

WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG DES PILOTPROJEKTS

„HUMUSAUFBAU UND EROSIONSSCHUTZ“

ZUR ÖPUL 2015 MAßNAHME

„VORBEUGENDER GRUNDWASSERSCHUTZ“ IN WIEN

Endbericht, Juli 2022

Andreas Baumgarten¹, Lisa Makoschitz¹, Hans-Peter Haslmayr¹, Georg Dersch¹, Philipp Prock², Peter Strauss³, Andreas Scheidl³, Carmen Krammer³, Johann Dorner³

¹ AGES, Institut für nachhaltige Pflanzenproduktion, Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung

² LK Wien

³ BAW, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Nachhaltigkeit und
Tourismus


LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



1.	Einleitung.....	2
2.	Bodenbeprobungen.....	3
2.1	pH, pflanzenverfügbare Gehalte an P, K und Mg	4
2.2	Kohlenstoff, Stickstoff.....	9
2.3	Austauschbare Kationen	21
3	Messstelle zur Überwachung des Stoffaustrages	27
3.1	Auswahl des Standortes.....	27
3.2	Bewirtschaftung ab Herbst 2018	27
3.3	Bodenprofile im Bereich der Messstelle.....	27
3.4	Messstellenausstattung	28
3.5	Ergebnisse	30
3.5.1	Korngrößen	30
3.5.2	Saugspannung und Sickerwasser.....	31
3.5.3	Parameter zum Stickstoffhaushalt	36
3.5.4	Aggregatstabilität und Perkolationsstabilität.....	42
3.5.5	Kohlenstoffmanagement.....	45
3.5.6	Bodenbedeckung	48
4	Schlagbezogene Aufzeichnungen.....	51
5	Zusammenfassung.....	60
6	Referenzen	62

1. Einleitung

Mittels Änderung der Sonderrichtlinie ÖPUL 2015 kann für Betriebe mit Flächen im Grundwasserschutzgebiet Wien das Pilotprojekt „Humusaufbau und Erosionsschutz“ angeboten werden. Die Maßnahme begann mit 01.01.2017 zu laufen. Die Laufzeit betrug 5 Jahre bis 31.12.2021. Die inhaltlichen Auflagen der Maßnahme sind:

- Eine wendende Bodenbearbeitung auf Ackerflächen ist im gesamten Verpflichtungszeitraum innerhalb der Gebietskulisse Wien unzulässig (sowohl für Haupt- als auch für Zwischenfruchtkulturen).
- Es muss an einem vom BMNT anerkannten Projekt mit der Zielsetzung der Untersuchung der Auswirkungen auf die Speicherung von Kohlenstoff im Boden teilgenommen werden. Dazu ist eine wissenschaftliche Begleitung erforderlich. Nach Aufforderung durch die Projektbeauftragten sind Daten über die Flächenbewirtschaftung bzw. die Ergebnisse der Bodenproben für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung zu stellen.
- Innerhalb des Verpflichtungszeitraums sind doppelt so viele Bodenproben wie im Vergleich zur Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz auf Ackerflächen“ zu ziehen. D.h. pro angefangene 5 ha Ackerfläche innerhalb der Gebietskulisse Wien sind mindestens zwei Bodenproben entsprechend räumlicher und zeitlicher Projektvorgaben zu analysieren.
- Zusätzlich zu den 12 Stunden Schulung und Weiterbildung im Rahmen der Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz auf Ackerflächen“ sind weitere 3 Stunden Bildung und Beratung im Zusammenhang mit den Bodenanalysen oder der pfluglosen Bodenbearbeitung in Anspruch zu nehmen.
- Eine Prämienkombination mit der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ ist auf Flächen innerhalb der Gebietskulisse Wien nicht möglich.

Aufgrund der inhaltlichen Vorgaben des Pilotprojektes „Humusaufbau und Erosionsschutz“ wurde ein wissenschaftliches Begleitprojekt erstellt, das die Maßnahme während der gesamten Laufzeit begleitet. Neben der Steuerung und Dokumentation der Effekte wird gemeinsam mit den Landwirten eine praxistaugliche Leitlinie für Humus schonende oder – aufbauende Kulturmaßnahmen entwickelt, die als Basis für weitere Schulungsmaßnahmen herangezogen werden kann. Als Ziele der ergänzenden Maßnahme zum vorbeugenden Grundwasserschutz wurden die folgenden formuliert:

- Förderung des Humusaufbaus und der Kohlenstoff-Sequestrierung
- Förderung der Entwicklung der Bodenlebewesen und deren Lebensraums
- Verringerung der Wind- und Wassererosion
- Klimaschutz
- Verringerung der Wasserverdunstung

2. Bodenbeprobungen

Zu Beginn des Projektes wurden in Zusammenarbeit mit der LK Wien und den an der Maßnahme beteiligten Landwirten und Landwirtinnen die Probenahmegebiete eingegrenzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sowohl die wichtigsten Produktionsgebiete Wiens als auch die wesentlichsten Bodenformen berücksichtigt wurden.

Basierend auf diesen Informationen wurden insgesamt 60 Schläge auf 13 Betrieben in folgenden Produktionsgebieten ausgewählt:

Stammersdorf Nord

Stammersdorf/Strebersdorf

Lobau

Breitenlee

Oberlaa

Rothneusiedl

Auch auf bodenkundlich relativ homogenen Flächen ist eine Variabilität der einzelnen Parameter, insbesondere des organischen Bodenkohlenstoffs gegeben. Um eine zeitliche Veränderung bereits innerhalb relativ kurzer Zeiträume abschätzen zu können, wurden die Schläge daher nicht flächig, sondern punktgenau beprobt. Dazu wurde ein Punkt des Schlages mit einem Pflock gekennzeichnet und mit GPS vermessen. In einem Umkreis mit einem Radius von 2m wurden 15 – 20 Einzelproben aus den Tiefen 0 – 10 cm und 10 – 30 cm gezogen und zu je einer Mischprobe vereinigt. Durch die zusätzliche Tiefendifferenzierung können mögliche Effekte durch die reduzierte Bodenbearbeitung besser erkannt werden. Die Probenahmen erfolgten im April und September 2017, April 2019 und April 2021.

Es wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- pH-Wert
- „pflanzenverfügbare“ Gehalte an Phosphor und Kalium (CAL-Extrakt)
- Gehalt an „pflanzenverfügbarem“ Magnesium (Schachtschabel)
- Gehalt an Humus/organischem Kohlenstoff (C_{org})
- Permanganat – oxidierbarer Kohlenstoff (C_{ox})
- Gesamt – Stickstoff (N_{tot})
- Nachlieferbarer Stickstoff (N_{nl})
- Kationen – Austausch – Kapazität (KAK)
- Bodenart (einmalige Untersuchung)

Die Ergebnisse aus den Jahren 2017, 2019 und 2021 wurden einander gegenübergestellt. Insgesamt konnten nach der letzten Beprobung noch 56 Standorte in der Auswertung berücksichtigt werden.

2.1 pH, pflanzenverfügbare Gehalte an P, K und Mg

In Tabelle 1 sind die Spannen (Minimum, Maximum) und der Median der gemessenen Werte für den pH-Wert und die pflanzenverfügbaren Gehalte an P, K und Mg in der Tiefenstufe 0 – 10 cm, in Tabelle 2 für die Tiefenstufe 10 – 30 cm angeführt.

Tabelle 1: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für den pH-Wert und die pflanzenverfügbaren Gehalte an P, K und Mg in der Tiefenstufe 0 – 10 cm

	Jahr	Min	Max	Median
pH-Wert	2017	6,67	7,68	7,46
	2019	6,74	7,78	7,54
	2021	6,6	7,67	7,46
Phosphor (mg/1000g)	2017	27	296	74
	2019	13	337	84
	2021	25	332	72
Kalium (mg/1000g)	2017	72	604	204
	2019	67	535	218
	2021	79	548	226
Magnesium (mg/1000g)	2017	63	258	112
	2019	57	246	105
	2021	64	256	111

Tabelle 2: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für den pH-Wert und die pflanzenverfügbaren Gehalte an P, K und Mg in der Tiefenstufe 10 – 30 cm

	Jahr	Min	Max	Median
pH-Wert	2017	6,47	7,69	7,49
	2019	6,98	7,76	7,58
	2021	6,82	7,65	7,51
Phosphor (mg/1000g)	2017	19	290	68
	2019	11	343	75
	2021	14	299	66
Kalium (mg/1000g)	2017	73	457	151
	2019	38	456	157
	2021	49	494	142
Magnesium (mg/1000g)	2017	64	255	110
	2019	59	226	104
	2021	63	231	109

In Tabelle 3 sind Informationen über die Differenzen der im Jahr 2021 und 2017 gemessenen Werte zusammengefasst. In den Spalten „> 0“ sind die positiven Differenzen (Werte 2021 höher als 2017) mit Anzahl (n) und % angeführt, in den Spalten „< 0“ die entsprechenden negativen Differenzen. Zusätzlich

sind der Mittelwert, die Standardabweichung und der Median angeführt. Es ist anzumerken, dass Mittelwert und Standardabweichung lediglich zur Information über die Streubreite der Daten angeführt sind, da es sich nicht um eine homogen verteilte Grundgesamtheit handelt.

Tabelle 3: Kenngrößen der Differenzen der Messwerte aus den Jahren 2021 und 2017 für den pH-Wert und die pflanzenverfügbaren Gehalte an P, K und Mg

	Tiefe cm	> 0		< 0		0		MW	Stabw	Median
		n	%	n	%	n	%			
pH-Wert	0-10	30	54%	26	46%	0	0%	0,01	0,20	0,01
	10-30	30	53%	25	45%	1	2%	0,04	0,21	0,03
Phosphor (mg/1000g)	0-10	30	55%	25	45%	0	0%	-0,80	75,19	8,50
	10-30	28	50%	28	50%	0	0%	-4,88	73,73	0,00
Kalium (mg/1000g)	0-10	33	60%	21	38%	1	2%	35,88	145,43	28,50
	10-30	25	45%	31	55%	0	0%	4,50	116,70	-8,50
Magnesium (mg/1000g)	0-10	26	47%	29	53%	0	0%	3,38	48,21	-4,00
	10-30	24	43%	32	57%	0	0%	-2,05	50,76	-5,5

In den Abbildungen 1 bis 8 sind die Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Tiefenstufen 0 – 10 cm und 10 – 30 cm für die jeweiligen Standorte dargestellt.

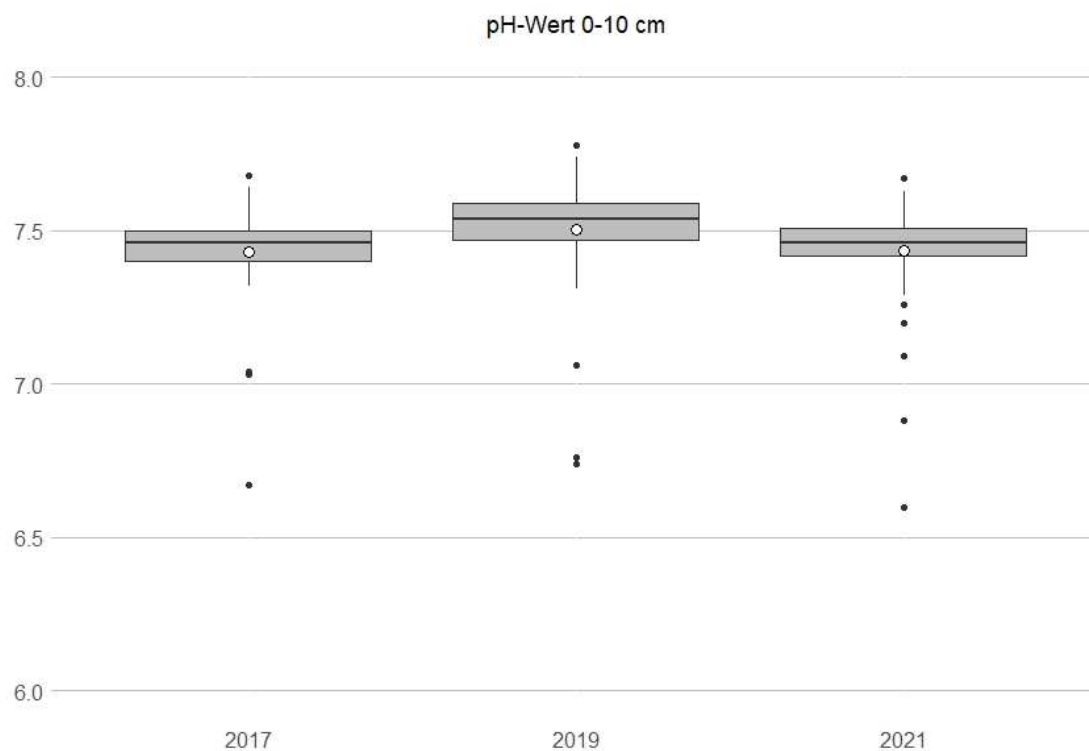


Abbildung 1: pH-Werte in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

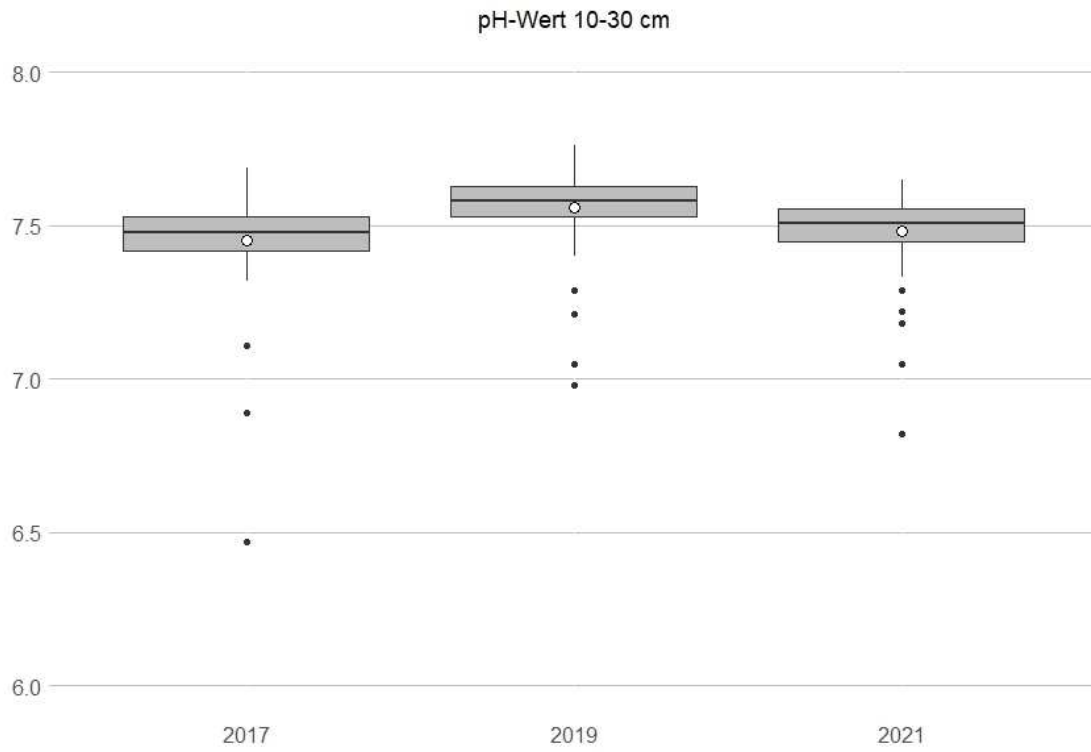


Abbildung 2: pH-Werte in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10-30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte

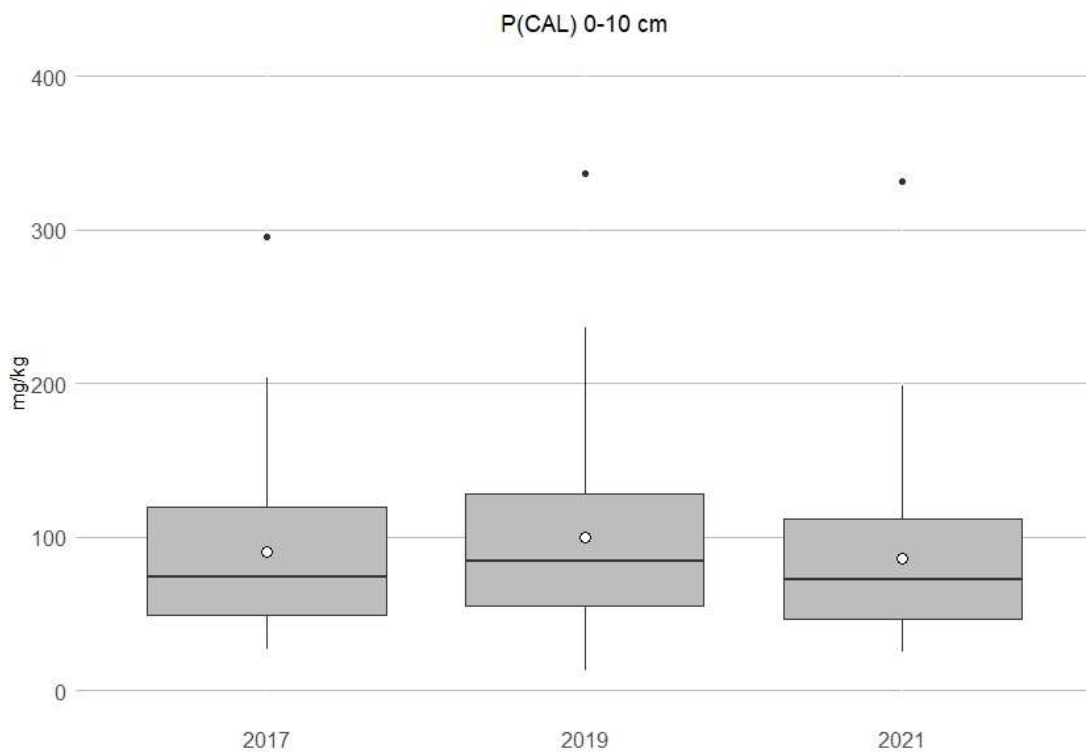


Abbildung 3: Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

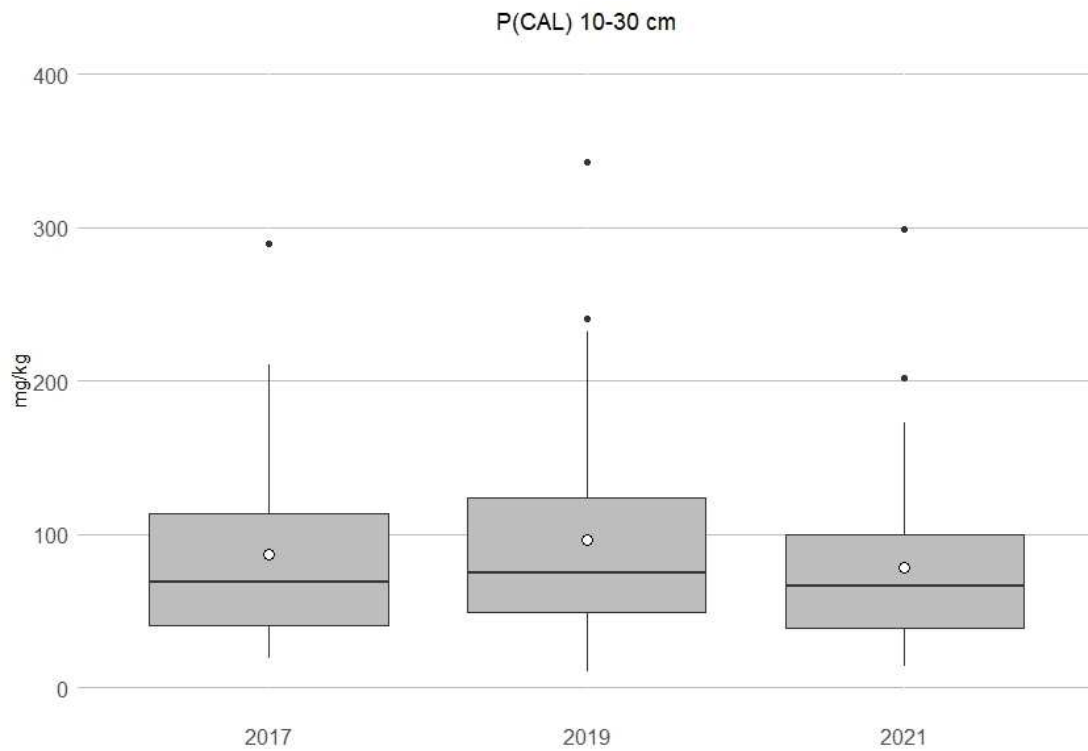


Abbildung 4: Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

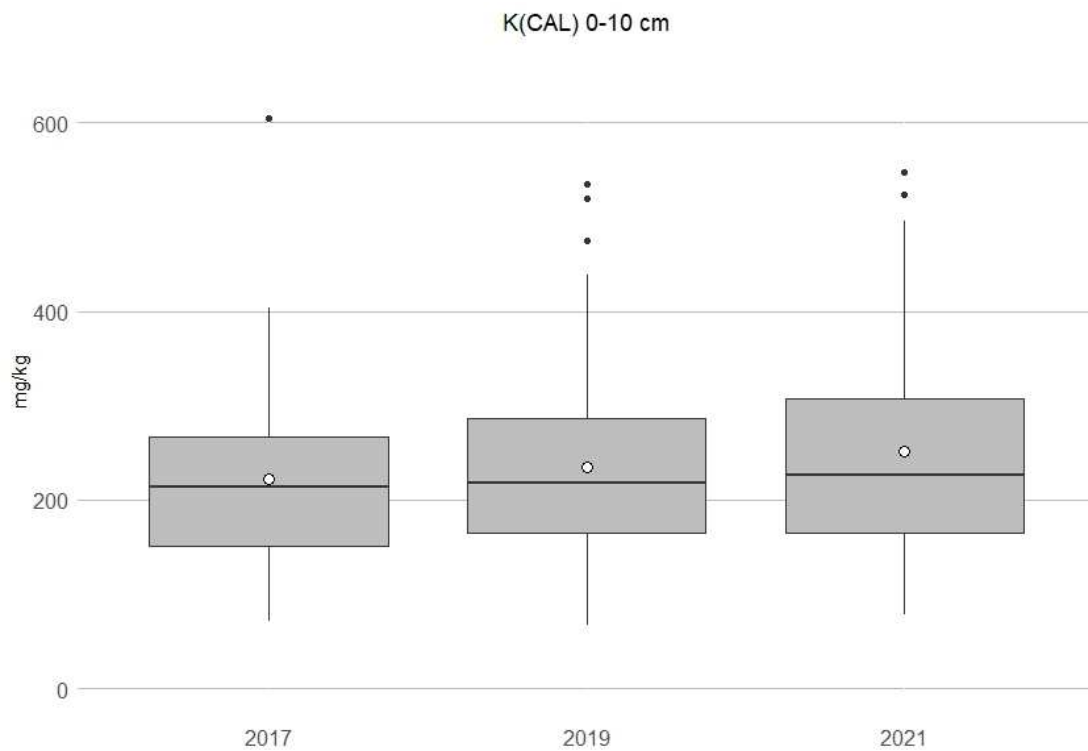


Abbildung 5: Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0-10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

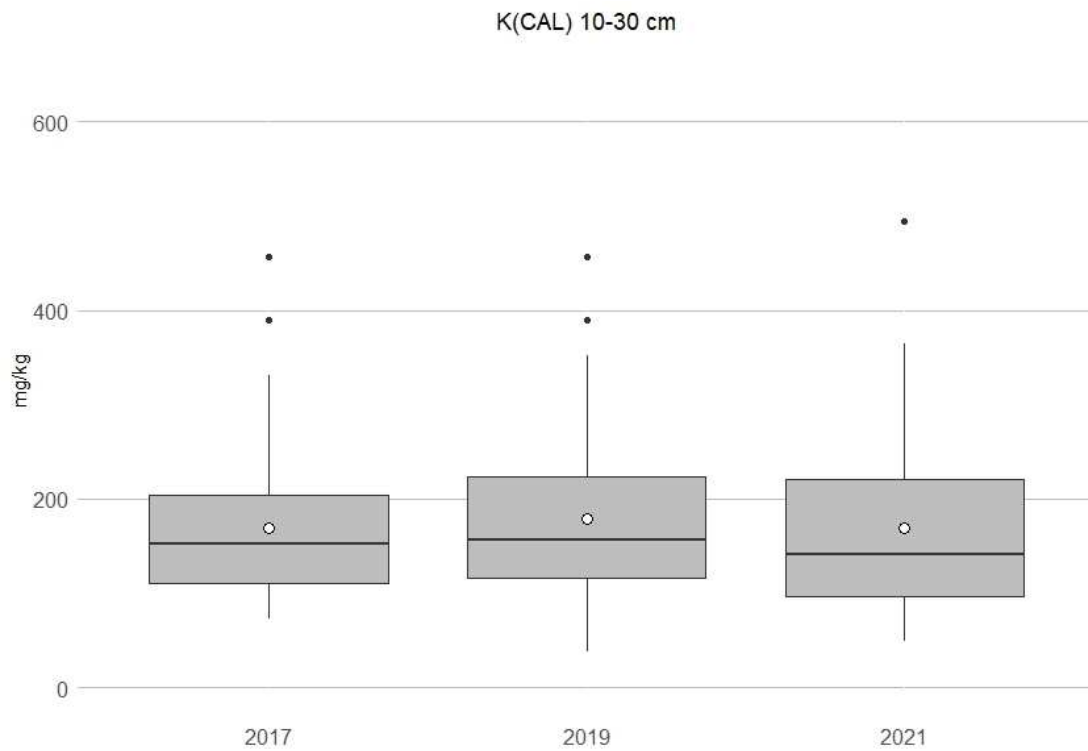


Abbildung 6: Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

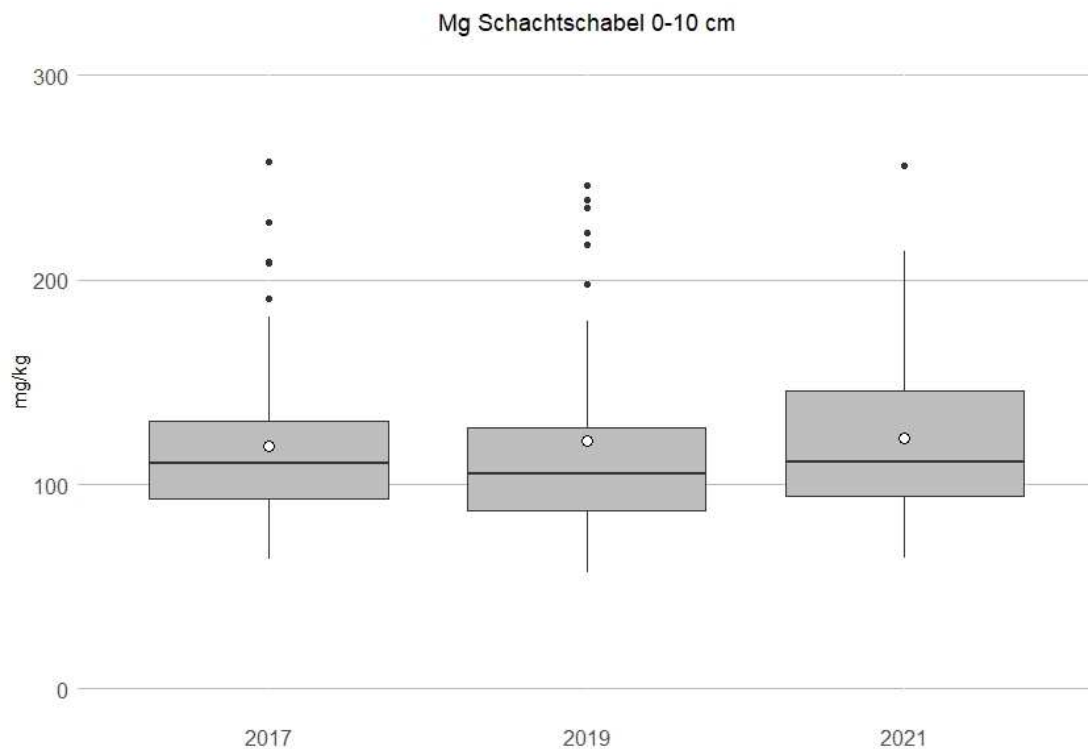


Abbildung 7: Gehalte an pflanzenverfügbarem Magnesium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

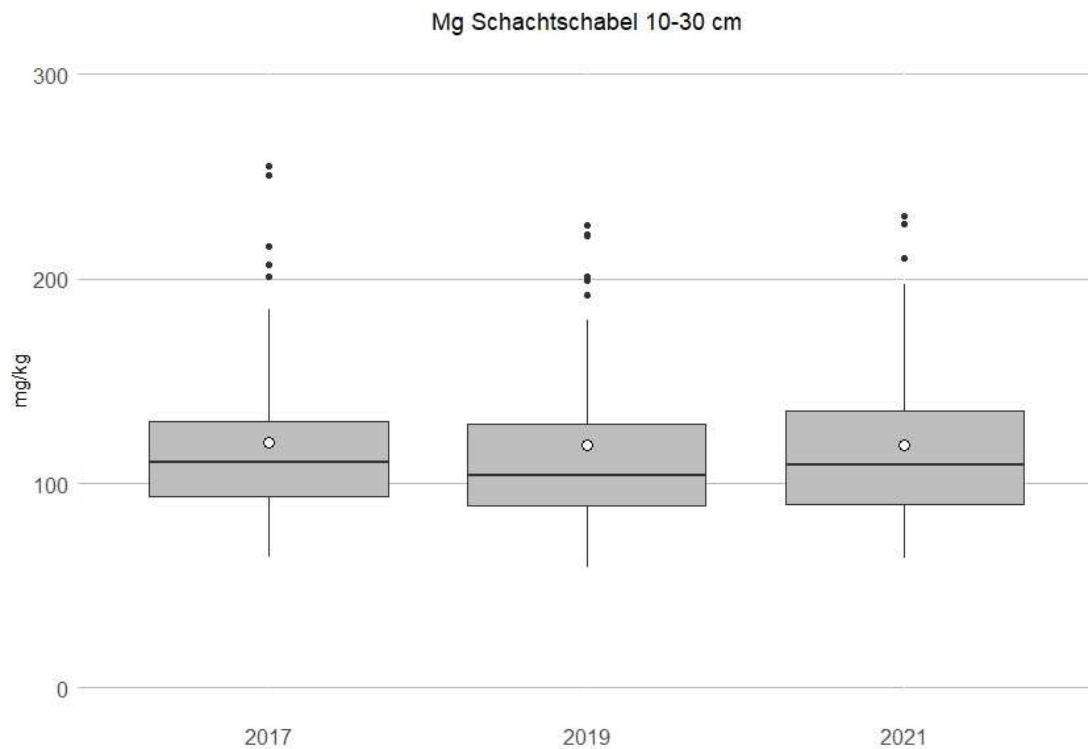


Abbildung 8: Gehalte an pflanzenverfügbarem Magnesium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

Einzelne Standorte zeigten 2021 höhere Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium, was auf Düngung zurückführbar sein kann. Beim pH-Wert zeigte sich bei der 1. Zwischenbeprobung auf einigen Standorten tendenziell eine Zunahme, allerdings lag dies im Bereich der natürlichen Variabilität bzw. der Messunsicherheit des Verfahrens. Bei der 2. Beprobung waren die Werte wieder im selben Bereich wie 2017. Bei den anderen Parametern konnten keine eindeutigen Trends festgestellt werden.

