

Loseblatt # 4

UNTERSUCHUNGEN ZUR ETABLIE-
RUNG VON AGROFORSTSYSTEMEN
AUF GRÜNLAND IM HINBLICK AUF
VERSCHIEDENE KOHLENSTOFF- UND
STICKSTOFFFRAKTIONEN IM BODEN

Christian Böhm, Michael Kanzler, Thomas Domin

Untersuchungen zur Etablierung von Agroforstsystemen auf Grünland im Hinblick auf verschiedene Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen im Boden

Autoren

Christian Böhm, Michael Kanzler, Thomas Domin

Anschriften und Kontaktdaten

Dr. Christian Böhm, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: boehmc@b-tu.de

Michael Kanzler, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: kanzlmic@b-tu.de

Thomas Domin, Landwirtschaftsbetrieb Domin, Feldstraße 20, 01945 Senftenberg OT Peickwitz
e-mail: info@landwirt-domin.de

Forschungsprojekt

"Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie"

Projektlaufzeit: 01.11.2014 bis 31.07.2019

URL: <http://agroforst-info.de/>

Förderung und Förderkennzeichen:

Die Förderung des Projektes erfolgte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenprogramms Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)

Förderkennzeichen: 033L129

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Loseblattes liegt bei den Autoren.

Cottbus, den 10.11.2020

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	2
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Methodik	5
2.1 Versuchsfläche und Versuchsdesign	5
2.1.1 Lage und Beschreibung der Versuchsfläche	5
2.1.2 Anordnung der Versuchsglieder	6
2.2. Bodenprobenahme	7
2.3 Analysen und Berechnungen	8
2.3.1 Aufbereitung der Bodenproben	8
2.3.2 Bodentextur, Skelettgehalt und Trockenrohdichte	8
2.3.3 Bodenazidität	8
2.3.4 Gehalt an organischem Gesamtkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t)	8
2.3.5 Gehalt an heißwasserextrahierbarem organischen Kohlenstoff (HWC_{org}) und heißwasserextrahierbarem Stickstoff (HWN)	9
2.3.6 Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min})	9
2.3.7 Berechnung der Vorräte	9
2.3.8 Statistische Auswertung	9
3 Ergebnisse und Diskussion	9
3.1 pH-Wert	9
3.2 Organischer Gesamtkohlenstoff (C_{org})	11
3.3 Heißwasserextrahierbarer organischer Kohlenstoff (HWC_{org})	13
3.4 Gesamtstickstoff (N_t)	14
3.5 Heißwasserextrahierbarer Stickstoff (HWN)	16
3.6 Mineralischer Stickstoff (N_{min})	17
4 Schlussfolgerungen	20
Literatur	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Weidetiere halten sich vorzugsweise im Schattenbereich von Bäumen auf (Foto links: Thomas Domin; Foto rechts: Onderwijsgek / Wikimedia)	4
Abbildung 2: Lage der Versuchsfläche () in Brandenburg (links) und Luftbild der Versuchsfläche () mit Umgebung (rechts) (Quelle der Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg ; Quelle des Luftbildes: Google Earth)	6
Abbildung 3: Grünlandfläche kurz nach Etablierung der Schwarzerlen mit vorherigem Pflügen des Bodens (links) und der Weidenruten ohne flächiger Bodenverwundung (rechts)	6
Abbildung 4: Versuchsaufbau der Grünlandfläche in Peickwitz (Quelle des Luftbildes: Google Maps)	7
Abbildung 5: pH-Werte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer).....	10
Abbildung 6: C _{org} -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer).....	12
Abbildung 7: HWC _{org} -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)	13
Abbildung 8: N _t -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer).....	15
Abbildung 9: HWN-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)	16
Abbildung 10: NH ₄ ⁺ -N-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)	18
Abbildung 11: NO ₃ -N-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen a) 0-10 cm, b) 10-30 cm und c) 30-60 cm (unten) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)	19

