	61	176	75		25			2	2	2	1	2	5
2007	Mais	126	202	79		35			1	1	3		4	12
2008	Roggen	65	232	28		20							3	8
2009	Mais	135	83	55	1250		35		1	1	1	1	2	6
2010	Mais	120	100	100	420		35		1	1	1		3	9
2011	Mais	122	82	6			25		1	1	2		2	6
2012	Mais	113	73	69			30		2	2	2		2	6
2013	Roggen	?	186	12			50				1		4	8
2014	Mais	122	167	79			55		1	1	1	1	1	3
2015	Mais	150	80	59	500		20		2	2	2		3	8
2016	Roggen	65	144	6			25						4	7
2017	Mais	139	76	60			40		1	1	2		3	7

Tabelle 3.19: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017

Jahr	Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	31.03.	Herbizideinsatz	Glyphosat	3,25	l/ha
	27.04.	organische Düngung	Biogasgärrest 65	40	m³/ha
		Bodenbearbeitung	Scheibenegge	10	cm Tiefe
	07.05.	Mineraldüngung	NP (14/34)	150	kg/ha
		Saat	Mais	28	kg/ha
		Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
		Grundbodenbearbeitung	Pflug	27	cm Tiefe
	22.05.	Herbizideinsatz	Peak	0,007	kg/ha
			Calaris	0,4	l/ha
			Dual Gold	0,5	l/ha
	03.06.	Herbizideinsatz	Peak	0,0087	kg/ha
			Calaris	0,3	l/ha
			Dual Gold	0,5	l/ha
	12.06.	Mineraldüngung	Harnstoff	75	kg/ha
	20.10.	Ernte	Mais	139	dt TM/ha
2018	27.03.	Probenentnahme			

Für das Jahr 2017 liegen ab der Ernte des Mais' keine Schlagkarteien vor. Aus dem Probenentnahmeprotokoll vom 16.04.2018 geht jedoch hervor, dass nur die Maisstoppeln zu sehen, aber weder Bodenbearbeitung noch Düngemaßnahmen erkennbar waren.



Abbildung 3.16: BDF09 während der letzten Probenentnahme am 27.03.2018

3.5.5 Vegetationskunde

Die Pflanzen wurden 1991, 1994, 1997 und 2005 untersucht. Neben der Kulturpflanze wurden nur wenige Pflanzen aus der Begleitflora gefunden. Diese lässt sich pflanzensoziologisch nicht eindeutig zuordnen, was auf Herbizid- und Düngereinsatz und die häufige Bodenbearbeitung zurückzuführen ist. Der Boden ist demnach als stark gestört, einzuschätzen.

3.5.6 Bodenzoologie

Auf dieser BDF waren die drei Lebensformtypen der Regenwürmer mit je einer Art vertreten. Die Siedlungsdichte der Regenwürmer ist für 2017 als durchschnittlich, die Biomasse als etwas überdurchschnittlich einzustufen (BEYLICH & GRAEFE 2009). Für sandige Ackerstandorte ist das Vorkommen von drei Arten bereits als „hohe Artenzahl“ anzusehen, wenngleich man berücksichtigen muss, dass die epigäische Art nur an einem Probenpunkt auftrat. Die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer ist niedrig, ihre Artenzahl durchschnittlich.

2017 wurden überwiegend Schwachsäurezeiger sowie zwei Mäßigsäurezeiger gefunden. Feuchtezeiger kamen nicht vor. Der Anteil opportunistischer Arten (r-Strategen) lag mit 8 % sehr niedrig. Abundanz, Biomasse und Artenzahl der Regenwürmer erreichten 2017 die höchsten Werte seit Beginn der Untersuchungen. Die Lebensbedingungen für Regenwürmer haben sich in den vergangenen zehn Jahren offenbar verbessert (Kalkungen, etwas reduzierter Pflugeinsatz). Inwieweit auch die Umstellung auf Düngung mit Biogasgärresten eine Rolle spielt, ist derzeit unklar. Bei den Kleinringelwürmern ist eine gegensätzliche Entwicklung erkennbar: Die Siedlungsdichte lag 2017 niedriger als bei allen Voruntersuchungen und auch die Artenzahl je Probe ist signifikant geringer als 2009. Der Reaktionszeigerwert ist nach der Erstuntersuchung angestiegen und dann auf demselben Niveau geblieben.

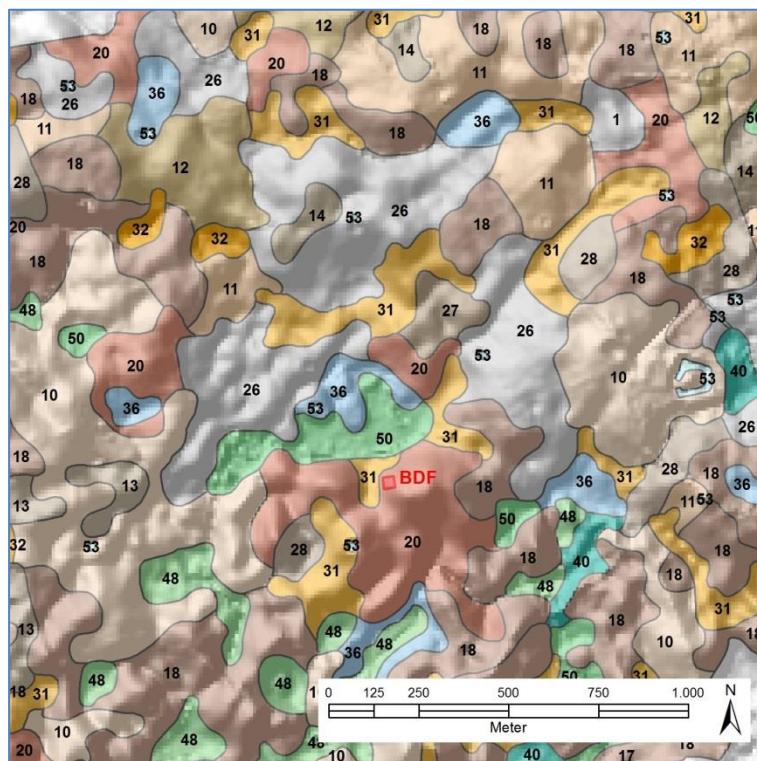
Die charakteristischen Arten des Zersetzergesellschaftstyps **Fridericio-Enchytraeetum** kamen 2017 weiterhin vor. Mit dem Auftreten der anecischen Art *Lumbricus terrestris* deutet sich seit 2009 eine Entwicklung zum Zersetzergesellschaftstyp Fridericio-Lumbricetum an.

3.6 BDF10 Holzdorf



3.6.1 Landschaft

Die BDF10 liegt etwa 5 km nordöstlich von Rieseby in Schwansen, einem Teil des Östlichen Hügellandes. Die BDF befindet sich im stärker reliefierten Teil von Schwansen. Das Bodenausgangsgestein besteht hier überwiegend aus Geschiebelehmen, die häufig in etwa 1 m unter GOF von Geschiebemergel unterlagert sind. An zahlreichen Stellen sind mehr oder weniger große Sandlinsen eingeschaltet. Die Vielfalt an Reliefformen und Bodenausgangsgesteinen hat zu einem sehr breiten Spektrum an Bodenformen geführt. Es dominieren Pseudogley-Parabraunerden und verwandte Böden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm. Braunerden und Pseudogley-Braunerden bilden die Übergänge zu Böden aus sandigeren Geschiebesubstraten. In den zahlreichen Senken haben sich überwiegend Niedermoore unterschiedlicher Mächtigkeit,



aber auch Gleye gebildet, die häufig von Beckensedimenten unterlagert sind. Die intensive ackerbauliche Nutzung in den vergangenen etwa 80 Jahren hat die Wassererosion stark gefördert und zur Ausbildung von Kolluviosolen auf etwa 10% der Fläche geführt.

Abbildung 3.17: Bodenformen im Umland der BDF10 (Legende im Anhang S. 295)

3.6.2 Boden und Geologie

Standortverhältnisse

Der Parabraunerde-Pseudogley der BDF ist aus einem 115 cm mächtigem Geschiebelehm entstanden, unter dem ein Geschiebemergel mit Sandeinlagerungen ansteht. Das Profil besteht im ersten Meter aus stark lehmigem Sand. Darunter sind in Lagen mittellehmige Sande und mittelsandige Lehme anzutreffen (Abbildung 3.18). Der Oberboden besteht aus stark lehmigem Sand und ist rund 2,1 % mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem typischen C/N-Verhältnis von 9,6. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen mit 6,6 im sehr schwach sauren bzw. im Carbonat-Pufferbereich. Die leicht löslichen Gehalte an Hauptnährstoffen sind hoch bis sehr hoch. Der Unterboden weist bereits ab 39 cm Tiefe starke hydromorphe Merkmale auf, was auf die dichte Lagerung des Prismengefüges zurückzuführen ist.



Abbildung 3.18: Parabraunerde-Pseudogley aus Geschiebelehm über –mergel

3.6.3 Klima, Witterungseinflüsse und Wasserhaushalt

Die Jahresschnittstemperatur beträgt 8,0°C. Die eher niedrigen Jahresniederschläge von 766 mm sind bereits auf die Lage im Regenschatten Geländeanstieges von der Schleswiger Vorgeest nach Angeln zurückzuführen.

Der Standort liegt auf halber Höhe an einem Hang und ist daher zwar gut drainiert, aber durch die dichten, stauenden Horizonte stark wechselfeucht. Im Durchschnitt der Jahre 2012-2017 lag die bodenkundliche Feuchtestufe bei 4,9; der Standort ist also als mittel frisch anzusprechen. Von der Feldkapazität von 207 mm sind etwa 115 mm pflanzenverfügbar. Es besteht keinerlei Grundwasseranschluss.

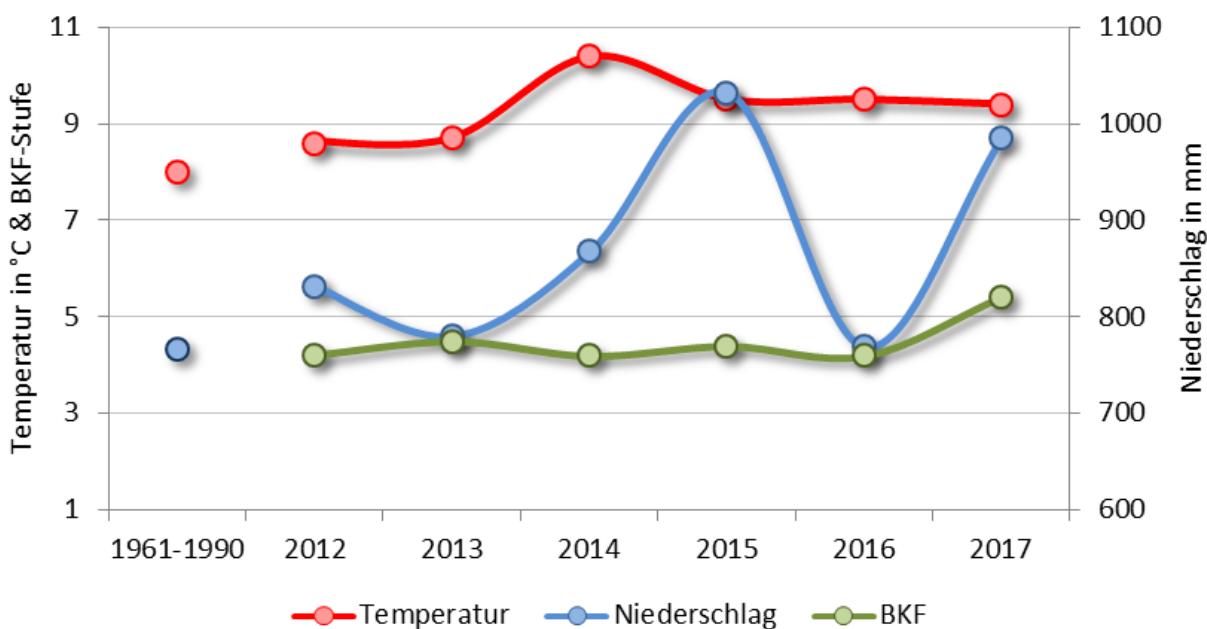
Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,0	766	

2012-2017	9,4	878	4,5
2017	9,4	985	5,4

bodenkundliche Feuchtestufe (BKF)

Tabelle 3.20: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme,

Das tatsächliche Wasserangebot ergibt sich aus der Niederschlagsmenge abzüglich der Evapotranspiration unter Wintergetreide und -raps und beträgt im Durchschnitt der Jahre 189 mm. In normalen Jahren ist bereits im Mai deutlicher Trockenstress möglich, besonders gefährdet ist dieser Standort im Juni und Juli mit nahezu vollständiger Austrocknung.

**Abbildung 3.19: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF10**

Im Zeitraum von 2012-2017 lagen bei deutlich, d. h. über 100 mm höheren Jahresniederschlägen die Temperaturen um 1,4 ° C höher als im langjährigen Durchschnitt. In 2017 nahmen bei vergleichbaren Temperaturen die Niederschläge nochmals um über 100 mm zu, so dass der Standort als mittel bis stark frisch einzustufen war (Tabelle 3.20).

3.6.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Das Gebiet ist nach Angaben der Bodenschätzung ein fast reines Ackeraugebiet. Die lehmigen Böden besitzen fast ausschließlich Bodenzahlen um die 50. Ihre Ertragsfähigkeit liegt in Bezug auf die Jungmoränenlandschaft im „mittleren“ Bereich. Sandige Böden und Moore besitzen häufig Wertzahlen um die 35 und eine entsprechend geringere Ertragsfähigkeit.

Standortverhältnisse

Nach dem DLM (Stand 02.2009) herrscht auf den offenen Flächen der Ackerbau vor und zwar sowohl als Marktfrucht- als auch als Futterbau. Entsprechend gemischt sind die Anteile an Maismonokultur und üblicher dreigliedriger getreidebetonter Fruchfolge an der Ackerbaufläche. Das seltene Grünland beschränkt sich auf die nassen Senken. Wälder und Gehölze sind ebenfalls selten. Ihr Anteil ist aber in den letzten Jahren durch Aufforstung gestiegen.

Die Bodenschätzung hat diesen Standort als Acker mit einer Bodenzahl von 54 bewertet. Dies entspricht einer für das Östliche Hügelland mittleren natürlichen Ertragsfähigkeit. Das Ertragsniveau ist mit etwa 100 dt/ha für Wintergetreide und gut 40 dt/ha für Winterraps hoch. Der BDF-Standort wird schon seit mindestens 15 Jahren in einer für das Östliche Hügelland üblichen Fruchfolge aus Winterraps, -weizen und -gerste genutzt.

Tabelle 3.21: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha), *= m^3/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m^3/ha)	Kärschlamm (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Wintergerste								1	1		2	1	1
1991	Winterraps	31	207	92							5	2	4	
1992	Winterweizen	75	212	92							2	3	10	
1993	Ackerbrache		139	336	4480		224		1	1		6	1	1
1994	Winterraps	29	166								1	4	2	3
1995	Winterweizen	88	212						1	1		3	3	5
1996	Wintergerste	71	189	20					1	1	1	3	2	3
1997	Winterraps	35	330	414	5180		259	1				6	2	3
1998	Winterweizen	95	209						1	2		4	5	5
1999	Wintergerste	84	173	20					1	1	1	4	3	7
2000	Winterraps	43	209								1	4	3	5
2001	Winterweizen	95	233	20					1	1	1	2	4	10
2002	Phacelia													
2003	Winterraps	41	211	20				1		1	3	2	7	8
2004	Winterweizen	97	420	319	4980		166	1	1		1	3	3	7
2005	Wintergerste	102	190						1	3		3	6	11
2006	Winterraps	42	21									3	7	

2007	Winterweizen	75	222		630			1	1	1	1	7	18	
2008	Wintergerste	103	185	20				1	1	2	1	7	14	
2009	Winterraps	47	200	25				1	2	2		4	10	
2010	Winterweizen	92	287	188	2100		100		1	2	2	5	15	
2011	Wintergerste	93	175						1	2		5	10	
2012	Wintergerste	96	185						1	2		4	12	
2013	Winterraps	38	184	25				1	2	2		3	4	
2014	Winterweizen	105	274	272	802		48	1	1	2	2	5	12	
2015	Wintergerste	91	185						1	3		5	15	
2016	Winterraps	33	183	25					2	1	1	4	6	
2017	Winterweizen	103	233	113	1500		75		1	1	2	1	4	12

Tabelle 3.22: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Düngung, Stickstoff (kgN/ha)	Düngung, Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Düngung, Guelle (m³/ha)	Düngung, Klärschlamm (dt/ha)	Entereste (Anzahl/aJr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Raps-Weizen-Gerste	194	71	703		31	0,4	0,5	1,0	0,8	2,2	3,7	7,8
2003-2017	Raps-Weizen-Gerste	210	67	668		26	0,4	0,4	1,3	1,4	1,1	4,8	10,7
2012-2017	Raps-Weizen-Gerste	207	73	384		21	0,3	0,3	1,5	1,3	1,0	4,2	10,2
2017	Winterweizen	233	113			75		1,0	1,0	2,0		4,0	12,0

Das Stroh verbleibt häufiger auf dem Feld und etwa alle 5-7, zuletzt alle 3-4 Jahre wird Klärschlamm ausgebracht. Im Klärschlamm sind erhebliche Mengen an Kalk enthalten. Gülle oder Mist werden grundsätzlich nicht ausgebracht. Die Mineralstickstoffdüngung erreicht mit Stickstoffgaben von gut 200 kg N/ha im Jahr ein hohes Niveau. Der Pflanzenschutz entspricht einem üblichen hohen Niveau. Herbizide werden je nach Bedarf im Herbst und Frühjahr. Häufige Applikationen mit Fungiziden und Insektiziden im späten Frühjahr und frühen Sommer sichern den Ertrag ab.

Standortverhältnisse

Die Reste der Vorfrucht werden zügig flach eingearbeitet. Oft wird kurz danach die Grunddüngung aus Phosphor und Kalium ausgebracht und flach eingearbeitet. Eine Stickstoffgabe erfolgt zu diesem Zeitpunkt grundsätzlich nicht. Fahrgassen werden gegebenenfalls mit einem Tiefenmeißel bearbeitet. Nach der Pflugfurche oder intensiven Stoppelbearbeitung wird der Winterraps Mitte August bis Anfang September, die Wintergerste kurz nach Mitte September und der Winterweizen Mitte September bis Anfang Oktober gedrillt. Bis Mitte Oktober sind auch die ersten Herbizide ausgebracht, so dass der Bestand mit geringem Unkrautdruck in den Winter geht. Ab Mitte Februar bekommt die Kultur die ersten Mineralstickstoffgaben verabreicht. Ab Anfang April gesellen sich dazu Fungizide, Insektizide, gegebenenfalls auch Molluskizide sowie Wachstumsregulatoren, oft als „Cocktail“ gegeben. Bis Mitte Juni wechseln sich Stickstoffgaben und Pflanzenschutz oft in monatlichem Rhythmus ab. Wintergerste wird Mitte bis Ende Juli, Winterraps Ende Juli bis Anfang August und Winterweizen den gesamten August über geerntet.

Seit 2004 wird der BDF-Schlag etwas anders als bis dahin bewirtschaftet. Es wird nicht mehr alle zwei, sondern alle 2-3 Jahre gepflügt, dafür aber häufiger tief gegrubbert. Gleichzeitig wurde der Pflanzenschutz intensiviert sowie häufiger Klärschlamm ausgebracht. Das Jahr 2017 entspricht diesem Muster. Hervorzuheben hierbei ist die Klärschlammgabe Anfang September.

Tabelle 3.23: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018

Jahr	Beginn	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	15.02.	Mineraldüngung	Harnstoff	100	kg/ha
	14.03.	Mineraldüngung	SSA	250	kg/ha
	16.03.	Mineraldüngung	Kornkali	150	kg/ha
	19.04.	Fungizid	Aviator Xpro	0,7	l/ha
			Calma	0,2	l/ha
			Talius	0,1	l/ha
		Wachstumsregulator	CCC 720	1,5	l/ha
	25.04.	Mineraldüngung	Harnstoff	100	kg/ha
	09.05.	Herbizid	Tebucur	0,3	l/ha
			Bravo	1	l/ha
		Fungizid	Calma	0,2	l/ha
		Wachstumsregulator	CCC 720	0,6	l/ha
	29.05.	Mineraldüngung	Harnstoff	110	kg/ha
	10.06.	Insektizid	Osiris	1,5	l/ha
			Lambda	0,15	kg/ha
			Pirimor	0,15	kg/ha
	16.08.	Ernte	Winterweizen	103	dt/ha
			Getreidestroh	1	Ernte
	04.09.	organische Düngung	Klärschlamm	75	dt/ha

	Stoppelbearbeitung	Scheibenegge	10	cm Tiefe
18.09.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	27	cm Tiefe
19.09.	Saatbettbereitung	Scheibenegge	10	cm Tiefe
20.09.	Saatbettbereitung	Kreiselegge	8	cm Tiefe
	Saat	Wintergerste	130	kg/ha
16.10.	Herbizid	Herold	0,35	l/ha
2018	25.02.	Mineraldüngung	SSA	200 kg/ha
			Harnstoff	100 kg/ha
11.04. Probenentnahme				

In 2018 und gut 6 Wochen vor der Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung wurden 300 kg Mineraldünger ausgebracht. Darin enthalten waren 90 kgN/ha Reinstickstoff.

3.6.5 Vegetationskunde

Der Boden wurde 1992, 1995, 1998 und 2006 untersucht. Die gefundenen Pflanzengesellschaften sind artenarm und wechseln häufig je nach Begleitflora einer Kulturfrucht; oft ist eine Zuordnung nicht möglich. Bezuglich der Stickstoffverhältnisse und der Reaktion sind keine belastbaren Aussagen möglich, da die entsprechenden durchschnittlichen Zeigerwerte nur auf wenigen, z. T. indifferenten, Arten beruhen. Insgesamt ist aber von einem gestörten, frischen, stickstoffreichen Standort mit neutraler Reaktion auszugehen.



Abbildung 3.20: BDF10 während der Probenentnahme für boden-mikrobiologische Untersuchungen am 30.03.2015

3.6.6 Bodenzoologie

Es wurden alle drei Lebensformtypen der Regenwürmer mit zwei oder mehr Arten nachgewiesen. Im Vergleich mit den Referenzwertbereichen für lehmige Ackerstandorte lag die Artenzahl damit

Standortverhältnisse

extrem hoch, da Ackerstandorte sonst meist nicht artenreich sind und insbesondere epigäische Arten im Regelfall nicht vorkommen. Regenwurmabundanz und -biomasse lagen für diesen Standorttyp im durchschnittlichen bis leicht überdurchschnittlichen Bereich (BEYLICH & GRAEFE 2009). Die Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer war hier dagegen niedrig, doch auch für sie ist die Artenzahl ungewöhnlich hoch im Vergleich mit der Referenz.

Es wurden ausschließlich Schwachsäurezeiger mit der Reaktionszahl 7 gefunden. Es kamen zwei Nässezeiger vor. Diese können in einem Pseudogley als Zeiger der Staunässe angesehen werden und kommen auf lehmigen Ackerstandorten häufig vor. Der Anteil an r-Strategen der Gattung *Enchytraeus* lag mit 9 % sehr niedrig. Allerdings sind bei der insgesamt niedrigen Abundanz die Dominanzwerte einzelner Gruppen nicht sehr belastbar. Der Anteil der Schwachsäurezeiger liegt seit der Erstuntersuchung konstant bei 100 %. Dementsprechend veränderte sich die mittlere Reaktionszahl nicht. Auch die mittlere Feuchtezahl zeigte nur geringe Schwankungen seit der ersten Untersuchung 1993. Die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer und Regenwürmer lag 2017 niedriger als bei der Voruntersuchung. Dieser Unterschied hängt vermutlich mit der Art der Bodenbearbeitung im jeweiligen Untersuchungsjahr zusammen. Die Fläche wurde seit Beginn der Untersuchungen in mehrjährigen Abständen mit Klärschlamm gedüngt. Dadurch erklären sich vermutlich die hohen Artenzahlen und das Vorkommen epigäischer Regenwürmer, was für Ackerflächen eher untypisch ist.

Die hier vorgefundene Lebensgemeinschaft mit zwei anecischen und mehreren endogäischen Regenwurmarten sowie dem dominanten Auftreten der *Fridericia*-Arten kennzeichnet den Zersetzergesellschaftstyp als **Fridericio-Lumbricetum**.

3.7 BDF12 Vadersdorf/Fehmarn



3.7.1 Landschaft

Die BDF12 liegt im zentralen Bereich Fehmarns. Der Standort befindet sich auf mittlerer Höhe der nur leicht welligen Grundmoränenlandschaft Fehmarns. Bodenausgangsgestein ist fast ausschließlich ein dichter, tonig-schluffiger Geschiebemergel.

Der dominierende Bodentyp ist hier die Pseudogley-Schwarzerde. Verbreitet treten stark humose Pseudogleye und Braunerden auf,

die den genannten Pseudogley-Schwarzerden sehr ähneln. In den Senken gehen sie in gering verbreitete Gley-Schwarzerden, sowie in seltene Gleye über. Niedermoore sind hier sehr selten.

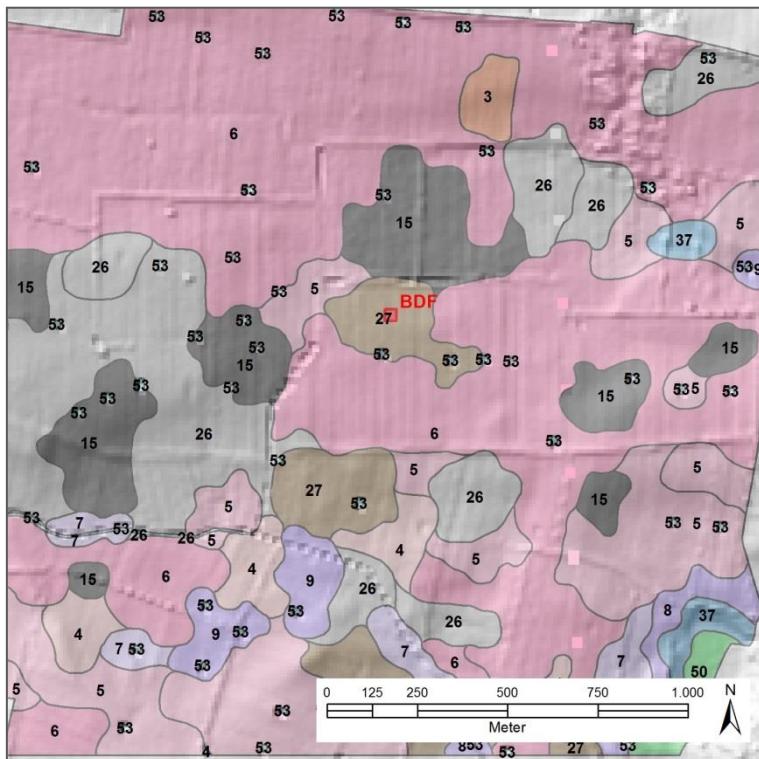


Abbildung 3.21: Bodenformen im Umland der BDF12 (Legende im Anhang S. 295).

3.7.2 Boden und Geologie

Die BDF wird von einem Pseudogley mit einem mächtigen humosen Oberboden aus Geschiebelehm und -mergel eingenommen (Abbildung 3.22). Der Oberboden besteht aus stark lehmigem Sand und ist mit einem Humusgehalt von etwa 2,9 % mittel humos und damit humoser als andere lehmige Ackerböden.

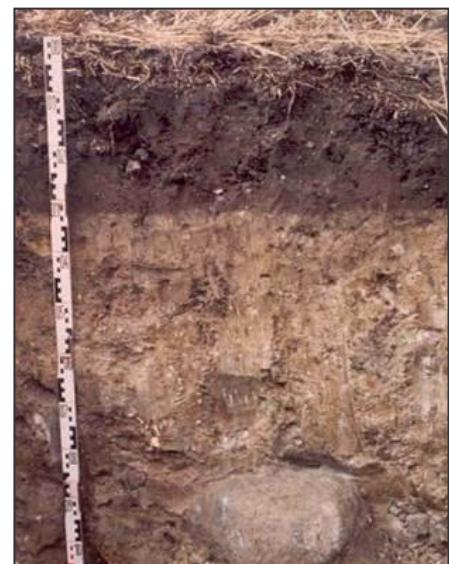


Abbildung 3.22: Leitprofil
Pseudogley mit einem mächtigen humosen Oberboden

aus Geschiebelehm und -mergel

Die Humusform ist Mull mit einem C/N-Verhältnis von 10,5. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen mit 6,6 im sehr schwach sauren bzw. im Carbonat-Pufferbereich. Die leicht löslichen Gehalte an Hauptnährstoffen sind hoch bis sehr hoch. Der Unterboden weist bereits direkt unterhalb der Krume hydromorphe Merkmale auf, was auf das sehr dichte und tonhaltige Ausgangsgestein zurückzuführen ist.

3.7.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Die Jahresschnittstemperatur beträgt $8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die niedrigen Jahresniederschläge von 569 mm sind auf die Lage weit im Regenschatten des Östlichen Hügellandes zurückzuführen.

Der stark lehmige Standort liegt auf mittlerer Höhe der nur leicht welligen Grundmoränenlandschaft. Der durchschnittliche Grundwasserstand liegt bei rund 2,20 m unter GOF. Die bodenkundliche Feuchtestufe liegt mit 6 im stark frischen Bereich.

Zeitraum	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Niederschlag (mm)	BKF	Gruwa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,3	569		
2012-2017	9,7	571	4,5	172
2017	9,9	679	6,2	144

Tabelle 3.24: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ im Jahresschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Von der Feldkapazität von 242 mm sind aufgrund des relativ hohen Totwassergehaltes nur etwa 120 mm pflanzenverfügbar. Dieses Angebot kann durch einen kapillaren Aufstieg von bis zu 100 mm ergänzt werden, so dass den Pflanzen in nassen Jahren gut 200 mm Wasser zur Verfügung stehen. Dieses ist jedoch nur teilweise nutzbar, da während der Vegetationszeit (Mai - Okt.) der Grundwasseranschluss abreißen kann.

Das tatsächliche Wasserangebot ergibt sich aus der Niederschlagsmenge abzüglich der Evapotranspiration unter Wintergetreide/Winterraps. Ab April ist mit einem Wasserbilanzdefizit zu rechnen, das sich ab Mai verstärkt und oft bis in den August hinein anhalten kann. In den Monaten Juni und Juli kommt häufiger deutlicher Trockenstress vor.

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort ist als schwach bis mittel frisch (BKF 4-5) einzustufen.

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresschnittstemperatur von $9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ warm bei um gut 100 mm höheren Niederschlägen und Grundwasserständen, so dass der Standort als stark frisch einzustufen war.

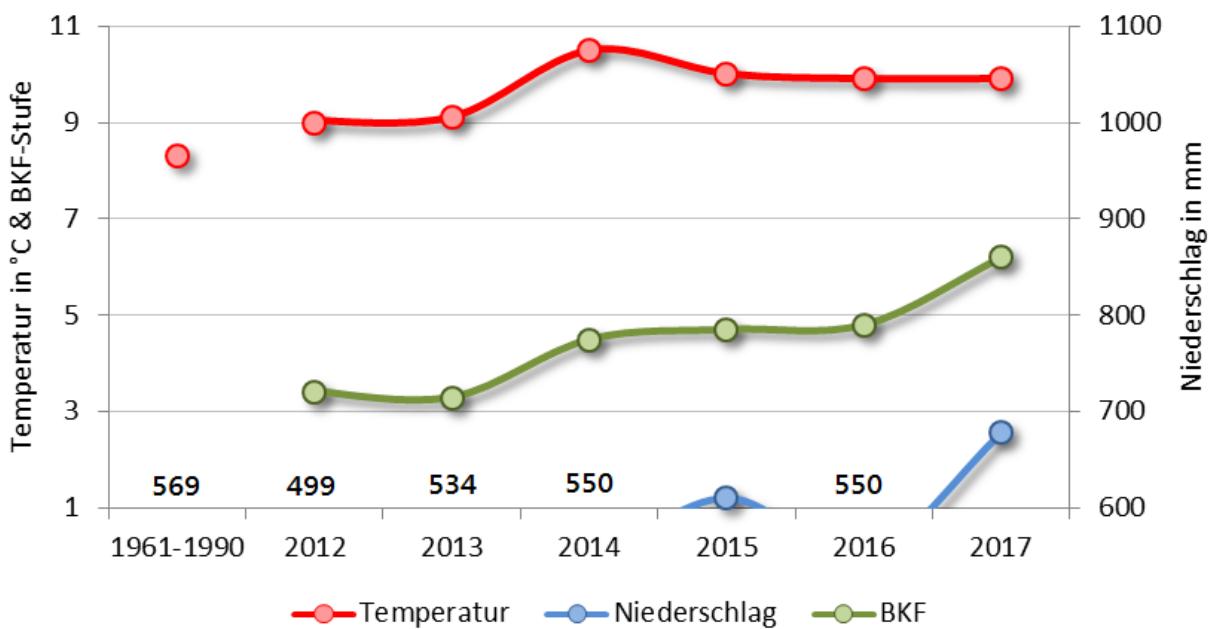


Abbildung 3.23: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF12

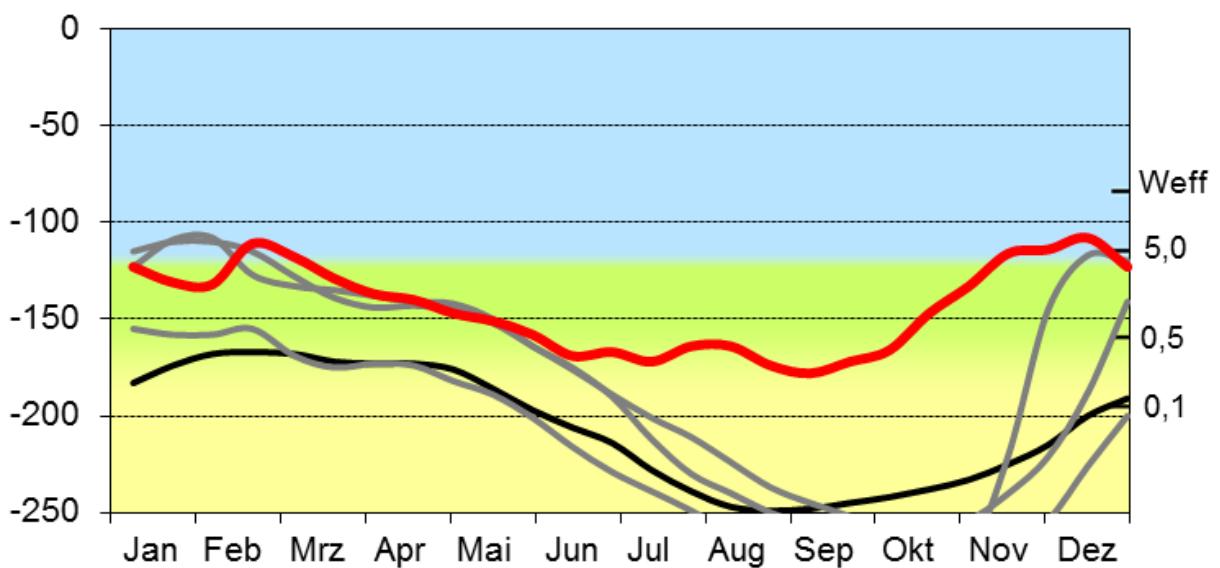


Abbildung 3.24: Grundwasserganglinien der BDF12 für die Jahre 1991-2014 (schwarz, Durchschnitt), 2009-2013 (grau) sowie 2014 (rot), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: W_{eff} = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres.

3.7.1 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Das Gebiet ist nach Angaben der Bodenschätzung ein fast reines Ackerbaugebiet mit den besten Böden der Jungmoränenlandschaft. Die Bodenzahlen bewegen sich hier zwischen 75 und 80 Punkten. Nach dem DLM (Stand 02.2009) werden die offenen Flächen fast ausschließlich als Acker genutzt und zwar in einer Winterweizen betonten Fruchtfolge für den Marktfruchtbau. Das Grünland ist nur selten in Senken anzutreffen, die sich aufgrund des starken Grundwasser-einflusses landwirtschaftlich nicht anders nutzen lassen. Wälder oder Gehölze kommen fast nicht vor.

Der Standort wird schon seit mindestens 15 Jahren in einer Winterweizen betonten Fruchtfolge genutzt. Dies geht mit einer fast jährlichen Bodenbearbeitung mit Strohdüngung und hoher Mineralstickstoffdüngung sowie einem eher hohen Pflanzenschutz einher. Eine Kalkung erfolgt wenn überhaupt nur sporadisch, da der kalkhaltige Geschiebemergel hoch ansteht.

Tabelle 3.25: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Klärschlamm (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Raps/Z-Rüben-Weizen-Gerste	204	60	36	13	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	3,6	5,7
2003-2017	Raps-3xWeizen	204	41	1	0	0,6	0,5	0,7	0,7	0,9	4,1	6,0
2011-2017	Raps-3xWeizen	216	59	0	0	0,3	0,3	0,7	0,5	1,0	4,5	7,8
2017	Winterweizen	228	135								3,0	7,0

Nach der Ernte der Vorfrucht wird häufig das auf dem Feld verbleibende Stroh zusammen mit einer Grunddüngung aus Phosphor und Kalium sowie einer ersten Stickstoffgabe für die Folgefrucht flach eingearbeitet. Kurz vor der Ansaat wird gepflügt. Winterraps wird in der zweiten Augusthälfte, Winterweizen von Mitte September bis Mitte Oktober und Zuckerrüben werden Ende März gesät. Noch im Oktober werden verschiedene Herbizide im „Cocktail“ gespritzt. Zu diesen gesellen sich im Folgejahr von Mitte April bis Mitte Juni eine

Standortverhältnisse

Tabelle 3.26: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)	*=m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Kärschlamm (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/aehr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Winterweizen	100	278	112					1	1	1	2		9	17
1991	Winterraps	45	198	25					1	1	1			4	8
1992	Winterweizen	105	209	87										3	8
1993	Zuckerrüben	585	230											?	?
1994	Winterweizen	91	210											?	?
1995	Winterraps	43	?							1	1	2	1	1	4
1996	Winterweizen	102	265	94					1	1	2	1	5	5	5
1997	Wintergerste	95	?							1			3	1	1
1998	Winterraps	48	?	73					1		1	2	1	5	6
1999	Winterweizen	110	202	78					1	1	1			2	2
2000	Zuckerrüben	550	101	60							1			3	6
2001	Winterweizen	105	244	169	1000	373	1	1	1	1				3	5
2002	Zuckerrüben	600	109				.		1	1		2	4	7	
2003	Winterweizen	100	210	20					1	1	1	1		5	8
2004	Winterweizen	100	180						1	1			1	4	3
2005	Winterraps	45	199	25					1				1	4	4
2006	Winterweizen	99	216	20					1	1	1	2	2	3	5
2007	Winterweizen	98	177	10					1		1	2	1	4	5
2008	Winterweizen	105	213	95	12				1		1		1	5	5
2009	Winterraps	53	143	25					1			1		2	2
2010	Winterweizen	95	189	20					1	1	1	1	1	2	4
2011	Winterweizen	85	235	45					1	1	1			5	7
2012	Winterweizen	90	178	30					1		1	1		7	10
2013	Winterraps	48	245	75					1		1		2	3	5
2014	Winterweizen	106	226	20					1	1		2	7	11	
2015	Winterraps	53	195	75							1	1	3	4	
2016	Winterweizen	120	225	20					1	1	1	1	4	10	
2017	Winterweizen	114	228	135									3	7	

Reihe von Fungiziden und Wachstumsregulatoren, einschließlich mehrerer Stickstoffgaben von 30-70 kg N/ha. Geerntet wird der Winterraps und gelegentlich auch der Winterweizen Anfang August. Für Winterweizen ist der normale Erntetermin Ende August. Die Rüben werden im Oktober gerodet. Auf diese folgen meist ein paar Tage später die Pflugfurche, auf die gelegentlich verzichtet wird, und der Winterweizen. Die Erträge bewegen sich für Schleswig-Holstein auf einem hohen Niveau.

Seit 2006 wurde die Fruchfolge von Raps/Z-Rüben-Weizen-Gerste auf Raps-3xWeizen umgestellt und seit 2014 das Stroh regelmäßig abgeföhrt. Die Intensität der Bodenbearbeitung wurde durch häufigeren Verzicht auf den Pflugeinsatz reduziert. Der Pflanzenschutzmitteleinsatz etwas intensiviert. Für die Zeit nach der Ernte in 2017 liegen noch keine Angaben zu Bewirtschaftungsmaßnahmen vor, so dass hierzu keine Aussagen getroffen werden können.

Tabelle 3.27: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018

Jahr	Beginn	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit	
2017	08.03.	Mineraldüngung	Alzon	350	l/ha	
	15.03.	Mineraldüngung	DAP	250	kg/ha	
	25.04.	Wachstumsregulator	CCC	2	l/ha	
	25.04.	Wachstumsregulator	Moddus	0,1	l/ha	
		Fungizid	Input Classic	0,75	l/ha	
		Mineraldüngung	Mangan flüssig	2	l/ha	
	20.05.	Wachstumsregulator	Cerone	0,2	l/ha	
	20.05.	Fungizid	Elatus Era	0,75	l/ha	
	22.05.	Mineraldüngung	KAS	250	kg/ha	
	10.06.	Insektizid	Karate Zeon	0,075	l/ha	
		Fungizid	Prosaro	0,8	l/ha	
	10.08.	Ernte	Getreidestroh	1	Ernte	
			Winterweizen	113,5	dt/ha	
2018	unmittelbar vor Probenentnahme		Düngung	nicht erkennbar		
			Bodenbearbeitung	nicht erkennbar		
	09.04. Probenentnahme					

2017 nach Ernte und 2018 noch nicht erfasst

3.7.2 Vegetationskunde

Der Boden wurde in den Jahren 1991, 1994, 1997 und 2006 vegetationskundlich untersucht. Aus pflanzensoziologischer Sicht befindet sich auf der BDF eine Acker-Wildkraut-Flur (*Stellarietea mediae*). Sie besitzt nur ein bescheidenes Arteninventar, was auf den Herbizid- und Düngereinsatz und die häufige Bodenbearbeitung zurückzuführen ist. Der Boden ist auf der Grundlage der Pflanzengesellschaft als gestört, schwach sauer bis schwach basisch, frisch sowie stickstoffreich einzuschätzen. Die Samenbank beherbergt Arten aus nicht bewirtschafteten, weniger gestörten Flächen und weist darauf hin, dass dieser Standort ohne Kultureinfluss wahrscheinlich etwas saurer und weniger stickstoffreich sein dürfte.



Abbildung 3.25: BDF12 während der Probenentnahme für boden-mikrobiologische Untersuchungen am 09.04.2018

3.7.3 Bodenzoologie

Dieser Standort wurde in den Jahren 1998 und 2004 bodenzoologisch untersucht. Es wurde eine Zersetzergesellschaft lehmiger Ackerstandorte (*Fridericio-Lumbricetum*) gefunden. Das Vorkommen endogäischer Regenwürmer bewegt sich auf dem für solche Standorte üblichen Niveau. Es kommen fast nur Schwachsäure- bis Schwachbase-Zeiger vor. Der Anteil der r-Strategen ist relativ hoch. Der Boden ist auf der Grundlage der Lebensraumansprüche der Tiere als gestört, frisch und schwach sauer bis schwach basisch anzusprechen.

3.8 BDF15 Achterwehr



3.8.1 Landschaft

Die BDF15 liegt im Östlichen Hügelland etwa 9 km westlich von Kiel und nördlich vom Westensee. Die BDF liegt etwa 30m über NN auf einem Moränenrücken. Dieser besteht hier aus offenbar verdichteten Geschiebelehmen. Es dominieren Pseudogleye, Pseudogley-Parabraunerden und

Pseudogley-Braunerden. Parabraunerden sind eher selten zu finden. In den Senken sind überwiegend Gleye und Niedermoore entstanden. Die Landschaft wurde durch Wassererosion, durch etwa 80 Jahre intensiven Ackerbau gefördert, stark verändert. Auf etwa 15% der Fläche sind infolgedessen, meist an Unterhängen, kolluvial veränderte Böden zu finden.

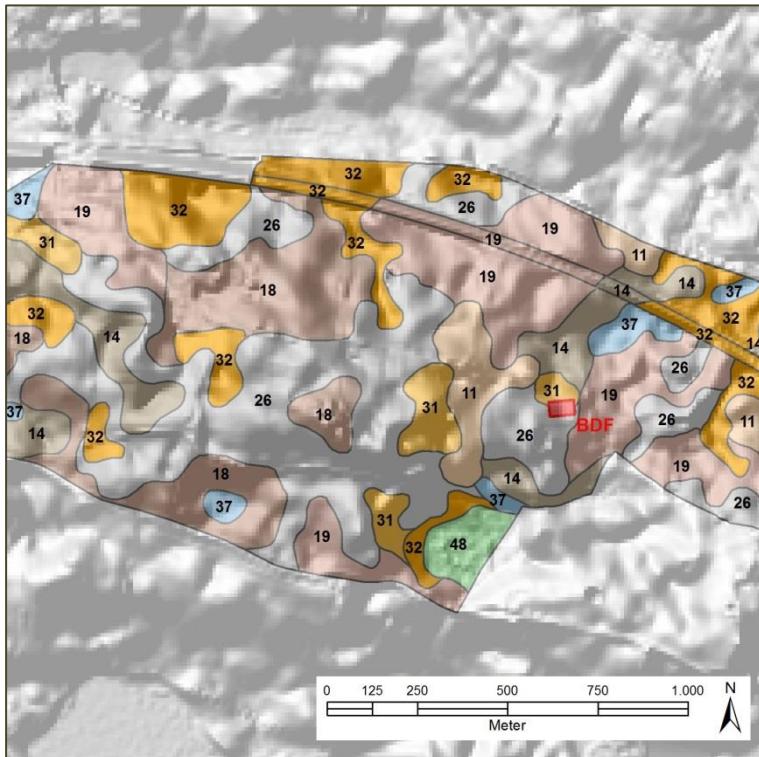


Abbildung 3.26: Bodenformen im Umland der BDF15 (Legende im Anhang S. 295)

3.8.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Kolluvisol überdeckt mit 75cm kolluvial aufgetragenem schluffigem Sand einen tiefer entkalkten Pseudogley aus einer Fließerde über teils tonreichen Beckensedimenten. Der humose Oberboden aus mittel schluffigem Sand ist mit 1,8% schwach humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 10. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 6,8-7,2 im neutralen Bereich und im Carbonat-Pufferbereich. Das kolluvial aufgetragene Material geht nach 75 cm in einen 15 cm mächtigen fossilen schwach humosen Ah-Sw-Horizont über, in dem sich bereits das Wasser stauen kann. Darunter beginnt bereits der Staukörper aus mehreren Sd-Horizonten, die eine starke Hydromorphie aufweisen.

3.8.3 Klima, Witterungseinflüsse sowie Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur von 8,3°C und die Jahresniederschläge von 791 mm entsprechen dem schleswig-holsteinischen Durchschnitt.

Der lehmige Standort liegt auf einem Moränenrücken, der bereits nach 800 Meter in den 20 m tiefer gelegenen Hofgraben und von dort in die Eider entwässert. Die effektive Durchwurzelung reicht nur bis 69 cm. Von der Feldkapazität von 265 mm sind nur 88 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleyung ist besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch den Getreide und Rapsanbau verstärkt wird. Zuckerrüben schonen den Wasserhaushalt im Mai und Juni. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist im Schnitt der letzten Jahre als schwach trocken bis frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,3	791	
2012-2017	9,6	839	3,4
2017	9,6	986	4,1

Tabelle 3.28: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

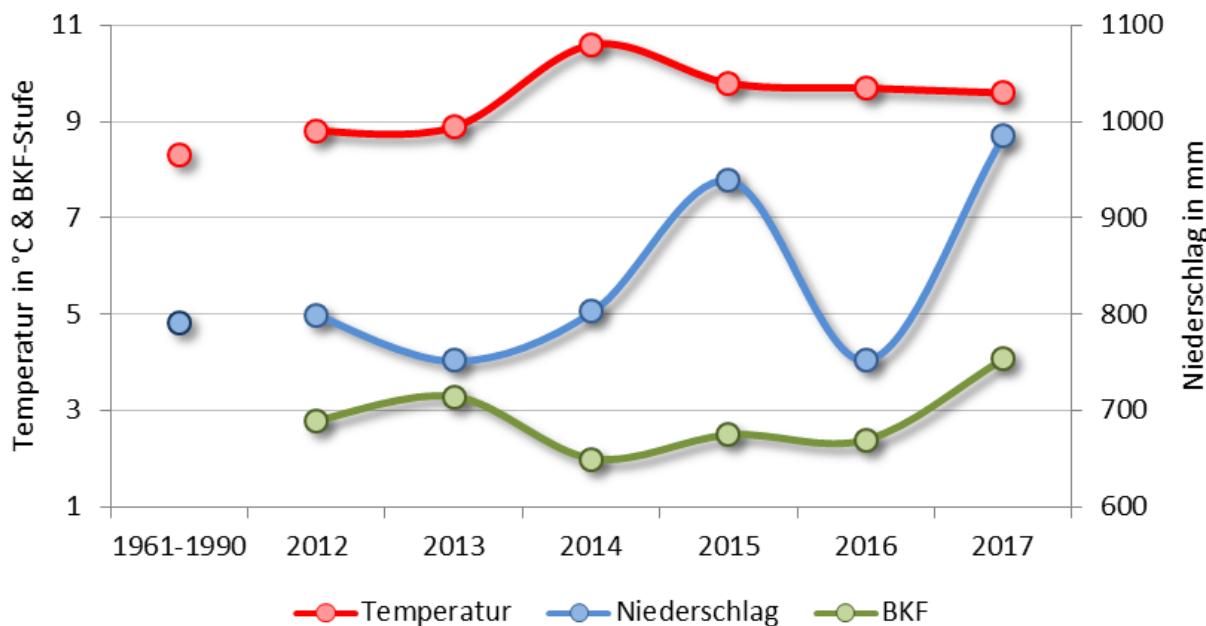


Abbildung 3.27: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF15

Die Temperatur lag in den Jahren 2002-2017 um 1,3 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen.

Die Jahresdurchschnittstemperatur des Jahres 2017 entsprach dem Durchschnitt der letzten Jahre. Es fielen aber ungewöhnlich viele Niederschläge, so dass der Standort als schwach frisch einzustufen war.

3.8.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominiert der Getreidebau mit der klassischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste mit eingeschalteter Zuckerrübe. Das Grünland ist nur selten und bevorzugt in den grundwasserbeeinflussten Senken anzutreffen. Zur nordwestlichen Ecke hin liegt in einer größeren Senke zusammenhängende Grünlandflächen.

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren in einer nicht ganz typischen Ackerbau-Fruchtfolge des Östlichen Hügellandes, bestehend aus Zuckerrübe-Winterweizen-Winterweizen, bewirtschaftet. Ausnahmsweise kann die Zuckerrübe auch durch Winterweizen ersetzt werden. In den letzten Jahren wurde verstärkt Wintergerste angebaut. Die früher übliche jährliche Pflugfurche wurde von 2001 bis 2015 nur etwa alle drei Jahre durchgeführt, seit 2015 aber wieder regelmäßig. Das bis 2003 regelmäßig auf dem Feld verbleibende Stroh wird seitdem meist abgefahren. Das Niveau der Mineralstickstoffeinsatzes ist mittel und der Kalkung mittel, das des Pflanzenschutzmitteleinsatzes hoch.

Tabelle 3.29: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Weizen-Weizen-Zuckerrübe	179	50	206	9	0,3	0,6	0,8	0,6	0,9	4,3	8,3
2003-2017	Raps-Weizen-Gerste	190	44	9	11	0,2	0,4	0,7	0,8	1,0	4,6	8,9
2012-2017	Raps-Weizen-Gerste	208	65	23	10	0,2	0,7	1,0	1,2	1,2	4,0	6,3
2017	Winterraps	240	134		20		1,0	1,0	1,0		4,0	7,0

Standortverhältnisse

Die Grundbodenbearbeitung erfolgte zwei Wochen bis zu zwei Monaten vor der Aussaat der Folgefrucht. Die Aussaat erfolgt für Winterraps Ende August bis Anfang September, für Winterweizen und -gerste Mitte September bis Anfang Oktober. Bis zu drei Wochen danach erfolgt die erste Herbizidbehandlung. Im März bis Anfang April werden geringe Mengen an Schweinegülle ausgebracht. Mineralstickstoffgaben beginnen ab Mitte Februar mit bis zu 200 kgN/ha. Die letzte der insgesamt etwa vier Gaben wird häufig erst Anfang Juni gegeben. Parallel dazu beginnen in der zweiten Aprilhälfte die Pflanzenschutzmaßnahmen mit schwerpunktmaßig Fungiziden. Es sind vier Behandlungen auch bis Mitte Juni. Wintergerste wird Ende Juli bis Anfang August, Winterraps 1-2 Wochen später und Winterweizen noch einmal etwa 1 Woche später. Die Erntemenge ist mit 85-100 kg Weizen/ha in der Regel mittel. Danach wird in unregelmäßigen Abständen Kalium- und Phosphordünger ausgebracht. Eine Brache wird selten eingeschaltet.

Tabelle 3.30: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017 und Anfang 2018

Jahr	Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	07.03.	Mineraldüngung	Harnstoff	160	kg/ha
	09.03.	Mineraldüngung	DAP	150	kg/ha
	15.03.	Mineraldüngung	Kieserit	150	kg/ha
	24.03.	Herbizid	Agil	0,5	l/ha
	24.03.	Fungizid	Folicur	0,4	l/ha
	24.03.	Fungizid	Carax	0,2	l/ha
	29.03.	Mineraldüngung	Harnstoff	150	kg/ha
	06.04.	Insektizid	Mavrik	0,2	l/ha
	15.05.	Fungizid	Cercobin	0,65	l/ha
	15.05.	Fungizid	Cantus WG	0,2	kg/ha
	31.07.	organische Düngung	Rapsstroh	1	Ernte
	31.07.	Ernte	Winterraps	38	dt/ha
	08.08.	organische Düngung	Schweinegülle	20	m³/ha
	11.08.	Stoppelbearbeitung	Scheibenegge	5	cm Tiefe
2018	15.10.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
	16.10.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	16.10.	Saat	Winterweizen	155	kg/ha
	18.10.	Herbizid	Herold	0,4	l/ha
	16.02.	Mineraldüngung	Kornkali 40er	200	kg/ha
	19.03.	Mineraldüngung	KAS	296	kg/ha
	27.03.	Mineraldüngung	Kieserit	150	kg/ha
	11.04. Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung				
	17.04.	Mineraldüngung	Harnstoff	108	kg/ha

Tabelle 3.31: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kulturertrag (dt/ha), * = m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefere Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)	
1990	Zuckerrüben				595	152	129	2814			1	1			2	8	13
1991	Winterweizen				88	323	68		24	1	1	1		1	5	12	
1992	Winterweizen				78	351	64		32		1	1			4	9	
1993	Zuckerrüben				550	83								2	5	10	
1994	Ackerbrache																
1995	Winterweizen				96						1	1	1				
1996	Zuckerrüben				375	128	104				1	1	2	2	6	13	
1997	Winterweizen				99	251	48		14	1	1	1	2		5	10	
1998	Winterweizen				89	270	50	2822	15	1	1	1			5	8	
1999	Winterweizen				101	128	124			1	1		1		4	4	
2000	Winterweizen				95	222	44		12	1	1	1		1	1	2	
2001	Winterweizen				98	224	20			1					4	6	
2002	Zuckerrüben				530	36	92				2	2		3	5	12	
2003	Winterweizen				90	246	40		20						5	16	
2004	Winterweizen				93	198	30						1	1	3	15	
2005	Zuckerrüben				600	90					1	1		3	6	9	
2006	Winterweizen				70	235	30		15						4	7	
2007	Wintergerste				94	186	60		20	1		1		1	4	10	
2008	Zuckerrüben				606	115	50		25			1	1	1	9	17	
2009	Winterweizen				83	167					1	1	2	1	5	9	
2010	Winterweizen				89	179	60		20	1					4	8	
2011	Winterraps				64	189						1	1	1	5	4	
2012	Winterweizen				92	218	20			1	1	1	2	1	4	4	
2013	Wintergerste				82	203	46	140					1	1	1	4	6
2014	Winterraps				46	175	69					1	1	2	3	3	
2015	Winterweizen				84	189	60		20		1	1	1	1	4	7	
2016	Wintergerste				72	222	60		20		1	1	1	1	5	11	
2017	Winterraps				38	240	134		20		1	1	1	1	4	7	

Standortverhältnisse

Im Großen und Ganzen ist die Bewirtschaftung in den Jahren 2012-2017 gleich geblieben. Es hat sich relativ wenig geändert. Das Düngeneiveau ist um 10% gesteigert, die Kalkung zurückgefahren worden. In 2017 erhielt der Winterraps die höchste Stickstoff- und Phosphorgaben seit 1993. Die letzte Kalkung lag vier Jahre zurück.

3.8.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1991, 1995, 1998 und 2006 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die gefundenen Arten ließen meist keine Zuordnung zu einer Pflanzengesellschaft zu. Dies ist auf die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch Herbizideinsatz zurückzuführen. Die wenigen Arten weisen jedoch auf einen stickstoffreichen Standort mit ausgeglichenem Wasserhaushalt hin.



Abbildung 3.28: BDF15 bei der Probenentnahme am 11.04.2018

3.8.6 Bodenzooologie

Auf dieser BDF wurden 2017 endogäische und anecische Regenwürmer nachgewiesen. Im Vergleich mit dem Referenzwert nach BEYLICH & GRAEFE (2009) für lehmige Ackerstandorte lagen sowohl Abundanz als auch Biomasse der Regenwürmer sehr hoch bei durchschnittlicher Artenzahl. Die Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer war dagegen eher unterdurchschnittlich, jedoch die Artenzahl sehr hoch für diese Standortkategorie.

Die Siedlungsdichten und die Regenwurmbiomasse lagen 2017 höher als bei der Voruntersuchung. Die Ursache ist vermutlich, dass im Gegensatz zur Voruntersuchung im aktuellen Untersuchungsjahr aufgrund der anhaltend feuchten Witterung vor der Probenahme noch nicht gepflügt worden war. Ein Vergleich hinsichtlich der quantitativen Parameter mit

den ersten beiden Untersuchungen ist nur eingeschränkt möglich, da diese unter ungünstigen Witterungsbedingungen stattfanden (Frühsommer bzw. Frost). Die nachgewiesenen Arten sind seit Beginn der Untersuchungen ausnahmslos Schwachsäurezeiger. 2017 wurde erstmals ein Nässezeiger unter den Kleinringelwürmern nachgewiesen, was wohl auf hohe Niederschläge im Untersuchungsjahr zurückzuführen ist. Die mittlere Feuchtezahl hat sich dadurch leicht erhöht. Der Anteil r-Strategen liegt etwas unter dem Durchschnitt für lehmige Ackerstandorte.

Die Annelidenzönose ist gekennzeichnet durch eine starke Präsenz endogäischer und anecischer Regenwürmer und eine hohe Dominanz der Gattung *Fridericia* unter den Kleinringelwürmern. Diese Merkmale kennzeichnen den Zersetzergesellschaftstyp als **Fridericio-Lumbricetum**.

3.9 BDF16 Schwartbuck



3.9.1 Landschaft

Die BDF16 liegt etwa 7 km südöstlich von Schönberg und gut 3 km entfernt von der Ostsee. Der Ackerbaustandort liegt etwa 55 m über NN auf einem Moränenrücken. Dieser besteht hier aus Geschiebelehm. Es dominieren Böden aus stark lehmigem Sand bis Lehm. Böden aus mittellehmigem Sand sind eher selten zu finden. In den wenigen Senken sind Niedermoore entstanden.

Die Landschaft wurde durch Wassererosion, welche durch etwa 80 Jahre intensiven Ackerbau gefördert wurde, stark verändert. Auf etwa 10 % der Fläche sind infolgedessen, meist an Unterhängen, kolluvial veränderte Böden zu erwarten.

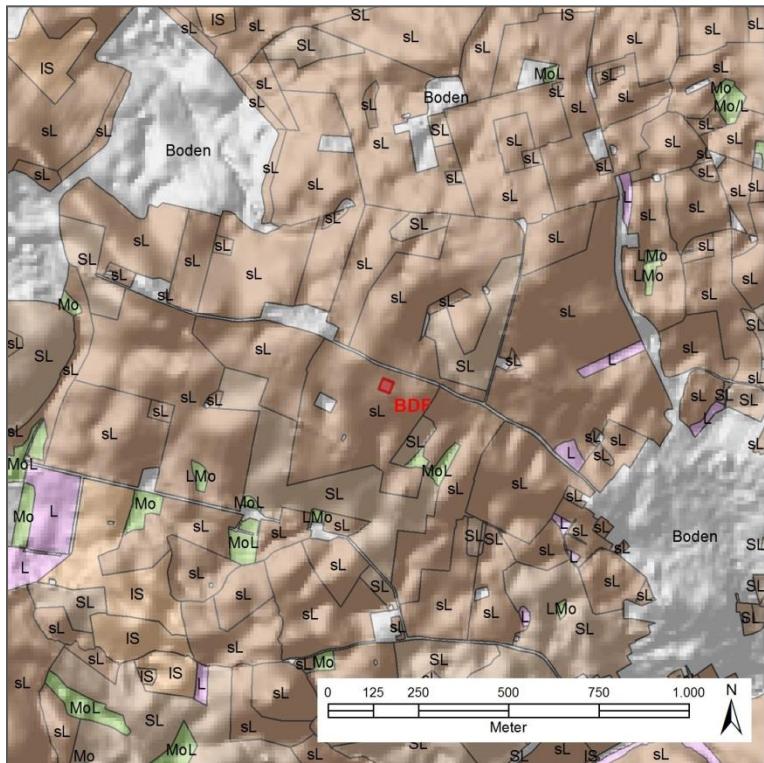


Abbildung 3.29: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF16; (L=Lehm, sL=sandiger Lehm, SL=stark lehmiger Sand, IS=lehmiger Sand, Mo=Moor, Mo/L=Moor über Lehm, MoL="Lehm-moor").

3.9.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Parabraunerde ist unter trockenen Bedingungen aus einem knapp 90 cm mächtigen Geschiebelehm über Geschiebemergel entstanden.

Der humose Oberboden aus stark lehmigem Sand ist mit 1,9-2,2 % Humusanteil schwach bis mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 10. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 6,7-7,1 im neutralen Bereich und im Carbonat-Pufferbereich. Direkt unterhalb des Oberbodens steht verdichteter, rostfleckiger, wasserstauender Geschiebelehm an, der ab 87 cm in stark rostfleckigen Geschiebemergel übergeht.

Abbildung 3.30: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF16.



3.9.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Die Jahresschnittstemperatur beträgt 8,4 °C. Die Jahresniederschläge von 703 mm deuten bereits auf eine Lage im Regenschatten des westlich gelegenen, höheren Randes des Östlichen Hügellandes hin.

Der lehmige Standort liegt in 55 m Höhe über NN auf einem Moränenrücken, der bereits nach 1,2 km in die 30 m tiefer gelegenen Mühlenau und von dort in die Ostsee entwässert. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 80 cm Tiefe. Von der Feldkapazität in Höhe von 221 mm sind nur 108 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleyung besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch den Getreide und Rapsanbau verstärkt wird. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist im Schnitt der letzten Jahre als schwach bis mittel frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,4	703	
2012-2017	9,3	726	3,9
2017	9,4	888	4,5

Tabelle 3.32: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um knapp 1 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort wurde als schwach frisch (BKF 4) eingestuft.

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresschnittstemperatur von 9,4 °C vergleichbar warm bei deutlich erhöhten Niederschlägen im Sommer, so dass der Standort als mittel frisch einzustufen war (BKF5).

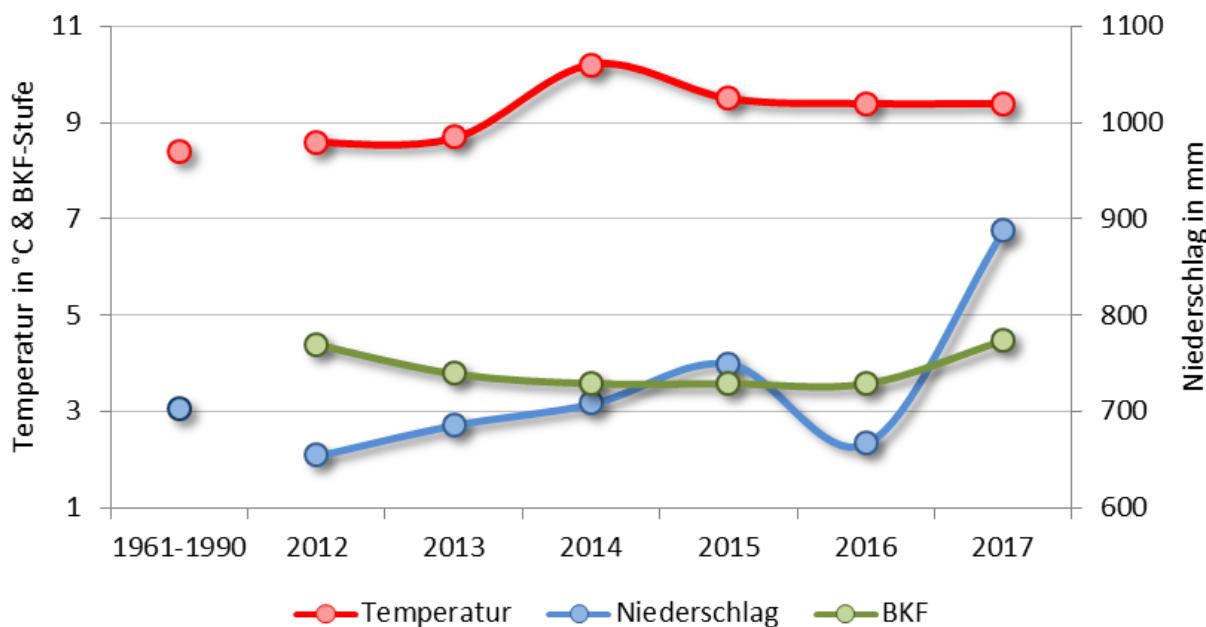


Abbildung 3.31: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF16

3.9.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominiert der Getreidebau mit der klassischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste. Das Grünland ist nur selten und bevorzugt in den grundwasserbeeinflussten Senken anzutreffen. In der nordwestlichen Ecke liegen größere Waldstücke.

Tabelle 3.33: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Mist (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl/ha)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Raps-Weizen-Gerste	177	59	272	8	0,6	0,6	0,7	1,3	0,6	3,9	6,2
2003-2017	Raps-Weizen-Weizen/Gerste	185	45	205	15	0,6	0,5	0,7	1,5	0,9	4,7	8,3
2012-2017	Raps-Weizen-Weizen/Gerste	224	26	511,7	0	0,8	0,5	1,0	0,7	1,8	6,2	12,3
2017	Winterweizen	263	20			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0	23,0

Tabelle 3.34: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha), * = m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Mist (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/aehr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Winterweizen	?	27	90									
1991	Winterweizen	80	30	120			1					2	3
1992	Winterweizen	90	229	90	1512							2	2
1993	Winterweizen	90	230	20			1	1	1			4	3
1994	Wintergerste	70	132	132	1512			1	1			3	3
1995	Winterraps	42	132	125			1	1	1			3	3
1996	Winterweizen	100	226					1	1			3	4
1997	Wintergerste	110	226	180	1512							3	4
1998	Winterraps	?	?	25			1	1	1	2	1	1	1
1999	Winterweizen	101	200	64				1	1	3	1	5	7
2000	Wintergerste	92	189	20			1		1	3	1	4	7
2001	Winterraps	38	188	25			1	1	1	3		2	3
2002	Winterweizen	80	204	84			1	1	1	3	1	6	10
2003	Wintergerste	92	225	20			1	1	1	3	1	5	8
2004	Winterraps	45	47	95			1			1	1	3	4
2005	Winterweizen	100	232	100		200		1	1	4		4	8
2006	Wintergerste	90	273	70								2	2
2007	Winterraps	47	73	70						3		3	7
2008	Winterweizen	101	93	53		20		1	1	2		4	6
2009	Winterweizen	88	65	80			1	1	1	2		5	6
2010	Winterraps	42	200	25			1			3		3	3
2011	Winterweizen	66	222					1	1			4	6
2012	Braugerste	78	171		1600				1	3		8	12
2013	Winterraps	46	193	25	1470		1		1		3	3	4
2014	Winterweizen	108	275	20			1		1		2	9	18
2015	Winterraps	44	181	25			1	1	1		3	3	6
2016	Winterweizen	89	259	66			1	1	1		2	5	11
2017	Winterweizen	102	263	20			1	1	1	1	1	9	23

Standortverhältnisse

Tabelle 3.35: Bewirtschaftungsmaßnahmen der BDF16 in 2017

Jahr	Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	15.02.	Mineraldüngung	Harnstoff	160	kg/ha
	11.03.	Mineraldüngung	SSA	120	kg/ha
	17.03.	Mineraldüngung	KAS	100	kg/ha
	27.03.	Herbizid	Lotus Thimet	0,05	kg/ha
			Atlantis	0,5	l/ha
	10.04.	Mineraldüngung	Harnstoff	110	kg/ha
	26.04.	Fungizid	Vegas	0,2	l/ha
			Proline	0,5	l/ha
	14.05.	Wachstumsregulator	Medax	0,45	l/ha
			CCC 720	1,5	l/ha
	25.05.	Fungizid	Bravo	1	l/ha
			Lynx	0,4	l/ha
	29.05.	Wachstumsregulator	Talius	0,12	l/ha
			Medax	0,15	l/ha
	14.06.	Fungizid	Calma	0,2	l/ha
			KAS	220	kg/ha
	15.08.	Ernte	Medax	0,2	l/ha
			Adexar	0,8	l/ha
	23.08.	Fungizid	Achat	0,3	l/ha
			Lynx	0,7	l/ha
	25.08.	Grundbodenbearbeitung	Taspa	0,3	l/ha
			Winterweizen	101,5	dt/ha
	27.08.	Kalkung	Getreidestroh	1	Ernte
			Grubber	8	cm Tiefe
	28.08.	Mineraldüngung	Pflug	28	cm Tiefe
			Kornkali 60er	350	kg/ha
	01.09.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
			Winterraps	3,5	kg/ha
	05.09.	Saat	Gamit 360 CS	0,23	l/ha
			Butisan Gold	2	l/ha
	23.09.	Herbizid	Agil	0,8	l/ha
			Karate Zeon	0,075	kg/ha
		Mineraldüngung	KAS	100	kg/ha
	18.10.	Fungizid	Tilmor	0,4	l/ha
			Karate Zeon	0,075	kg/ha
	07.11.	Herbizid	Cohort	1,9	l/ha

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren in einer typischen Ackerbau-Fruchtfolge des Östlichen Hügellandes, bestehend aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste, bewirtschaftet. Es wird im Schnitt alle 2 Jahre gepflügt. Das Getreidestroh wird oft abgefahren. Das Niveau der Mineralstickstoffeinsatzes ist hoch und der Kalkung mittel, das des Pflanzenschutzmitteleinsatzes hoch.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt in der Regel bis zu zwei Wochen vor der Aussaat der Folgefrucht. Diese erfolgt für Winterraps in der zweiten Augusthälfte, für Wintergerste Mitte September und für Winterweizen Mitte September bis Mitte Oktober. In der ersten Oktoberhälfte erfolgt die erste Herbizid-, teilweise auch schon Fungizid- oder Insektizidbehandlung. Nach der Winterruhe setzt teilweise schon im Februar eine intensive Mineralstickstoffdüngung ein. In monatlichen Abständen werden bis in den Juni insgesamt rund 200 kg N/ha gestreut. Parallel dazu werden Mitte April bis Anfang Juni Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt. Dazu werden an zwei bis drei Terminen bis Mitte Juni oft im Cocktail Herbicide (nur beim ersten Mal), Fungizide, Wachstumsregulatoren sowie bei Bedarf Insektizide gespritzt. Wintergerste wird in der zweiten Julihälfte, Winterraps in der ersten Augusthälfte und Winterweizen im August geerntet. Das Ertragsniveau ist meist hoch. Das Stroh verbleibt seit fünf Jahren nicht mehr auf dem Feld. Es wird sporadisch Mist gestreut. Die bis 1998 sehr intensive, jährliche Grunddüngung, bestehend aus Kalium- und Phosphordünger, ist seitdem deutlich zurückgefahren worden. Die Kalkung erfolgt sehr unregelmäßig, aber fortlaufend. Eine Brache wird nicht eingeschaltet. Bis zur Aussaat der nächsten Frucht vergehen meist drei bis sechs Wochen, selten mehr als zwei Monate.

In den letzten 15 Jahren wurden im Vergleich zur Zeit seit 1991 der Dünger- und der Pflanzenschutzmitteleinsatz gesteigert und erreichte 2017 ein sehr hohes Niveau. Das Jahr 2018 begann mit einem massiven Stickstoffdüngereinsatz im Februar und etwa 6 Wochen vor der Probenentnahme (185 kg N/ha).

Tabelle 3.36: Bewirtschaftungsmaßnahmen der BDF16 zu Beginn 2018

2018	08.02.	Mineraldüngung	SSA	220	kg/ha
	12.02.	Mineraldüngung	Harnstoff	200	kg/ha
	22.02.	Mineraldüngung	Harnstoff	100	kg/ha
	03.04. Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung				

3.9.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2006 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Bis 1995 konnte eine Kamillen-Gesellschaft (*Aphano-Matri-carietum chamomillae*) und 1998 Windhalm-Gesellschaft (*Aperion spica-venti*) gefunden werden. Die Artenarmut dieser Pflanzengesellschaften ist auf die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch Herbizideinsatz zurückzuführen. Die mittleren Zeigerwerte dieser Pflanzengesellschaften schwanken aufgrund dieser Artenarmut schnell, so dass ihre Aussagefähigkeit eingeschränkt ist. Sie weisen jedoch auf einen frischen, schwach sauren und stickstoffreichen Standort hin.



Abbildung 3.32: BDF16 bei der Probenentnahme am 03.04.2018

3.9.6 Bodenzoologie

Bodentiere wurden in den Jahren 1998 und 2004 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer lebten überwiegend anecisch (Tiefgräber), aber auch endogäisch. Unter den Kleinringelwürmern gibt es keine eindeutige Präferenz für K- oder r-Strategen. Es kommen fast ausschließlich Schwachsäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Die Feuchtezahl von 6,0 weist auf einen frischen bis feuchten Standort hin. Eine bodenkundliche Feuchtestufe von unter 2 und ein pH-Wert von etwa 6,7 bis 7,2 (CaCl_2) weisen auf eine Bodenlebensgemeinschaft von Äckern lehmiger Böden hin, die Wärme und Trockenheit toleriert.

3.10 BDF18 Heringsdorf



3.10.1 Landschaft

Die BDF18 liegt etwa 12 km östlich von Oldenburg (Ostholstein), etwa 400 m von der Ostsee entfernt.

Die BDF liegt etwa 10 m über NN auf einem ebenen Moränenrücken. Dieser besteht hier aus Geschiebelehmen. Es dominieren Böden aus stark lehmigem Sand bis Lehm. Böden aus mittellehmigem Sand sind selten zu finden. In den wenigen Senken sind Niedermoore entstanden. Die Landschaft wurde durch Wassererosion, welche durch etwa 80 Jahre intensiven Ackerbau gefördert wurde, stark verändert. Auf etwa 10 % der Fläche sind infolgedessen, meist an Unterhängen, kolluvial veränderte Böden zu erwarten.

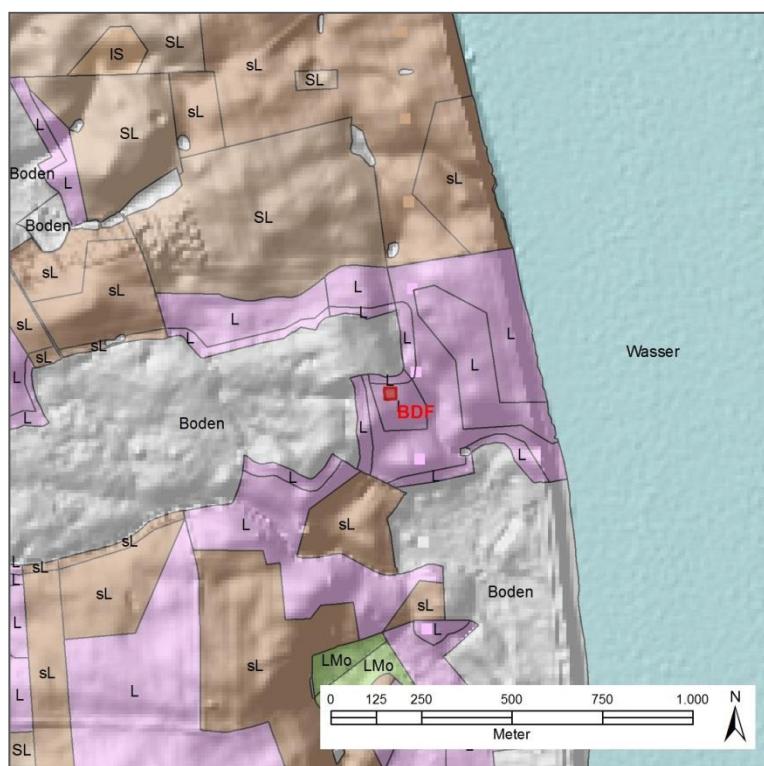


Abbildung 3.33: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF18; (L=Lehm, sL=sandiger Lehm, SL=stark lehmiger Sand, IS=lehmiger Sand, LMo="Moorlehm")

3.10.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Parabraunerde ist unter trockenen Bedingungen aus einem knapp 110 cm mächtigen Geschiebelehm über Geschiebemergel entstanden.

Der humose Oberboden aus stark lehmigem Sand ist mit 1,8-2,1 % Humusgehalt schwach bis mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull etwas weiteren C/N-Verhältnis von 11. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen mit 6,5-7,0 im sehr schwach sauren bis neutralen Bereich sowie im Carbonat-Pufferbereich. Direkt unterhalb des Oberbodens steht dichter, sehr schwach bis schwach rostfleckiger, wasserstauender Geschiebelehm an, der ab 110 cm Tiefe in schwach rostfleckigen Geschiebemergel übergeht.

Abbildung 3.34: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF18



3.10.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,3 °C. Die Jahresniederschläge von 597 mm sind bereits ein deutlicher Hinweis auf die Lage im Regenschatten des westlich gelegenen, höheren Randes des Östlichen Hügellandes.

Der lehmige Standort liegt in 10 m Höhe über NN auf einem flachen Moränenrücken, der bereits nach 300 m in den praktisch auf Meereshöhe liegenden Heringsdorfer Busch und von dort in die Ostsee entwässert. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 80 cm. Von der Feldkapazität von 254 mm sind nur 104 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleitung besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch den Getreide- und Rapsanbau verstärkt wird. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist als mittel frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,3	597	
2012-2017	9,6	628	4,3
2017	9,7	752	5,7

Tabelle 3.37: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um 1,3 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort war als schwach frisch (BKF 4) einzustufen.