2.2 Kohlenstoff, Stickstoff

In Bezug auf den Kohlenstoff und Stickstoff im Boden wurden verschiedene Parameter untersucht. Neben den Gesamtgehalten (TOC, Humus, Ntot) wurden auch der leicht oxidierbare Kohlenstoff (Cox) sowie der nachlieferbare Stickstoff (Nnl) analysiert. Zusätzlich wurden noch das C/N-Verhältnis sowie das Verhältnis zwischen Gesamtkohlenstoff und leicht oxidierbarem Kohlenstoff (TOC/Cox) zur weiteren Charakterisierung der Stabilität der organischen Substanz im Boden ermittelt.

In Tabelle 4 sind die Spannen (Minimum, Maximum) und der Median der gemessenen Werte der oben genannten Parameter in der Tiefenstufe 0 – 10 cm, in

Tabelle 5 für die Tiefenstufe 10 – 30 cm angeführt.

Tabelle 4: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für TOC, Humusgehalt, N_{tot} , das C/N-Verhältnis, dem leicht oxidierbaren Kohlenstoff (C_{ox}), dem Verhältnis von TOC zu C_{ox} und dem nachlieferbaren Stickstoff (N_{nl}) in der Tiefenstufe 0 – 10 cm

	Jahr	Min	Max	Median
TOC (% , 2 NKS)	2017	1,27	3,08	2,07
	2019	1,10	3,00	1,98
	2021	1,15	3,42	2,11
Humus (% , 1 NKS)	2017	2,2	5,3	3,6
	2019	1,9	5,2	3,4
	2021	2	5,9	3,6
Stickstoff gesamt (%)	2017	0,11	0,29	0,20
	2019	0,11	0,30	0,20
	2021	0,11	0,27	0,20
C/N	2017	9,2	13,7	10,7
	2019	9,0	12,9	10,1
	2021	10,5	12,5	10,8
C_{ox} (mg/1000g)	2017	481	847	584
	2019	385	786	556
	2021	297	819	558
TOC(mg/kg)/ C_{ox}	2017	23,7	48,7	33,1
	2019	26,1	47,6	35,2
	2021	38,7	41,8	37,8
N_{nl} (mg/1000g/7d)	2017	38	136	76
	2019	29	136	77
	2021	34	185	89

Tabelle 5: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für TOC, Humusgehalt, N_{tot} , das C/N-Verhältnis, dem leicht oxidierbaren Kohlenstoff (C_{ox}), dem Verhältnis von TOC zu C_{ox} und dem nachlieferbaren Stickstoff (N_{nl}) in der Tiefenstufe 10 – 30 cm

	Jahr	Min	Max	Median
TOC (% , 2 NKS)	2017	1,15	2,87	1,94
	2019	1,06	2,93	1,95
	2021	1,05	2,63	1,91
Humus (% , 1 NKS)	2017	2	4,9	3,3
	2019	1,8	5	3,4
	2021	1,8	4,5	3,3
Stickstoff gesamt (%)	2017	0,09	0,27	0,19
	2019	0,09	0,30	0,19
	2021	0,09	0,24	0,18
C/N	2017	9,3	13,7	10,7
	2019	9,2	13,4	10,2
	2021	12,1	11,1	10,5
C_{ox} (mg/1000g)	2017	426	782	573
	2019	290	723	525
	2021	265	696	513
TOC(mg/kg)/ C_{ox}	2017	22,5	47,6	31,8
	2019	27,0	48,4	35,6
	2021	39,6	37,8	37,2
N_{nl} (mg/1000g/7d)	2017	38	137	65
	2019	20	117	59
	2021	17	136	63

In Tabelle 6 sind Informationen über die Differenzen der im Jahr 2021 und 2017 gemessenen Werte zusammengefasst. In den Spalten „> 0“ sind die positiven Differenzen (Werte 2021 höher als 2017) mit Anzahl (n) und % angeführt, in den Spalten „< 0“ die entsprechenden negativen Differenzen. Zusätzlich sind der Mittelwert, die Standardabweichung und der Median angeführt. Es ist anzumerken, dass

Mittelwert und Standardabweichung lediglich zur Information über die Streubreite der Daten angeführt sind, da es sich nicht um eine homogen verteilte Grundgesamtheit handelt.

Tabelle 6: Kenngrößen der Differenzen der Messwerte aus den Jahren 2021 und 2017 für Parameter zum Bodenkohlenstoff und Bodenstickstoff

	Tiefe cm	> 0		< 0		0		MW	Stabw	Median
		n	%	n	%	n	%			
TOC (% , 2 NKS)	0-10	27	49%	27	49%	1	2%	0,06	0,51	0,01
	10-30	25	45%	31	55%	0	0%	-0,03	0,49	-0,07
Humus (% , 1 NKS)	0-10	26	47%	27	49%	2	4%	0,09	0,88	0,00
	10-30	24	43%	31	55%	1	2%	-0,06	0,84	-0,10
Stickstoff gesamt (%)	0-10	28	51%	27	49%	0	0%	0,01	0,05	0,00
	10-30	25	45%	31	55%	0	0%	0,00	0,05	-0,01
C/N	0-10	27	49%	28	51%	0	0%	-0,15	1,24	0,03
	10-30	30	54%	26	46%	0	0%	-0,05	1,06	0,04
C _{ox} (mg/1000g)	0-10	18	32%	38	68%	0	0%	-40,21	117,58	-54,50
	10-30	16	29%	40	71%	0	0%	-65,03	127,57	-72,50
TOC(mg/kg)/C _{ox}	0-10	44	75%	15	25%	0	0%	3,13	5,30	3,63
	10-30	43	73%	16	27%	0	0%	3,37	5,39	2,82
N _{nl} (mg/1000g/7d)	0-10	39	71%	16	29%	0	0%	18,66	40,48	15,07
	10-30	27	48%	29	52%	0	0%	-0,36	25,02	-2,4

In den Abbildungen 9 bis 22 sind die Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Tiefenstufen 0 – 10 cm und 10 – 30 cm für die jeweiligen Standorte dargestellt.

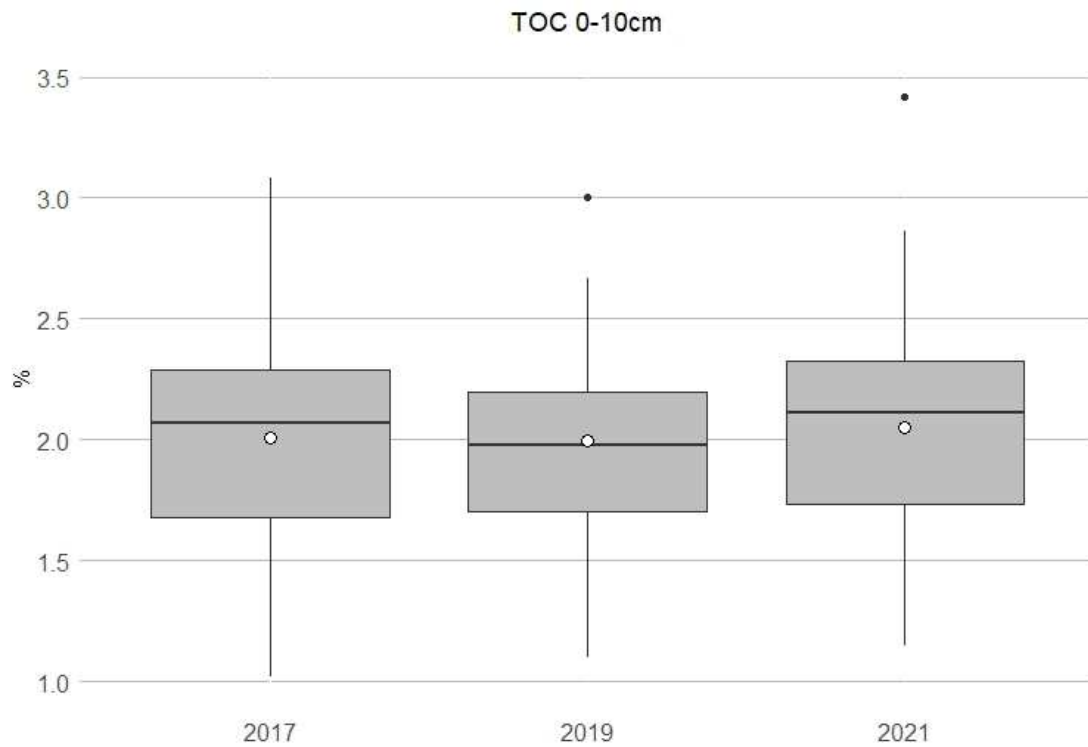


Abbildung 9: TOC-Gehalt (%) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

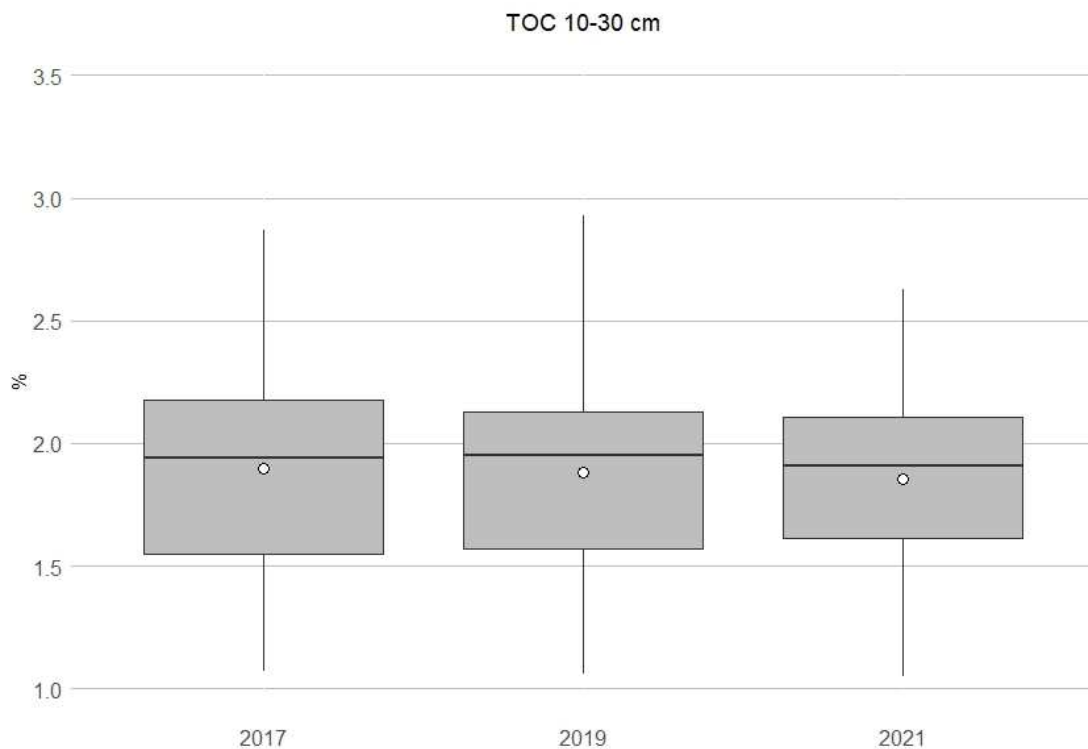


Abbildung 10: TOC-Gehalt (%) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

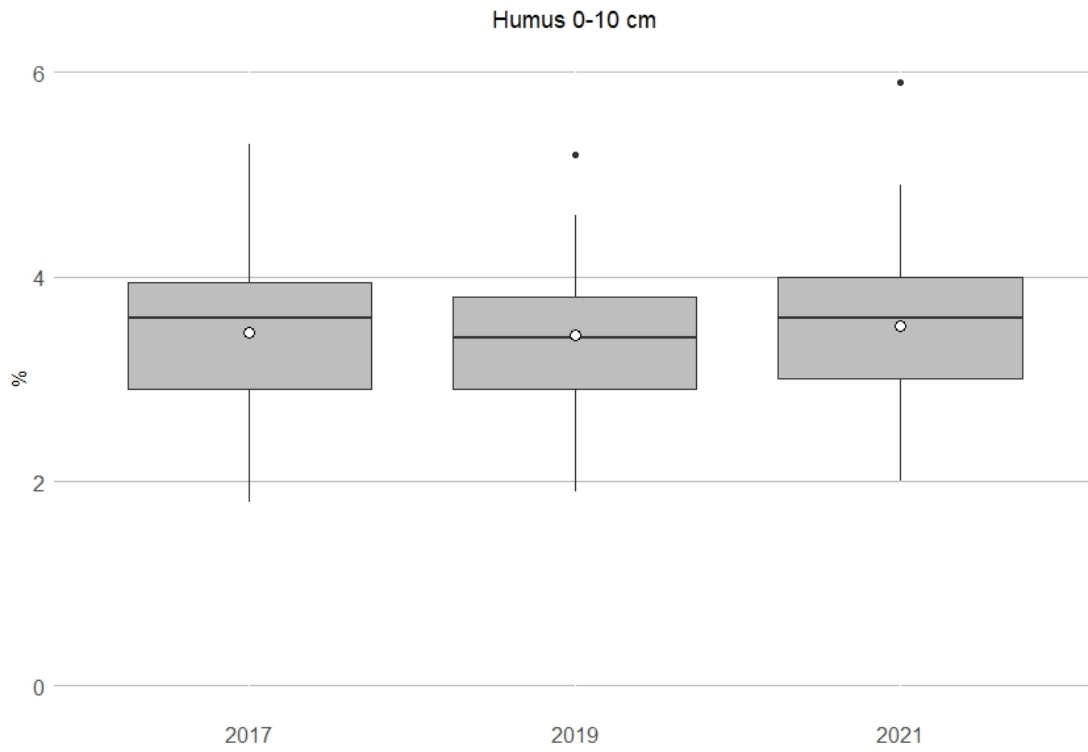


Abbildung 11: Humusgehalt (%) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

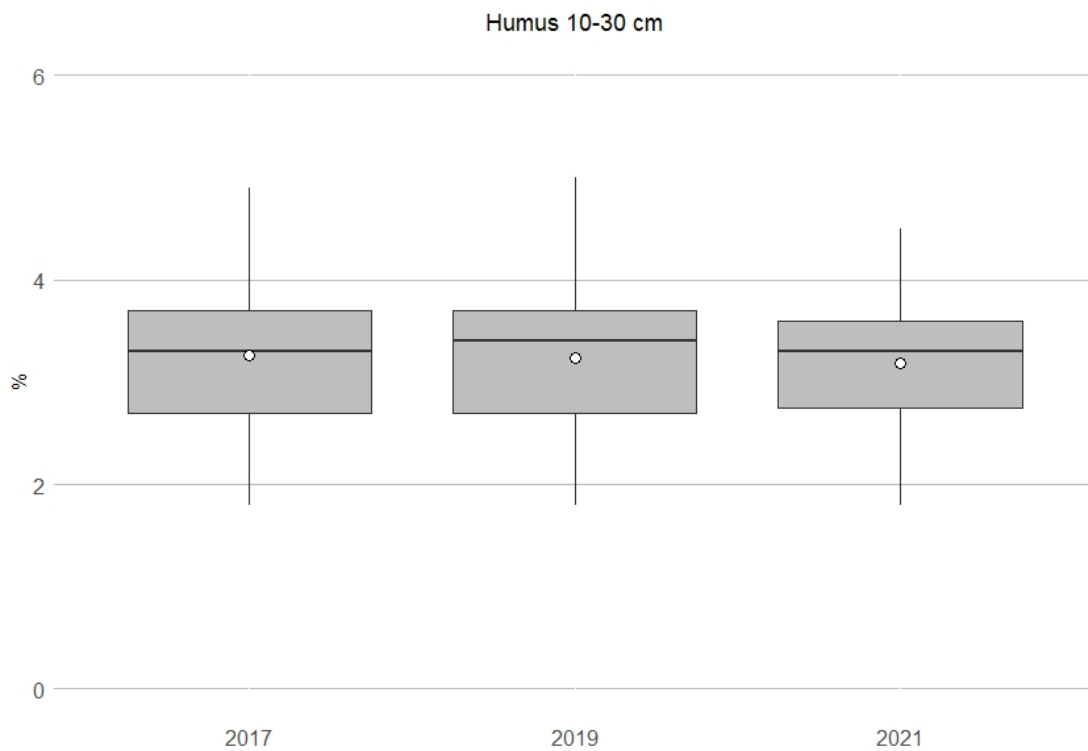


Abbildung 12: Humusgehalt (%) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

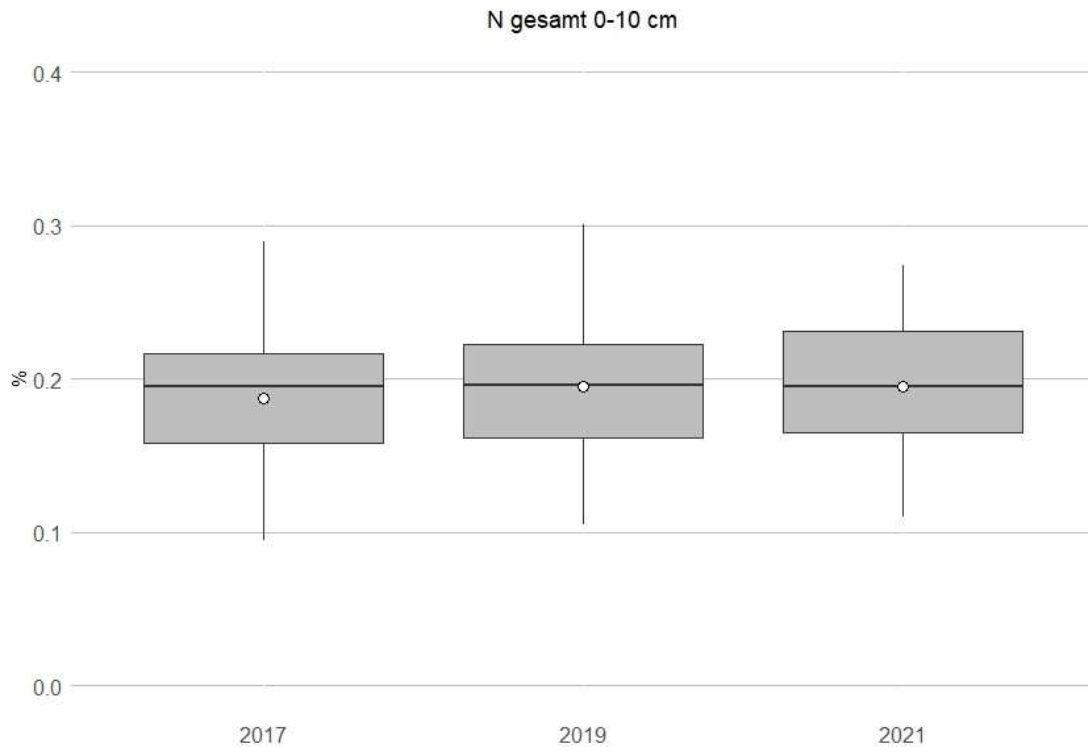


Abbildung 13: Gesamtstickstoffgehalt (N_{tot} , %) Standorte in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0-10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

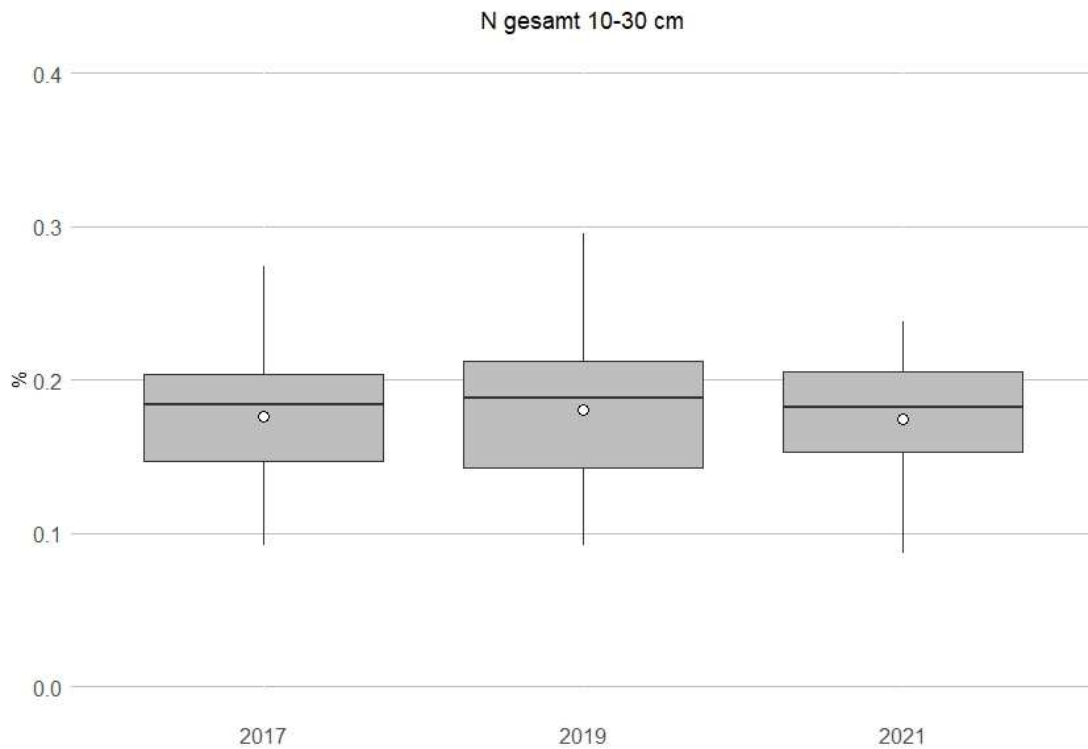


Abbildung 14: Gesamtstickstoffgehalt (N_{tot} , %) in den Jahren 2017 und 2019, Tiefenstufe 10-30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

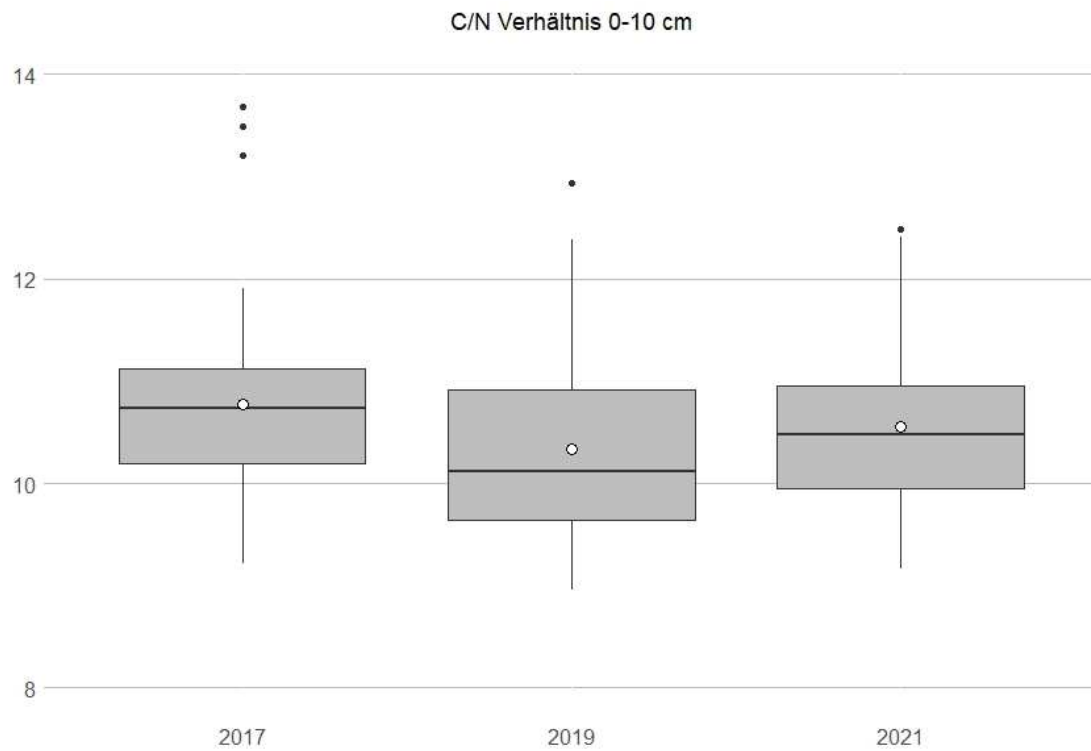


Abbildung 15: C/N - Verhältnis in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

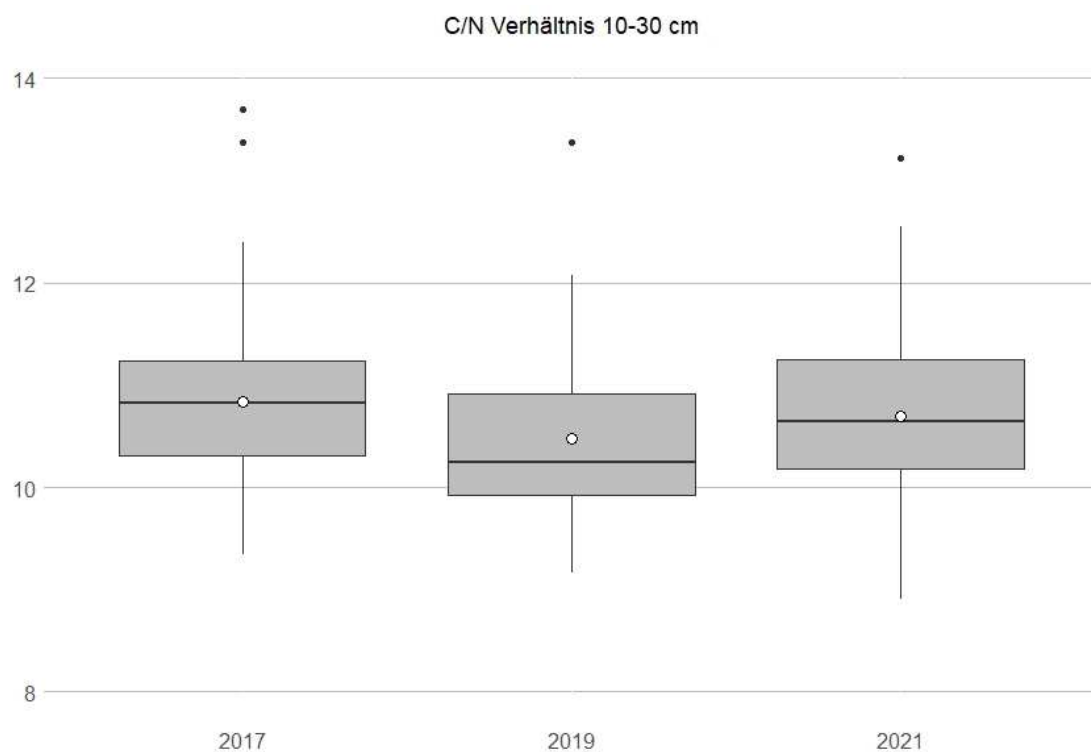


Abbildung 16: C/N - Verhältnis in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