ZUSAMMENFASSUNG

Die Etablierung von Agroforstsystemen auf Grünlandflächen ist gegenwärtig mit verschiedenen Restriktionen behaftet. Ein zentraler Grund hierfür ist das Grünlanderhaltungsgebot, in dessen Kontext zumindest die Etablierung von Gehölzstreifen mit höheren Baumdichten als Grünlandumbruch gewertet wird. Eines der Hauptargumente für den Grünlanderhalt bzw. gegen die Etablierung von Gehölzstreifen auf Grünland ist neben der Biodiversität die Kohlenstoffspeicherung in Grünlandböden, die mit Blick auf den Klimaschutz von großer Relevanz ist. Ziel dieser Studie war es, mögliche Effekte der Anpflanzung von schnellwachsenden Baumarten auf verschiedene Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen im Boden ansatzweise zu quantifizieren, wobei Verfahren mit und ohne Bodenbearbeitung Berücksichtigung fanden. Aufgrund der kurzen zur Verfügung stehende Untersuchungszeit konnte allerdings lediglich die Initialphase nach der Etablierung der Gehölze betrachtet werden. Daher ist anhand der vorliegenden Studie keine abschließende Bewertung der Anlage von Gehölzstreifen auf Grünland in Bezug auf eine etwaige Kohlenstoff- und Stickstofffreisetzung möglich. Ungeachtet dieser Unsicherheiten konnte durch die vorliegenden Daten aber dennoch gezeigt werden, dass ein Umbruch des Grünlandes im Zuge der Agroforstgehölzeta-blierung durchaus mit zumindest kurzzeitigen Kohlenstoff- und Stickstofffreisetzungen verbunden sein kann. Die Auswirkungen waren allerdings zeitlich beschränkt und könnten gegebenenfalls durch entsprechende Maßnahmen wie Untersaat oder dem Beschränken des Pflügens auf schmale Pflanzstreifen abgemildert werden.

1 EINLEITUNG

Die bewusst herbeigeführte Kombination von Grünland- bzw. Weidewirtschaft und Gehölznutzung war in der Vergangenheit weit verbreitet und fester Bestandteil der bäuerlichen Landbewirtschaftung. Mit Blick auf agroforstliche Nutzungskonzepte werden Flächen mit kombinierter Weide- und Gehölznutzung als silvopastorale Agroforstsysteme bezeichnet. Bekannte traditionelle Formen der silvopastoralen Agroforstwirtschaft in Deutschland sind Knicklandschaften und Streuobstwiesen. Letztere dienen zum Teil heute noch der Viehhaltung. Die Nutzung von Hecken, Feldgehölzen und Einzelbäumen in der freien Landschaft ist derzeit über eine Fruchtnutzung hinaus gemeinhin jedoch untersagt (u.a. Beseitigungsverbot von Landschaftselementen, Regelungen regionaler Gehölzschutzverordnungen usw.; vgl. auch **Loseblätter # 48 und # 49**), zumindest aber genehmigungs- und in der Regel ersatzpflichtig.

Die Möglichkeit der Nutzung eines moderaten Gehölzflächenanteils auf Teilen des Grünlands würde vielerorts sicherlich zu einer ökonomischen Aufwertung der Grünlandflächen führen, ohne dass deren ökologischen Funktionen eingeschränkt würden. Von großem Vorteil wäre eine stärkere Verbreitung von silvopastoralen Agroforstsystemen aber vor allem für das Tierwohl bzw. die Tiergesundheit. Die Bäume bieten Schatten- und Windschutzbereiche, die von allen Weidetieren – ob Geflügel, Rinder oder Schafe – gerne aufgesucht werden. Dieser Aspekt kann sich auch positiv auf ökonomische Faktoren auswirken, wie z.B. diverse Studien in Bezug zur Milchleistung von Kühen bei Weidehaltung belegen (u.a. Buffington et al. 1983; Smith et al. 2013). Nach Soren (2012) ist Hitzestress bei jeglichem Weidevieh sogar die Hauptursache für eine geringere Produktionsleistung und damit für wirtschaftliche Nachteile. Das Weidetiere insbesondere während der Sommermonate vorzugsweise Schattenbereiche aufsuchen bzw. aufsuchen würden, ist auf Weideflächen, die an schattenspendenden Hecken oder Bäumen angrenzen, leicht zu beobachten (Abb. 1). Ähnliches gilt auch mit Blick auf den Schutz vor Wind und Witterungsunbilden (z.B. Gregory 1995).