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,7 °C vergleichbar warm wie im Zeitraum 2012-2017 bei deutlich höheren Niederschlägen im Sommer. Der Standort war als stark frisch (BKF6) einzustufen.

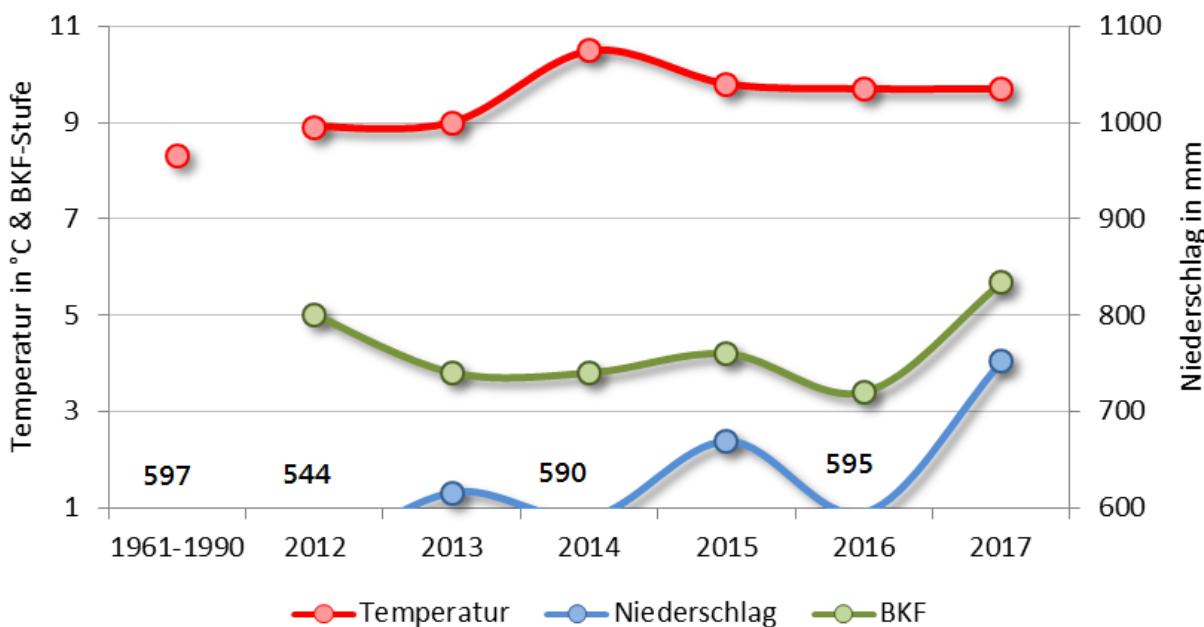


Abbildung 3.35: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF18

3.10.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominiert der Getreidebau mit der klassischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste. Das Grünland ist nur selten und bevorzugt in den grundwasserbeeinflussten Senken anzutreffen. An einigen Stellen, bevorzugt in leichter Senkenlage, liegen Weihnachtsbaumkulturen. Unmittelbar östlich der BDF18 liegt ein größeres Waldstück mit naturnaher Bestockung.

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren in einer weizenbetonten Ackerbau-Fruchtfolge des Östlichen Hügellandes, bestehend aus Winterraps-Winterweizen- Winterweizen, bewirtschaftet. In der Fruchtfolge wird nach Raps nicht gepflügt. Das bis 1996 meist abgefahrene Stroh verbleibt seitdem auf dem Feld. Das Niveau des Mineralstickstoffeinsatzes ist hoch bis teilweise sehr hoch, das der Kalkung sehr hoch sowie das des Pflanzenschutzmitteleinsatzes hoch.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt in der Regel bis zu zwei Wochen vor der Aussaat von Raps und drei bis sechs Wochen vor der Aussaat von Weizen. Bei Vorfrucht Raps wird grundsätzlich nicht gepflügt. Die Aussaat erfolgt für Winterraps in der zweiten Augusthälfte, für Winterweizen Mitte September bis Mitte Oktober. Bei Raps werden schon wenige Tage nach Aussaat hauptsächlich Herbizide, aber auch Fungizide und Insektizide gespritzt. Bei Weizen vergehen bis zur ersten Behandlung meist zwei bis drei Wochen. Parallel dazu werden Kalium, Magnesium und Phosphor mit einer geringen Menge Stickstoff gedüngt (Grunddüngung). Ab März des folgenden Jahres werden an drei bis vier Terminen bis Ende Mai / Anfang Juni insgesamt etwa 220 kg/ha Stickstoff gegeben. Eine Gülle- oder Mistgabe erfolgt nicht. Anfang April bis häufig Anfang Juni werden an drei bis fünf Terminen Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren im „Cocktail“ gespritzt. Raps wird Anfang August, Weizen eher Mitte August geerntet. Das Ertragsniveau ist hoch bis teilweise sehr hoch.

Tabelle 3.38: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anz.)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PSM)
1991-2017	Weizen-Weizen-Raps	196	39	705	0,7	0,5	0,6	1,0	1,3	4,3	9,1
2003-2017	Weizen-Weizen-Raps	240	36	1011	0,7	0,3	0,6	1,0	0,9	4,9	11,7
2012-2017	Weizen-Weizen-Raps	235	42	857	0,5	0,3	0,5	1,5	0,8	4,3	14,2
2017	Winterweizen	278	65					1,0	1,0	5,0	19,0

Im Zeitraum 2012-2017 wurde im Vergleich zur Zeit 1991 bis 2017 20 % mehr Stickstoff gegeben. Der Pflugeinsatz wurde zugunsten des Grubbers zurückgefahren. Ansonsten blieb alles im oben genannten Rahmen.

In 2017 wurde Winterweizen geerntet und Winterraps ohne Pflugfurche angesät. Es wurden 20 % mehr Stickstoff und 40 % mehr Phosphor ausgebracht. Der Pflanzenschutz wurde stark intensiviert.

Tabelle 3.39: Bewirtschaftungsmaßnahmen Anfang 2018

Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
14.02.	Mineralduengung	SSA	190	kg/ha
05.03.	Mineralduengung	Harnstoff	130	kg/ha
26.03.	Mineralduengung	Harnstoff	180	kg/ha
27.03.	Mineralduengung	NPK (8/24/24)	230	kg/ha
05.04. Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung				
22.04.	Fungizid	Tilmor	0,25	l/ha
22.04.	Fungizid	Orius	0,5	l/ha
22.04.	Insektizid	Trebon	0,2	l/ha

Tabelle 3.40: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017

Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
10.02.	Mineralduengung	SSA	120	kg/ha
10.02.	Mineralduengung	Harnstoff	150	kg/ha
26.03.	Mineralduengung	AHL	30	kg/ha
26.03.	Herbizid	Atlantis	0,46	kg/ha
26.03.	Herbizid	Concert	0,04	kg/ha
11.04.	Mineralduengung	Harnstoff	160	kg/ha
20.04.	Fungizid	Input	0,4	l/ha
20.04.	Fungizid	Bravo	0,75	l/ha
20.04.	Wachstumsregulator	Calma	0,25	l/ha
20.04.	Wachstumsregulator	CCC 720	1,5	l/ha
13.05.	Wachstumsregulator	Calma	0,25	l/ha
13.05.	Fungizid	Input	0,4	l/ha
13.05.	Fungizid	Talius	0,12	l/ha
27.05.	Insektizid	Karate Zeon	0,075	l/ha
27.05.	Wachstumsregulator	Camposan	0,3	l/ha
27.05.	Fungizid	Bravo	0,4	l/ha
27.05.	Fungizid	Aviator Xpro	0,7	l/ha
31.05.	Mineralduengung	Harnstoff	100	kg/ha
31.05.	Mineralduengung	Yara Sulfan	120	kg/ha
16.08.	Ernte	Getreidestroh	1	Ernte
16.08.	Ernte	Winterweizen	122	dt/ha
22.08.	Stoppelbearbeitung	Grubber	15	cm Tiefe
30.08.	Saat	Winterraps	2,5	kg/ha
30.08.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	5	cm Tiefe
01.09.	Mineralduengung	AHL	50	kg/ha
01.09.	Herbizid	Fuego	1	l/ha
01.09.	Herbizid	Gamit 360 CS	0,3	l/ha
22.09.	Mineralduengung	NPK (5/18/29)	250	kg/ha
14.10.	Fungizid	Tilmor	0,4	l/ha
14.10.	Herbizid	Effigo	0,3	l/ha
14.10.	Herbizid	Agil	0,6	l/ha
19.12.	Herbizid	Kerb Flo	1,75	l/ha

Standortverhältnisse

Tabelle 3.41: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha), *= m^3/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Einterste (Anzahl/aehr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Winterweizen	115	265	184		1	1	1	2	2	7	11
1991	Winterraps	41	262				1	1	2	2	3	3
1992	Winterweizen	95	174	92		1					6	12
1993	Winterweizen	84	?	0		1					4	5
1994	Phacelia-Klee		?				1	1		4	1	1
1995	Winterraps	38	?	0		1					?	?
1996	Winterweizen	102	?				1	2		1		
1997	Winterweizen		64	40	1638	1	1	1	1	5	2	3
1998	Winterraps	47	208	50		1			2	3	3	4
1999	Winterweizen	125	282	60	2940	1	1	1	1	2	6	11
2000	Wintergerste	100	211	54		1	1	1	1	1	5	11
2001	Winterraps	44	179	40		1			2		3	5
2002	Winterweizen	108	250	50		1	1	1	3	1	7	12
2003	Winterraps	45	204	51	2440	1				2	3	7
2004	Winterweizen	114	231	40		1	1	1	1	1	6	8
2005	Winterweizen	108	264	48	2238	1	1	1	1		7	14
2006	Winterraps	47	189								2	3
2007	Winterweizen	85	218	0		1					5	11
2008	Winterweizen	106	284	0	3736	1		1	1	2	7	14
2009	Winterraps	51	52	36		1		1	1	1	5	8
2010	Winterweizen	101	206	0		1	1	1	1	2	5	10
2011	Winterweizen	132	536	107	1600			1	1	1	7	16
2012	Winterraps	41	203	0		1			2		4	10
2013	Winterweizen	101	223	0	2360	1	1	1	1	1	4	9
2014	Winterweizen	101	254	112	1250	1		1	1	1	7	25
2015	Winterraps	46	198	25					2	1	2	5
2016	Winterweizen	106	253	50	1520		1	1	2	1	4	17
2017	Winterweizen	122	278	65	14				1	1	5	19

3.10.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1992, 1996, 1999 und 2007 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die Arten gehören einer Acker-Wildkraut-Flur (*Stellarietea mediae*) an. Die Artenarmut dieser Pflanzengesellschaft ist auf die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch intensiven Herbizideinsatz zurückzuführen. Die mittleren Zeigerwerte dieser Pflanzengesellschaften schwanken aufgrund dieser Artenarmut schnell, so dass ihre Aussagefähigkeit eingeschränkt sind. Sie weisen jedoch auf einen frischen, mäßig bis schwach sauren und stickstoffreichen Standort hin.

3.10.6 Bodenzoologie

Bodentiere wurden 1997 und 2003 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer lebten sowohl anecisch (Tiefgräber), als auch endogäisch. Unter den Kleinringelwürmern gibt es keine Präferenz für K- oder r-Strategen, da ihre Anteile von Untersuchung zu Untersuchung stark schwankten. Es kommen fast ausschließlich Schwachsäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Die Feuchtezahl von 6,0 bis 6,5 weist auf einen frischen bis feuchten Standort hin. Eine bodenkundliche Feuchtestufe von 5-6 und ein pH-Wert von etwa 6,5 bis 7,0 (CaCl_2) weisen auf eine Bodenlebensgemeinschaft von Äckern lehmiger Böden hin.

3.11 BDF19 Mörel/Nindorf



3.11.1 Landschaft

Die BDF19 liegt etwa 5 km nordöstlich von Hohenwestedt in der Hohen Geest. Die BDF liegt etwa 80m über NN auf einer Hochfläche einer Altmoräne, die nur wenige Meter südöstlich steil auf etwa 15m über NN abfällt. Auf der Altmoräne liegt eine mehr oder weniger mächtige Geschiebedecksandschicht über Geschiebelehm. Aus mächtigen Geschiebedecksandschichten

entwickelten sich vorzugsweise Braunerden, die besonders häufig am steilen Abhang von der Hochfläche zu finden sind. Je dichter der wasserstauende Geschiebelehm unter der Oberfläche steht, desto stärker ist in der Regel die Pseudovergleyung ausgeprägt, bis hin zu reinen Pseudogleyen. In den wenigen Senken und den tief eingeschnittenen Tälern des Abhangs sind Anmoorgleye bis teilweise Niedermoore zu finden.

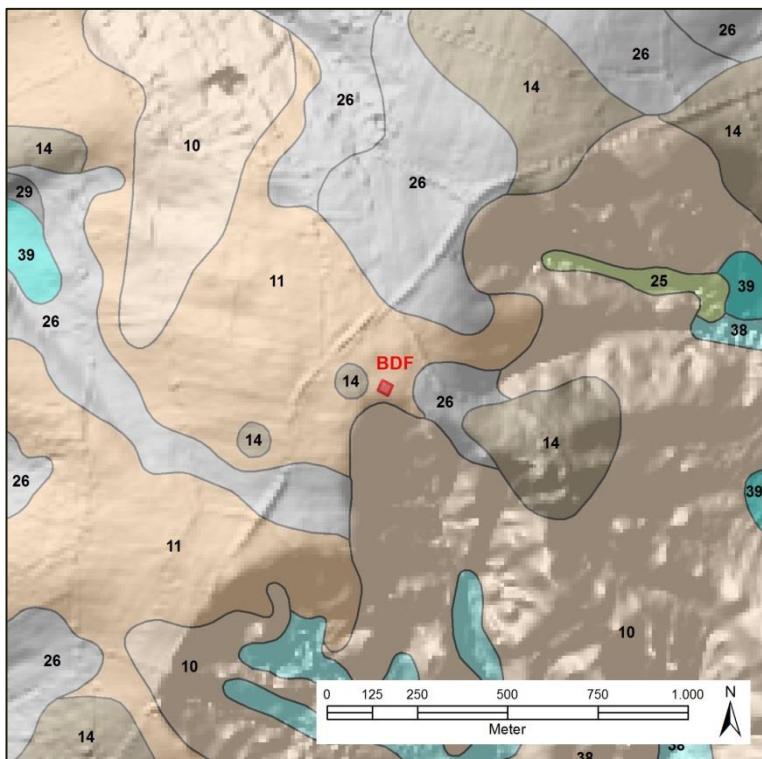


Abbildung 3.36: Bodenformen im Umland der BDF19 (Legende im Anhang S. 295)

3.11.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Parabraunerde ist aus einer gut 40cm mächtigen Geschiebedecksandschicht über Geschiebelehm entstanden.

Der humose Oberboden aus schwach bis mittel schluffigem Sand ist mit 1,8% schwach humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis um 10. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 5,5-5,7 im schwach saurem Bereich und im Silikat-Pufferbereich. Die pH-Werte liegen damit um etwa einen Wert unter pH-Werten entsprechender Böden im Östlichen Hügelland. Der Geschiebedecksand geht nach 40cm in einen mäßig pseudovergleyten und lessivierte, tonverarmten Oberboden über. Ab 60cm folgt ein ebenfalls mäßig pseudovergleyte, tonangereicherte wasserstauende Unterboden aus Geschiebelehm.

3.11.3 Klima, Witterungseinflüsse sowie Wasserhaushalt

Die Jahresschnittstemperatur beträgt $7,8^{\circ}\text{C}$. Die Jahresniederschläge von 904 mm weisen deutlich auf Steigungsregen aufgrund der höheren Lage zum westlichen Vorland hin.

Der lehmige Standort liegt auf einer flachen Moränenhochfläche, die bereits nach 50 Metern im Südosten in einen steilen Abhang übergeht. Die effektive Durchwurzelung reicht nur bis 71 cm. Von der Feldkapazität von 174 mm sind 115 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleitung ist bestehend besonders im Sommer in Abhängigkeit von der angebauten Kulturfrucht die Gefahr einer teilweise langandauernden Austrocknung, die durch den Anbau von Getreide, Raps und Mais verstärkt wird. Zuckerrüben und Sommergetreide schonen den Wasserhaushalt im Frühsommer. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist als schwach frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	7,8	904	
2012-2017	9,1	950	3,9
2017	9,2	1141	5,0

Tabelle 3.42: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ im Jahresschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

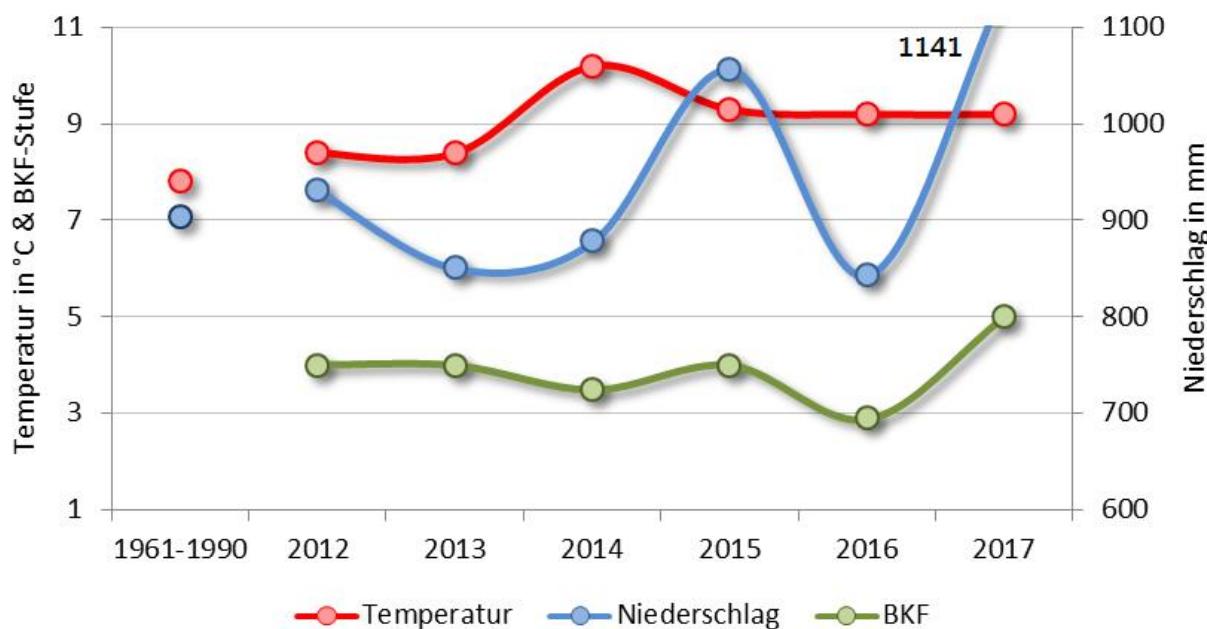


Abbildung 3.37: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF19

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 $1,3^{\circ}\text{C}$ über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990. Die Niederschläge nahmen etwas um rund 50 mm zu. Nach der bodenkundlichen Feuchtestufe als schwach frisch einzustufen.

Standortverhältnisse

Das Jahr 2017 war vergleichbar warm, es fielen aber fast 200 mm mehr Niederschläge, so dass der Standort feuchter, d. h. als mittel frisch eingestuft wurde.

3.11.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen der Hochfläche werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominierte eine abwechslungsreiche Fruchtfolge. Diese wird zunehmend von einer dreigliedrigen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste abgelöst, die für das Östliche Hügelland typisch ist. Der steile Abhang wird fast ausschließlich von Wald eingenommen. Das Grünland beschränkt sich auf grundwasserbeeinflusste Senken, in denen sich auch häufig Fischteiche befinden.

Dieser Standort wird im Rahmen einer sehr vielseitigen Fruchtfolge mit Sommerkulturen bewirtschaftet. Alle drei Jahre wird Zuckerrübe angebaut. Weitere häufige Fruchtarten sind Braugerste und Mais, weniger häufig werden Hafer und Ackergras angebaut. Der Pflug wird fast immer eingesetzt. Das Rübenblatt und manchmal auch das Getreidestroh verbleiben auf dem Feld. Ein bis zwei Güllegaben zu 20-30m³ sind üblich. Die Mineralstickstoff- und Kalkgaben erreichen ein niedriges Niveau, die Erträge auch bei einem mittleren Niveau des Pflanzenschutzes.

Tabelle 3.43: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Düngung, Stickstoff (kgN/ha)	Düngung, Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Düngung, Guelle (m ³ /ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	vielseitige Fruchtfolge	163	55	213	25	0,2	0,9	0,9	0,4	0,8	2,3	4,8
2003-2017	vielseitige Fruchtfolge	179	55	172	24	0,3	1,0	1,0	0,4	1,1	2,9	5,6
2012-2017	Getreide-Mais	227	83	171	39	0,2	1,0	1,0	0,5	1,7	3,0	6,2
2017	Winterweizen	338	102		73		1,0	1,0		2,0	5,0	15,0

Die Grundbodenbearbeitung mit Pflug und Packer erfolgt rund eine Woche vor Aussaat der Kulturfrucht. Nur wenige Tage vor oder nach der Aussaat erhält der Bestand die erste meist 25-40m³ Rindergülle/ha und 60-100 kg Mineralstickstoff/ha. Dazu kommen häufig Phosphor und

Kalium. Danach erfolgen bis zur Ernte in der Regel keine Düngemaßnahmen mehr! Stattdessen werden meist an zwei bis drei Terminen Herbizide, Fungizide und Insektizide oft im „Cocktail“ gespritzt. Die Ernte erfolgt für Braugerste im Laufe des Augusts, für Mais in der zweiten Oktoberhälfte und für Zuckerrüben oft in der zweiten Novemberhälfte. Das Rübenblatt verbleibt immer und das Getreidestroh manchmal auf dem Feld.

Diese Bewirtschaftung wurde im Großen und Ganzen bis 2016 beibehalten. Das Jahr 2017 fiel insofern aus dem Rahmen, dass das Dünge- und Pflanzenschutzniveau extrem gesteigert wurde.

Tabelle 3.44: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017

Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	16.01.	organische Düngung	Rindergülle 70	35 m ³ /ha
	07.03.	Mineraldüngung	Yara Sulfan	200 kg/ha
	15.03.	Mineraldüngung	Kali 40er	100 kg/ha
	21.04.	Mineraldüngung	KAS	100 kg/ha
	24.04.	Fungizid	Vegas	0,2 l/ha
			Proline	0,5 l/ha
			Agent	0,5 l/ha
			Dirigent	0,025 kg/ha
	Wachstumsregulator	CCC	1,5 l/ha	
			Moddus	0,2 l/ha
	29.05.	Fungizid	Adexar	1,3 l/ha
		Wachstumsregulator	CCC	0,5 l/ha
			Moddus	0,2 l/ha
	21.06.	Fungizid	Prosaro	1 l/ha
	08.08.	Ernte	Getreidestroh	1 Ernte
			Winterweizen	90 dt/ha
		Kalkung	Profi Mega Kalk	2000 kg/ha
	22.08.	organische Düngung	Rindergülle	38 m ³ /ha
		Bodenbearbeitung	Scheibenegge	5 cm Tiefe
	24.08.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	23 cm Tiefe
	26.08.	Saatbettbereitung	Drillkombination	3 cm Tiefe
		Saat	Winterraps	3,2 kg/ha
	30.08.	Herbizid	Butisan Gold	2 l/ha
	04.09.	Molluskizid	Mollustop	6 kg/ha
	18.10.	Herbizid	Galant Super	0,5 l/ha
		Fungizid	Carax	0,5 l/ha
18	13.03.	Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung		
	20.03.	Mineraldüngung	NPK (20/9/20)	300 kg/ha

Standortverhältnisse

Tabelle 3.45: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)			Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Gülle (m³/ha)	Erntereste (Anzahl/aehr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Ackergras														
1991	Zuckerrüben	470	215	86	1386	40			1	1			1	4	4
1992	Hafer	32	54	21		15			1	1			1	1	1
1993	Braugerste		188	56	1085				1	1			1		
1994	Zuckerrüben	466	234	86		40			1	1			2	4	10
1995	Mais	52	?	?		40			1	1			?	?	
1996	Mais	48	103	92		25			1	1	1		1	2	
1997	Zuckerrüben	502	90	35		25							3	9	
1998	Braugerste	52	68	20			1		1	1	1	1	1	1	3
1999	Ackergras		520	104		74									
2000	Zuckerrüben	560	90	71		25			1	1	1		2	11	
2001	Braugerste	63	139	51		22	1		1	1			2	5	
2002	Mais	60	163	111	915	35			1	1	1		2	4	
2003	Zuckerrüben	450	90	35		25			1	1			3	6	
2004	Sommergerste		147	35		25			1	1			1	2	4
2005	Braugerste	62	60	40			1		1	1			2	2	4
2006	Zuckerrüben	600	207	49		35			1	1			1	4	
2007	Mais	125	174	86		40			1	1	1		2	3	
2008	Winterweizen	80	133		1562				1	1			1	4	8
2009	Winterraps	42	179	25			1		1	1			1	4	5
2010	Winterweizen	75	187	20			1						3	6	
2011	Sommergerste	48	148	28					2	2	2	1	5	7	
2012	Winterraps	41	99	51			1				1	1	1	1	3
2013	Winterweizen	72	274	67		25			1	1			1	5	9
2014	Winterraps	45	299	42		35			1	1			1	3	6
2015	Mais	45	200	140		60			1	1			3	3	2
2016	Mais	120	152	98		40			2	2	2	2	1	2	
2017	Winterweizen	90	338	102	1024	73			1	1			2	5	15



Abbildung 3.38: BDF19 bei der Probenentnahme für bodenmikrobiologische Untersuchungen am 17.03.2015

3.11.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1991, 1994, 1997 und 2005 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Es wurde eine Ackerehrenpreis-Erdrauch-Gesellschaft (*Veronica agrestis-Fumarietum*) gefunden, die im Vergleich zu anderen ackerbaulich genutzten BDF relativ artenreich war. Dennoch war die Störung des Standortes durch Bodenbearbeitung und durch Herbizideinsatz gut zu erkennen. Die Arten weisen auf einen frischen, eher stickstoffreichen und mäßig sauren Standort hin.

3.11.6 Bodenzoologie

Es wurden zwei endogäische und eine anecische Regenwurmart gefunden. Bezogen auf die Referenzwerte für sandige Ackerstandorte lagen die Biomasse der Regenwürmer extrem hoch und die Abundanz sehr hoch (BEYLICH & GRAEFE 2009). Die Artenzahl der Regenwürmer ist für die üblicherweise artenarmen Sandäcker hoch. Die Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer ist im Gegensatz dazu niedrig, ihre Artenzahl durchschnittlich. Da für die Regenwürmer auch der im Unterboden anstehende Geschiebelehm erreichbar ist, scheint es sinnvoll, für diese Tiergruppe statt der Erwartungswerte für Sandstandorte diejenigen für lehmige Standorte heranzuziehen. Danach liegen die gefundenen Werte für Regenwurmbiomasse und -abundanz im Bereich der Erwartungswerte.

Der Anteil r-Strategen der Gattung *Enchytraeus* lag 2017 überdurchschnittlich hoch. Alle gefundenen Arten waren Schwachsäure- / Schwachbasenzeiger. Feuchte- oder Nässezeiger kamen nicht vor. Die mittleren Zeigerwerte für Bodenfeuchte und -reaktion sind seit

Standortverhältnisse

Untersuchungsbeginn unverändert. Die Gesamtartenzahl sowie die Artenzahl je Probe sind bei den Regenwürmern seit der Erstuntersuchung gestiegen. Auch bei den Kleinringelwürmern lag die Artenzahl je Probe 2009 und 2017 höher als zuvor. Siedlungsdichten sowie Regenwurmbiomasse zeigen 2017 im Vergleich zur Voruntersuchung 2009 keine signifikanten Unterschiede.

Auf der BDF19 sind die Bedingungen wegen der bindigeren Bodenart im Unterboden und der aufgrund regelmäßiger Kalkungen nur schwach sauren Verhältnisse etwas günstiger als auf anderen Sandstandorten. Zur Bodenlebensgemeinschaft gehören daher an diesem Standort neben endogäischen auch anecische Regenwürmer. Kleinringelwürmer der Gattungen *Fridericia* und *Enchytraeus* dominieren. Das Artenspektrum ist damit charakteristisch für den Zersetzergesellschaftstyp **Fridericio-Lumbricetum** (GRAEFE 1993). Eine Entwicklungstendenz zu einem anderen Gesellschaftstyp ist derzeit nicht erkennbar.

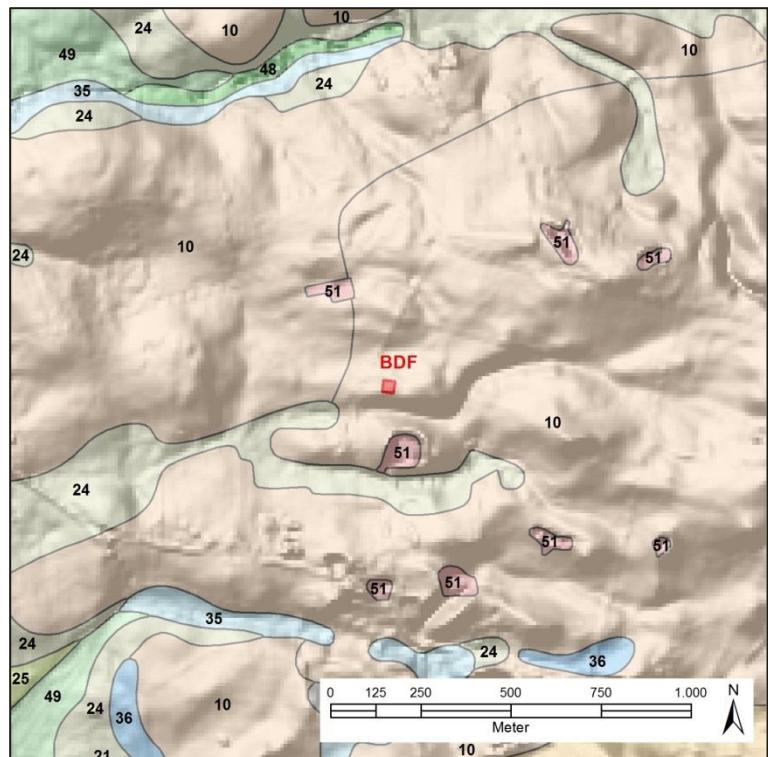
3.12 BDF23 Bokhorst



3.12.1 Landschaft

Die BDF19 liegt 5,5 km westlich von Schenefeld auf halbem Wege zum Nord-Ostsee-Kanal in der Hohen Geest. Die BDF liegt etwa 33m über NN auf einer nach Westen allmählich abfallenden Hochfläche einer Altmoräne. Die Altmoräne besteht in diesem Raum fast ausschließlich aus Geschiebedecksand über Geschiebedecksand, aus denen sich bei trockenen Verhältnissen fast ausschließlich Braunerden entwickelten. In den Senken und den sind, bedingt durch das höher anstehende Grundwasser, Gley-Podsole, Gleye und Niedermoore zu finden.

Abbildung 3.39: Bodenformen im Umland der BDF23 (Legende im

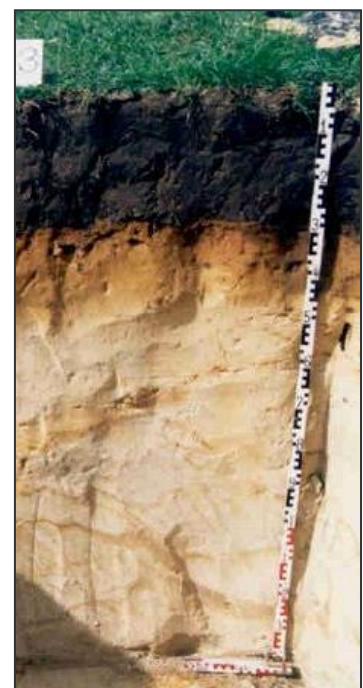


Anhang S. 295)

3.12.2 Boden und Geologie

Die typische Braunerde ist aus einer gut 30 cm mächtigen Geschiebedecksandschicht über Schmelzwassersand entstanden. Der humose Oberboden aus schwach bis mittel schluffigem Sand ist mit 4,0-4,4% stark humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull etwas weiteren C/N-Verhältnis um 13-14. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 5,8 im schwach sauren Bereich und im Silikat-Pufferbereich. Der Geschiebedecksand geht nach 30 cm in einen verbraunten Unterboden aus feinsandigem Schmelzwassersand über. Ab 80 cm folgt das schwach verwitterte Ausgangsgestein aus Feinsand.

Abbildung 3.40: typische Braunerde aus Geschiebedecksand über Schmelzwassersand



3.12.3 Klima, Witterungseinflüsse sowie Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,0°C. Die Jahresniederschläge von 966 mm weisen deutlich auf Steigungsregen aufgrund der höheren Lage zum westlichen Vorland hin.

Der sandige Standort liegt auf einer flach ansteigenden Moränenhochfläche. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 84 cm. Von der Feldkapazität von 264 mm sind 195 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Die ergiebigen Niederschläge sorgen besonders bei Maisanbau für eine ausgeglichene Wasserbilanz besonders während der Hauptvegetationszeit im Sommer, bei Wintergetreide tritt vor allem von Mai bis Juli ein mäßiges Defizit auf.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,0	966	
2012-2017	9,5	997	3,9
2017	9,5	1207	5,0

Tabelle 3.46: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 1,5 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990, bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort wurde als schwach frisch (BKF 4) eingestuft.

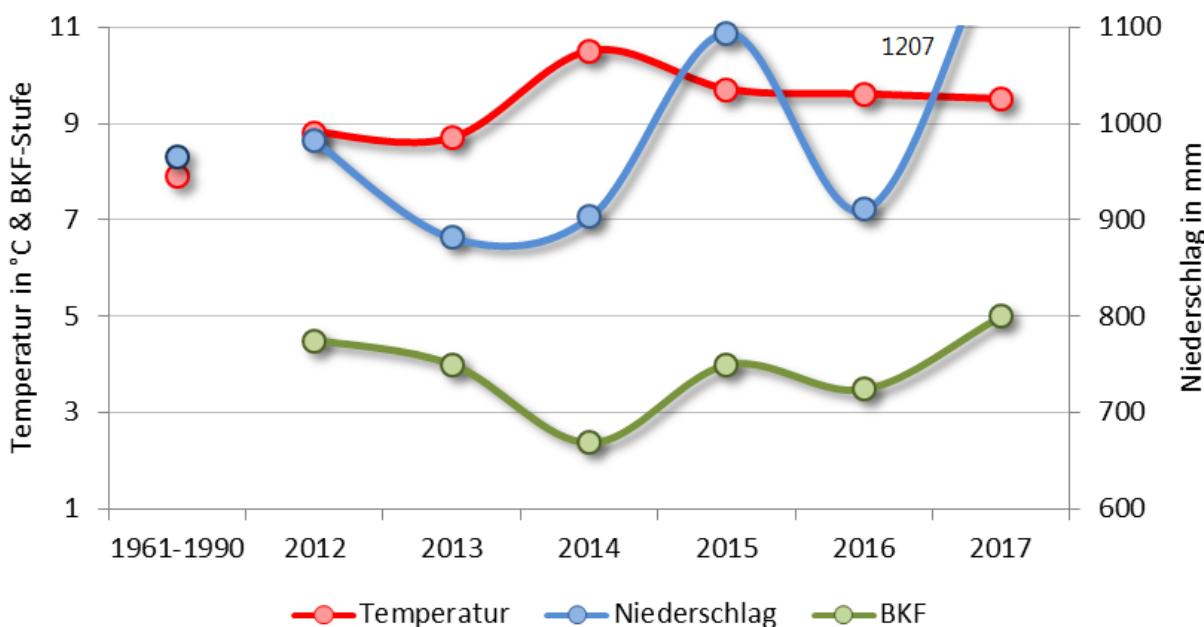


Abbildung 3.41: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF23

Im Jahr 2017 lagen die Niederschläge bei gleicher Jahresmitteltemperatur um gut 200 mm über denen der Periode von 2012-2017, so dass der Standort als mittel frisch (BKF 5) eingestuft wurde.

3.12.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen der Hochfläche werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominierte eine ab-wechsungsreiche Fruchtfolge. Diese wird zunehmend von einer dreigliedrigen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste abgelöst, die für das Östliche Hügelland typisch ist. An einigen Stellen Wald kommt Wald vor. Das Grünland beschränkt sich auf grundwasserbeeinflusste Senken.

Dieser Standort wird im Rahmen einer sehr vielseitigen Fruchtfolge mit Winterkulturen und Mais bewirtschaftet. Ist dieser Standort bis vor 13 Jahren in der Regel als Grünland genutzt worden, so wird dieser Standort seit 1998 nur noch ackerbaulich genutzt. Häufige Kulturfrüchte sind Mais, Roggen und Winterraps. Seit 2001 auf wird nur noch unregelmäßig gepflügt. Es wird stark gekalkt. Das Niveau der Stickstoffdüngung ist eher niedrig. Roggen und Winterraps erhalten 150-180, der Mais sehr unterschiedlich, oft unter 100 kgN/ha und Jahr. Gülle wird nicht jedes Jahr ausgebracht. Seit zwei Jahren werden Biogasgärreste ausgebracht. Das Pflanzenschutzniveau ist mittel. Herbizide werden im Vergleich zu Fungiziden eher spärlich eingesetzt. Das Ertragsniveau ist mittel. Das Stroh verbleibt sehr selten auf dem Feld.

Auf die Stoppeln der Vorfrucht wird häufig Kalk ausgebracht. Die Grundbodenbearbeitung mit Pflug incl. Packer und seit 2006 mit Tiefengrubber erfolgt ein bis zwei Wochen vor Aussaat der Kulturfrucht.

Die Versorgung der Winterkulturen mit Nährstoffen besteht in einer Göllegabe auf die Stoppeln der Vorfrucht. Roggen wird Ende September bis Mitte Oktober, Winterraps Ende August bis Anfang September gedrillt. Die Winterkulturen erhalten im Herbst noch eine Herbizidbehandlung und im Frühjahr an zwei bis drei Terminen bis Ende Mai Herbizide, Fungizide, Insektizide oft im „Cocktail“ sowie gegebenenfalls Wachstumsregulatoren. Die Roggen und Winterraps werden Ende Juli bis Mitte August geerntet.

Bei Mais wird ebenfalls vor Aussaat oft noch Gülle ausgebracht. Die Saat erfolgt meist Ende April und erhält eine Unterfußdüngung. Nach der Aussaat wird das Unkraut zweimal, oft Anfang und Ende Mai, mit mehreren Herbiziden im „Cocktail“ behandelt. Die Ernte erfolgt in der Regel in der zweiten Septemberhälfte.

Tabelle 3.47: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Düngung, Stickstoff (kgN/ha)	Düngung, Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Düngung, Guelle (m³/ha)	Düngung, Biogasgärreste (m³/ha)	Düngung, Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Grünlandumbruch vielseitige Fruchfolge	187	74	340	18	3	64,3	0,5	0,9	0,4	0,1	2,3	4,1
2003-2017	Getreidefruchfolge mit Mais	191	83	329	24	6	30,0	0,4	1,1	0,5	0,3	3,3	5,9
2012-2017	maisbetonte Getreide-Fruchfolge	177	101	488	20	14	41,7	0,5	1,3	1,0	0,2	3,3	5,5
2017	Mais	100	110			37		1,0	1,0	2,0		3,0	6,0

In den letzten Jahren wurde zunehmend Mais angebaut, dessen Erträge deutlich über denen vor 10 Jahren liegen. Die Gülle wird offenbar durch Biogasgärreste ersetzt.

**Abbildung 3.42: BDF23 bei der letzten Probenentnahme am 03.04.2018**

Tabelle 3.48: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Weidedauer (Tage)	Kulturertrag (dt/ha), * = m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Biogasgärreste (m³/ha)	Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritzzemente)	Pflanzenschutz (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	unbekannt														
1991	unbekannt														
1992	Mähweide	9	446	91		28									
1993	Mähweide	13	596	104				300							
1994	Sommergerste	64	391	202					400	1	1	1		1	2
1995	Mähweide	15	?	?	1103									?	?
1996	Sommergerste	60	214	144				350	1	1				1	1
1997	Sommergerste	60	131	150				100	1	1				1	1
1998	Zuckerrüben	430	198	35	1533	25				1	1			3	8
1999	Mais	100	90	35	730	25				1	1	1		1	1
2000	Mais	100	90	35	730	25				2	2	1		1	2
2001	Roggen	90	119		473			200	1		1			4	7
2002	Winterraps	32	108	42		30								3	5
2003	Roggen	71	190	35		25								6	9
2004	Winterraps	36	175	28		20				1	1	1	1	3	5
2005	Roggen	83	81								1			4	7
2006	Mais	101	182	96		30		150	1	3				2	4
2007	Roggen	46	127	50										2	6
2008	Mais	130	274	131	1205	65				3		1	3	3	7
2009	Winterweizen	68	296	56		40				1	1	1	1	5	9
2010	Winterraps	29	242	71		25								2	3
2011	Mais	115	230	176	810	35		50						2	6
2012	Mais	155	360	198	546	60		150		2	2			3	4
2013	Roggen	84	278	88		40				1	2	1		6	11
2014	Winterraps	38	215	100		20								3	4
2015	Mais	160	54	54	1020					2				3	4
2016	Mais	180	56	53	1360		48		1	1	1			2	4
2017	Mais	166	100	110			37	100	1	1	2	1		3	6

Standortverhältnisse

Das Jahr 2017 war durch viele kleine Gaben Biogasgärrest gekennzeichnet. Es wurden relativ viele Herbizide eingesetzt. Die Ernte Ende September fiel hoch aus. Es wurde nicht gekalkt (zuletzt 2016) Danach wurde der Boden nicht gepflügt, sondern nur auf 15 cm Tiefe gelockert und am 06.10. der Roggen eingebracht.

Tabelle 3.49: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 (unten)

Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
08.02.	organische Düngung	Biogasgärrest	14	m³/ha
16.03.	organische Düngung	Biogasgärrest	13	m³/ha
24.03.	Herbizid	Biograde Gallup	2,5	l/ha
		Round up Powerflex	0,5	l/ha
06.04.	organische Düngung	Roggen	1	Aufwuchs
		Mist	100	dt/ha
		Biogasgärrest	10	m³/ha
	Grundbodenbearbeitung	Pflug	26	cm Tiefe
08.04.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	5	cm Tiefe
	Saat	Silomais	30	kg/ha
	Mineraldüngung	NP (14/34)	150	kg/ha
21.04.	Mineraldüngung	Kornkali	100	kg/ha
18.05.	Herbizid	Aspect	1	l/ha
		B235	0,15	l/ha
		Laudis	0,6	l/ha
11.06.	Herbizid	MaisTer Power	1	l/ha
30.09.	Ernte	Silomais	166	dt/ha
05.10.	Bodenbearbeitung	Scheibenegge	15	cm Tiefe
06.10.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	Saat	Roggen	70	kg/ha
03.04.	Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung			

3.12.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1993, 1996, 1999 und 2005 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Das Intensivgrünland 1993 war aufgrund der erst vor kurzem erfolgten Einsaat so artenarm, dass keine Pflanzengesellschaft ausgeschieden werden konnte. Die darauf folgenden Pflanzengesellschaften unter Ackerbau wurden als artenarme Basalgesellschaft der Acker-Wildkraut-Flur (*Stellarietea mediae*-Basalgesellschaft) angesprochen. Die Zeigerwerte Begleitflora zur Kulturfrucht waren aufgrund ihrer Artenarmut nicht sehr belastbar wiesen aber auf einen frischen, stickstoffreichen sowie mäßig bis schwach sauren Standort hin.

3.12.6 Bodenzoologie

Auf dieser BDF wurden 2017 endogäische und anecische Regenwürmer mit je einer Art nachgewiesen. Die Referenzwerte nach BEYLICH & GRAEFE (2009) geben für sandige Ackerstandorte eine geringe Regenwurmpräsenz an. Verglichen damit liegen Artenzahl, Gesamtabundanz und Biomasse beider Tiergruppen innerhalb der zu erwartenden Bereiche. Die Abundanz der Kleinringelwürmer liegt allerdings an der unteren Grenze des Bereiches und ist schon als niedrig zu bezeichnen.

Die Lebensgemeinschaft kennzeichnet den Boden als frischen, schwach sauren Standort. Auf der BDF wurden seit der Erstuntersuchung keine Feuchtezeiger, aber eine Reihe von Frischezeigern nachgewiesen. Aktuell sind alle gefundenen Arten Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger. Zu Beginn der Untersuchungen vereinzelt vorkommende Mäßigsäurezeiger treten nicht mehr auf. Der Anteil an r-Strategen war im aktuellen Untersuchungsjahr eher unterdurchschnittlich. Während die Siedlungsdichten beider Tiergruppen 2017 keine signifikant anderen Werte aufwiesen als im Vorjahr oder bei der Erstuntersuchung, ist die Regenwurmbiomasse 2017 im Vergleich zur Erstuntersuchung gestiegen. Dies ist eine Folge der seit 2009 auftretenden großen Art *Lumbricus terrestris*. 2017 kam die Art zwar nicht an jedem Probenpunkt vor, ist jedoch nicht mehr wie bei der Voruntersuchung als Einzelfund anzusehen.

Zu Beginn der Untersuchungen war der Zersetzergesellschaftstyp als Fridericio-Enchytraeetum angesprochen worden. Mit dem Vorkommen anecischer Regenwürmer sowie einer hohen Dominanz von *Fridericia*-Arten unter den Kleinringelwürmern liegen inzwischen wesentliche Merkmale des Fridericio-Lumbricetums vor. Es ist davon auszugehen, dass sich auf der BDF23 derzeit eine Entwicklung vom **Fridericio-Enchytraeetum** zum **Fridericio-Lumbricetum** vollzieht.

3.13 BDF27 Lebatz/Tankenrade



3.13.1 Landschaft

Die BDF27 liegt etwa 5,6 km süd-westlich von Ahrensbök (Ostholstein). Der Standort liegt etwa 70 m über NN auf einem kleinen Hügel in einer welligen Moränenlandschaft. Diese besteht hier aus oft tonigen Geschiebelehmen. Es dominieren Böden aus Lehm. Aus diesen sind mehr oder weniger pseudovergleyte Böden entstanden. Typische Para-braunerden oder Braunerden aus stark lehmigem Sand bis stark sandigem Lehm treten weniger häufig auf. In den flacheren, tief gelegenen Ebenen und Randbereichen der Senken sind aufgrund des stärkeren Grundwassereinflusses Gleye vorwiegend aus Beckensedimenten entstanden. In den flacheren Senken sind vorwiegend Moorgleye, die meist das Ergebnis einer Zersetzung des Torfkörpers ehemaliger Niedermoore sind, zu finden. In den tieferen Senken herrschen mächtige Niedermoore vor. Die Landschaft wurde durch Wassererosion, welche durch etwa 80 Jahre intensiven Ackerbau gefördert wurde, stark verändert. Auf etwa 10 % der Fläche sind infolgedessen, meist an Unterhängen, kolluvial veränderte Böden zu erwarten.

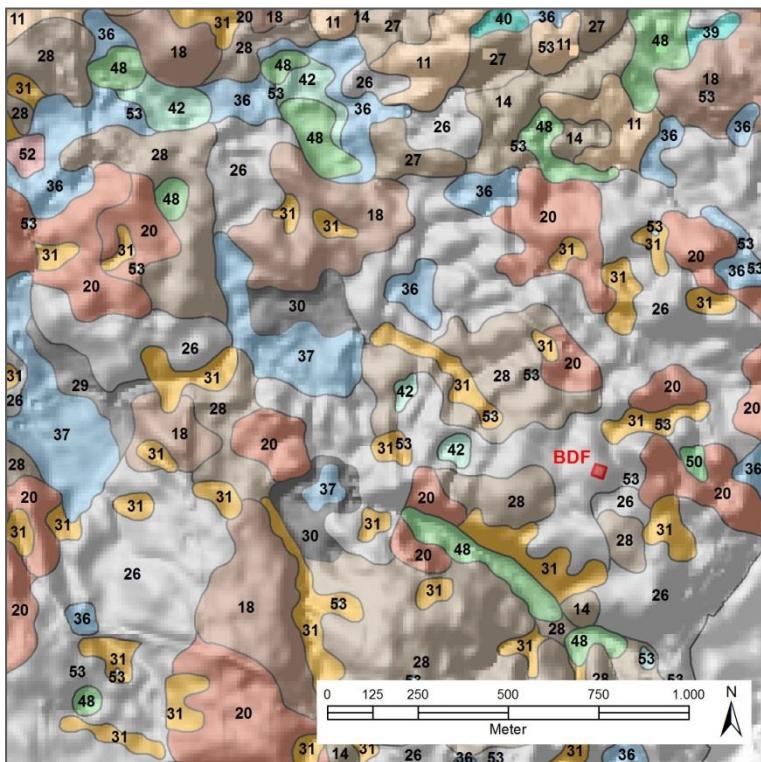


Abbildung 3.43: Bodenformen im Umland der BDF27 (Legende im Anhang S. 295)

3.13.2 Boden und Geologie

Die Pseudogley-Parabraunerde ist unter trockenen Bedingungen aus einem 76 cm mächtigem Geschiebelehm über Geschiebemergel entstanden. Der humose Oberboden aus stark lehmigem Sand bis mittel sandigem Lehm ist mit 1,8-2,1 % Humusanteil schwach bis mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 10-11. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen mit 5,5-6,6 im sehr schwach bis schwach sauren Bereich sowie im Silikat- bis Carbonat-Pufferbereich. Unterhalb des Oberbodens steht dichter, schwach rostfleckiger, wasser-stauender toniger Geschiebelehm an, der ab 76 cm in schwach rostfleckigen Geschiebemergel übergeht.

Abbildung 3.44: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF27.



3.13.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,1 °C. Die Jahresniederschläge von 724 mm entsprechen in etwa dem Landesdurchschnitt.

Der lehmige Standort liegt in 70 m Höhe über NN auf einem kleinen Hügel, der bereits wenige Meter zur tieferen Umgebung abfällt. 300 m südwestlich befindet sich ein Geländeeinschnitt auf 55 m Höhe. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 90 cm. Von der Feldkapazität von 308 mm sind nur 129 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudovergleyung besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch den Getreide und Rapsanbau verstärkt wird. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist im Schnitt der letzten Jahre als mittel frisch anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,1	724	
2012-2017	9,3	778	4,7
2017	9,4	965	5,3

Tabelle 3.50: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser (Gruwa.) in cm unter Geländeoberfläche

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um gut 1 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei etwas höheren Niederschlägen. Der Standort war als mittel frisch (BKF 5) einzustufen.

Standortverhältnisse

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,4 °C vergleichbar warm bei allerdings sehr viel höheren Niederschlägen im Jahresdurchschnitt. Aufgrund der guten Puffereigenschaften des Bodens war dieser nur etwas feuchter, aber immer noch als mittel frisch einzustufen.

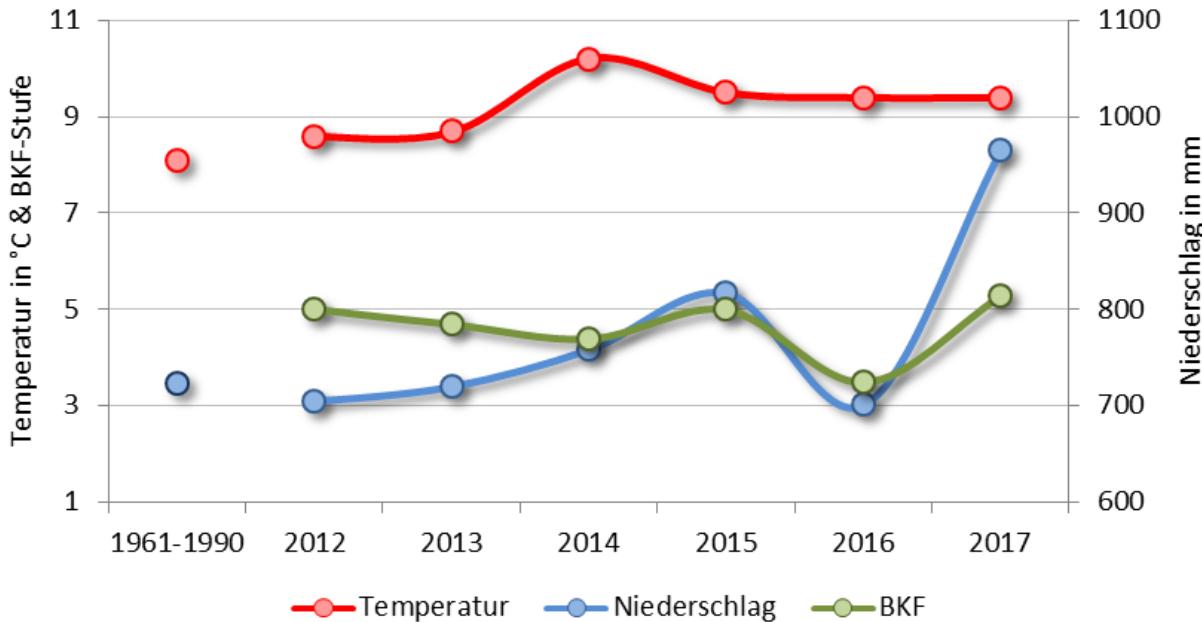


Abbildung 3.45: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF27

3.13.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) fast ausschließlich als Acker genutzt. Hierbei dominiert der Getreidebau mit der klassischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste. Das Grünland ist nur selten und bevorzugt in den grundwasserbeeinflussten Ebenen und Senken anzutreffen. Etwa 900 m nördlich der BDF liegt ein größeres Waldstück mit naturnaher Bestockung.

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren in einer stark weizenbetonten Ackerbau-Fruchtfolge des Östlichen Hügellandes, bestehend aus (Winterraps-)Winterweizen-Winterweizen, bewirtschaftet. Seit 2003 wird unabhängig von der Kulturfrucht nicht mehr regelmäßig gepflügt. Das bis 1996 meist abgefahrene Stroh verbleibt seitdem in der Regel auf dem Feld. Es gibt keine Gülle- oder Mistgaben. Das Niveau der Mineralstickstoffeinsatzes, der Kalkung sowie des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist sehr hoch. Der Pflanzenschutzmitteleinsatz ist allmählich gesteigert worden.

Tabelle 3.51: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	Weizen-Raps	227	31	592	0,6	0,5	0,7	1,7	1,2	4,1	8,8
2003-2017	Weizen-Raps	229	36	691	0,7	0,4	0,7	1,1	1,3	4,7	10,8
2012-2017	Weizen-Raps	229	36	261	0,7	0,3	0,7	0,8	1,5	4,8	12,5
2017	Winterweizen	209	20		1,0	1,0	1,0		1,0	3,0	15,0

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt, wenn ja, in der Regel eine Woche vor der Aussaat der Folgefrucht. Die Aussaat erfolgt für Winterraps in der zweiten Augusthälfte, für Winterweizen Mitte September bis Ende Oktober. Bei Raps werden schon ab einer Woche nach Aussaat hauptsächlich Herbizide, aber auch Fungizide und Insektizide gespritzt. Bei Weizen vergehen bis zur ersten Behandlung meist vier Wochen. Parallel dazu werden häufig Kalium, Magnesium und Phosphor mit einer geringen Menge Stickstoff gedüngt (Grunddüngung). Ab März des folgenden Jahres werden an drei bis vier Terminen bis Ende Mai / Anfang Juni insgesamt häufig über 200 kg/ha Stickstoff gegeben. Anfang April bis häufig Anfang Juni werden an drei bis fünf Terminen Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren im „Cocktail“ gespritzt. Raps wird Ende Juli bis Anfang August, Weizen eher Mitte August geerntet. Das Ertragsniveau ist hoch.

Die Bewirtschaftung im Zeitraum 2012-2017 blieb im oben genannten Rahmen. Es wurde 2014 gekalkt. In 2017 wurde Winterweizen geerntet. Was danach geschah ist nicht bekannt. Dem Probenentnahmeprotokoll nach zu urteilen, ist nach dem Pflugeinsatz im Oktober 2017 nichts mehr unternommen worden.

Standortverhältnisse

Tabelle 3.52: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1991

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kulturertrag (dt/ha), *= m^3/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Mist (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/ähr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	unbekannt			?													
1991	Wintergetreide			?	42								6		3	4	
1992	Winterraps			39	213										2	5	
1993	Ackerbrache			?	54		1865						4		2	3	
1994	Winterraps			38	279						1	1	2		3	6	
1995	Winterweizen			89	223		1865				1	1	6	2	5	8	
1996	Winterweizen			88	219						1	1	4	1	4	8	
1997	Winterweizen			93	265	103				1	1	1	4	1	3	5	
1998	Winterweizen			?	?						1	1	1	3	4	5	
1999	Winterweizen			98	248	100				1	1	1	2	2	6	11	
2000	Winterweizen			94	272	20				1	1	1	1	2	6	14	
2001	Winterraps			39	197	44	1830			1	1	1		2	3	6	
2002	Winterweizen			88	223	68	636			1	1	1	1	1	5	10	
2003	Winterweizen			89	288	78	1656			1			1	1	5	9	
2004	Winterraps			41	184	25				1		1		3	4	10	
2005	Winterweizen			89	246	144	1578			1	1	1	1	1	5	8	
2006	Winterweizen			81	243										3	11	
2007	Winterweizen			70	253	20	2879			1	1	1	2	1	4	9	
2008	Winterweizen			88	233	20	2687			1	1	1	2	1	5	12	
2009	Winterweizen			93	238	20				1	1	1	1	2	5	8	
2010	Winterweizen			92	232	20				1			2		5	12	
2011	Sommergerste			72	153							1	2	2	5	8	
2012	Winterweizen			96	279						1	1	2		7	12	
2013	Winterraps			43	174	82			1		1	1	2		4	10	
2014	Winterweizen			##	269	72	1568						1	1	8	19	
2015	Winterraps			46	186	20				1			2	3	5		
2016	Winterweizen			84	254	20				1	1	1	2	1	4	14	
2017	Winterweizen			81	209	20			1	1	1		1	3	15		

Tabelle 3.53: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017

Jahr	Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	16.03.	Mineraldüngung	Metramax	240	kg/ha
	28.03.	Herbizid	Saracen	0,15	l/ha
			Concert	0,05	kg/ha
			Atlantis	0,4	l/ha
	28.03.	Mineraldüngung	AHL	30	kg/ha
	30.03.	Mineraldüngung	Kornkali	100	kg/ha
	31.03.	Mineraldüngung	KAS	150	kg/ha
	01.04.	Mineraldüngung	Harnstoff	110	kg/ha
	26.04.	Wachstumsregulator	Medax	0,25	l/ha
	26.04.	Fungizid	Harnstoff	112	kg/ha
			Proline	0,7	l/ha
			Applause	0,6	l/ha
	26.04.	Wachstumsregulator	Moddus	0,25	l/ha
			CCC 720	1,2	l/ha
	10.05.	Fungizid	Rubicon	0,3	l/ha
			Talius	0,5	l/ha
			Adexar	0,3	l/ha
	10.05.	Wachstumsregulator	CCC 720	1	l/ha
			Moddus	0,1	l/ha
	16.06.	Fungizid	Osiris	0,8	l/ha
			Lynx	0,8	l/ha
	25.08.	Ernte	Winterweizen	81,4	dt/ha
			Getreidestroh	1	Ernte
	30.09.	Stoppelbearbeitung	Grubber	8	cm Tiefe
	31.10.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
2018	10.04. Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung				

3.13.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1993, 1996, 1999 und 2007 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die Bodenbearbeitung und der sehr intensive Herbizideinsatz führten zu einer Artenarmut, die keine Zuordnung zu einer Pflanzengesellschaft ermöglichte. Die Zeigerwerte der wenigen gefundenen Pflanzen ließen keine belastbaren Aussagen zu. Die gefundenen, wesentlich zahlreicheren Pflanzen der 1997 untersuchten Samenbank wiesen auf einen frischen bis feuchten, mäßig stickstoffreichen, schwach sauren Standort hin.



Abbildung 3.46: BDF27 bei der Probenentnahme am 10.04.2018

3.13.6 Bodenzooologie

Bodentiere wurden in den Jahren 1997 und 2003 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer lebten sowohl anecisch (Tiefgräber), als auch endogäisch. Unter den Kleinringelwürmern überwiegen die K-Strategen die r-Strategen. Es kommen ausschließlich Schwachsäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Der Standort ist durch die Zunahme der Feuchtezahl von 5,7 auf 6,5 etwas feuchter geworden. Eine bodenkundliche Feuchtestufe von 2-3 und ein pH-Wert von etwa 5,9 bis 6,6 (CaCl_2) weisen auf eine „normale“ Bodenlebensgemeinschaft von Äckern lehmiger Böden hin.

3.14 BDF29 Lübeck/Niederbüssau



3.14.1 Landschaft

Die BDF29 liegt im Lübecker Becken auf etwa 5 m Höhe. Der Elbe-Lübeck-Kanal liegt nur wenig tiefer und 400 m entfernt. Die Böden der hier flach welligen Landschaft bergen eine Vielfalt an Bodensubstraten. Die Spannweite reicht von Niedermoortorfen über Beckenschluffe (nach der Bodenschätzung oft als L=Lehme angesprochen), sandigen Lehmen, lehmigen Sanden hin zu Reinsanden.

Die tieferen Senken enthalten viele Moore, die mit dem flach ansteigenden Relief in pseudovergleyte Böden und weiter in lehmige Parabraunerden und in sandige Braunerden übergehen.

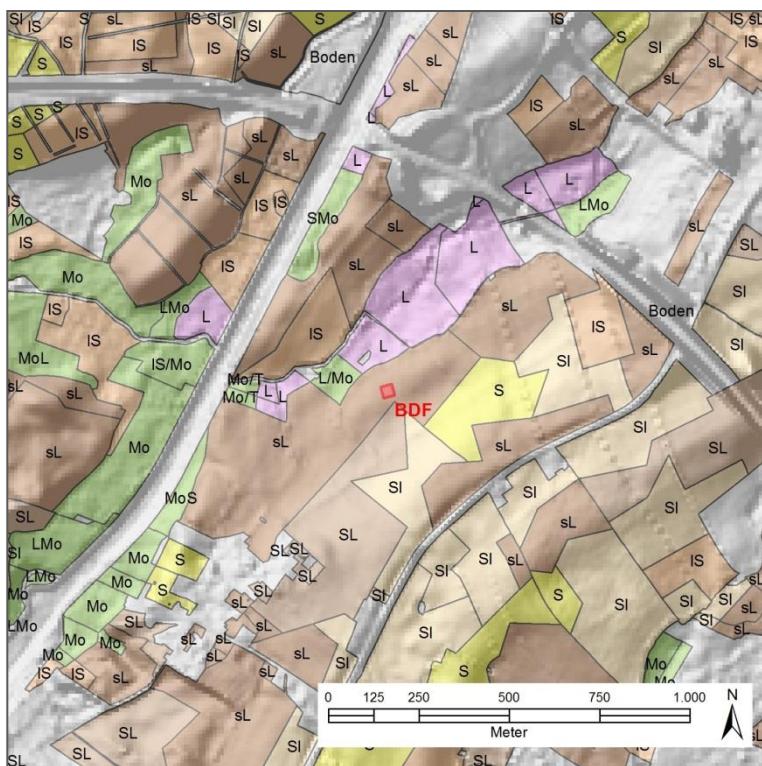


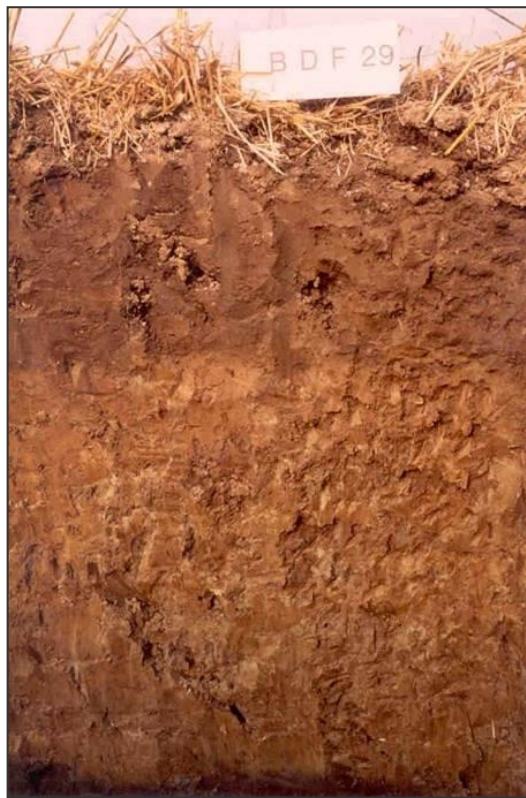
Abbildung 3.47: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF29; (S=Sand, SI=anlehmiger Sand, IS=lehmiger Sand, SL=stark lehmiger Sand, sL=sandiger Lehm, L=Lehm, Mo= Moor, MoS= "Sandmoor", MoL="Lehmmauer", LMo="Moorlehm")

3.14.2 Boden und Geologie

Der Braunerde-Pseudogley ist in relativ tief gelegener Geländedeponition aus Beckenschluffen über-tonen entstanden.

Der humose Oberboden aus schluffig bis schwach tonigem Lehm ist mit 1,9-2,2 % Humusanteil schwach bis mittel humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 10-11. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen mit 6,0-6,3 im Übergang vom sehr schwach in den schwach sauren Bereich sowie im Übergang vom Silikat- in den Carbonat-Pufferbereich. Unterhalb des Oberbodens steht dichter, mittel bis stark rostfleckiger, wasserstauender lehmig-toniger Beckenschluff an, der ab 115 cm in einen kalkhaltigen schwach rostfleckigen Beckenton übergeht.

Abbildung 3.48: Leitprofil an der Nordostseite:
Braunerde-Pseudogley aus Beckenschluffen über -tonen



3.14.3 Klima, Witterung sowie Wasserhaushalt

Der lehmige Standort liegt nur etwa 2 m Höhe über dem Elbe-Lübeck-Kanal, d. h. der tiefsten Stelle der Umgebung, so dass zumindest teilweise auch mit Grundwassereinfluss zu rechnen ist. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 110 cm! Von der Feldkapazität von 274 mm sind nur 112 mm pflanzenverfügbar, welches durch Grundwasser ergänzt werden kann. Aufgrund der Pseudogleyung besteht besonders im Sommer (Mai-August) die Gefahr der Austrocknung, die durch Getreide und Rapsanbau verstärkt wird. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist in Abhängigkeit vom Grundwassereinfluss als mittel frisch bis schwach feucht anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,1	670	
2012-2017	9,6	658	3,5
2017	9,6	860	4,5

Tabelle 3.54: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen am Standort, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF)

Die Temperatur lag in den Jahren 2012-2017 um 1,5 °C über dem Durchschnitt des Zeitraumes von 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort war ohne Grundwassereinfluss als schwach bis mittel frisch (BKF 3-4) einzustufen.

Das Jahr 2017 war mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,6 °C vergleichbar warm. Aufgrund der für diesen Standort extrem hohen Jahresniederschläge wurde der Standort deutlich feuchter und war als schwach bis mittel frisch einzustufen (BKF 4-5).

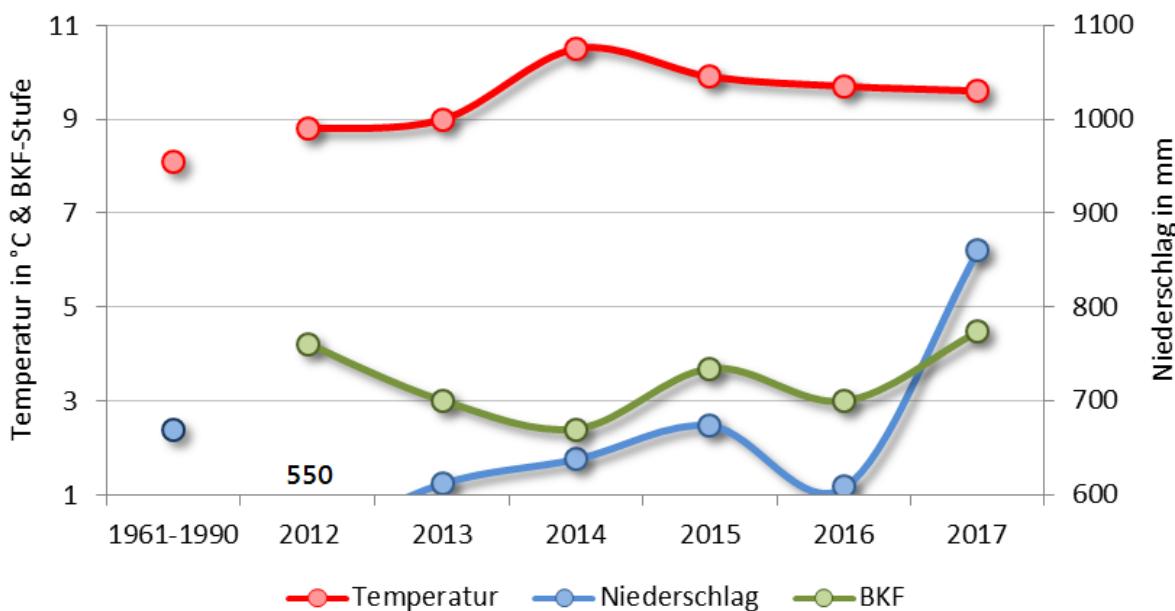


Abbildung 3.49: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF29

3.14.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) in Abhängigkeit vom Relief, d. h. vom Grundwasserstand genutzt. Die Senken werden als Grünland genutzt, das oft aufgegeben wurde und verbuscht. Bei zurücktretendem Grundwassereinfluss kommt der Ackerbau und z. T. Dauerkulturen wie der Obstbau zum Einsatz. Von Norden her wächst die Stadt Lübeck mit Gewerbegebieten, begünstigt durch die Autobahn (A20), allmählich in den Landschaftsraum ein.

Dieser Standort wird seit mindestens 20 Jahren mit Früchten bebaut, die für das Östliche Hügelland typisch sind, jedoch in keiner eindeutigen Fruchtfolge. Es dominiert der Winterweizen. An Blattfrüchten kommen Zuckerrüben und Raps zum Zuge. Es wird nicht immer gepflügt, sondern häufiger auch tief gegrubbert. Die Erntereste von Raps und Zuckerrübe verbleiben auf dem Feld, Getreidestroh wird meist abgefahren. Es wird ab und zu Gülle ausgebracht, die Mineralstickstoffgaben entsprechen einem mittlerem, die Kalkung und der Pflanzenschutz einem hohen Niveau.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgt nach gelegentlicher Göllegabe, wenn ja, in der Regel weniger als eine Woche vor der Aussaat der Folgefrucht. Die Aussaat erfolgt für Winterraps Ende August, für Winterweizen Mitte September bis Anfang Oktober und für Zuckerrüben während des Aprils. Bei Wintersaaten werden schon in den ersten zwei Wochen nach der Saat Herbizide und später im Jahr Fungizide und Insektizide gespritzt. Ab Februar des folgenden Jahres werden an drei bis teilweise vier Terminen bis Ende Mai insgesamt häufig über 200 kg/ha Stickstoff, aber auch Phosphor und Kalium gegeben. Ende März bis häufig Anfang Juni werden an zwei bis drei Terminen Herbizide, Fungizide, Insektizide sowie Wachstumsregulatoren im „Cocktail“ gespritzt. Weizen wird Ende Juli bis Anfang August, Raps Anfang August und Zuckerrüben werden während des Oktobers geerntet. Das Ertragsniveau ist hoch.

Tabelle 3.55: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Gülle (m³/ha)	Mist (dt/ha)	Erntereste (Anzahl/aehr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2017	unregelmäßige Weizen-Gerste-Raps/Rüben	212	64	203	2		0,6	0,6	1,0	1,3	0,7	3,7	6,6
2003-2017	bis 2014 Weizen-Raps, ab 2015 Gemüse	224	51	0	9		0,7	0,5	0,7	1,7	1,0	3,8	6,9
2012-2017	bis 2014 Weizen-Raps, ab 2015 Gemüse	184	29	0	3		0,7	0,7	0,7	2,3	0,8	3,2	6,2
2017	Zucchini	150	60				1,0	1,0	1,0	4,0	2,0		

Bis 2014 blieb die Bewirtschaftung im Zeitraum 2012-2017 im oben genannten Rahmen. Es wurde sporadisch gekalkt. 2015 wechselte der Landwirt. Es wurden nicht mehr Weizen und Raps angebaut, sondern Gemüse und zwar jährlich wechselnde Sorten. Entsprechend unregelmäßig fielen die in Tabelle 3.56 genannten Bewirtschaftungsmaßnahmen aus. Oft zog sich die Ernte über einen längeren Zeitraum hin.

In 2017 wurden bis Anfang März noch Porree geerntet. Der Rest wurde Ende April umgebrochen und für die Folgekultur 150 kg N/ha in verschiedenen Mineraldüngerformen ausgebracht. Nach gründlicher Saatbettbereitung wurden Mitte Mai Zucchini gesät. Auf eine chemische Unkrautbekämpfung wurde verzichtet. Stattdessen wurden im Juni und im Juli je einmal die Hacke eingesetzt. Die Ernte zog sich über knapp 2 Monate von Mitte Juli bis Mitte September hin. Danach blieb das abgeerntet Feld bis Anfang April liegen. Mitte April wurde das abgefrorene Zucchini-Kraut erst mit einem Grubber eingearbeitet und danach untergepflügt. Danach erfolgte am 17. April die Probenentnahme für bodenmikrobiologische Untersuchungen.

Tabelle 3.56: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen seit 1990

Jahr	Kultur	Kulturertrag (dt/ha)	* = m³/ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Guelle (m³/ha)	Mist (dt/ha)	Eintereste (Anzahl/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Winterweizen	80	68	110		12			1	1				2	5
1991	Zuckeruben	450	135	161		12			1	1				3	6
1992	Winterweizen	90	228	41		15			1	1				4	5
1993	Winterraps	38	190	112	1890				1	1				2	2
1994	Mais	70	202	174		50			1	1				2	4
1995	Winterweizen	110	152						1	1				2	2
1996	Zuckeruben	480	90	35	1890	25			1	1	2	1	3	6	
1997	Winterweizen	108	152						1	1	1	1	4	8	
1998	Wintergerste	100	341	87		30			1	1	1	1	5	8	
1999	Winterraps	40	150	143		10		1		2	1	1	5	12	
2000	Winterweizen	85	293	48	1890	20		1	1	2	2		6	10	
2001	Winterraps	42	279	53		20		1		2	3		4	7	
2002	Winterweizen	100	288	59		10		1		1	2	1	5	7	
2003	Winterweizen	106	301	29		21		1	1	1	2	2	4	7	
2004	Winterraps	55	137	45					1		1	1	2	4	6
2005	Winterweizen	105	323	68		14		1		1	1	1	6	9	
2006	Winterraps	40	282	99		21				1	1	2	3	8	
2007	Winterweizen	79	332	81		21		1			2		6	9	
2008	Winterraps	41	259	94		21		1	1	1	2	1	4	8	
2009	Winterweizen	88	282	76		20		1	1	1	1	1	3	5	
2010	Zuckeruben	550	140	48					1	1	1	1	1	4	7
2011	Winterweizen	88	210	48									4	7	
2012	Winterweizen	102	75	28					1	1	2	1	2	3	
2013	Winterraps	48	170	25				1			2		5	9	
2014	Winterweizen	125	253	28		20					2	1	4	10	
2015	Buschbohnen	120	99	30					1	1	1	2	3	9	
2016	Porree	180	354						1	1	1	2	1	5	6
2017	Zucchini	125	150	60					1	1	1	4	2		

Tabelle 3.57: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017 und Anfang 2018

Jahr	Tag	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2017	bis 10.03.	Ernte	Porree	70	dt/ha
	25.04.	Bodenbearbeitung	Scheibenegge	15	cm Tiefe
	28.04.	Mineraldüngung	Kornkali 40er	400	kg/ha
			Harnstoff	275	kg/ha
			DAP	130	kg/ha
	28.04.	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
	05.05.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	06.05.	Bodenbearbeitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	15.05.	Saat	Zucchini	11500	Körner/ha
	15.06.	Unkrautbekämpfung	Hacke	2	cm Tiefe
	02.07.	Unkrautbekämpfung	Hacke	2	cm Tiefe
	15.07.-10.09.	Ernte	Zucchini	125	dt/ha
	15.09.	organische Düngung	Zuccinikraut	1	Ernterest
	15.09.	Bodenbearbeitung	Scheibenegge	15	cm Tiefe
2018	?	Stoppelbearbeitung	Grubber	20	cm Tiefe
	?	Grundbodenbearbeitung	Pflug	25	cm Tiefe
	17.04. Probenentnahme zur bodenmikrob. Untersuchung				
	05.05.	Saatbettbereitung	Kreiselegge	10	cm Tiefe
	05.05.	Saat	Sommerweizen	200	kg/ha

3.14.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2007 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Die Begleitflora ist sehr arten- und individuenarm ausgeprägt. Sie gehört einer Kamillen-Gesellschaft (*Aphano-Matricarietum*) an. Die Bodenbearbeitung und der sehr intensive Herbizideinsatz führten zu dieser Artenarmut. Die weniger belastbaren Zeigerwerte der Pflanzenarten wiesen auf einen frischen, stickstoffreichen, schwach sauren Standort hin.



Abbildung 3.50: BDF29 bei der letzten Probenentnahme am 17.04.2018

3.14.6 Bodenzoologie

Bodenlebewesen wurden in den Jahren 1998 und 2004 untersucht. Das gefundene Arteninventar entspricht einem *Fridericio-Lumbricetum*, das in Äckern aus Lehmböden verbreitet ist. Die Regenwürmer lebten sowohl anecisch (Tiefgräber), als auch endogäisch. Unter den Kleinringelwürmern zeigten die K- gegenüber r-Strategen ein leichtes Übergewicht. Es kamen ausschließlich Schwachsäure- und Basenzeiger vor, was einer gewichteten Reaktionszahl von 7,0 entspricht. Der Standort ist durch die Zunahme der Feuchtezahl von 5,0 auf 6,8 nicht mehr als frisch, sondern als feucht anzusprechen. Eine bodenkundliche Feuchtestufe von 6 und ein pH-Wert von etwa 6,0 bis 6,3 (CaCl_2) weisen auf eine Bodenlebensgemeinschaft von Äckern lehmiger Böden hin.

4 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse der einzelnen BDF beschrieben und dargestellt. Im jeweils ersten Abschnitt der einzelnen BDF-Unterkapitel erfolgt zunächst eine Beschreibung der Situation bei der Probenahme mit Angaben aus den Probenahmeprotokollen. Es folgen die Analyseergebnisse für das Untersuchungsjahr 2018. Die einzelnen Werte werden den jeweiligen Klassen zugeordnet (C_{org} , N_t , C_{org}/N_t , pH und Trockenrohdichte nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005), mikrobiologische Parameter nach QUIRIN & EMMERLING (2004)) und in Relation zu den Werten der übrigen BDF gesetzt.

Der jeweils dritte Abschnitt der BDF-Unterkapitel stellt die einzelnen Parameter in ihrer zeitlichen Entwicklung über den gesamten Untersuchungszeitraum dar.