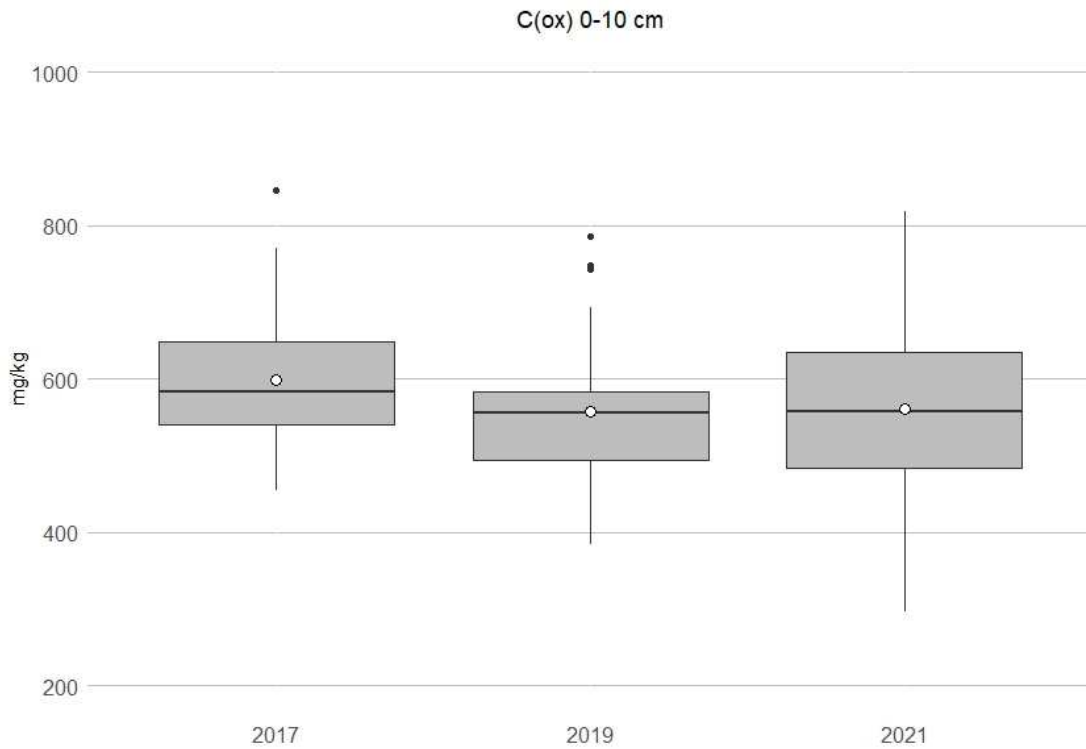


Abbildung 17: Gehalt an leicht oxidierbarem Kohlenstoff (C_{ox} , mg/1000g) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

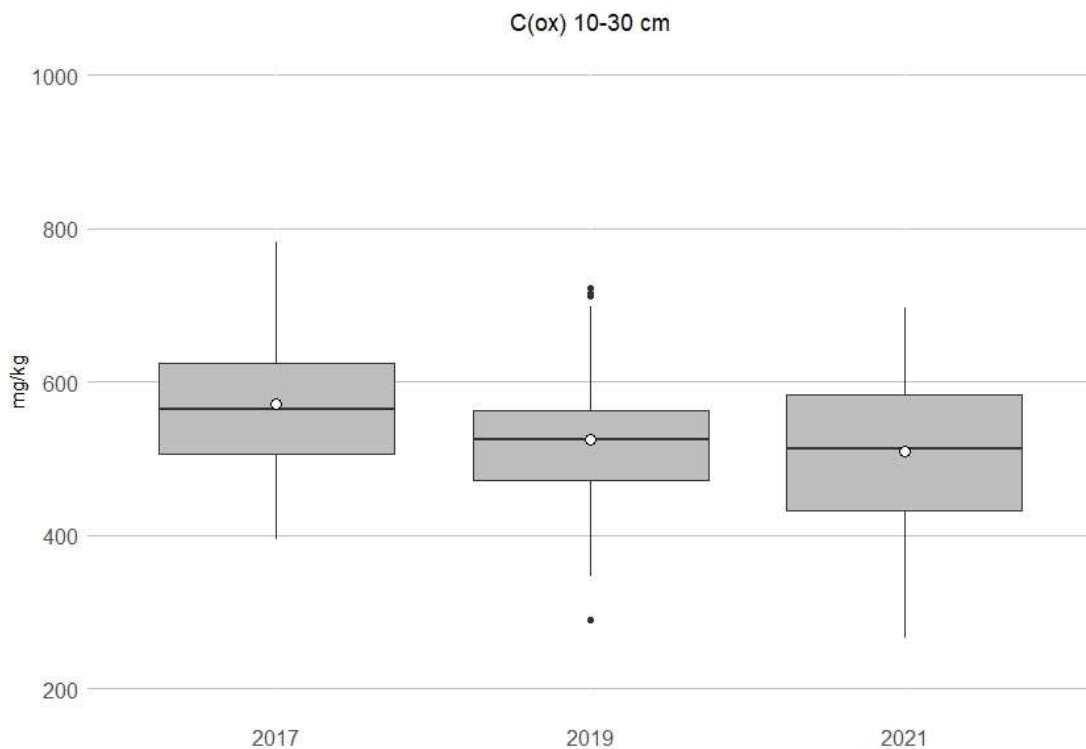


Abbildung 18: Gehalt an leicht oxidierbarem Kohlenstoff (C_{ox} , mg/1000g) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

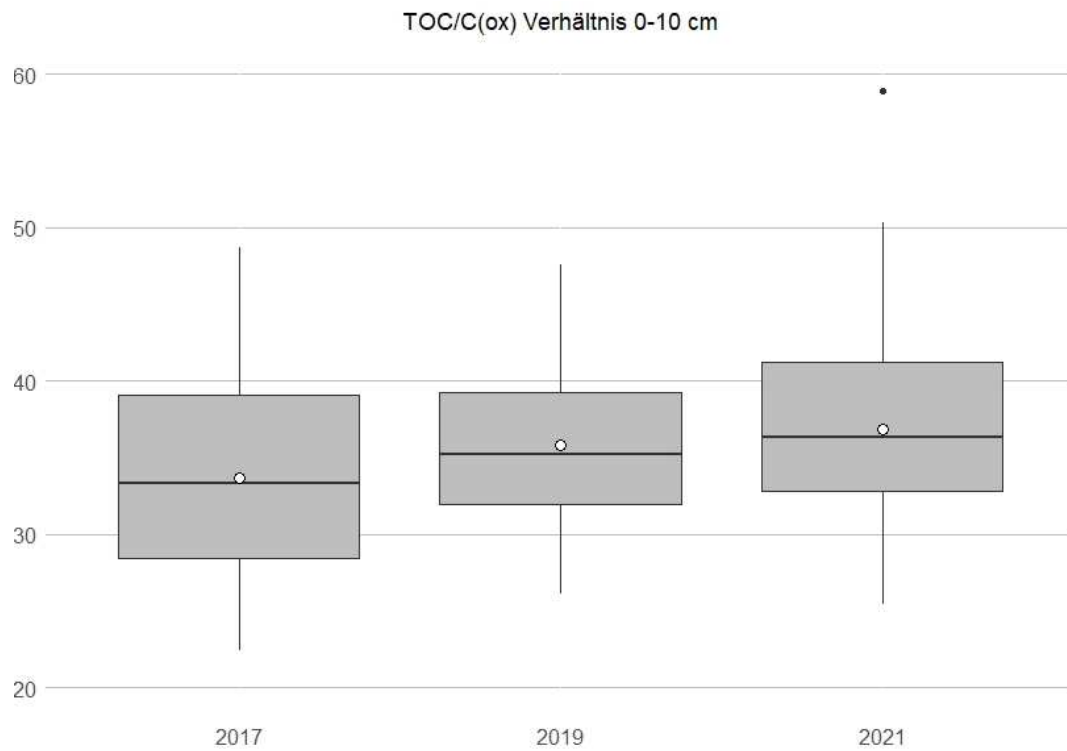


Abbildung 19: TOC/C_{ox} - Verhältnis in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

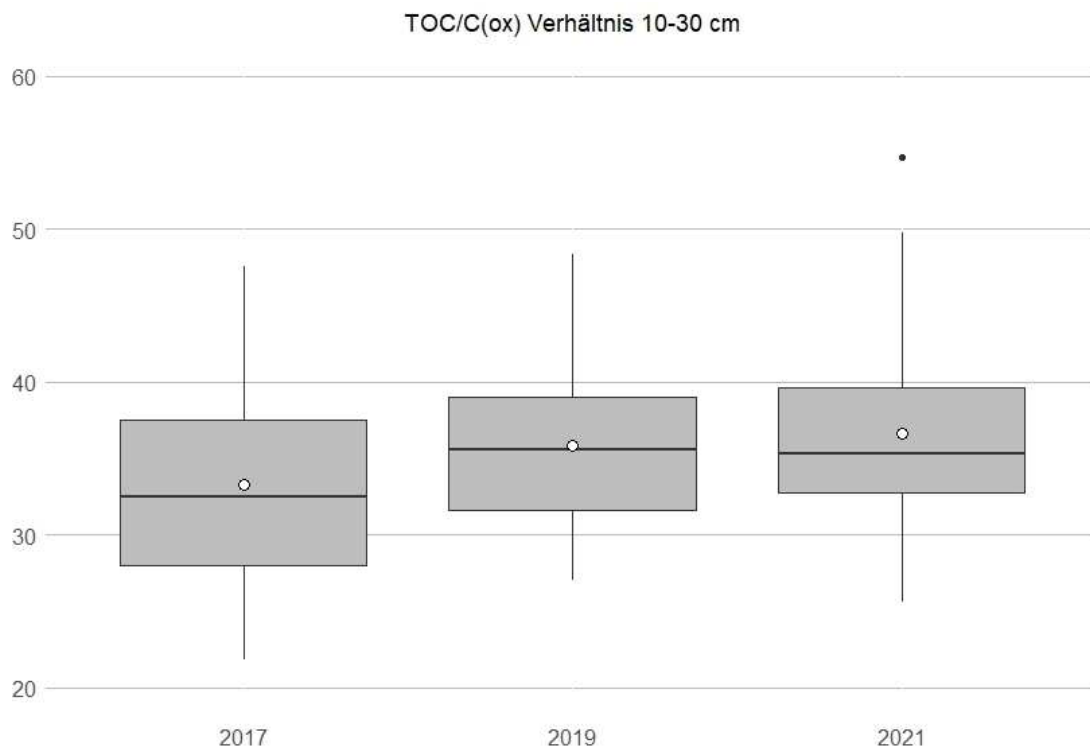


Abbildung 20: TOC/C_{ox} - Verhältnis in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

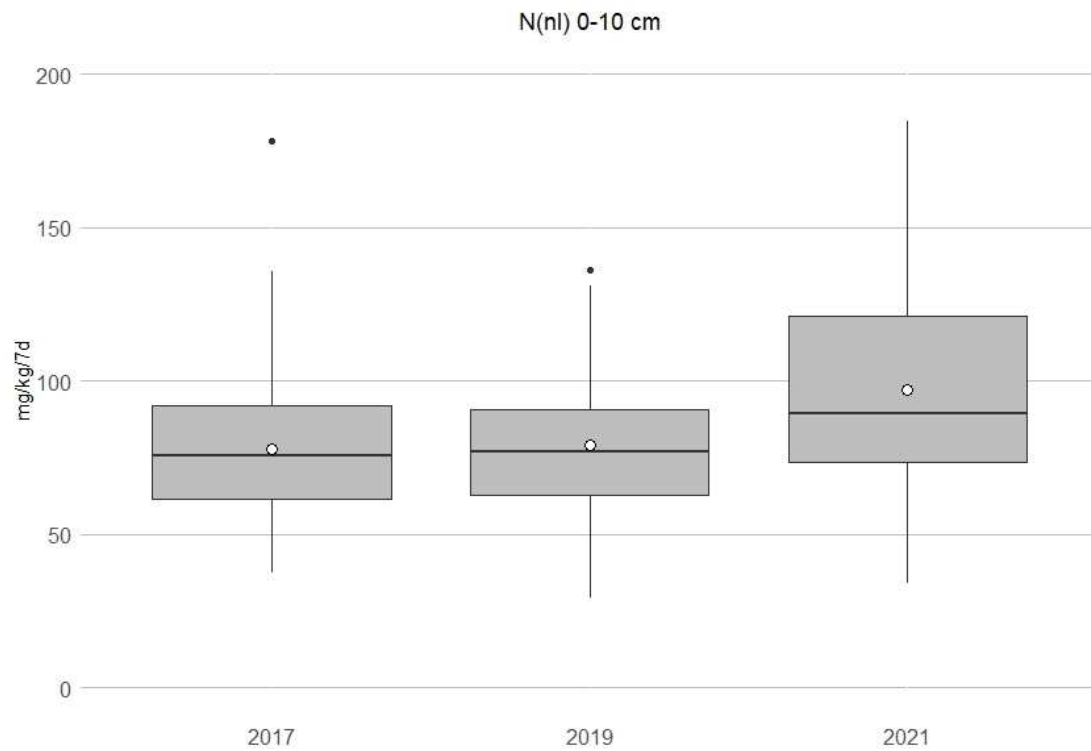


Abbildung 21: nachlieferbarer Stickstoff (N_{nl} , mg/1000g/7d) der einzelnen Standorte in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

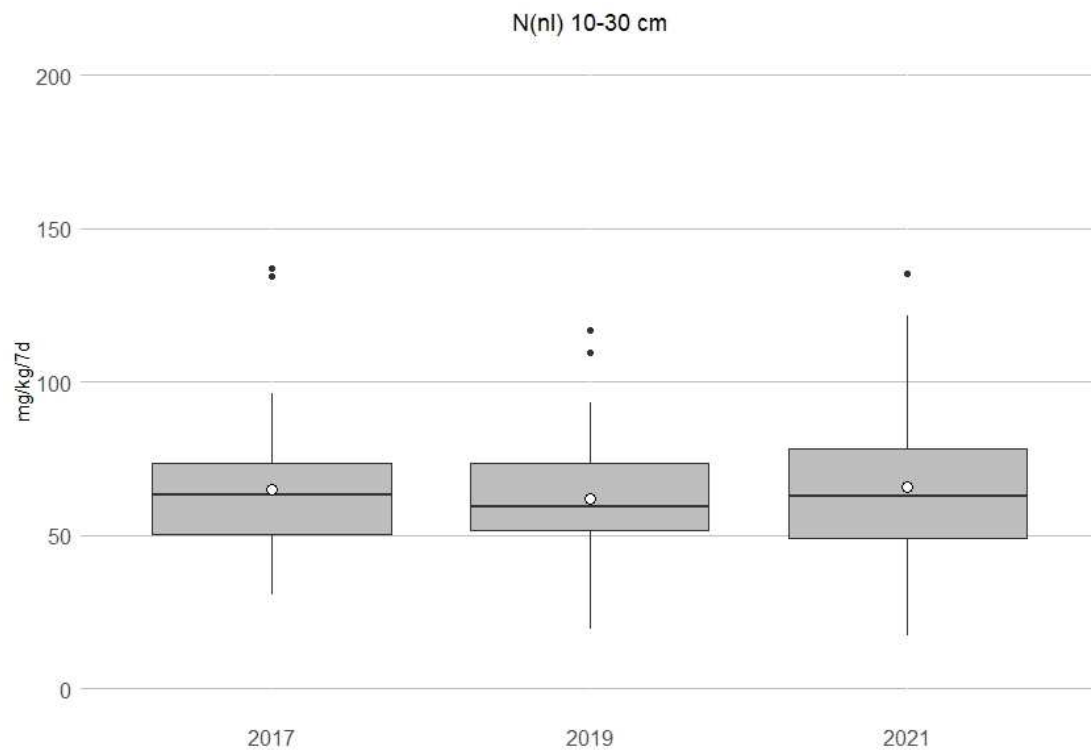


Abbildung 22: nachlieferbarer Stickstoff (N_{nl} , mg/1000g/7d) in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

Weder beim TOC noch beim N_{tot} -Gehalt konnten Trends einer Veränderung festgestellt werden. Einige Standorte wiesen jedoch 2021 einen höheren TOC-Gehalt auf. Aufgrund der Erfahrungen aus bisherigen Versuchen ist eine entsprechende Reaktion dieser Indikatoren erst nach einigen Jahren zu erwarten. Auch beim nachlieferbaren Stickstoff ist keine Tendenz erkennbar. Der leicht oxidierbare Kohlenstoff zeigte ebenso wie das Verhältnis TOC/C_{ox} eine tendenzielle Verschiebung: Während der C_{ox} -Gehalt überwiegend rückläufig war, stieg das Verhältnis zum TOC-Gehalt. Dies deutet auf eine Erhöhung des Anteils an stabiler organischer Substanz hin. Eine tendenzielle Abnahme des C/N-Verhältnisses, die bei der 1. Zwischenbeprobung zu beobachten war, konnte durch die 2. Beprobung nicht bestätigt werden.

2.3 Austauschbare Kationen

In Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die Spannen (Minimum, Maximum) und der Median der gemessenen Werte für die austauschbaren Kationen und die Kationenaustauschkapazität in den Tiefenstufen 0 – 10 cm und 10 – 30 cm angeführt.

Tabelle 7: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für die austauschbaren Kationen und die Kationenaustauschkapazität in der Tiefenstufe 0 – 10 cm

	Jahr	Min	Max	Median
Calcium (cmolc/1000g)	2017	11,9	30,2	19,7
	2019	11,3	29,3	18,3
	2021	9,9	28,6	19,6
Magnesium (cmolc/1000g)	2017	0,8	3,2	1,4
	2019	0,7	3,2	1,4
	2021	0,7	3,0	1,4
Kalium (cmolc/1000g)	2017	0,31	1,75	0,72
	2019	0,22	1,55	0,68
	2021	0,26	1,73	0,75
KAK (cmolc/1000g)	2017	13,4	33,5	21,9
	2019	12,4	31,7	21,1
	2021	10,9	31,9	22,1

Tabelle 8: Minimum, Maximum und Median der im Jahr 2017, 2019 und 2021 gemessenen Werte für die austauschbaren Kationen und die Kationenaustauschkapazität in der Tiefenstufe 10 – 30 cm

	Jahr	Min	Max	Median
Calcium (cmolc/1000g)	2017	11,6	30,3	19,2
	2019	10,8	30,1	18,4
	2021	9,6	28,6	19,7
Magnesium (cmolc/1000g)	2017	0,8	3,1	1,4
	2019	0,7	3,0	1,4
	2021	0,7	2,8	1,4
Kalium (cmolc/1000g)	2017	0,24	1,35	0,53
	2019	0,16	1,28	0,51
	2021	0,2	1,51	0,51
KAK (cmolc/1000g)	2017	12,8	33,6	21,7
	2019	11,9	32,3	21,0
	2021	10,5	31,2	21,6

In Tabelle 9 sind Informationen über die Differenzen der im Jahr 2021 und 2017 gemessenen Werte zusammengefasst. In den Spalten „> 0“ sind die positiven Differenzen (Werte 2021 höher als 2017) mit Anzahl (n) und % angeführt, in den Spalten „< 0“ die entsprechenden negativen Differenzen. Zusätzlich sind der Mittelwert, die Standardabweichung und der Median angeführt. Es ist anzumerken, dass Mittelwert und Standardabweichung lediglich zur Information über die Streubreite der Daten angeführt sind, da es sich nicht um eine homogen verteilte Grundgesamtheit handelt.

Tabelle 9: Kenngrößen der Differenzen der Messwerte aus den Jahren 2021 und 2017 für die austauschbaren Kationen und die Kationenaustauschkapazität

	Tiefe cm	> 0		< 0		0		MW	Stabw	Median
		n	%	n	%	n	%			
Calcium (cmolc/1000g)	0-10	26	46%	30	54%	0	0%	0,02	5,63	-0,19
	10-30	28	50%	28	50%	0	0%	0,12	5,80	-0,27
Magnesium (cmolc/1000g)	0-10	24	44%	31	56%	0	0%	0,02	0,62	-0,10
	10-30	25	45%	30	54%	1	2%	-0,02	0,64	-0,05
Kalium (cmolc/1000g)	0-10	32	58%	22	40%	1	2%	0,11	0,42	0,08
	10-30	26	46%	29	52%	1	2%	0,02	0,34	-0,04
KAK (cmolc/1000g)	0-10	27	49%	28	51%	0	0%	0,16	6,01	-0,06
	10-30	28	50%	28	50%	0	0%	0,11	6,07	-0,3

In den Abbildungen 23 bis 30 sind die Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Tiefenstufen 0 – 10 cm und 10 – 30 cm für die jeweiligen Standorte dargestellt.

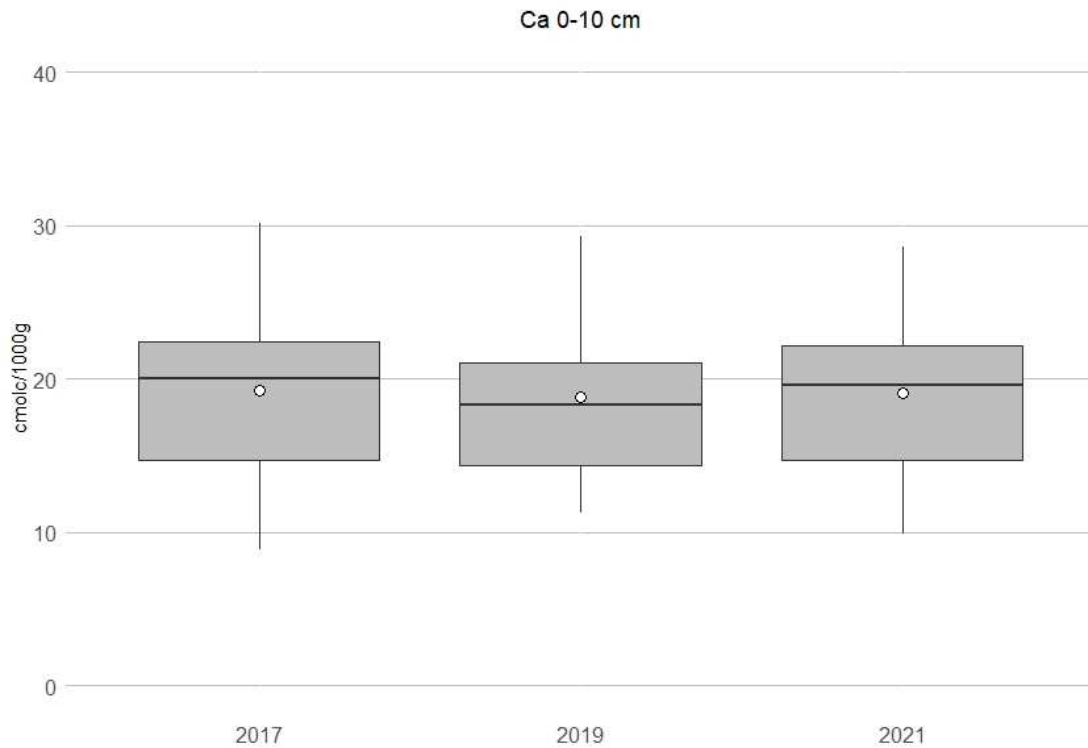


Abbildung 23: austauschbares Calcium in den Jahren 2017, 2019 und 2021 Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

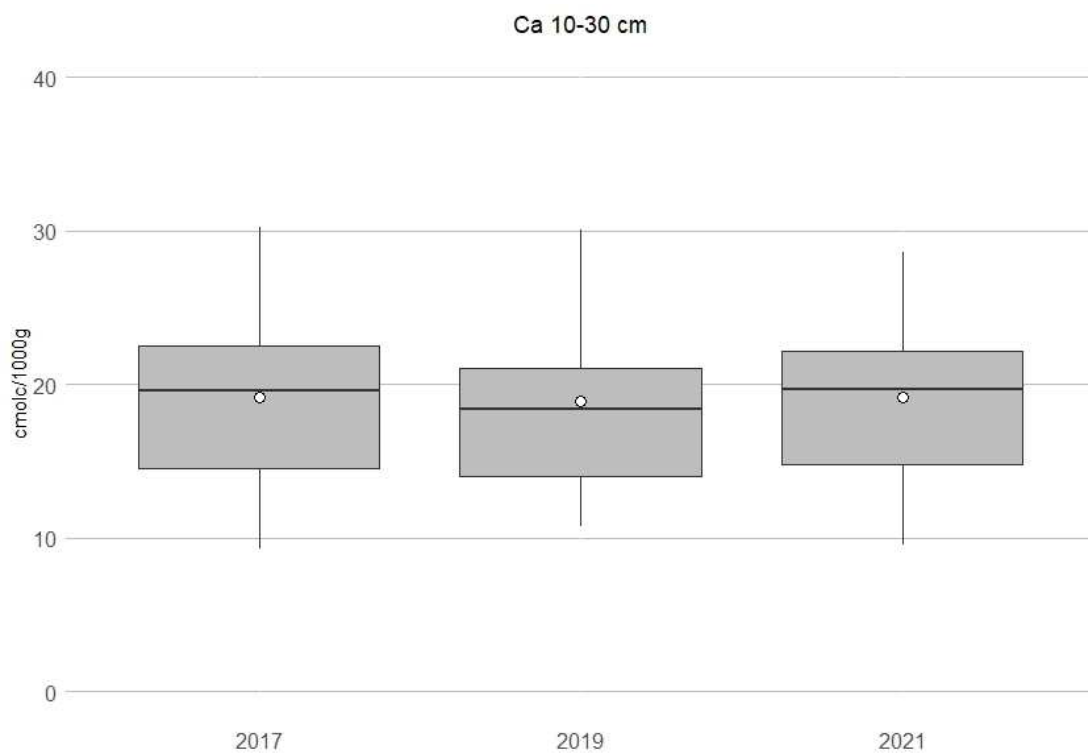


Abbildung 24: austauschbares Calcium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

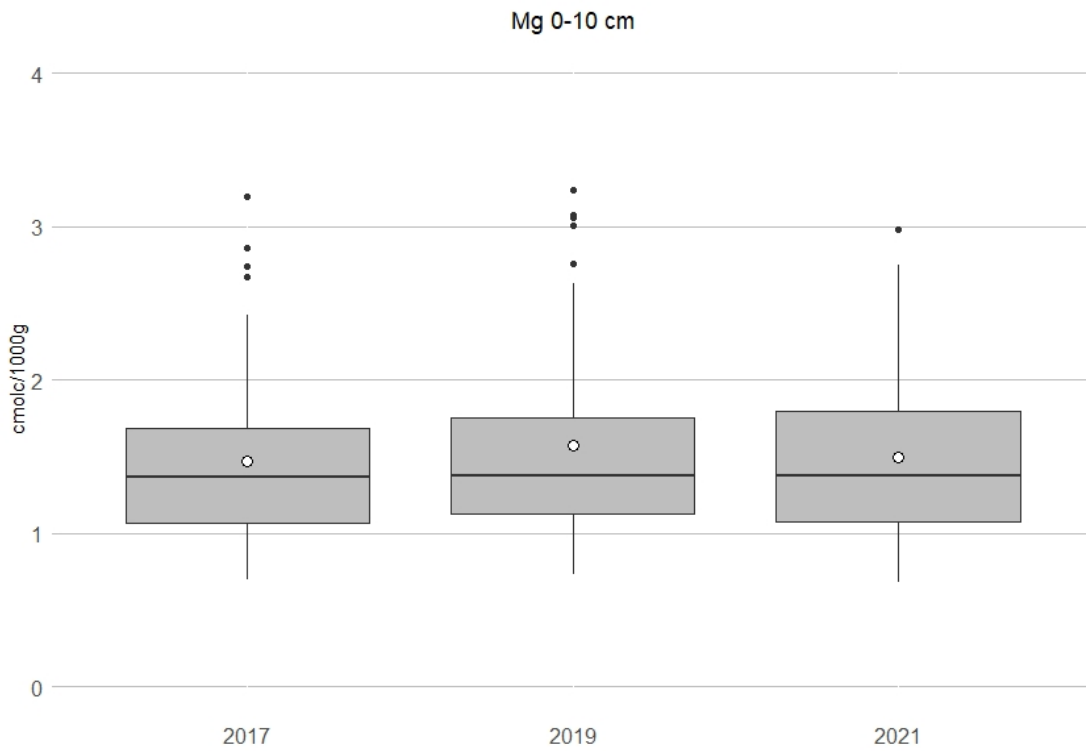


Abbildung 25: austauschbares Magnesium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