Abbildung 1: Weidetiere halten sich vorzugsweise im Schattenbereich von Bäumen auf (Foto links: Thomas Domin; Foto rechts: Onderwijsgek / Wikimedia)

Trotz dieser Vorteile werden in Deutschland Neuanpflanzungen von Gehölzen auf Grünland zum Teil als Grünlandumbruch gewertet, insbesondere dann, wenn es sich um zur Nutzung bestimmte Baumgruppen oder -streifen handelt. Die Pflanzung einzeln auf der Grünlandfläche verteilt stehender Bäume erscheint aus rechtlicher Sicht jedoch ohne Aberkennung des Grünlandstatus prinzipiell möglich, sofern deren Zahl nach gegenwärtigem Stand 100 pro Hektar nicht überschreitet (vgl. Artikel 9 Delegierte Verordnung (EU) Nr. 640/2014 der Kommission vom 11. März 2014). Die Etablierung von Streuobstwiesen besitzt hierbei einen Sonderstatus und wird in einigen Bundesländern sogar gefördert. Eine parallel zur Beweidung stattfindende Holznutzung ist derzeit allerdings nur bei einer Bewirtschaftung nach den Regeln des „Niederwaldes mit Kurzumtrieb“ (Kurzumtriebswirtschaft) möglich. Werden Gehölzflächen mit Nutzungshintergrund, die dann den

Status einer Dauerkultur innehaben, auf Grünland etabliert, so bedarf es einer Ausnahmegenehmigung. Wird diese erteilt, so ist aufgrund des Grünlanderhaltungsgebotes die „verlorengegangene“ Grünlandfläche andernorts vollständig zu ersetzen.

Diese Reglementierungen bewirken, dass nahezu kein Landwirtschaftsbetrieb silvopastorale Agroforstsysteme anlegt, was vor dem Hintergrund des sehr absolut ausgelegten Grünlanderhaltungsgebotes zwar gewollt, in Hinblick auf die Vorteilswirkungen eines moderaten Baumbestandes auf Grünland allerdings durchaus diskussionswürdig bzw. zu hinterfragen ist.

In dieser hier vorgestellten Studie geht es nicht um den Einfluss von Gehölzen auf die Gesundheit und Produktivität von Weidetieren. Vielmehr wurde ein möglicher, durch die Etablierung von Agroforstgehölzen bedingter, partieller Grünlandumbruch in Bezug auf den Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt des Bodens betrachtet. Neben der Biodiversität ist die Kohlenstoffspeicherung in Grünlandböden mit Blick auf den Klimaschutz eines der Hauptargumente für den Grünlanderhalt bzw. umgekehrt betrachtet, gegen die Etablierung silvopastoraler Agroforstsysteme. Ziel dieser Studie war es, mögliche Effekte der Anpflanzung von schnellwachsenden Baumarten auf verschiedene Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen im Boden ansatzweise zu quantifizieren, wobei Verfahren mit und ohne Bodenbearbeitung Berücksichtigung fanden. Hierbei konnte aufgrund der für solche Untersuchungen sehr kurzen Laufzeit des Forschungsprojektes AUFWERTEN lediglich die Initialphase nach der Etablierung der Gehölze untersucht werden. Diese ist für die Betrachtung einer möglichen, kurzfristig nach Bodenbearbeitung erfolgten Nährstoffmobilisierung zwar sehr bedeutsam, gestattet jedoch keine umfassende Beurteilung des sich langfristig einstellenden Kohlen- und Stickstoffvorrates im Boden. Aus Zeit- und Kostengründen musste sich zudem auf die Betrachtung der im Boden gebundenen Fraktionen beschränkt werden, weshalb Untersuchungen zu Austragsflüssen (z.B. Lachgasemissionen oder Nitratverlagerungen) nicht Bestandteil dieser Studie waren.