Die jeweils letzten Abschnitte stellen sofern erkennbar die Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu den Standortparametern dar. Korrelationen wurden für die einzelnen Standorte aus den Daten der Zeitreihen (Erstuntersuchung bis 2018) berechnet und bei vorhandener Signifikanz angegeben. Da nicht in jedem Untersuchungsjahr alle Parameter bestimmt wurden, ist die Anzahl der Daten (N) bei den einzelnen Korrelationen teilweise unterschiedlich bzw. gering.

Im Unterkapitel 4.14 erfolgt schließlich ein Gesamtvergleich der BDF anhand von Gemeinsamkeiten und Unterschieden bei den Werten der abiotischen und bodenmikrobiologischen Parameter. Zudem werden die Ergebnisse des Untersuchungsjahres 2018 der dreizehn BDF miteinander korreliert und die Korrelationen in einer Tabelle angegeben. Abschließend wird die Entwicklung seit der Erstuntersuchung beschrieben sowie ein Bezug zu den Standortfaktoren hergestellt.

Die Beschreibung der Ergebnisse und insbesondere der zeitlichen Entwicklung der Parameter ist jeweils auf die Mittelwerte der Gesamtfläche bezogen. Aufgrund der teilweise relativ hohen bzw. nicht bestimmten Flächenvarianzen (Standardabweichungen) sind die beschriebenen Einstufungen sowie Trends (Zu- und Abnahmen) nicht in allen Fällen statistisch signifikant.

4.1 BDF04 Goldelund

4.1.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.1: Temperatur und Niederschlag der BDF04 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	12,2	151	
	11	6,3	99	
	12	4,1	114	
2018	1	3,1	119	
	2	-0,4	43	
	3	1,6	60	

Grundwasserstände fehlen

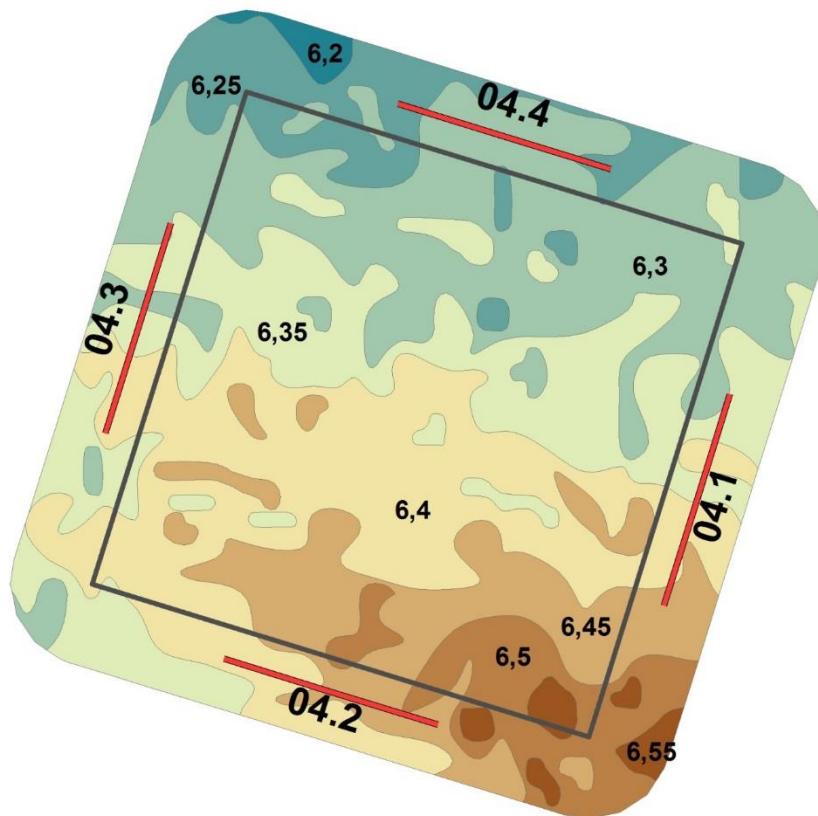


Abbildung 4.1: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF04 (04.1-4).

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.2: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF04 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	27.03.2018 Beginn 10:45 Uhr
Witterungsverhältnisse	7,6 °C Bodenoberfläche 5,1 °C in 10 cm Tiefe mäßige Niederschläge in den letzten 24 h mindestens 5 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	Boden schwach feucht, halbfest, Kohärentgefüge, sehr schwach verschlämmt
Kulturzustand	Maisstoppeln keine Bodenbearbeitung erkennbar keine Düngeausbringung erkennbar
Sonstiges	Mäusegänge sichtbar

4.1.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF04 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche langjährig zum Maisanbau in Monokultur genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.3 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als mittel humos eingestuft und besitzt im Gesamtvergleich einen überdurchschnittlich hohen Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}). Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt im Durchschnitt aller untersuchten BDF. Aus beiden Parametern ergibt sich ein C_{org}/N_t -Verhältnis, welches eine hohe Humusqualität widerspiegelt. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist deutlich unterdurchschnittlich, und zählt zu den geringsten N_{min} -Gehalten aller BDF. Der N_{min} -Gehalt setzt sich etwa zu gleichen Teilen aus Ammonium und aus Nitrat zusammen. Die BDF04 weist im Gesamtvergleich den geringsten Nitratgehalt aller BDF auf. Die Trockenrohdichte wird als mittel eingestuft und liegt im Durchschnitt aller BDF. Der Boden dieser BDF besitzt den niedrigsten pH aller BDF und wird als stark sauer eingestuft.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF04 befinden sich in der Tabelle 4.4. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft. Im Vergleich mit den übrigen BDF-Standorten besitzt die BDF04 einen der geringsten Gehalte an mikrobieller Biomasse, sowie den insgesamt niedrigsten Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$). Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird auf der BDF04 als niedrig eingestuft und zählt ebenfalls zu den niedrigsten im Vergleich aller BDF. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) ist eine der niedrigsten von allen BDF. Die Argininammonifikation (ARG) wird als sehr niedrig eingestuft, und weist den geringsten Wert aller BDF auf. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als hoch eingestuft, zählt im Gesamtvergleich jedoch zu den niedrigsten mikrobiellen Quotienten. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist sehr niedrig und weist einen leicht unterdurchschnittlichen Wert auf. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als niedrig eingestuft und ist im Gesamtvergleich einer der niedrigsten. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft und durch einen leicht unterdurchschnittlichen Wert gekennzeichnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.3: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF04 (Goldelund). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	12,9 ± 0,1	4,1 ± 0,5	1,9 ± 0,2	0,0 ± 0,0	2,2 ± 0,3

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	7902 ± 216	614 ± 18	1,7 ± 0,2	16,7 ± 2,3	1,4 ± 0,0	163 ± 9	4,6 ± 0,2

Tabelle 4.4: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF04 (Goldelund). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$C_{mic-CFE} / C_{org}$	$C_{mic-SIR} / C_{org}$
Ap bis -30	348 ± 24	181 ± 8	14 ± 5	0,2 ± 0,0	1,0 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,0

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	142 ± 10	73 ± 4	6 ± 2	97 ± 16	418 ± 34	0,7 ± 0,1	1,3 ± 0,2

4.1.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.2. Der Boden-pH zeigte leichte Schwankungen (bis 0,5 Einheiten) über den gesamten Untersuchungszeitraum, blieb in den Untersuchungsjahren 1998 bis 2015 jedoch im stark sauren Bereich. Ein Absinken des pH zeigte sich zwischen den Jahren 1995 und 2001 sowie zwischen 2005 und 2010. Zum Untersuchungsjahr 2018 stieg der pH leicht an. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) blieb in den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 auf etwa gleichem Niveau, verdoppelte sich jedoch zum Jahr 2001. Dieser C_{org} -Gehalt mit der Einstufung des Bodens als mittel humos blieb bis zum Untersuchungsjahr 2010 weitgehend bestehen und nahm zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 geringfügig ab.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wies im Untersuchungsjahr 1995 den bisher geringsten Gehalt auf, welcher sich zum Jahr 1998 nahezu verdoppelt hat. Bis zum Jahr 2010 nahm die mikrobielle Biomasse um insgesamt etwa 30 % ab und zeigte anschließend einen starken Anstieg auf mehr als das Doppelte zum Jahr 2015. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 erfolgte eine weitere Zunahme des $C_{mic-CFE}$ -Gehalts um etwa 25 %. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) zeigte einen zur mikrobiellen Biomasse parallelen Verlauf.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigte eine andere Entwicklung mit sich abwechselnden Zu- und Abnahmen zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2015. Die beiden Spitzenwerte entfielen dabei auf die Jahre 2001 und 2010, während in den Jahren 1998, 2005 und 2015 die Minimalwerte gemessen wurden, welche annähernd auf einem Niveau waren. Zwischen den Jahren 2001 und 2010 wurden höhere $C_{mic-SIR}$ - als $C_{mic-CFE}$ -Gehalte bestimmt. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) zeigte zwischen den Untersuchungsjahren 2001 und 2015 eine zur $C_{mic-SIR}$ parallele Entwicklung, zwischen 1998 und 2001 veränderten sich beide Parameter jedoch gegenläufig. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 nahmen sowohl $C_{mic-SIR}$ als auch der $Q_{mic-SIR}$ geringfügig zu.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte zwischen den Jahren 1998 und 2010 eine zur $C_{mic-CFE}$ parallele Entwicklung (Abbildung 4.3). Dabei wechselten sich Ab- und Zunahmen im Verlauf der Untersuchungsjahre ab. Zwischen den Jahren 2010 und 2015 erfolgte jedoch kein weiterer Anstieg, sondern eine Abnahme der Basalatmung, welche sich bis zum Untersuchungsjahr 2018 auf den bislang niedrigsten Wert fortsetzte. Zwischen den Jahren 2001 und 2005 zeigte die Basalatmung den stärksten Anstieg vom niedrigsten zum höchsten Wert. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) zeigte eine zur $C_{mic-CFE}$ gegenläufige Entwicklung. Zunächst nahm dieser zwischen 1998 und 2010 stark zu und zeigte bei zunehmender mikrobieller Biomasse ($C_{mic-CFE}$) einen sehr starken Rückgang zum Jahr 2018.

4. Ergebnisse und Diskussion

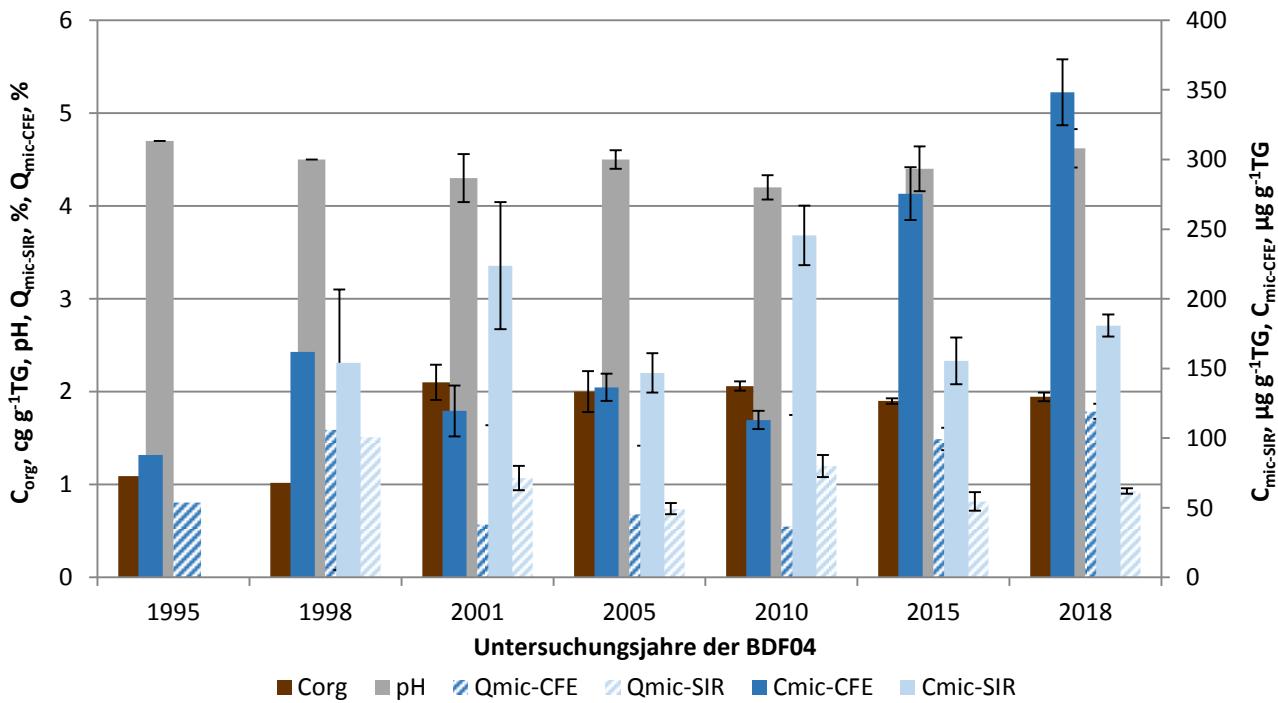


Abbildung 4.2: Ergebnisse der BDF04 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

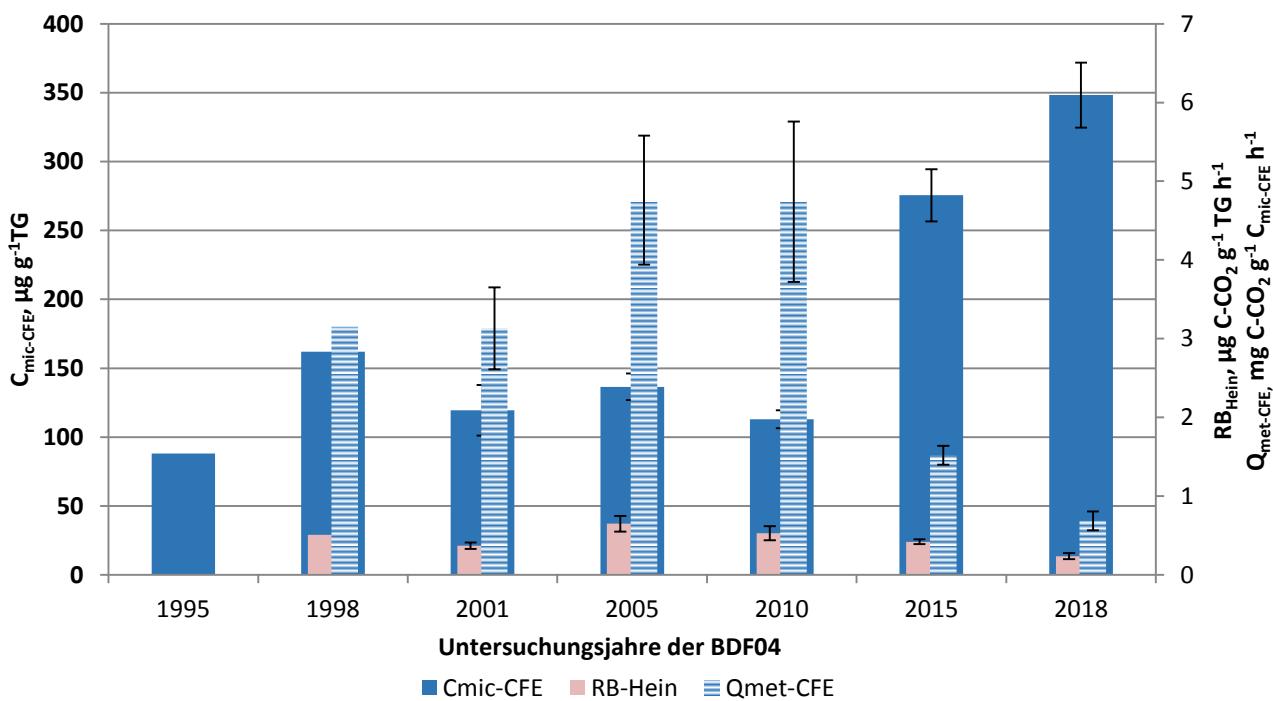


Abbildung 4.3: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF04 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$), ihrer Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{\text{met-SIR}}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.4 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die höchsten N_{min} -Gehalte in den Untersuchungsjahren 1995 und 2005 gemessen wurden. Zum Untersuchungsjahr 2010 nahm der N_{min} -Gehalt auf den bisher niedrigsten Stand ab und zeigte bis zum Jahr 2018 eine leicht zunehmende Tendenz. Auch die Argininammonifikation zeigte Höchstwerte in den Untersuchungsjahren 1995 und 2005 mit nachfolgenden Abnahmen. Auffällig ist jedoch die sehr hohe Standardabweichung im Jahr 2005, welche eine sehr starke Heterogenität der Fläche impliziert. Die Argininammonifikation nahm zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 geringfügig zu und erreichte den Stand von 2010.

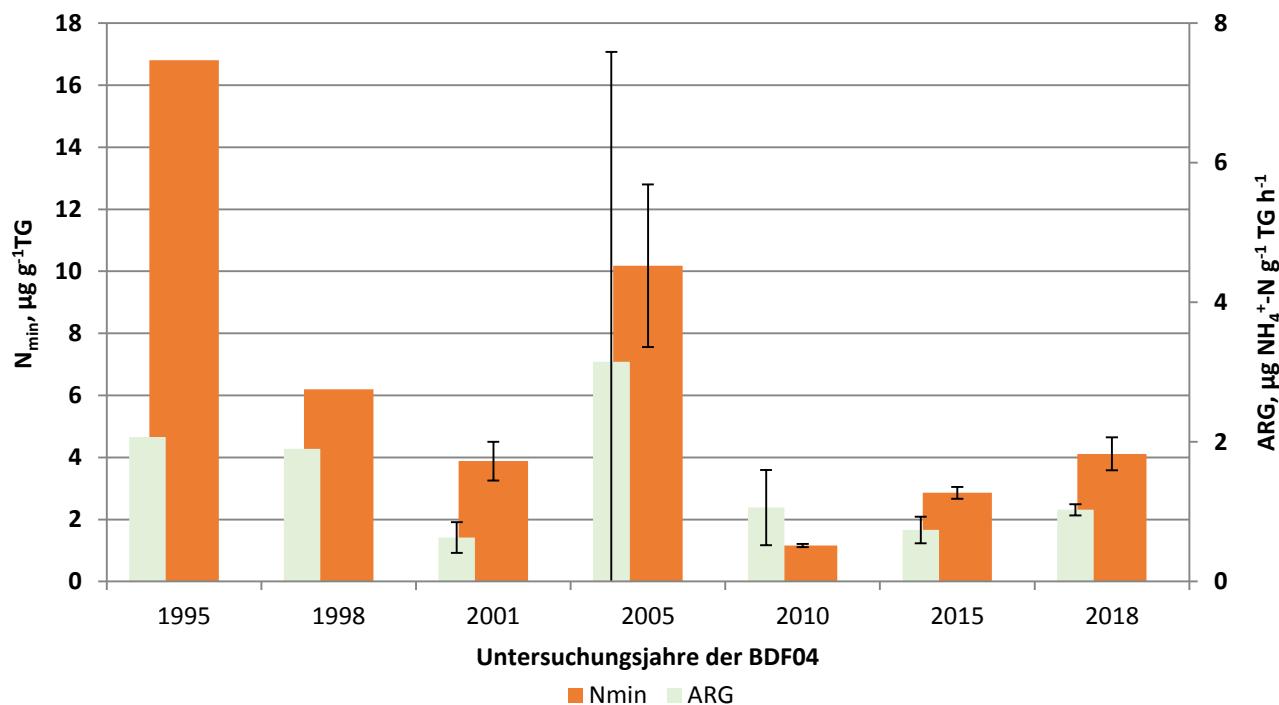


Abbildung 4.4: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF04.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.5: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF04. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	TG h^{-1}	TG h^{-1}	TG h^{-1}	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	88 ± n.b.	n.b. ± n.b.	21 ± n.b.	n.b. ± n.b.	2,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,2 ± n.b.	6,3 ± n.b.	16,8 ± n.b.		
1998	Ap bis -30	162 ± n.b.	154 ± n.b.	21 ± n.b.	0,5 ± n.b.	1,9 ± n.b.	3,2 ± n.b.	3,3 ± n.b.	1,0 ± n.b.	0,1 ± n.b.	7,3 ± n.b.	6,2 ± n.b.		
2001	Ap bis -30	120 ± 18	224 ± 46	19 ± 4	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,2	3,1 ± 0,5	1,7 ± 0,3	2,1 ± 0,2	0,2 ± 0,0	13,6 ± 0,8	3,9 ± 0,6		
2005	Ap bis -30	137 ± 10	147 ± 14	22 ± 4	0,7 ± 0,1	3,2 ± 4,4	4,8 ± 0,8	4,4 ± 0,4	2,0 ± 0,2	0,1 ± 0,0	14,3 ± 0,4	10,2 ± 2,6		
2010	Ap bis -30	113 ± 7	246 ± 21	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,5	4,7 ± 1,0	2,2 ± 0,4	2,1 ± 0,1	0,2 ± 0,0	13,0 ± 0,2	1,2 ± 0,1		
2015	Ap bis -30	276 ± 19	156 ± 17	12 ± 2	0,4 ± 0,0	0,7 ± 0,2	1,5 ± 0,1	2,8 ± 0,8	1,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	11,7 ± 1,0	2,9 ± 0,2		
2018	Ap bis -30	348 ± 24	181 ± 8	14 ± 5	0,2 ± 0,0	1,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,3 ± 0,2	1,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	12,9 ± 0,1	4,1 ± 0,5		

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,8 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,7 ± 0,0
1998	Ap bis -30	66 ± n.b.	62 ± n.b.	8 ± n.b.	207 ± n.b.	770 ± n.b.	1,6 ± 1,5	1,5 ± n.b.	25,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,5 ± 0,0
2001	Ap bis -30	48 ± n.b.	89 ± n.b.	8 ± n.b.	147 ± n.b.	249 ± n.b.	0,6 ± 1,1	1,1 ± 0,1	15,5 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,3 ± 0,3
2005	Ap bis -30	49 ± n.b.	52 ± n.b.	n.b. ± n.b.	231 ± n.b.	1125 ± n.b.	0,7 ± 0,7	0,7 ± 0,1	36,3 ± n.b.	7133 ± n.b.	500 ± n.b.	4,5 ± 0,1
2010	Ap bis -30	41 ± n.b.	90 ± n.b.	n.b. ± n.b.	194 ± n.b.	388 ± n.b.	0,6 ± 1,2	1,2 ± 0,1	4,2 ± n.b.	7521 ± n.b.	580 ± n.b.	4,2 ± 0,1
2015	Ap bis -30	120 ± 8	68 ± 7	5 ± 1	182 ± 13	314 ± 85	1,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	12,4 ± 0,2	8276 ± 151	713 ± 65	4,4 ± 0,2
2018	Ap bis -30	142 ± 10	73 ± 4	6 ± 2	97 ± 16	418 ± 34	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,0	16,7 ± 2,3	7902 ± 216	614 ± 18	4,6 ± 0,2

4.1.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Standortfaktoren zeigen sich in drei Fällen. Dabei korreliert der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) mit dem Boden-pH in negativer Weise ($r = -0,983$, $p < 0,01$, $N = 5$). Mit steigendem Boden-pH ging ein Rückgang der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse einher. Die zweite Korrelation betrifft die Parameter Trockenrohdichte und metabolischer Quotient ($Q_{met-CFE}$). Beide Parameter korrelieren ebenfalls negativ ($r = -0,991$, $p < 0,01$, $N = 5$). Die Reduzierung der Trockenrohdichte war mit einem Anstieg des metabolischen Quotienten verbunden. Die Effizienz der Substratnutzung durch die Bodenmikroorganismen verringerte sich somit durch eine Abnahme der Trockenrohdichte. Zudem besteht ebenfalls eine signifikante negative Korrelation zwischen der bodenkundlichen Feuchtestufe (BKF) und dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$, $r = -0,994$, $p < 0,01$, $N = 5$). Ein Anstieg der BKF resultierte bislang in einem Rückgang der $C_{mic-SIR}$, was zur aktuellen Untersuchung 2018 jedoch nicht mehr der Fall war.

4.1.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Zum Jahr 2017 nahmen bei niedrigerer Temperatur jedoch sowohl die Niederschlagsmengen als auch die bodenkundliche Feuchtestufe stark zu, was sich auch in einem Anstieg der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse-Gehalte zeigte.

4.1.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftungsmaßnahmen sind sehr umfangreich und beinhalten neben der mechanischen Bodenbearbeitung auch die Düngung mit organischen und mineralischen Düngemitteln sowie den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Durch die Überlagerung der einzelnen Effekte auf die Bodenmikrobiologie lassen sich Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht den einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen zuschreiben. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen des Boden-pH durch Kalkung sowie der Trockenrohdichte durch überwiegend mitteltiefe und tiefe Bodenbearbeitung sind mit den im Abschnitt 4.1.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Insgesamt ist dieser Standort im Vergleich mit den übrigen BDF durch eine eher geringere bodenmikrobiologische Aktivität gekennzeichnet, was eventuell auf die langjährige Mais-Monokultur ohne Zwischenfrüchte zusammen mit dem Einsatz der Pflanzenschutz-Cocktails zurückzuführen ist. Die vergleichsweise geringere bodenmikrobiologische Aktivität scheint jedoch keine Beeinträchtigung der durchschnittlichen Ernteerträge des gesamten Untersuchungszeitraums im Vergleich mit den Maisernten anderer BDF gemäß der Schlagkartei darzustellen. Der zuletzt abnehmende metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen

Biomasse ($Q_{\text{met-CFE}}$) weist eine Stabilisierung im Bodenökosystem hin. Obwohl die Versorgung mit Stickstoff und Phosphor zum Jahr 2017 deutlich reduziert wurde, wurde das Wachstum der mikrobiellen Biomasse nicht eingeschränkt.

4.1.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung erfolgte im Jahr 2005, daher lassen sich keine Beziehungen mit den aktuellen bodenmikrobiologischen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde ein Rückgang der Artenzahlen und der Feuchtezahlen sowie ein Anstieg der Stickstoffzahlen zwischen den Jahren 1991 und 1997 beobachtet. Im Untersuchungszeitraum zwischen 1995 und 1998 zeigte sich eine deutliche Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) sowie ein geringfügiger Rückgang der Argininammonifikation (ARG).

4.1.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen war bei der Bodenzoologie ein deutlicher Anstieg der Regenwurm- und Kleinringelwurm- Biomasse sowie der -Arten zwischen den Jahren 2003 und 2009 feststellbar. Die bodenmikrobiologischen Untersuchungen zeigten im Zeitraum 2005 bis 2010 einen deutlichen Anstieg der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) sowie eine Veränderung des metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$) zu einer höheren Effizienz der Substratverwertung.

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für sandige Ackerstandorte hohe Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie durchschnittlich hohe Kleinringelwurmabundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als Fridericio-Enchytraeum eingestuft, welche durch die Dominanz r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer sowie durch das Fehlen anecischer Regenwürmer gekennzeichnet ist. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{\text{mic-SIR}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin, wobei die r-strategischen Mikroorganismen anhand der metabolischen Quotienten mäßige Störungen anzeigen.

4.2 BDF05 Gintoft

4.2.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.6: Temperatur und Niederschlag der BDF05 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,7	119	
	11	5,8	94	
	12	3,9	96	
2018	1	3,1	114	
	2	-0,4	34	
	3	1,3	58	

Grundwasserstände fehlen

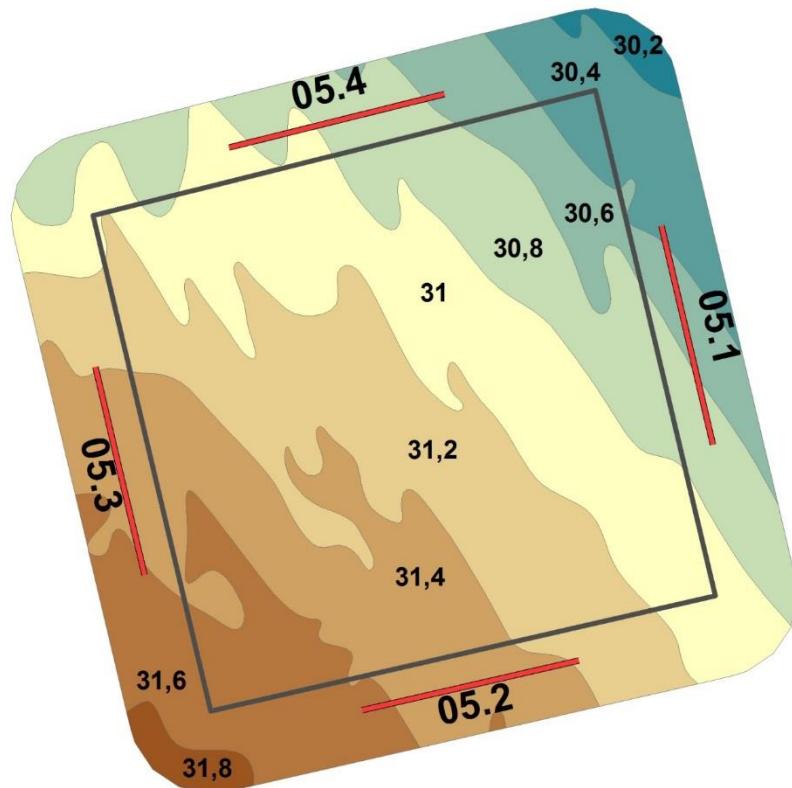


Abbildung 4.5: Lage der Probenahmestellen an der BDF05 (05.1-4).

Tabelle 4.7: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF05 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	09.04.2018
	Beginn 09:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	9,1 °C Bodenoberfläche
	6,8 °C in 10 cm Tiefe
	mäßige Niederschläge in den letzten 24 h
	6 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	Boden feucht, steif, Kohärentgefüge, mäßig verschlämmt
Kulturzustand	Winterweizen/Wintergerste, Blattentwicklung
	keine Bodenbearbeitung erkennbar
	Güllegabe und Gärreste vor längerer Zeit
Sonstiges	Kalkung mit Salzsäuretest erkennbar

4.2.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF05 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche zum Anbau einer Fruchtfolge von Wintergerste-Winterweizen-Winterraps sowie zum Maisanbau genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.8 dargestellt. Der mineralische Oberboden dieser BDF wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als mittel humos eingestuft, wobei der Anteil des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Gesamtvergleich unterdurchschnittlich hoch ist. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt im Durchschnitt aller BDF. Es ergibt sich ein sehr enges C_{org}/N_t -Verhältnis, welches eine sehr hohe Humusqualität kennzeichnet. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist im Gesamtvergleich leicht unterdurchschnittlich. Der N_{min} -Gehalt setzt sich zu etwa vier Fünfteln aus Nitrat zusammen und zu einem Fünftel aus Ammonium. Der Oberboden besitzt eine mittlere Trockenrohdichte, welche im Gesamtvergleich leicht über dem Durchschnitt liegt. Der Boden-pH ist überdurchschnittlich hoch und der Oberboden wird als sehr schwach sauer eingestuft.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF05 befinden sich in der Tabelle 4.9. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft und liegt deutlich über dem Durchschnitt aller BDF. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) zeigt im Gesamtvergleich jedoch einen unterdurchschnittlich hohen Wert. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) ist durchschnittlich und wird als mittel hoch eingestuft. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) ist im Gesamtvergleich die höchste. Die Argininammonifikation (ARG) zeigt einen als niedrig eingestuften Wert, welcher jedoch über dem Gesamtdurchschnitt liegt. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als sehr hoch eingestuft und ist höher als der Durchschnitt aller Ackerflächen. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist niedrig, besitzt jedoch einen deutlich überdurchschnittlich hohen Wert. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft. Die BDF05 weist einen als sehr hoch eingestuften metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) auf.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.8: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF05 (Gintoft). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	1,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	14,9 ± 1,7	3,1 ± 1,2	0,0 ± 0,0	11,8 ± 0,5

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	5475 ± 140	660 ± 12	6,6 ± 0,9	65,7 ± 8,6	1,5 ± 0,0	226 ± 6	6,3 ± 0,1

Tabelle 4.9: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF05 (Gintoft). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$C_{mic-CFE} / C_{org}$ %	$C_{mic-SIR} / C_{org}$ %
Ap bis -30	576 ± 7	252 ± 39	23 ± 11	0,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	4,6 ± 0,1	2,0 ± 0,3

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$ CFE $\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1} \text{h}^{-1}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$ SIR $\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1} \text{h}^{-1}$
Ap bis -30	253 ± 7	111 ± 17	10 ± 5	370 ± 30	1227 ± 88	1,5 ± 0,1	3,4 ± 0,7

4.2.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.6. Der Boden-pH schwankte im gesamten Untersuchungszeitraum um bis zu 0,5 Einheiten zwischen den Bereichen sehr schwach sauer (1995, 2005, 2010 und 2015) und neutral (1998 und 2001). Der niedrigste pH zeigte sich im Jahr 2005. Zum folgenden Untersuchungsjahr stieg der Wert leicht an und blieb auch 2015 auf diesem Niveau. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 sank der pH auf den bislang niedrigsten Wert. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) schwankte ebenfalls leicht und zeigte Höchstwerte in den Untersuchungsjahren 2001 und 2010. Zum Jahr 2018 nahm der C_{org} -Gehalt geringfügig ab. Insgesamt blieb der Boden im mittel humosen Bereich mit Ausnahme des Jahres 1998, in dem die Grenze zum schwach humosen Bereich knapp unterschritten wurde.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte im Verlauf der Untersuchungsjahre sich abwechselnde Zu- und Abnahmen. Die Zunahmen der mikrobiellen Biomasse erfolgten zwischen den Jahren 1995 und 1998 sowie zwischen 2001 und 2005 und zuletzt zwischen den Jahren 2010 und 2015. Während sich die erstgenannten im Bereich von etwa 40 % bewegten, war die Zunahme zum Untersuchungsjahr 2015 mit mehr als 300 % die stärkste. Zwischen 1998 und 2001 sowie zwischen 2005 und 2010 betrugen die Abnahmen der mikrobiellen Biomasse etwa 30 bis 40 %. Den gleichen Verlauf zeigte in etwa auch der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$). Zum Jahr 2018 blieben $C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$ nahezu unverändert.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigte eine zur gesamten mikrobiellen Biomasse gegenläufige Entwicklung. Die Höchstwerte wurden dabei in den Jahren 2001 und 2010 gemessen. Niedrigere $C_{mic-SIR}$ -Gehalte entfielen auf die Untersuchungsjahre 1998, 2005 und 2015, wobei das Jahr 2005 den insgesamt niedrigsten Gehalt aufwies. In den Jahren 2001 und 2010 waren die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte deutlich höher als die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entwickelte sich weitgehend parallel zur $C_{mic-SIR}$. Lediglich zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 zeigte sich ein gegenläufiger Trend. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 nahmen sowohl $C_{mic-SIR}$ als auch der $Q_{mic-SIR}$ leicht ab.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte im zeitlichen Verlauf eine zur mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) gegenläufige Entwicklung (Abbildung 4.7). In den Jahren 2001 und 2010 wurden zunächst höhere Basalatmungsraten gemessen. Die Jahre 1998 und 2005 und 2015 zeigten dagegen niedrigere Werte der R_{B-Hein} . Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 nahm die Basalatmung auf den bisherigen Höchstwert zu. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) verhielt sich ähnlich wie die Basalatmung. Die Höchstwerte entfielen auf die Jahre 2001 und 2010. Nach einer sehr starken Abnahme des $Q_{met-CFE}$ zum Jahr 2015 erfolgte eine leichte Zunahme des metabolischen Quotienten zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018.

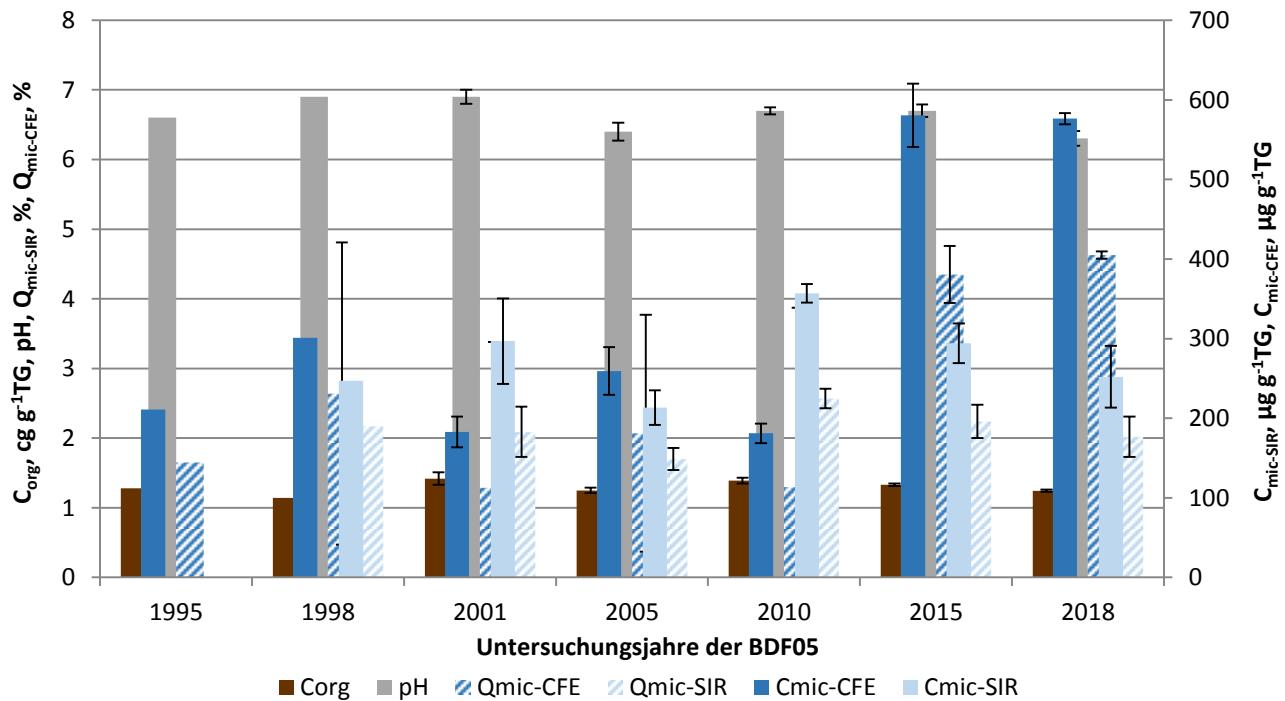


Abbildung 4.6: Ergebnisse der BDF05 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

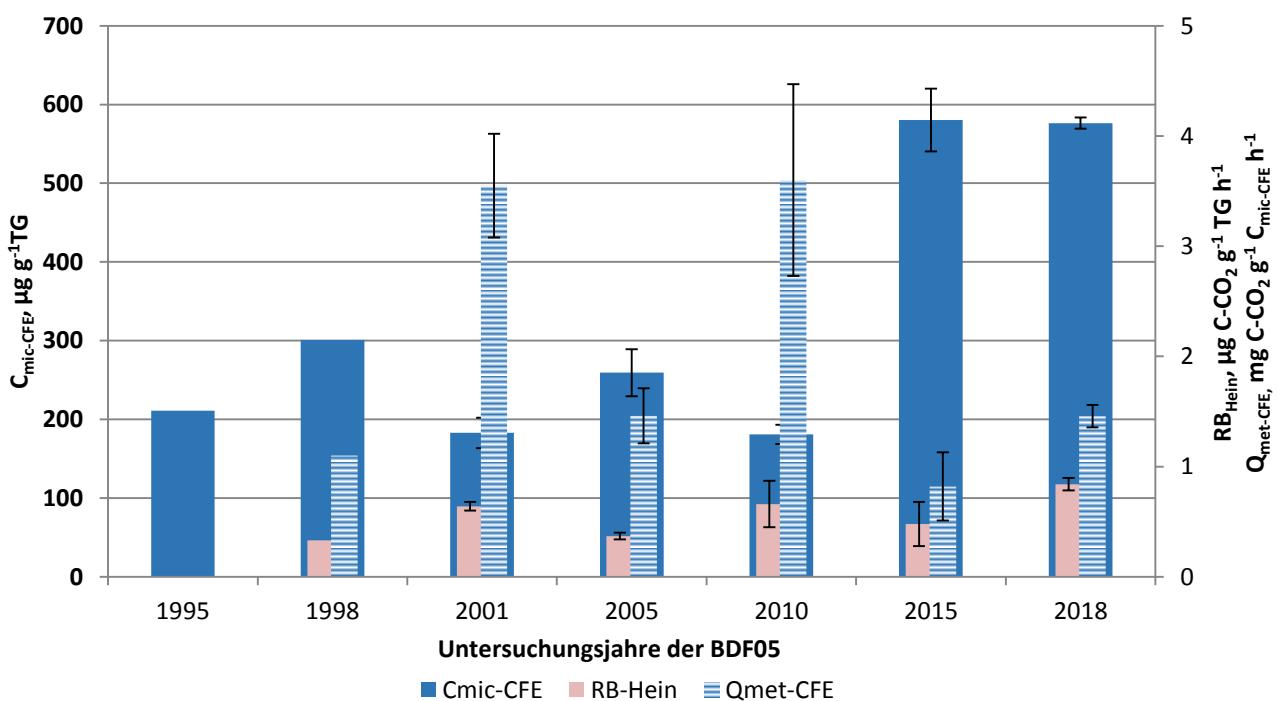


Abbildung 4.7: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF05 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_B -Hein) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{\min}) ist in der Abbildung 4.8 dargestellt. Bei den löslichen Stickstoffverbindungen ist zu sehen, dass die N_{\min} -Gehalte im Zeitraum 1995 bis 2001 kontinuierlich abgenommen haben. Zum Jahr 2005 erfolgte eine sehr starke Zunahme des mineralischen Stickstoffs um etwa das Zehnfache. Zum folgenden Untersuchungsjahr reduzierte sich der N_{\min} -Gehalt um etwa drei Viertel. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der N_{\min} -Gehalt erneut um etwa ein Drittel an und verringerte sich erneut zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018. Die Argininammonifikation zeigte zunächst einen Anstieg um ca. 25 % zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998. In den drei folgenden Untersuchungsjahren 2001, 2005 und 2010 erfolgte eine kontinuierliche Abnahme der ARG um insgesamt etwa 80 %. Zum Jahr 2015 verdoppelte sich die Argininammonifikation und nahm auch zum Jahr 2018 leicht zu.

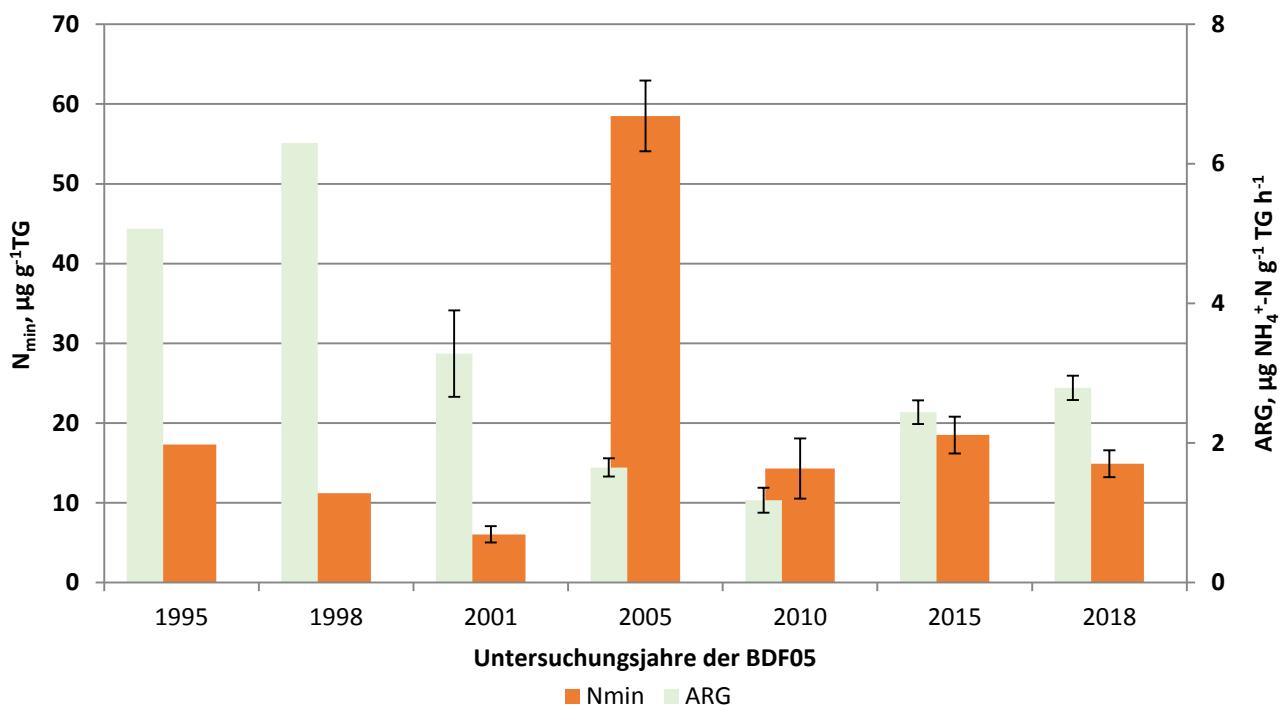


Abbildung 4.8: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF05.

Tabelle 4.10: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF05. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
1995	Ap bis -30	211 ± n.b.	n.b. ± n.b.	16 ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,3 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,8 ± n.b.	17,3 ± n.b.	
1998	Ap bis -30	301 ± n.b.	247 ± n.b.	58 ± n.b.	0,3 ± n.b.	6,3 ± n.b.	1,1 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,2 ± n.b.	7,6 ± n.b.	
2001	Ap bis -30	183 ± 19	297 ± 54	32 ± 6	0,6 ± 0,0	3,3 ± 0,6	3,6 ± 0,5	2,2 ± 0,5	1,4 ± 0,1	0,1 ± 0,0	10,0 ± 0,6	
2005	Ap bis -30	259 ± 30	213 ± 22	38 ± 6	0,4 ± 0,0	1,7 ± 0,1	1,5 ± 0,3	1,8 ± 0,1	1,3 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,5 ± 0,2	
2010	Ap bis -30	181 ± 12	357 ± 12	n.b. ± n.b.	0,7 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3,6 ± 0,9	1,8 ± 0,6	1,4 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,8 ± 0,1	
2015	Ap bis -30	580 ± 40	294 ± 25	26 ± 6	0,5 ± 0,2	2,4 ± 0,2	0,8 ± 0,3	1,7 ± 0,8	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,7 ± 0,2	
2018	Ap bis -30	576 ± 7	252 ± 39	23 ± 11	0,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	1,5 ± 0,1	3,4 ± 0,7	1,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,7 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,6 ± n.b.
1998	Ap bis -30	119 ± n.b.	98 ± n.b.	23 ± n.b.	131 ± n.b.	2495 ± n.b.	2,6 ± 2,2	2,2 ± n.b.	44,4 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,9 ± n.b.
2001	Ap bis -30	76 ± n.b.	124 ± n.b.	13 ± n.b.	268 ± n.b.	1366 ± n.b.	1,3 ± 2,1	2,1 ± 0,4	25,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,9 ± 0,1
2005	Ap bis -30	113 ± n.b.	93 ± n.b.	16 ± n.b.	162 ± n.b.	718 ± n.b.	2,1 ± 1,7	1,7 ± 0,2	254,5 ± n.b.	5451 ± n.b.	576 ± n.b.	6,4 ± 0,1
2010	Ap bis -30	77 ± n.b.	151 ± n.b.	n.b. ± n.b.	278 ± n.b.	500 ± n.b.	1,3 ± 2,6	2,6 ± 0,1	60,5 ± n.b.	5880 ± n.b.	668 ± n.b.	6,7 ± 0,1
2015	Ap bis -30	269 ± 18	136 ± 12	12 ± 3	223 ± 91	1142 ± 106	4,4 ± 0,4	2,2 ± 0,2	85,8 ± 0,1	6159 ± 98	1316 ± 530	6,7 ± 0,1
2018	Ap bis -30	253 ± 7	111 ± 17	10 ± 5	370 ± 30	1227 ± 88	4,6 ± 0,1	2,0 ± 0,3	65,7 ± 8,6	5475 ± 140	660 ± 12	6,3 ± 0,1

4.2.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es zeigen sich in mehreren Fällen statistisch signifikante Korrelationen zwischen den bodenmikrobiologischen Parametern und den abiotischen Standortfaktoren. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) korreliert sowohl mit dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = 0,924$, $p < 0,01$, $N = 6$) als auch mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = -0,913$, $p < 0,05$, $N = 6$). Eine Zunahme des N_t -Gehalts und eine Abnahme des C_{org}/N_t -Verhältnisses resultierten in zunehmenden $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalten. Ähnlich zeigt sich auch die Korrelation des mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) mit den genannten Parametern N_t ($r = 0,871$, $p < 0,05$, $N = 6$) und C_{org}/N_t ($r = -0,923$, $p < 0,01$, $N = 6$). Zudem besteht eine Korrelation des C_{org} -Gehaltes mit der Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$, $r = 0,941$, $p < 0,05$, $N = 5$) und mit dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$, $r = 0,908$, $p < 0,05$, $N = 5$). Ein zunehmender Gehalt organischen Kohlenstoffs erhöhte die Basalatmung und reduzierte dabei die Effizienz der Substaratnutzung bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse. Eine weitere signifikante Korrelation tritt bei dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) und dem Wassergehalt der Probe auf ($r = 0,929$, $p < 0,05$, $N = 5$). Mit steigendem Wassergehalt stieg auch der $C_{\text{mic-SIR}}$ -Anteil am C_{org} -Gehalt.

Der vergleichsweise hohe Gehalt der mikrobiellen Biomasse steht vermutlich im Zusammenhang mit dem relativ hohen pH (wie bei BDF06, 12 und 18), wobei anzumerken ist, dass der pH auch in den vergangenen Untersuchungsjahren vergleichbar hoch war bei deutlich geringeren C_{mic} -Gehalten.

4.2.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{\text{mic-CFE}}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{\text{mic-CFE}}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{\text{mic-SIR}}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{\text{mic-SIR}}$ -Spitze (2001) verbunden war. Die zum Vorjahr 2017 geringere Durchschnittstemperatur und die deutliche Zunahme der Niederschlagsmengen wirkten sich aktuell auf die mikrobielle Biomasse eher stagnierend aus.

4.2.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Insgesamt zeigt dieser Standort im Gesamtvergleich eine überdurchschnittlich hohe bodenmikrobiologische Aktivität, was eventuell mit der dreigliedrigen Fruchtfolge zusammenhängt. Zudem zeigt die regelmäßige Zufuhr von organischem Kohlenstoff und Stickstoff in Form von organischen und mineralischen Düngemitteln Auswirkungen auf die Bodenmikrobiologie anhand der in Abschnitt 4.2.4 dargestellten Korrelationen. Durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie lassen sich Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht den einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen zuordnen. Der niedrige metabolische Quotient der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-CFE}}$) weist auf geringe Störungen im Bodenökosystem hin.

4.2.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung erfolgte im Jahr 2006, daher lassen sich keine Beziehungen mit den aktuellen bodenmikrobiologischen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde ein Rückgang der Artenzahlen sowie ein leichter Rückgang der Reaktions- und Stickstoffzahlen zwischen den Jahren 1995 und 1998 beobachtet. In diesem Zeitraum wurde eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), der Basalatmung (R_{B-Hein}) sowie der Argininammonifikation (ARG) festgestellt.

4.2.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Vorjahr 2014. Dabei zeigte sich ein starker Rückgang der bodenzoologischen Aktivität durch eine starke Abnahme der Regenwurm- und Kleinringelwurmabundanzen im Vergleich zur Voruntersuchung des Jahres 2010. Aus bodenmikrobiologischer Sicht erfolgten zwischen 2010 und 2015 eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) sowie eine leichte Abnahme im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$). Im gleichen Zeitraum nahmen die Basalatmung (R_{B-Hein}) leicht ab sowie die Argininammonifikation (ARG) leicht zu. Auch der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) deutete durch die Abnahme auf einen Anstieg der Effizienz der Mikroorganismen hin.

4.3 BDF06 Sönke-Nissen-Koog

4.3.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.11: Temperatur und Niederschlag der BDF06 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	12,2	148	
	11	6,4	89	
	12	4,2	102	
2018	1	3,1	110	
	2	-0,3	39	
	3	1,5	49	

Grundwasserstände fehlen

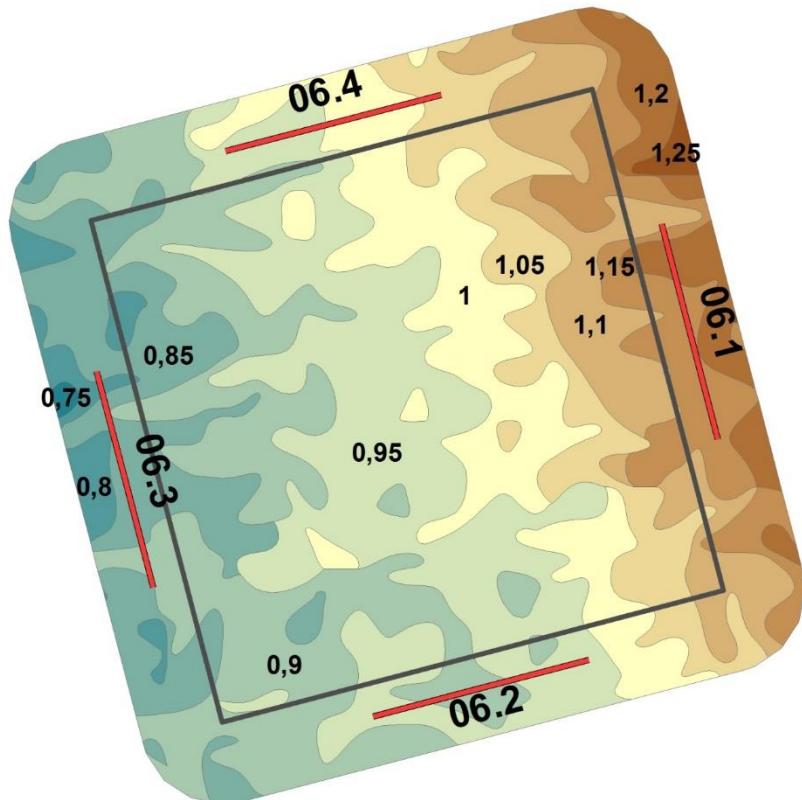


Abbildung 4.9: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF06 (06.1-4).

Tabelle 4.12: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF06 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	16.04.2018 Beginn 09:15 Uhr
Witterungsverhältnisse	11,3 °C Bodenoberfläche 8,4 °C in 10 cm Tiefe mäßige Niederschläge in den letzten 24 h mehr als 7 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	Boden feucht, steif, Kohärentgefüge, Rissgefüge, mäßig verschlämmt
Kulturzustand	Ackerbrache Pflugspuren Düngung nicht erkennbar
Sonstiges	

4.3.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF06 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche annähernd in Monokultur zum Anbau von Winterweizen sowie zum Anbau von Winterraps im Vierjahreszyklus genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.13 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als mittel humos eingestuft, wobei der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) unter dem Gesamtdurchschnitt liegt. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist durchschnittlich hoch und es ergibt anhand des engen C_{org}/N_t -Verhältnisses eine sehr hohe Humusqualität. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) liegt deutlich unter dem Durchschnitt und setzt sich nahezu vollständig aus Nitrat zusammen. Nitrit wurde nicht nachgewiesen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als mittel eingestuft und liegt im Gesamtvergleich im Durchschnitt. Der Boden-pH der Kalkmarsch BDF06 wird als neutral eingestuft und weist den höchsten Wert aller untersuchten BDF auf.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF06 befinden sich in der Tabelle 4.14. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft. Die BDF06 weist den höchsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF auf. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird jedoch als niedrig eingestuft und ist im Gesamtvergleich der niedrigste. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) liegt hingegen geringfügig über dem Durchschnitt. Bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigt diese BDF einen unterdurchschnittlich hohen Wert. Die Argininammonifikation (ARG) wird als sehr niedrig eingestuft und liegt deutlich unter dem Gesamtdurchschnitt. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als sehr hoch klassifiziert und weist den höchsten Wert auf. Die BDF06 besitzt im Gesamtvergleich den niedrigsten metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$). Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als niedrig eingestuft und liegt unter dem Durchschnitt aller BDF. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) ist hoch und ist leicht überdurchschnittlich hoch.

Tabelle 4.13: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF06 (Sönke-Nissen-Koog). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	7,6 ± 0,6	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	7,5 ± 0,6

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wassergehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	5445 ± 185	653 ± 22	3,2 ± 0,2	31,9 ± 2,3	1,4 ± 0,0	281 ± 4	7,0 ± 0,1

Tabelle 4.14: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF06 (Sönke-Nissen-Koog). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	749 ± 47	170 ± 49	36 ± 12	0,3 ± 0,0	1,6 ± 0,2	5,8 ± 0,5	1,3 ± 0,4

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	313 ± 23	71 ± 20	15 ± 5	130 ± 8	687 ± 80	0,4 ± 0,0	2,0 ± 0,5

4.3.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.10. Der Boden-pH veränderte sich um bis zu 0,5 Einheiten im gesamten Untersuchungszeitraum. Zwischen 1995 und 1998 entsprach der pH der Einstufung als sehr schwach alkalisch und sank zum Jahr 2001 in den neutralen Bereich ab. Die folgenden pH-Schwankungen bis zum Jahr 2018 ereigneten sich weiterhin innerhalb des neutralen pH-Bereichs. Der Boden war über den gesamten Zeitraum mittel humos, dennoch zeigten sich Änderungen im Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}). Der C_{org} -Gehalt zeigte über alle Untersuchungsjahre sich jeweils abwechselnde Ab- und Zunahmen. Daraus resultierte im Jahr 2015 ein niedrigerer C_{org} -Gehalt als im vorangegangenen Untersuchungsjahr 2010. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 blieb der C_{org} -Gehalt unverändert.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 zunächst um etwa 20 % ab. Auf diesem Niveau verblieb die mikrobielle Biomasse nahezu unverändert bis zum Jahr 2010. Zum Untersuchungsjahr 2015 zeigte die $C_{mic-CFE}$ einen sehr starken Anstieg und verdreifachte sich auf den bisherigen Höchststand. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 war ein leichter Anstieg der mikrobiellen Biomasse zu verzeichnen. Eine ähnliche Entwicklung war ebenso bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) zu beobachten, der relative Anstieg zum Jahr 2015 war jedoch mit einem Faktor von 4,5 noch stärker ausgeprägt. Auch der $Q_{mic-CFE}$ nahm zum Jahr 2018 weiter zu.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) halbierte sich zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 zunächst und stieg bis zum Jahr 2010 auf den bisherigen Höchststand beständig an. Zum Untersuchungsjahr 2015 nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt leicht ab. Zur aktuellen Untersuchung 2018 nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt stark ab und erreichte mit dem niedrigsten Wert das Niveau von 2001. Diese Entwicklung spiegelte sich mit Ausnahme des Jahres 2015 ebenfalls bei dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wider. Die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte der Jahre 1998, 2005 und 2010 waren deutlich höher als die Gehalte der $C_{mic-CFE}$.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte im Verlauf der Untersuchungsjahre eine Entwicklung mit sich abwechselnden Zu- und Abnahmen (Abbildung 4.11). Nach einem Anstieg der Basalatmung zwischen den Jahren 1998 und 2001 folgte 2005 eine Abnahme auf das Niveau des Jahres 1998. Der bisherige Höchstwert wurde im Jahr 2010 gemessen, zum Untersuchungsjahr 2015 nahm die R_{B-Hein} leicht ab und verringerte sich um die Hälfte zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) zeigte zwischen 1998 und 2015 sich jeweils abwechselnde, starke Zu- und Abnahmen mit den Höchstwerten in den Jahren 2001 und 2010. Zwischen 2015 und 2018 sank der $Q_{met-CFE}$ auf den bislang niedrigsten Wert.

4. Ergebnisse und Diskussion

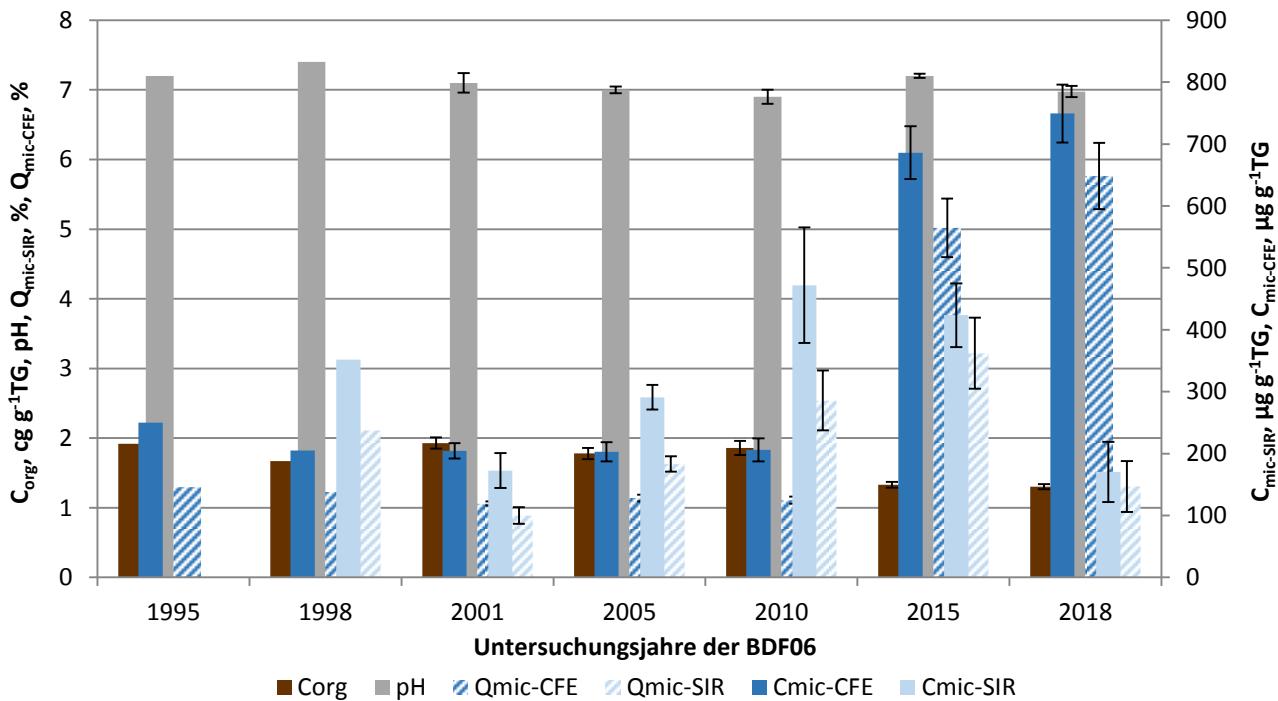


Abbildung 4.10: Ergebnisse der BDF06 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

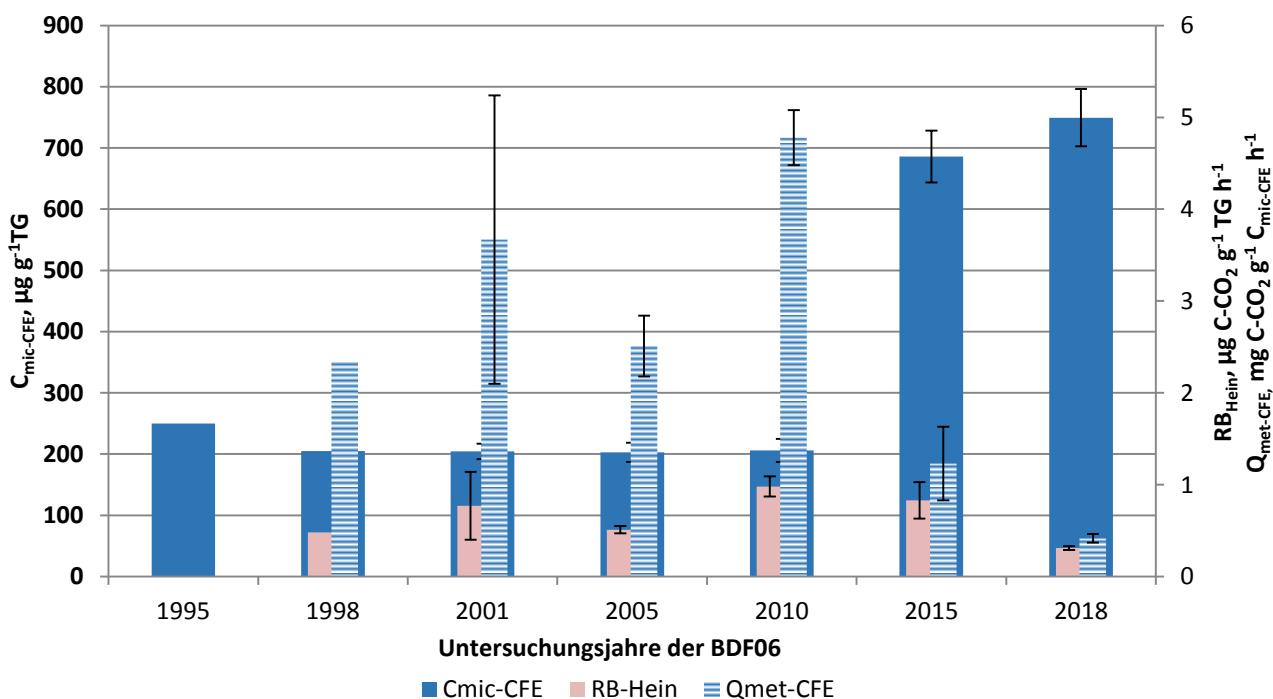


Abbildung 4.11: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF06 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$), ihrer Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{\text{met-SIR}}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.12 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Gehalte löslichen Stickstoffs von einem Höchstwert im Jahr der Erstuntersuchung (1995) bis zum Jahr 2001 um etwa drei Viertel abgenommen haben. Zum folgenden Untersuchungsjahr 2005 stieg der N_{min} -Gehalt um mehr als das Dreifache an. Es folgte eine erneute Abnahme des N_{min} -Gehalts auf das niedrigste Niveau im Jahr 2010. Zum Jahr 2015 verfünfachte sich der Gehalt löslicher Stickstoffverbindungen auf das Niveau des Jahres 1995 und nahm zum Jahr 2018 erneut stark ab. Die Argininammonifikation zeigte zunächst einen Anstieg um etwa 40 % zwischen den Jahren 1995 und 1998. In den folgenden Untersuchungsjahren reduzierte sich die ARG auf den bisher niedrigsten Stand im Jahr 2010. Zum Jahr 2015 stieg die Argininammonifikation erneut um mehr als die Hälfte an und verblieb auf diesem Stand im Jahr 2018.

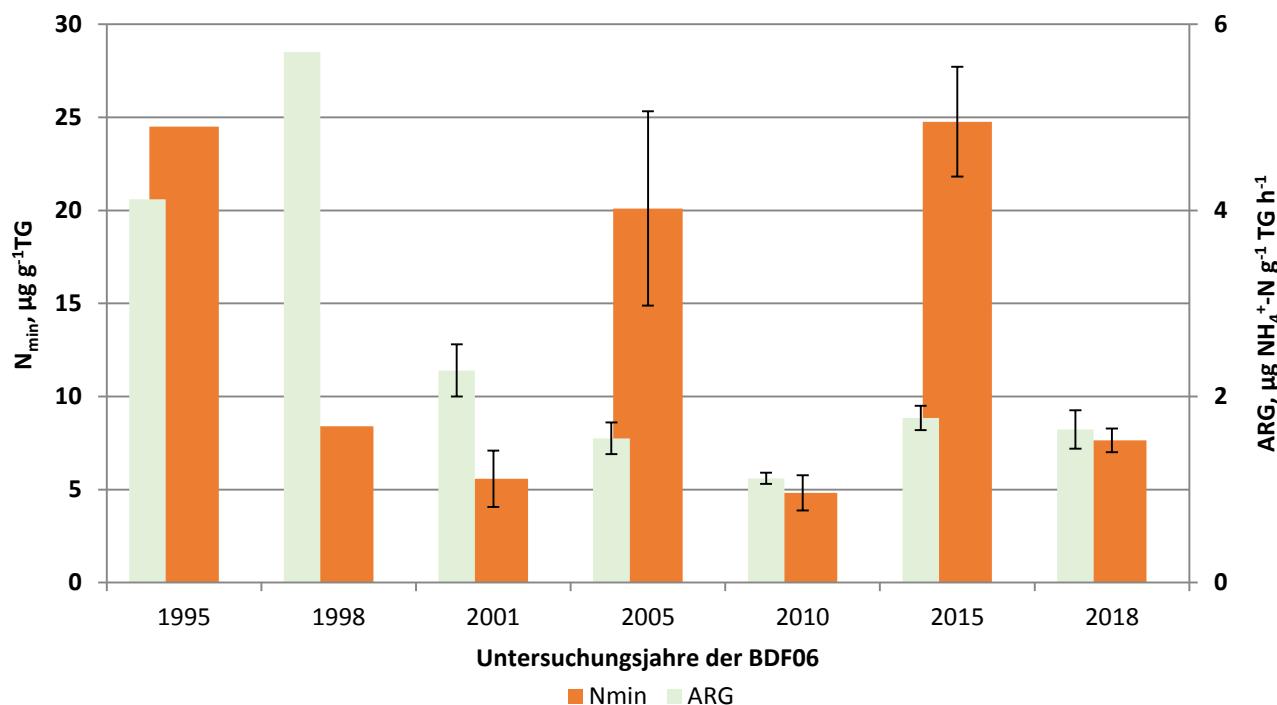


Abbildung 4.12: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF06.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.15: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF06. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelle und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$		
1995	Ap bis -30	250 ± n.b.	n.b. ± n.b.	32 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,9 ± n.b.	0,1 ± n.b.	15,0 ± n.b.	24,5 ± n.b.		
1998	Ap bis -30	205 ± n.b.	352 ± n.b.	73 ± n.b.	0,5 ± n.b.	5,7 ± n.b.	2,3 ± n.b.	1,4 ± n.b.	1,7 ± n.b.	0,1 ± n.b.	12,9 ± n.b.	8,4 ± n.b.		
2001	Ap bis -30	205 ± 12	173 ± 28	37 ± 2	0,8 ± 0,4	2,3 ± 0,3	3,7 ± 1,6	4,3 ± 1,4	1,9 ± 0,1	0,2 ± 0,0	12,3 ± 0,8	5,6 ± 1,5		
2005	Ap bis -30	203 ± 16	291 ± 20	30 ± 3	0,5 ± 0,0	1,6 ± 0,2	2,5 ± 0,3	1,7 ± 0,2	1,8 ± 0,1	0,2 ± 0,0	12,0 ± 1,0	20,1 ± 5,2		
2010	Ap bis -30	206 ± 19	472 ± 93	n.b. ± n.b.	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	4,8 ± 0,3	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,1	0,2 ± 0,0	11,1 ± 0,2	4,8 ± 1,0		
2015	Ap bis -30	686 ± 42	424 ± 52	43 ± 4	0,8 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,2 ± 0,4	2,2 ± 0,7	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	10,4 ± 0,2	24,8 ± 3,0		
2018	Ap bis -30	749 ± 47	170 ± 49	36 ± 12	0,3 ± 0,0	1,6 ± 0,2	0,4 ± 0,0	2,0 ± 0,5	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	7,6 ± 0,6		

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,3 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,2 ± n.b.
1998	Ap bis -30	81 ± n.b.	138 ± n.b.	29 ± n.b.	189 ± n.b.	2240 ± n.b.	1,2 ± n.b.	2,1 ± n.b.	33,0 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,4 ± n.b.
2001	Ap bis -30	72 ± n.b.	61 ± n.b.	13 ± n.b.	269 ± n.b.	799 ± n.b.	1,1 ± 0,0	0,9 ± 0,1	19,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,1 ± 0,1
2005	Ap bis -30	75 ± n.b.	107 ± n.b.	11 ± n.b.	186 ± n.b.	572 ± n.b.	1,1 ± 0,1	1,6 ± 0,1	74,2 ± n.b.	6579 ± n.b.	554 ± n.b.	7,0 ± 0,1
2010	Ap bis -30	81 ± n.b.	186 ± n.b.	n.b. ± n.b.	387 ± n.b.	440 ± n.b.	1,1 ± 0,1	2,5 ± 0,4	18,9 ± n.b.	7310 ± n.b.	656 ± n.b.	6,9 ± 0,1
2015	Ap bis -30	276 ± 17	171 ± 21	17 ± 2	336 ± 81	708 ± 18	5,0 ± 0,4	3,2 ± 0,5	99,8 ± 0,0	5368 ± 141	673 ± 20	7,2 ± 0,0
2018	Ap bis -30	313 ± 23	71 ± 20	15 ± 5	130 ± 8	687 ± 80	5,8 ± 0,5	1,3 ± 0,4	31,9 ± 2,3	5445 ± 185	653 ± 22	7,0 ± 0,1

4.3.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen abiotischen und bodenmikrobiologischen Parametern treten mehrfach auf. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) korreliert mit der Trockenrohdichte ($r = 0,921$, $p < 0,05$, $N = 5$), was auf eine Zunahme der $C_{mic-SIR}$ mit zunehmender Trockenrohdichte hindeutet. In gleicher Weise zeigt sich auch eine Korrelation des mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) mit der Trockenrohdichte ($r = 0,967$, $p < 0,01$, $N = 5$). Weitere Korrelationen betreffen die Basalatmung (R_{B-Hein}) und den Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = 0,898$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie die Argininammonifikation (ARG) mit den Parametern N_t ($r = -0,878$, $p < 0,05$, $N = 6$) und pH ($r = 0,888$, $p < 0,05$, $N = 6$). Zunehmende N_t -Gehalte verstärkten die Basalatmung und verringerten die Argininammonifikation.

Der vergleichsweise hohe Gehalt der mikrobiellen Biomasse steht vermutlich im Zusammenhang mit dem relativ hohen pH (wie bei BDF05, 12 und 18), wobei anzumerken ist, dass der pH auch in den vergangenen Untersuchungsjahren vergleichbar hoch war bei deutlich geringeren C_{mic} -Gehalten.

4.3.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es zeigt sich eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) und den Niederschlagshöhen der jeweils vorangegangenen Hauptvegetationsperioden ($r = 0,897$, $p < 0,05$, $N = 5$). Weitere statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. Zuletzt zeigte sich mit dem Rückgang der Durchschnittstemperaturen (2017 gegenüber 2014) und mit der Zunahme der Niederschläge eine Abnahme im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$).

4.3.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Insgesamt zeigt dieser Standort im Gesamtvergleich eine der höchsten bodenmikrobiologischen Aktivitäten, was eventuell mit der Fruchfolge (3 Jahre Winterweizen, 1 Jahr Winterraps) und mit dem Einsatz von organischen und mineralischen Düngern zusammenhängt. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen der Trockenrohdichte durch überwiegend mitteltiefe und tiefe Bodenbearbeitung sind mit den im Abschnitt 4.3.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Der hohe metablische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) ist ein Hinweis für Stressoren und Störungen im Bodenökosystem, was sich jedoch nicht in der gesamten mikrobiellen Biomasse abzeichnet ($Q_{met-CFE}$). Im Jahr 2010, in dem an diesem Standort der höchste $C_{mic-SIR}$ -Gehalt gemessen wurde, erreichte die Erntemenge des Winterweizens den zweithöchsten Wert aller BDF. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen.

4.3.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung erfolgte im Jahr 2007, daher lassen sich keine Beziehungen mit den aktuellen bodenmikrobiologischen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde die Pflanzengesellschaft als *Stellarietea mediae* angesprochen, welche zwischen den Jahren 1995 und 1998 einen Rückgang der Arten- und Feuchtezahlen sowie einen Anstieg der Reaktionszahl bei gleichbleibender Stickstoffzahl verzeichnete. In diesem Zeitraum erfolgte eine deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie ein deutlicher Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.3.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung wurde im Vorjahr 2014 durchgeführt. Daraus geht hervor, dass im Zeitraum der Jahre 2010 bis 2014 die Siedlungsdichte der Regenwürmer leicht abgenommen hat, während die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer zugenommen hat. Zwischen den Jahren 2010 und 2015 erfolgten bei der Bodenmikrobiologie eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomase ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) sowie eine geringfügige Abnahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) bei gleichzeitigem Anstieg des mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Auch stieg die Ammonifikationsaktivität (ARG) leicht an.

4.4 BDF09 Schuby

4.4.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.16: Temperatur und Niederschlag der BDF09 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,8	155	
	11	5,9	105	
	12	3,8	102	
2018	1	3	124	
	2	-0,5	40	
	3	1,6	55	

Grundwasserstände fehlen

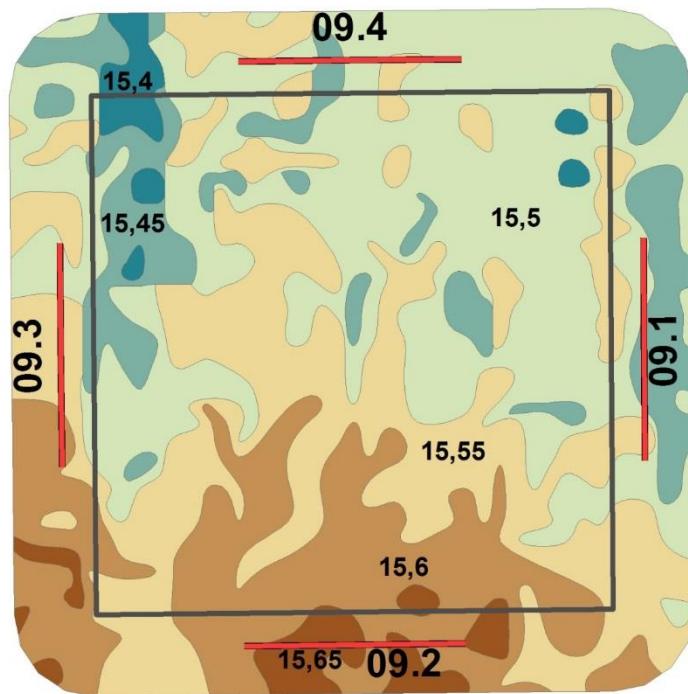


Abbildung 4.13 : Lage der Probenentnahmestellen an der BDF09 (09.1-4).