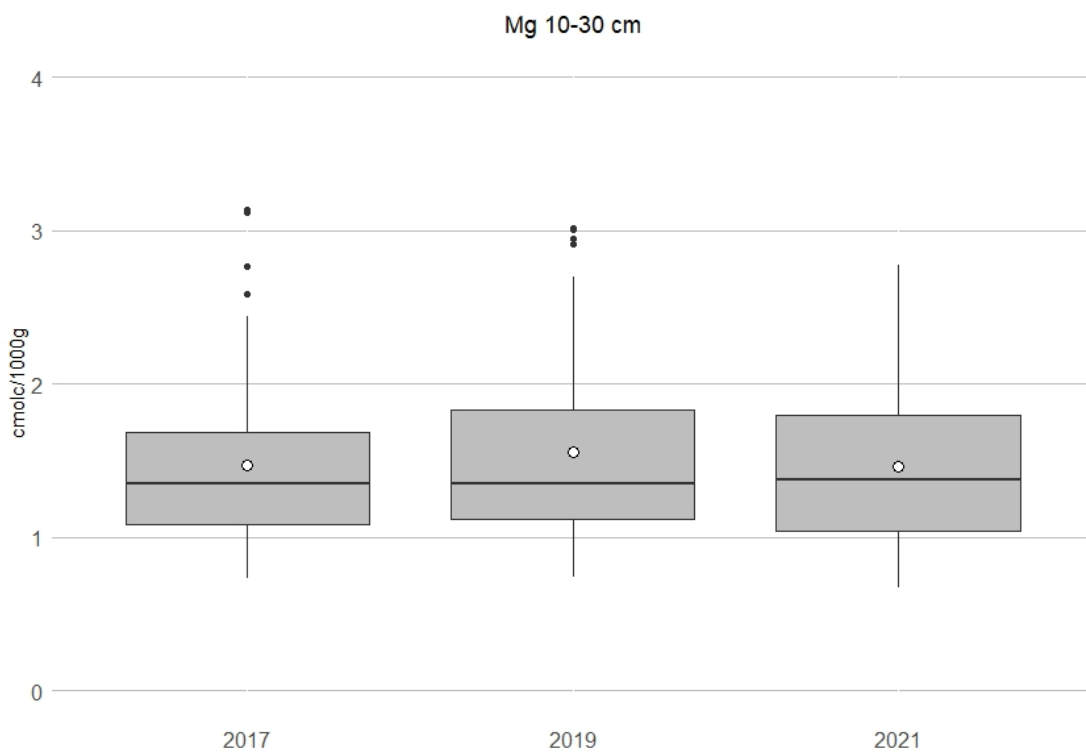


Abbildung 26: austauschbares Magnesium in den Jahren 2017, 2019 und 2021 Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

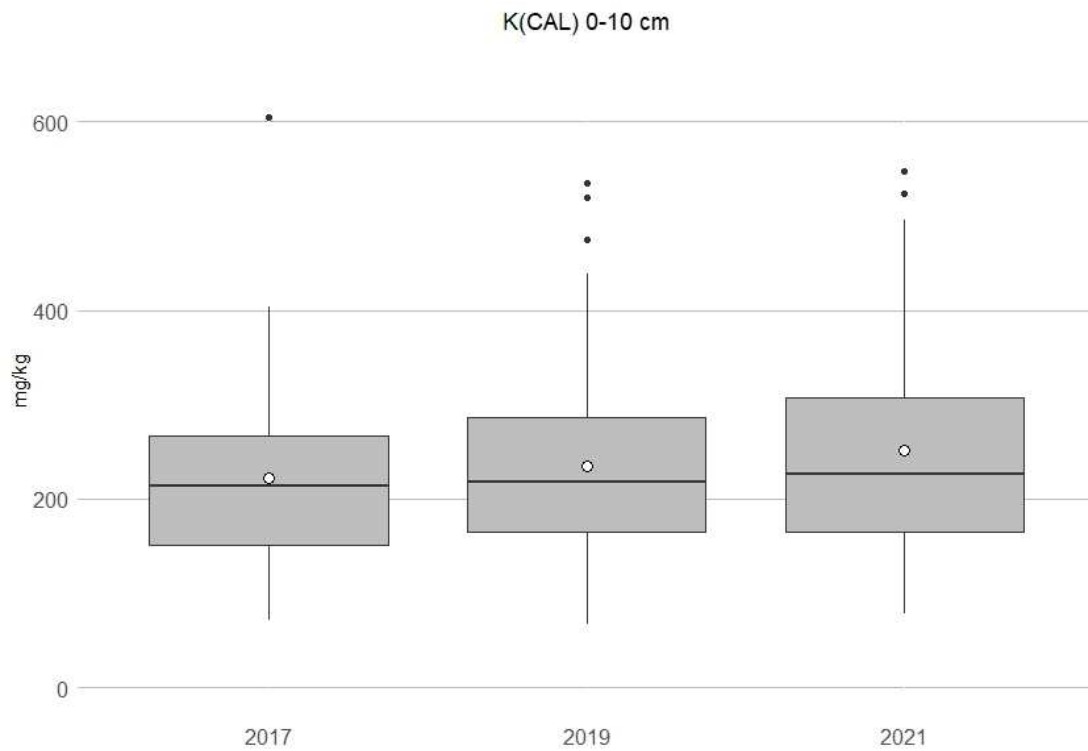


Abbildung 27: austauschbares Kalium in den Jahren 2017, 2019 und 2021 Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

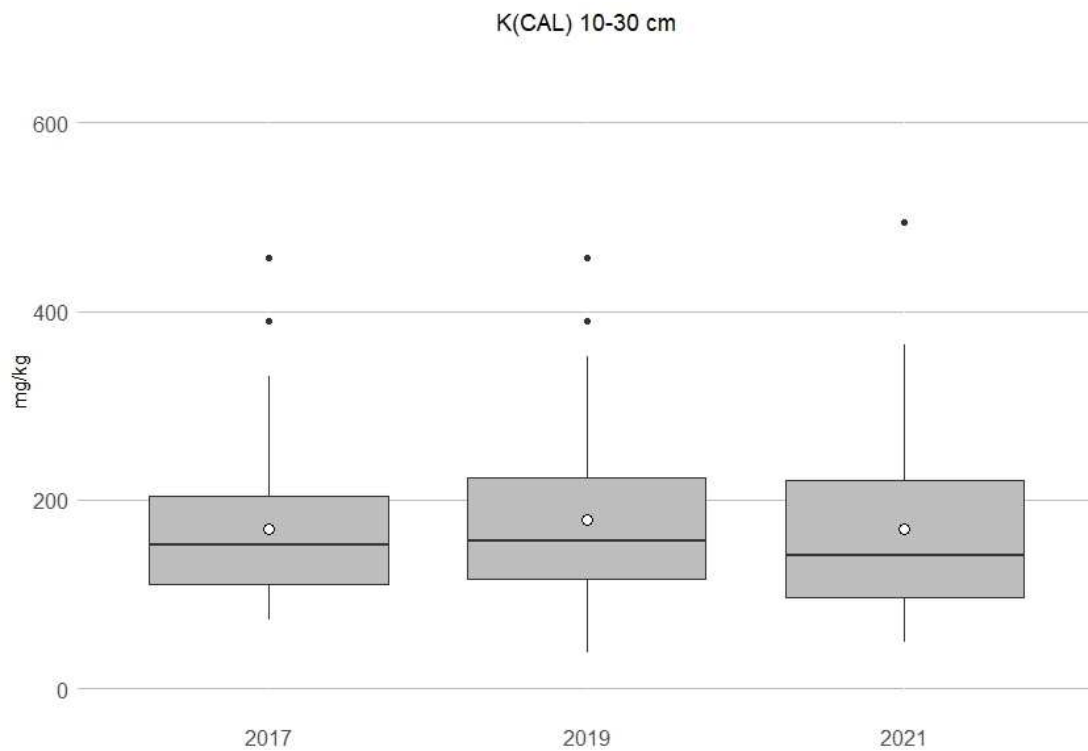


Abbildung 28: austauschbares Kalium in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

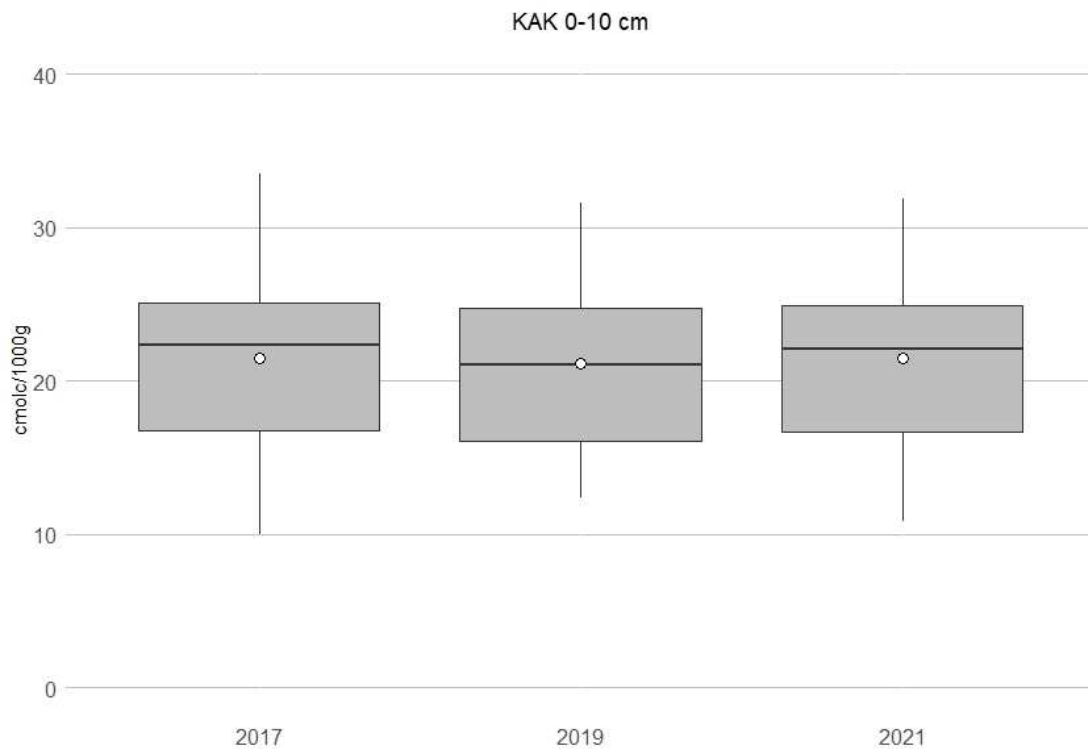


Abbildung 29: Kationenaustauschkapazität in den Jahren 2017, 2019 und 2021, Tiefenstufe 0 – 10 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

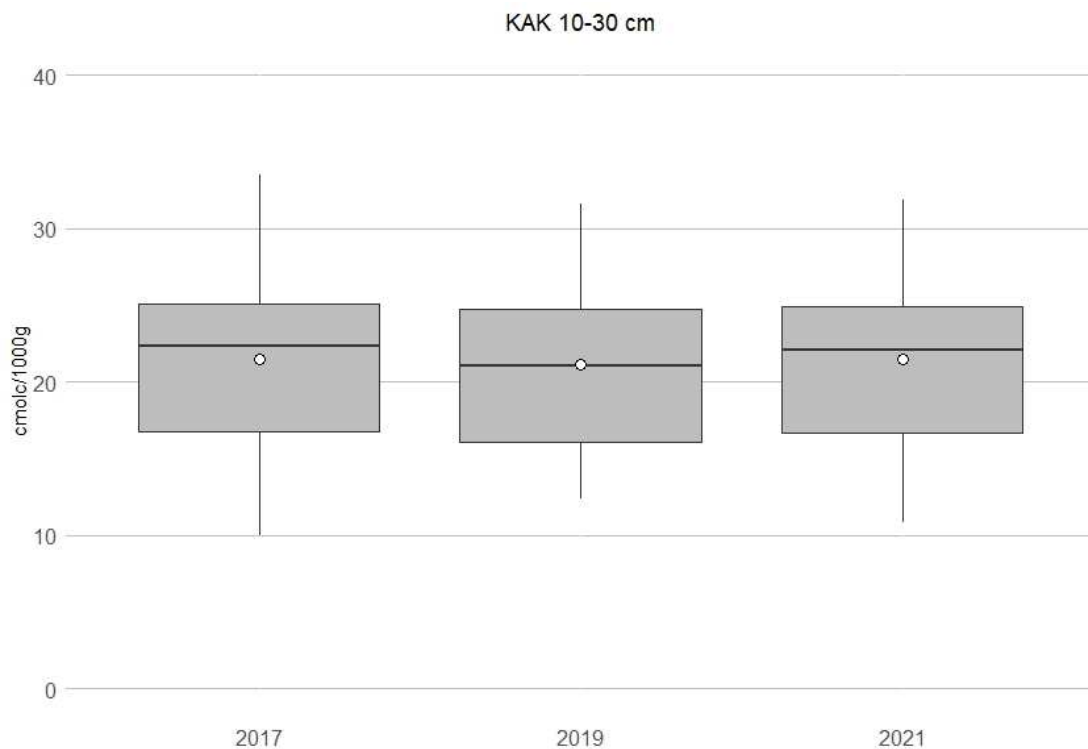


Abbildung 30: Kationenaustauschkapazität in den Jahren 2017, 2019 und 2021 Tiefenstufe 10 – 30 cm. Weiße Punkte markieren den Mittelwert der Standorte.

Bei den austauschbaren Kationen und der Austauschkapazität konnten noch keinerlei Trends einer Veränderung festgestellt werden. Ähnlich wie bei pflanzenverfügbarem Kalium, sind die Werte für austauschbares Kalium an einigen Standorten im Jahr 2021 höher.

3 Messstelle zur Überwachung des Stoffaustrages

3.1 Auswahl des Standortes

Die im Jahr 2017 errichtete Messstelle musste – wie bereits im Zwischenbericht 2019 dargestellt, verlegt werden, da der ursprünglich ausgewählte Standort im Bereich der Trasse der geplanten Autobahn in diesem Bereich liegt. Details zur örtlichen Standortverlegung wurden bereits im Zwischenbericht 2019 gegeben. Hier soll nochmals auf die Ausstattung der Messstellen und die die Untersuchungsparameter verwiesen werden.

3.2 Bewirtschaftung ab Herbst 2018

Die neue Versuchsfläche ist in nordsüdlicher Richtung geteilt (Abbildung 31). Der östliche Teil wird zur Grundbodenbearbeitung (Herbst oder im Frühjahr nach dem Anbau einer Winterbegrünung) wendend mit Pflug bearbeitet (Messstelle W2-P und W4-P) der westliche Teil nicht wendend mit Grubber (W1-G und W3-G), sonst ist die Bewirtschaftung identisch. Für jede Variante sind je zwei Messstelle im Abstand von etwa 12 m eingerichtet.

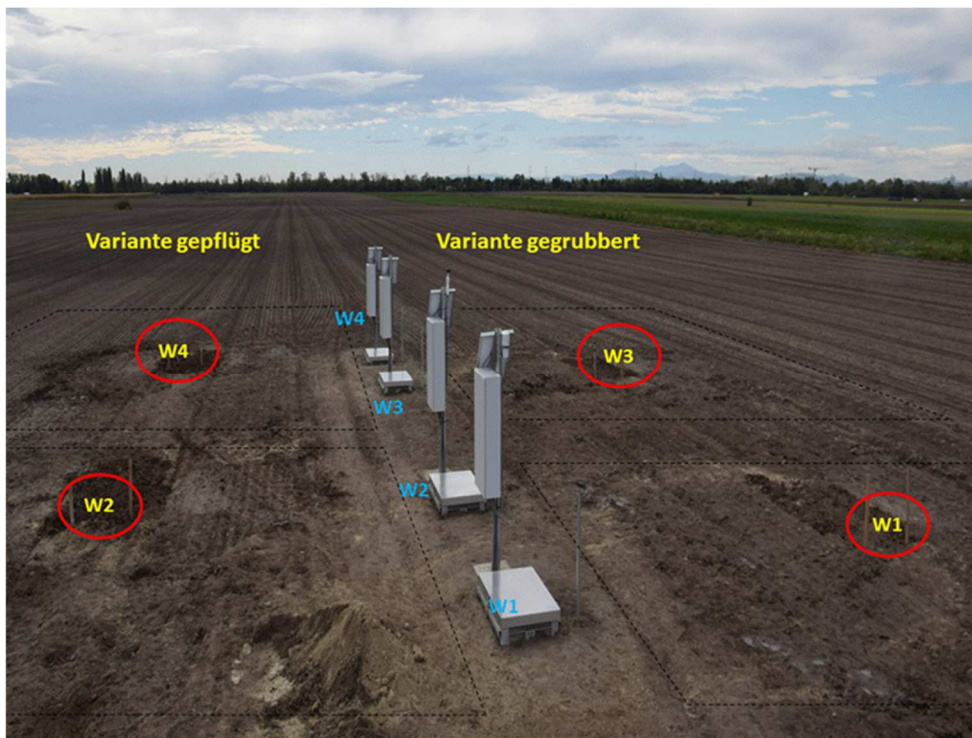


Abbildung 31: Anlage und Bearbeitung der Messstelle

3.3 Bodenprofile im Bereich der Messstelle

Der Bodentyp im Bereich der neuen Messstelle ist nach ÖBK ein Tschernosem aus Löß, so wie auch bei der alten Messstelle. Abbildung 32 zeigt den allgemeinen Bodenaufbau anhand der Bodenprofile. Wie aus den Profilen ersichtlich, gelang es, die Messanlage in einem relativ homogenen Bereich des Feldes zu errichten. Dazu waren eine Reihe von Vorkartierungsarbeiten notwendig, um diese Bereiche zu identifizieren.

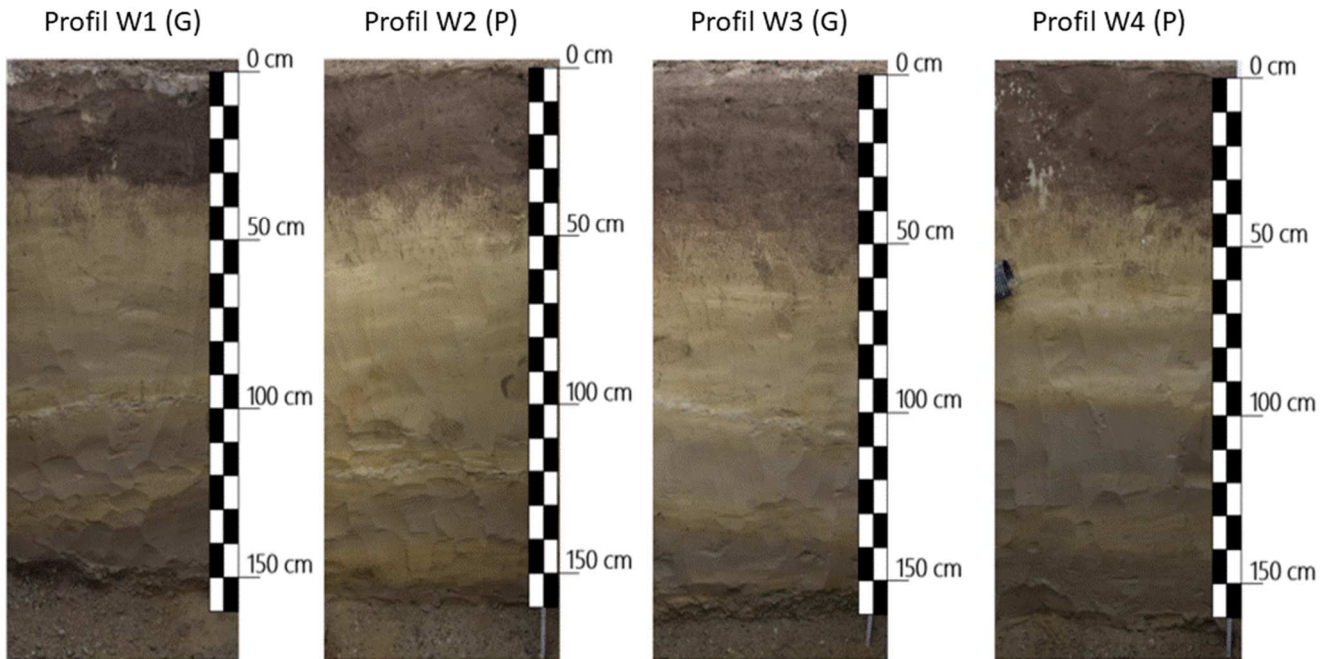


Abbildung 32: Bodenprofile der Messstelle

3.4 Messstellenausstattung

In Abbildung 33 ist schematisch die Messstellenausstattung dargestellt

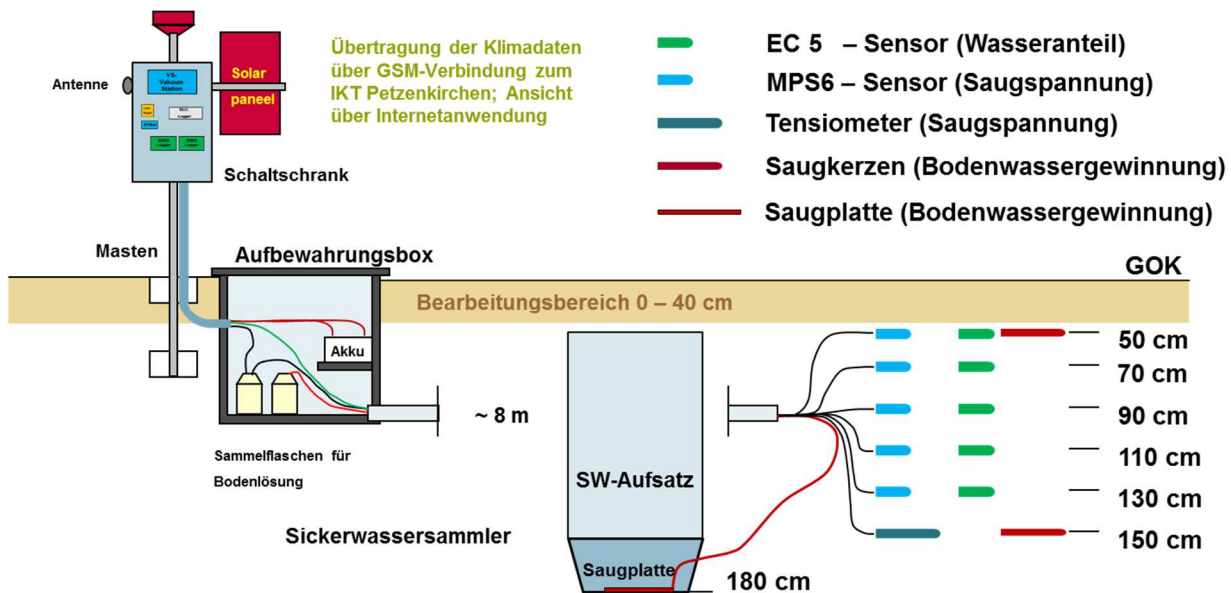


Abbildung 33: Ausstattung der Messstellen

Folgende Parameter werden für jede Messstelle erfasst:

Klima:

- Niederschlag
- Rel. Luftfeuchte
- Lufttemperatur
- Strahlung
- Windgeschwindigkeit

Bodenwasserhaushalt:

- Wassergehalt in 50, 70, 90, 110 und 130 cm u. GOK
- Matrixpotential in 50, 70, 90, 110, 130 und 150 cm u. GOK
- Sickerwasser in 180 cm u. GOK

Sickerwassergewinnung:

- Saugkerzen in 50 u. GOK
- Saugkerzen in 150 u. GOK
- Sickerwasser in 180 cm u. GOK

Von der Bodenlösung und dem Sickerwasser die Analyse von: Nitrat, Chlorid, Bromid und Leitfähigkeit

Sonstige Parameter:

- Ertrag
- N_{\min} -Gehalte
- Bodenbedeckungsgrad und Pflanzenhöhe
- Aggregatstabilität

Zusätzlich erfolgt eine Protokollierung der wöchentlichen Messstellenbetreuung durch den Betreuer

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Korngrößen

Abbildung 34 zeigt den Vergleich der Korngrößenerteilung der vier Messstellen. Bis 60 cm unter Gelände zeigten sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den Messstellen. Zwischen 60 und 120 cm Tiefe zeigen die Messstellen W3 und W4 einen deutlich höheren Ton- und Schluffgehalt.

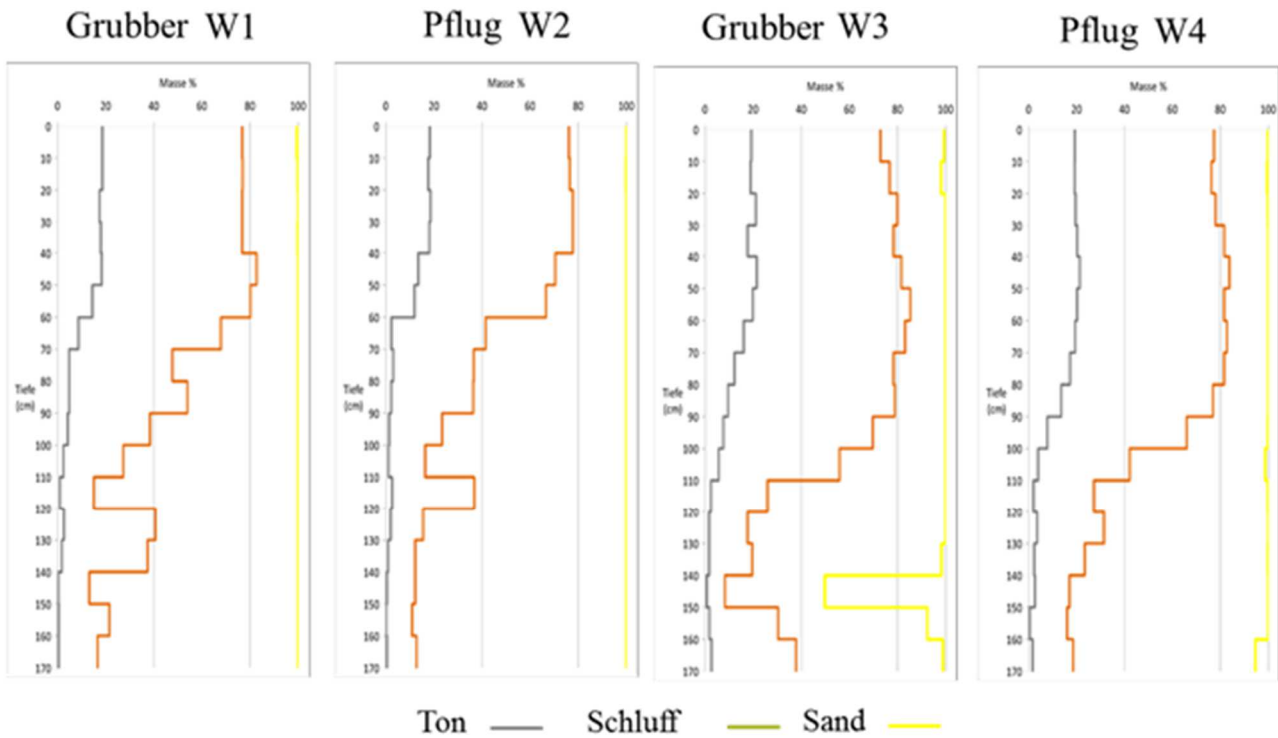


Abbildung 34: Vergleich der Korngrößenverteilung der 4 Messstellen

3.5.2 Saugspannung und Sickerwasser

In Abbildung 35 bis 39 sind die Verläufe der Saugspannungen in unterschiedlichen Tiefen seit Beginn der Messungen, aktualisiert um das Jahr 2021 dargestellt. Parallel dazu ist auch die Pflanzenhöhe dargestellt