2 METHODIK

2.1 Versuchsfläche und Versuchsdesign

2.1.1 Lage und Beschreibung der Versuchsfläche

Für diese Studie wurde eine Grünlandfläche des Landwirtschaftsbetriebes Domin genutzt. Diese befindet sich in Peickwitz, einem Ortsteil von Senftenberg, ca. 50 km südwestlich von Cottbus, im südbrandenburgischen Landkreis Oberspreewald-Lausitz (Abb. 2).

Die Grünlandfläche hat eine Gesamtgröße von ca. 9 ha. Sie dient zur Beweidung durch Rinder und darüber hinaus zur Gewinnung von Grünfutter und Heu. Der Grundwasserstand variiert vornehmlich zwischen 80 und 100 cm unter Geländeoberfläche. Es ist davon auszugehen, dass diese Fläche vor einigen Jahrzehnten noch Niedermoorcharakter hatte. Gegenwärtig ist der zumeist zwischen 30 und 40 cm mächtige Oberbodenhorizont jedoch stark bis mäßig vererdet, so dass größtenteils ein Gley und nur noch in einigen feuchteren Bereichen ein Anmoorgley (Humusgehalt im Oberboden zw. 15 und 30 %) festgestellt werden konnte. Der Unterboden weist mindestens bis in eine Tiefe von 100 cm die Bodenart „Reiner Sand“ auf und ist – typisch für einen Gley – durch Oxidationsmerkmale gekennzeichnet.

Auf der gesamten Fläche wurde bis zum Zeitpunkt der Probenahmen einmal pro Jahr gekalkt. Vor der Etablierung der Gehölzstreifen erfolgte am 11.11.2015 auf einem Großteil der Fläche (vgl. Abb. 5) die Ausbringung von Gülle (20 m³/ha). Weitere bewirtschaftungsrelevante Informationen sowie Angaben zum Klima und der Standortscharakterisierung sind bei Werwoll und Müller-Nilsson (2017) zu finden.