Tabelle 4.17: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF09 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	27.03.2018 Beginn 09:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	2,7 °C Bodenoberfläche 3,8 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in den letzten 24 h 5 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	feucht, steif, Rissgefüge, sehr schwach verschlämmt
Kulturzustand	Maisstoppeln keine Bodenbearbeitung erkennbar keine Düngergabe erkennbar
Sonstiges	

4.4.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF09 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche überwiegend zum Maisanbau mit zwischendurch eingeschaltetem Winterweizen, Wintergerste und Winterraps genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.18 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als stark humos eingestuft und besitzt den höchsten Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}) aller untersuchten BDF. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist zwar überdurchschnittlich hoch, reicht jedoch lediglich für eine mittlere Humusqualität aus, welche das weiteste C_{org}/N_t -Verhältnis aller BDF aufweist. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) zählt mit zu den geringsten N_{min} -Gehalten im Vergleich aller BDF. Dieser setzt sich zu etwa einem Viertel aus Ammonium und zu etwa drei Vierteln aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als gering eingestuft und ist leicht niedriger als der Durchschnitt aller BDF. Der Boden-pH ist der zweitniedrigste und stuft den Boden als mäßig sauer ein.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF09 befinden sich in der Tabelle 4.19. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, ihr Wert liegt zudem über dem Durchschnitt aller Acker-BDF. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) ist unterdurchschnittlich. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft, ist im Vergleich jedoch leicht unterdurchschnittlich. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) weist den zweithöchsten Wert der Acker-BDF auf. Die Argininammonifikation (ARG) wird als sehr gering eingestuft. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) entspricht der Einstufung als hoch, zeigt jedoch einen deutlich unterdurchschnittlichen Wert. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) entspricht der Einstufung als sehr niedrig, liegt jedoch über dem Durchschnitt. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als sehr niedrig eingestuft und ist der niedrigste mikrobielle Quotient im Gesamtvergleich. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) ist dagegen sehr hoch und liegt deutlich über dem Gesamtdurchschnitt.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.18: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF09 (Schuby). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	3,2 ± 0,2	0,2 ± 0,0	16,0 ± 0,3	6,9 ± 1,3	1,6 ± 0,2	0,0 ± 0,0	5,4 ± 1,2

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	13038 ± 859	816 ± 60	2,8 ± 0,5	27,9 ± 4,8	1,3 ± 0,0	206 ± 9	5,0 ± 0,2

Tabelle 4.19: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF09 (Schuby). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$C_{mic-CFE} / C_{org}$	$C_{mic-SIR} / C_{org}$
Ap bis -30	600 ± 33	227 ± 38	27 ± 6	0,7 ± 0,1	1,8 ± 0,3	1,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	R_{B-Hein} / C_{mic-} CFE $\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} \text{C}_{mic-CFE}$ h^{-1}	R_{B-Hein} / C_{mic-} SIR $\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} \text{C}_{mic-SIR}$ h^{-1}
Ap bis -30	242 ± 11	91 ± 14	11 ± 2	266 ± 62	722 ± 111	1,1 ± 0,3	3,1 ± 1,0

4.4.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.14. Der Boden-pH zeigte deutliche Veränderungen über den Verlauf der Untersuchungsjahre. Zwischen 1995 und 2001 war der pH-Wert relativ konstant im Grenzbereich zwischen den Stufen stark sauer und mäßig sauer. Zum Jahr 2005 stieg der pH um 0,9 Einheiten in den schwach sauren Bereich. Im darauffolgenden Zeitraum bis 2018 sank der Boden-pH kontinuierlich bis in den mäßig sauren Bereich ab. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) zeigte leichte Veränderungen innerhalb der ersten drei Untersuchungsjahre. Der Höchstwert des C_{org} -Gehalts wurde im Jahr 1995 gemessen. Es folgte eine Abnahme auf das bisher niedrigste Niveau im Jahr 1998. Anschließend stieg der C_{org} -Gehalt leicht an und verblieb in etwa auf diesem Niveau bis zum Jahr 2010. In den darauffolgenden Untersuchungsjahren 2015 und 2018 nahm der C_{org} -Gehalt jeweils geringfügig ab. Über den gesamten Zeitraum war der Boden der Humuskategorie stark humos zugeordnet.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) entwickelte sich schwankend mit sich abwechselnden Zu- und Abnahmen. Die jeweils niedrigeren Werte entfielen dabei auf die Jahre 1995, 2001 und 2010. Die Zunahmen erfolgten jeweils zu den Untersuchungsjahren 1998, 2005 und 2015, wobei die Zunahme zum Jahr 2005 nur schwach und die Zunahme zum Jahr 2015 sehr stark ausgeprägt war. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 erfolgte eine weitere Zunahme der mikrobiellen Biomasse. Diese Entwicklung gilt in gleicher Weise für den mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$).

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) entwickelte sich gegenläufig zur gesamten mikrobiellen Biomasse. Die beiden Anstiege der $C_{mic-SIR}$ erfolgten dabei zu den Jahren 2001 und 2010. Anschließend nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt zum Jahr 2018 deutlich ab. Dieser Verlauf zeigte sich ebenfalls bei dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Zwischen den Jahren 2001 und 2010 waren die Gehalte der $C_{mic-SIR}$ teilweise deutlich höher als die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) änderte sich im gesamten Untersuchungszeitraum nur geringfügig (Abbildung 4.15). Diese stieg lediglich zwischen den Jahren 2001 und 2005 leicht an und sank zwischen 2010 und 2015 auf den bisher niedrigsten Wert. Zum Jahr 2018 stieg die Basalatmung auf den bisherigen Höchstwert an. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) stieg zunächst zwischen den Jahren 1998 und 2010 nahezu beständig auf den Höchstwert an. Anschließend sank dieser auf den niedrigsten Wert im Jahr 2015 und zeigte zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 erneut eine zunehmende Tendenz.

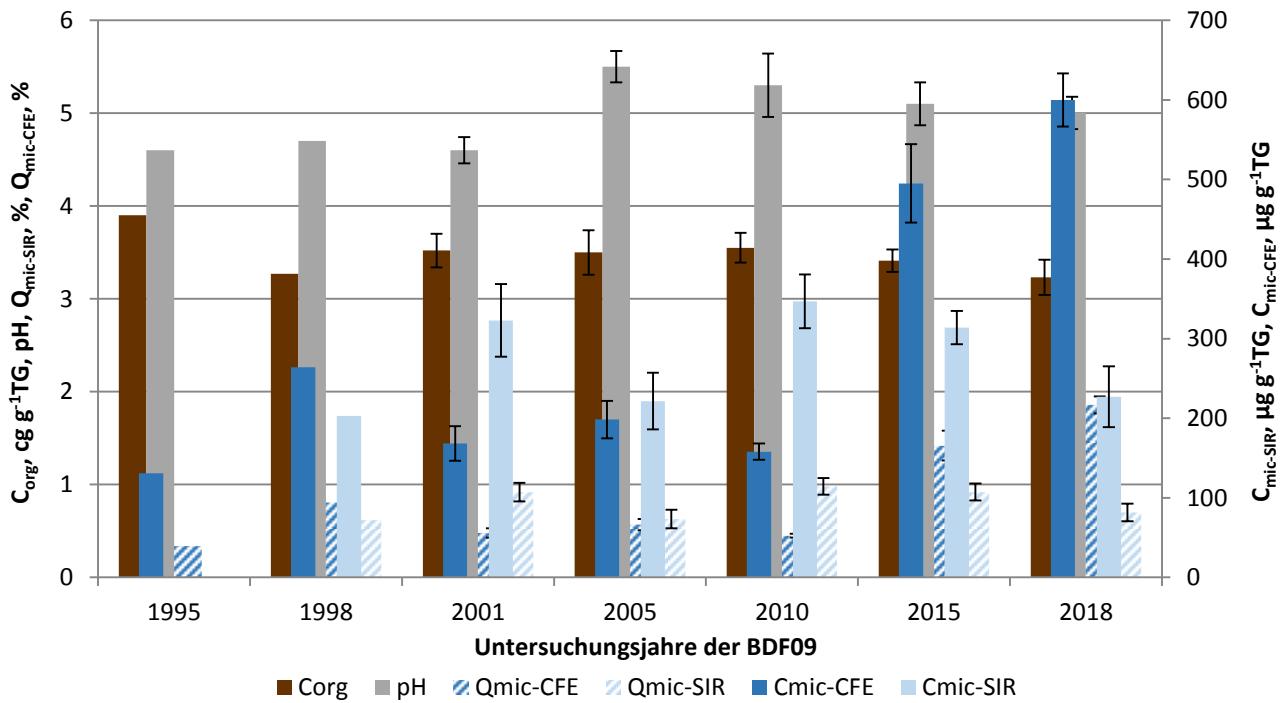


Abbildung 4.14: Ergebnisse der BDF09 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

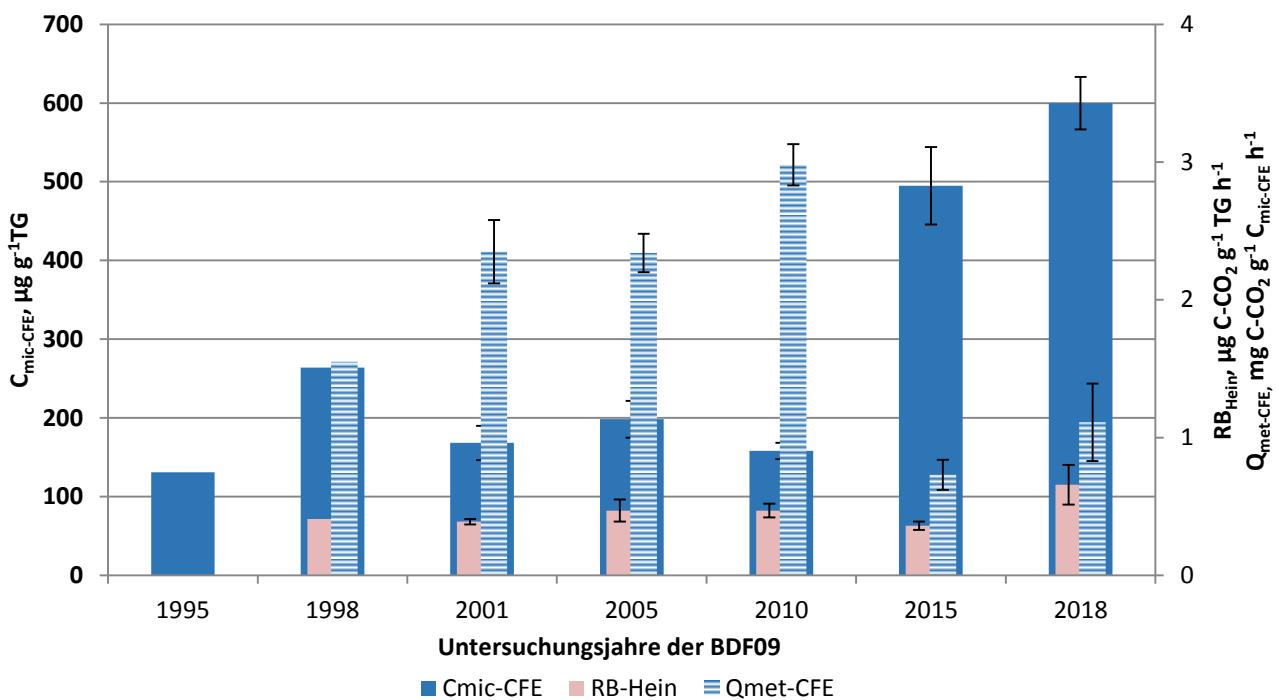


Abbildung 4.15: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF09 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_B -Hein) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.16 dargestellt. Bei dem Gehalt des löslichen Stickstoffs zeigte sich zunächst eine deutliche Abnahme zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 2001 um insgesamt etwa 70 %. Zum Jahr 2005 erfolgte starke Zunahme der löslichen Stickstoffverbindungen um mehr als das Siebenfache. Diesem Anstieg folgte ein äußerst starker Rückgang um etwa 97 % auf das bisher niedrigste Niveau im Jahr 2010. Zum Jahr 2015 verdoppelte sich der N_{min} -Gehalt und zeigte auch zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 eine weitere Verdoppelung. Die Argininammonifikation zeigte zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 2010 eine nahezu konstante Abnahme um insgesamt etwa 70 %. Zum Jahr 2015 stieg die ARG zum ersten Mal um mehr als 40 % an und zeigte zum Jahr 2018 einen geringfügigen Anstieg.

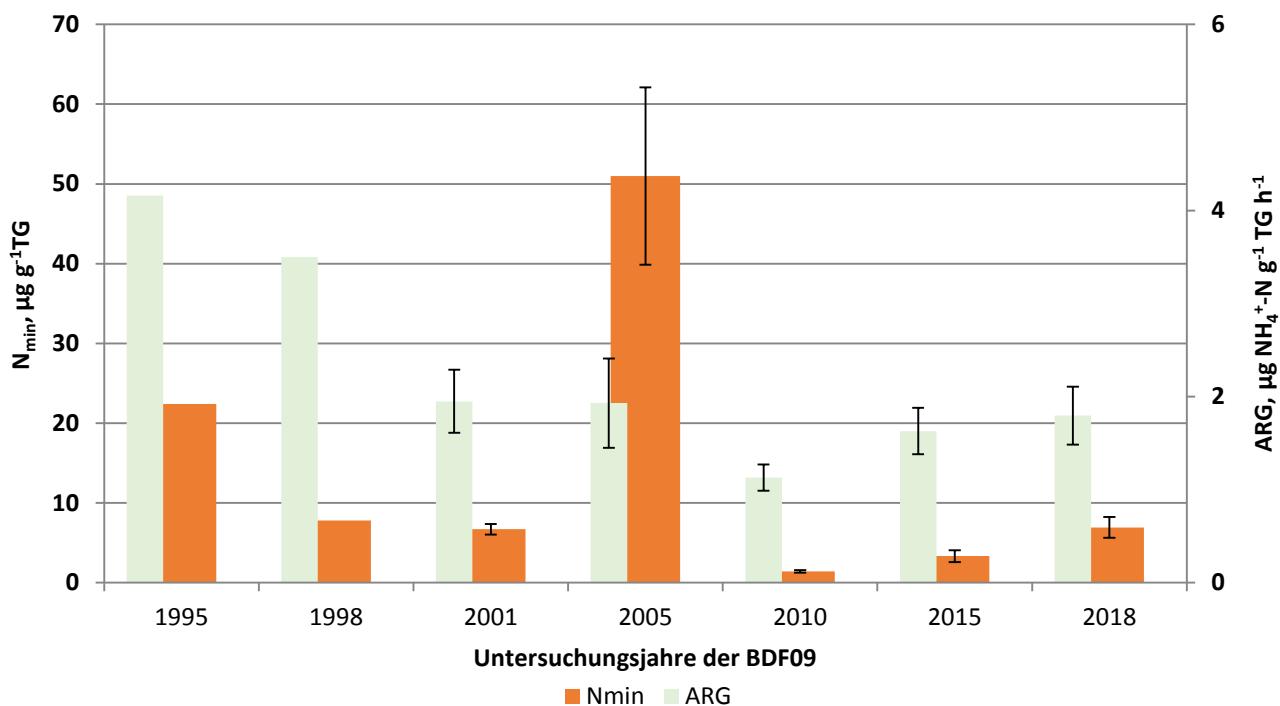


Abbildung 4.16: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF09.

Tabelle 4.20: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF09. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
1995	Ap bis -30	131 ± n.b.	n.b. ± n.b.	22 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	3,9 ± n.b.	0,2 ± n.b.	20,0 ± n.b.	22,4 ± n.b.	
1998	Ap bis -30	264 ± n.b.	203 ± n.b.	30 ± n.b.	0,4 ± n.b.	3,5 ± n.b.	1,6 ± n.b.	2,0 ± n.b.	3,3 ± n.b.	0,2 ± n.b.	21,8 ± n.b.	7,8 ± n.b.
2001	Ap bis -30	168 ± 22	323 ± 46	33 ± 5	0,4 ± 0,0	2,0 ± 0,3	2,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3,5 ± 0,2	0,2 ± 0,0	17,2 ± 0,7	6,7 ± 0,7
2005	Ap bis -30	198 ± 24	222 ± 36	28 ± 2	0,5 ± 0,1	1,9 ± 0,5	2,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,5 ± 0,2	0,2 ± 0,0	17,3 ± 1,0	51,0 ± 11,1
2010	Ap bis -30	158 ± 10	347 ± 34	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,1	3,0 ± 0,2	1,4 ± 0,1	3,6 ± 0,2	0,2 ± 0,0	16,6 ± 0,5	1,4 ± 0,2
2015	Ap bis -30	495 ± 49	314 ± 21	26 ± 3	0,4 ± 0,0	1,6 ± 0,3	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,5	3,4 ± 0,1	0,2 ± 0,0	16,0 ± 0,5	3,3 ± 0,8
2018	Ap bis -30	600 ± 33	227 ± 38	27 ± 6	0,7 ± 0,1	1,8 ± 0,3	1,1 ± 0,3	3,1 ± 1,0	3,2 ± 0,2	0,2 ± 0,0	16,0 ± 0,3	6,9 ± 1,3

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,3 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,6 ± n.b.
1998	Ap bis -30	101 ± n.b.	77 ± n.b.	11 ± n.b.	156 ± n.b.	1334 ± n.b.	0,8 ± n.b.	0,6 ± n.b.	29,7 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,7 ± n.b.
2001	Ap bis -30	68 ± n.b.	130 ± n.b.	13 ± n.b.	158 ± n.b.	784 ± n.b.	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0,1	26,9 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,6 ± 0,1
2005	Ap bis -30	70 ± n.b.	78 ± n.b.	10 ± n.b.	165 ± n.b.	682 ± n.b.	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	180,5 ± n.b.	12390 ± n.b.	717 ± n.b.	5,5 ± 0,2
2010	Ap bis -30	55 ± n.b.	120 ± n.b.	n.b. ± n.b.	163 ± n.b.	391 ± n.b.	0,5 ± 0,0	1,0 ± 0,1	4,9 ± n.b.	12248 ± n.b.	741 ± n.b.	5,3 ± 0,3
2015	Ap bis -30	191 ± 19	121 ± 8	10 ± 1	137 ± 13	625 ± 94	1,4 ± 0,2	0,9 ± 0,1	12,9 ± 0,2	13121 ± 472	824 ± 43	5,1 ± 0,2
2018	Ap bis -30	242 ± 11	91 ± 14	11 ± 2	266 ± 62	722 ± 111	1,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	27,9 ± 4,8	13038 ± 859	816 ± 60	5,0 ± 0,2

4.4.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Zwischen den bodenmikrobiologischen Parametern und den abiotischen Standortfaktoren zeigt sich lediglich eine statistisch signifikante Korrelation. Diese zeigt sich bei der Argininammonifikation (ARG) und bei dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = 0,882$, $p < 0,05$, $N = 6$). Mit abnehmenden C_{org}/N_t -Verhältnissen nahmen auch die Ammonifikationsraten signifikant ab. Die abiotischen Standortfaktoren bieten durch den hohen Humusgehalt und durch die sich zunehmend verbessernde Humusqualität sowie durch die geringe Trockenrohdichte günstige Bedingungen für die Bodenmikrobiologie.

4.4.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. In ähnlicher Weise zeigt sich dies auch bei der aktuellen Untersuchung, wobei die sehr starke Zunahme der Niederschläge zum Jahr 2017 einen deutlichen Rückgang der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) zur Folge hatte.

4.4.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftungsmaßnahmen sind sehr umfangreich und beinhalten neben der mechanischen, überwiegend mitteltiefen und tiefen Bodenbearbeitung auch die Düngung mit organischen und mineralischen Düngemitteln sowie den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Durch die Überlagerung der einzelnen Effekte auf die Bodenmikrobiologie lassen sich Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht den einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen zuschreiben. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen der Bodenparameter Humusgehalt und Humusqualität sowie Trockenrohdichte sind mit den im Abschnitt 4.4.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Insgesamt ist dieser Standort im Gesamtvergleich durch eine eher unterdurchschnittlich hohe bodenmikrobiologische Aktivität gekennzeichnet, die Höhe der mittleren Maiserträge war im Gesamtvergleich unterdurchschnittlich bis 2006. Ab dem Jahr 2007 wurden die Erträge deutlich höher, was eventuell mit der Zunahme des glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse zusammenhängt. Der sehr geringe metabolische Quotient der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) weist auf lediglich geringe Stressoren und Störungen im Bodenökosystem hin. Die Nährstoffzufuhr 2017 hat gegenüber 2014 deutlich abgenommen, was möglicherweise auch zum Rückgang des $C_{mic-SIR}$ -Gehalts beitrug.

4.4.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2005 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde die Pflanzengesellschaft als *Violenea arvensis* angesprochen. Zwischen den Jahren 1994 und 1997 wurden zudem eine Abnahme der Arten- und Feuchtezahlen sowie eine Zunahme der Reaktionszahl bei weitgehend gleichbleibender Stickstoffzahl festgestellt. Im Zeitraum 1995 bis 1998 zeigte die Bodenmikrobiologie eine deutliche Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie eine Abnahme der Argininammonifikation (ARG).

4.4.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen wurde zwischen den Jahren 1996 und 2009 eine Abnahme der Regenwurm-Abundanz festgestellt sowie ein Höchstwert der Regenwurm-Biomasse im Jahr 2003. Zudem zeigte sich eine Zunahme der Artenzahl der Kleinringelwürmer und ein Anstieg der Reaktionszahl im Zeitraum 1996 bis 2003. Bei der Bodenmikrobiologie zeigte sich ebenso eine Zunahme bei dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) im Jahr 2001.

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für sandige Ackerstandorte durchschnittlich hohe Regenwurmabundanzen und leicht überdurchschnittlich hohe Regenwurmbiomassen sowie niedrige Kleinringelwurmabundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als Fridericio-Enchytraeetum im Übergang zu Fridericio-Lumbricetum eingestuft. Dabei war jedoch ein sehr geringer Anteil r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer zu verzeichnen. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) insgesamt auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin, wobei die r-strategischen Mikroorganismen anhand der sehr hohen metabolischen Quotienten deutliche Störungen anzeigen.

4.5 BDF10 Maasleben

4.5.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.21: Temperatur und Niederschlag der BDF10 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnitts-temperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts-temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,7	115	
	11	5,9	90	
	12	3,9	102	
2018	1	3,2	103	
	2	-0,2	32	
	3	1,4	66	

Grundwasserstände fehlen

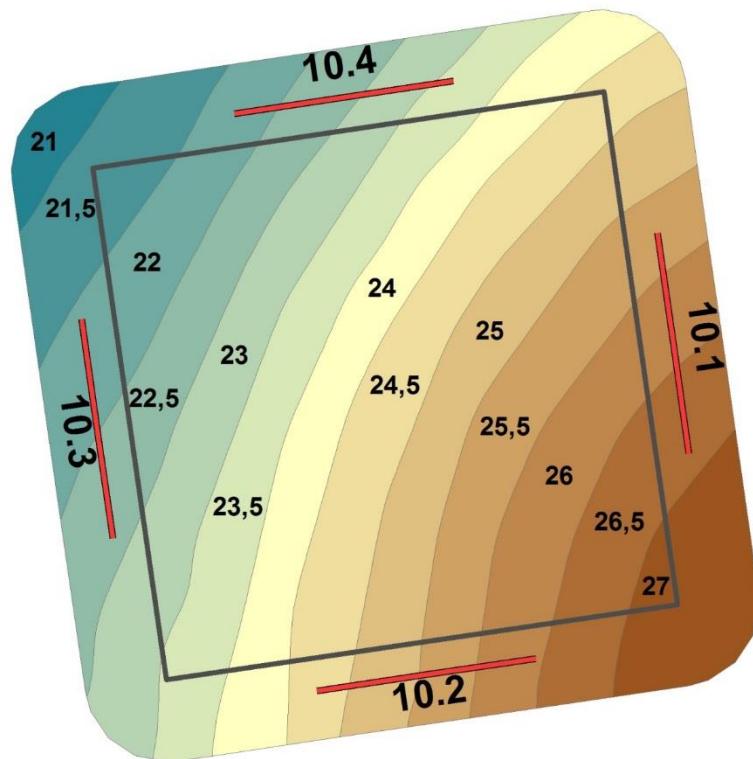


Abbildung 4.17 : Lage der Probenentnahmestellen an der BDF10 (10.1-4).

Tabelle 4.22: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF10 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	11.04.2018 Beginn 11:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	7,1 °C Bodenoberfläche 6,3 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in der letzten Woche mehrere Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	Boden schwach feucht, halbfest, Kohärentgefüge, sehr schwach verschlämmt
Kulturzustand	wahrscheinlich Wintergerste, Blattentwicklung keine Bodenbearbeitung erkennbar keine Düngergabe erkennbar
Sonstiges	

4.5.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF10 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche in einer Fruchtfolge von Winterraps-Winterweizen-Wintergerste genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.23 dargestellt. Der mineralische Oberboden der BDF10 wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) zählt damit zu den geringsten im Gesamtvergleich. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt deutlich unter dem Gesamtdurchschnitt, durch den geringen C_{org} -Gehalt ergibt sich jedoch ein enges C_{org}/N_t -Verhältnis, aus dem eine sehr hohe Humusqualität resultiert. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) bildet den Durchschnitt aller BDF ab und setzt sich nahezu vollständig aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als mittel eingestuft, und liegt leicht über dem Durchschnitt aller BDF. Der Boden-pH liegt leicht über den Durchschnitt und im sehr schwach sauren Bereich.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF10 befinden sich in der Tabelle 4.24. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft und weist einen Wert geringfügig über dem Gesamtdurchschnitt auf. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) zeigt im Gesamtvergleich einen leicht überdurchschnittlich hohen Wert. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft und liegt etwa im Durchschnitt aller BDF. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) liegt leicht unter dem Mittelwert aller BDF. Die Argininammonifikation wird als niedrig eingestuft, liegt im Gesamtvergleich jedoch über dem Durchschnitt. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) hingegen zeigt einen der Höchstwerte und entspricht der Einstufung als sehr hoch. Der Wert des metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$) ist sehr niedrig und zählt zu den insgesamt niedrigsten. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft und ist im Gesamtvergleich überdurchschnittlich. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) weist hingegen einen unterdurchschnittlichen Wert auf und wird als niedrig eingestuft.

Tabelle 4.23: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF10 (Maasleben). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	16,4 ± 1,5	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	16,2 ± 1,6

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wassergehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	4299 ± 462	546 ± 50	7,3 ± 0,7	73,4 ± 7,1	1,5 ± 0,0	162 ± 11	6,3 ± 0,2

Tabelle 4.24: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF10 (Maasleben). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des Weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	504 ± 42	258 ± 23	38 ± 7	0,3 ± 0,0	2,5 ± 0,2	5,2 ± 0,3	2,7 ± 0,1

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} \text{C}_{mic-CFE}$ h^{-1}	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} \text{C}_{mic-SIR}$ h^{-1}
Ap bis -30	224 ± 17	115 ± 10	17 ± 3	121 ± 19	1111 ± 73	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,2

4. Ergebnisse und Diskussion

4.5.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.18. Der Boden-pH zeigte Änderungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Im Jahr 1995 befand sich dieser im sehr schwach sauren Bereich und stieg zum Jahr 1998 in den neutralen pH-Bereich an. In den folgenden zwei Untersuchungsjahren 2001 und 2005 sank der pH zurück in den sehr schwach sauren Bereich und sank in den Jahren 2010 und 2015 weiter bis an die Grenze zum schwach sauren Bereich. Zum Jahr 2018 nahm der pH geringfügig zu. Insgesamt zeigte der pH ein Spektrum der Schwankungen von 0,9 Einheiten. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) variierte ebenfalls. In den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 befand sich der C_{org} -Gehalt auf dem bisher höchsten Niveau und sank zum Jahr 2001 um ein Drittel. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2005 sank der C_{org} -Gehalt weiterhin geringfügig ab und verblieb auf diesem Niveau bis zum Untersuchungsjahr 2015 im Grenzbereich zwischen den Einstufungen des Bodens als mittel humos und schwach humos. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 nahm der C_{org} -Gehalt weiterhin geringfügig ab.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) erfuhr deutliche Veränderungen im gesamten Untersuchungszeitraum. Ausgehend von einem der niedrigsten $C_{mic-CFE}$ -Gehalte verdoppelte sich die mikrobielle Biomasse zwischen den Jahren 1995 und 1998. Bis zum Untersuchungsjahr 2005 sank die mikrobielle Biomasse auf das Niveau des Jahres 1995, welches auch im Jahr 2010 beibehalten wurde. Zum Untersuchungsjahr 2015 vervierfachte sich die mikrobielle Biomasse auf den bisher gemessenen Höchststand. Es folgte eine leichte Abnahme der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2018. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) entwickelte sich in ähnlicher Weise, die Unterschiede zwischen den Jahren 1998 und 2010 waren jedoch weniger stark ausgeprägt. Zudem erfuhr der $Q_{mic-CFE}$ einen leichten Anstieg zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) veränderte sich ebenfalls recht deutlich im gesamten Untersuchungszeitraum. Zum Jahr 2001 stieg dieser zunächst um etwa ein Viertel auf den bisherigen Höchststand. Zum Untersuchungsjahr 2005 halbierte sich der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt in etwa und stieg ab diesem Zeitpunkt kontinuierlich auf den zweithöchsten Wert zum Untersuchungsjahr 2015 an. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 folgte eine erneute Abnahme des $C_{mic-SIR}$ -Gehalts. Die Entwicklung des mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) verlief parallel zur $C_{mic-SIR}$. Allerdings waren die $Q_{mic-SIR}$ -Quotienten in den Jahren 2001 und 2015 in etwa gleich hoch. Zwischen den Jahren 1998 und 2010 zeigte die $C_{mic-SIR}$ deutlich höhere Gehalte als die $C_{mic-CFE}$.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) war nahezu über den gesamten Untersuchungszeitraum abnehmend (Abbildung 4.19). Zwischen den Jahren 1998 und 2010 reduzierte sich die Basalatmung kontinuierlich um insgesamt 40 % und verblieb in etwa auf diesem Niveau in den Untersuchungsjahren 2015 und 2018. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) nahm zunächst zum Jahr 2005 auf den bisherigen Höchstwert zu. Anschließend zeigte sich eine kontinuierlich starke Abnahme bis zum niedrigsten Wert im Jahr 2018.

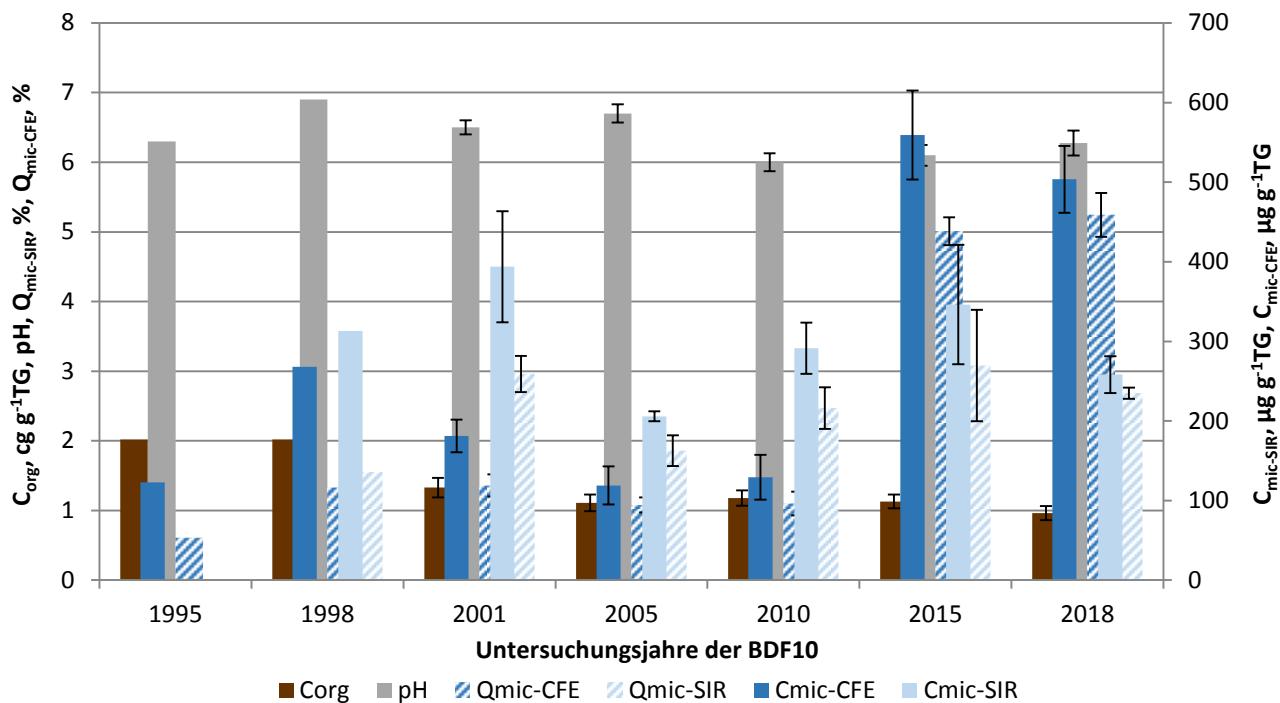


Abbildung 4.18: Ergebnisse der BDF10 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

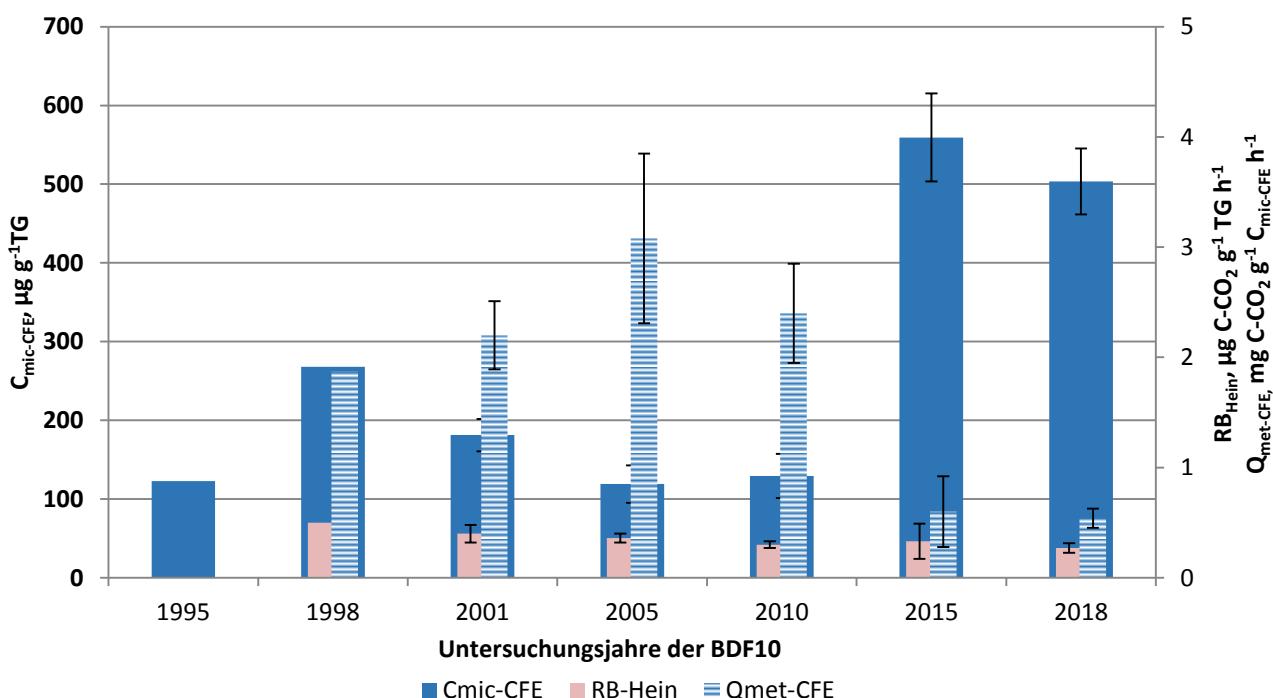


Abbildung 4.19: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF10 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$), ihrer Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{\text{met-SIR}}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen ist in der Abbildung 4.20 dargestellt. Bei dem Gehalt des löslichen Stickstoff zeigte sich zunächst eine deutliche Abnahme zwischen den Jahren 1995 und 1998 um mehr als die Hälfte. Es folgte zum Untersuchungsjahr 2001 ein starker Anstieg um mehr als das Dreifache auf den bisherigen Höchststand. Zum Jahr 2005 reduzierte sich der N_{min}-Gehalt um mehr als 80 % und erfuhr anschließend eine kontinuierliche Zunahme zum Untersuchungsjahr 2018. Die Argininammonifikation stieg zwischen den Jahren 1995 und 1998 auf den bisherigen Höchststand an und zeigte anschließend eine nahezu kontinuierliche Abnahme zum Jahr 2010 um insgesamt etwa 80 %. Mit den Untersuchungsjahren 2015 und 2018 zeigte sich eine zunehmende Tendenz der Argininammonifikation.

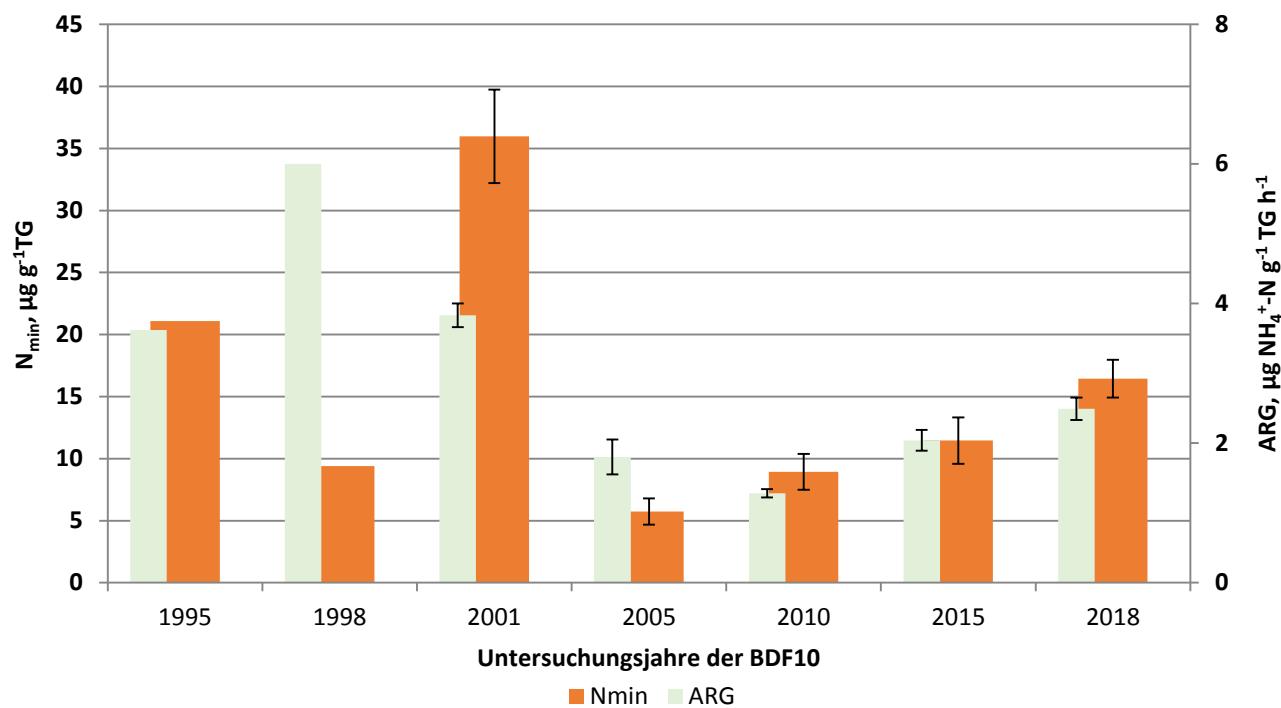


Abbildung 4.20: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF10.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.25: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF10. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu g \text{ g}^{-1}$	$\mu g \text{ g}^{-1}$	$\mu g \text{ g}^{-1}$	$\mu g \text{ CO}_2 \cdot \text{C g}^{-1}$	$\mu g \text{ NH}_4^+ \cdot \text{N TG h}^{-1}$	$\mu g \text{ CO}_2 \cdot \text{C mg}^{-1}$	$\mu g \text{ CO}_2 \cdot \text{C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu g \text{ g}^{-1}$
			TG	TG	TG	TG	$C_{mic-CFE} \text{ h}^{-1}$	$C_{mic-SIR} \text{ h}^{-1}$	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	123 ± n.b.	n.b. ± n.b.	30 ± n.b.	n.b. ± n.b.	3,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	2,0 ± n.b.	0,1 ± n.b.	19,6 ± n.b.	21,1 ± n.b.
1998	Ap bis -30	268 ± n.b.	313 ± n.b.	50 ± n.b.	0,5 ± n.b.	6,0 ± n.b.	1,9 ± n.b.	1,6 ± n.b.	2,0 ± n.b.	0,1 ± n.b.	20,2 ± n.b.	9,4 ± n.b.
2001	Ap bis -30	181 ± 21	394 ± 70	20 ± 3	0,4 ± 0,1	3,8 ± 0,2	2,2 ± 0,3	1,0 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,2 ± 0,0	9,0 ± 0,7	36,0 ± 3,8
2005	Ap bis -30	119 ± 24	206 ± 6	18 ± 3	0,4 ± 0,0	1,8 ± 0,3	3,1 ± 0,8	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0	10,3 ± 0,2	5,7 ± 1,1
2010	Ap bis -30	129 ± 28	292 ± 32	n.b. ± n.b.	0,3 ± 0,0	1,3 ± 0,1	2,4 ± 0,5	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	8,7 ± 0,2	8,9 ± 1,4
2015	Ap bis -30	559 ± 56	346 ± 75	27 ± 6	0,3 ± 0,2	2,0 ± 0,2	0,6 ± 0,3	1,1 ± 0,6	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0	8,5 ± 0,2	11,5 ± 1,9
2018	Ap bis -30	504 ± 42	258 ± 23	38 ± 7	0,3 ± 0,0	2,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	16,4 ± 1,5

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2 \cdot \text{C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$\text{mg NH}_4^+ \cdot \text{N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,3 ± n.b.
1998	Ap bis -30	119 ± n.b.	139 ± n.b.	22 ± n.b.	222 ± n.b.	2664 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,6 ± n.b.	41,7 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,9 ± n.b.
2001	Ap bis -30	85 ± n.b.	185 ± n.b.	9 ± n.b.	188 ± n.b.	1802 ± n.b.	1,4 ± n.b.	3,0 ± 0,3	169,5 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,5 ± 0,1
2005	Ap bis -30	52 ± n.b.	90 ± n.b.	8 ± n.b.	156 ± n.b.	788 ± n.b.	1,1 ± n.b.	1,9 ± 0,2	25,1 ± n.b.	4840 ± n.b.	471 ± n.b.	6,7 ± 0,1
2010	Ap bis -30	57 ± n.b.	128 ± n.b.	n.b. ± n.b.	133 ± n.b.	559 ± n.b.	1,1 ± 0,2	2,5 ± 0,3	39,1 ± n.b.	5168 ± n.b.	595 ± n.b.	6,0 ± 0,1
2015	Ap bis -30	265 ± 26	164 ± 36	13 ± 3	158 ± 78	965 ± 58	5,0 ± 0,2	3,1 ± 0,8	54,3 ± 0,2	5344 ± 476	625 ± 47	6,1 ± 0,2
2018	Ap bis -30	224 ± 17	115 ± 10	17 ± 3	121 ± 19	1111 ± 73	5,2 ± 0,3	2,7 ± 0,1	73,4 ± 7,1	4299 ± 462	546 ± 50	6,3 ± 0,2

4.5.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es zeigten sich in vier Fällen statistisch signifikante Korrelationen zwischen den abiotischen Standortfaktoren und den bodenmikrobiologischen Parametern. Die Basalatmung ($R_{B\text{-Hein}}$) korreliert sowohl mit dem Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org} , $r = 0,923$, $p < 0,05$, $N = 5$) als auch mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = 0,895$, $p < 0,05$, $N = 5$). Die Basalatmung stieg somit mit zunehmendem Humusgehalt und mit abnehmender Humusqualität. Die weiteren Korrelationen bestehen zwischen dem C_{org} -Gehalt und der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,820$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie zwischen dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t) und dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met\text{-SIR}}$, $r = -0,926$, $p < 0,05$, $N = 5$). Somit war die Abnahme des Humusgehaltes mit abnehmenden Ammonifikationsraten verbunden, während ein zunehmender Gesamtstickstoffgehalt die Effizienz der Substratverwertung durch die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse erhöhte.

4.5.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es besteht eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic\text{-SIR}}$) und den Niederschlagsmengen der jeweils vorangegangenen Hauptvegetationsperioden ($r = -0,918$, $p < 0,05$, $N = 5$). Steigende Niederschlagsmengen führen zu abnehmenden $C_{mic\text{-SIR}}$ -Gehalten. Bei den $C_{mic\text{-SIR}}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic\text{-SIR}}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic\text{-SIR}}$ -Spitze (2001) verbunden war. Zudem scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic\text{-CFE}}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic\text{-CFE}}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic\text{-CFE}}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Auch das Jahr 2017 zeigte eine starke Zunahme der Niederschlagsmengen und eine damit einhergehende Abnahme bei den Gehalten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic\text{-SIR}}$) zum Jahr 2018.

4.5.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Insgesamt zeigt dieser Standort im Gesamtvergleich eine der überdurchschnittlich hohen bodenmikrobiologischen Aktivitäten, was eventuell mit der Fruchtfolge (Winterraps-Winterweizen-Wintergerste) und mit dem Einsatz von organischen und mineralischen Düngern zusammenhängt. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen des Humusgehalts und der Humusqualität sowie des Gesamtstickstoffgehalts sind mit den im Abschnitt 4.5.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Der niedrige metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met\text{-SIR}}$) weist auf lediglich geringe Stressoren und Störungen im Bodenökosystem hin. Die Winterweizerträge lagen im Durchschnitt aller BDF, und wiesen höhere Werte zwischen den Jahren 1998 und 2004 auf, in einem Zeitraum, in dem auch höhere $C_{mic\text{-SIR}}$ -Gehalte gemessen wurden. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Möglicherweise trug die Reduktion der Stickstoff- und Phosphorzufuhr gegenüber 2014 zu dem Rückgang der Mikrobiellen Biomassegehalte im aktuellen Untersuchungsjahr 2018 bei.

4.5.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2006 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Die Pflanzengesellschaft war nicht eindeutig zuzuordnen. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 wurden jedoch eine Abnahme der Arten- und Reaktionszahlen sowie ein Anstieg der Feuchte- und Stickstoffzahlen festgestellt. Bodenmikrobiologisch zeigten sich im gleichen Zeitraum eine deutliche Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) sowie ein ebenso deutlicher Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.5.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen wurde eine deutliche Zunahme der Regenwurm-Abundanz und -biomasse zwischen den Jahren 1999 und 2006 sowie eine Verschiebung in der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer von überwiegend r- zu überwiegend K-Strategen festgestellt. Zwischen den Jahren 1998 und 2005 ereignete bei der Bodenmikrobiologie eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$). Ebenso nahmen die Basalatmung (R_{B-Hein}) und die Argininammonifikation (ARG) ab.

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für lehmige Ackerstandorte durchschnittlich bis leicht überdurchschnittlich hohe Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie niedrige Kleinringelwurmabundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als Fridericio-Lumbricetum eingestuft. Dabei war jedoch ein sehr geringer Anteil r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer zu verzeichnen. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der relativen Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) insgesamt auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin. Dabei zeigten die r-strategischen Mikroorganismen anhand der niedrigen metabolischen Quotienten lediglich geringe Störungen an.

4.6 BDF12 Vadersdorf

4.6.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.26: Temperatur und Niederschlag der BDF12 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	12,4	88	
	11	7,1	43	
	12	4,4	44	
2018	1	3,5	60	
	2	0,1	12	
	3	1,2	78	

Grundwasserstände fehlen

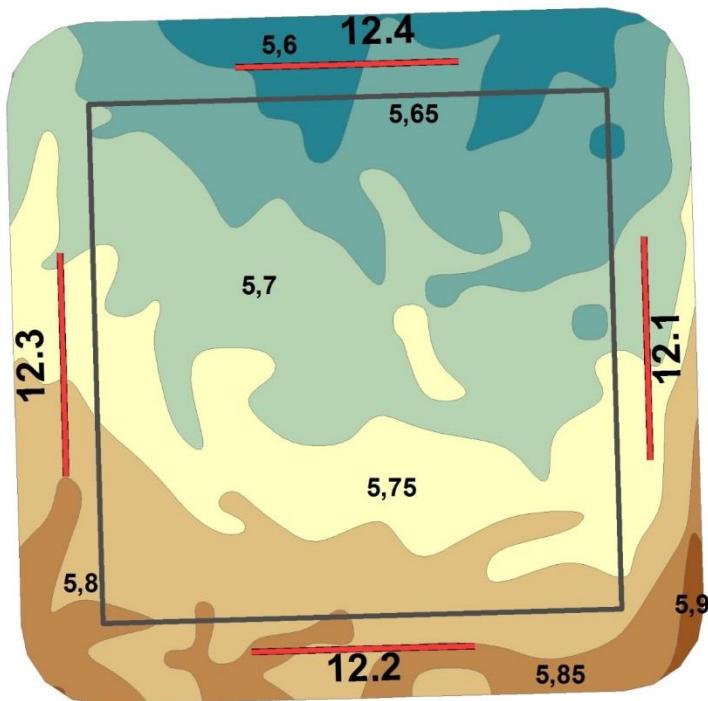


Abbildung 4.21: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF12 (12.1-4).

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.27: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF12 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	09.04.2018 Beginn 09:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	14,2 °C Bodenoberfläche 8,4 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in der letzten Woche
Bodenbeschaffenheit	Boden schwach feucht, halbfest, Rissgefüge, schwach verschlämmt
Kulturzustand	Winterraps, Rosettenausbildung keine Bodenbearbeitung erkennbar Düngung nicht erkennbar
Sonstiges	

4.6.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF12 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche zum Anbau einer weizenbetonten Winterweizen-Winterraps Fruchtfolge mit vereinzeltem Anbau von Zuckerrüben genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.28 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als mittel humos eingestuft und weist einen leicht überdurchschnittlichen Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}) auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist leicht überdurchschnittlich und sorgt für ein enges C_{org}/N_t -Verhältnis, aus dem eine sehr hohe Humusqualität resultiert. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist im Gesamtvergleich der zweithöchste. Dieser setzt sich zum Großteil (75 %) aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens ist leicht unterdurchschnittlich hoch und wird als gering eingestuft. Der Boden-pH liegt über dem Durchschnitt und stuft den Boden als sehr schwach sauer ein.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF12 befinden sich in der Tabelle 4.29. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft und weist den zweithöchsten Wert aller im Jahr 2018 untersuchten BDF auf. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) liegt jedoch unter dem Durchschnitt. Bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) weist diese BDF den höchsten Gehalt auf, welcher der Einstufung als hoch entspricht. Die BDF12 weist eine durchschnittlich hohe Basalatmung (R_{B-Hein}) auf. Anders verhält es sich bei der Argininammonifikation (ARG). Hier weist die BDF12 den Höchstwert auf, und den einzigen ARG-Wert aller BDF, welcher als mittel hoch einzustufen ist. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als sehr hoch eingestuft und liegt leicht über dem Gesamtdurchschnitt. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist hingegen leicht unterdurchschnittlich und sehr gering. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft und liegt über dem Mittel aller BDF. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) ist niedrig und unterdurchschnittlich.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.28: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF12 (Vadersdorf). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,6 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,6 ± 0,2	28,1 ± 4,3	7,2 ± 2,5	0,0 ± 0,0	21,0 ± 2,1

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	6263 ± 212	728 ± 20	11,3 ± 1,9	113,3 ± 18,5	1,3 ± 0,0	206 ± 6	6,3 ± 0,1

Tabelle 4.29: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF12 (Vadersdorf). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des Weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	681 ± 21	380 ± 23	46 ± 5	0,4 ± 0,1	3,9 ± 0,4	4,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	274 ± 12	153 ± 11	19 ± 2	180 ± 39	1554 ± 183	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,2

4.6.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.22. Der Boden-pH stieg zum Jahr 1998 auf den bisherigen Höchstwert vom sehr schwach sauren in den neutralen Bereich. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2001 sank der pH deutlich ab und unterschritt die Grenze zum schwach sauren Bereich. Der pH stieg erneut zum Jahr 2005 und verblieb im sehr schwach sauren Bereich bis zum Jahr 2010. Zum Jahr 2015 erfolgte ein Anstieg des pH erneut in den neutralen Bereich. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 nahm der pH deutlich ab. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) verblieb über den gesamten Untersuchungszeitraum im Bereich des mittel humosen Humusgehaltes und zeigte lediglich geringfügige Änderungen. Seit dem Jahr 2010 zeigt sich jedoch eine leicht abnehmende Tendenz des C_{org} -Gehalts.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte einen deutlichen Anstieg zwischen den Jahren 1995 und 1998 und sank zum Jahr 2001 um etwa die Hälfte auf das Niveau des Jahres 1995. Dieses blieb bis zum Jahr 2005 bestehen. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2010 stieg die mikrobielle Biomasse leicht an und erfuhr zum Jahr 2015 einen starken Anstieg auf einen deutlichen Höchstwert. Im Jahr 2018 blieb der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt auf nahezu gleichem Niveau. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) entwickelte sich analog zur mikrobiellen Biomasse.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) blieb zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 unverändert, zeigte danach jedoch eine schwankende Entwicklung mit sich abwechselnden Ab- und Zunahmen. Der Höchstwert wurde dabei im Jahr 2010 gemessen, während die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte der Jahre 2005 und 2015 etwa ein Drittel bis ein Viertel geringer waren. Zwischen den Jahren 2001 und 2010 wies die $C_{mic-SIR}$ deutlich höhere Gehalte auf als die $C_{mic-CFE}$. Zur aktuellen Untersuchung 2018 zeigte sich keine Veränderung im $C_{mic-SIR}$ -Gehalt. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entwickelte sich parallel zur $C_{mic-SIR}$, allerdings war der $Q_{mic-SIR}$ im Jahr 2001 niedriger als 1998.

Bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte sich zunächst eine Abnahme zwischen den Jahren 1998 und 2001 vom anfänglichen Höchstwert auf ein sehr niedriges Niveau (Abbildung 4.23). Die Basalatmung stieg bis zum Untersuchungsjahr 2010 erneut an und zeigte im Jahr 2015 einen starken Rückgang auf den bisher niedrigsten Wert. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 erfolgte ein deutlicher Anstieg der Basalatmung. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) entwickelte sich in etwa parallel zur Basalatmung. Allerdings zeigten sich zwischen den Jahren 2005 und 2010 leicht gegenläufige Änderungen beim $Q_{met-CFE}$ und der R_{B-Hein} .

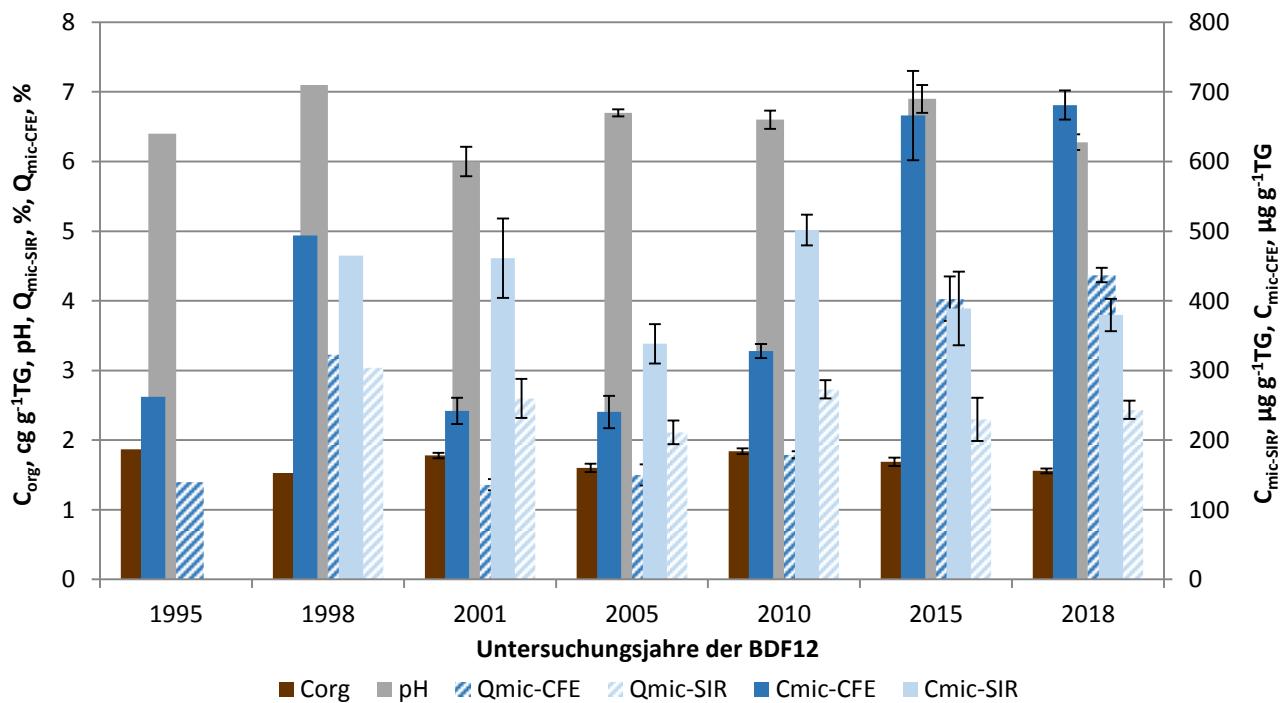


Abbildung 4.22: Ergebnisse der BDF12 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

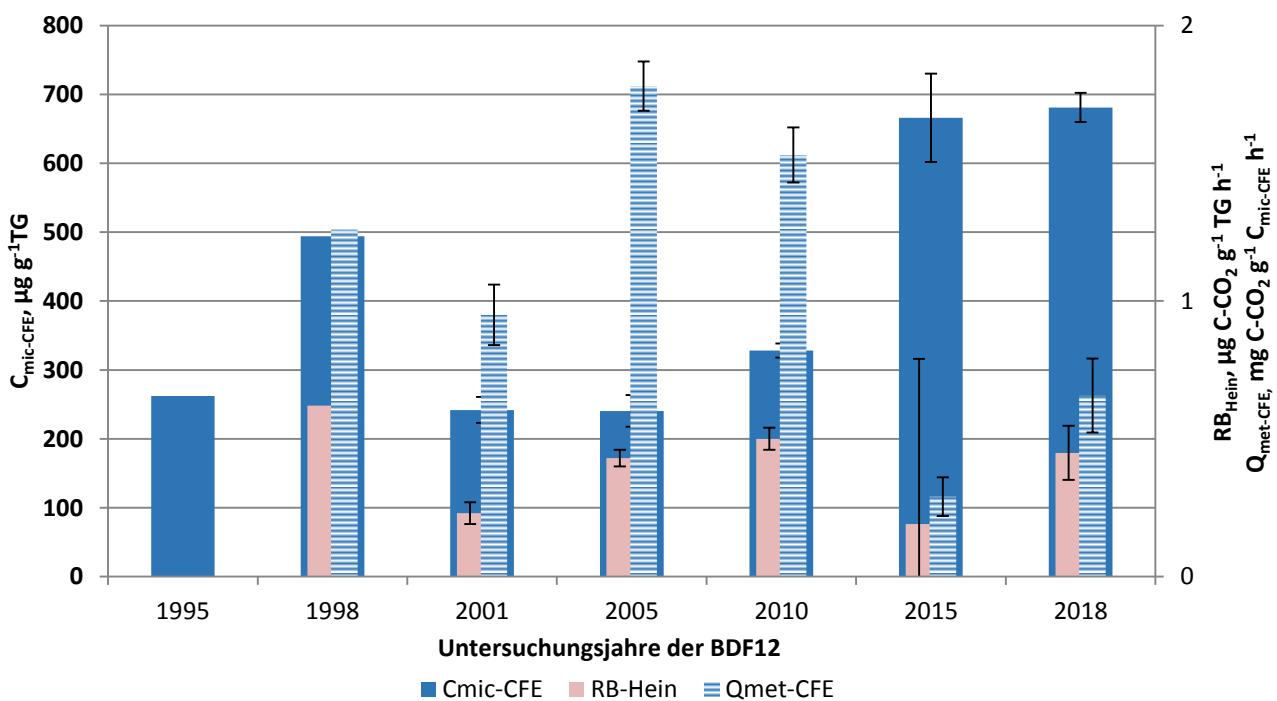


Abbildung 4.23: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF12 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.24 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der N_{min} -Gehalt zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 deutlich auf den bisher niedrigsten Stand zurückgegangen ist. Zum Jahr 2001 verachtachte sich der N_{min} -Gehalt auf den bisherigen Höchststand. Es folgte eine kontinuierliche Abnahme zum Jahr 2010 um insgesamt etwa 70 %. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der N_{min} -Gehalt auf etwa das Zweifache an. Zur aktuellen Untersuchung 2018 halbierte sich der N_{min} -Gehalt nahezu. Bei der Argininammonifikation zeigte sich zunächst ein Anstieg zum Jahr 1998 auf den bisherigen Höchstwert. Seit dem Jahr 2001 verlief die ARG etwa parallel zum N_{min} -Gehalt, indem diese zum Untersuchungsjahr 2010 auf etwa 10 % sehr stark abnahm und anschließend eine deutliche Zunahme (> 600 %) zum Jahr 2015 erfuhr. Die ARG nahm anschließend zum Jahr 2018 lediglich leicht ab.

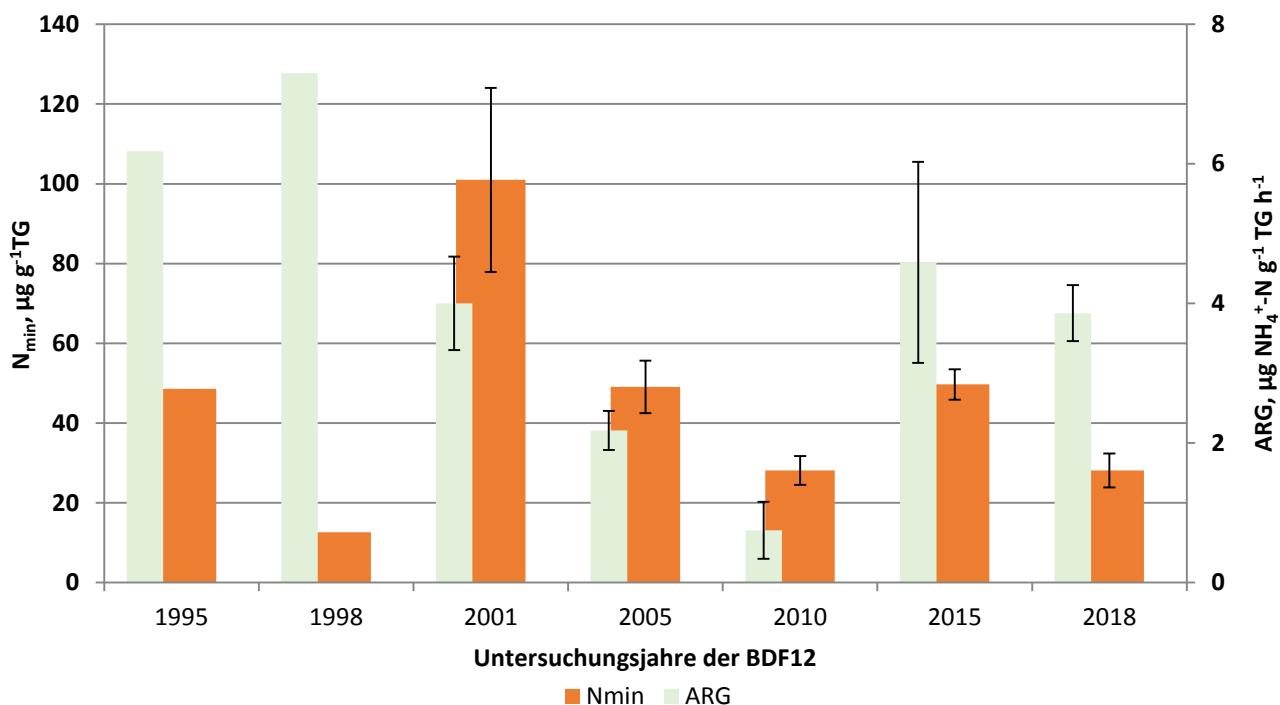


Abbildung 4.24: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF12.

Tabelle 4.30: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF12. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
			TG	TG	TG	TG	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	262 ± n.b.	n.b. ± n.b.	32 ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,9 ± n.b.	0,2 ± n.b.	11,1 ± n.b.	48,6 ± n.b.	
1998	Ap bis -30	494 ± n.b.	465 ± n.b.	73 ± n.b.	0,6 ± n.b.	7,3 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,5 ± n.b.	0,1 ± n.b.	13,9 ± n.b.	12,6 ± n.b.
2001	Ap bis -30	242 ± 19	461 ± 57	26 ± 4	0,2 ± 0,0	4,0 ± 0,7	1,0 ± 0,1	0,5 ± 0,0	1,8 ± 0,0	0,2 ± 0,0	9,5 ± 0,5	101,0 ± 23,1
2005	Ap bis -30	241 ± 23	338 ± 28	27 ± 3	0,4 ± 0,0	2,2 ± 0,3	1,8 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,2 ± 0,0	10,2 ± 0,1	49,1 ± 6,6
2010	Ap bis -30	328 ± 10	502 ± 22	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,0	0,8 ± 0,4	1,5 ± 0,1	1,0 ± 0,0	1,8 ± 0,0	0,2 ± 0,0	9,6 ± 0,1	28,1 ± 3,6
2015	Ap bis -30	666 ± 64	389 ± 53	69 ± 9	0,2 ± 0,6	4,6 ± 1,4	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,2 ± 0,0	8,9 ± 0,1	49,7 ± 3,8
2018	Ap bis -30	681 ± 21	380 ± 23	46 ± 5	0,4 ± 0,1	3,9 ± 0,4	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,2	1,6 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,6 ± 0,2	28,1 ± 4,3

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,4 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,4 ± n.b.
1998	Ap bis -30	170 ± n.b.	160 ± n.b.	25 ± n.b.	214 ± n.b.	2519 ± n.b.	3,2 ± n.b.	3,0 ± n.b.	43,5 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,1 ± n.b.
2001	Ap bis -30	97 ± n.b.	185 ± n.b.	10 ± n.b.	93 ± n.b.	1608 ± n.b.	1,4 ± 0,1	2,6 ± 0,3	406,0 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,0 ± 0,2
2005	Ap bis -30	106 ± n.b.	149 ± n.b.	12 ± n.b.	189 ± n.b.	959 ± n.b.	1,5 ± 0,2	2,1 ± 0,2	216,4 ± n.b.	7056 ± n.b.	695 ± n.b.	6,7 ± 0,1
2010	Ap bis -30	127 ± n.b.	194 ± n.b.	n.b. ± n.b.	195 ± n.b.	290 ± n.b.	1,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	108,9 ± n.b.	7113 ± n.b.	740 ± n.b.	6,6 ± 0,1
2015	Ap bis -30	288 ± 28	168 ± 23	30 ± 4	84 ± 26	2080 ± 596	4,0 ± 0,3	2,3 ± 0,3	215,0 ± 0,2	7289 ± 242	821 ± 19	6,9 ± 0,2
2018	Ap bis -30	274 ± 12	153 ± 11	19 ± 2	180 ± 39	1554 ± 183	4,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	113,3 ± 18,5	6263 ± 212	728 ± 20	6,3 ± 0,1

4.6.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen abiotischen Standortfaktoren und der Bodenmikrobiologie zeigen sich in drei Fällen. Dabei korreliert der mikrobielle Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$) mit den abiotischen Parametern Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = -0,950$, $p < 0,05$, $N = 5$) und C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = 0,978$, $p < 0,01$, $N = 5$). Eine höhere Stickstoffassimilation durch die Bodenorganismen stand offensichtlich mit einer merklichen Abreicherung des Gesamtstickstoffgehaltes im Zusammenhang. Zudem zeigt sich, dass ein höherer $N_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt mit einem erhöhten C_{org}/N_t -Verhältnis einherging. Es ist möglich, dass die Aufnahme des Stickstoffs zu einer Abreicherung von stickstoffreichen Humusverbindungen und somit insgesamt zu einer Verschlechterung der Humusqualität führte. Ebenso besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) und der Trockenrohdichte des Bodens ($r = -0,988$, $p < 0,01$, $N = 5$). Mit zunehmender Bodenverdichtung nahm der Anteil der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) am organischen Kohlenstoff (C_{org}) ab.

Der vergleichsweise hohe Gehalt der mikrobiellen Biomasse steht vermutlich im Zusammenhang mit dem relativ hohen pH (wie bei BDF05, 06 und 18), wobei anzumerken ist, dass der pH auch in den vergangenen Untersuchungsjahren vergleichbar hoch war bei deutlich geringeren C_{mic} -Gehalten.

4.6.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es zeigen sich keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) auf der Basis der vorhandenen Klimadaten. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zum Untersuchungsjahr 2015 zu haben, da alle BDF dieses $C_{\text{mic-CFE}}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{\text{mic-CFE}}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 2001 und 2005 zeigt sich, dass die vorangegangene Zunahme der Niederschlagsmengen (2003 zu 2004) eher einen geringen Gehalt der $C_{\text{mic-SIR}}$ nach sich zog (2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einem höheren $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehalt (2001) verbunden war. Für das Untersuchungsjahr 1998 zeigte sich ein solcher Zusammenhang jedoch nicht. Trotz veränderter Klimabedingungen im Jahr 2017 gegenüber 2014 (deutlicher Anstieg der Jahresniederschlagssummen) zeigten sowohl die glucoseaktivierte als auch die gesamte mikrobielle Biomasse hinsichtlich der C_{mic} -Gehalte und der mikrobiellen Quotienten keine Veränderung im Vergleich zur Voruntersuchung.

4.6.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort ist im Gesamtvergleich durch eine überdurchschnittlich hohe mikrobielle Aktivität gekennzeichnet, was ein Anzeichen für eine gute Versorgung mit Nährstoffen durch eine bedarfsgerechte Düngung mit organischen und mineralischen Düngemitteln ist. Die sehr niedrigen metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$ und $Q_{\text{met-SIR}}$) deuten darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden von dem Bodenökosystem nicht als wesentliche Stressoren und Störungen wahrgenommen wurden. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen im Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt sowie Veränderungen in der Trockenrohdichte des Bodens durch überwiegend mitteltiefe und Tiefe Bodenbearbeitung sind mit den im Abschnitt 4.6.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Die Ernteerträge des Winterweizens waren überdurchschnittlich hoch und zeigten den höchsten

Wert im Jahr 1999, als auch die mikrobielle Aktivität (Untersuchungsjahr 1998) auf einem hohen Niveau war. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen waren in den Jahren 2014 und 2017, abgesehen von erhöhter Phosphorzufuhr, nicht wesentlich unterschiedlich, so dass das Niveau der mikrobiellen Abundanz und Aktivität weitgehend konstatnt blieb.

4.6.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2006 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde die Pflanzengesellschaft als *Stellarietea mediae* angesprochen. Zwischen den Jahren 1994 und 1997 wurde ein Rückgang der Artenzahlen sowie ein Anstieg der Feuchtezahl bei gleichbleibenden Reaktions- und Stickstoffzahlen verzeichnet. Bodenmikrobiologisch zeigte sich im Zeitraum der Jahre 1995 bis 1998 ein deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie ein Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.6.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Vorjahr 2014. Deren Ergebnisse zeigen, dass zwischen den Jahren 2011 und 2014 die Abundanz der Regenwürmer leicht zugenommen hat, während die Abundanz der Kleinringelwürmer einen starken Anstieg aufwies. Die bodenmikrobiologischen Untersuchungen zeigten im Zeitraum der Jahre 2010 bis 2015 ebenfalls einen starken Anstieg der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) sowie einen leichten Rückgang der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$). Auch der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) reduzierte sich, während die Ammonifikationsaktivitäten (ARG) zugenommen haben. Dies deutet auf eine Zunahme der Effizienz der Mikroorganismen hin.

4.7 BDF15 Achterwehr

4.7.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.31: Temperatur und Niederschlag der BDF15 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,9	141	
	11	6,1	94	
	12	4,1	92	
2018	1	3,3	113	
	2	-0,5	24	
	3	1,7	58	

Grundwasserstände fehlen

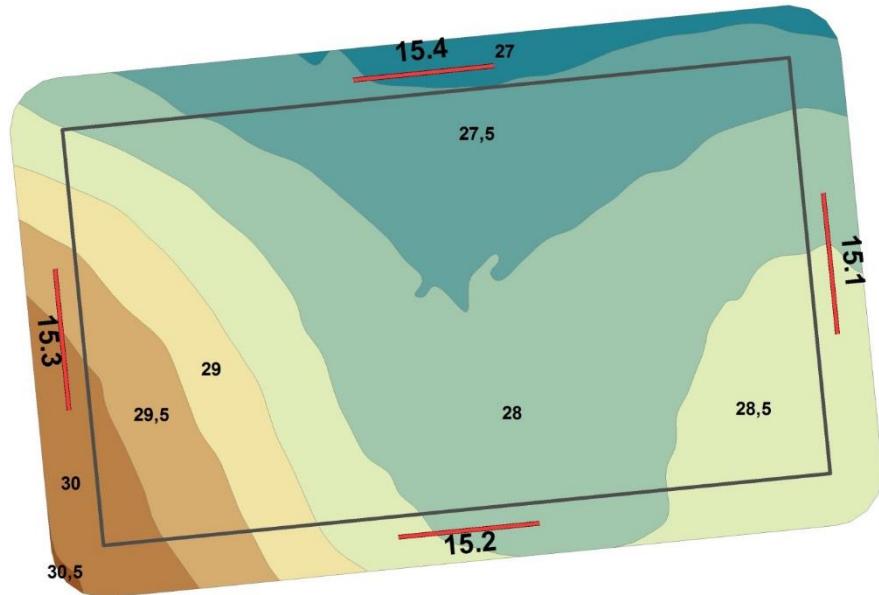


Abbildung 4.25: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF15 (15.1-4).

Tabelle 4.32: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF15 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	11.04.2018 Beginn 07:45 Uhr
Witterungsverhältnisse	4,4 °C Bodenoberfläche 6,3 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in den letzten 24 h mehrere Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	schwach feucht, halbfest, Rissgefüge, sehr schwach verschlämmt
Kulturzustand	Winterweizen, Blattentwicklung keine Bodenbearbeitung erkennbar Güllegabe im Februar
Sonstiges	

4.7.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF15 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche zum Anbau einer weizenbetonten Fruchtfolge aus Winterweizen und Winterraps genutzt wird, mit mehrfach eingeschalteter Zuckerrübe. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.33 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft und weist im Gesamtvergleich einen der geringsten Gehalte organischen Kohlenstoffs (C_{org}) auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt geringfügig unter dem Gesamtdurchschnitt, ist jedoch ausreichend hoch um durch das enge C_{org}/N_t -Verhältniss eine sehr hohe Humusqualität zu liefern. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) liegt deutlich über dem Gesamtdurchschnitt und setzt sich nahezu vollständig aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens ist im Gesamtvergleich leicht überdurchschnittlich hoch und wird als mittel hoch eingestuft. Der Boden-pH liegt im sehr schwach sauren Bereich und ist damit im Vergleich aller BDF überdurchschnittlich hoch.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF15 befinden sich in der Tabelle 4.34. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, im Gesamtvergleich liegt diese jedoch leicht unter dem Durchschnitt. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) weist jedoch einen überdurchschnittlich hohen Wert auf. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft und liegt im Gesamtvergleich über dem Mittelwert. Der Wert der Basalatmung (R_{B-Hein}) befindet sich geringfügig über dem Mittelwert aller BDF. Die Argininammonifikation (ARG) besitzt im Gesamtvergleich den zweithöchsten Wert, wird jedoch absolut als niedrig eingestuft. Auch der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) liegt über dem Durchschnitt und wird als sehr hoch eingestuft. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist im Gesamtvergleich leicht überdurchschnittlich hoch, entspricht jedoch der Einstufung als sehr niedrig. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als sehr hoch eingestuft und ist der höchste im Gesamtvergleich. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) ist unterdurchschnittlich hoch, wird jedoch als mittel hoch eingestuft.

Tabelle 4.33: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF15 (Achterwehr). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	1,0 ± 0,2	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	25,6 ± 1,2	0,5 ± 0,2	0,0 ± 0,0	25,1 ± 1,2

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wassergehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	4298 ± 568	541 ± 58	11,2 ± 0,8	112,3 ± 8,1	1,5 ± 0,0	162 ± 12	6,5 ± 0,0

Tabelle 4.34: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF15 (Achterwehr). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	459 ± 39	317 ± 18	44 ± 2	0,5 ± 0,1	3,1 ± 0,1	4,7 ± 0,4	3,3 ± 0,4

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	201 ± 14	139 ± 10	19 ± 1	199 ± 50	1382 ± 78	1,0 ± 0,2	1,4 ± 0,3

4.7.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.26. Der Boden-pH stieg zunächst aus dem neutralen Bereich in den sehr schwach alkalischen Bereich zwischen den Jahren 1995 und 1998. Zum Untersuchungsjahr 2001 zeigte sich ein Rückgang des Boden-pH erneut in den neutralen Bereich. Zum Jahr 2005 unterschritt der pH-Wert die Grenze zum sehr schwach sauren Bereich und verblieb dort bis zum Jahr 2010. Zum Untersuchungsjahr 2015 kehrte der pH in den neutralen Bereich zurück, zeigte jedoch ein erneutes Absinken zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 auf den bislang niedrigsten Wert. Insgesamt betrug der Schwankungsbereich 0,7 Einheiten. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) schwankte nur sehr geringfügig im gesamten Untersuchungszeitraum und verblieb stets im oberen Bereich der Humusklasse schwach humos.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte eine insgesamt zunehmende Entwicklung. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 erfolgte zunächst ein deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse auf mehr als das Doppelte. Zum Jahr 2001 ging die $C_{mic-CFE}$ um etwa 40 % zurück, stieg dann jedoch bis zum Jahr 2010 leicht an. Zum Untersuchungsjahr 2015 erfolgte ein weiterer, starker Anstieg auf den bisherigen Höchstwert der mikrobiellen Biomasse, welcher auch im Jahr 2018 nahezu unverändert blieb. In gleicher Weise verlief die Entwicklung des mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$), wobei zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 noch ein leichter Anstieg erfolgte.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) entwickelte sich nahezu kontinuierlich steigend. Lediglich im Untersuchungsjahr 2001 zeigte sich ein leicht ausgeprägtes Zwischenhoch. Die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte waren bis zum Untersuchungsjahr 2015 stets oberhalb der $C_{mic-CFE}$ -Gehalte. Zur aktuellen Untersuchung 2018 nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt jedoch um etwa 40 % ab und war damit zum ersten Mal niedriger als der Gehalt des $C_{mic-CFE}$. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entwickelte sich analog zur $C_{mic-SIR}$.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) stieg zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2005 um insgesamt etwa 70 % und sank zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2010 um etwa ein Drittel (Abbildung 4.27). Die Basalatmung verblieb auf diesem Niveau in den Untersuchungsjahren 2015 und 2018. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) verdoppelte sich zwischen den Jahren 1998 und 2001 und zeigte erst ab dem Jahr 2010 eine deutlich abnehmende Tendenz. Zwischen 2015 und 2018 zeigte der $Q_{met-CFE}$ jedoch nahezu keine Veränderung.