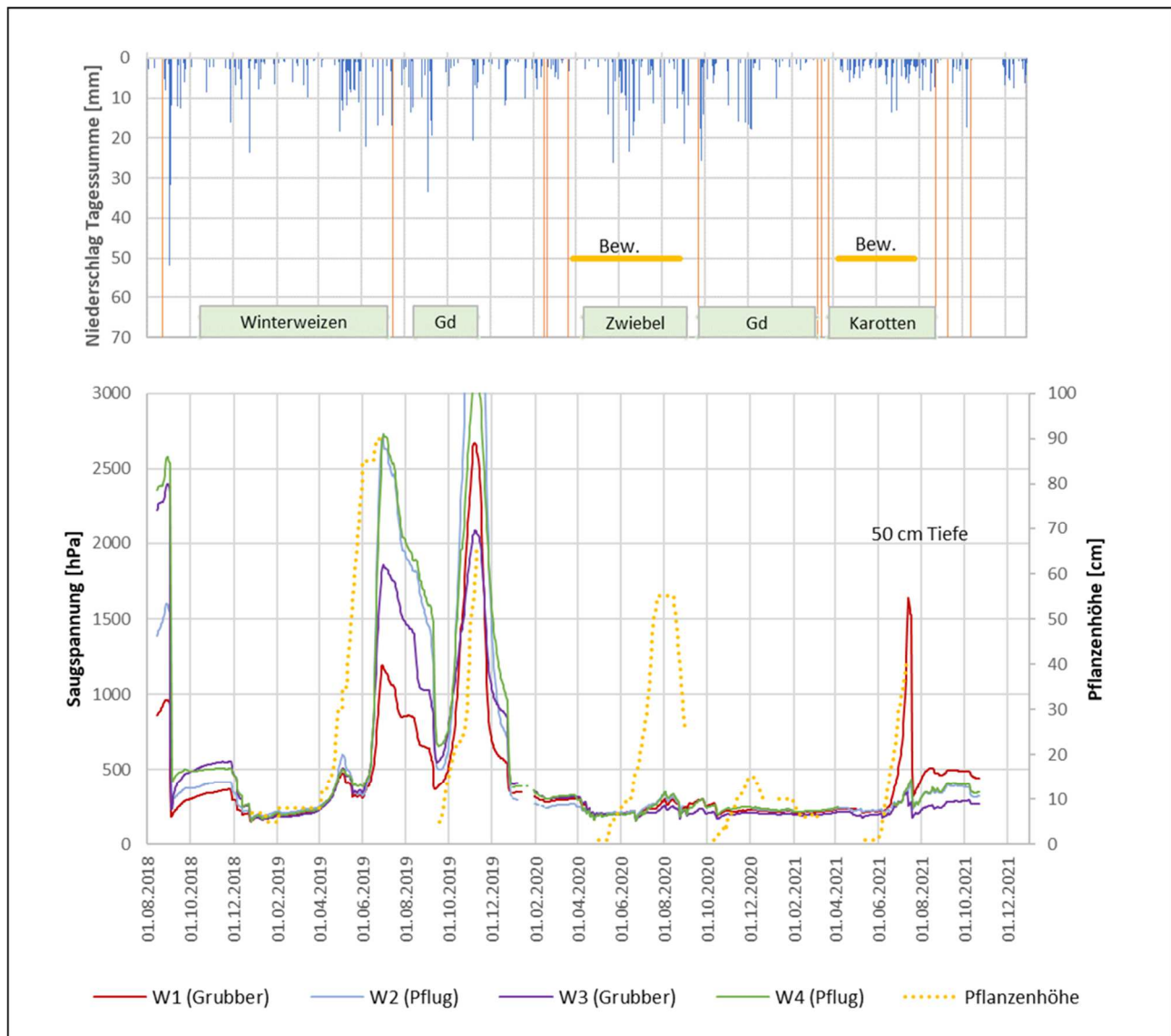


Abbildung 35: Saugspannung und Pflanzenhöhe der Messstellen im Jahresverlauf - 50 cm Tiefe

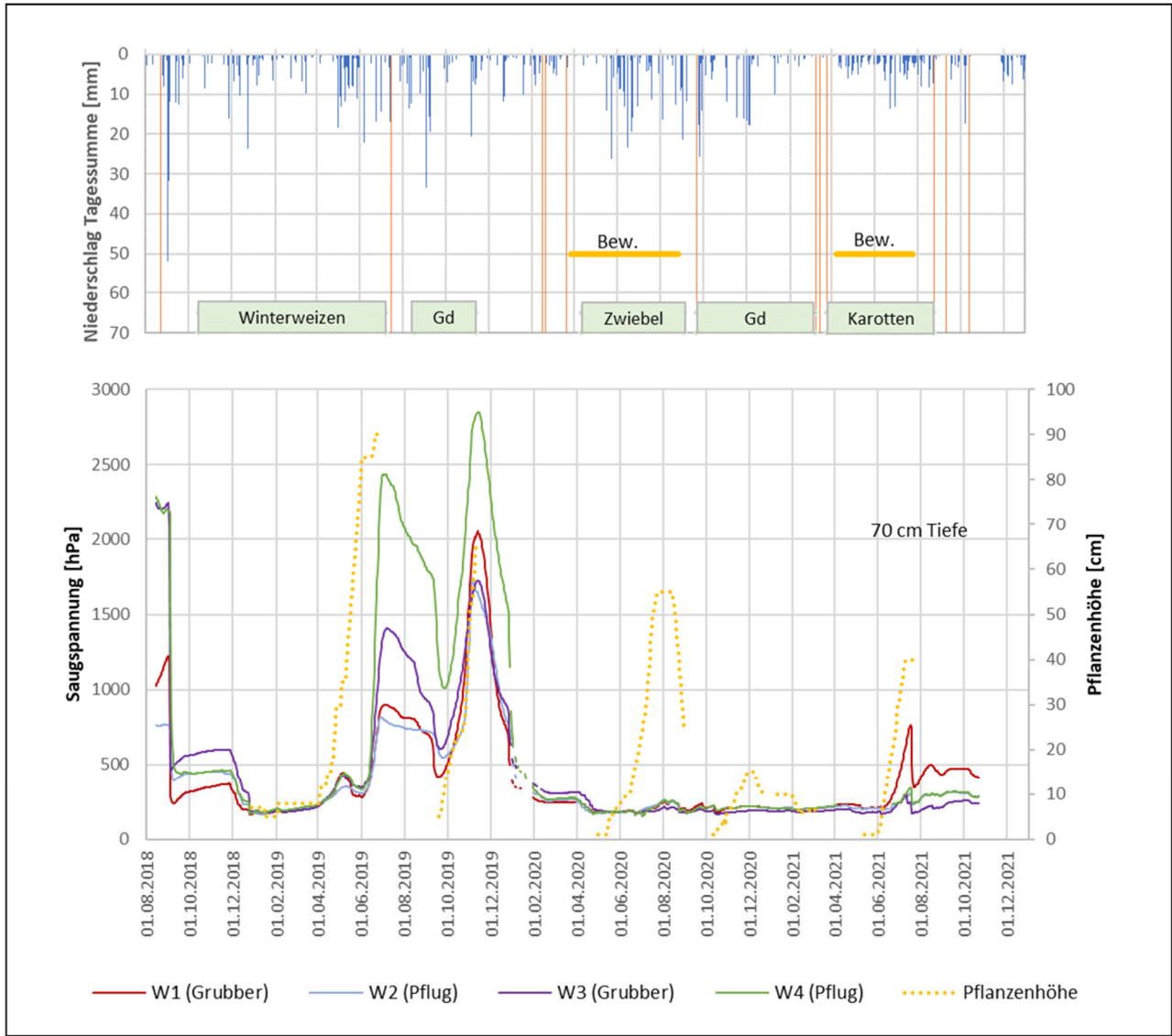


Abbildung 36: Saugspannung und Pflanzenhöhe der Messstellen im Jahresverlauf – 70 cm Tiefe

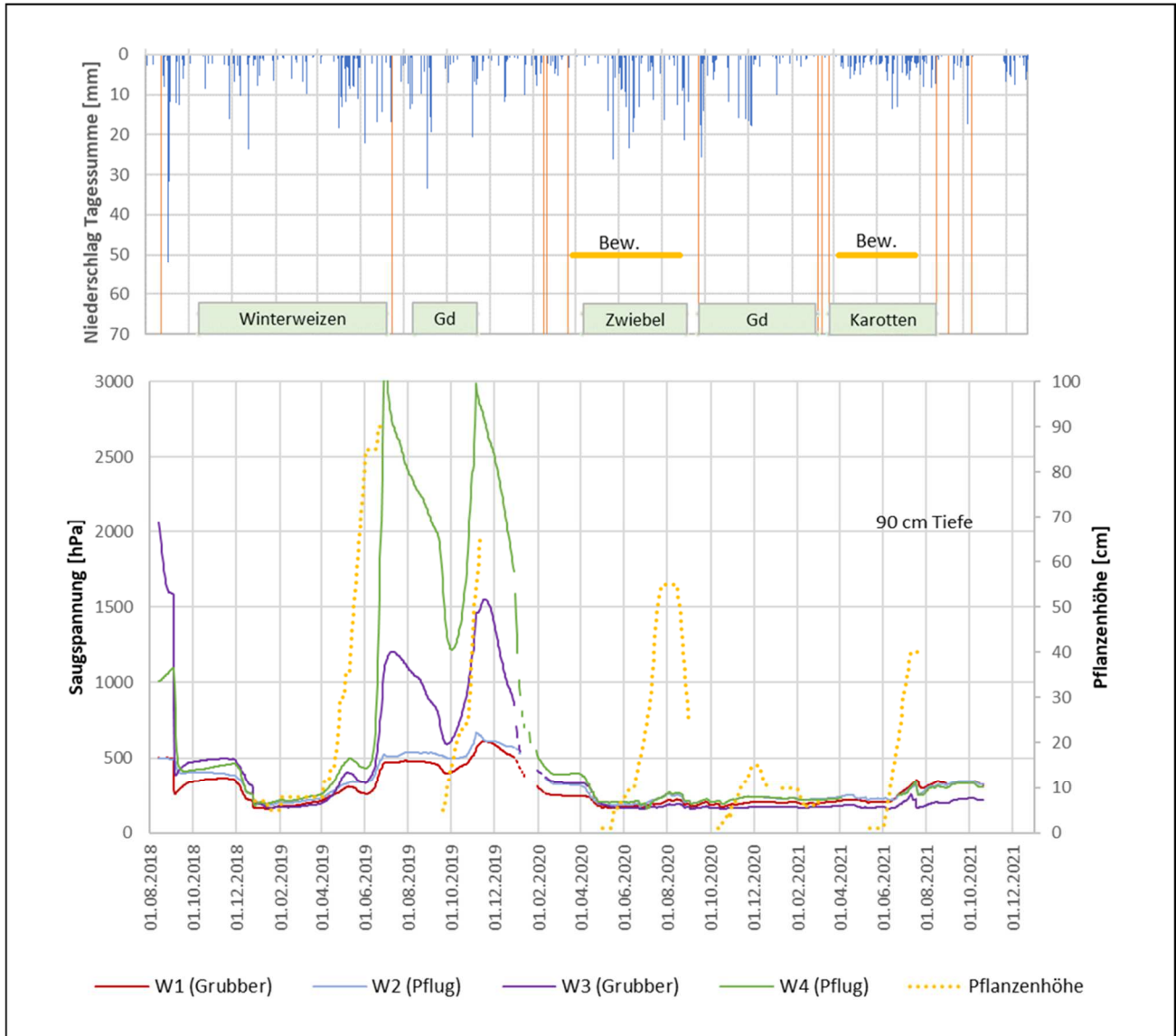


Abbildung 37: Saugspannung und Pflanzenhöhe der Messstellen im Jahresverlauf – 90 cm Tiefe

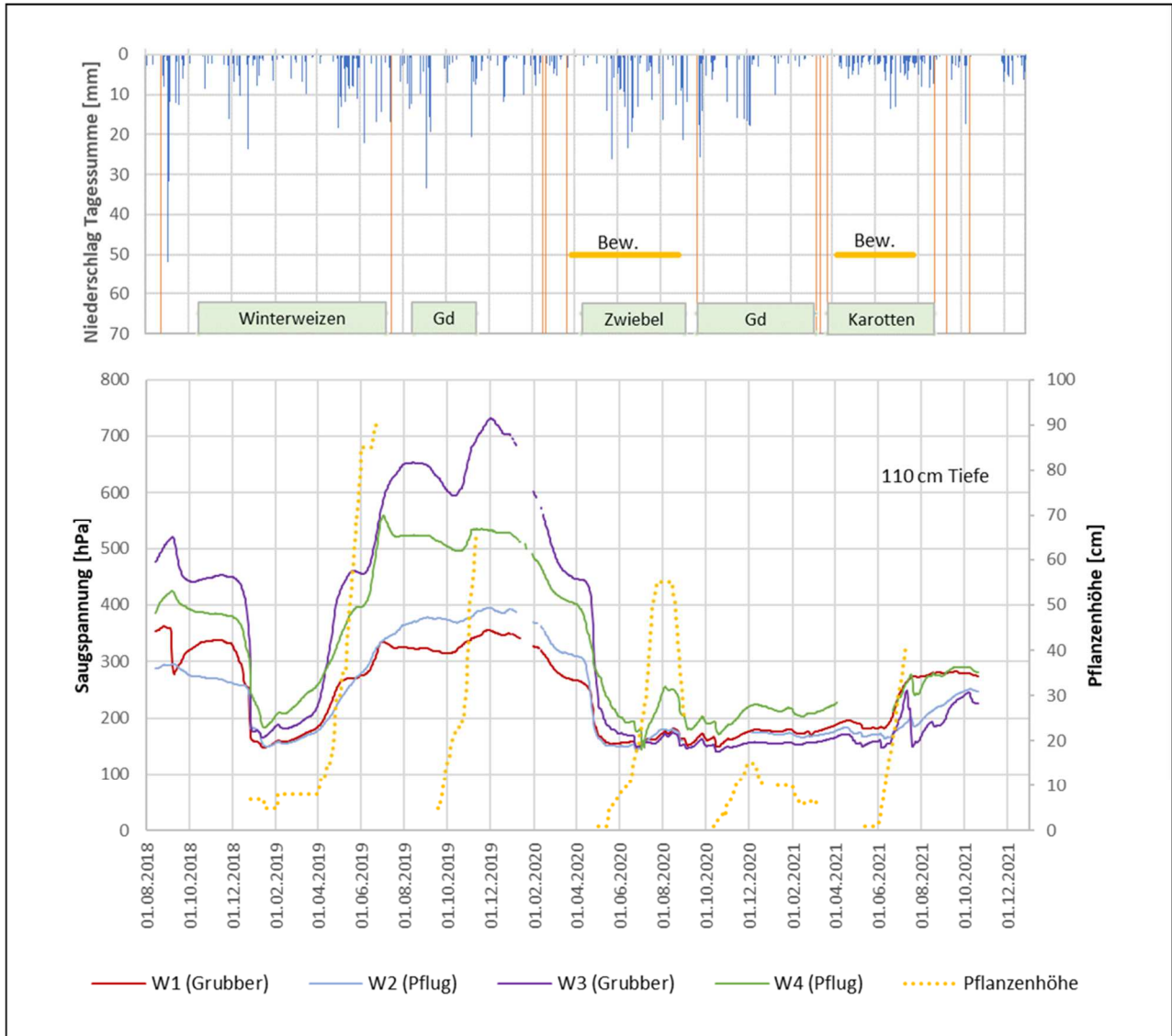


Abbildung 38: Saugspannung und Pflanzenhöhe der Messstellen im Jahresverlauf – 110 cm Tiefe

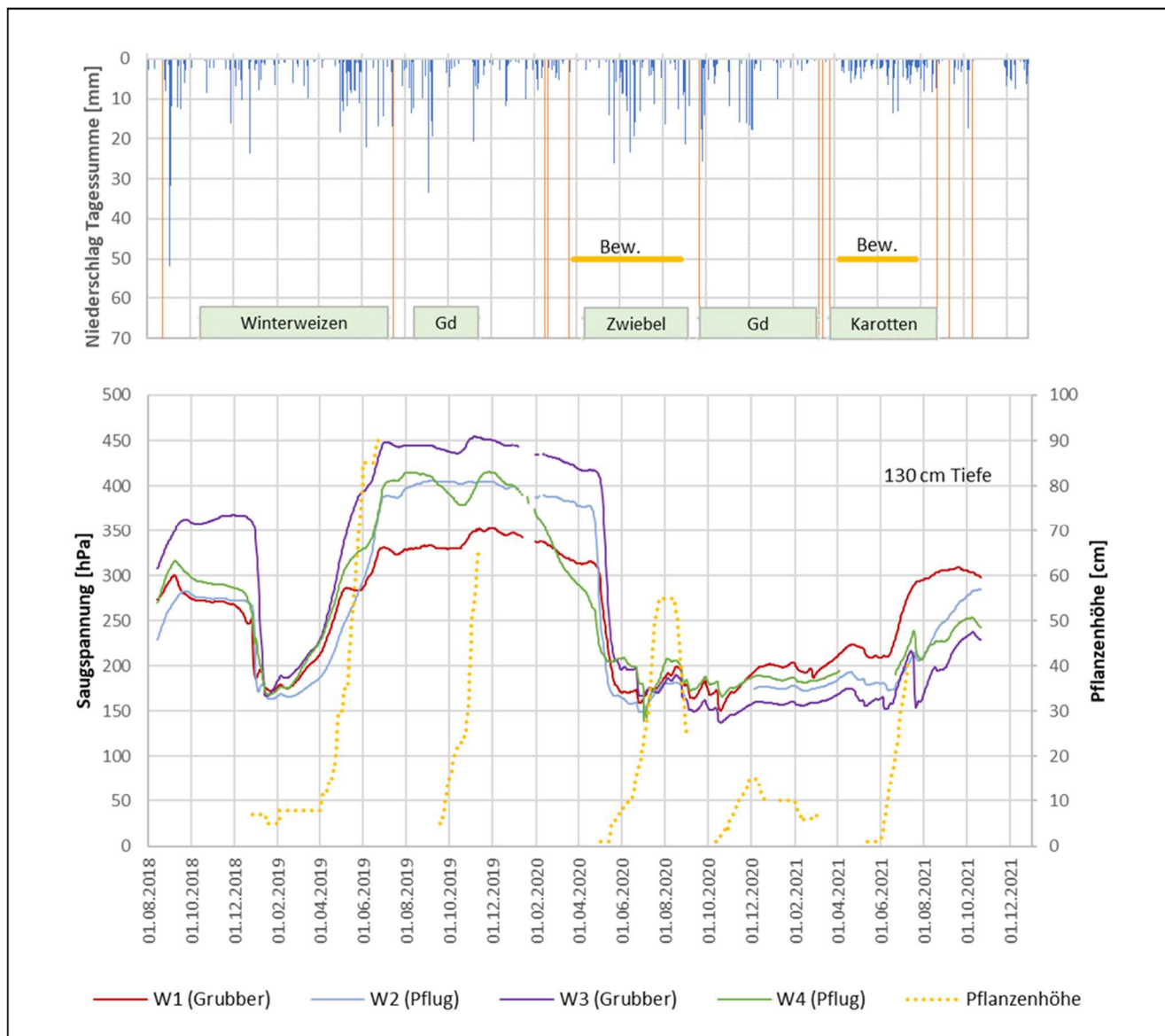


Abbildung 39: Saugspannung und Pflanzenhöhe der Messstellen im Jahresverlauf – 130 cm Tiefe

In den gepflügten Varianten kam es in den Bodentiefen 50, 70 und 90cm zu stärkeren Anstiegen der Saugspannung als in den vergleichbaren Grubbervarianten. Aufgrund der geringen Niederschläge in den Jahren 2018 und 2019 erfolgte insgesamt aber nur eine geringe Sickerwasserbildung (Tabelle 10). Die höheren Sickerwassermengen bei W1 resultieren aus der geringeren Speicherfähigkeit dieses Messpunktes im Bereich ab 60 cm unter GOK. Hier wurden offensichtlich die Bewässerungsmengen nicht an die verringerte Speicherfähigkeit des Bodens angepasst. Bei allen anderen Varianten ließ die Bewässerung der Zwiebel durch die gesteuerte Tropfbewässerung die Saugspannungen nicht ansteigen, die gewählten Bewässerungsmengen waren offensichtlich dem Standort angepasst. Der erwartete erhöhte Sickerwasseranfall blieb aufgrund der offensichtlich gelungenen Beregnungssteuerung im Beobachtungszeitraum aus.

Tabelle 10: Sickerwasseranfall zwischen 1.1.2018 und 24.11.2021 in 180 u GOK

Sickerwasser (mm)	W1 (Grubber)	W3 (Grubber)	W2 (Pflug)	W4 (Pflug)
Okt-2018/Juni-2019	8,2	0	0	1,2
Juli-2019/Okt-2020	0,3	0,7	0	3,6
Okt-2020/Nov-2021	0,6	56,6	0	8,0

3.5.3 Parameter zum Stickstoffhaushalt

Die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser in 60 cm bzw. 150 cm unter GOK, das mittels Saugkerzen gewonnen wurde, waren sehr hoch (siehe Abbildung 40 und Abbildung 41). Einzelne Messwerte fallen dabei immer wieder auf, so bei der Variante W3 bei 60cm unter GOK (Abbildung 40) für den ersten Messwert im Sommer 2018, aber auch Variante W1 während der Vegetationsperiode des Jahres 2019 (Abbildung 41). In beiden Fällen schlugen diese Konzentrationen nicht auf das Grundwasser durch (siehe Abbildung 43), denn die höchsten Konzentrationen wurden im Winter 2019 auf Parzelle W1 gemessen.

Diese Ergebnisse werden von zwei Faktoren wesentlich gesteuert. Einerseits sind die allgemein sehr hohen Nitratkonzentrationen das Ergebnis von sehr niedrigen Wasserflüssen im System, die zu sehr hohen Konzentrationen an Inhaltsstoffen führen, was zu recht großen Unsicherheiten in der Bewertung der Konzentrationen führen kann. Im Unterschied zu den Konzentrationen im Bereich von 60 cm und 150 cm wurde das Sickerwasser im Bereich der Tiefe von 180 cm nicht über Saugkerzen gewonnen, sondern über den Freiauslauf. Damit bildet dieser Bereich die Konzentrationen realitätsnäher ab. Ein wesentlicher Unterschied der Varianten ist aus den Ergebnissen nicht ableitbar, da sich auch aus den N-min Konzentrationen (die ja aus dem Boden direkt gewonnen werden und nicht aus der Bodenlösung) kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten ergibt. Wie sich auch zeigt, wurde im letzten Untersuchungsjahr nicht auf allen Varianten ein Sickerwasseranfall gemessen, ein an sich recht häufig vorkommendes Phänomen im Trockengebiet Österreichs und ein Hinweis auf die Bedeutung langjähriger Untersuchungen bei Fragen des Bodenwasserhaushalts.

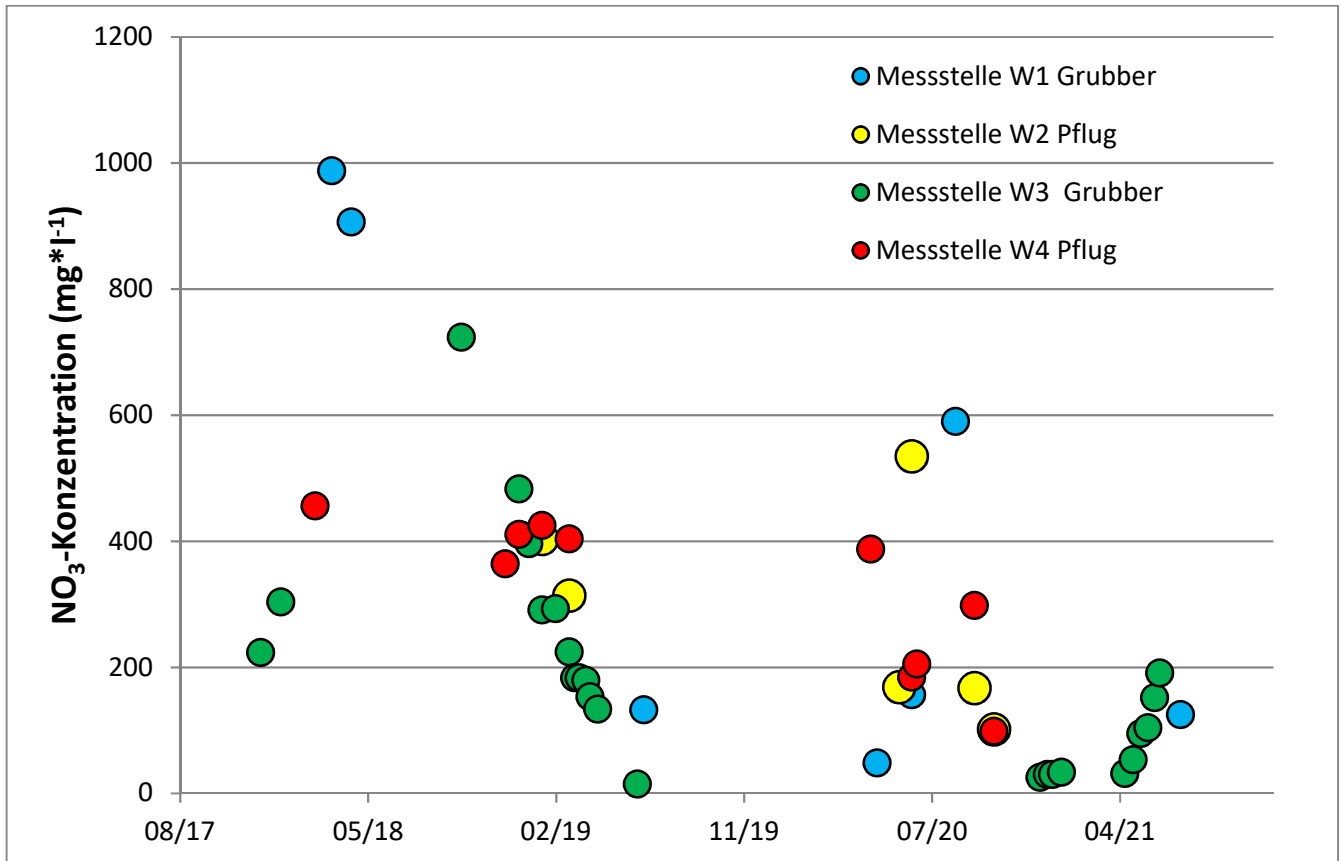


Abbildung 40: Nitratkonzentration im Bodenwasser in 60 cm unter GOK

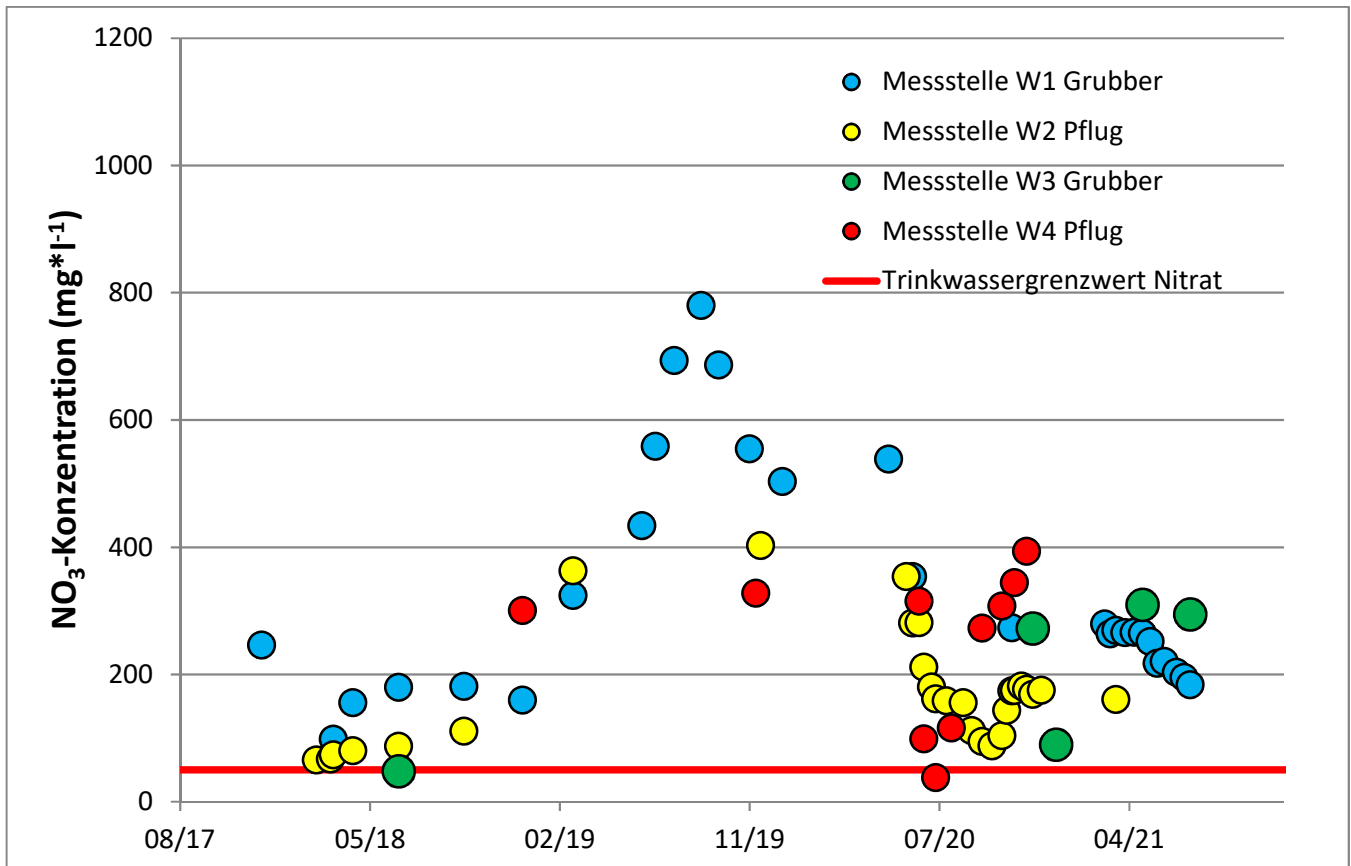


Abbildung 41: Nitratkonzentration im Bodenwasser in 150 cm unter GOK

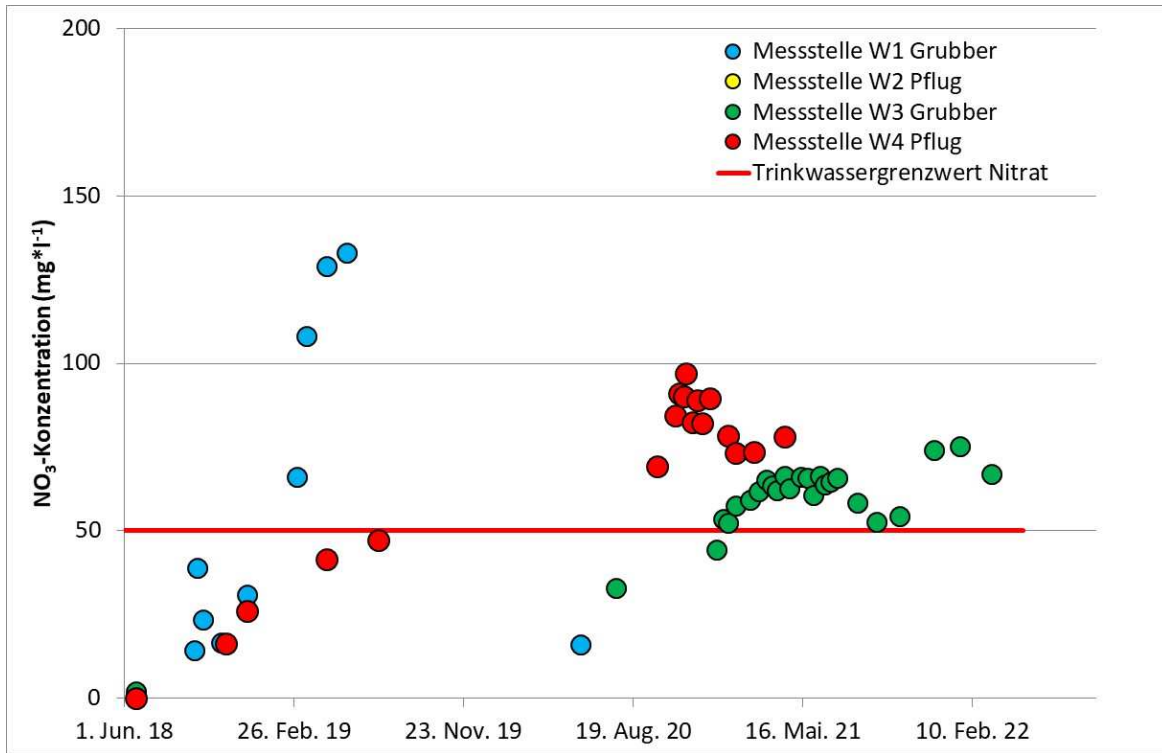


Abbildung 42: Nitratkonzentration im Bodenwasser in 180 cm unter GOK

Die N_{min} – Messungen während und nach den jeweiligen Feldfrüchten ergaben Spitzenwerte erwartungsgemäß im Herbst. (Abbildung 43 - Abbildung 45). Nach der Ernte des Winterweizens (2018/2019) lag der Gehalt bei maximal 40 kg N/ha. Im Wesentlichen weisen sowohl die Grubber- als auch die Pflugvariante ähnliche jahreszeitliche Verläufe auf; das in den Wintermonaten gemessene Maximum an verfügbarem Stickstoff trat in ähnlicher Weise auf allen Varianten auf. Im Vergleich zwischen den Varianten Grubber und Pflug war kein einheitliches Ergebnis sichtbar.