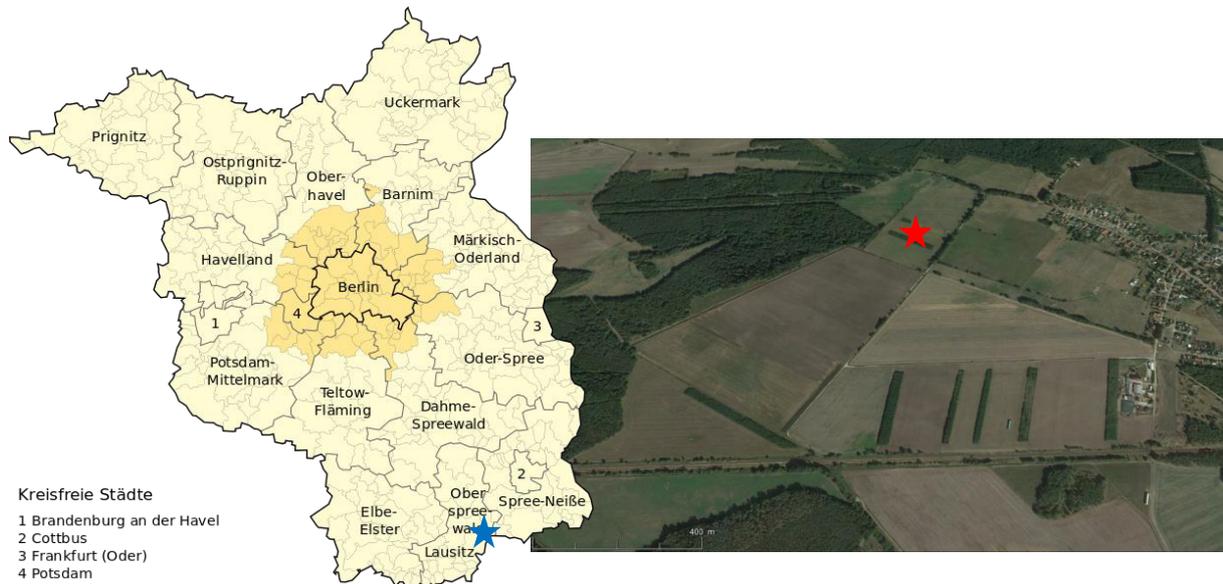


Abbildung 2: Lage der Versuchsfläche (★) in Brandenburg (links) und Luftbild der Versuchsfläche (★) mit Umgebung (rechts) (Quelle der Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

2.1.2 Anordnung der Versuchsglieder

Auf der Grünlandfläche wurden am 23. und 24.03.2016 zwei jeweils ca. 25 m breite Gehölzstreifen mit unterschiedlichen, stockausschlagsfähigen Baumarten etabliert. Auf dem nördlich gelegenen Streifen erfolgte zu je einem Viertel der Anbau von Pappeln (Sorte Max 1 [*Populus maximowiczii* x *Populus nigra*]) und Weiden (*Salix alba*) mittels Stecklingen sowie Pappeln und Weiden mittels Steckruten. Der südliche Gehölzstreifen wurde zur Hälfte mit einjährigen Schwarzerlensämlingen (*Alnus glutinosa*) bepflanzt und auf die andere Hälfte wurden ebenfalls Pappelstecklinge ausgebracht. Letzterer Flächenbereich wurde für diese Untersuchungen jedoch nicht herangezogen (Abb. 4).

Die Bereiche mit Stecklingen und Schwarzerle wurden kurz vor dem Einbringen des Pflanzgutes (18.03.2016) gepflügt (Abb. 3). Dies ist im Vorfeld des Einbringens von Stecklingen eine übliche Vorgehensweise. In den Bereichen mit Steckruten erfolgte keine Bodenbearbeitung. Die Steckruten wurden mittels Handbohrer ca. 50 bis 60 cm tief in die Erde gebracht, ohne die Grasnarbe zwischen den Ruten zu beschädigen (Abb. 3). Durch die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Anpflanzung der Agroforstgehölze wurde sich erhofft, Aussagen zu möglichen Vor- und Nachteilen der Flächenetablierung auf Grünland treffen zu können.



Abbildung 3: Grünlandfläche kurz nach Etablierung der Schwarzerlen mit vorherigem Pflügen des Bodens (links) und der Weidenruten ohne flächiger Bodenverwundung (rechts)

Als Referenz wurde ein Beprobungsplot südlich der Gehölzstreifen eingerichtet. Um bezüglich der untersuchten Bodenparameter den Ausgangszustand zu erfassen, wurden die Randbereiche einiger Gehölzflächen ebenfalls für Probenahmen herangezogen (Abb. 4).