4. Ergebnisse und Diskussion

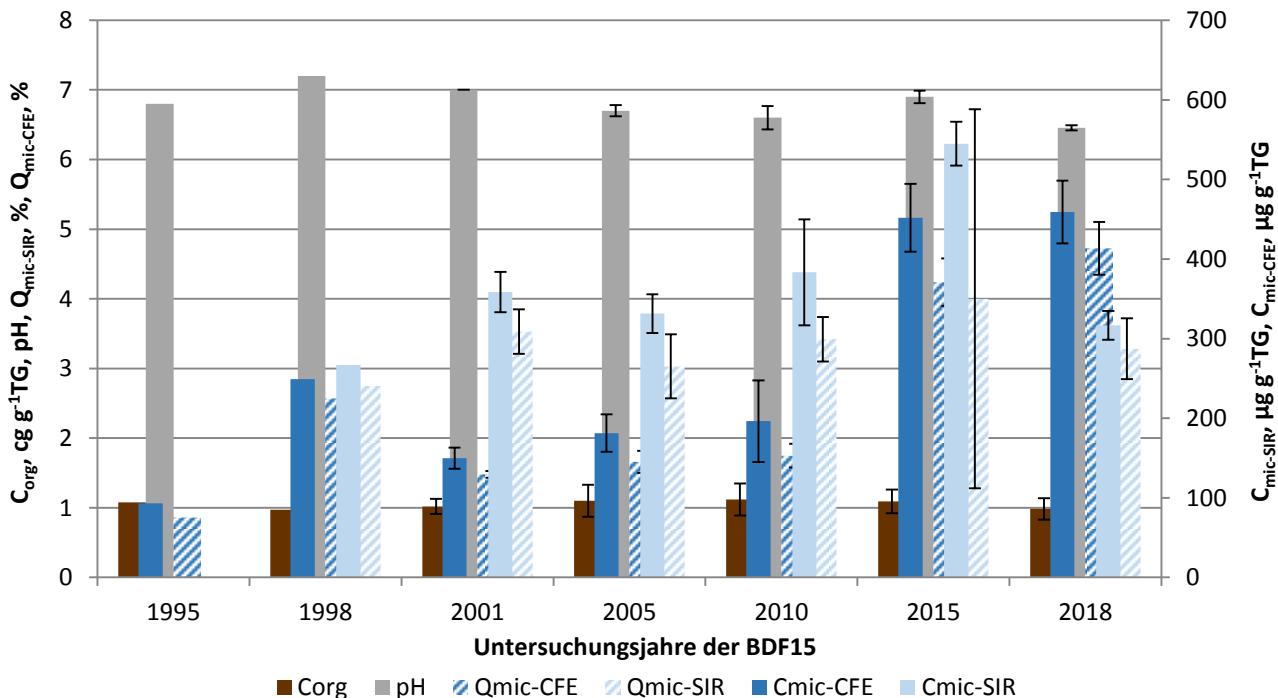


Abbildung 4.26: Ergebnisse der BDF15 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

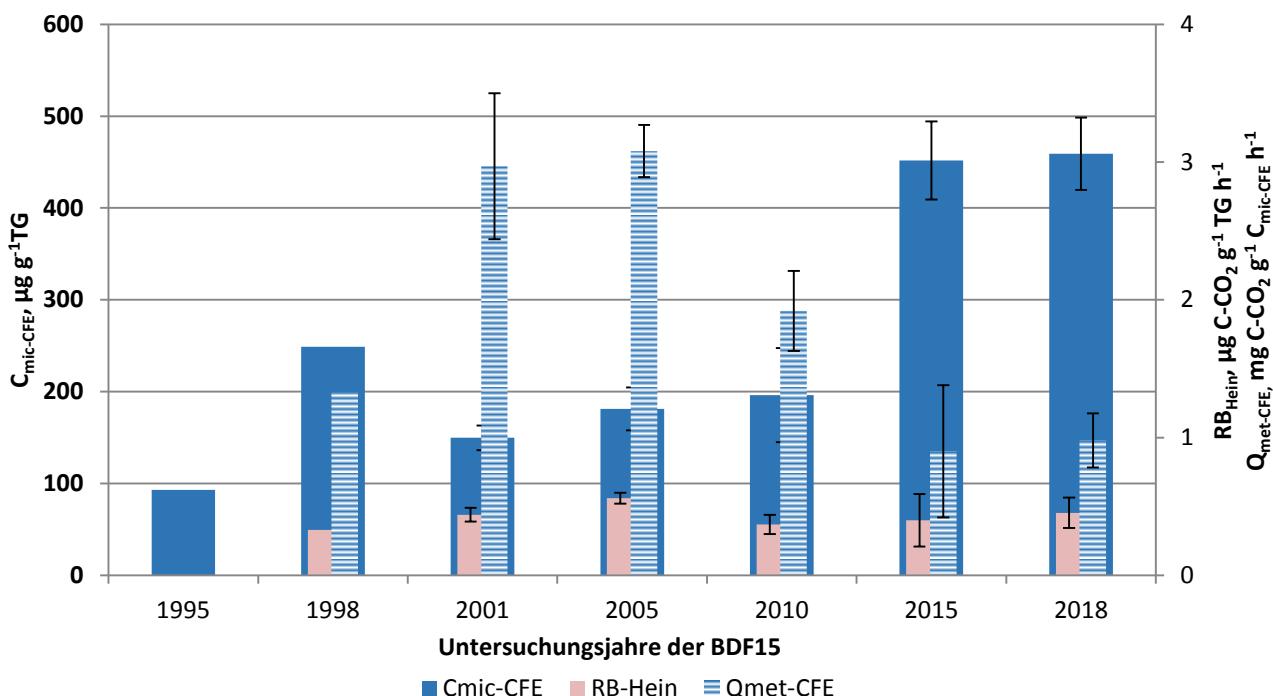


Abbildung 4.27: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF15 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.28 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der N_{min} -Gehalt zum Jahr 1998 um etwa die Hälfte abgenommen hat. Es folgten eine deutliche Zunahme zum Jahr 2001 sowie erneut eine starke Abnahme zum Jahr 2005 auf den bisher niedrigsten Stand. Zwischen den Jahren 2005 und 2015 verdoppelte sich der N_{min} -Gehalt und nahm auch zum Jahr 2018 weiter zu. Bei der Argininammonifikation zeigte sich nach einem anfänglichem Anstieg zwischen den Jahren 1995 und 1998 eine nahezu kontinuierliche Abnahme zum Jahr 2010 um insgesamt etwa 75 %. Parallel zum N_{min} -Gehalt stieg auch die ARG zum Jahr 2015 auf etwa die doppelte Rate an, änderte sich jedoch nicht weiter zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018.

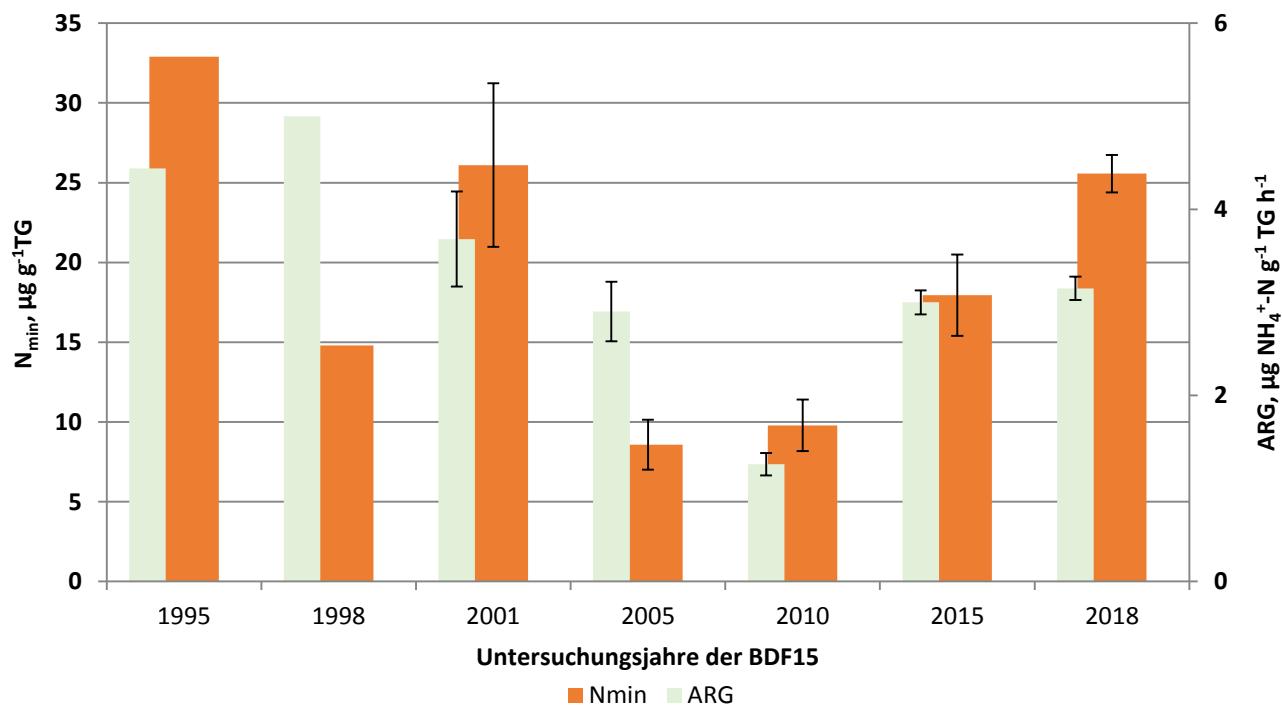


Abbildung 4.28: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF15.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.35: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF15. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelle und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	mg g^{-1}	mg g^{-1}	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
1995	Ap bis -30	93 ± n.b.	n.b. ± n.b.	23 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,4 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,6 ± n.b.	32,9 ± n.b.		
1998	Ap bis -30	249 ± n.b.	267 ± n.b.	52 ± n.b.	0,3 ± n.b.	5,0 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,2 ± n.b.	1,0 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,7 ± n.b.	14,8 ± n.b.		
2001	Ap bis -30	150 ± 13	359 ± 25	28 ± 5	0,4 ± 0,1	3,7 ± 0,5	3,0 ± 0,5	1,2 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	9,1 ± 0,0	26,1 ± 0,3		
2005	Ap bis -30	181 ± 23	332 ± 24	35 ± 4	0,6 ± 0,0	2,9 ± 0,3	3,1 ± 0,2	1,7 ± 0,0	1,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0	10,9 ± 1,2	8,6 ± 1,6		
2010	Ap bis -30	196 ± 51	383 ± 67	n.b. ± n.b.	0,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,9 ± 0,3	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0	9,1 ± 0,0	9,8 ± 0,2		
2015	Ap bis -30	452 ± 43	545 ± 28	36 ± 5	0,4 ± 0,2	3,0 ± 0,1	0,9 ± 0,5	0,7 ± 0,3	1,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0	8,5 ± 0,3	18,0 ± 2,6		
2018	Ap bis -30	459 ± 39	317 ± 18	44 ± 2	0,5 ± 0,1	3,1 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,4 ± 0,3	1,0 ± 0,2	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	25,6 ± 1,2		

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,9 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,8 ± n.b.
1998	Ap bis -30	114 ± n.b.	122 ± n.b.	24 ± n.b.	151 ± n.b.	2280 ± n.b.	2,6 ± n.b.	2,8 ± n.b.	67,5 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,2 ± n.b.
2001	Ap bis -30	69 ± n.b.	165 ± n.b.	13 ± n.b.	202 ± n.b.	1687 ± n.b.	1,5 ± 0,1	3,5 ± 0,3	119,8 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,0 ± 0,0
2005	Ap bis -30	69 ± n.b.	125 ± n.b.	13 ± n.b.	210 ± n.b.	1096 ± n.b.	1,7 ± 0,2	3,0 ± 0,5	32,4 ± n.b.	4139 ± n.b.	388 ± n.b.	6,7 ± 0,1
2010	Ap bis -30	85 ± n.b.	166 ± n.b.	n.b. ± n.b.	160 ± n.b.	543 ± n.b.	1,8 ± 0,2	3,4 ± 0,3	42,3 ± n.b.	4838 ± n.b.	534 ± n.b.	6,6 ± 0,2
2015	Ap bis -30	195 ± 18	235 ± 12	15 ± 2	172 ± 84	1309 ± 36	4,2 ± 0,3	4,0 ± 2,7	77,4 ± 0,1	4719 ± 742	553 ± 72	6,9 ± 0,1
2018	Ap bis -30	201 ± 14	139 ± 10	19 ± 1	199 ± 50	1382 ± 78	4,7 ± 0,4	3,3 ± 0,4	112,3 ± 8,1	4298 ± 568	541 ± 58	6,5 ± 0,0

4.7.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es zeigten sich fünf statistisch signifikante Korrelationen zwischen abiotischen und bodenmikrobiologischen Parametern. Vier davon entfallen dabei auf den Gesamtstickstoffgehalt (N_t) mit den mikrobiellen Parametern glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$, $r = 0,923$, $p < 0,05$, $N = 5$), mikrobieller Stickstoffgehalt ($N_{mic-CFE}$, $r = -0,889$, $p < 0,05$, $N = 5$), mikrobieller Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$, $r = 0,916$, $p < 0,05$, $N = 5$) und metabolischer Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$, $r = -0,902$, $p < 0,05$, $N = 5$). Zudem besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem C_{org}/N_t -Verhältnis und dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$, $r = 0,942$, $p < 0,05$, $N = 5$). Ein zunehmender Gesamtstickstoffgehalt resultierte in einem Anstieg des $C_{mic-SIR}$ -Gehalts, jedoch auch in einer Abnahme des mikrobiellen Stickstoffs. Gleichzeitig erhöhte sich die Effizienz der Substratverwertung anhand des abnehmenden metabolischen Quotienten. Auch eine zunehmende Humusqualität verbesserte die Effizienz der Substratnutzung.

4.7.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Dies zeigt sich weiterhin zur aktuellen Untersuchung, wobei mit dem starken Anstieg der Niederschlagssummen zum Jahr 2017 ebenso ein Rückgang der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) einherging.

4.7.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort zeigt im Gesamtvergleich eine der höheren mikrobiologischen Aktivitäten, was insbesondere für die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse gilt. Die bewirtschaftungsbedingten Änderungen des Gesamtstickstoffgehalts durch regelmäßige Zufuhr organischer und mineralischer Düngemittel ist mit den im Abschnitt 4.7.4 beschriebenen Zusammenhängen verbunden. Die Ernterträge des Winterweizens waren gemäß der Schlagkartei durchschnittlich im Vergleich aller BDF. Höhere Erträge wurden im Zeitraum 1997 bis 2001 erzielt. In diesem Zeitraum ereigneten sich ein Rückgang im Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie eine Zunahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$). Aufgrund der sehr geringen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) scheinen die Eingriffe in den Boden nicht als wesentliche Störungen und Stressoren der Bodenökologie zu wirken. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Trotz der Düngemaßnahmen im Vorwege der Probenahme 2018, wurde gegenüber der Voruntersuchung 2015 keine Zunahme der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) festgestellt.

4.7.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung erfolgte im Jahr 2006, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde die Pflanzen- gesellschaft als *Aphano-Matricarietum chamomillae* klassifiziert. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 wurde zudem ein Rückgang der Arten-, Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahlen verzeichnet. Im gleichen Zeitraum zeigte sich bei der Bodenmikrobiologie eine deutliche Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie ein Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.7.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In den vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen wurde zwischen den Jahren 2003 und 2011 eine starke Zunahme der Regenwurm-Biomasse und -Abundanz sowie eine Zunahme in deren Artenzahl beobachtet. Auch die Abundanz der Kleinringelwürmer nahm in diesem Zeitraum zu, zudem siedelten sich die r-Strategen erneut an. Bodenmikrobiologisch zeigte sich nach einer deutlichen Abnahme zwischen 1998 und 2001 eine leichte Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) bis zum Jahr 2010. Bei dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse zeigte sich eine annähernd kontinuierliche Zunahme im Zeitraum der Jahre 1998 bis 2010.

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für lehmige Ackerstandorte sehr hohe und gegenüber der Voruntersuchung zunehmende Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie unterdurchschnittlich hohe Kleinringelwurm- abundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als Fridericio-Lumbricetum eingestuft. Dabei war jedoch ein unterdurchschnittlich hoher Anteil r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer zu verzeichnen. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der relativen Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) insgesamt auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin. Dabei zeigten die r-strategischen Mikroorganismen anhand der mittel hohen metabolischen Quotienten mäßige Störungen an. Die Zunahme der Regenwurmbiomassen spiegelt sich in zunehmenden mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) und mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$) wider (2010 zu 2018).

4.8 BDF16 Schwartbuck

4.8.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.36: Temperatur und Niederschlag der BDF16 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,8	119	
	11	6,1	62	
	12	3,9	83	
2018	1	3,2	98	
	2	-0,5	25	
	3	1,3	57	

Grundwasserstände fehlen

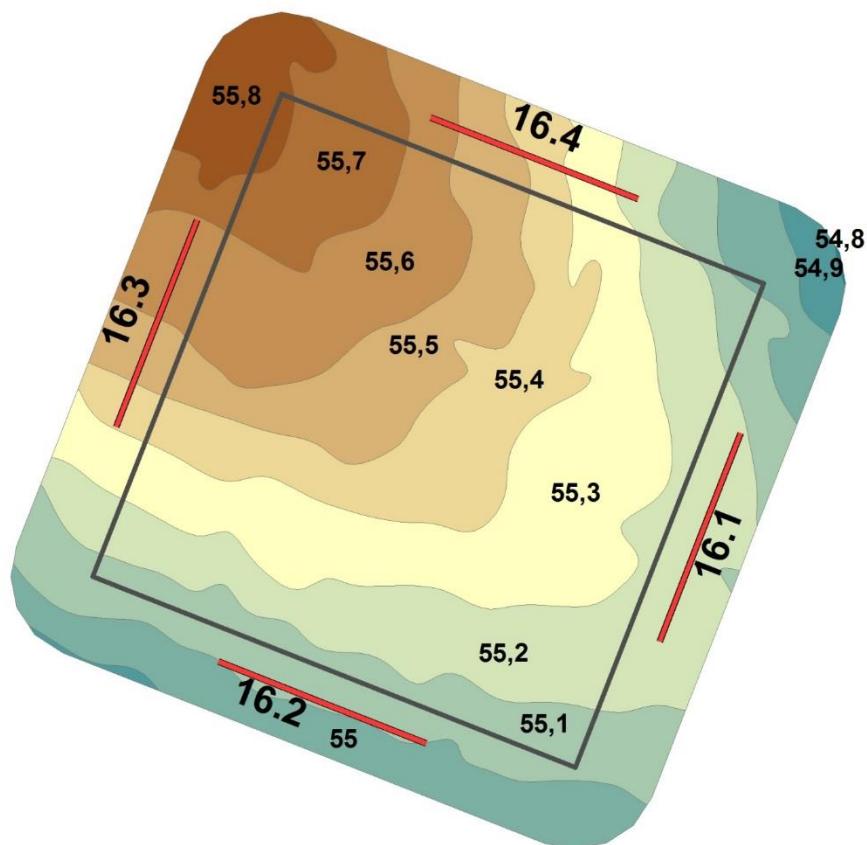


Abbildung 4.29: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF16 (16.1-4).

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.37: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF16 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	03.04.2018 Beginn 08:30 Uhr
Witterungsverhältnisse	5,4 °C Bodenoberfläche 3,2 °C in 10 cm Tiefe starkere Regenfälle seit mehreren Tagen, extrem niederschlagsreich/Schneeschmelze, Wasserüberstau 1 bis 2 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	Boden nass, breiig, Kohärentgefüge, mäßig verschlämmt
Kulturzustand	Winterraps, Rosettenbildung keine Bodenbearbeitung erkennbar keine Düngergabe erkennbar
Sonstiges	Wasser in einigen Bohrlöchern

4.8.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF16 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche in einer Fruchfolge von Winterraps-Winterweizen-Wintergerste bewirtschaftet wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.38 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft, dessen Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Gesamtvergleich unter dem Durchschnitt liegt. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist durchschnittlich hoch, reicht jedoch aus, um durch das enge C_{org}/N_t -Verhältnis eine sehr hohe Humusqualität bereitzustellen. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) liegt deutlich über dem Gesamtdurchschnitt und setzt sich zu etwa 80 % aus Nitrat und zu etwa 19 % aus Ammonium zusammen. Der geringe verbleibende Anteil entfällt auf Nitrit. Die Trockenrohdichte des Oberbodens liegt geringfügig über dem Durchschnitt aller BDF und wird als mittel hoch eingestuft. Der Boden-pH liegt ebenfalls geringfügig über dem Gesamtdurchschnitt und stuft den Boden als sehr schwach sauer ein.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF16 befinden sich in der Tabelle 4.39. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) liegt über dem Gesamtdurchschnitt und wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft. Auch der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) ist leicht überdurchschnittlich. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) liegt leicht über dem Durchschnitt aller BDF. Bei der Argininammonifikation zeigt sich hingegen ein deutlich unterdurchschnittlicher Wert, welcher der Einstufung als sehr niedrig entspricht. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) liegt deutlich über dem Gesamtdurchschnitt und entspricht der Einstufung als sehr hoch. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) hingegen weist auf der BDF16 einen leicht überdurchschnittlich hohen Wert auf. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) liegt dagegen deutlich über dem Gesamtdurchschnitt und entspricht der Einstufung als sehr hoch.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.38: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF16 (Schwartzbuck). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,2	24,2 ± 1,7	4,5 ± 2,4	0,3 ± 0,4	19,3 ± 3,4

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	5018 ± 186	627 ± 23	10,7 ± 0,9	106,6 ± 9,4	1,5 ± 0,0	231 ± 7	6,1 ± 0,2

Tabelle 4.39: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF16 (Schwartzbuck). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\text{C}_{mic-CFE} / C_{org}$	$\text{C}_{mic-SIR} / C_{org}$
Ap bis -30	517 ± 102	209 ± 27	44 ± 13	0,5 ± 0,1	1,8 ± 0,4	4,5 ± 0,8	1,8 ± 0,2

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	228 ± 48	92 ± 14	20 ± 6	220 ± 33	775 ± 170	1,0 ± 0,2	2,4 ± 0,5

4.8.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.30. Der Boden-pH stieg zwischen den Jahren 1995 und 2001 kontinuierlich vom sehr schwach sauren in den neutralen pH-Bereich an. Anschließend sank der pH-Wert und kehrte bis zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 mit dem bisher niedrigsten Wert in den sehr schwach sauren Bereich zurück. Insgesamt durchlief der pH einen Schwankungsbereich von 0,9 Einheiten. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) blieb im gesamten Untersuchungszeitraum annähernd auf gleichem Niveau im unteren Bereich der Humuskategorie mittel humos.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 zunächst um etwa ein Drittel zu. Zum Jahr 2001 erfolgte eine Abnahme um annähernd den gleichen Betrag. Dieses $C_{mic-CFE}$ -Niveau wurde bis zum Jahr 2010 nahezu konstant beibehalten. Zum Untersuchungsjahr 2015 erfolgte eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse auf den bisherigen Höchstwert mit einem Faktor von 2,5. Zur aktuellen Untersuchung 2018 nahm der mittlere $C_{mic-CFE}$ -Gehalt lediglich leicht ab. Diese Entwicklung spiegelte sich ebenfalls im mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) wider, wobei zwischen 2015 und 2018 keine Veränderung des $Q_{mic-CFE}$ erfolgte.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nahm zunächst zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 um etwa ein Viertel zu. Zum Jahr 2005 erfolgte eine Abnahme der $C_{mic-SIR}$ auf das Niveau der Erstuntersuchung. Bis zum Untersuchungsjahr 2015 stieg die $C_{mic-SIR}$ kontinuierlich auf den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2018 sank der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt jedoch deutlich auf den bislang niedrigsten Wert. Die gleiche Entwicklung nahm auch der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Im Zeitraum 1998 bis 2010 waren die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte stets höher als die Gehalte der $C_{mic-CFE}$.

Bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) erfolgte zunächst eine deutliche Zunahme auf den bisherigen Höchstwert zwischen den Jahren 1998 und 2001 (Abbildung 4.31). Anschließend reduzierte sich die Basalatmung kontinuierlich auf etwa die Hälfte des Höchstwertes zum Untersuchungsjahr 2015. Zur aktuellen Untersuchung 2018 verdoppelte sich die Rate der Basalatmung. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) zeigte zwischen 2001 und 2015 eine kontinuierliche, starke Abnahme auf den bislang niedrigsten Wert. Zur aktuellen Untersuchung 2018 verdoppelte sich der Wert des $Q_{met-CFE}$.

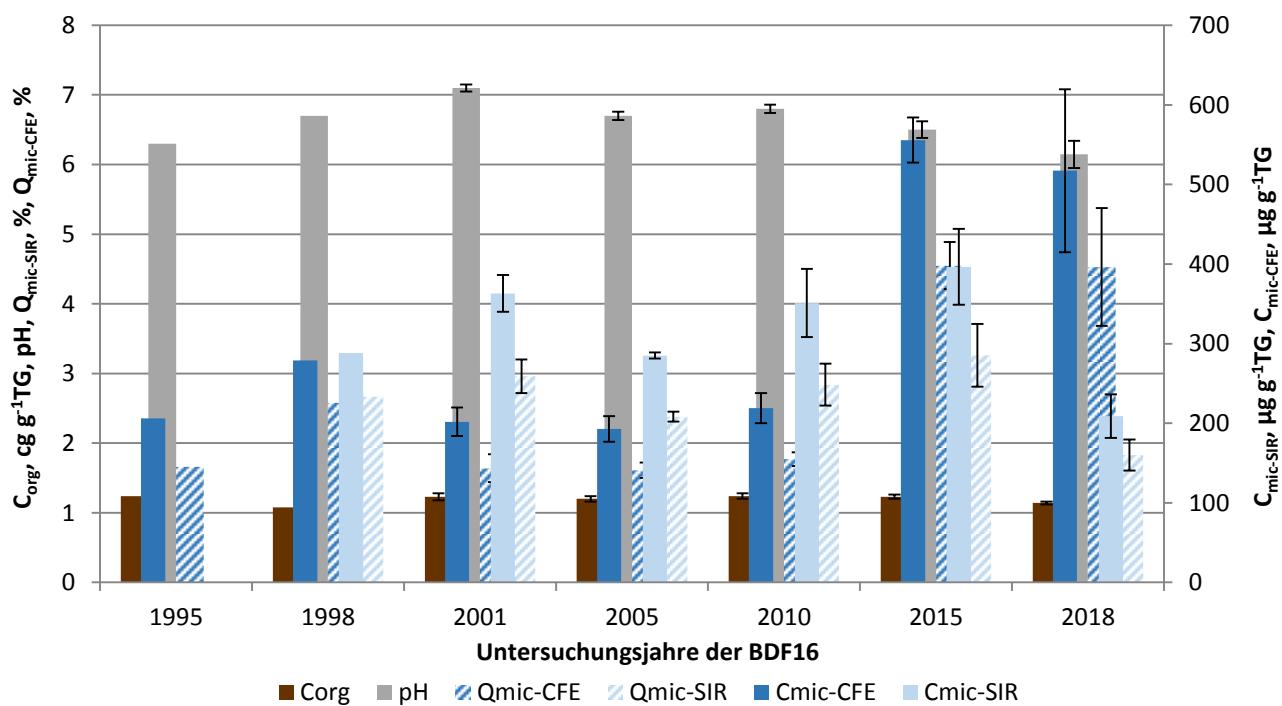


Abbildung 4.30: Ergebnisse der BDF16 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

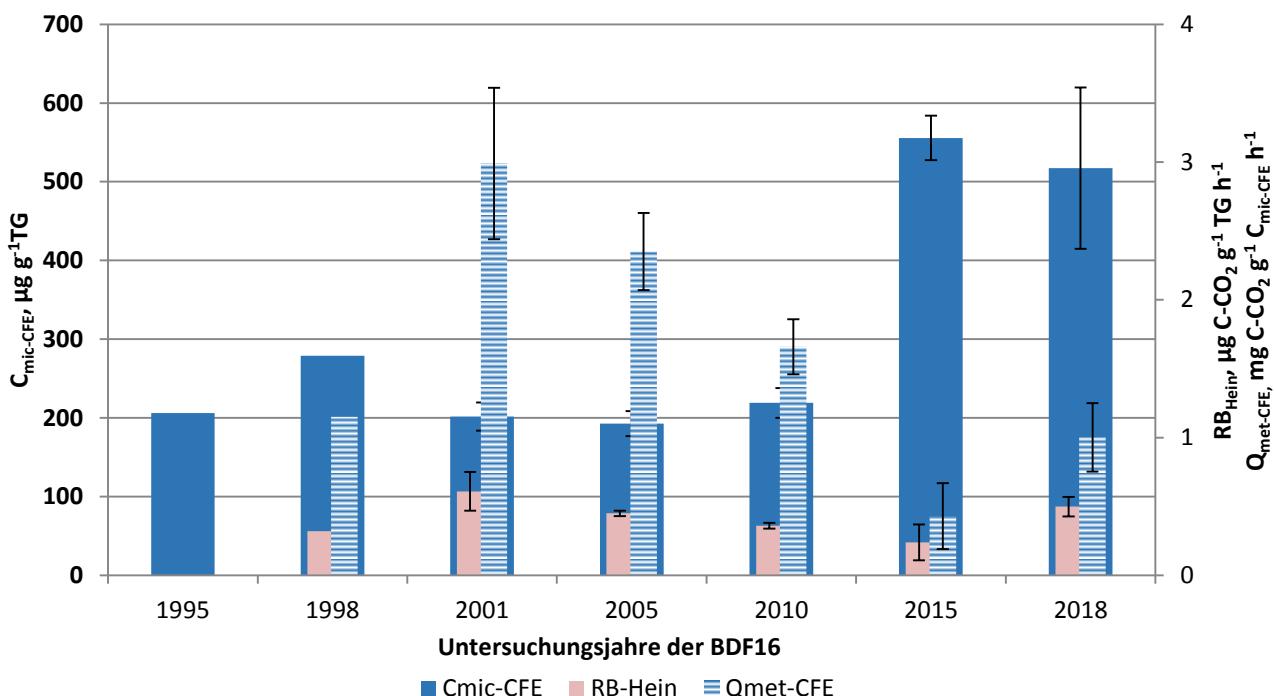


Abbildung 4.31: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF16 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.32 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der N_{min} -Gehalt zwischen den Jahren 1995 und 2001 um etwa 75 % auf das bisher niedrigste Niveau zurückgegangen ist. Es folgten eine Verdreifachung des N_{min} -Gehaltes zum Jahr 2005, eine leichte Abnahme zum Jahr 2010 sowie ein erneut starker Anstieg zum Jahr 2015 auf nahezu das Doppelte. Zum Jahr 2018 ging der mittlere N_{min} -Gehalt nur leicht zurück. Die Argininammonifikation zeigte zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 einen Anstieg auf den bisherigen Höchststand. Zum Jahr 2005 ging die ARG auf insgesamt etwa ein Drittel zurück und stieg zum Jahr 2010 erneut leicht an. Zum Jahr 2015 blieb die ARG nahezu unverändert auf dem Niveau des Jahres 2010. Zur aktuellen Untersuchung 2018 nahm die ARG um etwa ein Drittel ab.

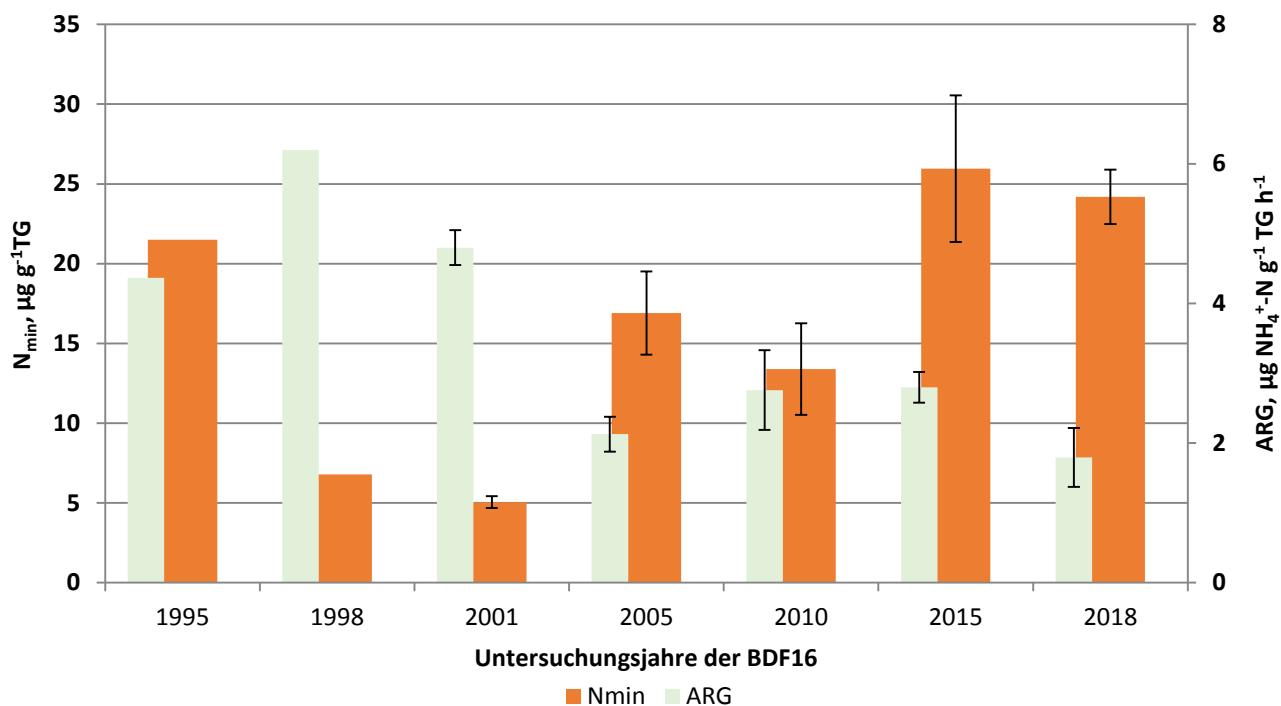


Abbildung 4.32: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF16.

Tabelle 4.40: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF16. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
			TG	TG	TG	TG	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	206 ± n.b.	n.b. ± n.b.	22 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,4 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,2 ± n.b.	0,1 ± n.b.	10,4 ± n.b.	21,5 ± n.b.
1998	Ap bis -30	279 ± n.b.	288 ± n.b.	58 ± n.b.	0,3 ± n.b.	6,2 ± n.b.	1,2 ± n.b.	1,1 ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,8 ± n.b.	6,8 ± n.b.
2001	Ap bis -30	202 ± 18	363 ± 23	36 ± 2	0,6 ± 0,1	4,8 ± 0,3	3,0 ± 0,6	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	9,9 ± 0,8	5,1 ± 0,4
2005	Ap bis -30	193 ± 16	285 ± 4	26 ± 3	0,5 ± 0,0	2,1 ± 0,3	2,4 ± 0,3	1,6 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	10,2 ± 0,3	16,9 ± 2,6
2010	Ap bis -30	219 ± 19	351 ± 43	n.b. ± n.b.	0,4 ± 0,0	2,8 ± 0,6	1,7 ± 0,2	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,8 ± 0,2	13,4 ± 2,9
2015	Ap bis -30	556 ± 28	397 ± 48	36 ± 6	0,2 ± 0,1	2,8 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,5 ± 0,2	26,0 ± 4,6
2018	Ap bis -30	517 ± 102	209 ± 27	44 ± 13	0,5 ± 0,1	1,8 ± 0,4	1,0 ± 0,2	2,4 ± 0,5	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,2	24,2 ± 1,7

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,7 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,3 ± n.b.
1998	Ap bis -30	111 ± n.b.	115 ± n.b.	23 ± n.b.	128 ± n.b.	2474 ± n.b.	2,6 ± n.b.	2,7 ± n.b.	27,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,7 ± n.b.
2001	Ap bis -30	88 ± n.b.	158 ± n.b.	16 ± n.b.	263 ± n.b.	2088 ± n.b.	1,6 ± 0,2	3,0 ± 0,2	22,0 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,1 ± 0,1
2005	Ap bis -30	83 ± n.b.	123 ± n.b.	11 ± n.b.	194 ± n.b.	918 ± n.b.	1,6 ± 0,1	2,4 ± 0,1	73,0 ± n.b.	5175 ± n.b.	508 ± n.b.	6,7 ± 0,1
2010	Ap bis -30	91 ± n.b.	146 ± n.b.	n.b. ± n.b.	151 ± n.b.	1149 ± n.b.	1,8 ± 0,1	2,8 ± 0,3	55,9 ± n.b.	5150 ± n.b.	588 ± n.b.	6,8 ± 0,1
2015	Ap bis -30	246 ± 13	175 ± 21	16 ± 2	105 ± 56	1215 ± 64	4,6 ± 0,3	3,3 ± 0,5	114,9 ± 117	5426 ± 117	638 ± 18	6,5 ± 0,1
2018	Ap bis -30	228 ± 48	92 ± 14	20 ± 6	220 ± 33	775 ± 170	4,5 ± 0,8	1,8 ± 0,2	106,6 ± 9,4	5018 ± 186	627 ± 23	6,1 ± 0,2

4.8.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Bodenmikrobiologie und den abiotischen Parametern tritt lediglich in einem Fall auf. Diese zeigt sich bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) und dem Boden-pH ($r = 0,912$, $p < 0,05$, $N = 5$). Zunehmende pH-Werte gingen mit einem Anstieg der Basalatmung einher.

4.8.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Dies zeigte sich ebenso bei der aktuellen Untersuchung 2018, wobei die stark gestiegenen Jahresniederschlagssummen im Vorjahr 2017 eine deutliche Abnahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) im Folgejahr 2018 (gegenüber der Voruntersuchung 2015) mit sich brachten.

4.8.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort ist im Gesamtvergleich bodenmikrobiologisch überdurchschnittlich aktiv. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen des pH-Wertes z. B. durch die vereinzelten Kalkungsmaßnahmen zwischen 1992 und 2003 äußerten sich in der Veränderung der Basalatmung wie in Abschnitt 4.8.4 beschrieben. Die Ernteerträge des Winterweizens waren im Gesamtvergleich durchschnittlich hoch, im Zeitraum zwischen 1996 und 2008 jedoch tendenziell höher. Aus bodenmikrobiologischer Sicht ereignete sich zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2005 ein Rückgang der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) während der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) keinen eindeutigen Trend zeigte. Die sehr geringen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) deuten darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden nicht als wesentliche Störungen des Bodenökosystems gewirkt haben. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen des Jahres 2017 waren hinsichtlich der Nährstoffzufuhr und Bodenbearbeitung nicht wesentlich anders als im Jahr 2014, so dass die Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nicht durch die Bewirtschaftung zu erklären ist.

4.8.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2006 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Als Pflanzengesellschaft wurde zuletzt *Stellarietea mediae* ausgewiesen. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 wurde eine Abnahme der Artenzahl sowie eine Zunahme der Reaktions- und Stickstoffzahlen bei etwa gleichbleibender Feuchtezahl beobachtet. Im gleichen Zeitraum nahmen die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) und die Argininammonifikation (ARG) zu.

4.8.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Vorjahr 2014. Dabei zeigte sich ein geringfügiger Anstieg der Regenwurmabundanz sowie ein starker Anstieg der Kleinringelwurmabundanz zwischen den Jahren 2012 und 2014. Im Zeitraum der Jahre 2010 bis 2015 stieg der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) stark an, während der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) geringfügig zunahm. Damit ging eine Abnahme des metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) und somit eine Zunahme der Effizienz der Mikroorganismen einher.

4.9 BDF18 Heringsdorf

4.9.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.41: Temperatur und Niederschlag der BDF18 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	12	102	
	11	6,4	49	
	12	4,2	51	
2018	1	3,4	67	
	2	-0,5	15	
	3	1,3	74	

Grundwasserstände fehlen

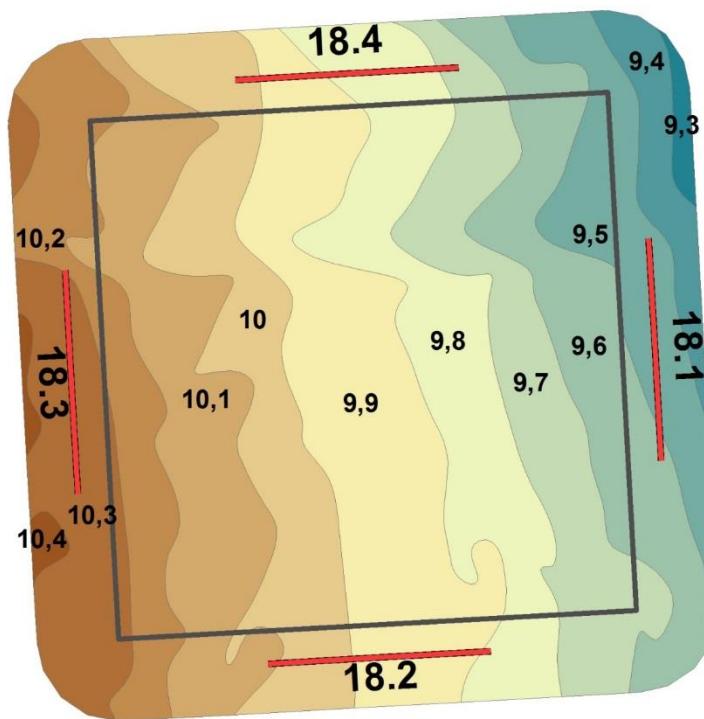


Abbildung 4.33: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF18 (18.1-4).

Tabelle 4.42: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF18 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	05.04.2018 Beginn 09:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	8,8 °C Bodenoberfläche 6,1 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in den letzten 24 h 7 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	feucht, steif, Kohärentgefüge, mäßig verschlämmt
Kulturzustand	Winterraps, vereinzelt Blattentwicklung keine Bodenbearbeitung erkennbar Mineraldünger vor längerer Zeit, Kalkung durch Salzsäuretest erkennbar
Sonstiges	Wasserüberstau in Fahrspuren

4.9.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF18 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche zum Anbau einer Fruchtfolge aus Winterweizen-Winterweizen-Winterraps genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.43 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft, dessen Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Gesamtvergleich unter dem Durchschnitt liegt. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist durchschnittlich hoch und stellt mit dem engsten C_{org}/N_t -Verhältnis eine sehr hohe Humusqualität bereit. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist im Gesamtvergleich der höchste und setzt sich zu etwa zwei Dritteln aus Nitrat und zu etwa einem Drittel aus Ammonium zusammen. Ein geringer Anteil entfällt auf Nitrit. Die Trockenrohdichte des Oberbodens liegt geringfügig über dem Durchschnitt aller BDF und wird als mittel hoch eingestuft. Der Boden-pH liegt über dem Gesamtdurchschnitt und stuft den Boden als sehr schwach sauer ein.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF18 befinden sich in der Tabelle 4.44. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, liegt jedoch deutlich unter dem Durchschnitt aller BDF. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) weist von allen Standorten jedoch den insgesamt höchsten Wert auf. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) liegt geringfügig über der durchschnittlichen Basalatmung aller BDF. Auch die Argininammonifikation (ARG) ist leicht überdurchschnittlich hoch, wird absolut jedoch als niedrig eingestuft. Bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) weist die BDF18 einen etwa durchschnittlichen Wert auf, welcher jedoch als sehr hoch eingestuft wird. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) zählt im Gesamtvergleich zu den überdurchschnittlich hohen. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft und ist der zweithöchste aller BDF. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) liegt dagegen leicht unter dem Gesamtdurchschnitt.

Tabelle 4.43: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF18 (Heringsdorf). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1} \text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$	$\text{cg g}^{-1} \text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
Ap bis -30	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,4 ± 0,2	48,1 ± 9,3	15,6 ± 5,8	1,3 ± 0,3	31,2 ± 4,3

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1} \text{TG}$	
Ap bis -30	5094 ± 226	691 ± 32	22,4 ± 4,8	224,4 ± 48,3	1,5 ± 0,0	211 ± 8	6,6 ± 0,1

Tabelle 4.44: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF18 (Heringsdorf). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{g}^{-1} \text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	393 ± 19	328 ± 47	49 ± 1	0,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,6 ± 0,2	3,0 ± 0,4

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	R_{B-Hein} / C_{mic-} CFE	R_{B-Hein} / C_{mic-} SIR
Ap bis -30	183 ± 9	153 ± 24	23 ± 1	222 ± 43	1266 ± 39	1,2 ± 0,3	1,5 ± 0,5

4.9.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.34. Der Boden-pH stieg zunächst aus dem sehr schwach sauren Bereich in den neutralen Bereich zwischen den Jahren 1995 und 1998. Zum Untersuchungsjahr 2001 zeigte sich ein Rückgang des Boden-pH erneut in den sehr schwach sauren Bereich. Zum Jahr 2005 überschritt der pH-Wert die Grenze zum neutralen Bereich erneut und verblieb dort bis zum Jahr 2015. Zur aktuellen Untersuchung sank der pH erneut in den sehr schwach sauren Bereich. Insgesamt betrug der Schwankungsbereich 0,5 Einheiten. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) schwankte nur sehr geringfügig im gesamten Untersuchungszeitraum und verblieb stets im Grenzbereich der Humusklassen schwach humos und mittel humos.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte eine insgesamt zunehmende Entwicklung. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 erfolgte zunächst ein deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse um etwa 50 %. Zum Jahr 2001 ging die $C_{mic-CFE}$ um etwa ein Drittel zurück, stieg dann jedoch bis zum Jahr 2010 leicht an. Zum Untersuchungsjahr 2015 erfolgte ein weiterer, starker Anstieg auf den bisherigen Höchstwert der mikrobiellen Biomasse. Zum Untersuchungsjahr 2018 nahm der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt jedoch um etwa ein Drittel ab. In gleicher Weise verlief die Entwicklung des mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$).

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nahm zunächst zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 um etwa ein Drittel auf den bisherigen Höchstwert zu. Zum Jahr 2005 erfolgte eine Abnahme der $C_{mic-SIR}$ unter das Niveau der Erstuntersuchung. Bis zum Untersuchungsjahr 2015 stieg die $C_{mic-SIR}$ kontinuierlich an, nahm jedoch zur aktuellen Untersuchung 2018 leicht ab. Die gleiche Entwicklung nahm auch der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) mit Ausnahme der Jahre 2015, in dem der $Q_{mic-SIR}$ leicht abgenommen hat, und 2018, in dem eine Zunahme erfolgte. Zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2010 übertrafen die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte teilweise deutlich.

Bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte sich zunächst eine Abnahme zwischen den Jahren 1998 und 2001 auf das niedrigste Niveau (Abbildung 4.35). Die Basalatmung stieg bis zum Untersuchungsjahr 2010 erneut an und zeigte im Jahr 2015 einen starken Rückgang um 50 % auf den Stand des Jahres 2001. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 zeigte sich eine Verdoppelung der Basalatmungsraten. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) stieg zwischen den Jahren 1998 und 2010 auf den bisherigen Höchstwert an. Zum Jahr 2015 sank der $Q_{met-CFE}$ auf den bislang niedrigsten Wert und zeigte zum Jahr 2018 erneut eine zunehmende Tendenz.

4. Ergebnisse und Diskussion

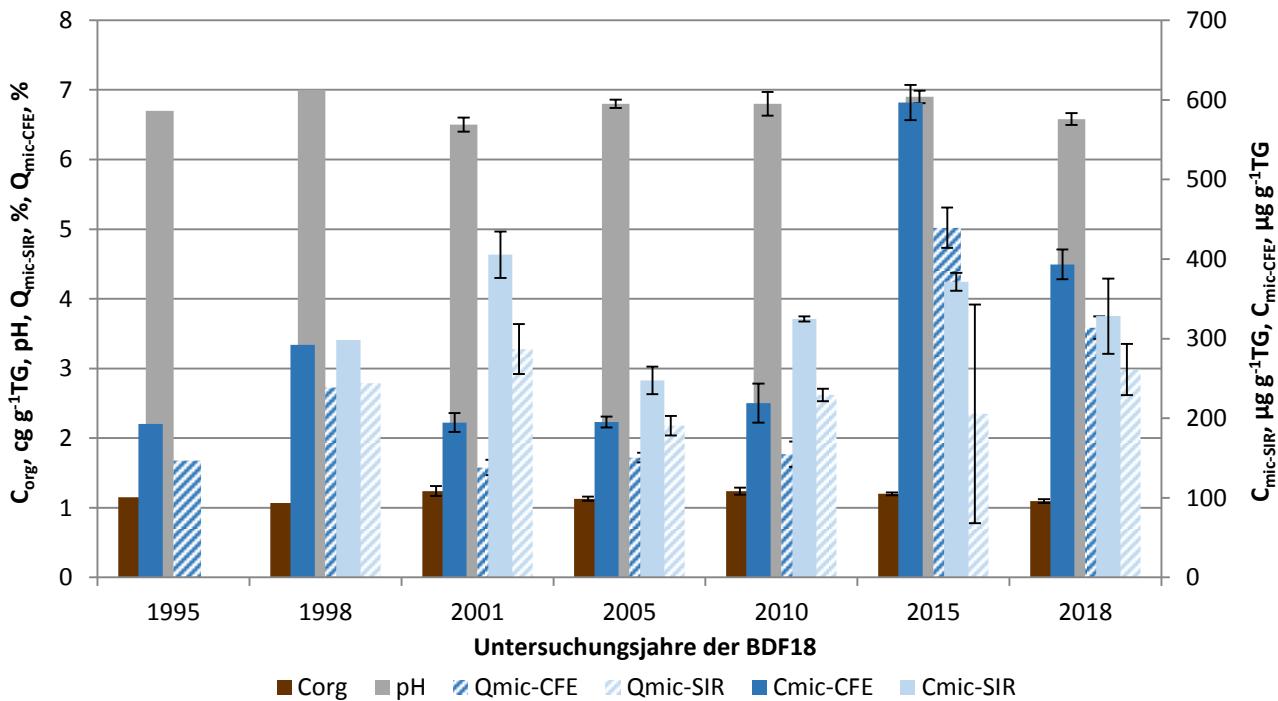


Abbildung 4.34: Ergebnisse der BDF18 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

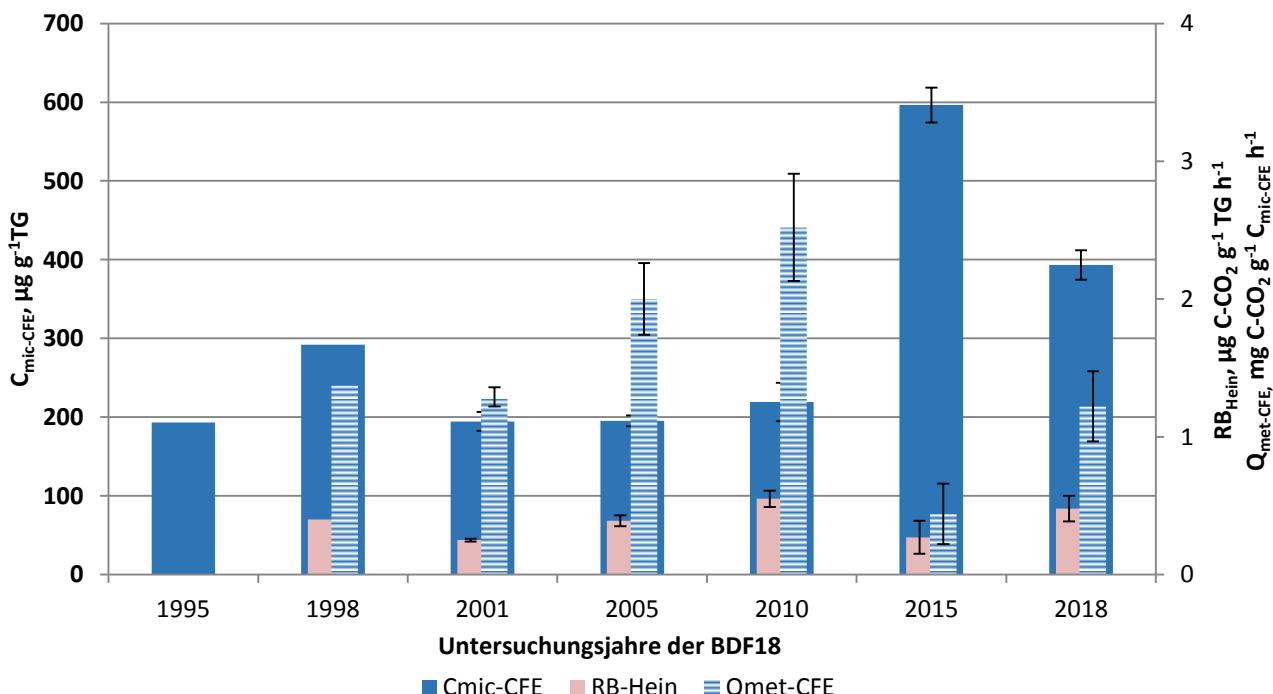


Abbildung 4.35: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF18 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$), ihrer Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{\text{met-SIR}}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.36 dargestellt. Zu erkennen ist, dass sich der N_{min} -Gehalt in den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 nahezu unverändert auf einem relativ niedrigen Niveau bewegte, zum Untersuchungsjahr 2001 jedoch auf den vierfachen Wert anstieg. Zum Jahr 2005 ging der N_{min} -Gehalt auf das Niveau des Untersuchungsjahres 1998 zurück und zeigte zum Jahr 2010 einen erneuten Rückgang um etwa 30 %. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der Gehalt löslicher Stickstoffverbindungen um mehr als das Dreifache an, zeigte jedoch einen leichten Rückgang zum Jahr 2018. Die Argininammonifikation zeigte in den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 die höchsten Raten im gesamten Untersuchungszeitraum. In den folgenden Untersuchungsjahren 2001 und 2005 halbierte sich die ARG jeweils und erreichte 2005 den bisher niedrigsten Stand. Zum Jahr 2010 erfolgte ein leichter Anstieg der Argininammonifikation, welche im Jahr 2015 ihr Niveau etwa beibehielt. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 erfolgte eine leichte Zunahme der Ammonifikationsraten.

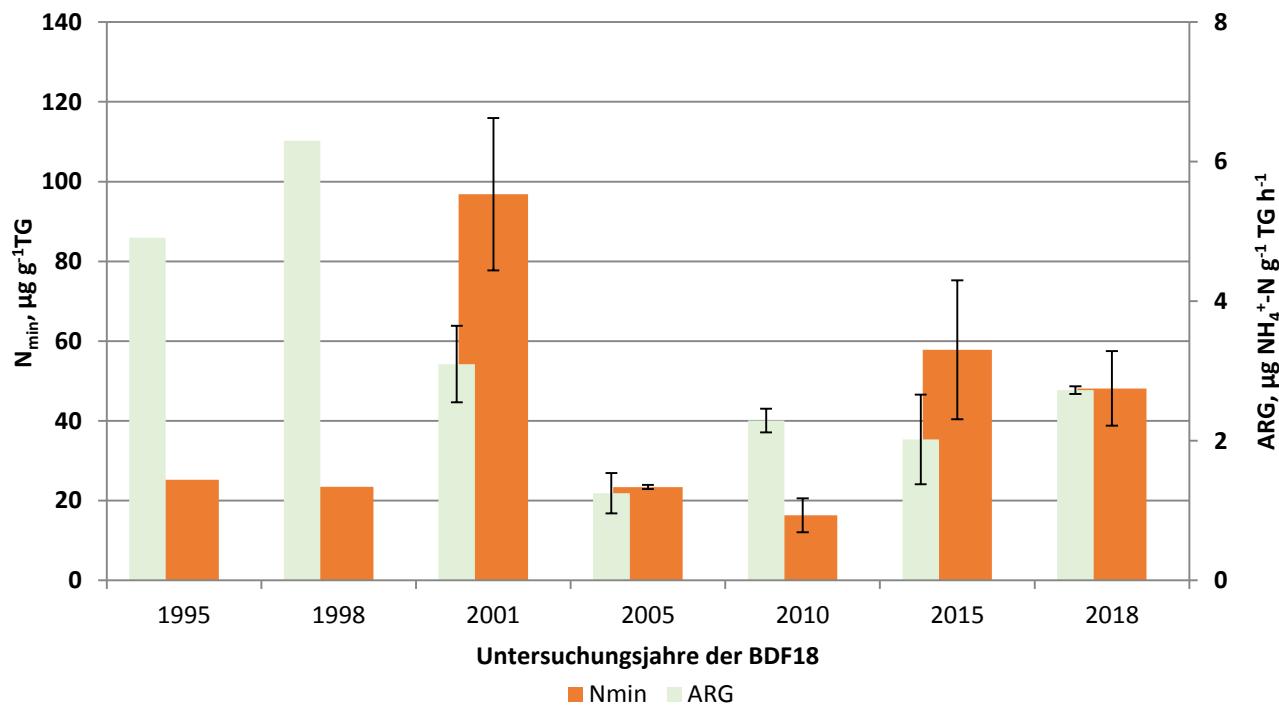


Abbildung 4.36: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF18.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.45: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF18. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelren und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	mg g^{-1}	mg g^{-1}	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
1995	Ap bis -30	193 ± n.b.	n.b. ± n.b.	28 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,9 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,2 ± n.b.	0,1 ± n.b.	10,0 ± n.b.	25,2 ± n.b.		
1998	Ap bis -30	292 ± n.b.	298 ± n.b.	112 ± n.b.	0,4 ± n.b.	6,3 ± n.b.	1,4 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,7 ± n.b.	23,5 ± n.b.		
2001	Ap bis -30	195 ± 12	406 ± 29	33 ± 5	0,3 ± 0,0	3,1 ± 0,6	1,3 ± 0,1	0,6 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1	8,5 ± 0,0	96,8 ± 1,0		
2005	Ap bis -30	195 ± 7	248 ± 17	38 ± 5	0,4 ± 0,0	1,3 ± 0,3	2,0 ± 0,3	1,6 ± 0,1	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,9 ± 0,0	23,4 ± 0,5		
2010	Ap bis -30	219 ± 24	325 ± 3	n.b. ± n.b.	0,6 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,5 ± 0,4	1,7 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	8,9 ± 0,0	16,4 ± 0,3		
2015	Ap bis -30	596 ± 22	371 ± 11	46 ± 10	0,3 ± 0,1	2,0 ± 0,6	0,4 ± 0,2	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,1 ± 0,0	57,8 ± 0,2		
2018	Ap bis -30	393 ± 19	328 ± 47	49 ± 1	0,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	1,2 ± 0,3	1,5 ± 0,5	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,4 ± 0,0	48,1 ± 0,2		

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,7 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,7 ± n.b.
1998	Ap bis -30	127 ± n.b.	130 ± n.b.	49 ± n.b.	174 ± n.b.	2741 ± n.b.	2,7 ± n.b.	2,8 ± n.b.	102,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	7,0 ± n.b.
2001	Ap bis -30	85 ± n.b.	176 ± n.b.	14 ± n.b.	109 ± n.b.	1349 ± n.b.	1,6 ± 0,1	3,3 ± 0,4	421,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,5 ± 0,1
2005	Ap bis -30	89 ± n.b.	113 ± n.b.	17 ± n.b.	178 ± n.b.	570 ± n.b.	1,7 ± 0,1	2,2 ± 0,1	106,8 ± n.b.	5166 ± n.b.	524 ± n.b.	6,8 ± 0,1
2010	Ap bis -30	92 ± n.b.	136 ± n.b.	n.b. ± n.b.	230 ± n.b.	961 ± n.b.	1,8 ± 0,2	2,6 ± 0,1	68,7 ± n.b.	5200 ± n.b.	584 ± n.b.	6,8 ± 0,2
2015	Ap bis -30	274 ± 10	171 ± 5	21 ± 5	122 ± 56	1040 ± 83	5,0 ± 0,3	2,4 ± 1,6	265,9 ± 0,1	5502 ± 83	681 ± 15	6,9 ± 0,1
2018	Ap bis -30	183 ± 9	153 ± 24	23 ± 1	222 ± 43	1266 ± 39	3,6 ± 0,2	3,0 ± 0,4	224,4 ± 48,3	5094 ± 226	691 ± 32	6,6 ± 0,1

4.9.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

In zwei Fällen besteht eine statistisch signifikante Korrelation zwischen bodenmikrobiologischen und abiotischen Parametern. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) korreliert dabei negativ mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = -0,897$, $p < 0,05$, $N = 5$). Somit ging eine Zunahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse mit einer Zunahme der Humusqualität einher. Die zweite signifikante Korrelation zeigt sich bei dem Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) und bei dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$, $r = -0,967$, $p < 0,01$, $N = 5$). Mit höheren N_{min} -Gehalten zeigte die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse eine höhere Effizienz der Substratverwertung.

Der vergleichsweise hohe Gehalt der mikrobiellen Biomasse steht vermutlich im Zusammenhang mit dem relativ hohen pH (wie bei BDF05, 06 und 12), wobei anzumerken ist, dass der pH auch in den vergangenen Untersuchungsjahren vergleichbar hoch war bei deutlich geringeren C_{mic} -Gehalten.

4.9.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Dies zeigte sich auch weiterhin bei der aktuellen Untersuchung 2018, wobei die zum Vorjahr 2017 stark gestiegenen Jahresniederschlagssummen gegenüber 2014 mit einer Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse, jedoch auch der gesamten mikrobiellen Biomasse verbunden waren.

4.9.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort zeigt im Gesamtvergleich eine überdurchschnittlich hohe bodenmikrobiologische Aktivität. Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen der Humusqualität durch die Zufuhr stickstoffreicher Verbindungen ist mit den im Abschnitt 4.9.4 beschriebenen Zunahmen des $C_{mic-SIR}$ -Gehalts und der Effizienz der Substratverwertung verbunden. Bei den Ernteerträgen des Winterweizens zeigte der Standort die höchsten Werte aller BDF. Insbesondere im Zeitraum zwischen 1996 und 2005 wurden die höchsten Erträge erzielt. Bodenmikrobiologisch zeigte sich zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2005 tendenziell ein Rückgang der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$). Die sehr geringen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) deuten darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden nicht als wesentliche Störungen und Stressoren des Bodenökosystems gewirkt haben. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Während die Stickstoffzufuhr gegenüber dem Jahr 2014 leicht erhöht wurde, wurde im Jahr 2017 deutlich

4. Ergebnisse und Diskussion

weniger Phosphor zugeführt. Möglicherweise trug dies zu der Abnahme der mikrobiellen Biomassegehalte bei.

4.9.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2007 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Als Pflanzengesellschaft wurde zuletzt (1999) *Stellarietea mediae* ausgewiesen. Zwischen den Jahren 1996 und 1999 wurde eine Zunahme der Artenzahl sowie eine Zunahme der Reaktions- und Stickstoffzahlen bei etwa gleichbleibender Feuchtezahl beobachtet. Im Zeitraum der Jahre 1995 bis 1998 erfolgte bei der Bodenmikrobiologie eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie eine Zunahme der Argininammonifikation (ARG).

4.9.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Vorjahr 2014. Dabei zeigte sich sowohl bei den Regenwürmern als auch bei den Kleinringelwürmern eine starke Zunahme der Abundanzen zwischen den Untersuchungsjahren 2011 und 2014. Die bodenmikrobiologischen Ergebnisse zeigen im Zeitraum der Jahre 2010 und 2015 eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) sowie einen leichten Anstieg der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$). Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) nahm dagegen ab, woraus eine Zunahme der Effizienz der Mikroorganismen resultiert.

4.10 BDF19 Mörel

4.10.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.46: Temperatur und Niederschlag der BDF19 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,6	172	
	11	5,7	117	
	12	3,6	108	
2018	1	2,9	140	
	2	-1,1	23	
	3	1,3	51	

Grundwasserstände fehlen

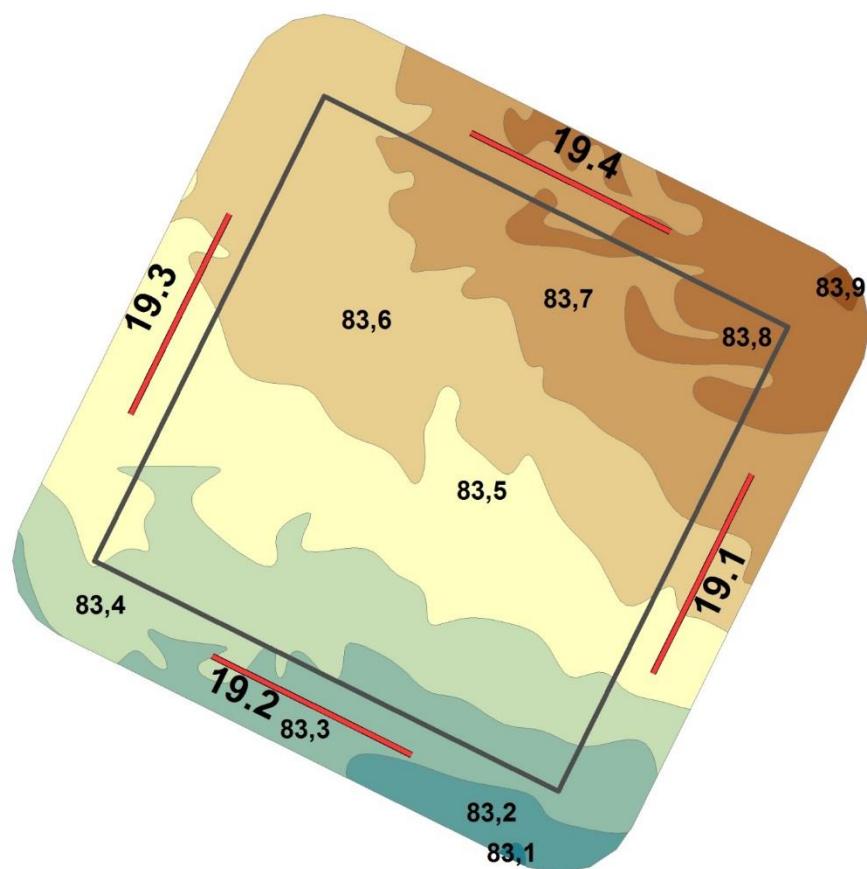


Abbildung 4.37: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF19 (19.1-4).

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.47: Bedingungen während der Probenentnahme (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	13.03.2018
	Beginn 09:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	3,8 °C Bodenoberfläche
	5,2 °C in 10 cm Tiefe
	mäßige Niederschläge in den letzten 24 h
	1 bis 3 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	feucht, steif, Krümelgefüge, Subpolyedergefüge, nicht verschlämmt, Fahrspur mäßig verschlämmt
Kulturzustand	Winterraps, Blattentwicklung
	keine Bodenbearbeitung erkennbar
	keine Düngergabe erkennbar
Sonstiges	

4.10.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF19 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche überwiegend zum Anbau von Winterweizen, Winterraps und Braugerste mit eingeschaltetem Mais und Zuckerrübe genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.48 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft und weist im Gesamtvergleich einen der geringeren C_{org} -Gehalte auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist im Gesamtvergleich sehr gering, ist jedoch ausreichend hoch um durch das enge C_{org}/N_t -Verhältnis eine sehr hohe Humusqualität zu liefern. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist von allen BDF der geringste und setzt sich zu etwa einem Viertel aus Ammonium und zu etwa drei Vierteln aus Nitrat zusammen. Nitrit wurde nicht nachgewiesen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens zählt im Gesamtvergleich zu den höchsten und wird als mittel hoch eingestuft. Der Boden-pH liegt im schwach sauren Bereich und ist damit im Vergleich aller BDF unterdurchschnittlich hoch.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF19 befinden sich in der Tabelle 4.49. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, ist im Gesamtvergleich jedoch die niedrigste aller BDF. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) als deutlich unterdurchschnittlich hoch zu bezeichnen. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) liegt deutlich unter dem Gesamtdurchschnitt und wird als niedrig eingestuft. Die gemessene Basalatmung (R_{B-Hein}) ist die insgesamt niedrigste. Die Argininammonifikation (ARG) ist unterdurchschnittlich hoch und wird als sehr niedrig eingestuft. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) liegt unter dem Gesamtdurchschnitt, wird insgesamt jedoch als sehr hoch eingestuft. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist leicht unterdurchschnittlich hoch und als sehr niedrig einzustufen. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entspricht der Einstufung als mittel hoch. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) liegt dagegen unter dem Durchschnitt aller BDF und ist als niedrig einzustufen.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.48: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF19 (Mörel). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,2 ± 0,2	3,8 ± 0,4	0,9 ± 0,1	0,0 ± 0,0	2,9 ± 0,4

Bodenhorizont	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	$N_{min} / Fläche$	$N_{min} / Fläche$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	4800 ± 104	524 ± 20	1,7 ± 0,2	17,3 ± 1,7	1,5 ± 0,0	205 ± 8	5,7 ± 0,2

Tabelle 4.49: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF19 (Mörel). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$C_{mic-CFE} / C_{org}$	$C_{mic-SIR} / C_{org}$
Ap bis -30	302 ± 20	182 ± 25	24 ± 5	0,2 ± 0,0	1,6 ± 0,1	2,9 ± 0,2	1,7 ± 0,2

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	138 ± 10	83 ± 11	11 ± 2	90 ± 9	725 ± 47	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,2

4.10.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.38. Der Boden-pH zeigte leichte Änderungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Im Jahr 1995 befand sich dieser im schwach sauren Bereich und stieg zum Jahr 1998 um 0,2 Einheiten an. Zwischen 2001 und 2018 schwankte der pH jeweils abwechselnd, verblieb jedoch stets im schwach sauren Bereich. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) variierte ebenfalls. In den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 befand sich der C_{org} -Gehalt auf dem bisher höchsten Niveau innerhalb der mittel humosen Humusklasse und sank zum Jahr 2001 um ein Drittel. Bis zum Untersuchungsjahr 2018 verblieb der C_{org} -Gehalt auf dem Niveau der schwach humosen Humusklasse.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) erfuhr deutliche Veränderungen im gesamten Untersuchungszeitraum. Ausgehend von einem recht niedrigen $C_{mic-CFE}$ -Gehalt erhöhte sich die mikrobielle Biomasse zwischen den Jahren 1995 und 1998 um etwa 25 %. Bis zum Untersuchungsjahr 2010 sank die mikrobielle Biomasse unter das Niveau des Jahres 1995 auf den niedrigsten Stand. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2015 verdreifachte sich die mikrobielle Biomasse auf den bisher gemessenen Höchststand. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 reduzierte sich der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt um etwa ein Drittel. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) entwickelte sich mit Ausnahme des Jahres 1998 in gleicher Weise.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nahm zunächst zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 um etwa 50 % auf den bisherigen Höchstwert zu. Zum Jahr 2010 erfolgte eine Abnahme der $C_{mic-SIR}$ auf das insgesamt niedrigste Niveau. Bis zum Untersuchungsjahr 2015 stieg die $C_{mic-SIR}$ um etwa 50 % an. Es folgte jedoch ein Rückgang um etwa ein Drittel zum Untersuchungsjahr 2018. Die gleiche Entwicklung nahm auch der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2010 übertrafen die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte teilweise sehr deutlich.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte im Zeitraum 1998 bis 2001 eine leichte Abnahme um etwa 20 % (Abbildung 4.39). Zum Jahr 2005 kehrte die Basalatmung auf das vorherige Niveau zurück, welches bis zum Untersuchungsjahr 2010 erhalten blieb. Zum Jahr 2015 ging die Basalatmung erneut um 20 % zurück und setzte die abnehmende Tendenz auch zum Untersuchungsjahr 2018 fort. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) entwickelte sich zunächst deutlich zunehmend zwischen den Jahren 1998 und 2005. Zum Jahr 2010 wurde der Höchstwert gehalten, es folgte jedoch eine sehr starke Abnahme des $Q_{met-CFE}$ zum Jahr 2015. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 blieb der metabolische Quotient nahezu unverändert.

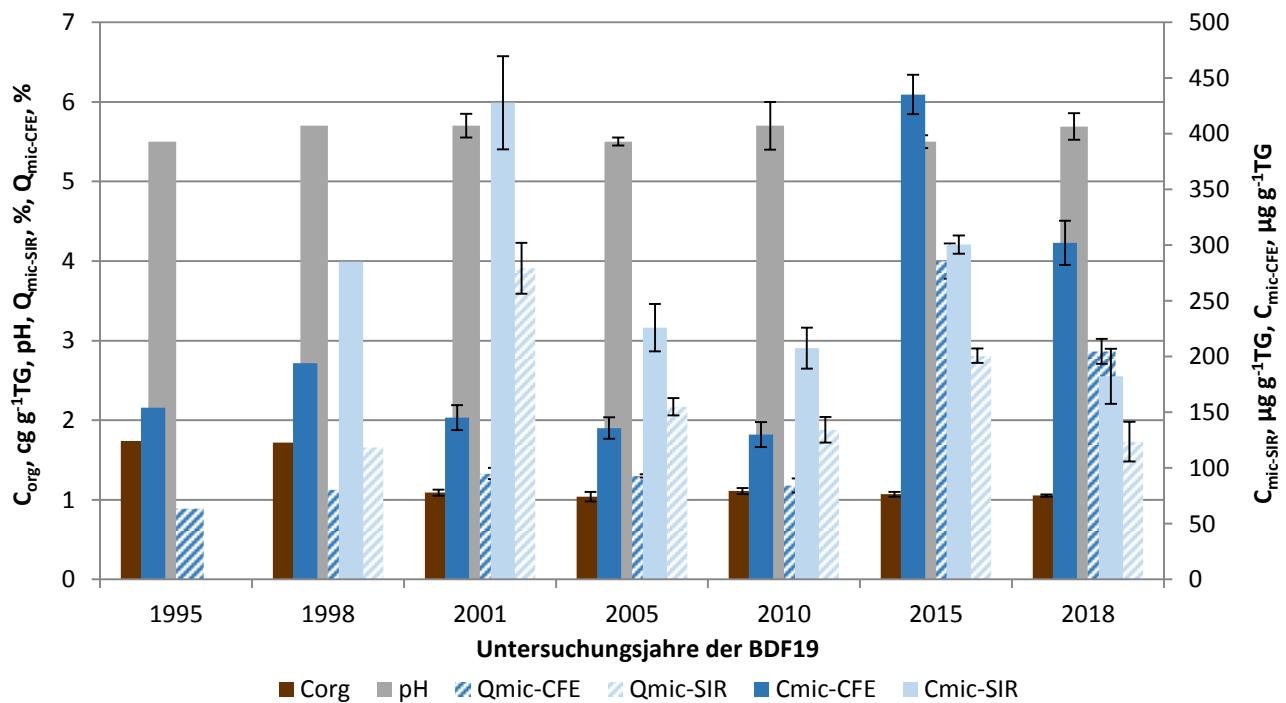


Abbildung 4.38: Ergebnisse der BDF19 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

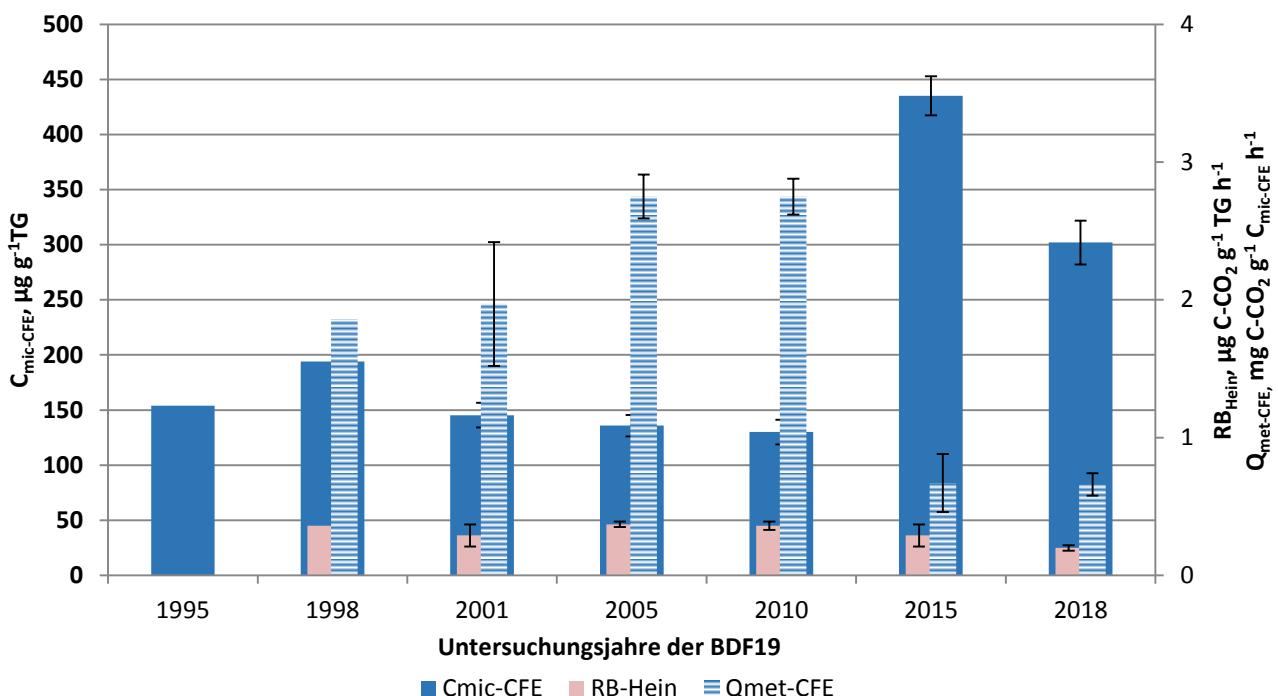


Abbildung 4.39: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF19 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_B-Hein) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.40 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der N_{min} -Gehalt von einem anfänglichen Höchststand im Untersuchungsjahr 1995 bis zum Jahr 2001 kontinuierlich um insgesamt etwa 80 % gesunken ist. Zum Jahr 2005 zeigte der N_{min} -Gehalt lediglich einen leichten Anstieg, welchem erneut ein Rückgang um ca. 80 % auf den bisher niedrigsten Stand folgte. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der N_{min} -Gehalt auf mehr als das Doppelte an und nahm auch zum Jahr 2018 leicht zu. Die Argininammonifikation zeigte in der zeitlichen Entwicklung zunächst einen Rückgang vom Höchststand des Jahres 1995 um etwa ein Viertel zum Jahr 1998. Zum Jahr 2001 stieg die ARG auf ein höheres Niveau an, erreichte den Stand von 1995 jedoch nicht. Zum Untersuchungsjahr 2005 sank die ARG um mehr als 60 % und behielt diesen Stand in den folgenden Untersuchungsjahren 2010, 2015 und 2018 weitgehend bei.

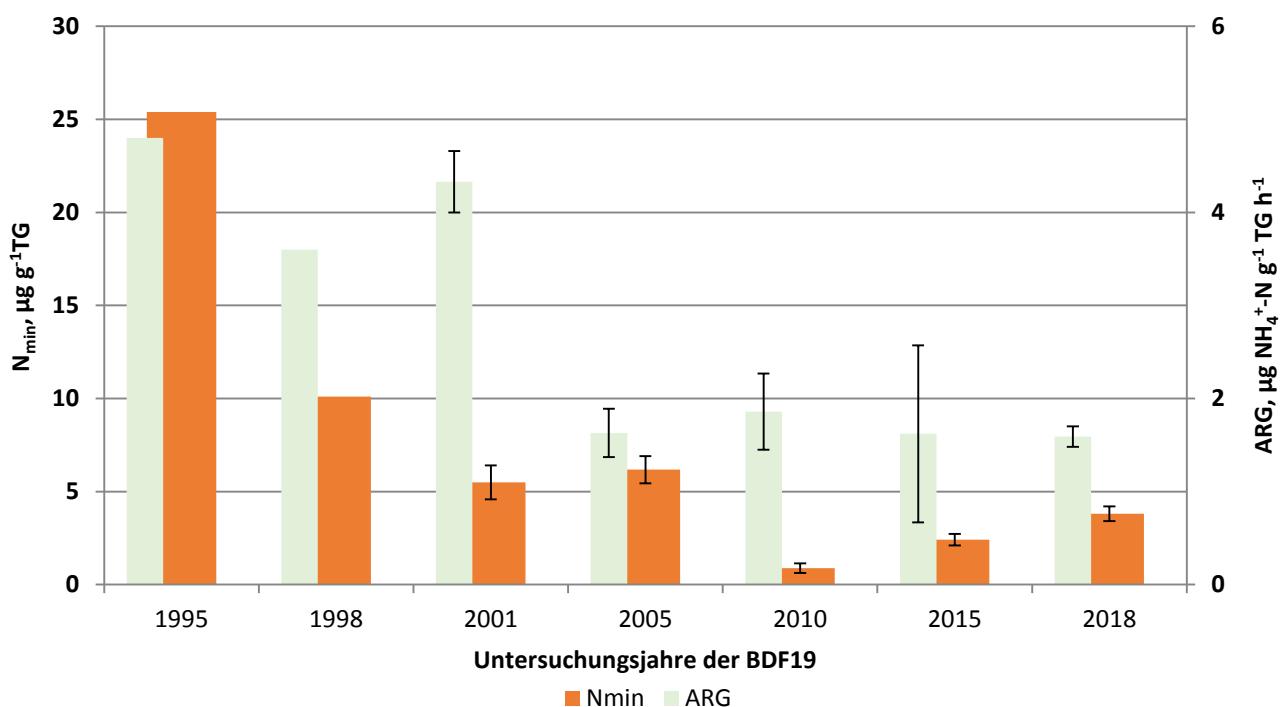


Abbildung 4.40: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF19.