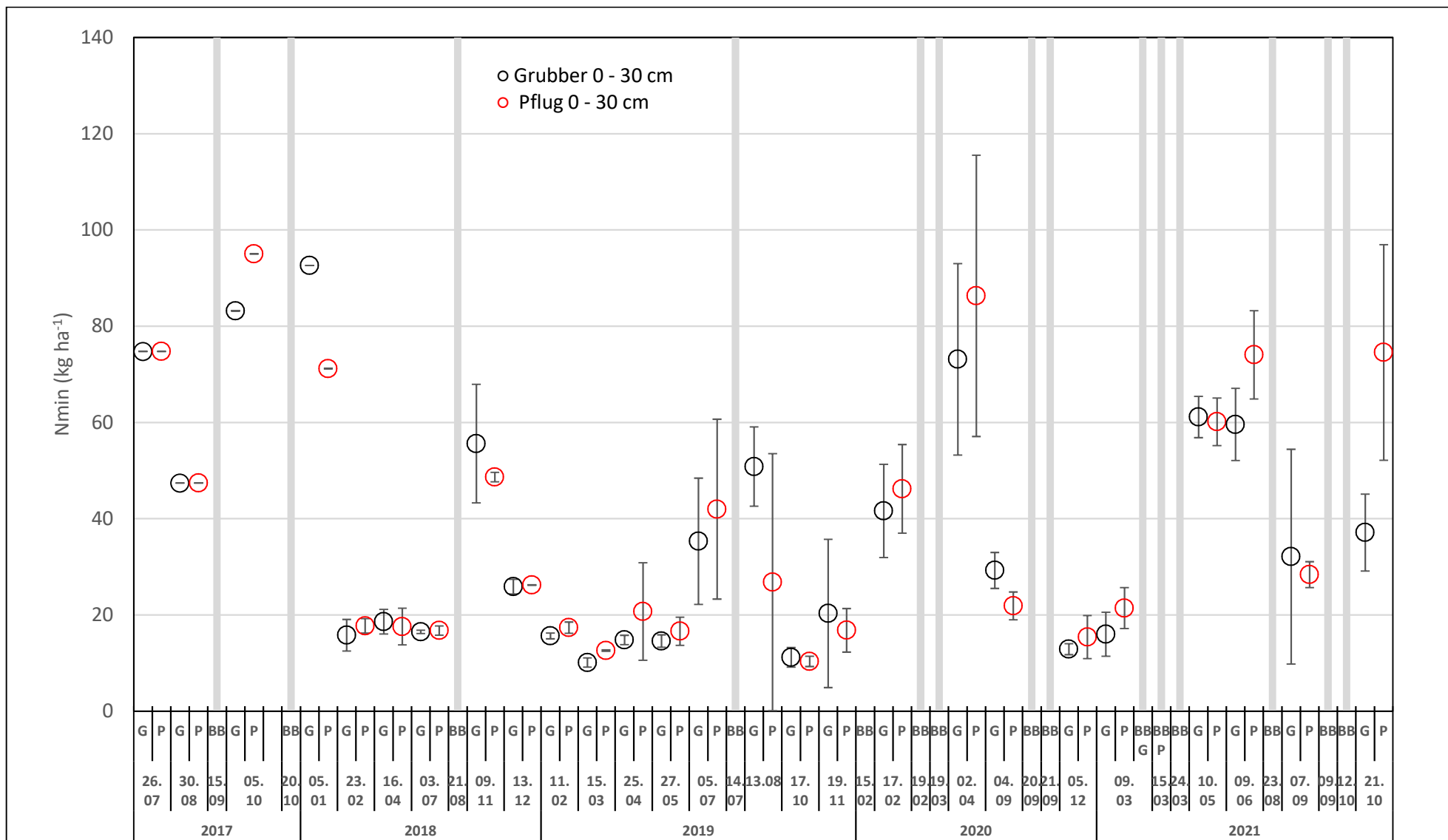


Abbildung 43: N_{min}-Gehalte in 0-30 cm Bodentiefe für Grubber und Pflug (BB = Bodenbearbeitung; BBG = BB Grubber; BBP = BB Pflug)

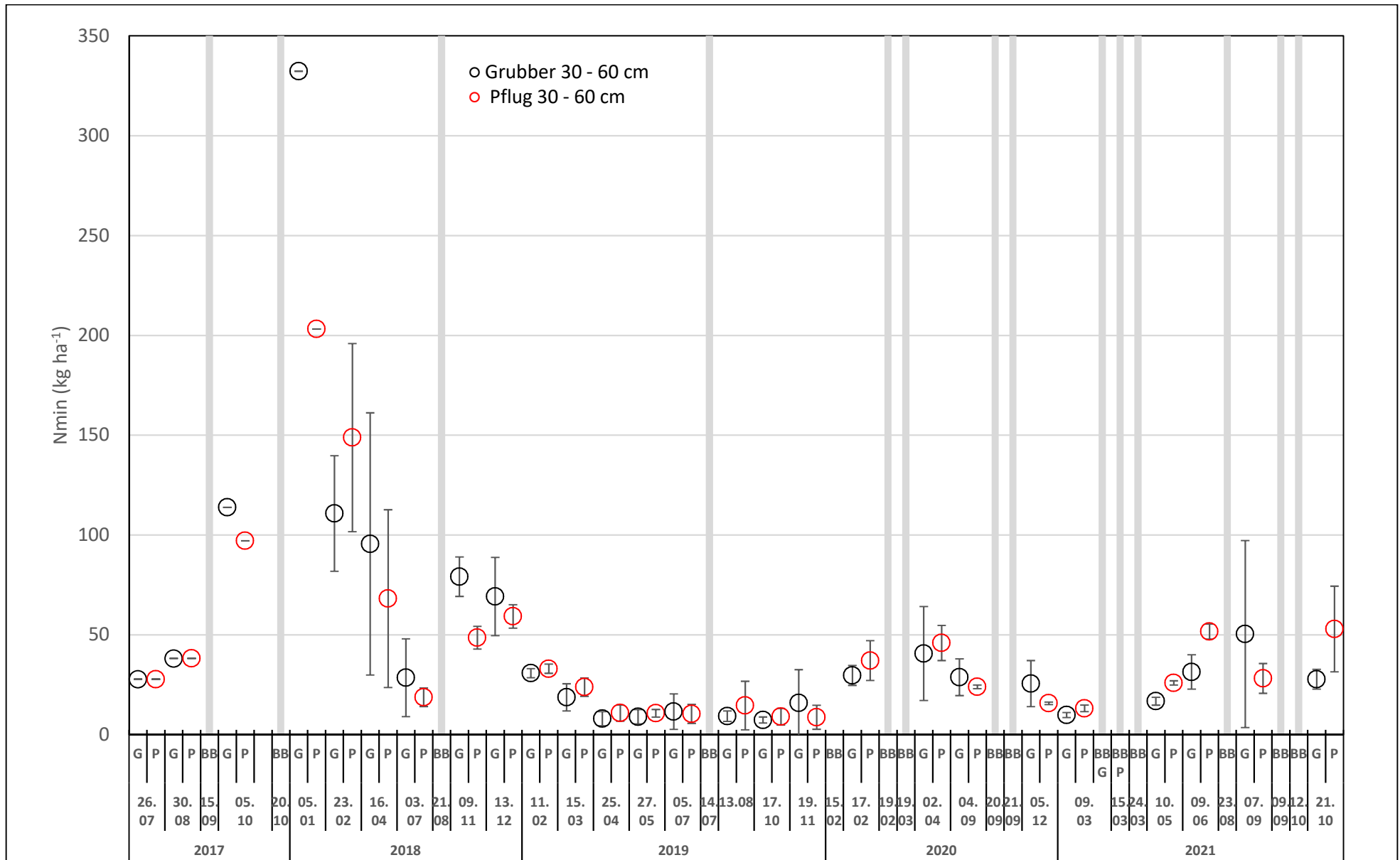


Abbildung 44: N_{min}-Gehalte in 30-60 cm Bodentiefe für Grubber und Pflug (BB = Bodenbearbeitung; BBG = BB Grubber; BBP = BB Pflug)

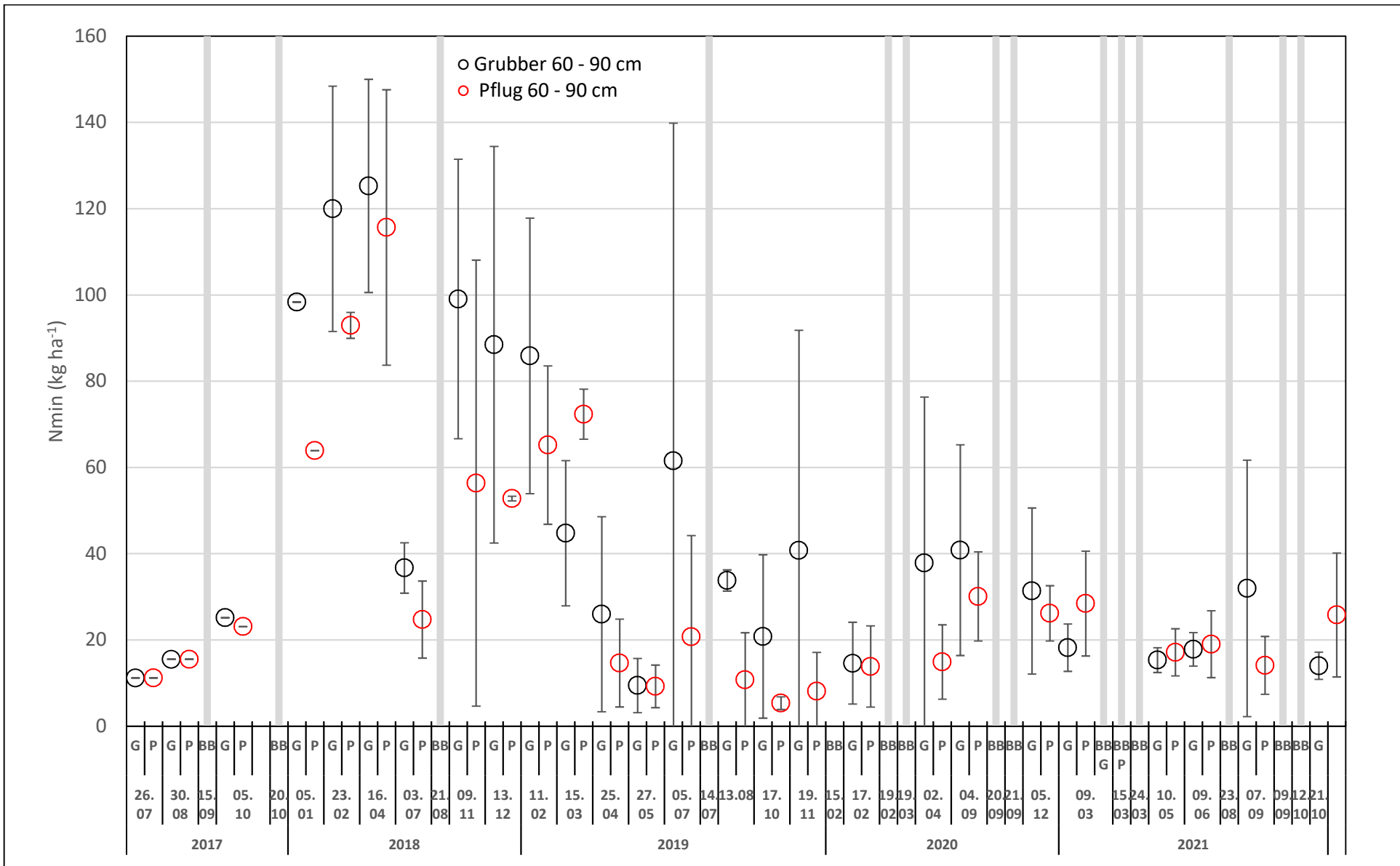


Abbildung 45: N_{min}-Gehalte in 60-90 cm Bodentiefe für Grubber und Pflug (BB = Bodenbearbeitung; BBG = BB Grubber; BBP = BB Pflug)

3.5.4 Aggregatstabilität und Perkulationsstabilität

Die erstmalige Bearbeitung der Pflugvariante mit dem Pflug erfolgte am 21. September 2018 bis in 25 cm Tiefe und eine zweite Pflugbearbeitung am 20. Februar 2020, davor wurden beide Varianten nur mit dem Grubber bearbeitet. Wie aus Abbildung 46 und Abbildung 47 ersichtlich ist, sind bei der Aggregatstabilität derzeit praktisch keine Unterschiede zwischen den Varianten erkennbar. Interessant ist jedoch die geringe Variabilität der Messwerte im Jahresgang. Insgesamt liegen die Messwerte der Aggregatstabilität auf einem sehr geringen Niveau, dies ist im Wesentlichen der Bodentextur geschuldet, mit hohen Gehalten ans Schluff.

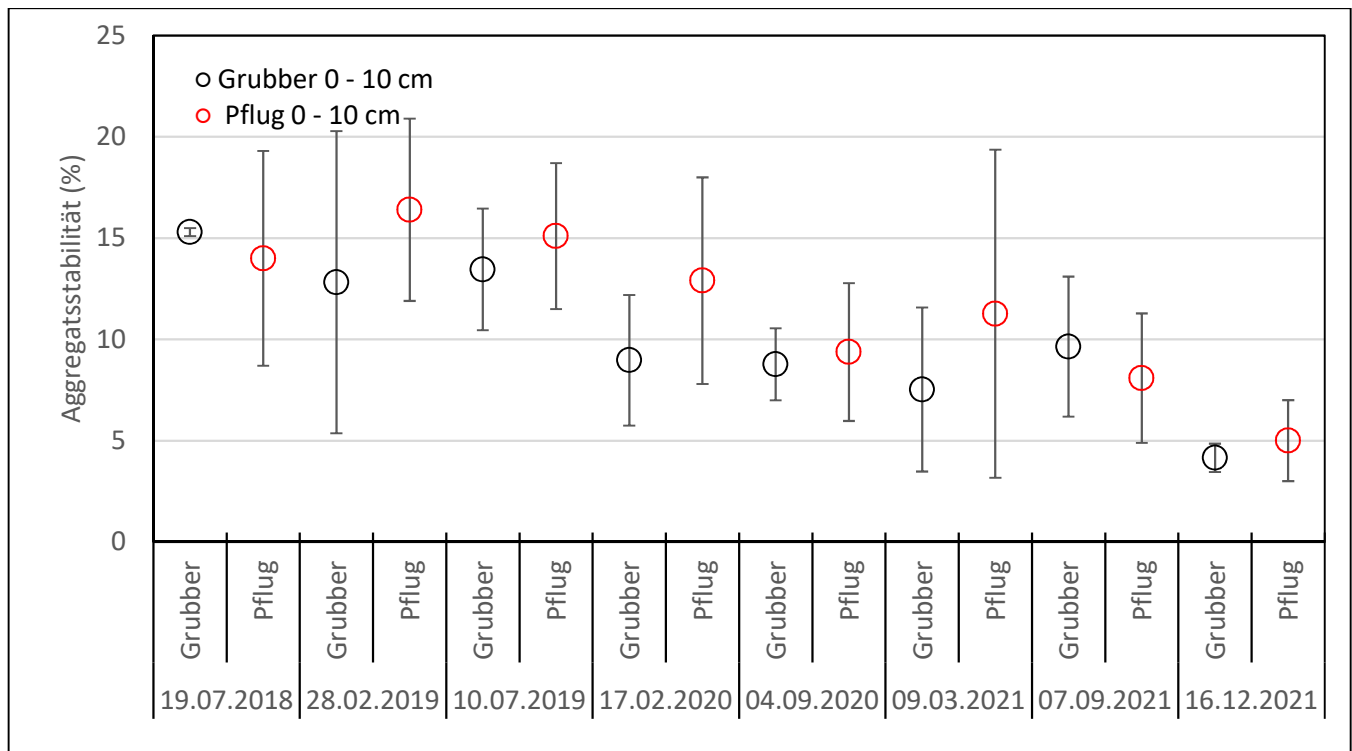


Abbildung 46: Aggregatstabilität in 0-10 cm Bodentiefe

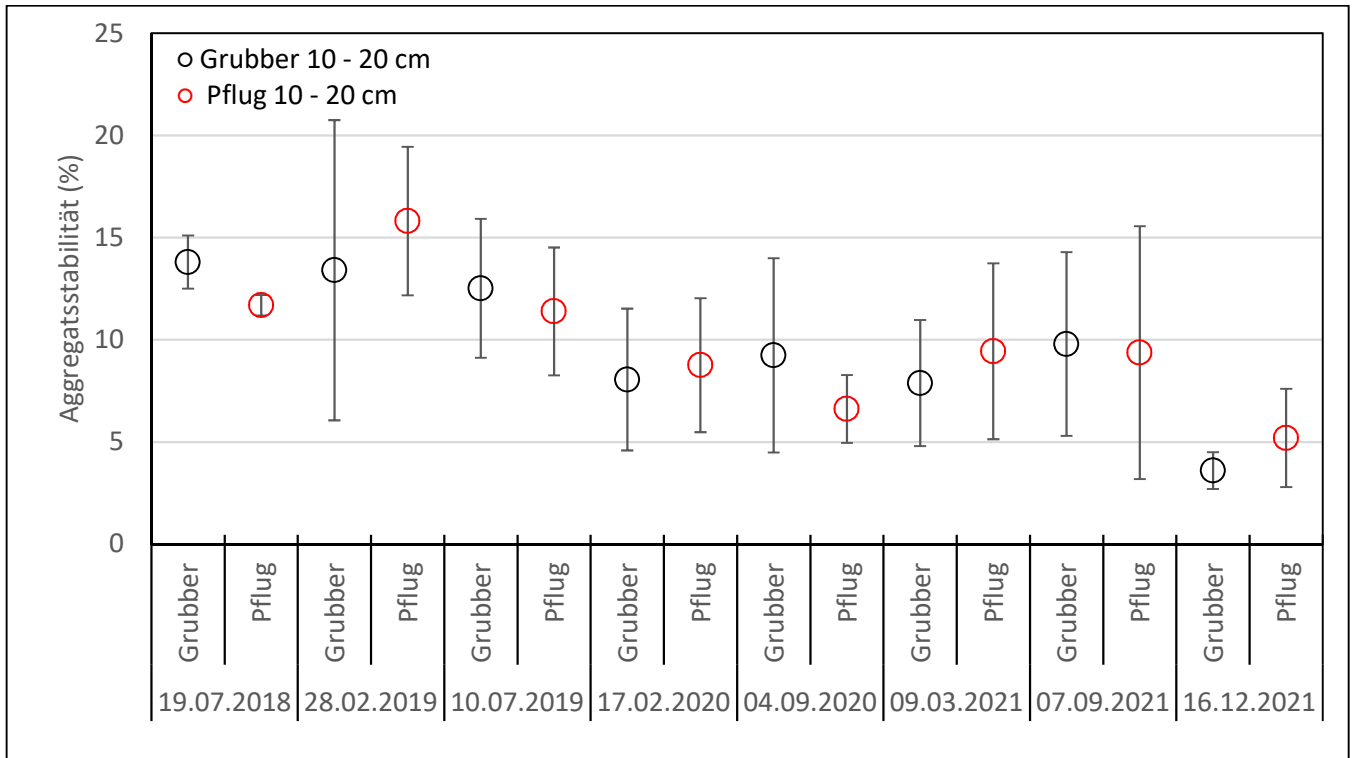


Abbildung 47: Aggregatstabilität in 10-20 cm Bodentiefe

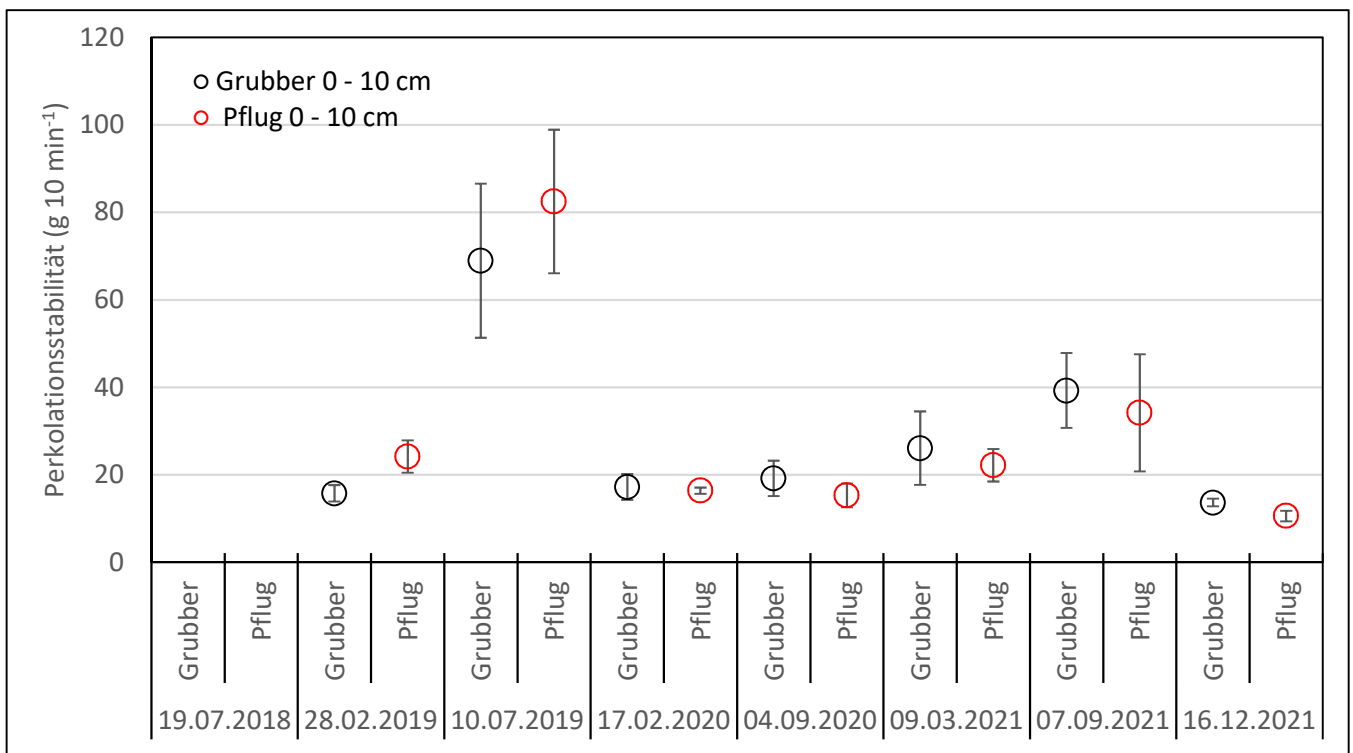


Abbildung 48: Perkulationsstabilität in 0-10 cm Bodentiefe

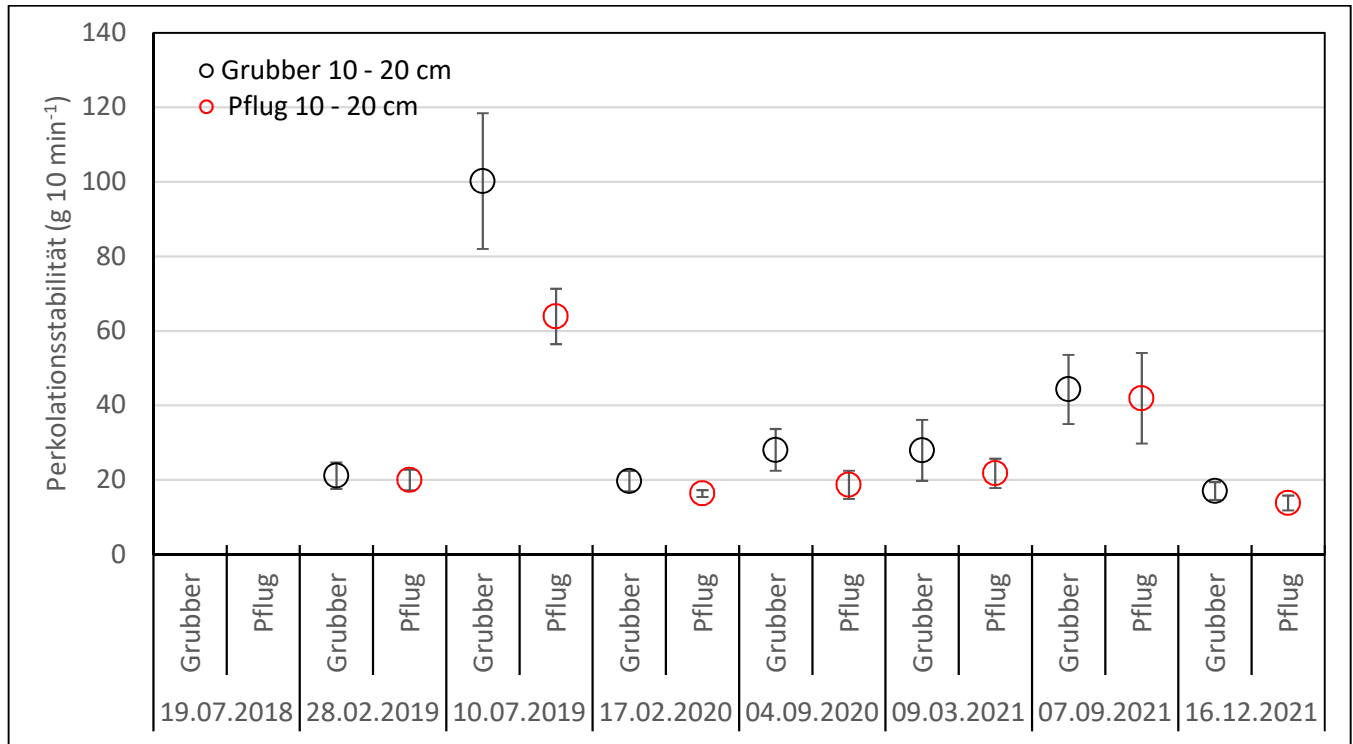


Abbildung 49: Perkolationsstabilität in 10-20 cm Bodentiefe

Die Messergebnisse zur Perkolationsstabilität weisen ebenfalls sehr geringe Messwerte auf und sind – mit Ausnahme des zweiten Probenahmetermins – ebenfalls sehr stabil über den Untersuchungszeitraum. Variantenunterschiede sind zumindest tendenziell erkennbar, wobei die Ergebnisse der Grubbervariante in beiden untersuchten Tiefenstufen gegenüber der Pflugvariante leicht erhöht war. Dies ist insofern auch interessant, weil es im Bereich des obersten Horizonts (0-10cm) zu einer Umkehr des Eingangsbefundes im Jahr 2019 gekommen ist. Zu diesem Zeitpunkt war nämlich die Perkolationsstabilität für die Pflugvariante höher gewesen. Eine statistisch signifikante Änderung durch die beiden Varianten war allerdings nicht zu ermitteln. Die Ursachen für die – relativ – höheren Ergebnisse des zweiten Probenahmetermins sind nicht geklärt.