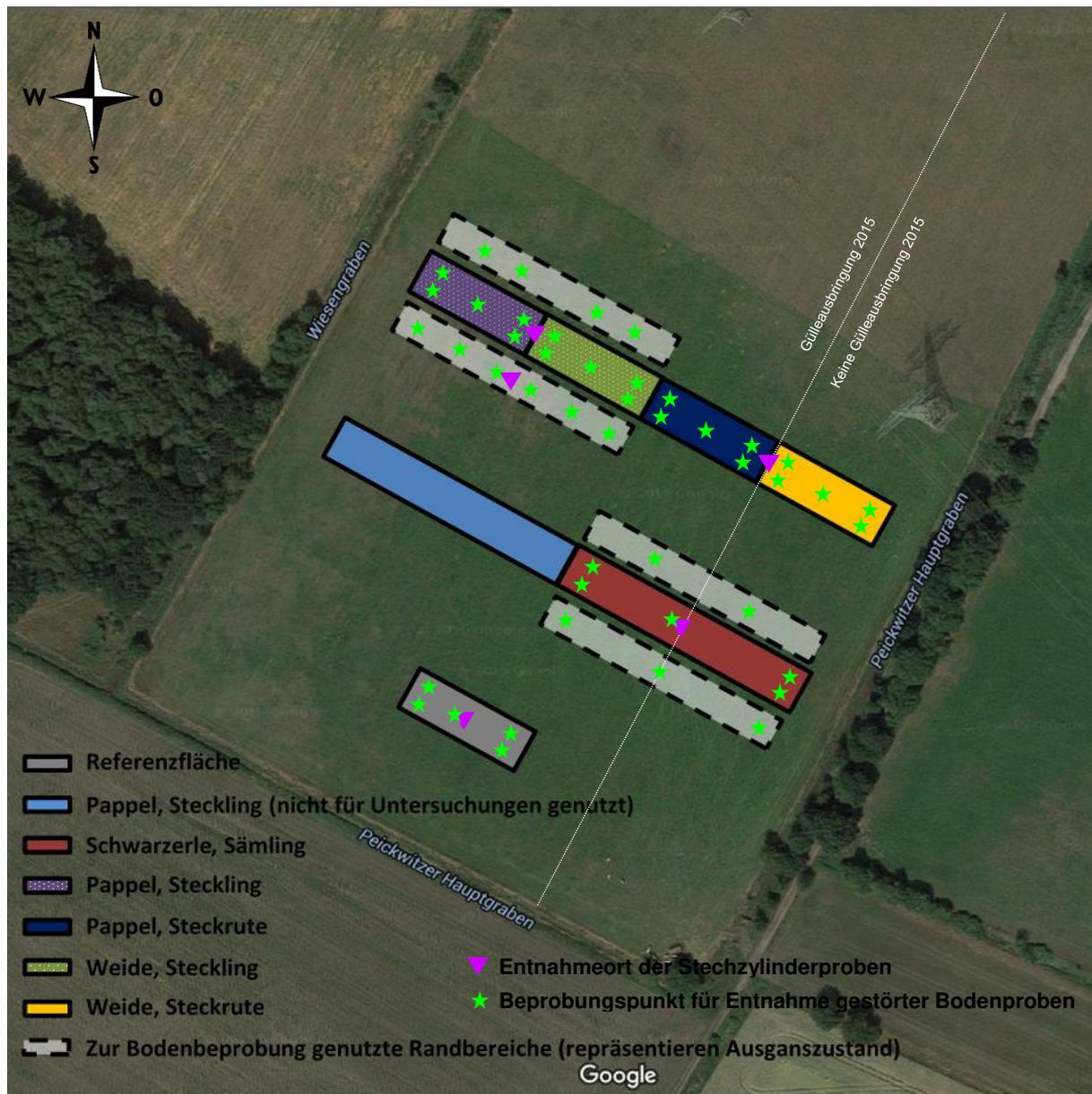


Abbildung 4: Versuchsaufbau der Grünlandfläche in Peickwitz (Quelle des Luftbildes: Google Maps)

2.2. Bodenprobenahme

Die erste Entnahme von Bodenproben erfolgte Ende März 2016, kurz nach dem Einbringen des Pflanzgutes in den Boden. Weitere Probenahmen wurden im Mai 2016, April 2017 und Mai 2019 durchgeführt. Die Randbereiche (vgl. Abb. 4) wurden lediglich im März 2016 und zum Teil im Mai 2019 beprobt. Da das Wuchsverhalten bei den als Ruten gepflanzten Bäumen nicht zufriedenstellend war und diese Form der Flächenetablierung auf Grünland mit Blick auf die Biomasseproduktionsleistung nach diesen Erfahrungen somit nicht empfohlen werden kann, wurde im Mai 2019 auf die Beprobung der Versuchsplots mit Steckruten verzichtet.