Tabelle 4.50: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF19. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
1995	Ap bis -30	154 ± n.b.	n.b. ± n.b.	25 ± n.b.	n.b. ± n.b.	4,8 ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,7 ± n.b.	0,1 ± n.b.	14,8 ± n.b.	25,4 ± n.b.	
1998	Ap bis -30	194 ± n.b.	285 ± n.b.	58 ± n.b.	0,4 ± n.b.	3,6 ± n.b.	1,9 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,7 ± n.b.	0,1 ± n.b.	15,6 ± n.b.	10,1 ± n.b.
2001	Ap bis -30	145 ± 11	428 ± 42	20 ± 7	0,3 ± 0,1	4,3 ± 0,3	2,0 ± 0,5	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,0 ± 1,4	5,5 ± 0,9
2005	Ap bis -30	136 ± 10	226 ± 21	23 ± 2	0,4 ± 0,0	1,6 ± 0,3	2,8 ± 0,2	1,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	11,0 ± 0,5	6,2 ± 0,7
2010	Ap bis -30	130 ± 11	208 ± 18	n.b. ± n.b.	0,4 ± 0,0	1,9 ± 0,4	2,8 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,7 ± 0,2	0,9 ± 0,3
2015	Ap bis -30	435 ± 18	301 ± 8	25 ± 3	0,3 ± 0,1	1,6 ± 1,0	0,7 ± 0,2	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,2 ± 0,2	2,4 ± 0,3
2018	Ap bis -30	302 ± 20	182 ± 25	24 ± 5	0,2 ± 0,0	1,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,2 ± 0,2	3,8 ± 0,4

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,9 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,5 ± n.b.
1998	Ap bis -30	87 ± n.b.	128 ± n.b.	26 ± n.b.	162 ± n.b.	1620 ± n.b.	1,1 ± n.b.	1,7 ± n.b.	45,5 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,7 ± n.b.
2001	Ap bis -30	71 ± n.b.	210 ± n.b.	10 ± n.b.	142 ± n.b.	2128 ± n.b.	1,3 ± 0,1	3,9 ± 0,3	27,1 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,7 ± 0,2
2005	Ap bis -30	59 ± n.b.	98 ± n.b.	10 ± n.b.	162 ± n.b.	707 ± n.b.	1,3 ± 0,0	2,2 ± 0,1	26,9 ± n.b.	4537 ± n.b.	413 ± n.b.	5,5 ± 0,1
2010	Ap bis -30	56 ± n.b.	90 ± n.b.	n.b. ± n.b.	155 ± n.b.	805 ± n.b.	1,2 ± 0,1	1,9 ± 0,2	3,8 ± n.b.	4774 ± n.b.	494 ± n.b.	5,7 ± 0,3
2015	Ap bis -30	206 ± 8	142 ± 4	12 ± 1	138 ± 40	757 ± 443	4,0 ± 0,2	2,8 ± 0,1	11,5 ± 0,1	5061 ± 150	552 ± 14	5,5 ± 0,1
2018	Ap bis -30	138 ± 10	83 ± 11	11 ± 2	90 ± 9	725 ± 47	2,9 ± 0,2	1,7 ± 0,2	17,3 ± 1,7	4800 ± 104	524 ± 20	5,7 ± 0,2

4.10.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Zwischen den abiotischen Standortfaktoren und der Bodenmikrobiologie zeigen sich in sieben Fällen statistisch signifikante Korrelationen. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) korreliert dabei mit dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = 0,889$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie mit der Trockenrohdichte des Bodens ($r = 0,950$, $p < 0,05$, $N = 5$). Höhere $C_{mic-SIR}$ -Gehalte waren somit bei höher verdichtetem und stickstoffreicherem Boden vorzufinden. Auch der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) korreliert auf diese Weise mit der Trockenrohdichte ($r = 0,889$, $p < 0,05$, $N = 5$). Bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigen sich jedoch negative Korrelationen mit dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = -0,912$, $p < 0,05$, $N = 5$) und der Trockenrohdichte ($r = -0,937$, $p < 0,05$, $N = 5$). So traten in den Jahren mit höher verdichtetem und stickstoffreicherem Boden niedrigere Basalatmungsraten auf. Aus beiden mikrobiologischen Parametern ergibt sich der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$), welcher ebenfalls mit dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = -0,905$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie mit der Trockenrohdichte des Bodens ($r = -0,987$, $p < 0,01$, $N = 5$) korreliert. Somit stieg die Effizienz der Substratverwertung mit zunehmender Bodenverdichtung sowie mit höheren Gesamtstickstoffgehalten.

4.10.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es besteht eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) und den Niederschlagshöhen der jeweils vergangenen Hauptvegetationsperioden ($r = 0,915$, $p < 0,05$, $N = 5$). Höhere $N_{mic-CFE}$ -Gehalte traten somit nach niederschlagsreichenen Hauptvegetationsperioden auf. Weitere signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Dies zeigte sich ebenso bei der aktuellen Untersuchung 2018, wobei der sehr starke Anstieg der Jahresniederschlagssummen zum Vorjahr 2017 mit einer deutlichen Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse, jedoch auch der gesamten mikrobiellen Biomasse verbunden war.

4.10.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort weist im aktuellen Gesamtvergleich eine eher unterdurchschnittliche bodenmikrobiologische Aktivität in Bezug auf die gesamte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$). Bezogen auf die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigt sich eine höhere Aktivität als im Gesamtdurchschnitt. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen der Trockenrohdichte durch die größtenteils tiefe Bodenbearbeitung sowie Veränderungen im Gesamtstickstoffgehalt (N_t) durch regelmäßige Stickstoffgaben und organische Dünger nahmen im gesamten Untersuchungszeitraum wie im Abschnitt 4.10.4 beschrieben Einfluss auf die Aktivität der glucoseaktivierten

mikrobiellen Biomasse. Deren Effizienz bei der Substratverwertung war bei eher stickstoffreicher und dichter gelagerten Böden höher.

Die Ernteerträge von Winterweizen waren in der Vergangenheit unterdurchschnittlich hoch, die Ernteerträge von Mais lagen dagegen im Durchschnitt. Jeweils direkt vor den Untersuchungsjahren 1995, 1998, 2001 und 2005 wurde die Ackerfläche zum Anbau von Zuckerrüben genutzt, deren höchster Ernteertrag im Jahr 2000 lag. Bei der darauffolgenden Untersuchung im Jahr 2001 wurde auch der höchste Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse gemessen. Die sehr niedrigen bis niedrigen metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$ und $Q_{\text{met-SIR}}$) im Jahr 2015 weisen darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden aktuell lediglich als geringe Störungen und Stressoren gewirkt haben. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Die gegenüber dem Jahr 2014 deutlich höhere Zufuhr mineralischer und organischer Nährstoffe zeigte bei den Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$ und $C_{\text{mic-SIR}}$) keinen Impuls zum Wachstum.

4.10.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2005 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Als Pflanzengesellschaft wurde zuletzt *Veronica agrestis-Fumarietum* ausgewiesen. Zwischen den Jahren 1994 und 1997 wurde eine Abnahme der Artenzahl sowie eine Zunahme der Reaktions-, Feuchte- und Stickstoffzahlen beobachtet. Im Zeitraum 1995 bis 1998 nahmen die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zu und die Argininammonifikation (ARG) ab.

4.10.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen wurde zwischen den Jahren 2003 und 2009 ein deutlicher Anstieg in der Regenwurm-Biomasse sowie in der Abundanz der Regen- und Kleinringelwürmer beobachtet. Bei der Bodenmikrobiologie zeigte sich im Zeitraum der Jahre 2001 bis 2010 ein geringfügiger Rückgang der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) sowie eine deutliche Abnahme im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$).

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für sandige Ackerstandorte sehr hohe bis extrem hohe Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie niedrige Kleinringelwurmabundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als *Fridericio-Lumbricetum* eingestuft. Dabei war jedoch ein überdurchschnittlich hoher Anteil r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer zu verzeichnen. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der relativen Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{\text{mic-SIR}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) insgesamt auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin. Dabei zeigten die r-strategischen Mikroorganismen anhand der niedrigen metabolischen Quotienten geringe Störungen an.

4.11 BDF23 Bokhorst

4.11.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.51: Temperatur und Niederschlag der BDF23 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	12	192	
	11	6,1	126	
	12	3,9	130	
2018	1	3,3	151	
	2	-0,8	28	
	3	1,7	49	

Grundwasserstände fehlen

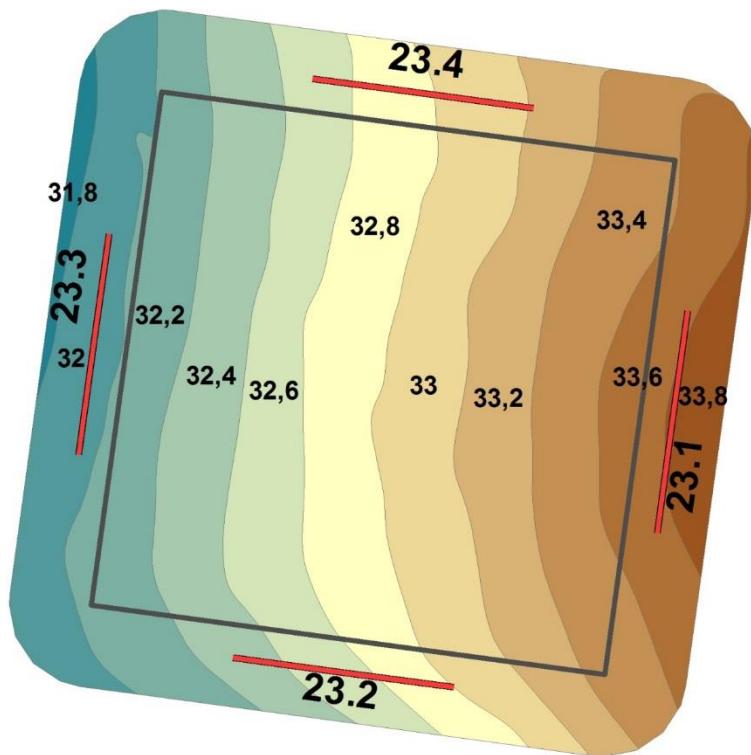


Abbildung 4.41: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF23 (23.1-4).

Tabelle 4.52: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF23 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	03.04.2018 Beginn 13:00 Uhr
Witterungsverhältnisse	14,7 °C Bodenoberfläche 6,7 °C in 10 cm Tiefe extrem niederschlagsreich/Schneeschmelze 2 bis 3 Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	schwach feucht, halbfest, Rissgefüge, nicht verschlämmt
Kulturzustand	Roggen, Blattentwicklung keine Bodenbearbeitung erkennbar Mineraldünger und Gülle vor längerer Zeit
Sonstiges	

4.11.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF23 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche zum Anbau von Mais, Getreide und Winterraps genutzt wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.53 dargestellt. Der mineralische Oberboden wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als stark humos eingestuft und besitzt nach BDF09 den zweithöchsten Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}) aller untersuchten BDF. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt zwar geringfügig über dem Durchschnitt, reicht jedoch lediglich für eine hohe Humusqualität aus, welche durch das dritthöchste C_{org}/N_t -Verhältnis aller BDF gekennzeichnet ist. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) zählt im Gesamtvergleich zu den überdurchschnittlich hohen N_{min} -Gehalten. Dieser setzt sich zu etwa 48 % aus Ammonium und zu etwa 52 % aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als niedrig eingestuft und zählt auch im Gesamtvergleich zu den niedrigeren Trockenrohdichten. Der Boden-pH ist durchschnittlich hoch und stuft den Boden als schwach sauer ein.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF23 befinden sich in der Tabelle 4.54. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft und bildet den Mittelwert aller BDF ab. Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) liegt dagegen leicht unter dem Gesamtdurchschnitt. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft und zählt damit zu den im Gesamtvergleich eher durchschnittlich hohen Gehalten. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) liegt leicht unter dem Gesamtdurchschnitt. Die Argininammonifikation (ARG) liegt im Durchschnitt, wird jedoch als niedrig eingestuft. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) weist bei der Einstufung als hoch im Gesamtvergleich einen der niedrigsten Werte auf. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) liegt leicht unter dem Durchschnitt aller BDF. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als niedrig eingestuft und liegt weit unter dem Gesamtdurchschnitt. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) liegt unter dem Durchschnitt aller BDF, wird jedoch als mittel hoch eingestuft.

Tabelle 4.53: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF23 (Bokhorst). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	2,4 ± 0,2	0,2 ± 0,0	12,1 ± 0,5	21,7 ± 2,5	10,4 ± 2,4	0,0 ± 0,0	11,3 ± 1,0

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	9426 ± 605	777 ± 38	8,5 ± 0,8	84,7 ± 8,3	1,3 ± 0,0	218 ± 29	6,0 ± 0,1

Tabelle 4.54: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF23 (Bokhorst). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	470 ± 109	238 ± 35	29 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,5	1,0 ± 0,1

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C}$ $\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+\text{-N}$ $\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	R_{B-Hein} / C_{mic-} CFE	R_{B-Hein} / C_{mic-} SIR
Ap bis -30	183 ± 40	93 ± 12	11 ± 2	125 ± 9	909 ± 26	0,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2

4.11.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.42. Der Boden-pH zeigte lediglich leichte Änderungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. In den Jahren 1995 bis 2005 befand sich dieser recht konstant im schwach sauren Bereich und stieg zum Jahr 2010 über den Grenzwert zum sehr schwach sauren Bereich. Zum Jahr 2015 sank der pH geringfügig in den schwach sauren Bereich und verblieb dort auch im Jahr 2018. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) wies im Untersuchungsjahr 1995 den Höchstwert auf und befand sich innerhalb der Humuskategorie stark humos. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr nahm der C_{org} -Gehalt um ein Fünftel ab und unterschritt die Grenze zur mittel humosen Humuskategorie. Zum Jahr 2001 stieg der C_{org} -Gehalt erneut in den stark humosen Bereich und verblieb in etwa auf diesem Niveau bis zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte zunächst eine Zunahme um etwa 50 % zwischen den Jahren 1995 und 1998. Zum Untersuchungsjahr 2001 erfolgte eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse auf etwa den Stand des Jahres 1995. Auf diesem Niveau verblieb die $C_{mic-CFE}$ bis zum Jahr 2010. Zum Untersuchungsjahr 2015 verdreifachte sich der Gehalt der mikrobiellen Biomasse auf den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2018 erfolgte lediglich ein leichter Rückgang des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes. Den gleichen Verlauf zeigte ebenso der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$).

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigte eine andere Entwicklung. Zwischen den Jahren 1998 und 2001 stieg der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt um etwa 30 % auf den bisherigen Höchststand an. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2005 halbierte sich der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse und verblieb auf diesem Niveau bis zum Jahr 2010. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg die $C_{mic-SIR}$ um etwa 25 % an, ging zum Jahr 2018 jedoch erneut zurück. Mit Ausnahme der Jahre 2015 und 2018 war die $C_{mic-SIR}$ stets höher als die $C_{mic-CFE}$. Die Entwicklung des mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) verlief analog zur $C_{mic-SIR}$.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zeigte ihren Höchstwert im Untersuchungsjahr 1998 (Abbildung 4.43). Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2001 reduzierte sich die R_{B-Hein} um etwa ein Drittel. Dieses Niveau der Basalatmung blieb bis zum Jahr 2010 erhalten. Zum Jahr 2015 nahm die R_{B-Hein} nur geringfügig zu, und zeigte anschließend einen Rückgang auf das Niveau der Vorjahre. Bei dem metabolischen Quotienten der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) zeigte sich zwischen den Jahren 1998 und 2010 ein stetiger Anstieg auf den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2015 nahm der metabolische Quotient um mehr als die Hälfte ab und verblieb auf dem Niveau bis zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018.

4. Ergebnisse und Diskussion

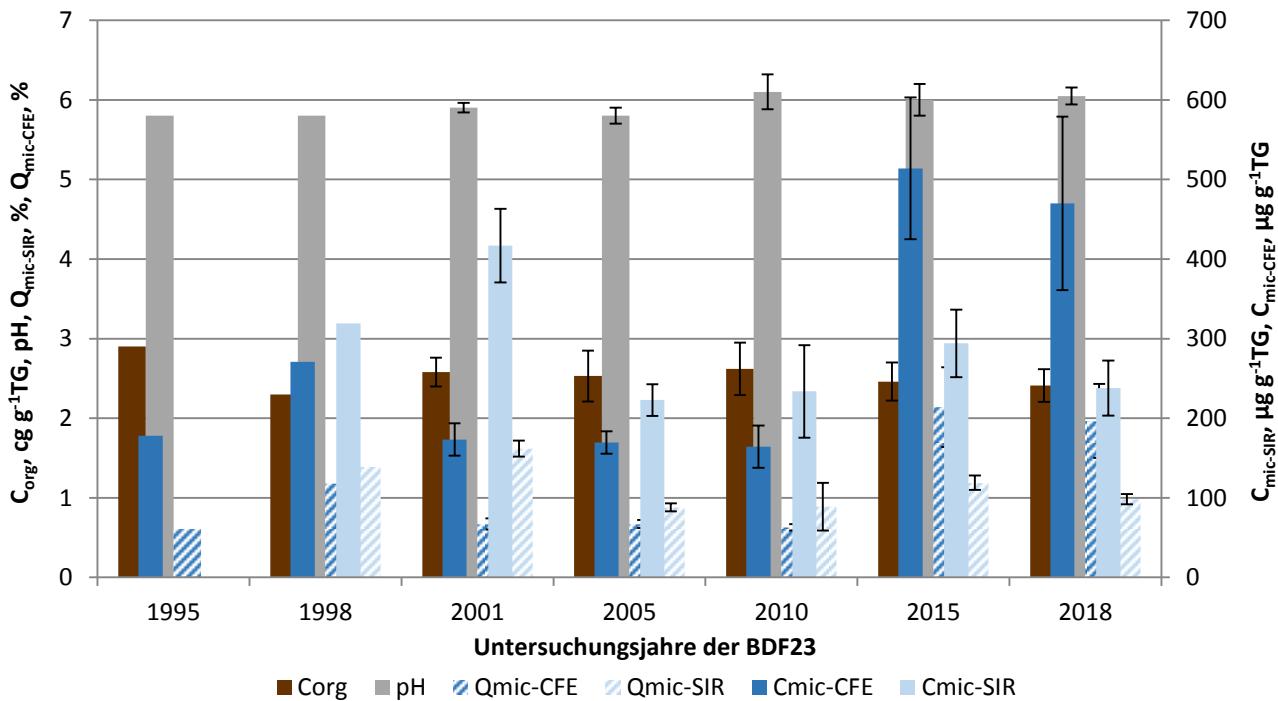


Abbildung 4.42: Ergebnisse der BDF23 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

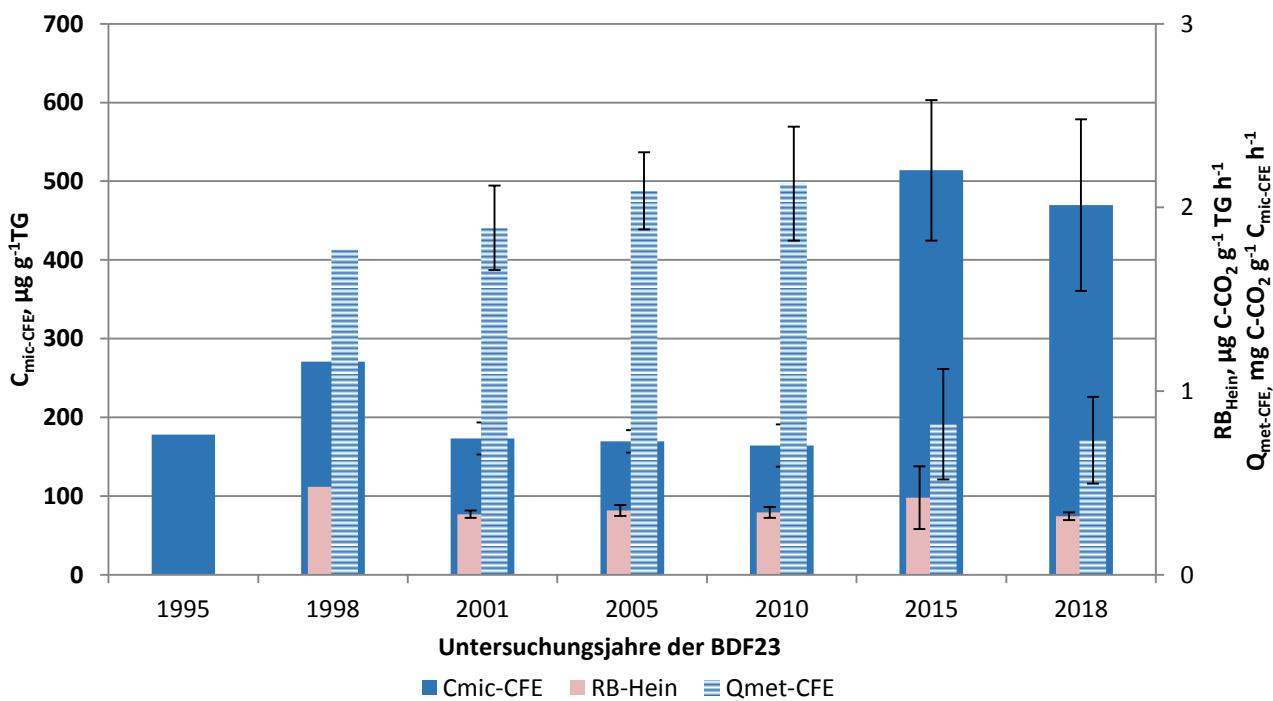


Abbildung 4.43: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF23 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.44 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der höchste N_{min} -Gehalt im Untersuchungsjahr 1995 gemessen wurde. Zum Untersuchungsjahr 2001 reduzierte sich der N_{min} -Gehalt um mehr als 80 %. Zum Jahr 2005 stieg der Gehalt des mineralischen Stickstoffs auf mehr als das Dreifache an. Diesem Anstieg folgte erneut ein deutlicher Rückgang zum Jahr 2015 um insgesamt etwa 85 %. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 stieg der N_{min} -Gehalt um mehr als das Fünffache an. Die Argininammonifikation stieg zwischen 1995 und 1998 zunächst auf ihren bisherigen Höchststand an. Im weiteren Verlauf nahm die ARG ab und halbierte sich insgesamt zwischen den Jahren 1998 und 2005. In den folgenden Untersuchungsjahren 2010, 2015 und 2018 blieb die ARG mit leichten Schwankungen auf diesem Niveau.

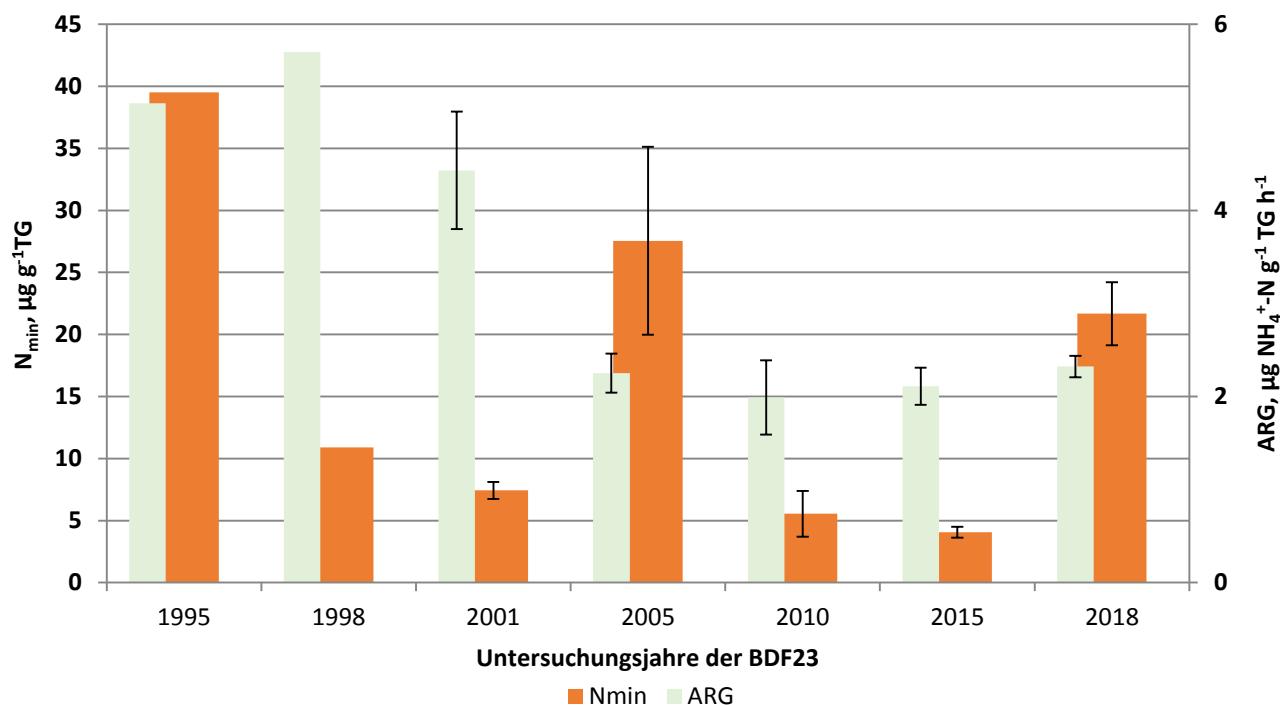


Abbildung 4.44: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF23.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.55: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF23. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelle und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
			TG	TG	TG	C mg^{-1}	mg^{-1}	C mg^{-1}	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	178 ± n.b.	n.b. ± n.b.	24 ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	2,9 ± n.b.	0,2 ± n.b.	17,5 ± n.b.	39,5 ± n.b.
1998	Ap bis -30	271 ± n.b.	319 ± n.b.	47 ± n.b.	0,5 ± n.b.	5,7 ± n.b.	1,8 ± n.b.	1,5 ± n.b.	2,3 ± n.b.	0,2 ± n.b.	14,4 ± n.b.	10,9 ± n.b.
2001	Ap bis -30	173 ± 20	417 ± 46	33 ± 8	0,3 ± 0,0	4,4 ± 0,6	1,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	2,6 ± 0,2	0,2 ± 0,0	12,6 ± 0,7	7,4 ± 0,7
2005	Ap bis -30	170 ± 14	223 ± 20	31 ± 7	0,4 ± 0,0	2,3 ± 0,2	2,1 ± 0,2	1,6 ± 0,1	2,5 ± 0,3	0,2 ± 0,0	15,2 ± 0,5	27,6 ± 7,6
2010	Ap bis -30	164 ± 27	234 ± 58	n.b. ± n.b.	0,3 ± 0,0	2,0 ± 0,4	2,1 ± 0,3	1,6 ± 0,6	2,6 ± 0,3	0,2 ± 0,0	13,8 ± 0,2	5,6 ± 1,8
2015	Ap bis -30	514 ± 89	294 ± 42	37 ± 9	0,4 ± 0,2	2,1 ± 0,2	0,8 ± 0,3	1,2 ± 0,3	2,5 ± 0,2	0,2 ± 0,0	13,1 ± 0,2	4,1 ± 0,4
2018	Ap bis -30	470 ± 109	238 ± 35	29 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	0,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	2,4 ± 0,2	0,2 ± 0,0	12,1 ± 0,5	21,7 ± 2,5

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	0,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,8 ± n.b.
1998	Ap bis -30	105 ± n.b.	123 ± n.b.	18 ± n.b.	186 ± n.b.	2206 ± n.b.	1,2 ± n.b.	1,4 ± n.b.	42,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,8 ± n.b.
2001	Ap bis -30	71 ± n.b.	170 ± n.b.	14 ± n.b.	133 ± n.b.	1805 ± n.b.	0,7 ± 0,1	1,6 ± 0,1	30,3 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,9 ± 0,1
2005	Ap bis -30	62 ± n.b.	82 ± n.b.	11 ± n.b.	129 ± n.b.	824 ± n.b.	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1	100,8 ± n.b.	9271 ± n.b.	613 ± n.b.	5,8 ± 0,1
2010	Ap bis -30	61 ± n.b.	86 ± n.b.	n.b. ± n.b.	127 ± n.b.	733 ± n.b.	0,6 ± 0,0	0,9 ± 0,3	20,5 ± n.b.	9649 ± n.b.	699 ± n.b.	6,1 ± 0,2
2015	Ap bis -30	237 ± 41	136 ± 20	17 ± 4	193 ± 76	942 ± 78	2,1 ± 0,5	1,2 ± 0,1	18,8 ± 0,2	11347 ± 1088	865 ± 80	6,0 ± 0,2
2018	Ap bis -30	183 ± 40	93 ± 12	11 ± 2	125 ± 9	909 ± 26	2,0 ± 0,5	1,0 ± 0,1	84,7 ± 8,3	9426 ± 605	777 ± 38	6,0 ± 0,1

4.11.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es bestehen drei statistisch signifikante Korrelationen zwischen bodenmikrobiologischen Parametern und abiotischen Standortfaktoren. Dabei zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen der Basalatmung (R_{B-Hein}) und dem Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org} , $r = -0,967$, $p < 0,01$, $N = 5$). Mit zunehmendem C_{org} -Gehalt nahm die Basalatmung signifikant ab. Weitere Korrelationen zeigen sich bei der Trockenrohdichte des Bodens. Diese korreliert mit dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$, $r = 0,890$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie mit dem metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$, $r = -0,954$, $p < 0,05$, $N = 5$). Daraus resultiert, dass die mikrobielle Biomasse bei steigender Bodenverdichtung zunahm und sich die Effizienz der Substratverwertung erhöhte.

4.11.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Dies zeigt sich ebenso bei der aktuellen Untersuchung 2018, wobei die sehr starke Zunahme der Jahresniederschlagssummen zum Vorjahr 2017 (gegenüber 2014) eine Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nach sich zog.

4.11.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort zeigt anhand der aktuellen Untersuchungsergebnisse eine durchschnittliche bis leicht unterdurchschnittliche bodenmikrobiologische Aktivität. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen im C_{org} -Gehalt durch regelmäßige organische Düngung sowie Änderungen der Trockenrohdichte durch größtenteils mitteltiefe bis tiefe Bodenbearbeitung wirkten sich über den gesamten Untersuchungszeitraum wie im Abschnitt 4.11.6 beschrieben auf den Gehalt und auf die Effizienz der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{met-CFE}$) aus. Aktuell weisen die sehr geringen bis geringen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden lediglich als geringe Störungen des Bodenökosystems gewirkt haben. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht auf einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückführen. Gegenüber dem Jahr 2014 wurde im Jahr 2017 die Stickstoffzufuhr um etwa die Hälfte reduziert, was möglicherweise zu der Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse beitrug.

4.11.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2005 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Die Pflanzengesellschaft wurde als *Stellarietea mediae* angesprochen. Zuletzt wurde zwischen den Jahren 1996 und 1999 eine Zunahme der Arten- und Reaktionszahlen bei etwa gleichbleibenden Feuchte- und Stickstoffzahlen beobachtet. Bodenmikrobiologisch ereigneten sich zwischen den Jahren 1995 und 1998 eine Zunahme im Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie ein Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.11.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

In den vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen wurde zwischen den Jahren 2003 und 2009 ein deutlicher Anstieg in der Regenwurm-Biomasse und -Abundanz verzeichnet. Zudem zeigte sich eine deutliche Abnahme in der Abundanz der Kleinringelwürmer zwischen den Jahren 2002 und 2009. Bodenmikrobiologisch stagnierte der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zwischen den Jahren 2001 und 2010. Bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) ereignete sich hingegen ein Rückgang der zwischen 2001 und 2005. Die Ammonifikationsraten (ARG) entwickelten sich rückläufig zwischen 2001 und 2010.

Die letzte bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2017, wobei für sandige Ackerstandorte durchschnittlich hohe Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie niedrige Kleinringelwurmabundanzen vorgefunden wurden. Die Zersetzergesellschaft wurde als Fridericio-Enchytraeetum im Übergang zum Fridericio-Lumbricetum eingestuft. Dabei war jedoch ein unterdurchschnittlich hoher Anteil r-strategischer, störungsanzeigender Kleinringelwürmer zu verzeichnen. Die Bodenmikrobiologie deutet aufgrund der relativen Abnahme r-strategischer Mikroorganismen (glucoseaktivierte Mikroorganismen, $C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) insgesamt auf eine Verschiebung zu einer K-strategischen Mikroorganismengesellschaft hin. Dabei zeigten die r-strategischen Mikroorganismen anhand der mittel hohen metabolischen Quotienten mäßige Störungen an.

4.12 BDF27 Tankenrade

4.12.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.56: Temperatur und Niederschlag der BDF27 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,7	143	
	11	5,9	77	
	12	3,8	77	
2018	1	3,1	104	
	2	-1,1	25	
	3	1,2	67	

Grundwasserstände fehlen

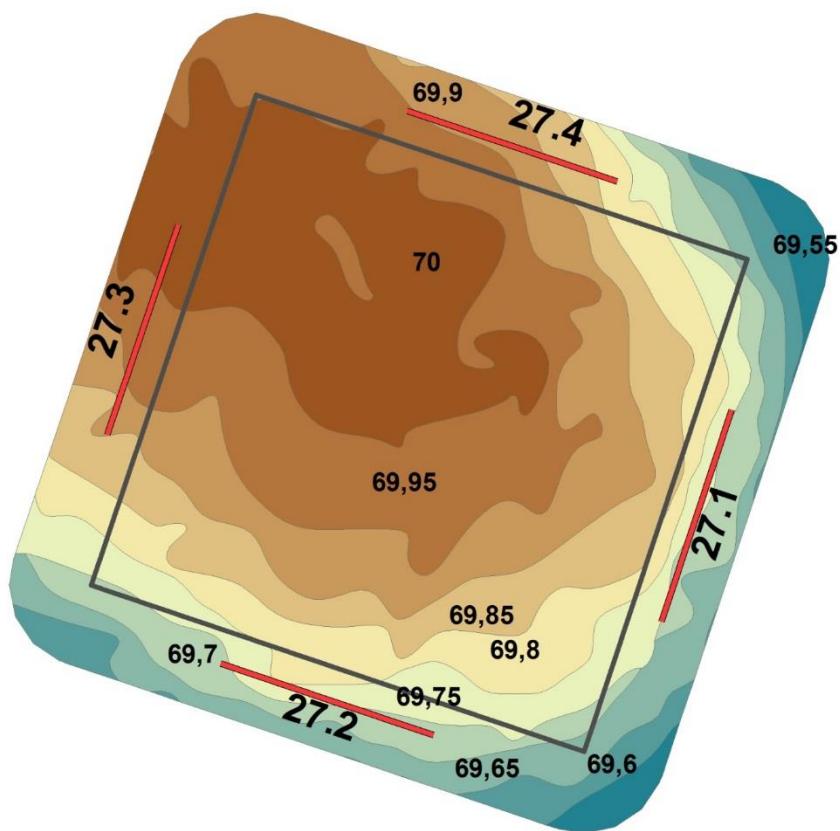


Abbildung 4.45: Lage der Probenahmestellen an der BDF27 (27.1-4).

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.57: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF27 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	10.04.2018 Beginn 08:15 Uhr
Witterungsverhältnisse	9,8 °C Bodenoberfläche 9,2 °C in 10 cm Tiefe keine Niederschläge in den letzten 24 h mehrere Tage ohne Frost
Bodenbeschaffenheit	schwach feucht, halbfest, Rissgefüge, sehr schwach verschlämmt
Kulturzustand	Winterraps, Auflaufen bis Blattentwicklung keine Bodenbearbeitung erkennbar
	Düngung nicht erkennbar
Sonstiges	Noch keine Fahrspuren

4.12.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF27 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche für den Anbau von Winterweizen genutzt wird, in den vereinzelt der Anbau von Winterraps eingeschaltet wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.58 dargestellt. Der mineralische Oberboden der BDF27 wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) zählt jedoch zu den geringeren im Gesamtvergleich. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt geringfügig unter dem Gesamtdurchschnitt, durch den geringen C_{org} -Gehalt ergibt sich jedoch ein enges C_{org}/N_t -Verhältnis, aus dem eine sehr hohe Humusqualität resultiert. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) zählt im Gesamtvergleich zu den niedrigsten und setzt sich zu etwa 97 % aus Nitrat und zu etwa 3 % aus Ammonium zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als mittel hoch eingestuft, und liegt im Durchschnitt aller BDF. Der Boden-pH ist leicht überdurchschnittlich und im sehr schwach sauren Bereich.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF27 befinden sich in der Tabelle 4.59. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, weist im Gesamtvergleich dennoch einen deutlich unterdurchschnittlichen Wert auf. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) liegt leicht unter dem Gesamtdurchschnitt aller BDF. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) zählt zu den geringeren Basalatmungswerten im Gesamtvergleich. Die Argininammonifikation (ARG) liegt leicht über dem Durchschnitt, wird jedoch absolut als niedrig eingestuft. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) liegt im Durchschnitt und wird als sehr hoch eingestuft. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) entspricht der Einstufung als sehr niedrig. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als hoch eingestuft. Der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) wird als niedrig eingestuft und weist insgesamt den niedrigsten Wert auf.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.58: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF27 (Tankenrade). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,3	5,7 ± 0,4	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	5,6 ± 0,4

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wasser gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	4487 ± 292	559 ± 34	2,4 ± 0,2	24,0 ± 2,4	1,4 ± 0,0	164 ± 2	6,2 ± 0,1

Tabelle 4.59: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF27 (Tankenrade). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des Weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$C_{mic-CFE} / C_{org}$	$C_{mic-SIR} / C_{org}$
Ap bis -30	403 ± 21	263 ± 11	28 ± 2	0,3 ± 0,0	2,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	169 ± 14	110 ± 8	12 ± 1	110 ± 15	1101 ± 69	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1

4.12.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.46. Der Boden-pH veränderte sich im gesamten Untersuchungszeitraum um insgesamt bis zu 1,0 Einheiten. Im Jahr 1995 befand sich dieser zunächst im schwach sauren Bereich und stieg zum Untersuchungsjahr 1998 in den sehr schwach sauren pH-Bereich. Es folgte ein Absinken des pH im Jahr 2001 zurück in den schwach sauren Bereich. In den darauffolgenden Untersuchungsjahren 2005 und 2010 stieg der pH erneut in den sehr schwach sauren pH-Bereich und verblieb dort trotz weiterer Abnahme im Jahr 2015. Zum Untersuchungsjahr 2018 zeigte der pH nahezu keine Veränderung. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) veränderte sich nur geringfügig über die Jahre. Mit Ausnahme des Jahres 1998, in dem der C_{org} -Gehalt der Humuskategorie schwach humos entsprach, bewegte sich der Gehalt des organischen Kohlenstoffs stets knapp oberhalb der Grenze zur mittel humosen Humuskategorie. Diese Grenze wurde im Jahr 2018 unterschritten und der Boden somit als schwach humos eingestuft.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wies im Jahr 1995 den insgesamt geringsten Gehalt im gesamten Untersuchungszeitraum auf. Zum Jahr 1998 erfolgte eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse auf das Zweieinhalfache. Zum Untersuchungsjahr 2001 ging die $C_{mic-CFE}$ um etwa 40 % zurück und nahm auch im Jahr 2010 geringfügig ab. Zum Untersuchungsjahr 2015 zeigte der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt erneut einen starken Anstieg, bei dem sich die $C_{mic-CFE}$ nahezu verdreifachte. Zum aktuellen Untersuchungsjahr 2018 blieb der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt nahezu unverändert. In gleicher Weise entwickelte sich der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$), wobei zum Jahr 2018 ein geringfügiger Anstieg zu verzeichnen war.

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) stieg zwischen den Jahren 1998 und 2001 auf den bisherigen Höchststand. Dieses Niveau wurde bis zum Jahr 2005 annähernd gehalten, zum Jahr 2010 ging die $C_{mic-SIR}$ jedoch um etwa 40 % auf den niedrigsten Stand zurück. Zum Jahr 2015 erfolgte ein deutlicher Anstieg auf etwa das Niveau der Jahre 2001 und 2005. Zum Untersuchungsjahr 2018 zeigte sich ein leichter Rückgang des $C_{mic-SIR}$ -Gehalts um etwa 15 %. Die $C_{mic-SIR}$ zeigte in den Jahren 2001 bis 2010 teilweise deutlich höhere Werte als die $C_{mic-CFE}$. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entwickelte sich mit Ausnahme des Jahres 2001 parallel zur $C_{mic-SIR}$.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) nahm zwischen den Jahren 1998 und 2001 zunächst geringfügig ab (Abbildung 4.48). Im weiteren Verlauf nahm die Basalatmung zu und erreichte das Maximum im Jahr 2010. Zum Untersuchungsjahr 2015 reduzierte sich die Basalatmung um etwa die Hälfte und verblieb auch im Jahr 2018 auf diesem Niveau. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) entwickelte sich zwischen 1998 und 2010 kontinuierlich steigend. Zum Jahr 2015 reduzierte sich der metabolische Quotient um mehr als 80 % und zeigte zum Jahr 2018 nahezu keine Veränderung.

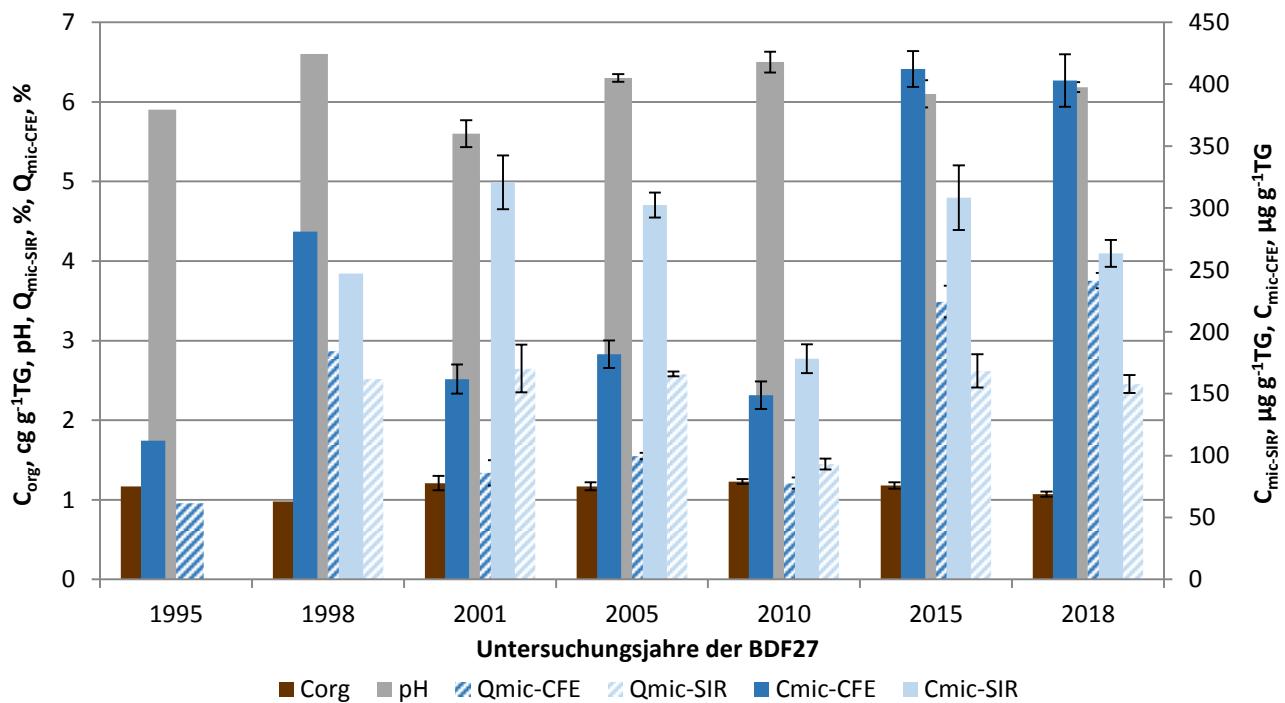


Abbildung 4.46: Ergebnisse der BDF27 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

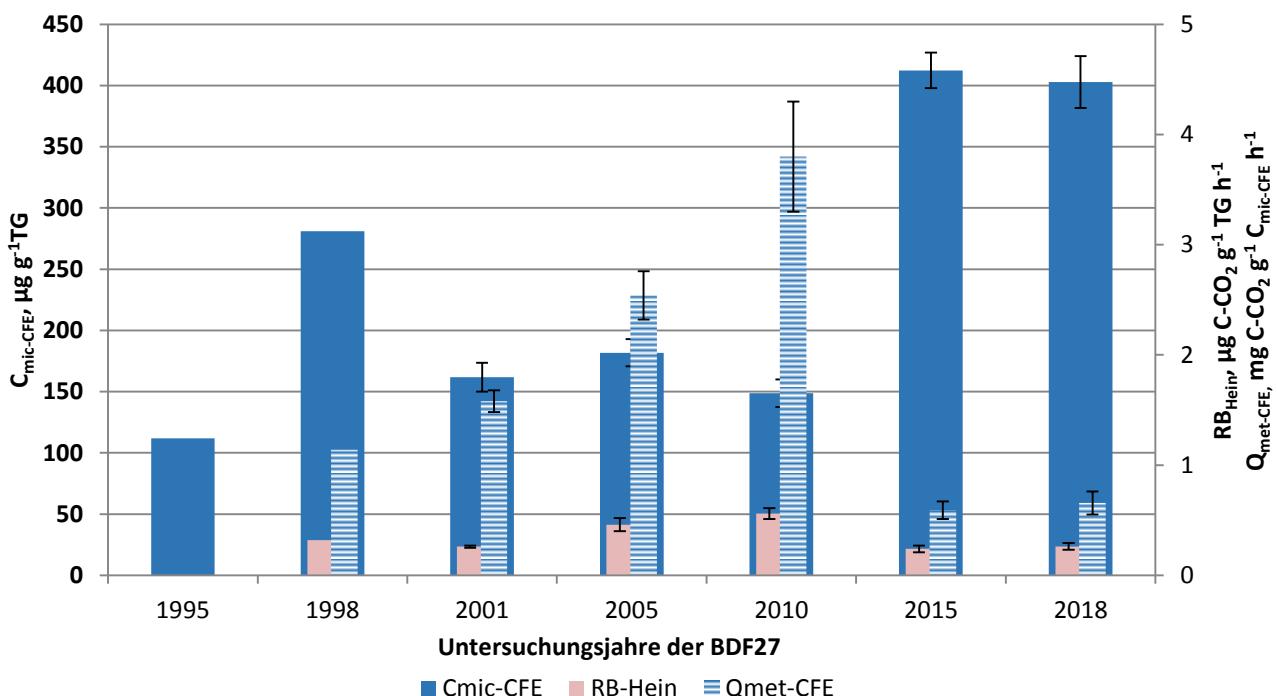


Abbildung 4.47: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF27 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.48 dargestellt. Der N_{min} -Gehalt schwankte recht stark über den gesamten Untersuchungszeitraum. Zwischen den Jahren 1995 und 1998 nahm der N_{min} -Gehalt um etwa zwei Drittel ab. Zum Untersuchungsjahr 2001 stieg der N_{min} -Gehalt auf den bisherigen Höchststand an und nahm zum Jahr 2010 um insgesamt etwa 95 % auf den bisher niedrigsten Stand erneut ab. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der N_{min} -Gehalt auf das Neunfache an, reduzierte sich zum Jahr 2018 jedoch um etwa zwei Drittel. Bei der Argininammonifikation zeigte sich in den ersten drei Untersuchungsjahren zunächst ein Anstieg auf den bisherigen Höchstwert, welcher von einem Rückgang um etwa ein Drittel zum Untersuchungsjahr 2001 gefolgt wurde. Im weiteren Verlauf nahm die ARG erneut ab und blieb in den folgenden Untersuchungsjahren 2010 und 2015 in etwa auf einem gleich hohen Niveau. Zum Jahr 2018 erfolgte eine leichte Zunahme der ARG.

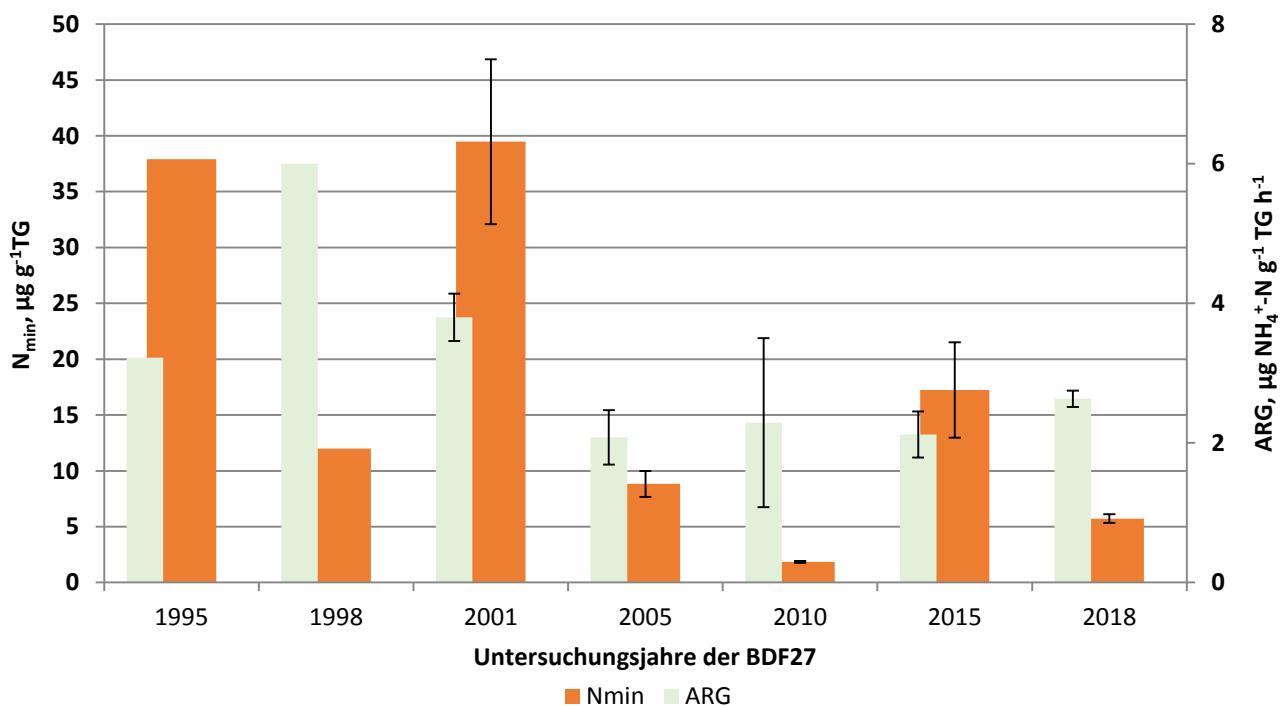


Abbildung 4.48: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF27.

Tabelle 4.60: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF27. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
			TG	TG	TG	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	112 ± n.b.	n.b. ± n.b.	12 ± n.b.	n.b. ± n.b.	3,2 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,2 ± n.b.	0,1 ± n.b.	12,3 ± n.b.	37,9 ± n.b.
1998	Ap bis -30	281 ± n.b.	247 ± n.b.	52 ± n.b.	0,3 ± n.b.	6,0 ± n.b.	1,1 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,0 ± n.b.	0,1 ± n.b.	9,8 ± n.b.	12,0 ± n.b.
2001	Ap bis -30	162 ± 12	321 ± 22	23 ± 2	0,3 ± 0,0	3,8 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	8,7 ± 0,4	39,5 ± 7,4
2005	Ap bis -30	182 ± 11	302 ± 10	25 ± 4	0,5 ± 0,1	2,1 ± 0,4	2,5 ± 0,2	1,5 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	11,2 ± 0,5	8,8 ± 1,2
2010	Ap bis -30	149 ± 11	178 ± 12	n.b. ± n.b.	0,6 ± 0,1	2,3 ± 1,2	3,8 ± 0,5	3,2 ± 0,5	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,9 ± 0,1	1,8 ± 0,1
2015	Ap bis -30	412 ± 15	308 ± 26	33 ± 4	0,2 ± 0,0	2,1 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,9 ± 0,3	17,2 ± 4,3
2018	Ap bis -30	403 ± 21	263 ± 11	28 ± 2	0,3 ± 0,0	2,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,3	5,7 ± 0,4

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / Fläche$	$C_{mic-SIR} / Fläche$	$N_{mic-CFE} / Fläche$	$R_{B-Hein} / Fläche$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / Fläche$	$C_{org} / Fläche$	$N_t / Fläche$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,0 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,9 ± n.b.
1998	Ap bis -30	131 ± n.b.	115 ± n.b.	24 ± n.b.	149 ± n.b.	2790 ± n.b.	2,9 ± n.b.	2,5 ± n.b.	55,8 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,6 ± n.b.
2001	Ap bis -30	70 ± n.b.	139 ± n.b.	10 ± n.b.	110 ± n.b.	1642 ± n.b.	1,3 ± 0,2	2,7 ± 0,3	170,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	5,6 ± 0,2
2005	Ap bis -30	76 ± n.b.	126 ± n.b.	10 ± n.b.	193 ± n.b.	865 ± n.b.	1,6 ± 0,0	2,6 ± 0,0	36,8 ± n.b.	4891 ± n.b.	438 ± n.b.	6,3 ± 0,1
2010	Ap bis -30	64 ± n.b.	77 ± n.b.	n.b. ± n.b.	242 ± n.b.	988 ± n.b.	1,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	7,9 ± n.b.	5327 ± n.b.	539 ± n.b.	6,5 ± 0,1
2015	Ap bis -30	179 ± 6	134 ± 11	14 ± 2	106 ± 15	909 ± 187	3,5 ± 0,2	2,6 ± 0,2	74,8 ± 0,2	5099 ± 161	576 ± 10	6,1 ± 0,2
2018	Ap bis -30	169 ± 14	110 ± 8	12 ± 1	110 ± 15	1101 ± 69	3,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	24,0 ± 2,4	4487 ± 292	559 ± 34	6,2 ± 0,1

4.12.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es bestehen sechs statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den abiotischen Standortfaktoren. So korreliert der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) mit dem Gehalt mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$, $r = -0,900$, $p < 0,05$, $N = 5$) und mit der Argininammonifikation (ARG, $r = -0,838$, $p < 0,05$, $N = 6$). Höhere C_{org} -Gehalte gingen mit niedrigeren $N_{mic-CFE}$ -Gehalten und mit niedrigeren Ammonifikationsraten einher. Die ARG korreliert zudem mit der Trockenrohdichte des Bodens ($r = 0,882$, $p < 0,05$, $N = 5$), so dass die höheren Ammonifikationsraten bei höherer Bodenverdichtung aufgetreten sind. Als weiterer Standortparameter zeigt die bodenkundliche Feuchtestufe Korrelationen mit dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$, $r = 0,941$, $p < 0,05$, $N = 5$), mit dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$, $r = 0,982$, $p < 0,01$, $N = 5$) sowie mit dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$, $r = -0,929$, $p < 0,05$, $N = 5$). Ein Anstieg der bodenkundlichen Feuchtestufe war somit mit einer Zunahme der $C_{mic-SIR}$ sowie mit einer Erhöhung der Effizienz der Substratverwertung durch die glucoseaktivierten Mikroorganismen verbunden.

4.12.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es zeigen sich zwei statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Witterungsverhältnissen. Dabei korrelieren die Niederschlagsmengen der jeweiligen Vorjahre mit dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$, $r = 0,922$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie mit dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$, $r = 0,962$, $p < 0,01$, $N = 5$). Niederschlagsreichere Vorjahre waren somit mit höheren $C_{mic-SIR}$ -Gehalten und deren Anteilen am organischen Kohlenstoffgehalt verbunden. Bei den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten der Untersuchungsjahre 1998 bis 2005 zeigt sich zudem, dass vorangegangene Zunahmen der Niederschlagsmengen (1996 zu 1997 und 2003 zu 2004) eher geringere Gehalte der $C_{mic-SIR}$ nach sich zogen (1998 und 2005), während die Niederschlagsabnahme (1999 zu 2000) mit einer $C_{mic-SIR}$ -Spitze (2001) verbunden war. Weitere signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{mic-CFE}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{mic-CFE}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Auch bei der aktuellen Untersuchung 2018 zeigte sich, dass mit der starken Zunahme der Jahresniederschlagssummen im Vorjahr 2017 eine Abnahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomassegehalte ($C_{mic-SIR}$) im Folgejahr zu verzeichnen war.

4.12.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort ist anhand der aktuellen Untersuchungsergebnisse lediglich bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) und deren Quotienten ($Q_{mic-SIR}$) als überdurchschnittlich aktiv zu bewerten. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen des C_{org} -Gehalts durch regelmäßige organische Düngung mittels Stroh und Ernteresten sowie Änderungen der Trockenrohdichte durch flache bis tiefe Bodenbearbeitung nahmen im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraums Einfluss auf die mikrobielle Aktivität wie im Abschnitt 4.12.4 beschrieben. Die sehr geringen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) im Jahr 2015 deuten darauf hin, dass die Eingriffe

in den Boden aktuell keine wesentlichen Störungen und Stressoren darstellen. Die Zufuhr von Stickstoff und insbesondere von Phosphor wurde zum Jahr 2017 (gegenüber dem Jahr 2014) deutlich reduziert, was möglicherweise die Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2018 begünstigte.

4.12.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2007 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Die Pflanzengesellschaft konnte an diesem Standort bei keiner Untersuchung eindeutig zugeordnet werden. Im Zeitraum der Jahre 1993 bis 1999 wurde ein Rückgang der Artenzahl sowie ein Anstieg der Feuchte- und Stickstoffzahlen beobachtet. Bei der Bodenmikrobiologie zeigte sich zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 eine Zunahme im Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie ein Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.12.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung wurde im Vorjahr 2014 durchgeführt. Daraus geht hervor, dass die bodenzoologische Aktivität zwischen den Jahren 2010 und 2014 deutlich abgenommen hat, was sich aus den Abundanzen der Regen- und Kleinringelwürmer ergibt. Die bodenmikrobiologische Aktivität zeigte dagegen zwischen den Jahren 2010 und 2015 eine Zunahme, welche insbesondere aus den Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) hervorgeht. Auch verringerte sich der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) deutlich, was auf einen Anstieg der Effizienz der Mikroorganismen hinweist.

4.13 BDF29 Niederbüssau

4.13.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.61: Temperatur und Niederschlag der BDF29 zum Jahreswechsel 2017/2018; Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm, Grundwasserstand in cm unter GOF.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat	Grundwasserstand, cm unter GOF
2017	10	11,9	108	
	11	5,9	67	
	12	4	59	
2018	1	3,4	94	
	2	-1,4	29	
	3	1,2	65	

Grundwasserstände fehlen

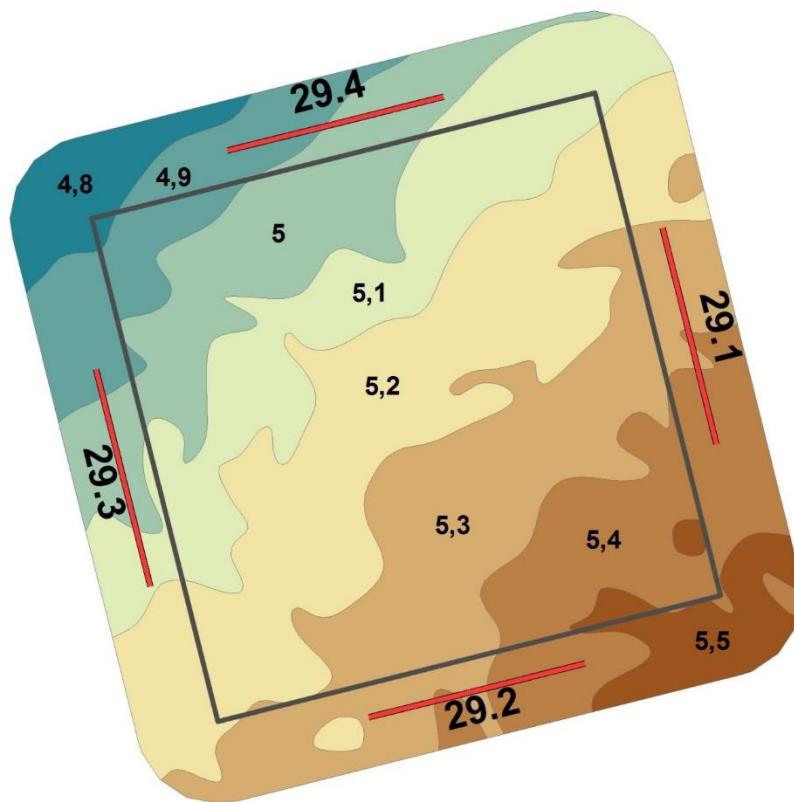


Abbildung 4.49: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF29 (29.1-4).

Tabelle 4.62: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF29 (Probenentnahmeprotokoll).

Merkmal	Eintrag
Zeitpunkt der Probenentnahme	17.04.2018 Beginn 09:15 Uhr
Witterungsverhältnisse	12,5 °C Bodenoberfläche 8,1 °C in 10 cm Tiefe ca. 14 Tage ohne Frost Wasserüberstau außerhalb der BDF
Bodenbeschaffenheit	schwach feucht, halbfest, Bröckelgefüge, nicht verschlämmt
Kulturzustand	k. A. Spuren von Pflug mit Packer keine Düngergabe erkennbar
Sonstiges	

4.13.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF29 befindet sich auf einer Ackerfläche, welche für den Anbau von Winterweizen genutzt wird, in den regelmäßig der Anbau von Winterraps und Zuckerrübe eingeschaltet wird. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.63 dargestellt. Der mineralische Oberboden der BDF29 wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als schwach humos eingestuft. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) liegt zudem unter dem Gesamtdurchschnitt. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist durchschnittlich und es ergibt sich durch den geringen C_{org} -Gehalt ein enges C_{org}/N_t -Verhältnis, aus dem eine sehr hohe Humusqualität resultiert. Der Gehalt des mineralisch gebundenen Stickstoffs (N_{min}) ist deutlich unterdurchschnittlich und setzt sich nahezu vollständig aus Nitrat zusammen. Die Trockenrohdichte des Oberbodens wird als gering eingestuft, und liegt unter dem Durchschnitt aller BDF. Der Boden-pH ist geringfügig unterdurchschnittlich und im schwach sauren Bereich.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF29 befinden sich in der Tabelle 4.64. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft, liegt jedoch deutlich unter dem Gesamtdurchschnitt. Auch der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) liegt deutlich unter dem Durchschnitt und wird als mittel hoch eingestuft. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) auf der BDF29 liegt deutlich unter dem Mittelwert aller BDF. Gleiches gilt für die Basalatmung (R_{B-Hein}). Die Argininammonifikation (ARG) zeigt einen durchschnittlich hohen Wert, welcher insgesamt jedoch als niedrig eingestuft wird. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als sehr hoch eingestuft, weicht jedoch vom Mittelwert aller Standorte nach unten ab. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) bildet den Mittelwert aller BDF ab. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wird als mittel hoch eingestuft und ist leicht überdurchschnittlich. Der metabolische Quotient der glucose-aktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) liegt dagegen unter dem Durchschnitt und wird ebenfalls als mittel hoch eingestuft.

Tabelle 4.63: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF29 (Niederbüssau). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Bodenhorizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ap bis -30	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	5,8 ± 0,7	0,1 ± 0,0	0,0 ± 0,0	5,7 ± 0,7

Bodenhorizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenrohdichte	Wassergehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ap bis -30	4476 ± 194	564 ± 17	2,3 ± 0,3	23,4 ± 3,0	1,3 ± 0,0	171 ± 5	5,9 ± 0,1

Tabelle 4.64: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 für den Mineraloberboden der BDF29 (Niederbüssau). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelens dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	%	%
Ap bis -30	326 ± 26	232 ± 8	22 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	2,9 ± 0,2	2,1 ± 0,0

Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$\text{mg NH}_4^+ \text{-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ Horizonttiefe	$R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Ap bis -30	131 ± 12	93 ± 3	9 ± 2	117 ± 16	910 ± 44	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,2

4.13.3 Zeitreihenvergleich

Die Entwicklung ausgewählter abiotischer und mikrobieller Parameter zeigt die Abbildung 4.50. Der Boden-pH zeigte im gesamten Untersuchungszeitraum lediglich leichte Schwankungen mit insgesamt bis zu 0,3 Einheiten. Im Jahr 1995 befand sich der pH auf dem niedrigsten Stand knapp an der Obergrenze des schwach sauren Bereichs. Zum Untersuchungsjahr 1998 stieg der pH in den sehr schwach sauren pH-Bereich, in dem er bis zum Jahr 2015 mit geringfügigen Schwankungen verblieb. Zum Untersuchungsjahr 2018 erfolgte jedoch eine Abnahme des pH um etwa 0,3 Einheiten. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) blieb im gesamten Untersuchungszeitraum weitgehend konstant innerhalb der Humusklasse mittel humos. Lediglich in den Jahren 1998 und 2018 wurde die Grenze zur Einstufung als schwach humos geringfügig unterschritten.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) stieg zunächst zwischen den Jahren 1995 und 1998 um etwa 20 % an. Im weiteren Verlauf zeigte sich eine abnehmende Tendenz bis ins Untersuchungsjahr 2010, in dem der bisher niedrigste $C_{mic-CFE}$ -Gehalt nachgewiesen wurde. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der Gehalt der mikrobiellen Biomasse sehr stark an und erreichte ein dreifach höheres Niveau als im Jahr 2010. Zum Jahr 2018 erfolgte eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse um etwa ein Drittel. Die gleiche Entwicklung zeigte sich bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$).

Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigte zwischen den Jahren 1998 und 2001 einen deutlichen Anstieg um mehr als 50 % auf den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2010 nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt kontinuierlich ab und erreichte das bisher niedrigste Niveau. Zum Untersuchungsjahr 2015 verdoppelte sich die $C_{mic-SIR}$ und erreichte somit den zweithöchsten Wert. Zur aktuellen Untersuchung 2018 reduzierte sich der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt um nahezu die Hälfte. Mit Ausnahme der Untersuchungsjahre 2015 und 2018 war die $C_{mic-SIR}$ stets höher als die $C_{mic-CFE}$. Die Entwicklung des mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) folgte der Entwicklung des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) erfuhr zunächst einen Anstieg um etwa 50 % zwischen den Jahren 1998 und 2001 (Abbildung 4.51). Zum Untersuchungsjahr 2010 reduzierte sich die Basalatmung geringfügig und stieg zum Jahr 2015 auf das Niveau des Jahres 2001 an. Es folgte eine leichte Abnahme der Basalatmung zum Jahr 2018. Der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) zeigte zwischen den Untersuchungsjahren 1998 und 2015 sich abwechselnde Zu- und Abnahmen mit Höchstwerten in den Jahren 2001 und 2010. Zum Jahr 2015 nahm der $Q_{met-CFE}$ jedoch stark ab und verblieb auf dem niedrigen Niveau auch im Jahr 2018.

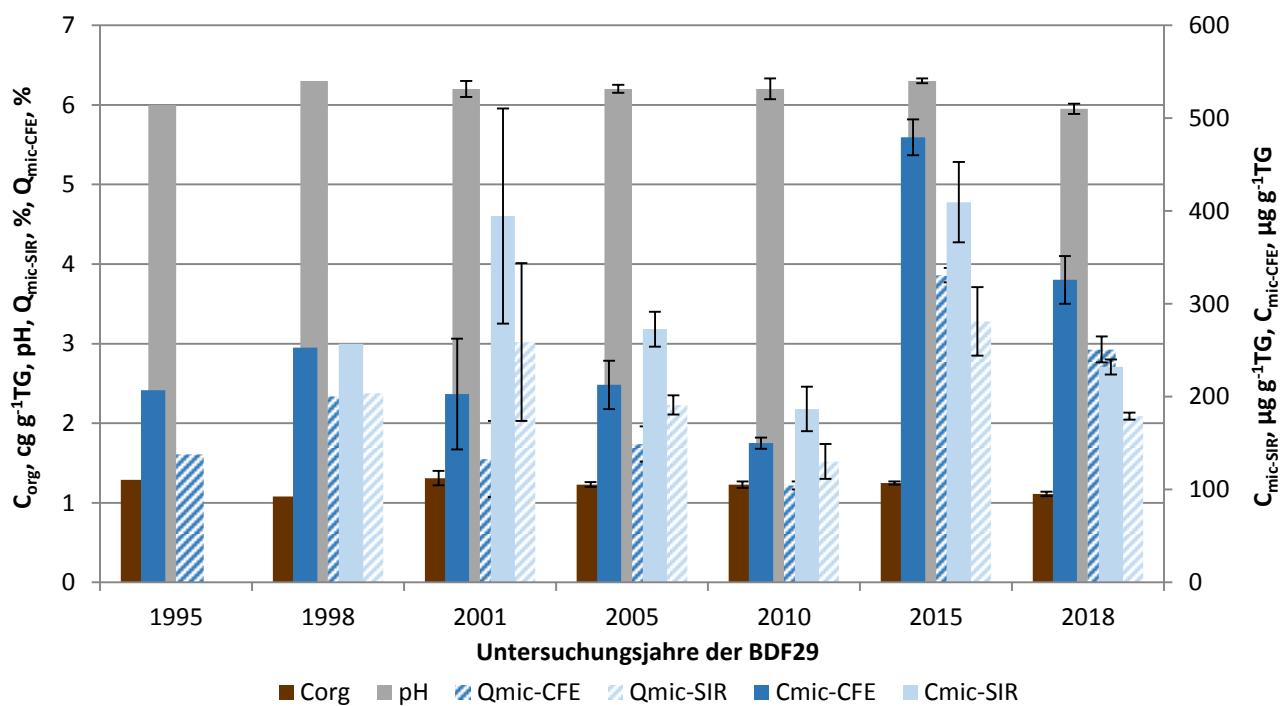


Abbildung 4.50: Ergebnisse der BDF29 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus mindestens drei Einzelergebnissen dar.

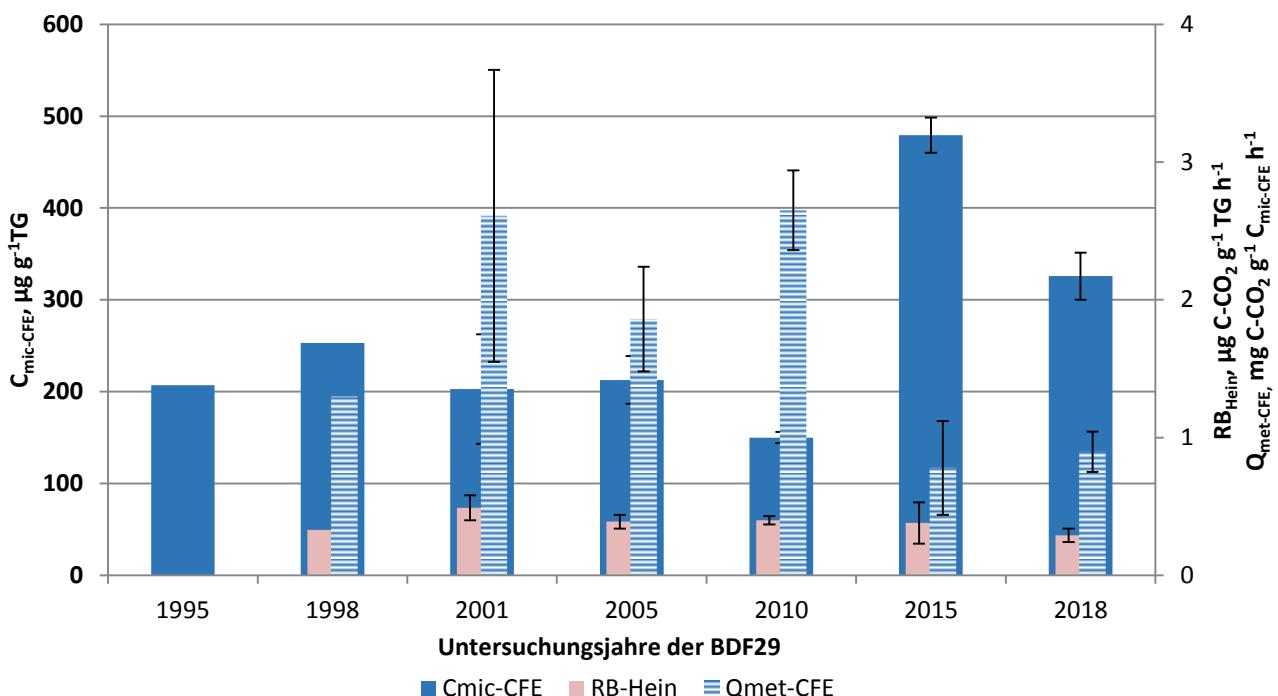


Abbildung 4.51: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF29 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist in der Abbildung 4.52 dargestellt. Der N_{min} -Gehalt zeigte im Untersuchungsjahr 1995 den bisherigen Höchstwert und nahm zum Jahr 2001 um mehr als 70 % ab. Es folgten ein deutlicher Anstieg des N_{min} -Gehaltes zum Jahr 2005 sowie ein erneuter Rückgang zum Jahr 2010, in dem der bisher niedrigste Stand erreicht wurde. Zum Untersuchungsjahr 2015 stieg der N_{min} -Gehalt um mehr als das Dreifache an und blieb auch im Jahr 2018 weitgehend auf diesem Niveau. Die Entwicklung der Argininammonifikation zeigte zunächst einen Anstieg um etwa 50 % zwischen den Jahren 1995 und 1998 auf einen Höchststand. Dieses Niveau wurde im Jahr 2001 beibehalten. Zum Untersuchungsjahr 2005 nahm die ARG deutlich ab und stieg erst zum Untersuchungsjahr 2015 auf etwa den doppelten Wert an. Zum Jahr 2018 nahm die ARG um etwa ein Drittel ab.

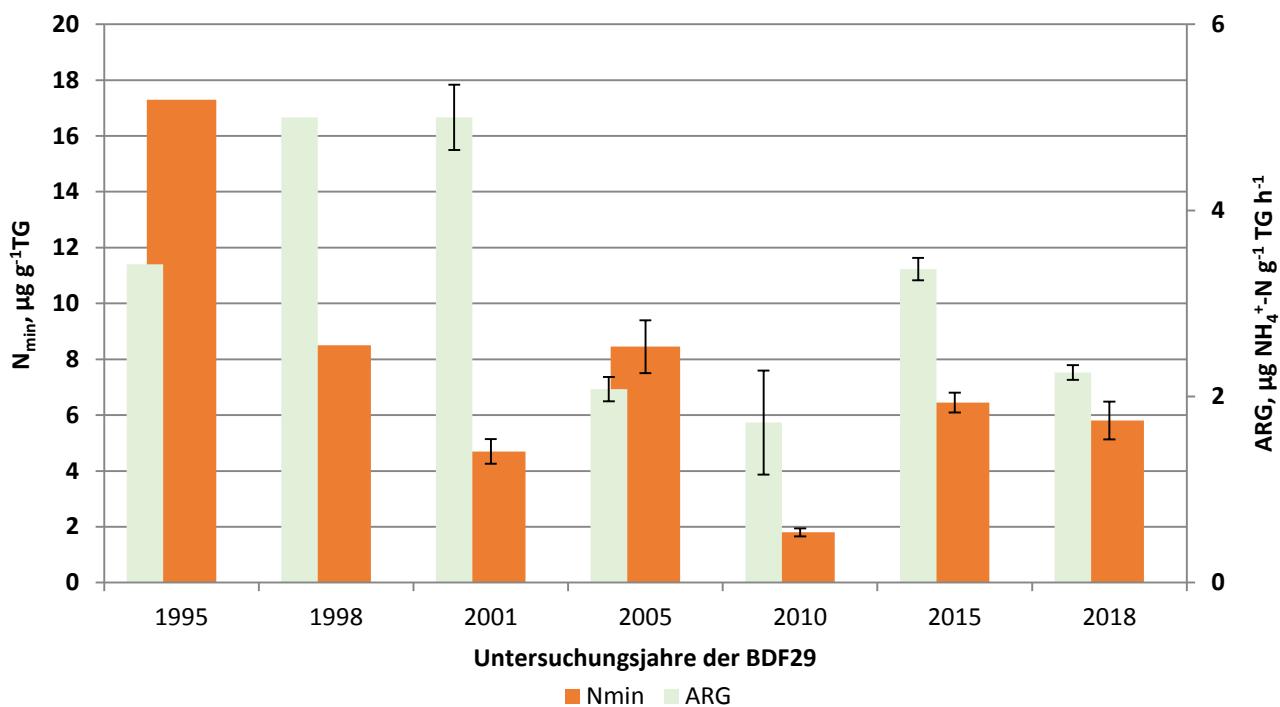


Abbildung 4.52: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF29.

Tabelle 4.65: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sieben Untersuchungskampagnen der BDF29. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens 3 Parallelens und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle befindet sich im Anhang A 7.