3.5.5 Kohlenstoffmanagement

3.5.5.1 Erträge

Auf der Basis der Bewirtschaftung und Fruchtfolge ist auch das Management des organischen Kohlenstoffes anzusehen. Durch den Standortwechsel nach der Ernte 2018 und der nicht gemeldeten Ernte 2019 gibt es für 2020 erstmalig detaillierte Ernteergebnisse für die Sommerung.

In den Reihen wurde mit Tropfbewässerung die Zwiebel (2020) und Karotten gezogen und am 28 August 2021 geerntet. Die Ergebnisse sind nachfolgend zusammengestellt.

Tabelle 11: Erträge und Ertragsparameter für Karotten 2021

Variante	Frischmasse t/ha	Trockenmasse t/ha	N - Entzug kg/ha
Zwiebel			
W1 Grubber	37,1	4,8	74,0
W2 Pflug	36,8	4,6	76,6
W3 Grubber	37,7	4,6	74,0
W4 Pflug	37,1	4,6	75,5
Karotten			
W1 Grubber	68,0	7,0	58,8
W2 Pflug	84,0	9,0	75,6
W3 Grubber	78,0	8,0	67,2
W4 Pflug	88,0	9,0	75,6
Karottenblätter			
W1 Grubber	11,0	2,0	33,0
W2 Pflug	15,0	2,0	33,0
W3 Grubber	14,0	2,0	33,0
W4 Pflug	18,0	3,0	49,5

Für die beiden Untersuchungsvarianten wurde bei Zwiebel kein Unterschied festgestellt. Im Jahr 2021 (Karotten) war der Ertrag der Grubber Variante geringer im Vergleich zur Pflugvariante.

3.5.5.2 Kohlenstoffgehalte im Boden

Die Messung des organischen Kohlenstoffs erfolgte ebenso wie die Bestimmung der Kornfraktionen in Tiefenstufen mit Abständen von jeweils 10 cm bis in 170 cm Tiefe (Abbildung 50). Der Gehalt der Messstelle W4 lag insbesondere in den Tiefenstufen zwischen 30 und 70 cm über denen der anderen Messstellen.

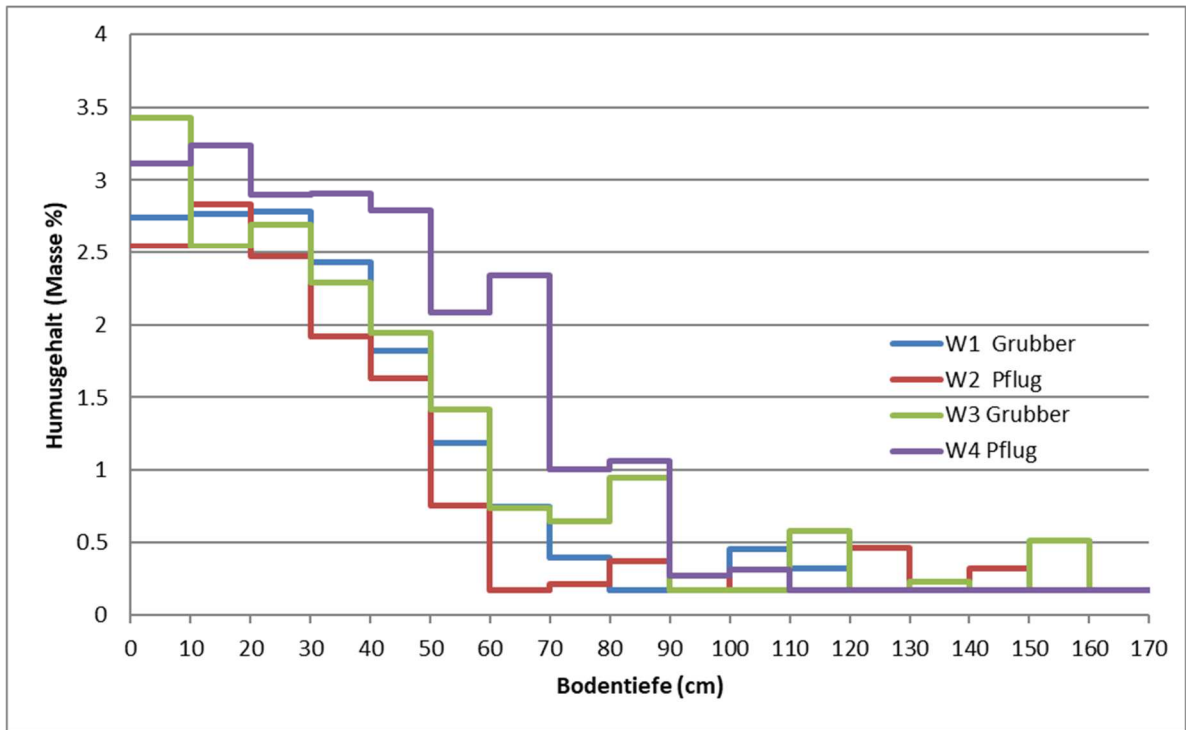


Abbildung 50: Organischer Kohlenstoff der Messstellen als Humusgehalt vom 19. Juli 2018

Messungen im Bodenkompartment 0-30 cm wurden an den Terminen 19. Juli 2018 und 4. September 2020 durchgeführt. Die Darstellung erfolgt in Abbildung 51, Abbildung 52, Abbildung 53. Aufgrund des geringen Zeitunterschiedes seit der Erstbeprobung können keinesfalls Ergebnisunterschiede zu den Untersuchungsvarianten erwartet und diskutiert werden.

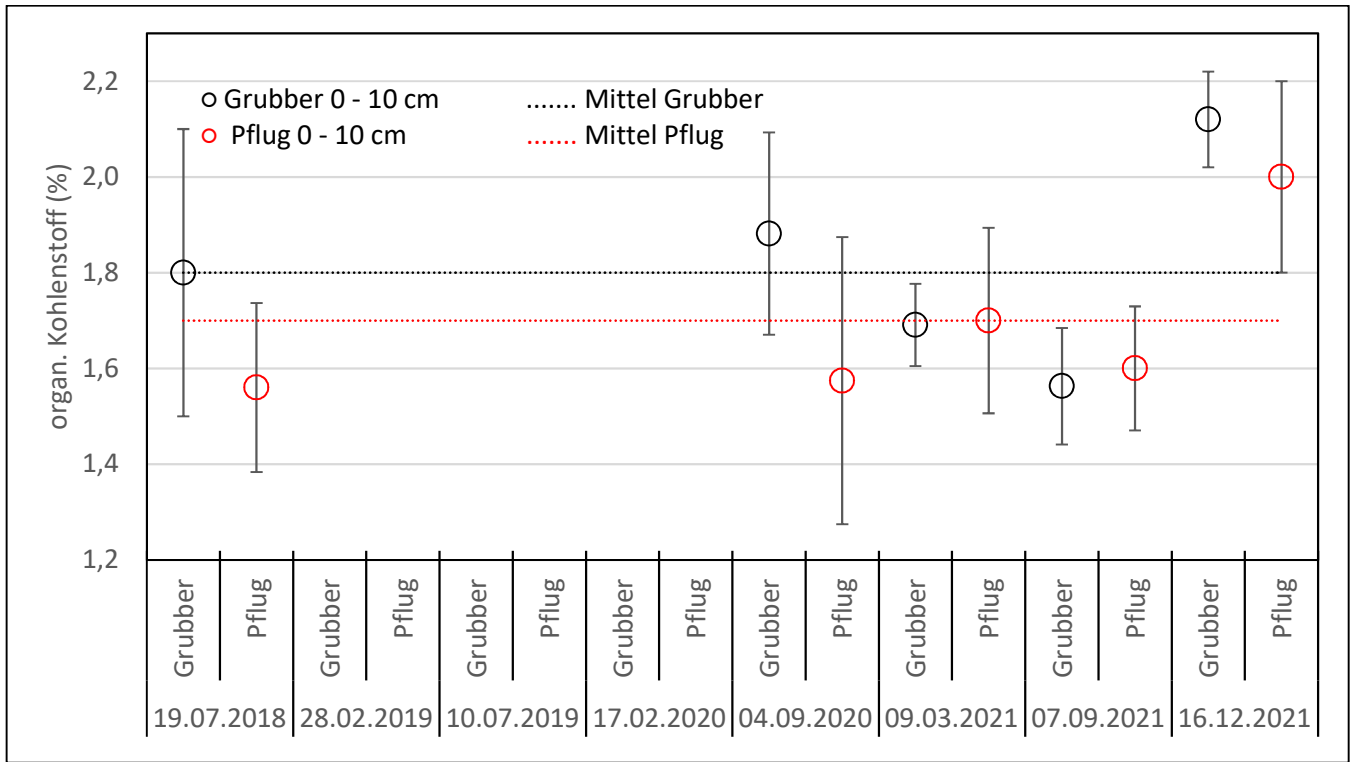


Abbildung 51: Organischer Kohlenstoff der Messstellen im Bereich 0-10 cm Bodentiefe

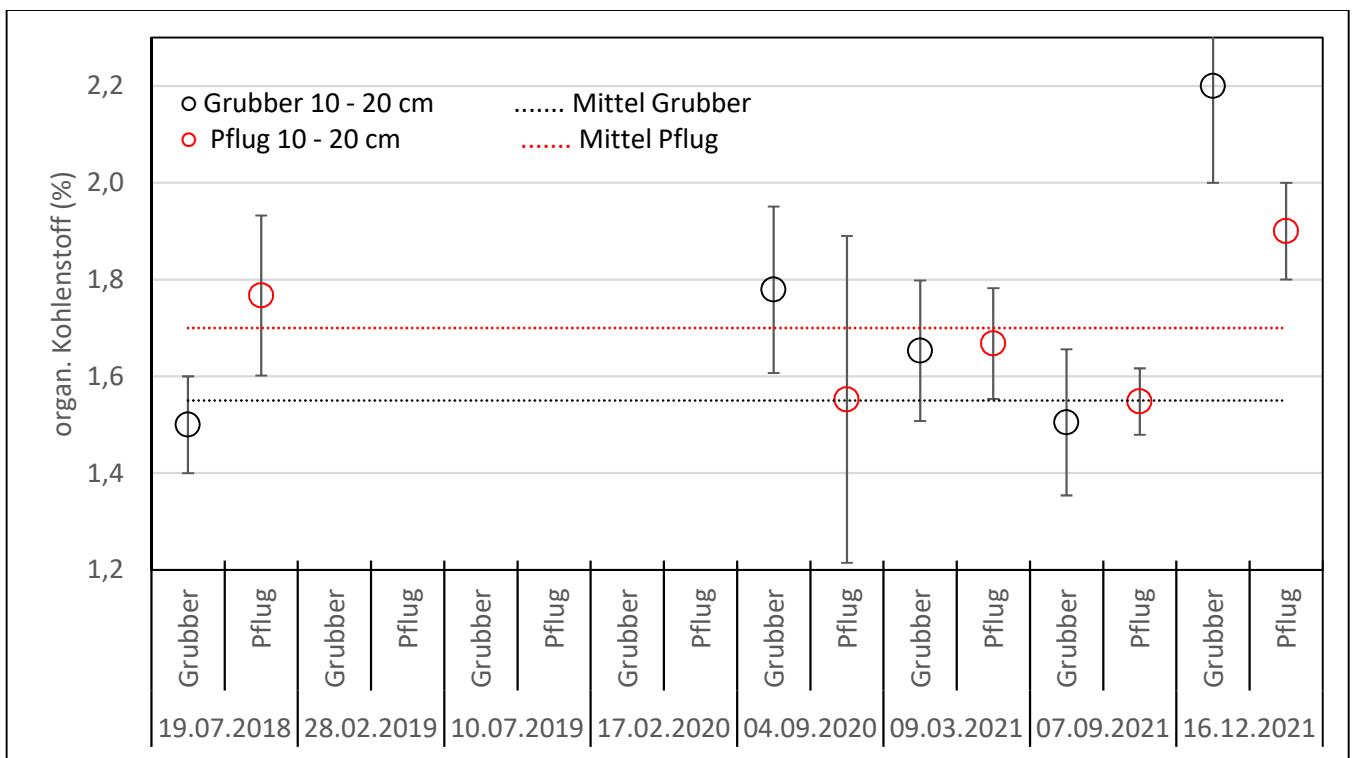


Abbildung 52: Organischer Kohlenstoff der Messstellen im Bereich 10-20 cm Bodentiefe

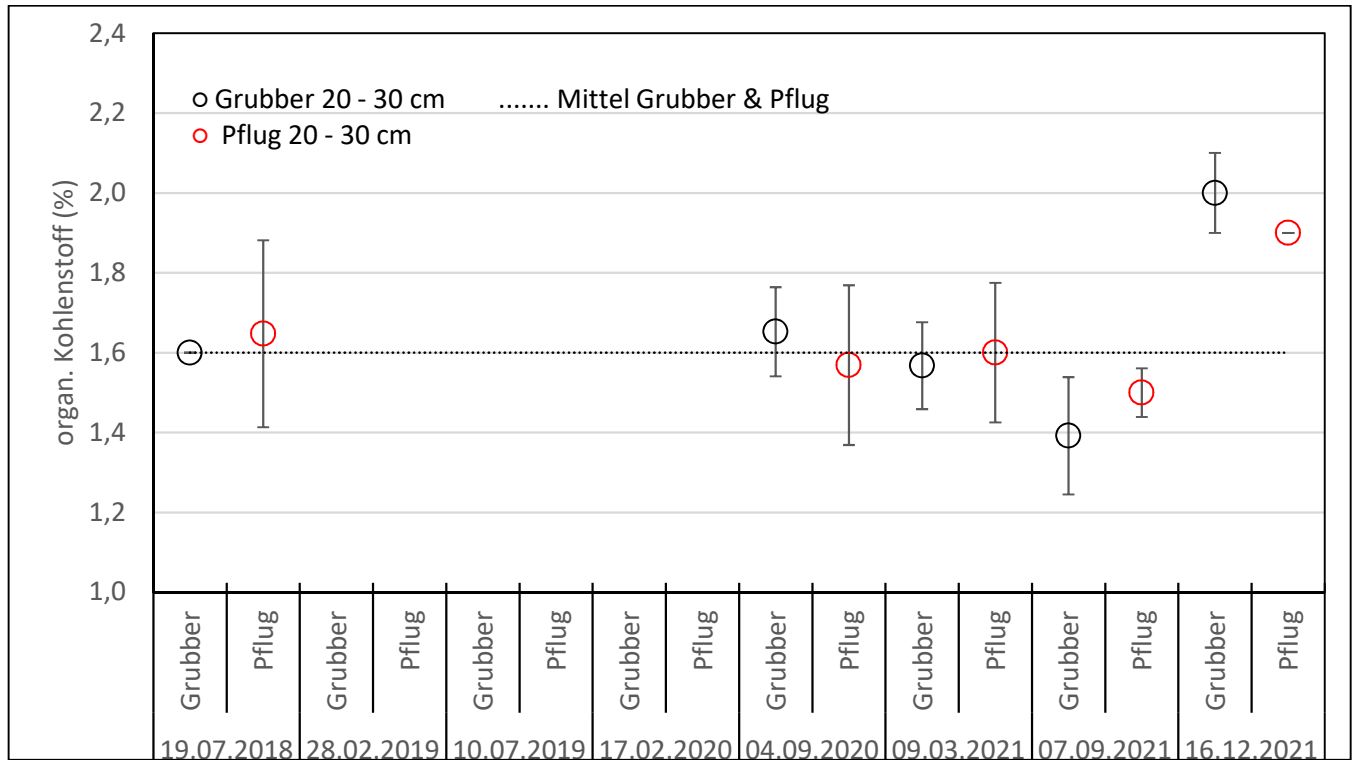


Abbildung 53: Organischer Kohlenstoff der Messstellen im Bereich 20-30 cm Bodentiefe

Die Ergebnisse der C-Bestimmung lassen für alle Bodenhorizonte über den Beobachtungszeitraum eine Tendenz in Richtung Erhöhung der C-Gehalte bei Bearbeitung durch die Grubbervariante erkennen. Obwohl vor Allem die unteren Horizonte (10-20 cm und 20-30 cm) bei der Ausgangsbeprobung der Parzellen im Jahr 2018 noch höhere C-Gehalte für die Pflugvariante aufwiesen. Statistisch absichern lässt sich allerdings auch dieses Ergebnis nicht.

3.5.6 Bodenbedeckung

Als Basisinformation für weiterführende Simulationsrechnungen wird in regelmäßigen Abständen das Ausmaß der Bodenbedeckung auf den Messparzellen erhoben. Dazu ist in Abbildung 54 und Abbildung 55 der jahreszeitliche Verlauf der Bodenbedeckung dargestellt.

Die Ergebnisse reflektieren deutlich den Anbau von Sommerzwiebel und danach Gründüngung. Sommerzwiebel wird sehr spät im Frühling angebaut, daher auch die hohen Anteile an unbedecktem Boden bis ca. Mitte Juni. Danach steigt der Anteil an lebender Biomasse entsprechend dem Wachstum der Sommerzwiebel an, bis dann im September die Ernte durchgeführt wurde. Ebenfalls deutlich sichtbar ist die Entwicklung der Gründüngung, die allerdings erst mit dem letzten Untersuchungstermin (29.11.) einen Bedeckungsgrad von 80 % erreicht hat. Unterschiede zwischen den beiden Varianten Grubber und Pflug sind nicht signifikant erkennbar.

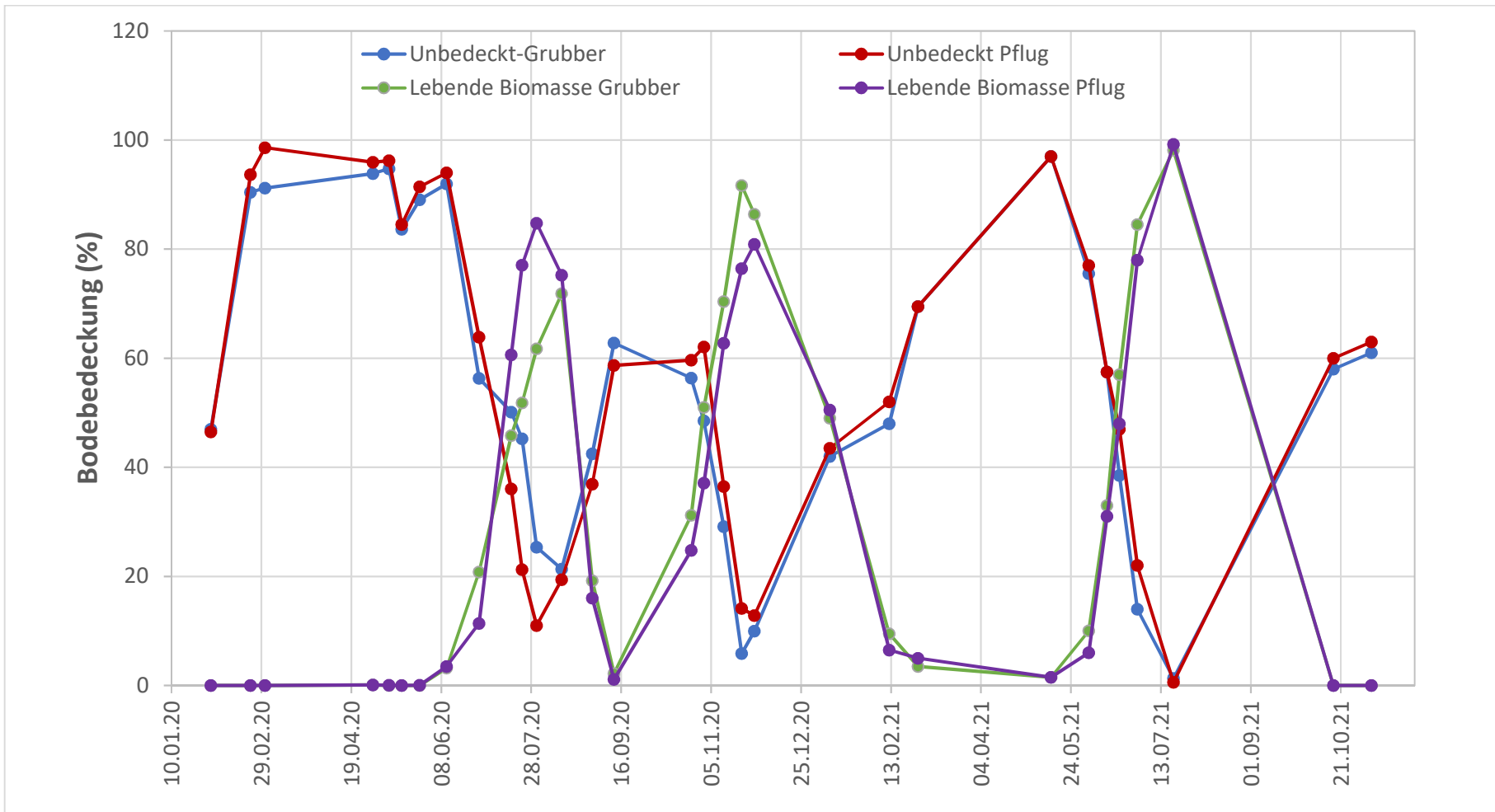


Abbildung 54: Verlauf der Bedeckungsgrade für die beiden Untersuchungsvarianten (Unbedeckt versus Lebende Biomasse) in Jahr 2020 und 2021

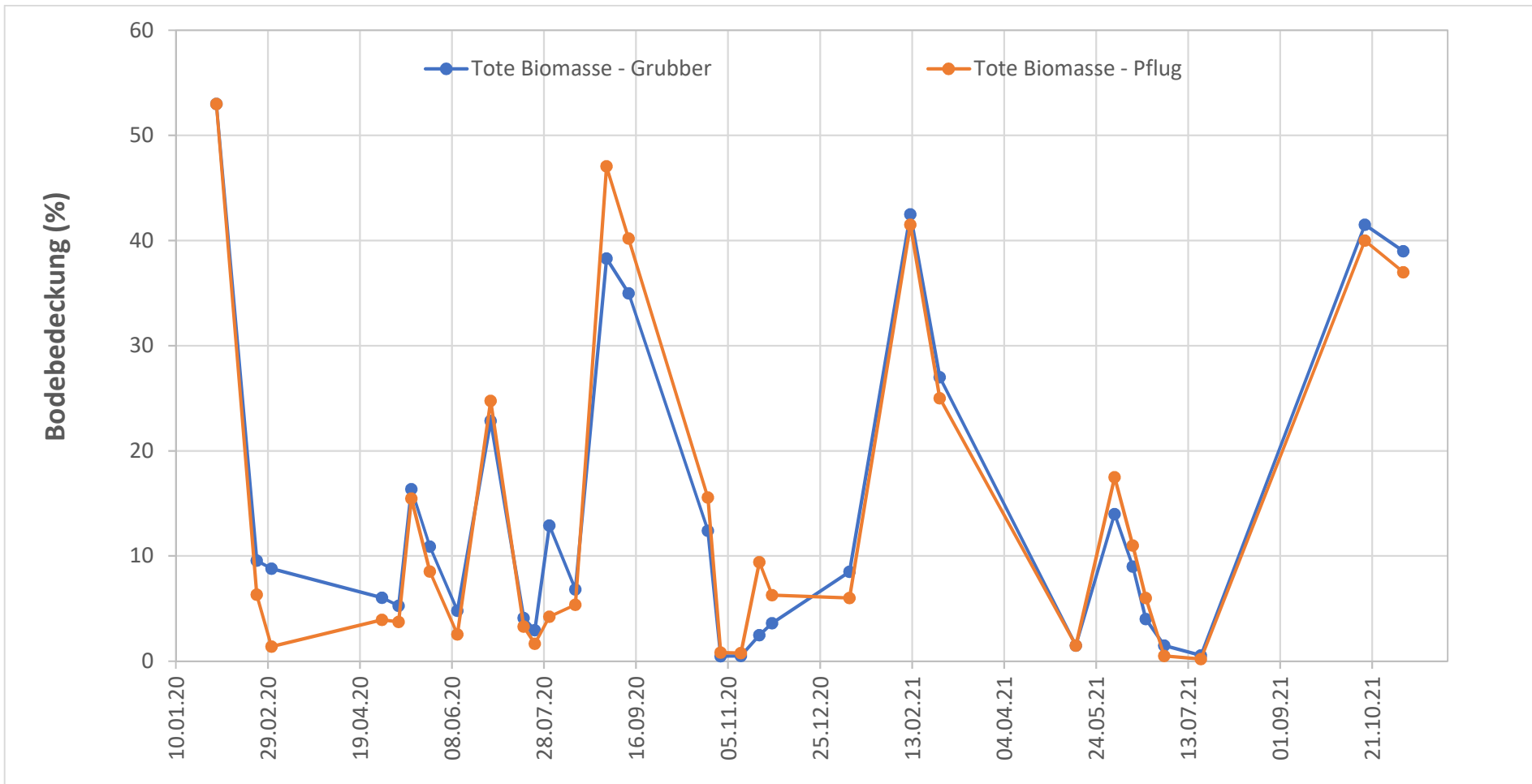


Abbildung 55: Verlauf der Bedeckungsgrade für die beiden Untersuchungsvarianten (Tote Biomasse) in Jahr 2020 und 202

4 Schlagbezogene Aufzeichnungen

Die ausgesandten Aufzeichnungsbögen wurden vom Großteil der teilnehmenden Landwirte retourniert. Die Angaben umfassten die angebauten Kulturen (Tabelle 12) und deren Erträge, Details zu Düngungs- (

Tabelle 13) und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Angaben zu Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Zur Bodenbearbeitung wurden Grubber, Egge, Kreiselegge und Scheibenegge eingesetzt, teilweise erfolgten auch Angaben über Hacken und Striegeln. Zur Quantifizierung der Intensität der Bodenbearbeitung wurde je Maßnahme der Wert 1 angenommen, lediglich für Grubbern wurde der Wert 2 verwendet. Die Werte wurden über die fünf vergangenen Jahre aufaddiert (siehe Tabelle 14). Auch die Einarbeitung der Ernterückstände wurde entsprechend erfasst. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, sind die Angaben in drei Tabellen dargestellt. Anhand der Standortbezeichnung kann abgeleitet werden, welche Düngungsmaßnahme bzw. Bearbeitungsintensität welcher Fruchtfolge zugeordnet werden kann.