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte nach Entfernung einer etwaigen Streuschicht manuell mittels Bohrstock (Pürckhauer bzw. Bohrstock mit 4 cm Durchmesser). In jedem Versuchsplot (vgl. Abb. 4) wurden entsprechend einer X-Form jeweils 5 Punkte beprobt. An jedem Punkt erfolgten

mehrere Einstiche. Bei den Beprobungen der Randbereiche lagen zwei Punkte auf einer und drei auf der anderen Seite des jeweiligen Versuchsplots (vgl. Abb. 4). Das Probenmaterial wurde in PE-Beutel abgefüllt und im Labor bis zur Analyse bei -18 °C gelagert.

Die Beprobung erfolgte getrennt nach den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm und 30-60 cm. Zu erwähnen ist hierbei, dass die Mächtigkeit des A-Horizontes auf der Fläche zwischen knapp 30 und reichlich 40 cm variierte. Dies führte dazu, dass die Tiefenstufe 30-60 cm je nach Lage des Beprobungspunktes unterschiedliche Anteile an humosem Material des A-Horizontes aufwies. Die hiermit verbundene große Variabilität wurde zu Gunsten einheitlicher Beprobungstiefen in Kauf genommen, ist aber bei der Interpretation der Daten zu beachten.

Neben gestörten Bodenproben wurden mittels Stechzylinder (Volumen = 100 cm^3) für die Bestimmung der Trockenrohdichte im März 2016 und Mai 2019 auch ungestörte Bodenproben entnommen. Die Entnahme erfolgte horizontal zur Bodenoberfläche entsprechend der genannten Tiefenstufen, wobei die Probenanzahl je Profil und Tiefenstufe vier betrug. Die Profile zur Beprobung mittels Stechzylinder befanden sich im Übergangsbereich der gepflügten Versuchsplots Pappel-Steckling und Weide-Steckling sowie im hieran südlich angrenzenden Randbereich, im Übergangsbereich der nicht gepflügten Versuchsplots Pappel-Rute und Weide-Rute, in der Mitte des Plots mit Schwarzerle und auf dem Referenzplot (vgl. Abb. 4).

2.3 Analysen und Berechnungen

2.3.1 Aufbereitung der Bodenproben

Sämtliche bodenkundlichen Analysen wurden an Feinboden ($< 2\text{ mm}$) durchgeführt. Die Bestimmung der Gehalte an mineralischem Stickstoff (N_{\min}) erfolgte an Frischboden. Für die Bestimmung der Bodenazidität sowie der Kohlenstoff- und weiteren Stickstofffraktionen erfolgte an getrocknetem (40 °C) Feinboden. Für die Bestimmung des Gehaltes an organischem Gesamtkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t) wurden die Proben zusätzlich gemahlen.

2.3.2 Bodentextur, Skelettgehalt und Trockenrohdichte

Die Bestimmung der Bodentextur erfolgte mittels Fingerprobe im Feld nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung 2005.

Der Skelettgehalt wurde anhand des Verhältnisses zwischen Fein- und Grobboden ermittelt. Hierzu wurde der Boden $< 2\text{ mm}$ gesiebt und anschließend sowohl der Feinboden als auch der Grobboden gewogen.

Für die Bestimmung der Trockenrohdichte wurden die mittels Stechzylinder (Volumen = 100 cm^3) entnommenen, ungestörten Proben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

2.3.3 Bodenazidität

Die Bestimmung des pH-Wertes als Maß der Bodenazidität wurde elektrometrisch in 0,01 M CaCl_2 -Lösung mittels eines pH-Meters (Multilab 540) durchgeführt (Boden-Lösungs-Verhältnis = 1 : 2,5).

2.3.4 Gehalt an organischem Gesamtkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t)

Aufgrund der Ergebnisse der pH-Wert-Messungen war davon auszugehen, dass kein carbonatisch gebundener Kohlenstoff im Boden vorliegt und folglich es sich bei dem gemessenen Gehalt an Gesamtkohlenstoff um organischen Gesamtkohlenstoff handelt. Die Ermittlung der Gehalte an organischem Gesamtkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t) erfolgte durch die Verbrennung

gemahlener Probenaliquote im Heißluftstrom eines CNS-Analysators (Elementar vario Micro cube).