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$	$Q_{met-SIR}$	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}
		Tiefe, cm	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}$	cg g^{-1}	cg g^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}$
			TG	TG	TG	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG h ⁻¹	TG	TG	TG	TG
1995	Ap bis -30	207 ± n.b.	n.b. ± n.b.	17 ± n.b.	n.b. ± n.b.	3,4 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,3 ± n.b.	0,1 ± n.b.	11,2 ± n.b.	17,3 ± n.b.
1998	Ap bis -30	253 ± n.b.	257 ± n.b.	46 ± n.b.	0,3 ± n.b.	5,0 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,3 ± n.b.	1,1 ± n.b.	0,1 ± n.b.	10,8 ± n.b.	8,5 ± n.b.
2001	Ap bis -30	203 ± 60	395 ± 116	38 ± 7	0,5 ± 0,1	5,0 ± 0,4	2,6 ± 1,1	1,4 ± 0,6	1,3 ± 0,1	0,1 ± 0,0	9,4 ± 0,7	4,7 ± 0,4
2005	Ap bis -30	213 ± 26	273 ± 19	22 ± 6	0,4 ± 0,1	2,1 ± 0,1	1,9 ± 0,4	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	10,4 ± 0,4	8,5 ± 1,0
2010	Ap bis -30	150 ± 6	187 ± 24	n.b. ± n.b.	0,4 ± 0,0	1,7 ± 0,6	2,7 ± 0,3	2,2 ± 0,3	1,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,1 ± 0,1	1,8 ± 0,1
2015	Ap bis -30	479 ± 19	409 ± 43	38 ± 2	0,4 ± 0,2	3,4 ± 0,1	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,1	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,4 ± 0,4	6,5 ± 0,4
2018	Ap bis -30	326 ± 26	232 ± 8	22 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	5,8 ± 0,7

Jahr	Bodenhorizont	$C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$	$N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$	$R_{B-Hein} / \text{Fläche}$	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE}$	$Q_{mic-SIR}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	pH
		Tiefe, cm	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	$\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2}$	$\text{mg NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	%	%	kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}
1995	Ap bis -30	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	1,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,0 ± n.b.
1998	Ap bis -30	115 ± n.b.	117 ± n.b.	21 ± n.b.	151 ± n.b.	2280 ± n.b.	2,3 ± n.b.	2,4 ± n.b.	38,8 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,3 ± n.b.
2001	Ap bis -30	85 ± n.b.	165 ± n.b.	16 ± n.b.	202 ± n.b.	2085 ± n.b.	1,6 ± 0,5	3,0 ± 1,0	19,6 ± n.b.	n.b. ± n.b.	n.b. ± n.b.	6,2 ± 0,1
2005	Ap bis -30	91 ± n.b.	116 ± n.b.	9 ± n.b.	166 ± n.b.	884 ± n.b.	1,7 ± 0,2	2,2 ± 0,1	36,0 ± n.b.	5219 ± n.b.	501 ± n.b.	6,2 ± 0,1
2010	Ap bis -30	61 ± n.b.	76 ± n.b.	n.b. ± n.b.	162 ± n.b.	703 ± n.b.	1,2 ± 0,1	1,5 ± 0,2	7,3 ± n.b.	5018 ± n.b.	555 ± n.b.	6,2 ± 0,1
2015	Ap bis -30	201 ± 8	172 ± 18	16 ± 1	158 ± 62	1399 ± 59	3,9 ± 0,1	3,3 ± 0,4	27,1 ± 0,0	5261 ± 87	629 ± 28	6,3 ± 0,0
2018	Ap bis -30	131 ± 12	93 ± 3	9 ± 2	117 ± 16	910 ± 44	2,9 ± 0,2	2,1 ± 0,0	23,4 ± 3,0	4476 ± 194	564 ± 17	5,9 ± 0,1

4.13.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Zwischen der Bodenmikrobiologie und den abiotischen Standortfaktoren besteht lediglich eine statistisch signifikante Korrelation. Dabei korreliert der Boden-pH mit dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$, $r = -0,922$, $p < 0,05$, $N = 5$). Ansteige der pH-Werte waren somit mit Erhöhungen der Effizienz der Substratverwertung durch die Mikroorganismen verbunden.

4.13.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bodenmikrobiologie und den Klimaparametern (Vorjahresniederschläge und -temperaturen) bestehen auf der Basis der vorhandenen Klimadaten nicht. Dennoch scheint der starke Temperaturanstieg zum Jahr 2014 einen Anteil an der sehr deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zu haben, da alle BDF dieses $C_{\text{mic-CFE}}$ -Maximum aufweisen. In ähnlicher Weise vermag dies auch für den erhöhten Gehalt der $C_{\text{mic-CFE}}$ im Untersuchungsjahr 1998 zu gelten. Es zeigt sich, dass mit der sehr starken Zunahme der Jahresniederschlagssummen im Vorjahr 2017 gegenüber dem Jahr 2014 eine starke Abnahme der Gehalte der gesamten und der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse im Folgejahr 2018 erfolgte.

4.13.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Standort zeigt anhand der aktuellen Untersuchungsergebnisse lediglich bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse eine überdurchschnittliche bodenmikrobiologische Aktivität. Bewirtschaftungsbedingte Änderungen des pH waren mit den im Abschnitt 4.13.4 beschriebenen Auswirkungen auf die Effizienz der mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-CFE}}$) verbunden. Aktuell weisen die sehr geringen metabolischen Quotienten darauf hin, dass die Eingriffe in den Boden keine wesentlichen Störungen und Stressoren für das Bodenökosystem darstellen. Darüber hinaus lassen sich durch die Überlagerung der einzelnen Bewirtschaftungseffekte auf die Bodenmikrobiologie die Entwicklungstrends der bodenmikrobiologischen Parameter nicht den einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen zuordnen. Die Stickstoff- und Güllezufuhr wurde im Jahr 2017 gegenüber dem Jahr 2014 deutlich reduziert. Dieses könnte für die Abnahme der mikrobiellen Biomassegehalte des aktuellen Untersuchungsjahrs 2018 mitursächlich sein.

4.13.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die letzte vegetationskundliche Untersuchung wurde im Jahr 2007 durchgeführt, daher lassen sich keine Beziehungen zu den aktuellen Untersuchungsergebnissen herstellen. Zuletzt wurde die Pflanzengesellschaft als *Stellarietea mediae* angesprochen. Im Zeitraum der Jahre 1995 bis 1998 wurde ein Rückgang der Arten- und Reaktionszahlen beobachtet sowie ein Anstieg der Feuchtezahl bei etwa gleichbleibender Stickstoffzahl festgestellt. Bei der Bodenmikrobiologie zeigte sich zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) sowie ein Anstieg der Argininammonifikation (ARG).

4.13.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung wurde im Vorjahr 2014 durchgeführt. Aus den Abundanzen der Regen- und der Kleinringelwürmer resultierte eine deutliche Zunahme der bodenzoologischen Aktivitäten im Zeitraum der Jahre 2011 bis 2014. Auch aus bodenmikrobiologischer Sicht ist eine Zunahme der Bodenaktivität zwischen den Untersuchungen der Jahre 2010 und 2015 ersichtlich. Dies zeigt sich vor allem an den stark gestiegenen Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) sowie an den deutlich gestiegenen Ammonifikationsraten (ARG). Auch die Effizienz der Mikroorganismen nahm deutlich zu, was an der Abnahme des metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$) zu erkennen ist.

4.14 Gruppierungen von BDF und vergleichende Diskussion

4.14.1 Vergleich der abiotischen Parameter der aktuellen Untersuchung

Die abiotischen Untersuchungsergebnisse aller BDF des Jahres 2018 befinden sich zum Gesamtvergleich in der Tabelle 4.66. Bei den Organikgehalten lagen sieben Standorte innerhalb der Humuskategorie schwach humos, wobei die Gehalte in dieser Klasse eng beieinander lagen. Die niedrigsten Werte wiesen dabei die Standorte BDF10 Maasleben und BDF 15 Achterwehr auf. Vier Standorte wurden als mittel humos eingestuft und zwei Standorte waren stark humos. Den höchsten Humusgehalt wies dabei die sandige BDF09 Schuby vor BDF23 Bokhorst auf. Diese beiden BDF waren auch durch die höchsten Stickstoffgehalte (N_t) gekennzeichnet, wobei die N_t -Gehalte auch insgesamt eng beieinander lagen. Die Humusqualität wurde anhand des C_{org}/N_t -Verhältnisses auf zehn der dreizehn BDF als sehr hoch eingestuft. Dabei wies die BDF18 Heringsdorf das engste C_{org}/N_t -Verhältnis aller BDF auf. Mit Abstand die geringste Humusqualität zeigte sich bei der BDF09 Schuby, welche den höchsten Humusgehalt besaß. Es ist der einzige Standort, dessen Humusqualität der Einstufung als mittel entsprach.

Die Gehalte mineralischen Stickstoffs (N_{min}) waren auf den einzelnen Flächen sehr unterschiedlich. Den niedrigsten N_{min} -Gehalt besaß dabei die BDF04 Goldelund, während die BDF18 Heringdorf durch den höchsten Gehalt mineralischen Stickstoffs charakterisiert war. Der Standort BDF18 Heringsdorf wird mit sehr viel Mineralstickstoff gedüngt (siehe 3.1.3). Die N_{min} -Gehalte beider BDF lagen mit einem Verhältnis von 12:1 weit auseinander. Große Unterschiede bestanden auch bei der Zusammensetzung des Mineralstickstoffs. Die BDF04 Goldelund und BDF23 Bokhorst besaßen dabei in Bezug auf ihren N_{min} -Gehalt den höchsten Ammoniumanteil mit etwa 47 % sowie den geringsten Nitratanteil mit etwa 53 %. Im Gegensatz dazu waren die BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF10 Maasleben, BDF15 Achterwehr, BDF27 Tankenrade und die BDF29 Niederbüssau durch die höchsten Nitratanteile (98 %) gekennzeichnet. Nitrit wurde auf lediglich auf den BDF16 Schwartbuck und BDF18 Heringsdorf mit Anteilen von unter drei Prozent am N_{min} -Gehalt nachgewiesen.

Die Trockenrohdichten der Böden wurden bei neun der dreizehn BDF als mittel eingestuft. Geringe Trockenrohdichten besaßen lediglich die Standorte BDF09 Schuby, BDF12 Vadersdorf, BDF23 Bokhorst und die BDF29 Niederbüssau. Insgesamt lagen die Trockenrohdichten jedoch in einem engen Bereich zwischen 1,3 und 1,5 g cm⁻³.

Die pH-Werte der BDF-Böden erstreckten sich über fünf pH-Bereiche von neutral (BDF06 Sönke-Nissen-Koog) bis stark sauer (BDF04 Goldelund). Die meisten Standorte (sieben) wiesen jedoch Böden mit pH-Werten im sehr schwach sauren Bereich auf. Schwach saure Böden waren an den drei Standorten BDF19 Mörel, BDF23 Bokhorst und BDF29 Niederbüssau. Der sandige Boden der BDF09 Schuby war mäßig sauer. Auch die Wassergehalte der einzelnen BDF-Proben zeigten ein deutliches Spektrum mit dem Höchstwert auf BDF06 Sönke-Nissen-Koog und den niedrigsten Werten auf BDF04 Goldelund, BDF10 Maasleben, BDF15 Achterwehr und BDF27 Tankenrade.

Bei der Betrachtung der abiotischen Parameter untereinander (Tabelle 4.68) zeigten sich mehrere statistisch signifikante Korrelationen. Die Parameter der Organikgehalte (C_{org} , N_t , C_{org}/N_t) korrelierten untereinander signifikant positiv, ebenso wie die Mineralstickstoffgehalte (N_{min} , NH_4^+ , NO_3^-). Die Trockenrohdichte wies negative Korrelationen mit den Organikgehalten (C_{org} , N_t) und der Humusqualität (C_{org}/N_t) auf. Standorte mit organikreichen Böden waren somit weniger stark

verdichtet als die Böden organikarmer BDF. Der Boden-pH korrelierte negativ mit dem C_{org}-Gehalt und dem C_{org}/N_t-Verhältnis. Weniger saure Böden waren somit durch eine höhere Humusqualität (enges C_{org}/N_t-Verhältnis) gekennzeichnet. Dieses waren die Standorte mit höheren Tongehalten. Auch waren die Nitratgehalte in den weniger sauren Böden signifikant höher.

Tabelle 4.66: Zusammenfassende Darstellung der abiotischen Parameter, die im Jahr 2018 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden. Farbkodierungen siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

BDF	Nutzung	Hori-zont-tiefe cm	Boden art	C _{org} cg g ⁻¹ TG	N _t cg g ⁻¹ TG	C _{org} / N _t	N _{min} µg g ⁻¹ TG	NH ₄ ⁺ -N µg g ⁻¹ TG	NO ₂ ⁻ -N µg g ⁻¹ TG	NO ₃ ⁻ -N µg g ⁻¹ TG	Trocke-nrohdichte g TG cm ⁻³	Wasser gehalt mg g ⁻¹ TG	pH
04	Acker	30	SI3	1,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	12,9 ± 0,1	4,1 ± 0,5	1,9 ± 0,2	0,0 ± 0,0	2,2 ± 0,3	1,4 ± 0,0	163 ± 9	4,6 ± 0,2
05	Acker	30	SI3-SI4	1,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	14,9 ± 1,7	3,1 ± 1,2	0,0 ± 0,0	11,8 ± 0,5	1,5 ± 0,0	226 ± 6	6,3 ± 0,1
06	Acker	30	Ls2	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,3 ± 0,1	7,6 ± 0,6	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	7,5 ± 0,6	1,4 ± 0,0	281 ± 4	7,0 ± 0,1
09	Acker	30	mSfs	3,2 ± 0,2	0,2 ± 0,0	16,0 ± 0,3	6,9 ± 1,3	1,6 ± 0,2	0,0 ± 0,0	5,4 ± 1,2	1,3 ± 0,0	206 ± 9	5,0 ± 0,2
10	Acker	30	SI4	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	16,4 ± 1,5	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	16,2 ± 1,6	1,5 ± 0,0	162 ± 11	6,3 ± 0,2
12	Acker	30	SI4	1,6 ± 0,0	0,2 ± 0,0	8,6 ± 0,2	28,1 ± 4,3	7,2 ± 2,5	0,0 ± 0,0	21,0 ± 2,1	1,3 ± 0,0	206 ± 6	6,3 ± 0,1
15	Acker	30	Su3	1,0 ± 0,2	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	25,6 ± 1,2	0,5 ± 0,2	0,0 ± 0,0	25,1 ± 1,2	1,5 ± 0,0	162 ± 12	6,5 ± 0,0
16	Acker	30	SI4	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,2	24,2 ± 1,7	4,5 ± 2,4	0,3 ± 0,4	19,3 ± 3,4	1,5 ± 0,0	231 ± 7	6,1 ± 0,2
18	Acker	30	SI4	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,4 ± 0,2	48,1 ± 9,3	15,6 ± 5,8	1,3 ± 0,3	31,2 ± 4,3	1,5 ± 0,0	211 ± 8	6,6 ± 0,1
19	Acker	30	Su2-Su3	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	9,2 ± 0,2	3,8 ± 0,4	0,9 ± 0,1	0,0 ± 0,0	2,9 ± 0,4	1,5 ± 0,0	205 ± 8	5,7 ± 0,2
23	Acker	30	Su2-Su3	2,4 ± 0,2	0,2 ± 0,0	12,1 ± 0,5	21,7 ± 2,5	10,4 ± 2,4	0,0 ± 0,0	11,3 ± 1,0	1,3 ± 0,0	218 ± 29	6,0 ± 0,1
27	Acker	30	SI4-Ls3	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	8,0 ± 0,3	5,7 ± 0,4	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	5,6 ± 0,4	1,4 ± 0,0	164 ± 2	6,2 ± 0,1
29	Acker	30	Lu-Lt2	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	7,9 ± 0,2	5,8 ± 0,7	0,1 ± 0,0	0,0 ± 0,0	5,7 ± 0,7	1,3 ± 0,0	171 ± 5	5,9 ± 0,1

Humusgehalt (C _{org})	schwach humos	mittel humos	stark humos	
Humusqualität (C _{org} /N _t)		mittel hoch	hoch	sehr hoch
Trockenrohdichte	hoch	mittel hoch	gering	sehr gering
Bodenacidität (pH)	stark sauer	mäßig sauer	schwach sauer	sehr schwach sauer
				neutral

4.14.2 Vergleich der biotischen Parameter in der aktuellen Untersuchung und Beziehung zu den abiotischen Parametern

Die bodenmikrobiologischen Untersuchungsergebnisse aller BDF des Jahres 2018 befinden sich zum Gesamtvergleich in der Tabelle 4.67. Die Gehalte der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wiesen auf allen dreizehn BDF sehr hohe Werte auf. Dennoch waren deutliche Unterschiede feststellbar. Die Standorte mit den niedrigsten $C_{mic-CFE}$ -Gehalten waren die BDF04 Goldelund, BDF19 Mörel sowie die BDF29 Niederbüssau. Die BDF06 Sönke-Nissen-Koog wies dagegen den höchsten Gehalt mikrobieller Biomasse auf, welcher mehr als doppelt so hoch war, wie an den biomassearmen Standorten. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) waren an drei Standorten hoch und an zehn Standorten sehr hoch. Den Höchstwert zeigte dabei die BDF06 Sönke-Nissen-Koog, während der niedrigste Wert für die BDF04 Goldelund gemessen wurde.

Bei den Gehalten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigten sich unterschiedliche Einstufungen. Die Standorte mit niedrigen $C_{mic-SIR}$ -Gehalten waren die BDF 04 Goldelund, BDF06 Sönke-Nissen-Koog sowie BDF19 Mörel. Hohe $C_{mic-SIR}$ -Gehalte zeigten sich an den Standorten BDF12 Vadersdorf, BDF15 Achterwehr und BDF18 Heringsdorf. Die übrigen Standorte wiesen mittlere $C_{mic-SIR}$ -Gehalte auf. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-SIR}$) variierten innerhalb aller Einstufungen zwischen sehr niedrig (BDF09 Schuby) und sehr hoch (BDF15 Achterwehr). Mittlere mikrobielle Quotienten zeigten die Standorte BDF05 Gintoft, BDF16 Schwartbuck, BDF19 Mörel sowie BDF29 Niederbüssau.

Auch beim Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen BDF. Dabei waren die höchsten $N_{mic-CFE}$ -Gehalte an den Standorten BDF12 Vadersdorf und BDF18 Heringsdorf, welche mehr als drei Mal so hoch waren, wie an dem $N_{mic-CFE}$ -ärmsten Standort der BDF04 Goldelund.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) als ein Parameter der mikrobiellen Aktivität zeigte ebenso eine deutliche Varianz. Die niedrigsten Basalatmungsraten entfielen auf die Standorte BDF04 Goldelund und die BDF19 Mörel. Die höchste Basalatmung wurde dagegen an den Standorten BDF05 Gintoft und BDF09 Schuby bestimmt. Die metabolischen Quotienten der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) wurden an einem Standort als niedrig und an zwölf Standorten als sehr niedrig eingestuft. Den höchsten metabolischen Quotienten wies dabei die BDF05 Gintoft auf, während die niedrigsten Werte für die BDF06 Sönke-Nissen-Koog und die BDF10 Maasleben ermittelt wurden. Bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse bewegten sich die Einstufungen der metabolischen Quotienten ($Q_{met-SIR}$) zwischen niedrig und sehr hoch. Die Höchstwerte entfielen auf die Standorte BDF05 Gintoft und BDF09 Schuby. Die niedrigsten $Q_{met-SIR}$ -Werte zeigten sich bei den Standorten BDF10 Maasleben, BDF12 Vadersdorf, BDF19 Mörel und BDF27 Tankenrade.

Ein weiterer Aktivitätsparameter ist die Argininammonifikation (ARG), welche an sieben Standorten als niedrig eingestuft wurde. Sehr niedrig waren die Ammonifikationsraten auf fünf Standorten, den BDF04 Goldelund, BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF09 Schuby, BDF16 Schwartbuck sowie BDF19 Mörel. Den höchsten ARG-Wert hingegen zeigte die BDF12 Vadersdorf, jedoch entsprach dieser lediglich einer mittleren Einstufung.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.67: Zusammenfassende Darstellung der mikrobiologischen Parameter, die im Jahr 2018 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden. Farbkodierungen siehe Anhang A 6.

BDF	Nutzung	Hori-zont-tiefe	Boden-art	C _{mic-CFE} µg g ⁻¹ TG	C _{mic-SIR} µg g ⁻¹ TG	N _{mic-CFE} µg g ⁻¹ TG	R _{B-Hein} µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	ARG µg NH ₄₊ -N g ⁻¹ TG h ⁻¹	Q _{mic-CFE} C _{mic-CFE} / C _{org}	Q _{mic-SIR} C _{mic-SIR} / C _{org}	Q _{met-CFE} R _{B-Hein} / C _{mic-CFE}	Q _{met-SIR} R _{B-Hein} / C _{mic-SIR}	
04	Acker	30	SI3	348 ± 24	181 ± 8	14 ± 5	0,2 ± 0,0	1,0 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,2
05	Acker	30	SI3-SI4	576 ± 7	252 ± 39	23 ± 11	0,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	4,6 ± 0,1	2,0 ± 0,3	1,5 ± 0,1	3,4 ± 0,7	
06	Acker	30	Ls2	749 ± 47	170 ± 49	36 ± 12	0,3 ± 0,0	1,6 ± 0,2	5,8 ± 0,5	1,3 ± 0,4	0,4 ± 0,0	2,0 ± 0,5	
09	Acker	30	mSfs	600 ± 33	227 ± 38	27 ± 6	0,7 ± 0,1	1,8 ± 0,3	1,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,3	3,1 ± 1,0	
10	Acker	30	SI4	504 ± 42	258 ± 23	38 ± 7	0,3 ± 0,0	2,5 ± 0,2	5,2 ± 0,3	2,7 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,2	
12	Acker	30	SI4	681 ± 21	380 ± 23	46 ± 5	0,4 ± 0,1	3,9 ± 0,4	4,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,2	
15	Acker	30	Su3	459 ± 39	317 ± 18	44 ± 2	0,5 ± 0,1	3,1 ± 0,1	4,7 ± 0,4	3,3 ± 0,4	1,0 ± 0,2	1,4 ± 0,3	
16	Acker	30	SI4	517 ± 102	209 ± 27	44 ± 13	0,5 ± 0,1	1,8 ± 0,4	4,5 ± 0,8	1,8 ± 0,2	1,0 ± 0,2	2,4 ± 0,5	
18	Acker	30	SI4	393 ± 19	328 ± 47	49 ± 1	0,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,6 ± 0,2	3,0 ± 0,4	1,2 ± 0,3	1,5 ± 0,5	
19	Acker	30	Su2-Su3	302 ± 20	182 ± 25	24 ± 5	0,2 ± 0,0	1,6 ± 0,1	2,9 ± 0,2	1,7 ± 0,2	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,2	
23	Acker	30	Su2-Su3	470 ± 109	238 ± 35	29 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,5	1,0 ± 0,1	0,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	
27	Acker	30	SI4-Ls3	403 ± 21	263 ± 11	28 ± 2	0,3 ± 0,0	2,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	
29	Acker	30	Lu-Lt2	326 ± 26	232 ± 8	22 ± 4	0,3 ± 0,0	2,3 ± 0,1	2,9 ± 0,2	2,1 ± 0,2	0,9 ± 0,0	1,3 ± 0,1	

Mikrobiologische Parameter	sehr niedrig	niedrig	mittel hoch	hoch	sehr hoch
----------------------------	--------------	---------	-------------	------	-----------

Die bodenmikrobiologischen Parameter zeigten untereinander signifikante Korrelationen (Tabelle 4.68). Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) korrelierte am stärksten mit der Argininammonifikation. Dies zeigt, dass die lebende glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse vermutlich einen höheren Anteil an den Ammonifikationsprozessen hatte als die gesamte mikrobielle Biomasse, die tote und lebende Organismen mit einschließt. Zudem zeigten sich Korrelationen zwischen $C_{mic-SIR}$ und dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-SIR}$) sowie dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{mic-CFE}$). Letzterer korrelierte ebenso mit der Argininammonifikation sowie mit beiden mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Die Basalatmung zeigte lediglich Korrelationen mit den metabolischen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Der Gehalt der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte als einziger Parameter keine signifikanten Korrelationen mit den übrigen bodenmikrobiologischen Parametern.

Die Beziehungen zwischen den bodenmikrobiologischen und den abiotischen Parametern zeigten sich anhand von statistisch signifikanten Korrelationen. Dabei korrelierten die Gehalte des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) und des Gesamtstickstoffs (N_t) lediglich mit den mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) negativ. Der Humus in den organikreicherem Böden war somit weniger stark mit Mikroorganismen besiedelt. Die mikrobiellen Quotienten waren jedoch in Böden mit engeren C_{org}/N_t -Verhältnissen und somit höherer Humusqualität signifikant höher.

Der Nitratgehalt zeigte positive Korrelationen mit der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$), mit dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) sowie mit der Argininammonifikation (ARG). Dagegen korrelierte der Wassergehalt lediglich mit dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$). Die Trockenrohdichte zeigte eine Korrelation mit dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Dichter gelagerte Böden wiesen somit höhere Anteile aktiver Mikroorganismen auf.

Der Boden-pH korrelierte signifikant mit den mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) sowie mit dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{mic-CFE}$). Die Anteile der Bodenmikroorganismen waren in weniger sauren Böden somit signifikant höher. Der gleiche Zusammenhang zeigte sich zudem bei den Tongehalten, da der pH in tonreichen Böden höher war. Zusätzlich wiesen tonreichere Böden signifikant höhere Ammonifikationsraten (ARG) auf.

Insgesamt zeigte es sich, dass die Humusqualität, der Boden-pH und der Tongehalt durch die starken Korrelationen die Parameter darstellen, welche sich für eine Gruppierung der untersuchten Acker-Standorte hinsichtlich der bodenmikrobiologischen Eigenschaften, insbesondere der mikrobiellen Quotienten, am besten eignen.

Eine tabellarische Übersicht aller Korrelationen befindet sich nachfolgend in Tabelle 4.68. Ausgewählte bodenmikrobiologische und abiotische Untersuchungsergebnisse des Jahres 2018 befinden sich zum Gesamtvergleich aller BDF nachfolgend in der Abbildung 4.53, Abbildung 4.54 und Abbildung 4.55.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 4.68 Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen Parameter aus Tabelle 4.67 und der abiotischen Parameter aus Tabelle 4.66. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). N = 13.

Ton	pH	Was.-gehalt	TT.RON-dichte	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	N _{min}	C/N	C _{org}	Q _{met-SIR}	Q _{met-CFE}	ARG	R _B	N _{mic-CFE}	C _{mic-SIR}	C _{mic-CFE}				
,180	,392	,640*	-,236	,167	-,009	,109	,057	,484	,242	,466	-,078	-,150	,265	,450	,385	,154	1	C _{mic-CFE}	
,475	,368	-,265	,089	,751**	,472	,715**	-,328	,071	-,163	-,194	,254	,704**	,232	,932**	,282	,643*	1	C _{mic-SIR}	
,591*	,664*	,214	,386	,886**	,452	,809**	-,484	-,050	-,315	-,095	,042	,615*	,584*	,582*	,158	1	,643*	,385	N _{mic-CFE}
-,015	,072	,313	,113	,313	,210	,304	,127	,337	,257	,880**	,840**	,015	,134	,315	1	,158	,282	,450	R _B
,558*	,541	-,161	,055	,648*	,306	,574*	-,458	,020	-,270	-,130	,211	,712**	,402	1	,315	,582*	,932**	,265	ARG
,710**	,812**	,296	,437	,445	-,186	,246	,749**	-,434	,669*	,060	-,120	,573*	1	,402	,134	,584*	,232	,527	Q _{mic-CFE}
,709**	,599*	-,372	,576*	,710**	,118	,556*	,796**	,621*	,756**	-,347	,153	,573*	,712**	,015	,615*	,704**	,150	Q _{mic-SIR}	
-,030	-,047	,041	,292	,346	,333	,380	,035	,100	,098	,687**	1	,153	-,120	,211	,840**	,042	,254	,078	Q _{met-CFE}
-,217	-,074	,503	,038	-,034	-,016	-,030	,300	,356	,371	1	,687**	-,347	,060	-,130	,830**	-,095	,194	,466	Q _{met-SIR}
-,734**	-,6111*	,129	,636*	-,334	,137	-,191	,953**	,855**	1	,371	,098	,756**	,669*	-,270	,257	-,315	,163	,242	C _{org}
-,371	-,225	,423	,670*	-,092	,428	,092	,675*	1	,855**	,356	,100	,621*	-,434	,020	,337	-,050	,071	,484	N _t
-,875**	-,787**	-,018	,558*	-,480	-,031	-,359	1	,675*	,953**	,300	,035	,796**	,749**	-,458	,127	-,484	,328	,057	C/N
,419	,479	,124	,397	,952**	1	,824**	-,359	,092	-,191	-,030	,380	,556*	,246	,574*	,304	,809**	,715**	,109	N _{min}
,137	,200	,257	,132	,613*	1	,824**	-,031	,428	,137	-,016	,333	,118	-,186	,306	,210	,452	,472	,009	NH ₄ ⁺
,507	,562*	,034	,470	1	,613*	,952**	-,480	-,092	-,334	-,034	,346	,710**	,445	,648*	,313	,886**	,751**	,167	NO ₃ ⁻
,313	,363	,027	1	,470	,132	,397	,558*	,670*	,636*	,038	,292	,576*	,437	,055	,113	,386	,089	-,236	TT.RON
,105	,410	1	,027	,034	,257	,124	-,018	,423	,129	,503	,041	-,372	,296	-,161	,313	,214	,640*	-,	Was.-dichte gehalt
,767**	1	,410	,363	,562*	,200	,479	,787**	-,225	,611*	-,074	-,047	,599*	,812**	,541	,072	,664*	,368	,392	pH
1	,767**	,105	,313	,507	,137	,419	,875**	-,371	,734**	-,217	-,030	,709**	,710**	,015	,558*	,591*	,475	,180	Ton

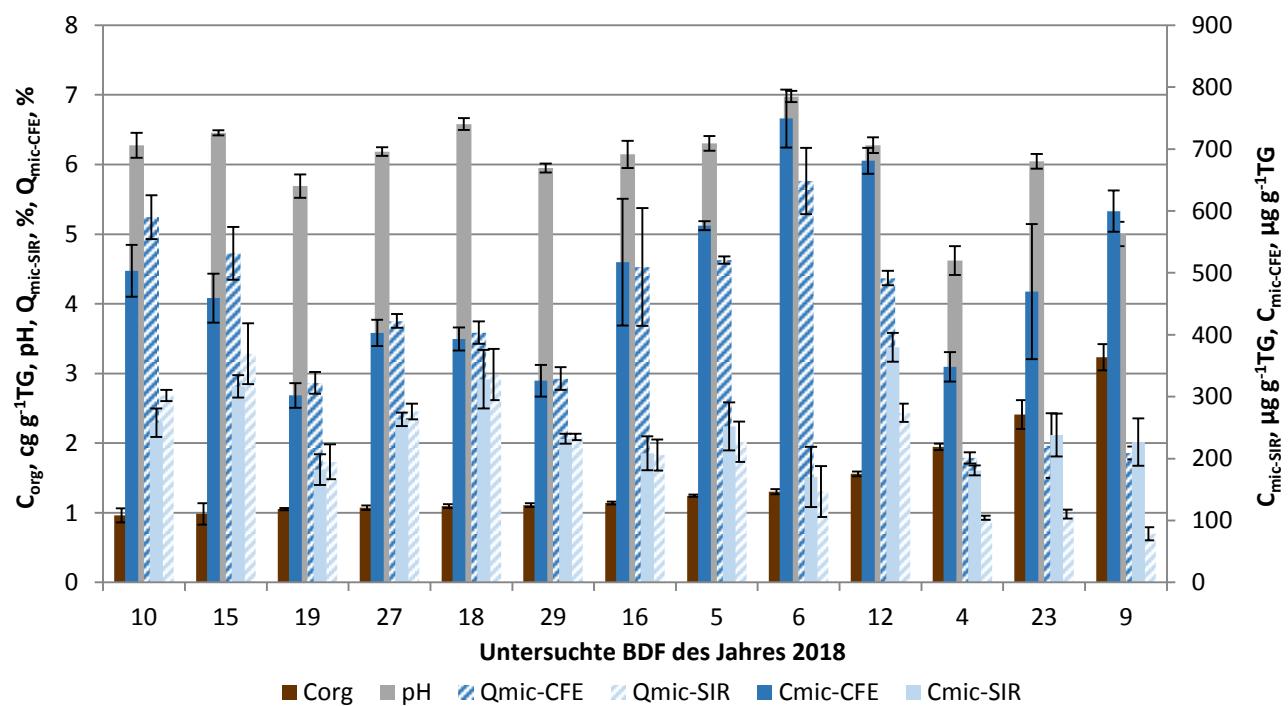


Abbildung 4.53: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}), der pH, sowie die mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) und die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).

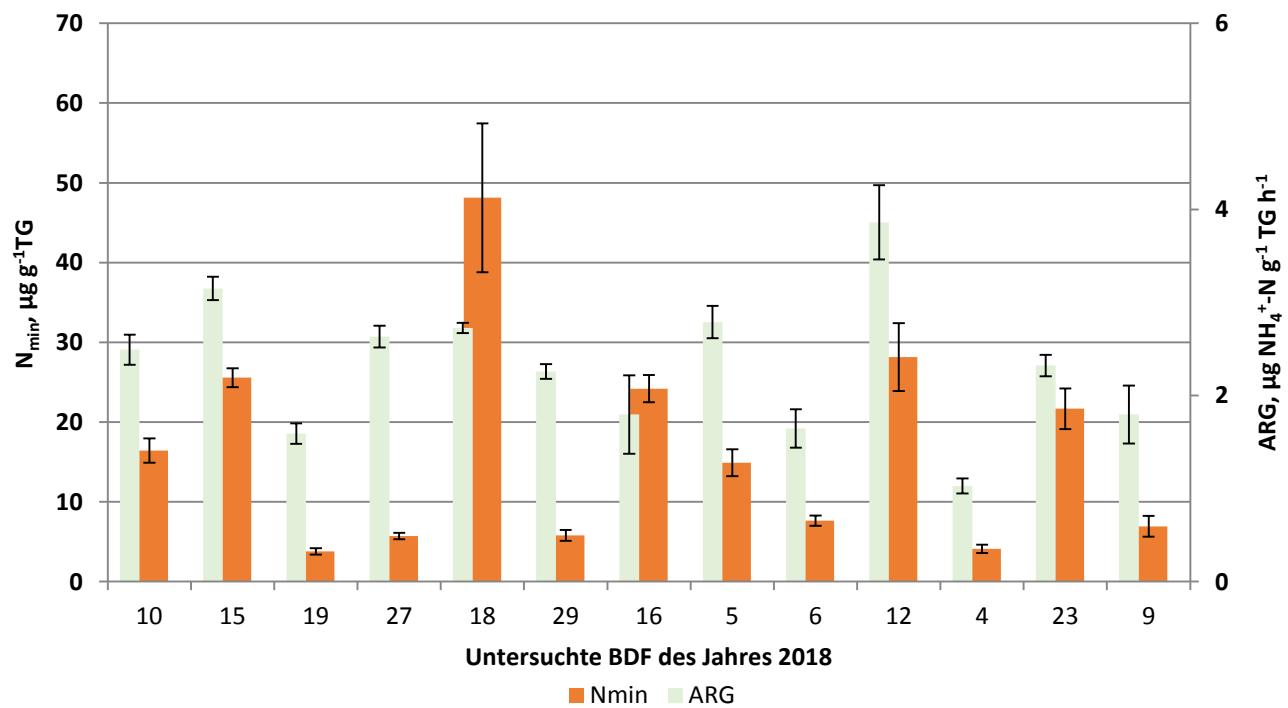


Abbildung 4.54: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) sowie die Argininammonifikation (ARG).

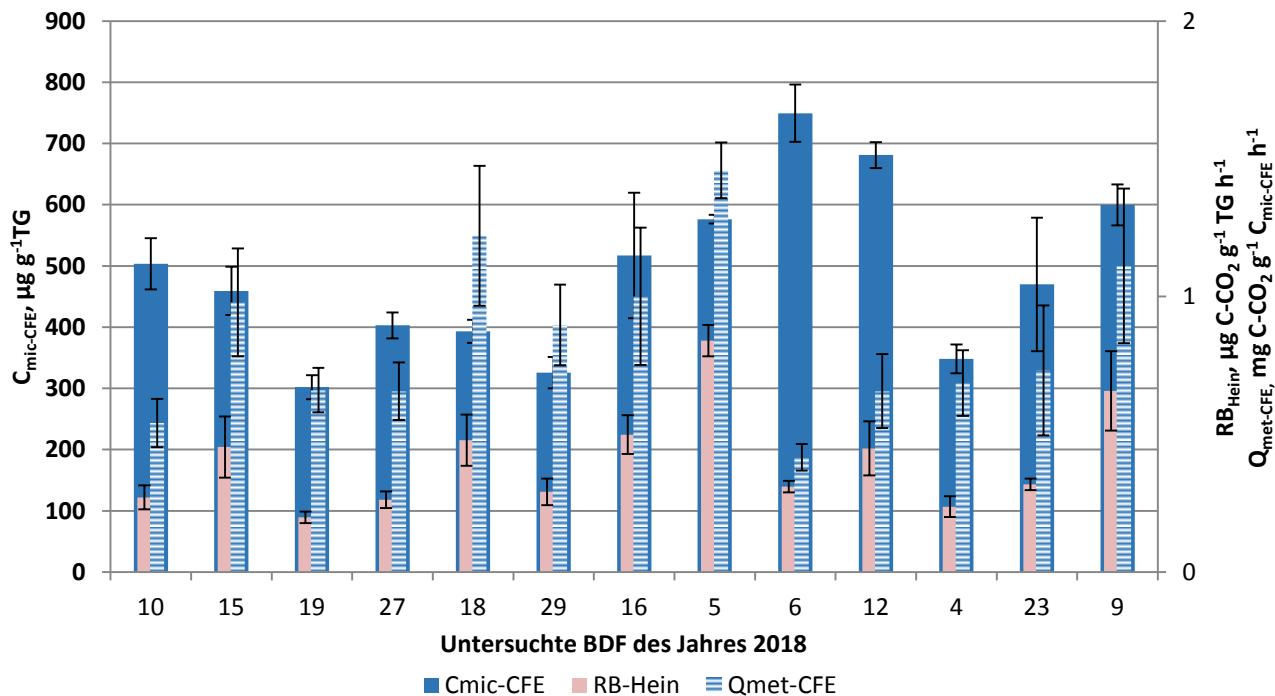


Abbildung 4.55: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) sowie die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$).

4.14.3 Gruppierung der Standorte

Aus den aufgeführten Korrelationen wurde eine Gruppierung der Standorte vorgenommen, wobei die am stärksten korrelierenden abiotischen Parameter (Tongehalt, pH, C_{org}/N_t -Verhältnis) als Gruppierungskriterien für die mikrobiellen Quotienten als die wesentlichsten bodenmikrobiologischen Größen dienten.

Die Abbildung 4.56 zeigt die Abhängigkeit der mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) von den Tongehalten der BDF-Standorte. Es zeigt sich eine Potenz-Beziehung zwischen beiden Parametern, sowohl für die gesamten als auch für die glucoseverwertenden Mikroorganismen. Für beide Fraktionen zeigte sich, dass die Tongehalte die Varianz der mikrobiellen Quotienten zu 70 % erklären (Bestimmtheitsmaß R^2) und in tonreichen Böden höhere Anteile mikrobieller Biomasse zu finden waren. Es zeigten sich jedoch auch Unterschiede zwischen dem $Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$. Während die $Q_{\text{mic-SIR}}$ -Werte über das gesamte Spektrum der Tongehalte (Ausreißer BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF15 Achterwehr) ansteigend waren ($R^2 = 0,7$), zeigte sich bei den $Q_{\text{mic-CFE}}$ -Werten zwar auch eine insgesamt ansteigende Regression ($R^2 = 0,7$), jedoch nahm der $Q_{\text{mic-CFE}}$ an Standorten mit mehr als 18 % Ton deutlich ab. Bis zu dieser Tongehaltsgrenze lässt sich die $Q_{\text{mic-CFE}}$ -Varianz sogar bis 93 % durch den Tongehalt erklären. Entsprechend der Tabelle 4.69 lassen sich die Standorte in sehr schwach tonige (0-10 % Ton), schwach tonige (10-18 % Ton) und mittel tonige (≥ 18 % Ton) Böden mit der jeweiligen Zuordnung der mikrobiellen Quotienten einteilen. Die Begrifflichkeiten sehr schwach, schwach und mittel tonig sind hierbei jedoch nicht mit den fest definierten Tongehaltsklassen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung zu verwechseln, da diese bei

den vorliegenden Werten der mikrobiellen Quotienten eine weniger scharfe Abgrenzung ermöglichen würden.

Die Abbildung 4.57 zeigt die Abhängigkeit der mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) von den pH-Werten der BDF-Standorte. Es zeigt sich eine Exponential-Beziehung zwischen beiden Parametern, sowohl für die gesamten als auch für die glucoseverwertenden Mikroorganismen. Für beide Fraktionen zeigte sich, dass die pH-Werte die Varianz der mikrobiellen Quotienten zu 70 % erklären (Bestimmtheitsmaß R^2) und in weniger sauren Böden höhere Anteile mikrobieller Biomasse zu finden waren. Es zeigten sich, abgesehen von den absoluten Unterschieden zwischen beiden, für den $Q_{\text{mic-CFE}}$ und den $Q_{\text{mic-SIR}}$ sehr ähnliche Beziehungen zum pH. Lediglich die BDF06 Sönke-Nissen-Koog stellte bei dem $Q_{\text{mic-SIR}}$ einen Ausreißer dar. Entsprechend der Tabelle 4.69 lassen sich die Standorte in stark bis mäßig saure (< 5,4), schwach saure (< 6,1), sehr schwach saure (< 6,8) und neutrale ($\geq 6,8$) Böden mit der jeweiligen Zuordnung der mikrobiellen Quotienten einteilen. Die Einteilungen entsprechen hierbei den definierten pH-Bereichen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung.

Die Abbildung 4.58 zeigt die Abhängigkeit der mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) von den C_{org}/Nt -Verhältnissen der BDF-Standorte. Es zeigt sich eine Potenz-Beziehung zwischen beiden Parametern, sowohl für die gesamten als auch für die glucoseverwertenden Mikroorganismen. Für beide Fraktionen zeigte sich, dass die C_{org}/Nt -Verhältnisse die Varianz der mikrobiellen Quotienten zu 70-80 % erklären (Bestimmtheitsmaß R^2) und im stickstoffreichen Bodenhumus (enge C_{org}/Nt -Verhältnisse) höhere Anteile mikrobieller Biomasse zu finden waren. Es zeigten sich, abgesehen von den absoluten Unterschieden zwischen beiden, für den $Q_{\text{mic-CFE}}$ und den $Q_{\text{mic-SIR}}$ sehr ähnliche Beziehungen zu den C_{org}/Nt -Verhältnissen. Lediglich die BDF06 Sönke-Nissen-Koog stellte bei dem $Q_{\text{mic-CFE}}$ einen Ausreißer dar. Entsprechend der Tabelle 4.69 lassen sich die Standorte in Bezug auf die C_{org}/Nt -Verhältnisse in weite bis mittlere (16-9) und enge (< 9) Bereiche mit der jeweiligen Zuordnung der mikrobiellen Quotienten einteilen. Die Einteilungen weichen hierbei von den definierten Einstufungen der Humusqualität nach Bodenkundlicher Kartieranleitung leicht ab, um eine schärfere Abgrenzung zu erreichen.

Tabelle 4.69: Gruppierung der BDF-Standorte anhand von mikrobiellen Quotienten unterteilt nach Tongehaltsklassen, pH-Klassen und C_{org}/Nt -Klassen.

Tongehaltsklasse (%)	BDF-Standorte	MW $Q_{\text{mic-CFE}}$ (%)	MW $Q_{\text{mic-SIR}}$ (%)
0 bis < 10	04, 09, 19, 23	2,1	1,1
10 bis < 18	05, 06, 10, 15, 16	5,0	2,2
≥ 18	12, 18, 27, 29	3,7	2,5
<hr/>			
pH-Klasse			
bis < 5,4	04, 09	1,8	0,8
5,4 bis < 6,1	19, 23, 29	2,6	1,6
6,1 bis < 6,8	05, 10, 12, 15, 16, 18, 27	4,4	2,5
$\geq 6,8$	06	5,8	1,3
<hr/>			
C_{org}/Nt -Klasse			

4. Ergebnisse und Diskussion

16 bis 9	04, 09, 19, 23	2,1	1,1
< 9	05, 06, 10, 12, 15, 16, 18, 27, 29	4,4	2,3

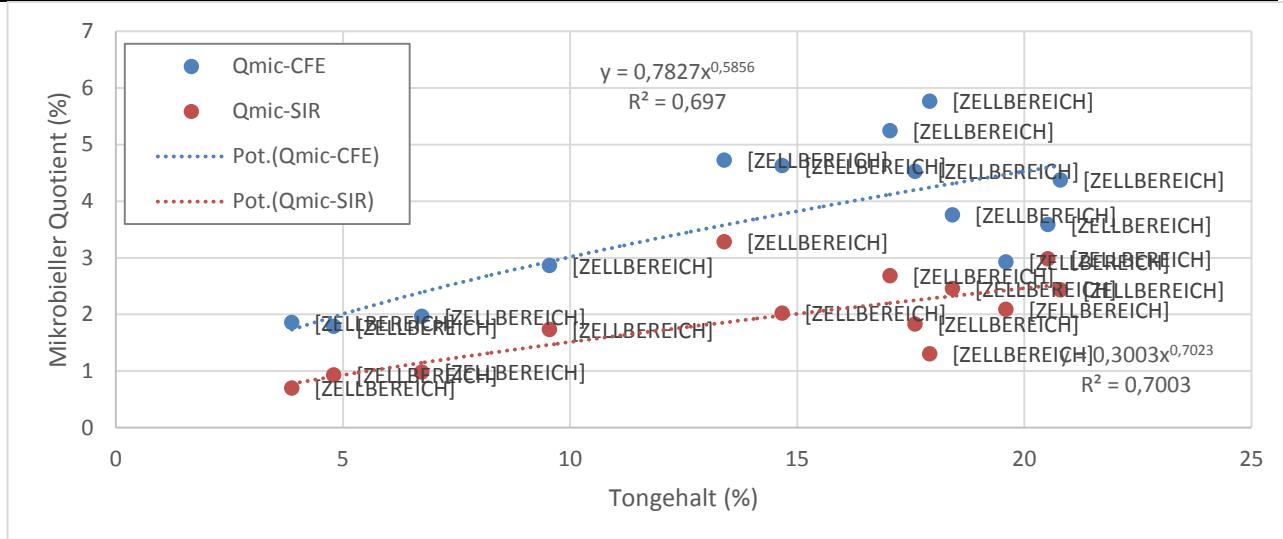


Abbildung 4.56: Mikrobielle Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) in Abhangigkeit vom Tongehalt.

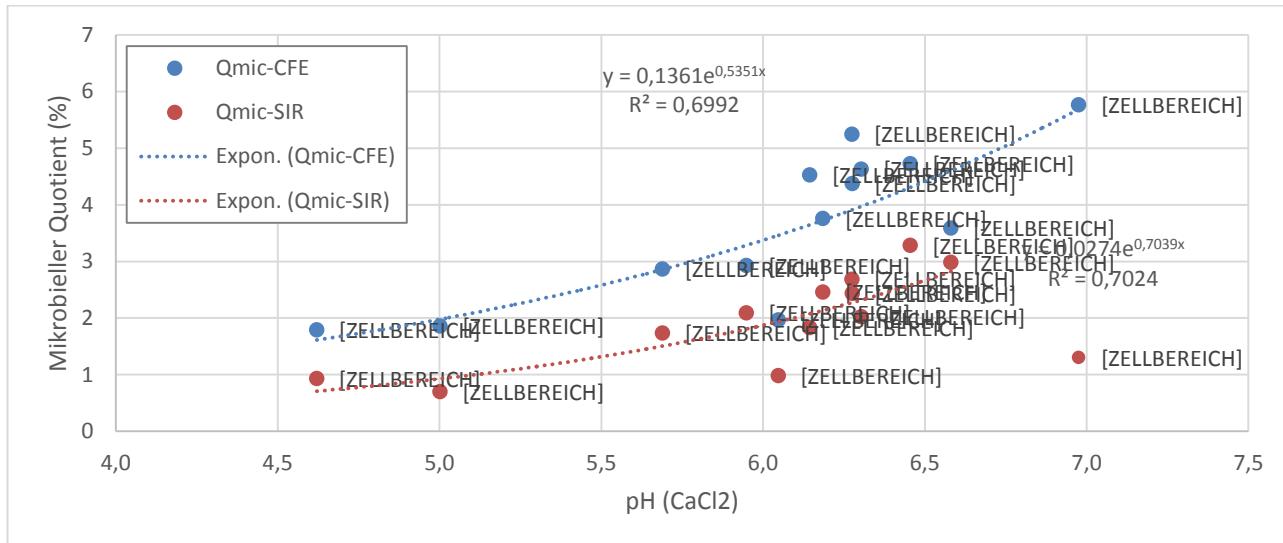


Abbildung 4.57: Mikrobielle Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) in Abhangigkeit vom Boden-pH.

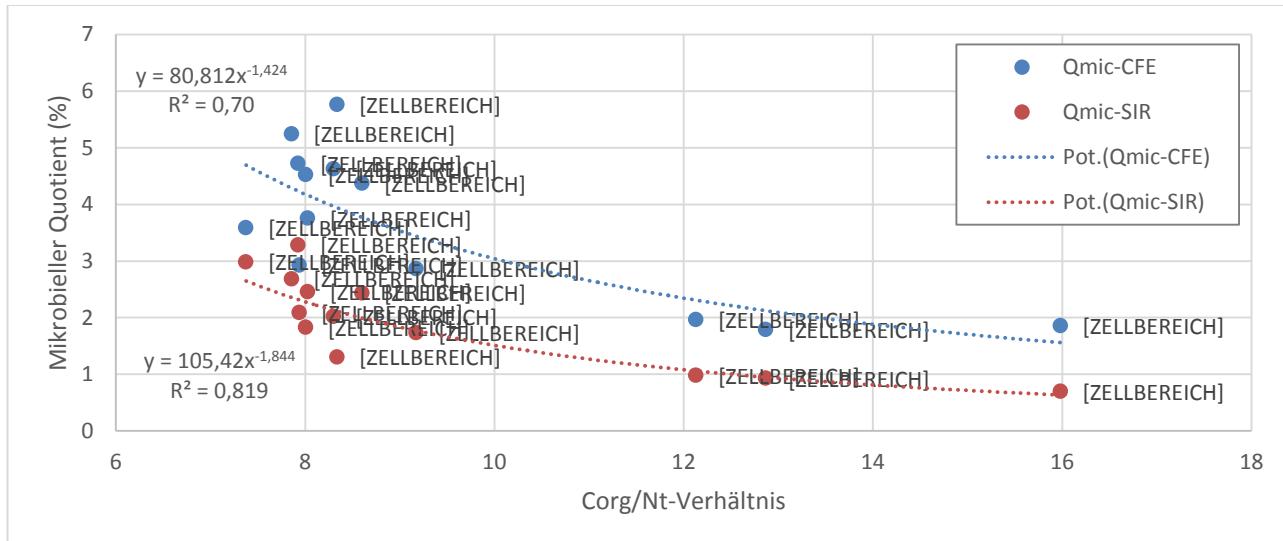


Abbildung 4.58: Mikrobielle Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) in Abhängigkeit vom C_{org}/N_t -Verhältnis.

4.14.4 Entwicklung der bodenmikrobiologischen Untersuchungsparameter seit der Erstuntersuchung

Die Kennwerte für die zeitliche Entwicklung der untersuchten Parameter sind in der Tabelle 4.70 als Korrelationskoeffizienten mit jährlichen Änderungsraten dargestellt. Dabei zeigen sich insgesamt 15 negative und 13 positive signifikante Korrelationen der Untersuchungsparameter über die Zeit. Die bodenmikrobiologischen Parameter, welche am häufigsten mit der Zeit korrelierten, sind die Gehalte der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der mikrobielle Quotient der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-CFE}}$) mit jeweils sechs positiven Korrelationen. Die meisten negativen Korrelationen zeigten sich unter den bodenmikrobiologischen Parametern bei der Argininammonifikation (ARG) auf vier BDF-Standorten. Zudem zeigte jeweils eine BDF eine negative Korrelation bei dem Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) und bei der Basalatmung ($R_{B-\text{Hein}}$).

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zeigte signifikant zunehmende Trends auf den Standorten BDF04 Goldelund, BDF05 Gintoft, BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF09 Schuby, BDF15 Achterwehr sowie BDF16 Schwartbuck. Die jährlichen Zuwachsrate, berechnet aus der linearen Regression, bewegten sich dabei zwischen $9 \mu\text{g g}^{-1} \text{TG a}^{-1}$ auf der BDF04 Goldelund und $23 \mu\text{g g}^{-1} \text{TG a}^{-1}$ auf der BDF06 Sönke-Nissen-Koog. Auch der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zeigte signifikante Zunahmen über die Zeit, teilweise jedoch auf anderen Standorten. Diese waren BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF09 Schuby, BDF10 Maasleben, BDF15 Achterwehr, BDF16 Schwartbuck und BDF19 Mörel. Die höchsten Zuwachsrate waren dabei auf den Standorten BDF06 Sönke-Nissen-Koog und BDF10 Maasleben mit $0,2 \% \text{ a}^{-1}$ zu verzeichnen während die BDF09 Schuby mit $0,05 \% \text{ a}^{-1}$ die niedrigste signifikante Zuwachsrate zeigte. Die Standorte BDF10 Maasleben und BDF19 Mörel wiesen somit signifikante Zunahmen des mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) auf ohne signifikante Zunahmen der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$). Diese Beobachtung lässt sich für die BDF10 Maasleben durch eine signifikante Abnahme des Kohlenstoffgehalts (C_{org}) erklären.

Die verbliebenen sechs signifikanten Korrelationen der bodenmikrobiologischen Parameter mit der Zeit sind negativ und deuten auf abnehmende Tendenzen hin. Vier davon entfielen auf die Argininammonifikation (ARG) welche auf den Standorten BDF09 Schuby, BDF16 Schwartbuck, BDF19 Mörel und BDF23 Bokhorst mit jährlichen Raten von $-0,10$ bis $-0,16 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N g}^{-1} \text{TG h}^{-1} \text{ a}^{-1}$ signifikant abgenommen hat. Weitere signifikant abnehmende Tendenzen zeigten sich an den Standorten BDF10 Maasleben für die Basalatmung ($R_{B-\text{Hein}}$) sowie BDF04 Goldelund für den mikrobiellen Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$).

Abgesehen von den aufgeführten bodenmikrobiologischen Parametern ergab die Korrelationsanalyse auch bei den abiotischen Parametern statistisch signifikante Trends. Dabei wurde am häufigsten eine Abnahme des C_{org}/N_t -Verhältnisses beobachtet. Diese erfolgte an den Standorten BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF09 Schuby, BDF10 Maasleben, BDF16 Schwartbuck, BDF18 Heringsdorf, BDF19 Mörel sowie BDF29 Niederbüssau. Die jährlichen Abnahmeraten bewegten sich zwischen $-0,1$ auf BDF16 Schwartbuck und $-0,5$ auf BDF10 Maasleben. Durch das enger werdende C_{org}/N_t -Verhältnis erfolgt eine relative Anreicherung von Stickstoff im Bodenhumus, woraus an diesen Standorten eine zunehmende Humusqualität resultiert. Zusätzlich wurde an den Standorten BDF06 Sönke-Nissen-Koog sowie BDF10 Maasleben eine abnehmende Tendenz im Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) mit jährlichen Raten von bis zu $-0,04 \% \text{ a}^{-1}$ festgestellt,

4. Ergebnisse und Diskussion

was die Verengung der C_{org}/N_t -Verhältnisse weiter begünstigt. Der Boden-pH zeigte lediglich an einem Standort, BDF23 Bokhorst, einen signifikant zunehmenden Langzeitrend. Dieser fiel mit einer Zunahme von 0,01 Einheiten pro Jahr jedoch sehr gering aus.

Abgesehen von den signifikanten linearen Trends zeigt sich bei der Entwicklung der mikrobiellen Biomassegehalte ($C_{mic-CFE}$) aller Standorte zunächst eine Zunahme zwischen den Jahren 1995 und 1998. In den darauffolgenden Untersuchungsjahren 2001, 2005 und 2010 erfolgte tendenziell eine Abnahme der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte. Zum Untersuchungsjahr 2015 zeigte sich jedoch ein sehr deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomassegehalte auf die bisherigen Höchstwerte. Im Jahr 2018 wurde dieses hohe Niveau weitgehend beibehalten. Diese starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse hatte ebenso entsprechende Auswirkungen auf den mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ zunehmend) und auf den metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ abnehmend). Bis 2010 war die Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) ähnlich wie bei der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), d. h. zunehmend zwischen 1995 und 1998 und abnehmend bis 2010. Die ARG nahm anschließend zum Jahr 2015 zwar zu, jedoch nicht annähernd so deutlich wie die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$). Der Höchstwert der ARG vom Jahr 1998 wurde in den darauffolgenden Untersuchungen nicht mehr übertroffen.

Etwas anders verhielt es sich bei den Gehalten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$). Diese wurde zum ersten Mal im Untersuchungsjahr 1998 bestimmt und zeigte im Mittel einen Anstieg zum Jahr 2001. Es folgten eine Abnahme zum Jahr 2005 und ein moderater Anstieg zum Untersuchungsjahr 2015. Die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse nahmen zum Jahr 2018 im Durchschnitt merklich ab.

Tabelle 4.70: Korrelationen zwischen dem zeitlichen Verlauf der Untersuchungen (1995 bis 2018) und den in diesem Zeitraum erzielten Messwerten für die bodenmikrobiologischen Parameter. Darstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Bei signifikanten Korrelationen ist zusätzlich die jährliche Änderungsrate (Steigung der Regressionsgeraden) in absoluten Zahlen zu den jeweiligen Einheiten angegeben sowie die Anzahl der positiven und negativen Korrelationen für jeden Parameter.

BDF	C _{org}	C _{org} /N _t	N _{min}	pH	C _{mic-CFE}	C _{mic-SIR}	N _{mic-CFE}	R _{B-Hein}	ARG	Q _{met-CFE}	Q _{met-SIR}	Q _{mic-CFE}	Q _{mic-SIR}
	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	μg g ⁻¹ TG		μg g ⁻¹ TG	μg g ⁻¹ TG	μg g ⁻¹ TG	μg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	μg NH ₄ ⁺ -N g ⁻¹ TG h ⁻¹	μg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic-CFE} h ⁻¹	μg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic-SIR} h ⁻¹	%	%
04	0,64	0,62	-0,66	-0,23	0,82* 9,1	0,02	-0,86* -0,39	-0,56	-0,45	-0,58	-0,41	0,45	-0,58
05	0,05	-0,33	0,04	-0,50	0,76* 15,4	0,19	-0,29	0,68	-0,68	-0,22	0,62	0,71	0,08
06	-0,77* -0,02 -0,23	-0,95** -	-0,11	-0,52	0,81* 22,9	0,06	-0,22	-0,08	-0,73	-0,50	-0,18	0,82* 0,20	0,31
09	-0,58	-0,83* -0,21	-0,30	0,56	0,80* 17,0	0,20	-0,04	0,65	-0,79* -0,10	-0,47	0,29	0,82* 0,05	0,29
10	-0,84* -0,04	-0,80* -0,50	-0,29	-0,55	0,73	-0,24	-0,05	-0,91* -0,01	-0,66	-0,68	-0,50	0,85* 0,19	0,57
12	-0,24	-0,74	-0,20	0,01	0,70	-0,38	0,27	-0,29	-0,50	-0,57	-0,13	0,68	-0,52
15	0,04	-0,64	-0,23	-0,61	0,85* 14,2	0,51	0,31	0,35	-0,65	-0,55	-0,25	0,82* 0,14	0,58
16	-0,16	-0,93** -0,10	0,57	-0,36	0,78* 14,1	-0,15	0,15	-0,19	-0,79* -0,15	-0,59	0,27	0,76* 0,12	-0,28
18	-0,11	-0,83* -0,10	0,13	-0,06	0,68	0,13	-0,14	0,31	-0,67	-0,28	0,29	,67	-0,19
19	-0,71	-0,76* -0,25	-0,75	0,11	0,66	-0,54	-0,35	-0,64	-0,86* -0,14	-0,59	-0,02	0,81* 0,11	-0,24
23	-0,41	-0,71	-0,38	0,77* 0,01	0,73	-0,54	-0,06	-0,48	-0,87* -0,16	-0,76	0,13	0,72	-0,58
27	0,10	-0,68	-0,62	0,18	0,72	-0,10	0,10	-0,11	-0,62	-0,19	0,01	0,64	-0,18
29	-0,23	-0,93** -0,13	-0,61	-0,17	0,57	-0,09	-0,07	-0,24	-0,57	-0,46	-0,15	0,59	-0,08
positiv				1	6							6	
negativ	2	7					1	1	4				

4.14.5 Witterung und Wasserhaushalt

Bei der Betrachtung der Klimabedingungen und der Untersuchungsergebnisse an den BDF-Standorten zeigen sich zum Teil deutliche Korrelationen und Abhängigkeiten. Die Verteilung der Jahresniederschlagssummen und der Jahresdurchschnittstemperaturen des Vorjahres 2017 zeigt, dass die wärmeren Standorte im Wesentlichen auch durch niedrigere Jahresniederschläge und somit insgesamt durch trockenere Bedingungen gekennzeichnet waren (Abbildung 4.47). Am deutlichsten tritt dies bei der BDF12 Vadersdorf in Erscheinung, welche sowohl durch die höchste Temperatur als auch durch die niedrigsten Niederschlagssummen gekennzeichnet ist. In ähnlicher Weise zeigt sich dies auch bei der BDF18 Heringsdorf. Dagegen war die BDF19 Mörel im Jahr 2017 durch die niedrigste Jahresdurchschnittstemperatur gekennzeichnet, sowie durch die zweithöchsten Niederschlagssummen nach der BDF23 Bokhorst. Anhand des Bestimmtheitsmaßes der Regression zeigt sich, dass die Varianz der Niederschlagssummen zu etwa 40 % durch die Temperaturunterschiede erklärt werden kann. Insgesamt geht aus den Klimadaten hervor, dass im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990) an allen Standorten eine Zunahme der Temperatur um durchschnittlich 1,4 °C sowie eine Zunahme der Jahresniederschlagssummen um etwa 200 mm stattgefunden hat.

Im Hinblick auf die bodenmikrobiologischen Untersuchungsparameter zeigte sich insbesondere bei den Gehalten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) eine deutliche Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen des Vorjahres 2017. Erkennbar ist, dass mit steigender Temperatur am jeweiligen Standort auch höhere Gehalte glucoseaktivierter mikrobieller Biomasse auftreten (Abbildung 4.60). Dies zeigt sich insbesondere an den beiden kühlsten (BDF19 Mörel) und wärmsten (BDF12 Vadersdorf) Standorten. Diese sind durch die annähernd niedrigsten (BDF19 Mörel) und höchsten (BDF12 Vadersdorf) $C_{mic-SIR}$ -Gehalte gekennzeichnet. Dabei ergibt sich für die Temperaturdifferenz von 0,7 °C eine Differenz der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse von etwa 200 µg g⁻¹. Dies ergibt rechnerisch eine Zunahme der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte von 220 µg g⁻¹ je ein Grad Temperaturzunahme. Die Varianz der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse wird durch die Temperaturunterschiede zu annähernd 40 % erklärt.

Ebenso liegt ein Einfluss der Jahresniederschlagssummen auf die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse vor. Im Gegensatz zu den Temperaturen zeigt sich hier bei den Niederschlägen jedoch eine negative Korrelation (Abbildung 4.61). Der niederschlagsärmste Standort BDF12 Vadersdorf ist durch den höchsten Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse gekennzeichnet, was sich auch ähnlich bei der BDF18 Heringsdorf zeigt. Hingegen zeigt einer der feuchtesten Standorte BDF19 Mörel auch einen der niedrigsten $C_{mic-SIR}$ -Gehalte. Aus der linearen Regression ergibt sich dabei eine Steigung von -285 µg g⁻¹ je 1000 mm zunehmender Niederschlagshöhe. Die Varianz der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte wird durch die Niederschlagsunterschiede zu annähernd 50 % erklärt. Bei der zeitlichen Betrachtung ist anzumerken, dass gemäß der Zeitreihen des Deutschen Wetterdienstes das Jahr 2017 in Schleswig-Holstein zu den drei niederschlagsreichsten Jahren seit Beginn der Wetteraufzeichnung gehört. Dies scheint der wesentliche Faktor bei der zum Teil starken Abnahme der Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse im Vergleich der aktuellen und der letzten Untersuchungskampagne an nahezu allen BDF-Standorten zu sein. In ähnlicher Weise trat der Temperatureinfluss bei dem sehr warmen Jahr 2014 der letzten Untersuchungskampagne in Erscheinung. In Bezug auf die Gehalte der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte sich kein so deutlicher Zusammenhang zu den Klimabedingungen.

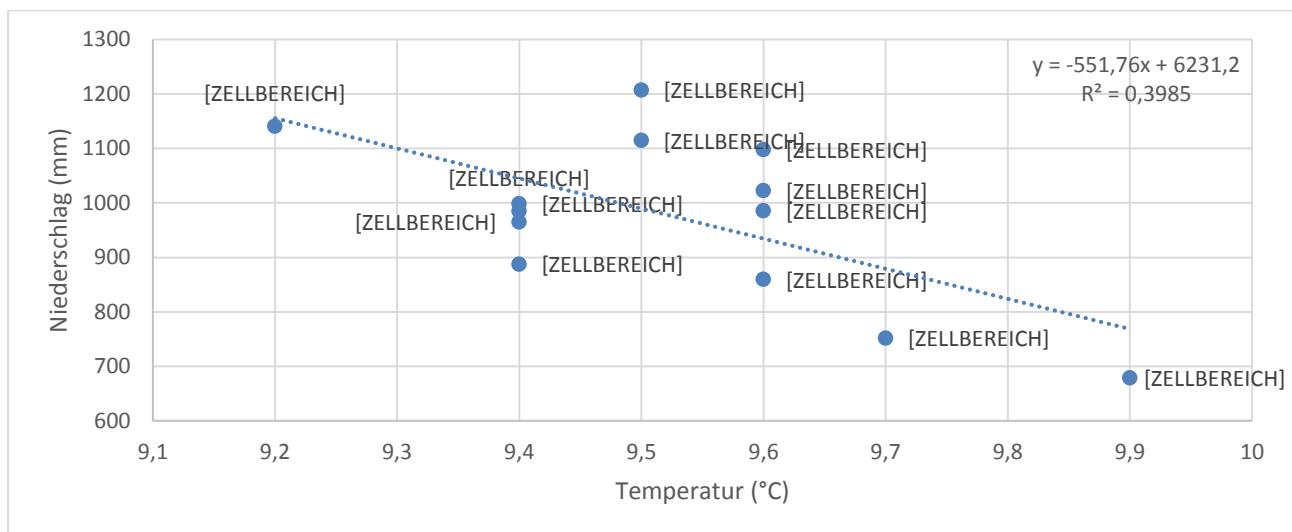
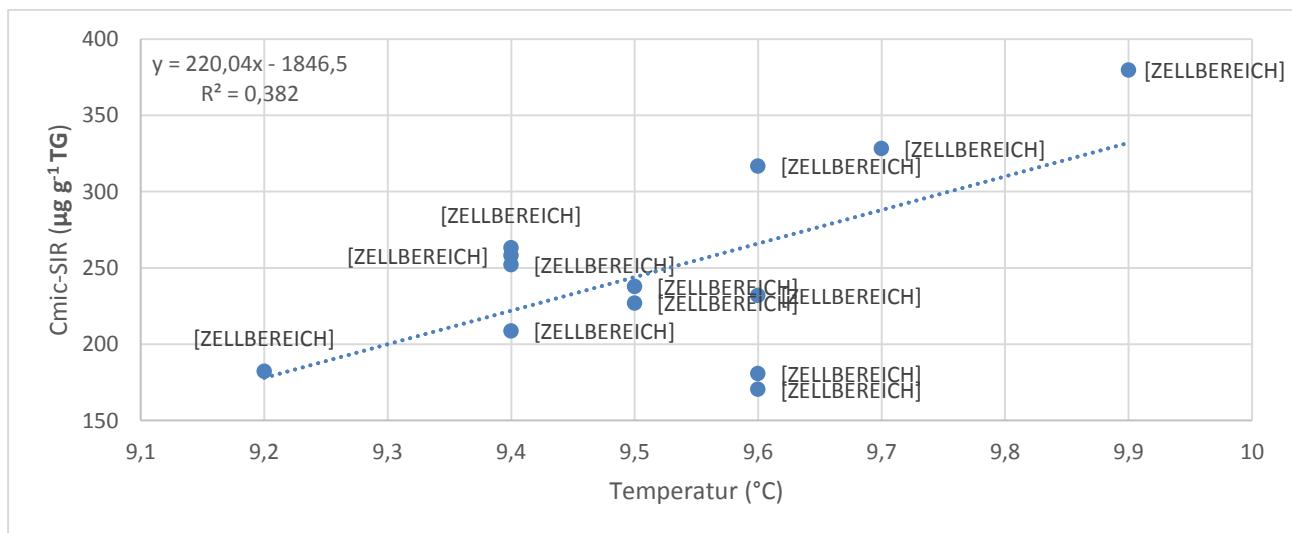
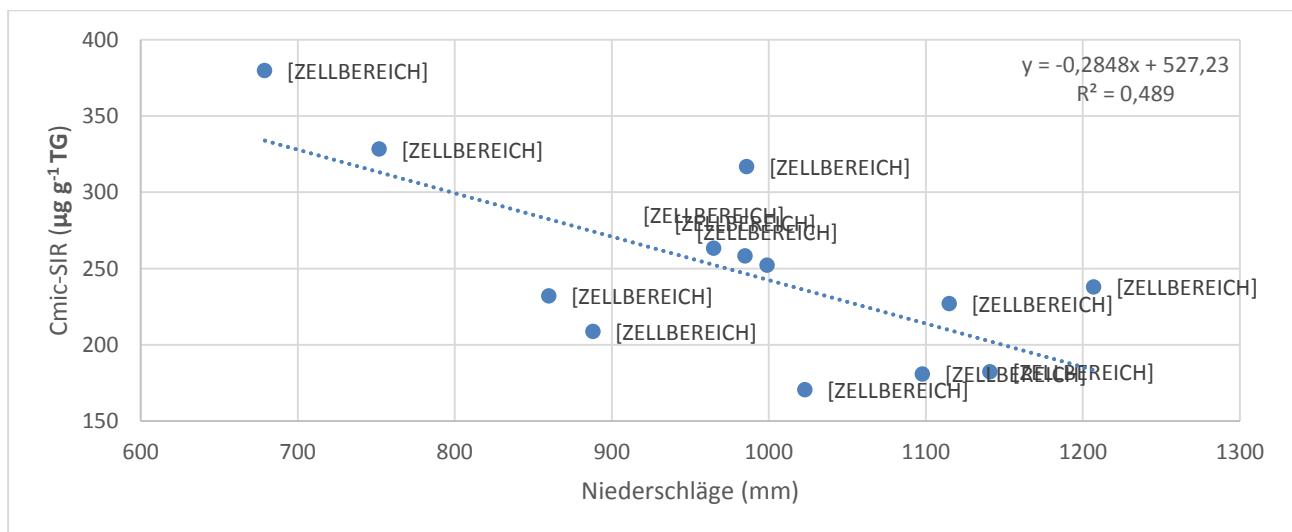


Abbildung 4.59: Verteilung der Jahrestemperaturen und Niederschläge über die BDF-Standorte.


 Abbildung 4.60: Abhängigkeit der C_{mic}-SIR-Gehalte von der Temperatur.

 Abbildung 4.61: Abhängigkeit der C_{mic}-SIR-Gehalte von den Jahresniederschlägen.

4.14.6 Beziehungen zur Bewirtschaftung

Die chemischen und mechanischen Bewirtschaftungsmaßnahmen der untersuchten Ackerflächen sind nach Angaben der Schlagkartei sehr vielfältig und umfangreich. Aus den signifikanten Korrelationen geht hervor, dass die bodenmikrobiologischen Parameter unterschiedlichen bewirtschaftungsbedingten Einflüssen unterliegen. So wiesen Standorte, welche durch eine höhere Humusakkumulation sowie durch eine niedrigere Humusqualität (C_{org} , C_{org}/N_t) gekennzeichnet sind tendenziell niedrigere mikrobielle Quotienten ($Q_{mic-CFE}$, $Q_{mic-SIR}$) auf. Dies waren insbesondere die Standorte BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby und BDF23 Bokhorst mit C_{org} -Gehalten von etwa 2 bis 3 %. Die Zufuhr organischen Materials übertrifft an diesen Standorten das Besiedlungspotenzial der Mikroorganismen und deren Abbauleistung. Weiterhin zeigt sich, dass die Nitratgehalte im Boden ebenso ausschlaggebend sind für die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-SIR}$) und deren Umsatzleistung (ARG). Dabei zeigen die genannten Parameter an den nitratreichen Standorten (BDF12 Vadersdorf, BDF15 Achterwehr, BDF18 Heringsdorf) deutlich höhere Werte, als an den nitratarmen Standorten (BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby, BDF19 Mörel). Dies geht mit der bewirtschaftungsbedingten Nährstoffzufuhr, insbesondere der Düngung mit Mineralstickstoff einher.

Bei der Betrachtung der Stickstoff- und Phosphorgaben im Jahr 2017 aus den Angaben der Schlagkartei lässt sich ein Einfluss der Mineraldüngung auf die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) feststellen (Abbildung 4.62). Bei Phosphor ist zu erkennen, dass die stärker gedüngten Standorte (BDF12 Vadersdorf und BDF15 Achterwehr) mit höheren $C_{mic-SIR}$ -Gehalten einhergehen als die am wenigsten gedüngten BDF (BDF16 Schwartbuck und BDF27 Tankenrade). Aus der linearen Regression ergibt sich eine Steigung von $0,8 \mu\text{g g}^{-1}$ pro kg ha^{-1} Phosphorzufuhr, jedoch mit einem Achsenabschnitt liegend bei $200 \mu\text{g g}^{-1}$. Der Anteil der erklärten Varianz liegt mit diesem Modell bei 29 %, wenn die BDF19 Mörel als Ausreißer nicht berücksichtigt wird. Dies liegt auch daran, dass mittelstark gedüngte Standorte teilweise ebenso durch hohe (BDF18 Heringsdorf) und durch niedrige (BDF04 Goldelund und BDF19 Mörel) $C_{mic-SIR}$ -Gehalte gekennzeichnet sind. Auch bei den Stickstoffgaben ist ein nennenswerter linearer Einfluss auf die $C_{mic-SIR}$ -Gehalte zu erkennen, wenn die BDF19 Mörel nicht einbezogen wird. Die schwach N-gedüngten Standorte (BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby) weisen niedrige $C_{mic-SIR}$ -Gehalte auf, während die stark N-gedüngten BDF (BDF12 Vadersdorf, BDF15 Achterwehr, BDF18 Heringsdorf) durch höhere $C_{mic-SIR}$ -Gehalte gekennzeichnet sind. Jedoch befinden sich darunter auch BDF-Standorte mit deutlich niedrigen $C_{mic-SIR}$ -Gehalten (BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF16 Schwartbuck). Der Anteil der erklärten Varianz liegt mit diesem Modell bei 22 %. Die Steigung beträgt hier $0,4 \mu\text{g g}^{-1}$ pro kg ha^{-1} Stickstoffzufuhr und ist somit nur halb so hoch wie bei der Phosphorzufuhr. Damit wird deutlich, dass Phosphor einen stärkeren Einfluss auf den aktiven Teil der Bodenmikrobiologie ausübt. Deutlich schwächer verhält sich jedoch der Einfluss der N- und P-Düngung auf die Gehalte der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$). Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Gülle) erfolgte im Jahr 2017 lediglich an drei Standorten (BDF04 Goldelund, BDF15 Achterwehr, BDF19 Mörel), so dass hier kein standortübergreifender Zusammenhang zu der Bodenmikrobiologie herzustellen ist.

Die in den jeweiligen Abschnitten dargestellten Zusammenhänge zwischen der Bewirtschaftung und der Bodenmikrobiologie basieren überwiegend auf den Untersuchungsergebnissen der abiotischen und mikrobiologischen Parameter, da diese als quantitativ erfasste Größen direkt miteinander statistisch korrelierbar sind. Die abiotischen Parameter wurden dabei als Resultate

der Bewirtschaftungsmaßnahmen betrachtet (z. B. Veränderung der Trockenrohdichte als Folge der Bodenbearbeitung, Veränderung des C_{org}-Gehaltes als Folge organischer Düngung). Somit ließen sich die Beziehungen zur Bewirtschaftung lediglich wenig differenziert und ohne Berücksichtigung einzelner, spezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen darstellen. Dennoch ist davon auszugehen, dass jeder landwirtschaftliche Eingriff in den Boden sowohl positive als auch negative Wirkungen auf die Bodenmikrobiologie verursacht, und dass es dabei zu einer Überlagerung (Verstärkung und Abschwächung) der einzelnen Effekte kommt. Daher ist z. B. eine Veränderung des metabolischen Quotienten zwischen zwei Untersuchungsjahren nicht einzelnen Maßnahmen wie der tiefen Bodenbearbeitung oder dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zuzuordnen.

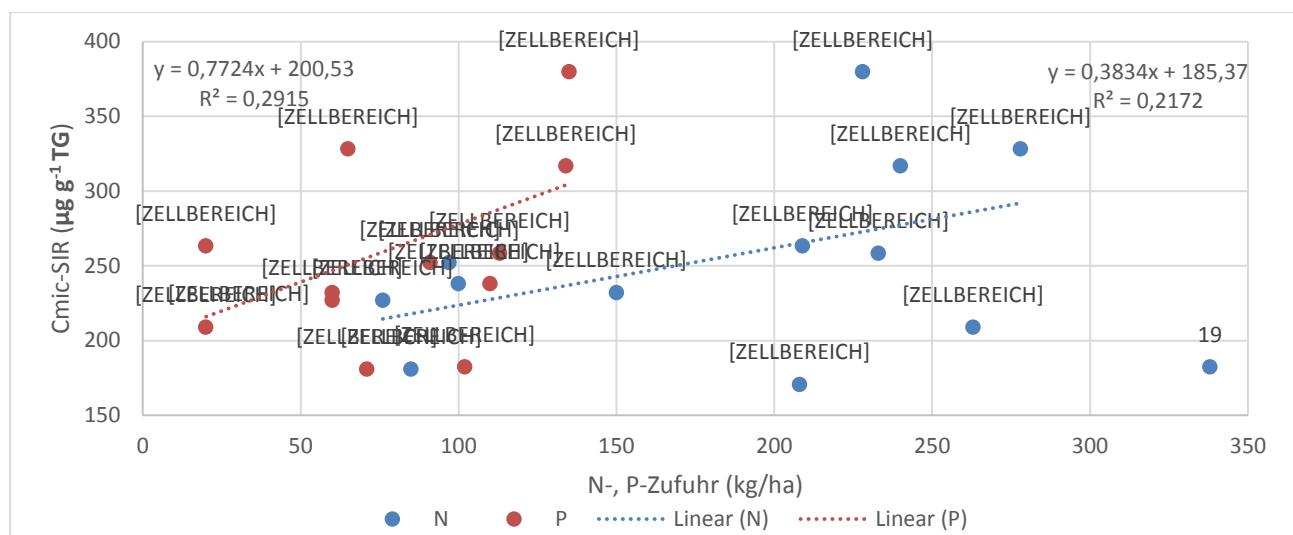


Abbildung 4.62: Abhängigkeit der C_{mic-SIR}-Gehalte von der Nährstoffzufuhr (BDF19 Mörel nicht in der Regressionsberechnung).

4.14.7 Beziehungen zur Vegetationskunde

Die letzten vegetationskundlichen Untersuchungen, aus welchen verlässliche Arten-, Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahlen hervorgingen erfolgten bis zum Jahr 1999. Aufgrund dessen können die bodenmikrobiologischen Ergebnisse der letzten 18 Jahre nicht mit spezifischen vegetationskundlichen Daten in Beziehung gesetzt werden. Die zuletzt ausgewiesenen Pflanzengesellschaften zeichneten sich durch eine starke Artenarmut aus, zudem konnte auf mehreren Flächen keine Pflanzengesellschaft zugeordnet werden. Dies deutet auf stark gestörte Standorte hin, welche durch häufige und intensive chemische und mechanische Maßnahmen einer natürlichen Pflanzengesellschaft keine Entfaltungsmöglichkeiten bieten.