Tabelle 12: Kulturen in den Jahren 2017 bis 2021 je Standort

Standort	Kultur				
	2017	2018	2019	2020	2021
WHu 01	Weizen	Weizen	Körnermais	Weizen	Weizen
WHu 02	Weizen	Roggen	Weizen	Wintergerste	Roggen
WHu 03	Weizen	Roggen	Weizen	Wintergerste	Roggen
WHu 04	Weizen	Weizen	Roggen	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 05	Weizen	Braugerste	Roggen	Weizen	Wintergerste
WHu 07	Weizen	Weizen	Weizen		
WHu 08	Weizen	Weizen	Weizen		
WHu 09	Raps	Winterweizen	Mais	Sojabohne	Weizen
WHu 10	Körnermais	Sommergerste	Weizen	Körnermais	Braugerste
WHu 11	Winterweizen	Winterweizen	Zuckerrübe	Sonnenblume	Wintergerste
WHu 12		Sommerdurum	Durum	Durum-Weizen	Wintergerste
WHu 13	Weizen	Weizen	Braugerste	Roggen	Bienenweide, mj
WHu 15	Raps/Durimweizen	Winterweizen	Braugerste/Sojabohne	Emmerweizen	Sojabohnen
WHu 16	Weizen			Roggen	
WHu 17	Weizen			Weizen	
WHu 18	Weizen	Weizen	Zuckerrübe	Sojabohne	Weizen
WHu 19		Braugerste	Weizen	Weizen	Körnermais
WHu 20		Braugerste	Weizen	Weizen	Körnermais
WHu 21	Braugerste	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 22		Winterweizen	Sojabohnen	Sojabohne	Weizen
WHu 23	Durum-Weizen	Weizen	Roggen	Wintergerste	Körnerhirse/-sorghum
WHu 24	Durum-Weizen	Weizen	Roggen		Körnerhirse/-sorghum
WHu 25	Sojabohne	Durum	Weizen	Zuckerrübe	Sonnenblume
WHu 26	Weizen	Weizen	Körnermais	Körnerhirse/-sorghum	Weizen
WHu 27	Weizen	Braugerste	Weizen	Sojabohne	Körnermais
WHu 28	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnermais	Wintergerste
WHu 29	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnermais	Sojabohne

WHu 30	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnermais	
WHu 32	Weizen	Roggen	Weizen	Wintergerste	Roggen
WHu 35	Braugerste	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 36	Braugerste	Weizen	Körnerhirse/sorghum	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 37	Hirse	Winterweichweizen	Weizen	Wintergerste	Weizen
WHu 38	Winterweizen	Durum	Weizen	Sojabohne	Durum-Weizen
WHu 39	Weizen	Wickroggen	Luzerne	Luzerne bleibt	Luzerne
WHu 40	Durum-Weizen	Weizen	Weizen	Wintergerste	Sojabohne
WHu 41	Körnerhirse/-sorghum	Weizen	Körnermais	Körnerhirse/-sorghum	Weizen
WHu 42	Grünbrache	Grünbrache	Rispenhirse	Wintergerste	Weizen
WHu 44	Weizen	Zuckerrübe	Körnerhirse/sorghum	Wintergerste	Roggen
WHu 45	Weizen	Zuckerrübe	Körnerhirse/sorghum	Wintergerste	Roggen
WHu 46	Körnermais/Grünbrache	Grünbrache/Hirse	Weizen	Sojabohne	Körnermais Körnerhirse/-sorghum
WHu 47	Weizen	Weizen	Wintergerste	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 48	Grünbrache	Grünbrache	Grünbrache	Grünbrache	DIV/WF
WHu 49	Durum-Weizen	Weizen	Durum	Roggen	Weizen
WHu 50	Zuckerrübe	Braugerste	Weizen	Braugerste	Weizen
WHu 52	Braugerste				
WHu 53	Weizen	Braugerste	Weizen	Sojabohne	Körnermais
WHu 54	Durum-Weizen			Sojabohne	Weizen
WHu 55	Winterhartweizen	Winterweizen	Sojabohnen	Durum-Weizen	Weizen Körnerhirse/-sorghum
WHu 56	Durum-Weizen	Durum	Wintergerste	Weizen	Körnerhirse/-sorghum
WHu 57	Winterhartweizen	Winterweizen	Wintergerste	Durum-Weizen	Weizen
WHu 58	Hirse	Winterweichweizen	Rispenhirse	Wintergerste	Weizen
WHu 59	Sommergerste	Erbse-Triticale	Wickroggen	Wiese bleibt	Wiese
WHu 60	Weizen	Zuckerrübe	Braugerste	Weizen	Weizen

Tabelle 13: Düngungsmaßnahmen je Standort, Summe aus den Jahren 2017 bis 2021

Standort	Düngung (kg Reinnährstoff/ha * 3a)		
	Stickstoff (N)	Phosphat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)
WHu 01	605	0	0
WHu 02	365	70	0
WHu 03	365	70	0
WHu 04	471	60	0
WHu 05	399	70	0
WHu 07	218	70	0
WHu 08	218	70	0
WHu 09	166	56	90
WHu 10	520	0	0
WHu 11	122	0	0
WHu 12	124	0	0
WHu 13	261	70	0
WHu 15	129	41	81
WHu 16	169,91	70	0
WHu 17	54	56	112
WHu 18	333	56	112
WHu 19	367	54	108
WHu 20	331	0	0
WHu 21	490	0	0
WHu 22	129	0	0
WHu 23	535	0	0
WHu 24	254	41	90
WHu 25	116	56	112
WHu 26	646	56	113
WHu 27	540	56	113
WHu 28	602	56	113
WHu 29	544	70	0
WHu 30	566	0	0
WHu 32	366	0	0
WHu 33	76	54	108
WHu 34	76	54	108
WHu 35	490	0	0
WHu 36	490	0	0
WHu 37	504	0	0
WHu 38	135	0	0
WHu 39	0	95	198
WHu 40	243	0	0
WHu 41	595	60	0
WHu 42	278	60	0
WHu 44	379	0	0

Standort	Düngung (kg Reinnährstoff/ha * 3a)		
	Stickstoff (N)	Phosphat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)
WHu 45	379	60	0
WHu 46	523	0	0
WHu 47	450	0	0
WHu 48	0	38	0
WHu 49	412	0	0
WHu 50	455	56	112
WHu 52	154	41	81
WHu 53	461	0	0
WHu 54	165	0	0
WHu 55	229	0	0
WHu 56	427	0	0
WHu 57	170	0	0
WHu 58	461	41	99
WHu 59	124	0	0
WHu 60	462	41	99

Tabelle 14: Bodenbearbeitungsmaßnahmen je Standort, Summe aus den Jahren 2017 bis 2021

Standort	Bearbeitungsmaßnahmen in 5 Jahren	
	Bearbeitungsintensität*	Einarbeitung Ernterückstände**
WHu 01	20	4
WHu 02	16	1
WHu 03	16	1
WHu 04	34	4
WHu 05	13	1
WHu 07	10	1
WHu 08	10	1
WHu 09	21,5	4
WHu 10	18	4
WHu 11	28	4
WHu 12	25	4
WHu 13	14	2
WHu 15	28,5	5
WHu 16	1	1
WHu 17	14	2
WHu 18	12	1
WHu 19	16	4
WHu 20	17	4

WHu 21	20	5
WHu 22	20	4
WHu 23	28	5
WHu 24	14	2
WHu 25	27	4
WHu 26	22	5
WHu 27	25	5
WHu 28	22	5
WHu 29	26	5
WHu 30	21	5
WHu 32	15	1
WHu 33	8	1
WHu 34	8	1
WHu 35	20	5
WHu 36	20	5
WHu 37	20	5
WHu 38	29	5
WHu 39	14	2
WHu 40	34	5
WHu 41	17	5
WHu 42	11	3
WHu 44	27	5
WHu 45	27	5
WHu 46	19	4
WHu 47	32	5
WHu 48	0	0
WHu 49	15	3
WHu 50	23	5
WHu 52	8	1
WHu 53	27	5
WHu 54	27,5	5
WHu 55	31	5
WHu 56	34	5
WHu 57	25	4
WHu 58	15	5
WHu 59	14	3
WHu 60	30	5

* Grubber: 2; alle weiteren Bearbeitungsmaßnahmen: 1

** Jahre mit Einarbeitung

Abbildungen 55 und 56 zeigen eine geringere Zunahme an TOC bei häufigerer Bodenbearbeitung. Vor allem in der Tiefenstufe 0-10 cm ist dies ersichtlich. In Abbildung 57 und 58 sind Trends erkennbar die darauf schließen lassen, dass bei geringerer Bearbeitungsintensität der Gehalt an labilem C stärker sinkt. Dies könnte darauf hindeuten, dass auch nicht-wendende Bodenbearbeitung einen Einfluss auf Kohlenstoffvorräte im Boden hat.

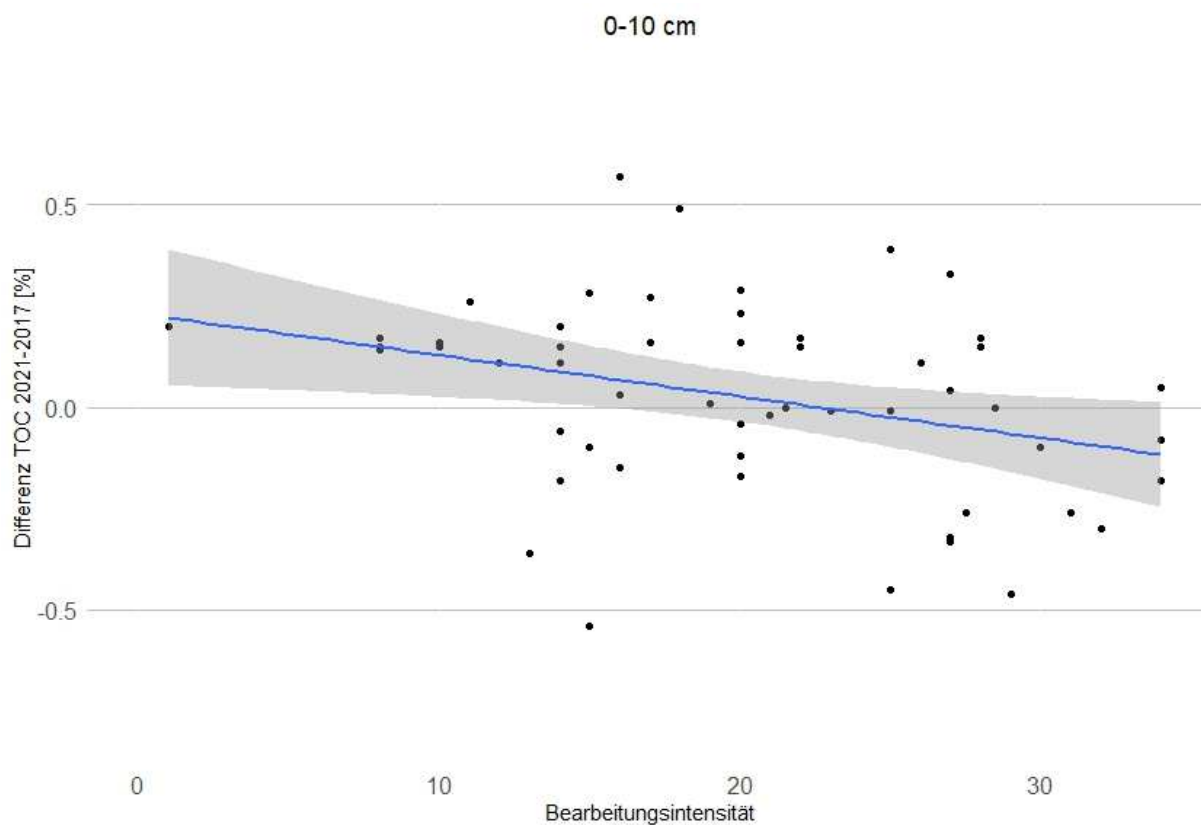


Abbildung 56: Differenz der TOC Werte zwischen 2021 und 2017 (Tiefenstufe 0-10 cm), in Zusammenhang mit der Bearbeitungsintensität; lineare Regression mit 95% Konfidenzbereich

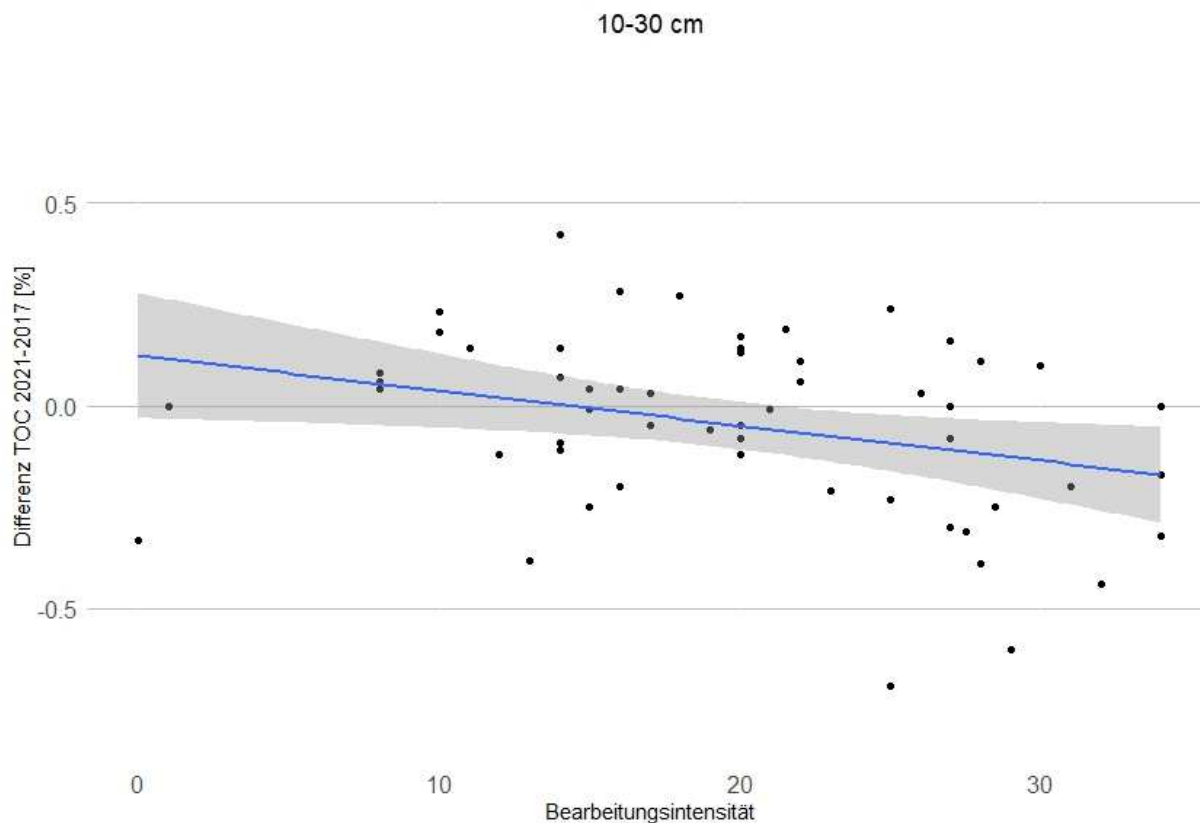


Abbildung 57: Differenz der TOC Werte zwischen 2021 und 2017 (Tiefenstufe 10-30 cm), in Zusammenhang mit der Bearbeitungsintensität; lineare Regression mit 95% Konfidenzbereich

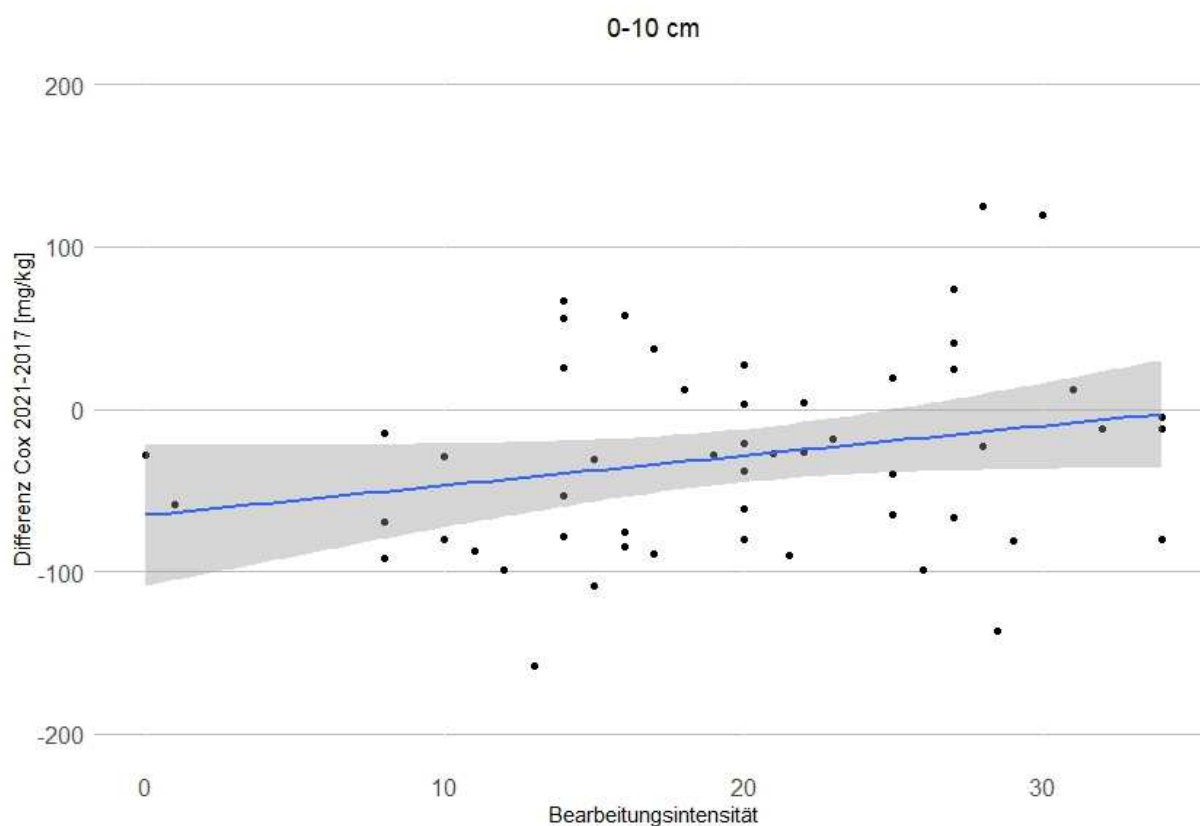


Abbildung 58: Differenz der C_{ox} Werte zwischen 2021 und 2017 (Tiefenstufe 0-10 cm), in Zusammenhang mit der Bearbeitungsintensität; lineare Regression mit 95% Konfidenzbereich

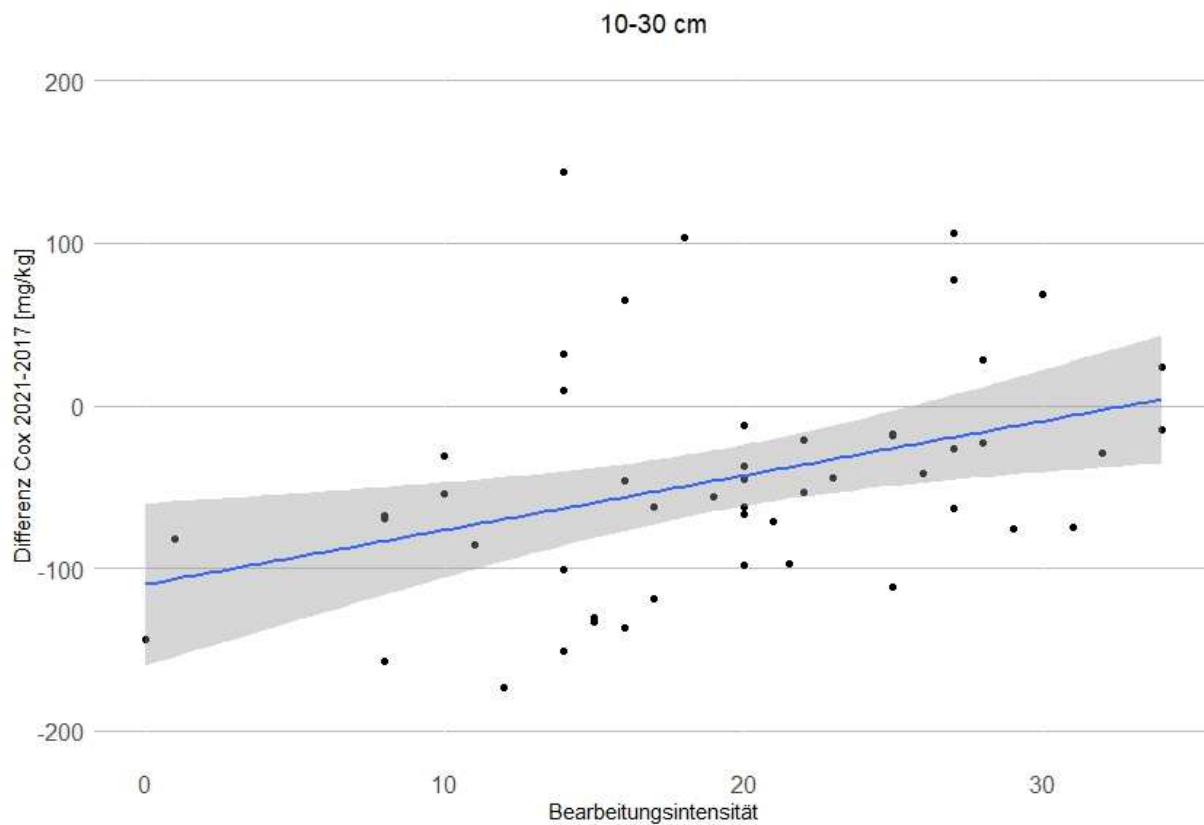


Abbildung 59: Differenz der C_{ox} Werte zwischen 2021 und 2017 (Tiefenstufe 10-30 cm), in Zusammenhang mit der Bearbeitungsintensität; lineare Regressions mit 95% Konfidenzbereich

5 Zusammenfassung

In einem Begleitprojekt zur ÖPUL Maßnahme „Humusaufbau und Erosionsschutz“ soll deren Wirksamkeit geprüft werden. Dazu wurden im Jahr 2017 („Basiserhebung“) im Jahr 2019 („1. Folgebeprobung“) und 2021 („2. Folgebeprobung“) entsprechende Bodeneigenschaften (pH-Wert, „pflanzenverfügbare“ Gehalte an Phosphor und Kalium (CAL-Extrakt), Gehalt an „pflanzenverfügbarem“ Magnesium (Schachtschabel), Gehalt an Humus/organischem Kohlenstoff (Corg), Permanganat – oxidierbarer Kohlenstoff (Cox), Gesamt – Stickstoff (Ntot), Nachlieferbarer Stickstoff (Nnl) und die Kationen – Austausch – Kapazität (KAK) untersucht. Die Probenahme erfolgte GPS – gestützt an den jeweils identen Probenahmepunkten in den Tiefenstufen 0 – 10cm und 10 – 30cm.

Erkenntnisse zu chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften:

Die Untersuchungsergebnisse der ersten Folgebeprobung waren in ihrer Höhe und im Wertebereich denen der ersten Beprobung vergleichbar. Insgesamt konnten nur bei wenigen Parametern Trends einer Veränderung festgestellt werden. Beim pH-Wert zeigte sich zwar bei einigen Standorten tendenziell eine Zunahme, allerdings lag dies im Bereich der natürlichen Variabilität bzw. der Messunsicherheit des Verfahrens. Bei der 2. Beprobung waren die Werte wieder im selben Bereich wie 2017. Bei den anderen Parametern konnten keine eindeutigen Trends festgestellt werden. Der leicht oxidierbare Kohlenstoff zeigte ebenso wie das Verhältnis TOC/C_{ox} eine tendenzielle Verschiebung: Während der C_{ox}-Gehalt überwiegend rückläufig war, stieg das Verhältnis zum TOC-Gehalt. Dies deutet auf eine Erhöhung des Anteils an stabiler organischer Substanz hin. Diese Trends wurden durch die 2. Beprobung bestätigt. Aufgrund dieser Ergebnisse kann eine Stabilisierung des Kohlenstoffes im Boden vermutet werden. Gleichzeitig war auch eine tendenzielle Abnahme des C/N- Verhältnisses zu beobachten. Dies konnte durch die 2. Beprobung nicht bestätigt werden.

Veränderungen des Kohlenstoffhaushalts, aber auch weiterer Eigenschaften des Bodens, werden nachweislich durch Mikroorganismen und andere Bodenlebewesen beeinflusst. So sind sie unter anderem für die Umwandlung von labilem zu stabilem Kohlenstoff verantwortlich (Liang et al., 2017). Nicht nur größere Bodenlebewesen wie Regenwürmer werden durch wendende Bodenbearbeitung beeinflusst, einige Studien zeigen auch Einflüsse der Bodenbearbeitung auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften (van Capelle et al., 2012, Rieke et al. 2022, Zheng et al. 2022). Dadurch können etwa Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit zusätzlich verbessert werden.

Fruchtfolge, Düngungshöhe und Bearbeitungsintensität der einzelnen Standorte lassen bislang keinen eindeutigen Zusammenhang zu den untersuchten Bodenparametern erkennen.

Zusätzlich wurde zur Überwachung des Stoffaustrages nach einer Bodenbearbeitung durch Grubber oder Pflug eine Messstelle errichtet, bei der folgende Parameter erfasst werden:

Klima (Niederschlag, rel. Luftfeuchte, Lufttemperatur, Strahlung und Windgeschwindigkeit), Parameter des Bodenwasserhaushalts (Wassergehalt in 50, 70, 90, 110 und 130 cm u. GOK; Matrixpotential in 50, 70, 90, 110, 130 und 150 cm u. GOK; Sickerwasser in 180 cm u. GOK), Gehalt von Nitrat, Chlorid, Bromid und die Leitfähigkeit von Sickerwasser (Sickerwassergewinnung durch Saugkerzen in 50, 150 und 180 cm u. GOK), Ertrag, N_{min}-Gehalte, Bodenbedeckungsgrad und Pflanzenhöhe, Aggregatstabilität.

Nach 4-jährigem Versuch sind bisher im Vergleich der beiden untersuchten Bodenbearbeitungsvarianten Pflug und Grubber keine wesentlichen und dauerhaften Unterschiede für die untersuchten Parameter, Stickstoffausttrag, organischer Kohlenstoff, Aggregatstabilität und Bodenbedeckung festzustellen. Dies hat nach unserer Auffassung mehrere Gründe:

- 1) Um die Auswirkung unterschiedlichen landwirtschaftlichen Managements auf Bodeneigenschaften feststellen zu können, sind in der Regel langfristige Experimente notwendig, weil Bodeneigenschaften sich nur langsam auf neue Bearbeitungsintensitäten umstellen. Es deutet sich zwar im letzten Untersuchungsjahr eine gewisse Erhöhung des TOC-Gehaltes der Grubbervariante an (wie allgemein auch anzunehmen wäre), für eine dauerhafte Bewertung des Effektes ist dieser Unterschied allerdings noch nicht ausreichend.
- 2) Dies ist von umso größerer Bedeutung, als es sich bei den beiden untersuchten Varianten nicht um extreme Änderungen in der Eingriffsintensität handelt.
- 3) Für eine erfolgreiche Kooperation mit landwirtschaftlichen Betrieben ist es von Vorteil, wenn die Pachtverhältnisse der untersuchten Flächen sich nicht regelmäßig ändern. Im Bereich der Intensivkulturen des Wiener Umlandes ist aber genau dies der Fall, was die Kommunikation erschwert und zu Problemen der Datenverfügbarkeit führt.
- 4) Der Fokus auf Intensivkulturen im Untersuchungsgebiet ist für eine Bewertung prinzipiell ungünstig, kann aber nicht beeinflusst werden.

Erkenntnisse zur Erosionsstabilität:

Allerdings sind doch tendenzielle Änderungen im Vergleich wesentlicher Kompartimente des Ökosystems Boden zu erkennen. Sowohl die Perkulationsstabilität, als auch die organischen C-Gehalte weisen über den Beobachtungszeitraum eine Tendenz zu Verbesserungen bei der Grubbervariante im Vergleich zur Pflugvariante auf. Dies hat sicherlich Auswirkungen auf die Stabilität des Bodens gegenüber Bodenerosion, weil beide Parameter einen direkten Bezug zur Stabilität des Bodens gegenüber gegenüber der erodierenden Kraft des Niederschlags, aber auch des Windes haben. Natürlich sind diese Unterschiede nur schwach ausgeprägt, aufgrund des geringen Unterschiedes beim Management und auch der Wahl der Kulturen ist nach nur 4 Jahren Untersuchungszeitraum aber auch kein großer Unterschied zu erwarten. Ein weiterer wesentlicher Parameter zur Stabilisierung des Bodens gegen Verluste durch Wind- und Wassererosion ist die Bodenbedeckung.

Erkenntnisse zur Wassernutzung:

Obwohl die Wasserausnutzung in verschiedenen Tiefenstufen der Messparzellen gemessen wurde, konnte kein wesentlicher Unterschied in den Varianten festgestellt werden. Dies liegt einerseits in der offensichtlich großen Heterogenität der Parzellen. Beide Varianten streuten in ihren Wiederholungen so stark, dass nicht einmal ein Trend der Wasserausnutzung feststellbar war. Zusätzlich wurde bei den Intensivkulturen Zwiebel und Karotten Bewässerung durchgeführt, was eine sinnvolle Bewertung des Wasserhaushalts nicht möglich macht. Indirekt kann jedoch aufgrund der tendenziell höheren Gehalte an organischem Kohlenstoff auf eine – wenn auch nur geringe - Verbesserung des Bodenwasserhaushaltes im Untersuchungszeitraum geschlossen werden, weil höhere C-Gehalte generell zu einer verbesserten Wasserspeicherfähigkeit des Bodens führen.

6 Referenzen

Liang, C., Schimel, J. P., & Jastrow, J. D. (2017). The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature microbiology*, 2(8), 1-6.

Rieke, E. L., Cappellazzi, S. B., Cope, M., Liptzin, D., Mac Bean, G., Greub, K. L., ... & Honeycutt, C. W. (2022). Linking soil microbial community structure to potential carbon mineralization: A continental scale assessment of reduced tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 168, 108618.

van Capelle, C., Schrader, S., & Brunotte, J. (2012). Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota—A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50, 165-181.

Zheng, F., Wu, X., Zhang, M., Liu, X., Song, X., Lu, J., ... & Li, S. (2022). Linking soil microbial community traits and organic carbon accumulation rate under long-term conservation tillage practices. *Soil and Tillage Research*, 220, 105360.

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Nachhaltigkeit und
Tourismus



Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.