Aus bodenmikrobiologischer Sicht des Jahres 2018 bestätigt sich die Einstufung des Bodens als gestört nur teilweise. Die metabolischen Quotienten (Q_{met-CFE}) der einzelnen BDF liegen mit einer Ausnahme (BDF05 Gintoft) im sehr niedrigen Bereich, was trotz großer Unterschiede im BDF-Vergleich auf eine insgesamt hohe Effizienz der Mikroorganismen bei der Substratverwertung hinweist. Abweichend davon zeigt sich die Indikation des metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse (Q_{met-SIR}). Dieser weist insbesondere auf den BDF05

4. Ergebnisse und Diskussion

Gintoft (Pseudogley-Parabraunerde), BDF06 Sönke-Nissen-Koog (Kalkmarsch), BDF09 Schuby (Gley-Podsol) und BDF16 Schwartbuck (Pseudogley-Parabraunerde) hohe bis sehr hohe Werte auf, was auf deutliche Störungen und Stressoren durch Eingriffe in den Boden hinweist. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Untersuchungsjahre (siehe Zeitreihen in Kapitel 4) können den Ackerflächen jedoch deutliche Störungen der Bodenökologie anhand der wesentlich höheren metabolischen Quotienten (sowohl $Q_{\text{met-CFE}}$ als auch $Q_{\text{met-SIR}}$) zugeschrieben werden.

4.14.8 Beziehungen zur Bodenzoologie

Von den dreizehn untersuchten BDF-Standorten wurden im Jahr 2017 sechs BDF bodenzoologisch untersucht. Dies waren die sandigen Äcker BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby, BDF19 Mörel und BDF23 Bokhorst sowie die lehmigen Ackerstandorte BDF10 Maasleben und BDF15 Achterwehr.

Die bodenzoologische Standortcharakterisierung ergab für nahezu alle sechs Standorte hohe bis sehr hohe Siedlungsdichten und Biomassen von Regenwürmern, während die Siedlungsdichten von Kleinringelwürmern, darunter auch r-strategische Störungszeiger, überwiegend niedrig waren. Es wurden zwei Arten von Zersetzergesellschaften ausgewiesen. Für die Standorte BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby und BDF23 Bockhorst war dies Fridericio-Enchytraeetum, welche durch das Vorkommen von Schwachsäure- und Säurezeigern sowie von störungszeigenden r-Strategen gekennzeichnet ist. Diese Zersetzergesellschaft repräsentiert somit die drei Standorte, welche durch die niedrigsten mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) gekennzeichnet waren. Untypischerweise für diesen Zersetzergesellschaftstyp zeigten die Standorte BDF09 Schuby und BDF23 Bokhorst jedoch nur geringe Anteile von r-Strategen, was auch mit geringen Anteilen r-strategischer mikrobieller Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) einhergeht.

Die Standorte BDF10 Maasleben, BDF15 Achterwehr sowie BDF19 Mörel gehören gemäß der Klassifikation zum Zersetzergesellschaftstyp Fridericio-Lumbricetum, welcher durch das Vorkommen von endogäischen und anecischen Regenwürmern aber auch durch eine Dominanz von Schwachsäure- und Schwachbasen-zeigenden Kleinringelwürmern gekennzeichnet ist. Im Falle der BDF10 Maasleben und BDF15 Achterwehr geht dies mit hohen Anteilen mikrobieller Biomasse einher ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Die BDF19 Mörel hingegen wäre aus bodenmikrobiologischer Sicht aufgrund der niedrigen mikrobiellen Quotienten eher einer Fridericio-Enchytraeetum-Gesellschaft zuzuordnen.

Aus den vorangegangenen bodenzoologischen Untersuchungen, welche zuletzt in den Jahren 2006 bis 2012 durchgeführt wurden, geht hervor, dass an den meisten BDF-Standorten die Regenwurm-Biomasse insbesondere bei den tiefgrabenden Arten zwischen der Zweit- und der Drittuntersuchung zugenommen hat. Dagegen nahmen die Siedlungsdichten der störungsanzeigenden r-strategischen Kleinringelwürmer auf acht der dreizehn BDF teilweise deutlich ab. Beides erfolgte im Zeitraum der Jahre 2003 bis 2011, während zwischen den Jahren 2005 und 2010 bei der Bodenmikrobiologie ein Rückgang der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-CFE}}$) sowie ein Anstieg im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) an den meisten Standorten zu verzeichnen war.

5 Methodenanwendung und -kritik

5.1 Eignung der Methoden

Die Messwerte aller Parameter zeigten durch die Mehrfachbestimmung teilweise hohe Standardabweichungen sowohl im Jahr 2018 als auch in den vorangegangenen Untersuchungsjahren. Insbesondere bei der Einteilung in die Bewertungssysteme (z. B. nach AD HOC AG-BODEN 2005 oder QUIRIN & EMMERLING 2004), sowie bei der Beschreibung der zeitlichen Entwicklung, welches nach den jeweiligen Mittelwerten erfolgte, ist eine statistische Unsicherheit zu berücksichtigen.

Einige gleiche mikrobiologische Parameter werden zudem mit unterschiedlichen Methoden bestimmt. Für die Bestimmung der **mikrobiellen Biomasse** (C_{mic}) wurde für die Erhebung der Daten in diesem Bericht

1. die **Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode (CFE-Methode)** und
2. die Methode der **Substratinduzierten Atmung (SIR-Methode)** verwendet.

Die Daten für die SIR-Methode wurden zudem mit zwei unterschiedlichen Geräten, der Heinemeyeranlage am Thünen-Institut in Braunschweig sowie dem Sapromaten am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg gemessen. Zudem wurde die mikrobielle Biomasse am Sapromaten über den Verbrauch von Sauerstoff oder die Bildung von CO_2 berechnet. Bei der Heinemeyeranlage wird dagegen die Biomasse nur über die CO_2 -Bildung gemessen. Dadurch wurden vier verschiedene C_{mic} -Werte erhoben:

1. $C_{mic-CFE}$
2. $C_{mic-SIR}$ der Heinemeyeranlage CO_2
3. $C_{mic-SIR}$ als SIR-Sapromat O_2
4. $C_{mic-SIR}$ Sapromat CO_2

In dem vorliegenden Bericht sind nur die Werte der ersten beiden Messungen für die mikrobielle Biomasse angegeben. Die Ergebnisse der Sapromatmessungen finden sich im Anhang A 9.

Die CFE-Methode erfasst im Gegensatz zur SIR-Methode alle aktiven und ruhenden, autotrophen und heterotrophen Mikroorganismen. Mit der SIR-Methode werden dagegen nur Glucoseaktivierte aktive und heterotrophe Mikroorganismen detektiert. Daher lassen sich die $C_{mic-CFE}$ mit den $C_{mic-SIR}$ -Werten nur bedingt vergleichen und die $C_{mic-CFE}$ -Werte müssten stets über den $C_{mic-SIR}$ -Werten liegen. Dies zeigte sich bei allen BDF des Untersuchungsjahres 2018.

Die Werte der mikrobiellen Biomassen aus den unterschiedlichen Bestimmungsverfahren korrelieren zum Teil signifikant (Tabelle 5.1). Die mit physiologischen Verfahren (Heinemeyer-Anlage und Sapromat) bestimmten mikrobiellen Biomassen zeigten untereinander hochsignifikante Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0,7 und 0,9. Dabei zeigte der Vergleich der Absolutwerte, dass im Mittel die höchsten mikrobiellen Biomassegehalte mit der CO_2 -Methode im Sapromaten bestimmt wurden, gefolgt von der CO_2 -Freisetzung in der Heinemeyer-Anlage und dem Sauerstoffverbrauch im Sapromaten. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die CO_2 -Methode im Sapromaten das insgesamt freigesetzte CO_2 berücksichtigt und nicht die niedigsten Atmungsraten, wie von der DIN gefordert. Aus diesem Grund ergibt sich eine Überschätzung der C_{mic} -Gehalte mit dieser Methode. Ausgehend von den niedrigsten O_2 - und CO_2 -Raten zeigte sich, dass die an der Heinemeyer-Anlage (CO_2) bestimmten C_{mic} -Gehalte im Schnitt etwa 1,4-fach höher waren als die am Sapromat ermittelten Werte (O_2).

5. Methodenanwendung und -kritik

Dies deutet möglicherweise darauf hin, dass auch im Substrat gebundener Sauerstoff von den Mikroorganismen zum Atmen verwendet wurde. Da der Gehalt der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nicht signifikant mit den übrigen Bestimmungsverfahren korrelierte, ist zu vermuten, dass der Anteil der aktiven Mikroorganismen nicht von der Gesamten mikrobiellen Biomasse abhängt, sondern eher auf andere standortspezifische Parameter (z. B. Nitratgehalt, vgl. Tabelle 4.68) zurückzuführen ist.

Tabelle 5.1: Korrelationskoeffizienten (r) aus den vier Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Die Anzahl der Datensätze (N) beträgt jeweils 13.

	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-Sapro} O_2$	$C_{mic-Sapro} CO_2$	$C_{mic-SIR}$
$C_{mic-CFE}$	1	0,53	0,45	0,15
$C_{mic-Sapro} O_2$	0,53	1	0,91 **	0,73 **
$C_{mic-Sapro} CO_2$	0,45	0,91 **	1	0,87 **
$C_{mic-SIR}$	0,15	0,73 **	0,87 **	1

Neben der mikrobiellen Biomasse wurde auch die **Basalatmung** der Mikroorganismen sowohl über die Heinemeyer-Anlage als auch über den Sapromaten bestimmt. Auch hier erfolgte die Bestimmung beim Sapromaten über den O_2 -Verbrauch bzw. die CO_2 -Bildung. Die Basalatmungswerte aus den unterschiedlichen Bestimmungsverfahren zeigten jedoch im aktuellen Untersuchungsjahr keine signifikanten Korrelationen (Tabelle 5.2). Im Vergleich der Absolutwerte zeigte sich, dass die Basalatmungsraten aus der Heinemeyer-Anlage und der CO_2 -Freisetzung im Sapromaten im Durchschnitt ähnlich hoch waren, jedoch etwa nur halb so hoch, wie die O_2 -Atmungsraten im Sapromat.

Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten (r) aus den drei Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Basalatmung. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Die Anzahl der Datensätze (N) beträgt jeweils 13.

	R_{B-Hein}	$R_{B-Sapro} O_2$	$R_{B-Sapro} CO_2$
R_{B-Hein}	1	0,43	-0,09
$R_{B-Sapro} O_2$	0,43	1	0,39
$R_{B-Sapro} CO_2$	-0,09	0,39	1

Ob in Zukunft für die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse oder der Basalatmung nur jeweils eine Methode verwendet werden sollte, ist anhand der Untersuchung von 2018 nicht eindeutig zu klären. Daher sollten auch in Zukunft alle Methoden verwendet werden, um weitere Zusammenhänge zwischen den Methoden aufzuklären.

5.2 Eignung der Indikatoren und Zeigerwerte

Die untersuchten Parameter dienen zunächst zur quantitativen Erfassung der bodenmikrobiologischen Aktivität der BDF-Standorte. Im Labor lassen sich diese ausgewählten Parameter anhand der definierten Methoden relativ einfach bestimmen und liefern somit gut reproduzierbare Werte. Die Bodenmikrobiologie wurde dabei über ihre **Funktion** erfasst, die Mineralisation von Kohlenstoff und Stickstoff, sowie über die **Abundanz** des mikrobiellen Kohlenstoffs und Stickstoffs. Damit wurden die Gesamtgehalte und die Gesamtflüsse quantifiziert, was für den Gesamtzustand einer BDF von Relevanz ist. Eine Differenzierung der mikrobiellen Biomasse erfolgte jedoch lediglich über die CFE- und SIR-Methoden, wobei die Diversität der mikrobiellen Gesellschaften nicht unterschieden werden konnten. Daher konnten Aussagen zu den mikrobiellen Zusammensetzungen aus Algen, Bakterien, Pilzen, Sporen, Protozoen etc. nicht getroffen werden. Eine qualitative Gruppierung der BDF, wie z. B. bei der Bodenzoologie oder der Vegetationskunde, war somit für die Bodenmikrobiologie nicht möglich.

Die Interpretation der erfassten Parameter erfolgte anhand ihrer in der Literatur beschriebenen Indikatorfunktionen (siehe Unterkapitel 2.2). Schwierig dabei ist, dass die Definition der Einflussfaktoren recht vage ist (z. B. Veränderungen, Stressoren, Gesamtzufuhr, Bodenbearbeitung) und dass sich Änderungen bei diesen Parametern nicht eindeutig den Einflussfaktoren (aus Klima- oder Bewirtschaftungsdaten) zuordnen lassen. Dies liegt zum Teil auch daran, dass bei dem dreijährigen Untersuchungsintervall eine Beprobung nicht unbedingt direkt nach einer Bewirtschaftungsmaßnahme oder nach einem klimatischen Extremereignis erfolgte, so dass auch andere Einflüsse den Indikatoreffekt überlagerten. Zudem muss angemerkt werden, dass die Bewertung der Parameter nach einem Referenzsystem durchgeführt wurde (QUIRIN & EMMERLING, 2004), welches auf einem Datensatz beruht, der die BDF-Daten der letzten 16 Jahre nicht berücksichtigt. Der Bewertung der einzelnen Standorte liegen zudem Messergebnisse zugrunde, welche aus Mischproben entlang von vier Probenahmestrecken ermittelt wurden. Räumliche und zeitliche Schwankungen der Bodenmikrobiologie innerhalb der gesamten Fläche im Jahresverlauf wurden auf diese Weise nicht miterfasst.

Die Mittelwerte der untersuchten Parameter, welche aus den Einzelwerten der vier Probenahmestrecken für die gesamte BDF gebildet wurden, zeigten zum Teil hohe Standardabweichungen sowohl im Jahr 2018 als auch in den vorangegangenen Untersuchungsjahren. Diese Standardabweichungen sind in erster Linie nicht als Messunsicherheiten zu betrachten, sondern stellen die Heterogenität der Fläche dar, welche sich teilweise ebenso in der Geländemorphologie widerspiegelt. Am Beispiel einer Acker-BDF (BDF24 Bornhöved) wurde die deutliche Flächenheterogenität unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen (Herbst/Winter) im Rahmen einer Masterarbeit (TIGGES, 2017) veranschaulicht. Insbesondere bei der Einteilung in die Bewertungssysteme (z. B. nach AD HOC AG-BODEN 2005 oder QUIRIN & EMMERLING 2004), sowie bei der Beschreibung der zeitlichen Entwicklung, welches nach den jeweiligen Mittelwerten erfolgte, ist zu berücksichtigen, dass die entsprechende Klassifizierung eventuell nur für den Flächendurchschnitt gilt und die Unterschiede innerhalb der BDF nicht abbildet.

6 Zusammenfassung

Die Bodendauerbeobachtung wird in Schleswig Holstein im Jahr 2018 seit über 25 Jahren durchgeführt. Ihr Ziel ist es, einen Beitrag zum nachhaltigen Bodenschutz zu leisten, indem der Bodenzustand über festgelegte Parameter und in regelmäßigen Abständen festgestellt wird und somit Bodenveränderungen aufgrund von Nutzungs- und Klimaänderungen sichtbar gemacht werden. Die Untersuchungen umfassen u.a. bodenchemische (C- und N-Haushalt, Wassergehalt, pH Wert) und bodenbiologische (Vegetation, Bodenzoologie, Bodenmikrobiologie) Parameter. Als bodenmikrobiologische Kennwerte dienen die mikrobielle Biomasse (mikrobieller Kohlenstoff und -Stickstoff), die mikrobielle Aktivität (Basalatmung und Argininammonifikation) und daraus zusammengesetzte Parameter (mikrobieller Quotient, metabolischer Quotient). Im Untersuchungsjahr 2018 wurden 13 der insgesamt 37 BDF in Schleswig-Holstein untersucht, welche alleamt ackerbaulicher Nutzung mit unterschiedlichen Fruchfolgen unterliegen.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass im Jahr 2018 alle Standorte für Ackerflächen sehr hohe Gehalte der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) jedoch niedrige bis hohe Gehalte der glucoseaktivierten Biomasse ($C_{mic-SIR}$) aufweisen. In Verbindung mit den Basalatmungsraten ergeben sich daraus niedrige bis sehr niedrige metabolische Quotienten ($Q_{met-CFE}$), welche auf allen Flächen auf eine hohe Effizienz der Substratverwertung durch die Bodenmikroorganismen hindeuten. In Relation zum Kohlenstoffgehalt stellen die BDF06 Sönke-Nissen-Koog sowie die BDF10 Maasleben insgesamt die Standorte mit den höchsten mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) dar, während die BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby und die BDF23 Bokhorst durch die niedrigsten mikrobiellen Quotienten gekennzeichnet sind. Tendenziell zeigte sich zudem, dass Standorte mit tonreicheren und weniger sauren Böden mit höherer Humusqualität auch durch höhere Anteile mikrobieller Biomasse gekennzeichnet waren.

Die Einflüsse der Bewirtschaftungs- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen ließen sich zum Teil indirekt über die abiotischen Parameter mit der Bodenmikrobiologie in Zusammenhang bringen. Dabei zeigten insbesondere die Veränderungen der C_{org} - und N_t -Gehalte sowie der Trockenrohdichte über den gesamten Untersuchungszeitraum Auswirkungen auf die bodenmikrobiologische Aktivität. Da Veränderungen gleicher Art an unterschiedlichen Standorten jedoch unterschiedliche Effekte (positive und negative Korrelationen zwischen gleichen Parametern) zeigten, waren eindeutige Schlussfolgerungen nicht möglich. Es ist anzunehmen, dass sich die unterschiedlichen Effekte der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen gegenseitig überlagern, so dass eine sichere Differenzierung der Ursachen einer bodenmikrobiologischen Veränderung nicht möglich ist. Insgesamt zeigte sich anhand der sehr niedrigen metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$), dass im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungsjahren die Jahre 2015 und 2018 mit geringeren Störungen und Stressoren für das Bodenökosystem verbunden waren, jedoch war die Effizienz der r-strategischen Mikroorganismen anhand des $Q_{met-SIR}$ insbesondere auf den Standorten BDF05 Gintoft, BDF06 Sönke-Nissen-Koog, BDF09 Schuby sowie BDF16 Schwartbuck niedrig bis sehr niedrig, was auf deutliche Störungen an diesen Standorten hindeutet. Insgesamt jedoch zeigten die Zeitreihen, dass die Anteile der r-strategischen Mikroorganismen in Relation zu der Gesamtheit der Mikroorganismen seit dem Jahr 2015 geringer werden, was als ein Hinweis für eine Stabilisierung der bodenökologischen Verhältnisse interpretiert werden kann. Aus der standortübergreifenden Korrelation der Nährstoffzufuhr mit den Gehalten der aktiven, r-

strategischen Mikroorganismen ging hervor, dass eine hohe Stickstoff- und insbesondere die Phosphorzufuhr mit hohen C_{mic-SIR}-Gehalten einherging (BDF12 Vadersdorf, BDF15 Achterwehr, BDF18 Heringsdorf).

Die teilweise parallel verlaufende Entwicklung der mikrobiellen Biomasse über den gesamten Untersuchungszeitraum auf nahezu allen BDF lässt auf einen überregionalen Einflussfaktor wie das Klima schließen. Insbesondere die starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2015 scheint die Folge des sehr warmen Vorjahres zu sein. Ebenso ist die Abnahme der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse (C_{mic-SIR}) zum aktuellen Jahr 2018 mit dem sehr niederschlagsreichen Vorjahr 2017 verbunden. Die standortübergreifende Korrelation hat ergeben, dass insbesondere die niederschlagsreichsten und zum Teil kühlen Standorte (BDF04 Goldelund, BDF09 Schuby, BDF19 Mörel) mit den niedrigsten C_{mic-SIR}-Gehalten und die wärmsten und trockensten Standorte (BDF12 Vadersdorf, BDF18 Heringsdorf) mit den höchsten C_{mic-SIR}-Gehalten verbunden waren.

6. Zusammenfassung

Tabelle 6.1 Klassifikation, Zeigerverhältnisse und Entwicklungstendenzen der Bodenmikrobiologie sowie ihre Beziehungen zu anderen Standorteigenschaften. Klassifikationsparameter: Biomasse = $C_{mic-CFE}$, Biomasse-Anteil = $Q_{mic-CFE}$, Aktivität pro Biomasse = $Q_{met-CFE}$, aktive (glucoseaktivierte) Biomasse = $C_{mic-SIR}$.

	BDF04 Goldelund	BDF05 Gintoft	BDF06 Sönke-Nissen-Koog
Klassifikation gemäß Quirin und Emmerling (2004)	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	Hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, hohe Stoffwechseleffizienz, niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.
Entwicklungs-tendenzen	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse seit Untersuchungsbeginn. Seit 2010 zunehmender pH, Mineralstickstoff und mikrobielle Effizienz.	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 abnehmender pH und Mineralstickstoff.	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils sowie des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 abnehmender pH und Mineralstickstoff.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standort-verhältnissen	Der Gley-Podsol weist einen sehr niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer stark sauren Bodenreaktion und einem weiten C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen der niedrigsten Anteile mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Pseudogley-Parabraunerde weist einen niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Kalkmarsch weist einen niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer neutralen Bodenreaktion (höchster pH) und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt den höchsten Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Leicht überdurchschnittliche Temperatur jedoch deutlich überdurchschnittliche Niederschläge im Vorjahr bedingen eine im Vergleich niedrige aktive mikrobielle Biomasse. Der Niederschlagseinfluss ist vorherrschend.	Leicht unterdurchschnittliche Temperatur jedoch durchschnittliche Niederschläge im Vorjahr bedingen eine im Vergleich durchschnittlich hohe aktive mikrobielle Biomasse. Der Niederschlagseinfluss ist vorherrschend.	Obwohl leicht überdurchschnittliche Temperatur und leicht überdurchschnittliche Niederschläge, weicht die aktive mikrobielle Biomasse am stärksten von dem klimatisch bedingten Potenzial nach unten ab.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Mit geringen Stickstoff- und mittleren Phosphorgaben zeigt sich einer der niedrigsten Gehalte aktiver mikrobieller Biomasse. Möglicherweise beeinflusst durch langjährige Mais-Monokultur.	Mit geringen Stickstoff- und erhöhten Phosphorgaben zeigt sich ein durchschnittlicher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse. Möglicherweise begünstigt durch mehrgliedrige Fruchtfolge.	Trotz höherer Stickstoffgaben zeigt sich einer der niedrigsten Gehalte aktiver mikrobieller Biomasse. Möglicherweise bedingt durch fehlende Phosphordüngung in 2017.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Zuletzt Abnahme der Diversität zwischen 1991 und 1997 und Anstieg der Stickstoffzahl einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Abnahme der Diversität zwischen 1995 und 1998 und Abnahme der Stickstoffzahl einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Rückgang der Diversität und Anstieg der Reaktionszahl bei gleichbleibender Stickstoffzahl zwischen 1995 und 1998 mit Abnahme der mikr. Biomasse.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Säurezeigende Zersetzergesellschaft einhergehend mit vergleichsweise niedrigen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend sauren und sehr schwach tonigen Böden.	Keine aktuelle Erhebung.	Keine aktuelle Erhebung.

Fortsetzung Tabelle 6.1

	BDF09 Schuby	BDF10 Maasleben	BDF12 Vadersdorf
Klassifikation gemäß Quirin und Emmerling (2004)	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	Hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.
Entwicklungs-tendenzen	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils sowie des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2010 abnehmender pH und zunehmender Mineralstickstoff.	Signifikante Zunahme des mikrobiellen Biomasse-Anteils sowie des Stickstoffanteils in der Organik sowie Abnahme des organischen Kohlenstoffs seit Untersuchungsbeginn. Seit 2010 zunehmender pH und Mineralstickstoff.	Seit 2010 zunehmende mikrobielle Biomasse, Biomasse-Anteil und mikrobielle Effizienz sowie abnehmender organischer Kohlenstoff. Seit 2015 pH und Mineralstickstoff abnehmend.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standort-verhältnissen	Der Gley-Podsol weist einen sehr niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer mäßig sauren Bodenreaktion und dem weitesten C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen der niedrigsten Anteile mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Der Parabraunerde-Pseudogley weist einen niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt den zweithöchsten Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Der Pseudogley weist einen mittleren Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Bei durchschnittlich hohen Temperaturen jedoch überdurchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich leicht unterdurchschnittlich. Der Niederschlagseinfluss ist vorherrschend.	Bei leicht unterdurchschnittlich hohen Temperaturen jedoch durchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich durchschnittlich. Der Niederschlagseinfluss ist vorherrschend.	Dieser insgesamt wärmste und trockenste Standort weist im Gesamtvergleich die höchste aktive mikrobielle Biomasse auf.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Mit geringen Stickstoff- und mittleren Phosphorgaben zeigt sich ein leicht unterdurchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse. Möglicherweise beeinflusst durch überwiegenden Maisanbau.	Mit höheren Stickstoff- und höheren Phosphorgaben zeigt sich ein durchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.	Mit höheren Stickstoff- und den höchsten Phosphorgaben zeigt sich der höchste Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Zuletzt Abnahme der Diversität und Feuchtezahl, sowie Zunahme der Reaktionszahl einhergehend mit deutlicher Zunahme der mikrobiellen Biomasse zwischen 1995 und 1998.	Zuletzt Abnahme der Diversität und der Reaktionszahl sowie Anstieg der Feuchte- und Stickstoffzahl zwischen 1995 und 1998, einhergehend mit einer deutlichen Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Abnahme der Diversität und Zunahme der Feuchtezahl bei gleichbleibenden Reaktions- und Stickstoffzahlen. Damit einhergehend deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse zwischen 1995 und 1998.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Säurezeigende Zersetzer gesellschaft einhergehend mit vergleichsweise niedrigen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend sauren und sehr schwach tonigen Böden.	Schwachsäurezeigende Zersetzer gesellschaft einhergehend mit vergleichsweise hohen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend sehr schwach sauren und schwach tonigen Böden.	Keine aktuelle Erhebung.

6. Zusammenfassung

Fortsetzung Tabelle 6.1

	BDF15 Achterwehr	BDF16 Schwartbuck	BDF18 Heringsdorf
Klassifikation gemäß Quirin und Emmerling (2004)	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.
Entwicklungs-tendenzen	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 abnehmender pH und zunehmender Mineralstickstoff	Signifikante Zunahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils sowie des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2001 abnehmender pH.	Signifikante Zunahme des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils. Seit 2015 pH und Mineralstickstoff abnehmend.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standort-verhältnissen	Der Pseudogley-Kolluvisol weist einen niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Pseudogley-Parabraunerde weist einen niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Pseudogley-Parabraunerde weist einen mittleren Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Bei leicht überdurchschnittlich hohen Temperaturen jedoch durchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich deutlich überdurchschnittlich.	Bei leicht unterdurchschnittlich hohen Temperaturen jedoch auch unterdurchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich unterdurchschnittlich. Der Temperatureinfluss ist vorherrschend.	Der zweitwärmste und zweittrockenste Standort weist deutlich überdurchschnittlich hohe Gehalte der aktiven mikrobiellen Biomasse auf.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Mit höheren Stickstoff- und den höchsten Phosphorgaben zeigt sich ein überdurchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.	Mit hohen Stickstoff- jedoch den niedrigsten Phosphorgaben zeigt sich ein unterdurchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.	Mit hohen Stickstoff- und mittleren Phosphorgaben zeigt sich ein deutlich überdurchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Zuletzt Rückgang der Diversität sowie der Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahlen bei deutlicher Zunahme der mikrobiellen Biomasse zwischen 1995 und 1998.	Zuletzt Abnahme der Diversität und Zunahme der Reaktions- und Stickstoffzahlen zwischen 1995 und 1998, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Zunahme der Diversität und Zunahme der Reaktions- und Stickstoffzahlen zwischen 1996 und 1999, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Schwachsäurezeigende Zersetzergesellschaft einhergehend mit vergleichsweise hohen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend sehr schwach sauren und schwach tonigen Böden.	Keine aktuelle Erhebung.	Keine aktuelle Erhebung.

Fortsetzung Tabelle 6.1

	BDF19 Mörel	BDF23 Bokhorst	BDF27 Tankenrade
Klassifikation gemäß Quirin und Emmerling (2004)	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.
Entwicklungs-tendenzen	Signifikante Zunahme des mikrobiellen Biomasse-Anteils sowie des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils. Seit 2015 pH und Mineralstickstoff zunehmend.	Signifikante Zunahme des pH seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 leichte Abnahme der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Anteils. Seit 2015 Mineralstickstoff deutlich zunehmend.	Keine signifikanten Trends erkennbar. Mikrobielle Biomasse sowie Biomasse-Anteil annähernd gleich hoch wie 2015. Jedoch deutliche Abnahme des Mineralstickstoffs seit 2015.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standort-verhältnissen	Die Pseudogley-Parabraunerde weist einen sehr niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer schwach sauren Bodenreaktion jedoch einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt insgesamt einen mittleren Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Braunerde weist einen sehr niedrigen Tongehalt auf, in Verbindung mit einer mäßig sauren Bodenreaktion und einem weiten C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen der niedrigsten Anteile mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.	Die Pseudogley-Parabraunerde weist einen mittleren Tongehalt auf, in Verbindung mit einer sehr schwach sauren Bodenreaktion und einem engen C_{org}/N_t -Verhältnis. Dies bewirkt einen hohen Anteil mikrobieller Biomasse im Gesamtvergleich.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Der kühlsste und zweitfeuchteste Standort weist einen der niedrigsten Gehalte aktiver mikrobieller Biomasse auf.	Bei durchschnittlich hohen Temperaturen jedoch den höchsten Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich durchschnittlich hoch. Der Temperatureinfluss ist vorherrschend.	Bei leicht unterdurchschnittlich hohen Temperaturen jedoch durchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich etwa durchschnittlich hoch. Der Niederschlagseinfluss ist vorherrschend.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Trotz höchster Stickstoff- und mittlerer Phosphorgaben sowie viel Kalkung und Gülle zeigt sich einer der niedrigsten Gehalte aktiver mikrobieller Biomasse.	Mit niedrigen Stickstoff- und hohen Phosphorgaben zeigt sich ein durchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.	Mit höheren Stickstoff- und den niedrigsten Phosphorgaben zeigt sich ein etwa durchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Zuletzt Abnahme der Diversität und Zunahme der Reaktions-, Feuchte- und Stickstoffzahlen zwischen 1994 und 1997, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Zunahme der Diversität und der Reaktionszahlen bei gleichbleibenden Feuchte- und Stickstoffzahlen zwischen 1996 und 1999, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Zuletzt Abnahme der Diversität und Zunahme Feuchte- und Stickstoffzahlen zwischen 1993 und 1999, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Schwachsäurezeigende Zersetzergesellschaft einhergehend mit vergleichsweise niedrigen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend schwach sauren und sehr schwach tonigen Böden.	Säurezeigende Zersetzergesellschaft einhergehend mit vergleichsweise niedrigen mikrobiellen Biomasse-Anteilen entsprechend sauren und sehr schwach tonigen Böden.	Keine aktuelle Erhebung.

6. Zusammenfassung

Fortsetzung Tabelle 6.1

	BDF29 Niederbüssau		
Klassifikation gemäß Quirin und Emmerling (2004)	Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Biomasse-Aktivität: sehr niedrig		
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	Sehr hohe Organik-verfügbarkeit, sehr hohe Stoffwechseleffizienz, sehr niedrige Störeinflüsse.		
Entwicklungs-tendenzen	Signifikante Zunahme des Stickstoffanteils in der Organik seit Untersuchungsbeginn. Seit 2015 mikrobielle Biomasse, Biomasse-Anteil sowie pH abnehmend.		
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standort-verhältnissen	Der Braunerde-Pseudogley weist einen mittleren Tongehalt auf, in Verbindung mit einem der engsten C _{org} /N _t -Verhältnisse. Mit der lediglich schwach sauren Bodenreaktion ergibt sich jedoch einen mittleren Anteil der mikrobiellen Biomasse im Gesamtvergleich.		
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Bei leicht überdurchschnittlich hohen Temperaturen und deutlich unterdurchschnittlich hohen Niederschlägen ist die aktive mikrobielle Biomasse im Vergleich etwa durchschnittlich hoch. Der klimatische Einfluss ist nicht eindeutig.		
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Mit mittleren Stickstoff- und mittleren Phosphorgaben zeigt sich ein etwa durchschnittlich hoher Gehalt aktiver mikrobieller Biomasse.		
Beziehungen zur Vegetationskunde	Zuletzt Abnahme der Diversität und der Reaktionszahl bei zunehmender Feuchte- und gleichbleibenden Stickstoffzahlen zwischen 1995 und 1998, einhergehend mit Zunahme der mikrobiellen Biomasse.		
Beziehungen zur Bodenzoologie	Keine aktuelle Erhebung.		

7 Anhang

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Übersicht der bisherigen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein	3
Tabelle 2.1 Von der LABO empfohlene und bei der Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein eingesetzte Verfahren zur Untersuchung der Bodenbiologie.....	4
Tabelle 2.2 Untersuchte bodenchemische und -physikalische Parameter.....	6
Tabelle 2.3 Untersuchungsmethoden der bodenmikrobiologischen Parameter.....	7
Tabelle 2.4: Im Frühjahr 2018 beprobte BDF mit Datum der Probenahme und Beprobungstiefe.....	11
Tabelle 3.1: Zusammenfassung der dreizehn im Jahr 2018 untersuchten BDF.....	15
Tabelle 3.2: Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der 15 Monate vor der Probenentnahme.....	17
Tabelle 3.3: Zusammenfassung der Nutzungsformen.....	19
Tabelle 3.4: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen	21
Tabelle 3.5: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	23
Tabelle 3.6: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	24
Tabelle 3.7: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018	25
Tabelle 3.8: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen	28
Tabelle 3.9: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	29
Tabelle 3.10: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	30
Tabelle 3.11: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018	31
Tabelle 3.12: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen	34
Tabelle 3.13: Bewirtschaftungsform der BDF06 und durchschnittliche Düngergaben.....	36
Tabelle 3.14: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	37
Tabelle 3.15: Bewirtschaftungsmaßnahmen bis zur Ernte 2017	38
Tabelle 3.16: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	41
Tabelle 3.17: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	43
Tabelle 3.18: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	44
Tabelle 3.19: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017.....	45
Tabelle 3.20: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	49
Tabelle 3.21: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	50
Tabelle 3.22: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	51
Tabelle 3.23: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018	52
Tabelle 3.24: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	56
Tabelle 3.25: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	58
Tabelle 3.26: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	60
Tabelle 3.27: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018	61
Tabelle 3.28: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	64
Tabelle 3.29: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	65
Tabelle 3.30: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017 und Anfang 2018	66
Tabelle 3.31: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	67
Tabelle 3.32: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	71
Tabelle 3.33: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	72
Tabelle 3.34: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	73
Tabelle 3.35: Bewirtschaftungsmaßnahmen der BDF16 in 2017	74
Tabelle 3.36: Bewirtschaftungsmaßnahmen der BDF16 zu Beginn 2018	75
Tabelle 3.37: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	78
Tabelle 3.38: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	80
Tabelle 3.39: Bewirtschaftungsmaßnahmen Anfang 2018	80

7. Anhang

Tabelle 3.40: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017	81
Tabelle 3.41: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	82
Tabelle 3.42: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	85
Tabelle 3.43: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen.....	86
Tabelle 3.44: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017	87
Tabelle 3.45: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	88
Tabelle 3.46: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	92
Tabelle 3.47: Anbausystem und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	94
Tabelle 3.48: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	95
Tabelle 3.49: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017	96
Tabelle 3.50: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	99
Tabelle 3.51: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	101
Tabelle 3.52: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	102
Tabelle 3.53: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017	103
Tabelle 3.54: Klima/Witterung und Wasserhaushalt in verschiedenen Zeiträumen	106
Tabelle 3.55: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	108
Tabelle 3.56: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	109
Tabelle 3.57: Bewirtschaftungsmaßnahmen 2017 und Anfang 2018	110
Tabelle 4.1: Temperatur und Niederschlag der BDF04 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	113
Tabelle 4.2: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF04 (Probenentnahmeprotokoll).	114
Tabelle 4.3: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF04.....	116
Tabelle 4.4: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF04.	116
Tabelle 4.5: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	120
Tabelle 4.6: Temperatur und Niederschlag der BDF05	123
Tabelle 4.7: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF05 (Probenentnahmeprotokoll).	124
Tabelle 4.8: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF05.....	126
Tabelle 4.9: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF05.....	126
Tabelle 4.10: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	131
Tabelle 4.11: Temperatur und Niederschlag der BDF06 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	134
Tabelle 4.12: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF06 (Probenentnahmeprotokoll). ...	135
Tabelle 4.13: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF06.....	137
Tabelle 4.14: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF06.....	137
Tabelle 4.15: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	142
Tabelle 4.16: Temperatur und Niederschlag der BDF09 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	145
Tabelle 4.17: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF09 (Probenentnahmeprotokoll). ...	146
Tabelle 4.18: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF09.....	148
Tabelle 4.19: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF09.	148
Tabelle 4.20: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	153
Tabelle 4.21: Temperatur und Niederschlag der BDF10 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	156
Tabelle 4.22: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF10 (Probenentnahmeprotokoll). ...	157
Tabelle 4.23: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF10.....	159
Tabelle 4.24: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF10.	159
Tabelle 4.25: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	164
Tabelle 4.26: Temperatur und Niederschlag der BDF12 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	167
Tabelle 4.27: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF12 (Probenentnahmeprotokoll)...	168
Tabelle 4.28: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF12.....	170
Tabelle 4.29: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF12.....	170
Tabelle 4.30: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	175
Tabelle 4.31: Temperatur und Niederschlag der BDF15 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	178

Tabelle 4.32: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF15 (Probenentnahmeprotokoll).....	179
Tabelle 4.33: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF15.....	181
Tabelle 4.34: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF15	181
Tabelle 4.35: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	186
Tabelle 4.36: Temperatur und Niederschlag der BDF16 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	189
Tabelle 4.37: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF16 (Probenentnahmeprotokoll)....	190
Tabelle 4.38: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF16.....	192
Tabelle 4.39: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF16	192
Tabelle 4.40: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	197
Tabelle 4.41: Temperatur und Niederschlag der BDF18 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	200
Tabelle 4.42: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF18 (Probenentnahmeprotokoll)....	201
Tabelle 4.43: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF18.....	203
Tabelle 4.44: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF18.	203
Tabelle 4.45: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	208
Tabelle 4.46: Temperatur und Niederschlag der BDF19 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	211
Tabelle 4.47: Bedingungen während der Probenentnahme (Probenentnahmeprotokoll).	212
Tabelle 4.48: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF19.....	214
Tabelle 4.49: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF19	214
Tabelle 4.50: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	219
Tabelle 4.51: Temperatur und Niederschlag der BDF23 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	222
Tabelle 4.52: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF23 (Probenentnahmeprotokoll)....	223
Tabelle 4.53: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF23.....	225
Tabelle 4.54: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF23.	225
Tabelle 4.55: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	230
Tabelle 4.56: Temperatur und Niederschlag der BDF27 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	233
Tabelle 4.57: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF27 (Probenentnahmeprotokoll)....	234
Tabelle 4.58: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF27.....	236
Tabelle 4.59: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF27	236
Tabelle 4.60: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	241
Tabelle 4.61: Temperatur und Niederschlag der BDF29 zum Jahreswechsel 2017/2018.....	244
Tabelle 4.62: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF29 (Probenentnahmeprotokoll)....	245
Tabelle 4.63: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2018 der BDF29.....	247
Tabelle 4.64: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2018 der BDF29	247
Tabelle 4.65: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.....	251
Tabelle 4.66: Zusammenfassende Darstellung der abiotischen Parameter	255
Tabelle 4.67: Zusammenfassende Darstellung der mikrobiologischen Parameter.	258
Tabelle 4.68 Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen Parameter	260
Tabelle 4.69: Gruppierung der BDF-Standorte anhand von mikrobiellen Quotienten.....	263
Tabelle 4.70: Korrelationen zwischen dem zeitlichen Verlauf der Untersuchungen.....	267
Tabelle 5.1: Korrelationskoeffizienten (r) aus den vier Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse.	274
Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten (r) aus den drei Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Basalatmung.....	274
Tabelle 6.1 Klassifikation, Zeigerverhältnisse und Entwicklungstendenzen der Bodenmikrobiologie	278

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Lage der schleswig-holsteinischen Bodendauerbeobachtungsflächen..	1
Abbildung 2.1: Schema der Fläche einer Bodendauerbeobachtungsfläche.....	12
Abbildung 3.1: Die im Jahr 2018 untersuchten BDF im Ökogramm der Standortfaktoren.....	16
Abbildung 3.2: Bodenformen im Umland der BDF04	20
Abbildung 3.3: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF04.....	22
Abbildung 3.4: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017	22
Abbildung 3.5: Bodenoberfläche der BDF04 bei der Probenentnahme am 27.03.2018.....	26
Abbildung 3.6: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF05	27
Abbildung 3.7: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF05.....	28
Abbildung 3.8: Bodenoberfläche der BDF05 bei der Probenentnahme am 04.04.2018.....	32
Abbildung 3.9: Bodenformen im Umland der BDF06	33
Abbildung 3.10: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF06.....	35
Abbildung 3.11: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017	35
Abbildung 3.12: Bodenoberfläche der BDF06 bei der Probenentnahme am 16.04.2018	39
Abbildung 3.13: Bodenformen im Umland der BDF09	40
Abbildung 3.14: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF09.....	42
Abbildung 3.15: Grundwasserganglinien für die Jahre 1991-2017	42
Abbildung 3.16: BDF während der letzten Probenentnahme am 27.03.2018	46
Abbildung 3.17: Bodenformen im Umland der BDF08).....	47
Abbildung 3.18: Parabraunerde-Pseudogley aus Geschiebelehm über –mergel.....	48
Abbildung 3.19: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF10.....	49
Abbildung 3.20: BDF während der Probenentnahme am 30.03.2015	53
Abbildung 3.21: Bodenformen im Umland der BDF12	55
Abbildung 3.22: Leitprofil	55
Abbildung 3.23: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF12.....	57
Abbildung 3.24: Grundwasserganglinien der BDF12 für die Jahre 1991-2017	57
Abbildung 3.25: BDF während der Probenentnahme am 09.04.2018	62
Abbildung 3.26: Bodenformen im Umland der BDF15.....	63
Abbildung 3.27: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF15.....	64
Abbildung 3.28: BDF15 bei der Probenentnahme am 11.04.2018.....	68
Abbildung 3.29: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF16.	70
Abbildung 3.30: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF16.....	71
Abbildung 3.31: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF16.....	72
Abbildung 3.32: BDF15 bei der Probenentnahme am 03.04.2018.....	76
Abbildung 3.33: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF18	77
Abbildung 3.34: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF18	78
Abbildung 3.35: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF18.....	79
Abbildung 3.36: Bodenformen im Umland der BDF19	84
Abbildung 3.37: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF19.....	85
Abbildung 3.38: BDF15 bei der Probenentnahme am 17.03.2015.....	89
Abbildung 3.39: Bodenformen im Umland der BDF23	91
Abbildung 3.40: typische Braunerde aus Geschiebedecksand über Schmelzwassersand	91
Abbildung 3.41: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF23.....	92
Abbildung 3.42: BDF23 bei der letzten Probenentnahme am 03.04.2018	94
Abbildung 3.43: Bodenformen im Umland der BDF27	98
Abbildung 3.44: Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm über Geschiebemergel der BDF27.....	99
Abbildung 3.45: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF27.....	100

Abbildung 3.46: BDF27 bei der Probenentnahme am 10.04.2018	104
Abbildung 3.47: Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung im Umland der BDF29	105
Abbildung 3.48: Leitprofil an der Nordostseite: Braunerde-Pseudogley aus Beckenschluffen über -tonen	106
Abbildung 3.49: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF29	107
Abbildung 3.50: BDF29 bei der letzten Probenentnahme am 17.04.2018	111
Abbildung 4.1: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF04 (04.1-4).	113
Abbildung 4.2: Ergebnisse der BDF04 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	118
Abbildung 4.3: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF04 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	118
Abbildung 4.4: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF04.....	119
Abbildung 4.5: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF05 (05.1-4).	123
Abbildung 4.6: Ergebnisse der BDF05 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	129
Abbildung 4.7: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF05 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	129
Abbildung 4.8: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF05.....	130
Abbildung 4.9: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF06 (06.1-4).	134
Abbildung 4.10: Ergebnisse der BDF06 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	140
Abbildung 4.11: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF06 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	140
Abbildung 4.12: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF06.....	141
Abbildung 4.13: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF09 (09.1-4).	145
Abbildung 4.14: Ergebnisse der BDF09 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	151
Abbildung 4.15: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF09 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	151
Abbildung 4.16: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF09.....	152
Abbildung 4.17: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF10 (10.1-4).	156
Abbildung 4.18: Ergebnisse der BDF10 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	162
Abbildung 4.19: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF10 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	162

Abbildung 4.20: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF10.....	163
Abbildung 4.21: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF12 (12.1-4).....	167
Abbildung 4.22: Ergebnisse der BDF12 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	173
Abbildung 4.23: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF12 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	173
Abbildung 4.24: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF12.....	174
Abbildung 4.25: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF15 (15.1-4).....	178
Abbildung 4.26: Ergebnisse der BDF15 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	184
Abbildung 4.27: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF15 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	184
Abbildung 4.28: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF15.....	185
Abbildung 4.29: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF16 (16.1-4).....	189
Abbildung 4.30: Ergebnisse der BDF16 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	195
Abbildung 4.31: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF16 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	195
Abbildung 4.32: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF16.....	196
Abbildung 4.33: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF18 (18.1-4).....	200
Abbildung 4.34: Ergebnisse der BDF18 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	206
Abbildung 4.35: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF18 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	206
Abbildung 4.36: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF18.....	207
Abbildung 4.37: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF19 (19.1-4).....	211
Abbildung 4.38: Ergebnisse der BDF19 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	217
Abbildung 4.39: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF19 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	217
Abbildung 4.40: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF19.....	218
Abbildung 4.41: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF23 (23.1-4).....	222

Abbildung 4.42: Ergebnisse der BDF23 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	228
Abbildung 4.43: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF23 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	228
Abbildung 4.44: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF23.....	229
Abbildung 4.45: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF27 (27.1-4).	233
Abbildung 4.46: Ergebnisse der BDF27 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	239
Abbildung 4.47: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF27 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	239
Abbildung 4.48: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF27.....	240
Abbildung 4.49: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF29 (29.1-4).	244
Abbildung 4.50: Ergebnisse der BDF29 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).....	249
Abbildung 4.51: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF29 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-SIR}$) bezogen auf das Trockengewicht.....	249
Abbildung 4.52: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF29.....	250
Abbildung 4.53: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}), der pH, sowie die mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) und die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$).	261
Abbildung 4.54: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) sowie die Argininammonifikation (ARG).	261
Abbildung 4.55: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller im Jahr 2018 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt der glucoseaktivierten mikobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) sowie die Basalatmung (R_{B-Hein}) und der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$).	262
Abbildung 4.56: Mikrobielle Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) in Abhängigkeit vom Tongehalt.....	264
Abbildung 4.57: Mikrobielle Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) in Abhängigkeit vom Boden-pH.....	264
Abbildung 4.58: Mikrobielle Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) in Abhängigkeit vom C_{org}/N_t -Verhältnis.....	265
Abbildung 4.59: Verteilung der Jahrestemperaturen und Niederschläge über die BDF-Standorte.	269
Abbildung 4.60: Abhängigkeit der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte von der Temperatur.....	269
Abbildung 4.61: Abhängigkeit der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte von den Jahresniederschlägen.....	269
Abbildung 4.62: Abhängigkeit der $C_{mic-SIR}$ -Gehalte von der Nährstoffzufuhr.	271

7.3 Literaturverzeichnis

Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. Auflage 2005. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. S. 367, 144 - 148, 309

ALEF, K. & D. KLEINER. 1986. Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soils. *Soil Biol. Biochem.*, **18**: 233-235.

ANDERSON, J. P. E. & K. H. DOMSCH. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, **10** (3): 215-221.

ANDERSON, J. P. E. & K. H. DOMSCH. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry*, **22**: 251-255.

ANDERSON, T.-H. 2003. Mikrobial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **98** (1): 285-293.

BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B., SCHILLING, B. & UTERMANN, J. 2000. 9152: Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & EINSELE, G. (eds.) *Bodenschutz, Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.

BODSCHG. 1998. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz -BBodSchG).

BEYLICH, A., G. BROLL, U. GRAEFE, H. HÖPER, J. RÖMBKE, A. RUF, B.-M. WILKE. 2005. Biologische Charakterisierung von Böden: Ansatz zur Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen im Rahmen von Planungsprozessen. *BVB-Materialien* **13**, 78 S.

BEYLICH, A., HÖPER, H., RUF, A., WILKE, B.-M. 2005. Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen im Rahmen von Planungsprozessen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **107**: 183-184.

BEYLICH, A. & U. GRAEFE. 2009. Investigations of annelids at soil monitoring sites in Northern Germany: reference ranges and time-series data. *Soil Organisms*, **81**: 175–196.

BEYLICH, A. & U. GRAEFE. 2010. Regenwürmer und Kleinringelwürmer als Bioindikatoren im Bodenmonitoring. *Gefahrst. Reinhalt. L.*, **70** (4): 119-123.

BEYLICH, A. & U. GRAEFE. 2013. Gesamtgutachten zu den bodenzoologischen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 1992 bis 2012. Abschlussbericht im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. 204 S.

BGR. 2007. Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR.

BROOKES, P. C., LANDMAN, A. & PRUDEN, G. 1985. Chloroform fumigation and release of soil N: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass N in soil. *Soil. Biol. Biochem.*, **17**: 837 - 42.

DIERSCHKE, H. 1989. Symphänologische Aufnahme- und Bestimmungsschlüssel für Blütenpflanzen und ihre Gesellschaften in Mitteleuropa. *Tuexenia*, **9**: 477-484.

- DILLY, O.** 2003. Regulation of the respiratory quotient of soil microbiota by availability of nutrients. *FEMS Microbiol. Ecol.* **43** (3): 375-381
- DIN 18121-1:1998-04.** 1998. Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung.
- DIN 19737:2001-04.** 2001. Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung.
- DIN EN 16168:2012-11.** 2012. Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffgehalts mittels trockener Verbrennung.
- DIN EN ISO 11272:2017-07.** 2017. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohdichte.
- DIN EN ISO 11461:2014-07.** 2014. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wassergehalts des Bodens als Volumenanteil mittels Stechzylinder - Gravimetrisches Verfahren.
- DIN EN ISO 14240-1:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden - Teil 1: Substrat-induziertes Respirationsverfahren.
- DIN EN ISO 14240-2:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden - Teil 2: Fumigations-Extraktionsverfahren.
- DIN EN ISO 16072:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung.
- DIN EN ISO 23611-1:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 1: Handauslese und Formalinextraktion von Regenwürmern.
- DIN ISO 10390:2005-12.** 2005. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Wertes.
- DIN ISO 10694:1996-08.** 1996. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN ISO 13878:1998-11.** 1998. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN ISO 17155:2013-12.** 2013. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Abundanz und Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven.
- DIN ISO 23611-3:2007-12.** 2007. Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 3: Probenahme und Bodenextraktion von Enchytraeen
- DOMSCH, K.H.** 1962. Bodenatmung. Sammelbericht über Methoden und Ergebnisse. Zbl. Bakt. II. Abt. **116** (1): 33-78.
- DUNGER, W. & FIEDLER, H. J.** 1997. Methoden der Bodenbiologie. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- GRAEFE, U.** 1991. Ein Enchyträatest zur Bestimmung der Säure- und Metalltoxizität im Boden. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. **66**: 487-490.
- GRAEFE, U.** 1993. Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., **69**: 95-98.
- HEINEMAYER, O., H. INSAM, E. A. KAISER & G. WALENZIK.** 1989. Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infra-red gas analysis. Plant Soil, **116**: 191-195.

- HÖPER, H., KLEEFISCH, B.** 2001. Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen, Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. Arbeitshefte Boden. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.
- JÖRGENSEN, R. G.** 1995. Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. Gött. Bodenkdl. Ber. **104**: 1 - 229.
- LLUR.** 2007. Ergebnisbericht über bodenmikrobiologische Untersuchungen an acht Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein für das Jahr 2007.
- LLUR.** 2009. Orientierende Messungen von Stickstoffdioxid und Benzol 2007 - 2008.
- LLUR.** 2010. Atmosphärische Stoffeinträge in Schleswig-Holstein 2009.
- LLUR.** 2012. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 20 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein im Jahr 2011.
- LLUR.** 2014. 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Schleswig Holstein.
- LLUR.** 2016. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 12 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein im Jahr 2016.
- LONDO, G.** 1975. De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. Gorteria, **7**: 101–106.
- MARTENS, R.** 1987. Estimation of microbial biomass in soil by the respiration method: Importance of soil pH and flushing methods for the measurement of respired CO₂. Soil Biol. Biochem., **19** (1): 77-81.
- MEINCKE, M., E. BOCK, D. KASTRAU & K. M.H.** 1992. Nitrite oxidoreductase from *Nitrobacter hamburgensis*: redox center and their catalytic role. Arch. Microbiol., **158**: 572 - 578.
- OTTOW, J.C.G.** 2011. Mikrobiologie von Böden - Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- QUIRIN, M. & C. EMMERLING.** 2004. Gesamtgutachten zu bodenmikrobiologischen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 1995 bis 2002.
- SCHLICHTING, E., H. BLUME & K. STAHR.** 1995. Bodenkundliches Praktikum. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin.
- TIGGES, R.** 2017. Bodenökologische Charakterisierung einer Acker-Wechselwirtschaft in Schleswig-Holstein (BDF24 "Bornhöved"). Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg.
- TISCHER, S.** 2006. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 12 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein im Jahr 2006.
- VANCE, E. D., P. C. BROOKES & D. S. JENKINSON.** 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., **19** (6): 703-707.
- VDLUFA.** 1991. A 6.1.2.1 Bestimmung von Ammonium-Stickstoff - 3. Teillieferung 2002. VDLUFA Methodenbuch Band I Die Untersuchung von Böden. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.

7.4 Glossar

Nachfolgend finden sich kurze Erklärungen zu den im Bericht häufig vorkommenden Begriffen. Die Erklärungen sind nicht als allgemeingültige Definitionen zu betrachten, sondern in dem spezifischen Kontext dieses Berichtes zu sehen.

Arginin-Ammonifikation: Mineralisation von Arginin als stickstoffreiche und leicht verwertbare organische Verbindung. Anzeige für die Aktivität der Mikroorganismen.

Bewirtschaftung: Jegliche Nutzung eines Bodens zur Gewinnung natürlicher Erzeugnisse.

Bodendauerbeobachtung: Systematische Bodenuntersuchungen auf ausgewiesenen Flächen zur Erfassung langfristiger Veränderungen.

Düngung: Zufuhr von Nährstoffen durch Aufbringen von organischen oder mineralischen Substanzen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

Gehalt: Konzentration eines Stoffes bezogen auf das Trockengewicht des Bodens oder auf eine Fläche.

Hauptvegetationsperiode: Umfasst hier den Zeitraum Mai bis Oktober, in welchem der Großteil der Vegetation durch die klimatischen Bedingungen das stärkste Wachstum erfährt.

Humus: Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Bestandteile oberhalb des Mineralbodens (Humusauflage bzw. organische Auflage) bzw. innerhalb des Mineralbodens (Mineralbodenhumus).

Indikator: Ein gemessener Parameter, der auf bestimmte nicht direkt messbare Einflüsse oder Zustände schließen lässt.

Kleinringelwürmer: Sammelbegriff für Vertreter mehrerer Familien der Ringelwürmer, die zur Mesofauna gehören. Hier überwiegend Vertreter der Enchytraeiden (BEYLICH & GRAEFE, 2012).

Mikroorganismen: Gesamtheit der Mikroflora und -fauna im Boden. Umfasst die auto- und heterotrophen Organismen.

Organischer Kohlenstoff: Kohlenstoff, welcher durch biologische Prozesse der Flora und Fauna in organischer Substanz gebunden wurde. Macht etwa 58 % der Humusmasse aus.

Regenwürmer: Eine Familie innerhalb der Ringelwürmer, welcher zur Makrofauna des Bodens gehört (BEYLICH & GRAEFE, 2012).

Respiration: Freisetzung von CO₂ durch den Stoffwechsel der Mikroorganismen. Anzeige für die Mineralisation des organischen Kohlenstoffs und für die Aktivität der Mikroorganismen.

Signifikanz: Statistische Größe, bei der ein Zusammenhang zweier Parameter nicht als zufällig erachtet wird.

Substratinduzierte Respiration: Respiration nach Zugabe von Glucose als leicht verwertbare Kohlenstoffverbindung. Dient zur Berechnung der aktiven mikrobiellen Biomasse.

Vegetationseinheit: Pflanzengesellschaft, welche an die jeweiligen Standortverhältnisse angepasst ist.

Zersetzergesellschaft: Typische von Umweltbedingungen abhängige Artenkombination streu-zersetzender Mikroorganismen und Tiere, die aufeinander angewiesen sind und miteinander konkurrieren (BEYLICH & GRAEFE, 2012).

7.5 Abkürzungsverzeichnis

ALK	Automatisches Liegenschaftskataster
ARG	Argininammonifikation
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
CFE	Chloroform-Fumigations-Extraktionsmethode
C_{mic-CFE}	Mikrobielle Biomasse bestimmt mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode
C_{mic-SIR}	Mikrobielle Biomasse nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyer-Anlage
C_{org}	Organischer Kohlenstoffgehalt
C_{org}/N_t	Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff im Boden
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (Schleswig-Holstein)
N_{mic-CFE}	Mikrobieller Stickstoff bestimmt mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode
N_{min}	Gelöster Stickstoff im Boden
N_t	Gesamtstickstoffgehalt
p	Signifikanzniveau der Korrelation
pH	pH-Wert, Maß für die Acidität des Bodens
Q_{met-CFE}	metabolischer Quotient bestimmt nach der Fumigation-Extraktion-Methode
Q_{met-SIR}	metabolischer Quotient nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyeranlage
Q_{mic-CFE}	mikrobieller Quotient bestimmt nach der Fumigation-Extraktion-Methode
Q_{mic-SIR}	mikrobieller Quotient nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyeranlage
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
R_{B-Hein}	Basalatmung bestimmt mit der Heinemeyeranlage
SIR	substratinduzierte Respiration
TG	Trockengewicht (mit Bezug auf Boden = Boden bei 105 °C getrocknet)

7.6 Legende zu Kartenausschnitten

A 1 Legende zu den Bodenformenkarten aus Kapitel 3

1	Regosol aus Lehm	27	Braunerde-Pseudogley aus Sand über Lehm
2	Regosol aus Lehm über Sand	28	Parabraunerde-Pseudogley aus Sand über Lehm
3	Braunerde-Schwarzerde aus Schluff über Lehm	29	Gley-Pseudogley aus Sand über Lehm
4	Pseudogley-Schwarzerde aus Sand über Lehm	30	Gley-Pseudogley aus Sand über Schluff
5	Pseudogley-Schwarzerde aus Schluff über tiefem Lehm	31	typischer Kolluvisol aus Lehm
6	Pseudogley-Schwarzerde aus Schluff über Lehm	32	Pseudogley-Kolluvisol aus Sand über Lehm
7	Gley-Schwarzerde aus Sand über Lehm	33	Gley-Kolluvisol aus Sand
8	Gley-Schwarzerde aus Schluff über tiefem Lehm	34	Tiefumbruchboden (Treposol) aus Sand
9	Gley-Schwarzerde aus Schluff über Lehm	35	typischer Gley aus Sand
10	Braunerde aus Sand	36	typischer Gley aus Sand über Lehm
11	Braunerde aus Sand über Lehm	37	typischer Gley aus Schluff über Lehm
12	Parabraunerde-Braunerde aus Sand über Lehm	38	Anmoorgley aus Sand
13	Pseudogley-Braunerde aus Sand	39	Anmoorgley aus Sand über Lehm
14	Pseudogley-Braunerde aus Sand über Lehm	40	Anmoorgley aus Schluff
15	Pseudogley-Braunerde aus Sand über Schluff	41	Moorgley aus Sand
16	Gley-Braunerde aus Sand	42	Moorgley aus Lehm
17	Gley-Braunerde aus Sand über Lehm	43	Rohmarsch aus Schluff
18	typische Parabraunerde aus Sand über Lehm	44	Rohmarsch aus Schluff über Sand
19	Pseudogley-Parabraunerde aus Sand über Lehm	45	typische Kalkmarsch aus Schluff
20	Pseudogley-Parabraunerde aus Lehm	46	typische Kalkmarsch aus Schluff über Sand
21	Podsol aus Sand	47	Watt aus Schluff über Sand
22	Braunerde-Podsol aus Sand	48	Niedermoar aus Torf
23	Pseudogley-Podsol aus Sand	49	Niedermoar aus Torf über Sand
24	Gley-Podsol aus Sand	50	Niedermoar aus Torf über Schluff
25	Humus-Podsol aus Sand	51	Böden der Abgrabungen
26	Pseudogley aus Sand über Lehm	52	Böden der Abgrabungen aus unbekanntem Substrat
		53	Gewässer

7.7 Klassifikationstabellen

A 2 Klassifizierung des C_{org}-Gehaltes, verändert nach KA5 (Ad Hoc AG-BODEN, 2005) und BGR (2007).

Kurzzeichen	Humusgehalt Acker & Grünland	C _{org} cg g ⁻¹ TG mit Faktor 1,72	C _{org} cg g ⁻¹ TG mit Faktor 2,00	Bezeichnung
		Acker & Grünland bei < 30 % Humus	Acker & Grünland bei > 30 % Humus	
		Gew. %	cg g ⁻¹ TG	
h0	0	0	0	humusfrei
h1	< 1	< 0,58	< 0,5	sehr schwach humos
h2	1 bis < 2	0,58 bis < 1,16	0,50 bis < 1	schwach humos
h3	2 bis < 4	1,16 bis < 2,33	1 bis < 2	mittel humos
h4	4 bis < 8	2,33 bis < 4,65	2 bis < 4	stark humos
h5	8 bis < 15	4,65 bis < 8,72	4 bis < 7,5	sehr stark humos
h6	15 bis < 30	8,72 bis < 17,44	7,5 bis < 15	extrem humos, anmoorig
h7	ab 30	ab 17,44	ab 15	organisch

A 3 Klassifizierung des C_{org}/N_t-Verhältnisses, verändert nach KA5 (Ad Hoc AG-BODEN, 2005).

Kurzzeichen	Bezeichnung	Humusqualität	C _{org} /N _t - Verhältnis
hq1	sehr gering		≥ 25
hq2	gering		< 25 bis 20
hq3	mittel		< 20 bis 15
hq4	hoch		< 15 bis 10
hq5	sehr hoch		< 10

A 4 Klassifizierung des pH-Werts (gemessen in CaCl₂) nach KA5 (Ad Hoc AG-BODEN, 2005).

pH - Wert		
Kurzzeichen	Bezeichnung	pH - Wert - Bereich
a6	extrem alkalisch	≥ 10,7
a5	sehr stark alkalisch	10,0 bis < 10,7
a4	stark alkalisch	9,3 bis < 10,0
a3	mäßig alkalisch	8,6 bis < 9,3
a2	schwach alkalisch	7,9 bis < 8,6
a1	sehr schwach alkalisch	7,2 bis < 7,9
s0	neutral	6,8 bis < 7,2
s1	sehr schwach sauer	6,1 bis < 6,8
s2	schwach sauer	5,4 bis < 6,1
s3	mäßig sauer	4,7 bis < 5,4
s4	stark sauer	4,0 bis < 4,7
s5	sehr stark sauer	3,3 bis < 4,0
s6	extrem sauer	< 3,3

A 5 Einstufung der Trockenrohdichte ρt nach KA5 (Ad Hoc AG-BODEN, 2005).

Trockenrohdichte		
Kurzzeichen	Bezeichnung	in g / cm ³
ρt1	sehr gering	< 1,2
ρt2	gering	1,2 bis < 1,4
ρt3	mittel	1,4 bis < 1,6
ρt4	hoch	1,6 bis < 1,8
ρt5	sehr hoch	ab 1,8

7. Anhang

A 6 Bewertungsklassen der mikrobiologischen Parameter der ackerbaulich genutzten BDF nach QUIRIN & EMMERLING (2004).

	sehr niedrig =1	niedrig =2	mittel =3	hoch =4	sehr hoch =5
$C_{mic-SIR}$ ($\mu\text{g g}^{-1}$ TG)	< 150	150 - 200	201 - 300	301 - 400	> 400
$C_{mic-CFE}$ ($\mu\text{g g}^{-1}$ TG)	< 100	100 - 150	151 - 200	201 - 300	> 300
$Q_{mic-SIR} (C_{mic-SIR}/C_{org})$ (%)	< 0,8	0,8 - 1,5	1,51 - 2,3	2,31 - 3,1	> 3,1
$Q_{mic-CFE} (C_{mic-CFE}/C_{org})$ (%)	< 0,7	0,7 - 1,1	1,11 - 1,6	1,61 - 2,0	> 2,0
ARG ($\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ TG)	< 2,0	2,0 - 3,5	3,51 - 5,0	5,01 - 6,5	> 6,5
$Q_{met-SIR} (R_{B-Hein.}/C_{mic-SIR})$ ($\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} C_{mic-SIR} h^{-1}$)	< 1	1,0 - 1,2	1,3 - 1,6	1,7 - 2,1	> 2,1
$Q_{met-CFE} (R_{B-Hein.}/C_{mic-CFE})$ ($\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} C_{mic-CFE} h^{-1}$)	< 1,5	1,5 - 1,9	2,0 - 2,4	2,5 - 3,0	> 3,0

A 7 Erklärung zu den Zeitreihentabellen

Die dargestellten Tabellen enthalten die bodenmikrobiologischen und bodenchemischen Analyseergebnisse für den untersuchten Mineraloberboden A der jeweiligen BDF über einen Untersuchungszeitraum von i. d. R. 1995 bis 2018.

Aufgeführt sind der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$). Außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). angegeben sind die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage ($R_{B-Hein.}$) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des Weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet.

Als bodenchemische Parameter sind aufgeführt: der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in cg g^{-1} TG, sowie das dimensionslose Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org}/N_t). Der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) wurde ebenfalls auf die Trockenmasse des Bodens bezogen berechnet. Weiterhin wird die Bodenazidität als pH-Wert dargestellt. Für eine flächenhafte Darstellung der Parameter $C_{mic-CFE}$ / Fläche, $C_{mic-SIR}$ / Fläche, $N_{mic-CFE}$ / Fläche, $R_{B-Hein.}$ / Fläche und ARG / Fläche erfolgte eine Umrechnung der massebezogenen Werte mittels der Trockenrohdichte und der Horizonttiefe auf das Flächenmaß m^2 bzw. ha. Die Anzahl der Parallelen, aus denen die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben wurden, ist den Tabellen in den Beschreibungen vorangestellt.

7.8 Datentabellen

Die Untersuchungsergebnisse des Jahres 2018 befinden sich in den nachfolgenden Tabellen.

A 8: Bodenchemische Kennwerte bezogen auf das Trockengewicht und auf 30 cm Horizonttiefe.

Standort	Bodenart	Wert	pH CaCl ₂	C _{org} %	N _t %	C _{org} /N _t	N _{min} µg/g	NH ₄ ⁺ -N µg/g	NO ₂ ⁻ -N µg/g	NO ₃ ⁻ -N µg/g	H ₂ O mg/g
BDF04 Goldelund	SI3	mw	4,62	1,95	0,15	12,87	4,12	1,91	0,00	2,20	163
		std	0,21	0,05	0,00	0,07	0,53	0,20	0,00	0,35	9
BDF05 Gintoft	SI3-SI4	mw	6,30	1,25	0,15	8,30	14,91	3,14	0,00	11,77	226
		std	0,11	0,02	0,00	0,11	1,68	1,22	0,00	0,48	6
BDF06 S.-N.-Koog	Ls2	mw	6,98	1,30	0,16	8,34	7,64	0,16	0,00	7,48	281
		std	0,08	0,04	0,00	0,09	0,63	0,10	0,00	0,57	4
BDF09 Schuby	mSfs	mw	5,00	3,23	0,20	15,98	6,93	1,57	0,00	5,36	206
		std	0,17	0,19	0,01	0,33	1,31	0,23	0,00	1,17	9
BDF10 Maasleben	SI4	mw	6,28	0,96	0,12	7,86	16,44	0,20	0,00	16,25	162
		std	0,18	0,10	0,01	0,17	1,52	0,14	0,00	1,61	11
BDF12 Vadersdorf	SI4	mw	6,28	1,56	0,18	8,60	28,15	7,17	0,00	20,97	206
		std	0,11	0,04	0,00	0,20	4,25	2,50	0,00	2,08	6
BDF15 Achterwehr	Su3	mw	6,46	0,98	0,12	7,93	25,57	0,45	0,00	25,12	162
		std	0,04	0,15	0,02	0,21	1,18	0,16	0,00	1,25	12
BDF16 Schwartbuck	SI4	mw	6,15	1,14	0,14	8,01	24,19	4,51	0,34	19,33	231
		std	0,19	0,02	0,00	0,25	1,70	2,37	0,35	3,37	7
BDF18 Heringsdorf	SI4	mw	6,58	1,10	0,15	7,37	48,12	15,57	1,34	31,21	211
		std	0,09	0,03	0,01	0,16	9,34	5,75	0,25	4,27	8
BDF19 Mörel	Su2-Su3	mw	5,69	1,05	0,12	9,17	3,80	0,90	0,00	2,90	205
		std	0,17	0,02	0,00	0,16	0,39	0,06	0,00	0,40	8
BDF23 Bokhorst	Su2-Su3	mw	6,05	2,41	0,20	12,13	21,67	10,38	0,00	11,29	218
		std	0,11	0,21	0,01	0,55	2,53	2,43	0,00	1,03	29
BDF27 Tankenrade	SI4-Ls3	mw	6,19	1,07	0,13	8,03	5,72	0,15	0,00	5,57	164
		std	0,06	0,03	0,00	0,27	0,39	0,09	0,00	0,45	2
BDF29 Niederbüssau	Lu-Lt2	mw	5,95	1,11	0,14	7,94	5,81	0,08	0,00	5,73	171
		std	0,06	0,03	0,00	0,20	0,68	0,05	0,00	0,66	5
Standort	Bodenart	Wert	Tr.RD g/cm ³	C _{org} g/m ²	N _t g/m ²	N _{min} kg/ha	NH ₄ ⁺ -N g/m ²	NO ₂ ⁻ -N g/m ²	NO ₃ ⁻ -N g/m ²	H ₂ O kg/m ²	
BDF04 Goldelund	SI3	mw	1,35	7902	614	1,7	16,7	0,78	0,00	0,90	66,1
		std	0,01	216	18	0,2	2,3	0,09	0,00	0,15	3,9
BDF05 Gintoft	SI3-SI4	mw	1,47	5475	660	6,6	65,7	1,39	0,00	5,18	99,6
		std	0,02	140	12	0,9	8,6	0,56	0,00	0,31	3,8
BDF06 S.-N.-Koog	Ls2	mw	1,39	5445	653	3,2	31,9	0,07	0,00	3,12	117,4
		std	0,02	185	22	0,2	2,3	0,04	0,00	0,21	0,9
BDF09 Schuby	mSfs	mw	1,34	13038	816	2,8	27,9	0,63	0,00	2,15	82,9
		std	0,03	859	60	0,5	4,8	0,10	0,00	0,43	3,8
BDF10 Maasleben	SI4	mw	1,49	4299	546	7,3	73,4	0,09	0,00	7,25	72,1
		std	0,02	462	50	0,7	7,1	0,06	0,00	0,74	4,7
BDF12 Vadersdorf	SI4	mw	1,34	6263	728	11,3	113,3	2,89	0,00	8,44	82,8
		std	0,02	212	20	1,9	18,5	1,03	0,00	0,94	2,6
BDF15 Achterwehr	Su3	mw	1,46	4298	541	11,2	112,3	0,20	0,00	11,03	70,9
		std	0,05	568	58	0,8	8,1	0,07	0,00	0,82	4,0
BDF16 Schwartbuck	SI4	mw	1,47	5018	627	10,7	106,6	1,98	0,15	8,53	101,5
		std	0,03	186	23	0,9	9,4	1,04	0,15	1,61	3,2
BDF18 Heringsdorf	SI4	mw	1,55	5094	691	22,4	224,4	7,28	0,62	14,53	97,8
		std	0,03	226	32	4,8	48,3	2,82	0,12	2,28	3,5
BDF19 Mörel	Su2-Su3	mw	1,52	4800	524	1,7	17,3	0,41	0,00	1,32	93,2
		std	0,01	104	20	0,2	1,7	0,03	0,00	0,17	4,5
BDF23 Bokhorst	Su2-Su3	mw	1,31	9426	777	8,5	84,7	4,05	0,00	4,42	85,4
		std	0,04	605	38	0,8	8,3	0,87	0,00	0,42	10,2
BDF27 Tankenrade	SI4-Ls3	mw	1,39	4487	559	2,4	24,0	0,06	0,00	2,34	68,7
		std	0,05	292	34	0,2	2,4	0,04	0,00	0,26	3,5
BDF29 Niederbüssau	Lu-Lt2	mw	1,34	4476	564	2,3	23,4	0,03	0,00	2,31	68,8
		std	0,04	194	17	0,3	3,0	0,02	0,00	0,30	3,6

7. Anhang

A 9: Bodenmikrobiologische Kennwerte bezogen auf das Trockengewicht und auf 30 cm Horizonttiefe.

Standort	Bodenart	Wert	C _{mic-CFE} µg/g	N _{mic-CFE} µg/g	C _{mic-SIR} µg/g	Q _{mic-CFE} %	Q _{mic-SIR} %	R _{B-Hein} µg/g/h	ARG µg/g/h	C _{mic-SapO} µg/g	C _{mic-SapC} µg/g
BDF04 Goldelund	SI3	mw	348	13,7	181	1,79	0,93	0,24	1,03	117	246
		std	24	5,2	8	0,08	0,03	0,04	0,08	6	25
BDF05 Gintoft	SI3-SI4	mw	576	22,8	252	4,63	2,02	0,84	2,79	221	414
		std	7	10,7	39	0,05	0,29	0,06	0,17	29	56
BDF06 S.-N.-Koog	Ls2	mw	749	35,6	170	5,76	1,31	0,31	1,64	204	378
		std	47	12,1	49	0,48	0,36	0,02	0,21	9	38
BDF09 Schuby	mSfs	mw	600	27,1	227	1,86	0,70	0,66	1,80	135	293
		std	33	5,6	38	0,09	0,09	0,14	0,31	27	57
BDF10 Maasleben	SI4	mw	504	38,0	258	5,24	2,68	0,27	2,49	151	312
		std	42	7,4	23	0,32	0,08	0,04	0,16	17	22
BDF12 Vadersdorf	SI4	mw	681	46,1	380	4,37	2,44	0,45	3,86	338	700
		std	21	4,5	23	0,11	0,13	0,10	0,40	14	69
BDF15 Achterwehr	Su3	mw	459	43,8	317	4,73	3,28	0,45	3,15	235	500
		std	39	2,2	18	0,38	0,43	0,11	0,12	33	85
BDF16 Schwartbuck	SI4	mw	517	44,5	209	4,53	1,83	0,50	1,80	147	342
		std	102	12,5	27	0,84	0,22	0,07	0,42	31	84
BDF18 Heringsdorf	SI4	mw	393	48,6	328	3,59	2,98	0,48	2,73	169	500
		std	19	1,4	47	0,16	0,37	0,09	0,06	61	26
BDF19 Mörel	Su2-Su3	mw	302	23,8	182	2,87	1,73	0,20	1,59	134	231
		std	20	4,9	25	0,16	0,25	0,02	0,11	24	47
BDF23 Bokhorst	Su2-Su3	mw	470	28,9	238	1,97	0,98	0,32	2,32	190	426
		std	109	4,2	35	0,47	0,07	0,02	0,12	11	69
BDF27 Tankenrade	SI4-Ls3	mw	403	28,3	263	3,75	2,46	0,26	2,63	196	359
		std	21	1,8	11	0,10	0,11	0,03	0,12	22	31
BDF29 Niederbüssau	Lu-Lt2	mw	326	21,9	232	2,93	2,09	0,29	2,26	174	326
		std	26	3,8	8	0,16	0,04	0,05	0,08	13	31
Standort	Bodenart	Wert	C _{mic-CFE} g/m ²	N _{mic-CFE} g/m ²	C _{mic-SIR} g/m ²	Q _{met-CFE} µg/mg/h	Q _{met-SIR} µg/mg/h	R _{B-Hein} mg/m ² /h	ARG mg/m ² /h	R _{B-SapO} µg/g/h	R _{B-SapC} µg/g/h
BDF04 Goldelund	SI3	mw	142	5,6	73	0,69	1,31	97	418	1,02	0,34
		std	10	2,1	4	0,12	0,20	16	34	0,12	0,02
BDF05 Gintoft	SI3-SI4	mw	253	10,1	111	1,46	3,43	370	1227	0,95	0,37
		std	7	4,8	17	0,10	0,65	30	88	0,19	0,08
BDF06 S.-N.-Koog	Ls2	mw	313	14,9	71	0,42	1,95	130	687	1,04	1,00
		std	23	5,2	20	0,05	0,47	8	80	0,13	0,14
BDF09 Schuby	mSfs	mw	242	10,9	91	1,11	3,05	266	722	0,93	0,34
		std	11	2,0	14	0,28	0,96	62	111	0,15	0,09
BDF10 Maasleben	SI4	mw	224	16,9	115	0,54	1,06	121	1111	0,43	0,32
		std	17	3,3	10	0,09	0,21	19	73	0,06	0,03
BDF12 Vadersdorf	SI4	mw	274	18,5	153	0,66	1,17	180	1554	1,10	0,50
		std	12	2,0	11	0,13	0,22	39	183	0,55	0,06
BDF15 Achterwehr	Su3	mw	201	19,2	139	0,98	1,42	199	1382	0,80	0,61
		std	14	1,0	10	0,20	0,28	50	78	0,08	0,13
BDF16 Schwartbuck	SI4	mw	228	19,6	92	1,00	2,43	220	775	1,46	0,56
		std	48	5,8	14	0,25	0,46	33	170	0,50	0,05
BDF18 Heringsdorf	SI4	mw	183	22,5	153	1,22	1,52	222	1266	1,48	0,56
		std	9	0,6	24	0,25	0,52	43	39	0,79	0,04
BDF19 Mörel	Su2-Su3	mw	138	10,8	83	0,66	1,11	90	725	0,63	0,58
		std	10	2,3	11	0,08	0,19	9	47	0,35	0,10
BDF23 Bokhorst	Su2-Su3	mw	183	11,3	93	0,73	1,37	125	909	0,57	0,43
		std	40	1,8	12	0,24	0,23	9	26	0,41	0,07
BDF27 Tankenrade	SI4-Ls3	mw	169	11,8	110	0,66	1,00	110	1101	0,72	0,33
		std	14	0,7	8	0,10	0,09	15	69	0,52	0,07
BDF29 Niederbüssau	Lu-Lt2	mw	131	8,8	93	0,90	1,25	117	910	0,50	0,28
		std	12	1,7	3	0,15	0,18	16	44	0,15	0,05