2.3.5 Gehalt an heißwasserextrahierbarem organischen Kohlenstoff (HWC_{org}) und heißwasserextrahierbarem Stickstoff (HWN)

Für die Bestimmung des heißwasserextrahierbaren organischen Kohlenstoffs (HWC_{org}) und heißwasserextrahierbaren Stickstoffs (HWN) wurden 5 g (bei Proben des humusfreien bis humusarmen Unterbodens zum Teil auch 10 g) Boden für 60 min in 50 ml destilliertem Wasser gekocht und nach Abkühlung sowie Zugabe von 2 ml 2 N Mg_2SO_4 -Lösung für 10 min bei 4000 $U\ min^{-1}$ zentrifugiert. Die Messung der Konzentrationen erfolgte an den dekantierten Extrakten mittels eines CN-Analysators (Shimadzu).

2.3.6 Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min})

Der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}) ist die Summe der gemessenen Gehalte an Ammonium-Stickstoff (NH_4^+ -N) und Nitratstickstoff (NO_3^- -N). Die Bestimmung dieser Stickstofffraktionen erfolgte durch Extraktion mittels 0,01 M $CaCl_2$ -Lösung (Boden-Lösungs-Verhältnis = 1 : 4). Die Proben wurden 30 min geschüttelt und anschließend über stickstoffarme Filter (Sartorius, Typ 292) filtriert. Die Messung des NH_4^+ -N und NO_3^- -N erfolgte an den Filtraten unter Verwendung eines Fließ-Injektions-Analysators (High Laboratory System).

2.3.7 Berechnung der Vorräte

Die Vorräte wurden unter Berücksichtigung der Trockenrohddichte (TRD), des Skelettgehaltes (SG) und der Bodentiefe (BT) nach folgender Formel ermittelt:

$$Vorrat \left(\frac{kg}{ha} \right) = Gehalt \left(\frac{mg}{kg} \right) * TRD \left(\frac{g}{cm^3} \right) * BT (m) * \left(\frac{1 - SG (\%)}{100} \right) * 10$$

2.3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mittels nichtparametrischen Verfahren. Für den Vergleich von unabhängigen Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test (Mann und Whitney, 1947) verwendet. Hierbei wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ angenommen. Aufgrund des großen Umfangs an Einzelergebnissen wurde in diesem Loseblatt auf eine grafische oder tabellarische Darstellung der Statistik-Ergebnisse verzichtet und auf wichtige Aspekte lediglich im Text verwiesen.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 pH-Wert

Die Bodenazidität auf der Grünlandfläche lag im mäßig sauren (4,7 bis < 5,4), unterhalb 30 cm Tiefe zum Teil auch im stark sauren (4,0 bis < 4,7) Bereich (Abb. 5). Vor allem in 0-10 cm Bodentiefe ist auffallend, dass es durch die Bodenbearbeitung zu einer Absenkung des pH-Wertes um etwa 0,7 Einheiten kam. Diese größtenteils statistisch signifikanten Differenzen waren sowohl zwischen gepflügten Parzellen und Referenz als auch zwischen gepflügten Parzellen und nicht bearbeiteten Randbereichen erkennbar. Auch im Bereich der Steckruten, wo ebenfalls nicht gepflügt wurde, war keine nennenswerte Verringerung des pH-Wertes feststellbar (Abb. 5a). In 10-30 cm Tiefe traten die Unterschiede in etwas abgeschwächter Form auf, waren aber dennoch erkennbar. Als wichtigste Ursache für die bearbeitungsbedingte Versauerung ist eine erhöhte Nitrifikationsrate (also eine verstärkte Umwandlung von Ammonium zu Nitrit bzw. Nitrat) anzunehmen, die durch die

Sauerstoffzufuhr im Rahmen des Pflügens begünstigt wurde. Hierauf weisen auch die Differenzen der N_{\min} -Werte zwischen gepflügten und nicht gepflügten Plots im März 2016 hin, vor allem in 10-30 cm Tiefe (vgl. Abb. 12).

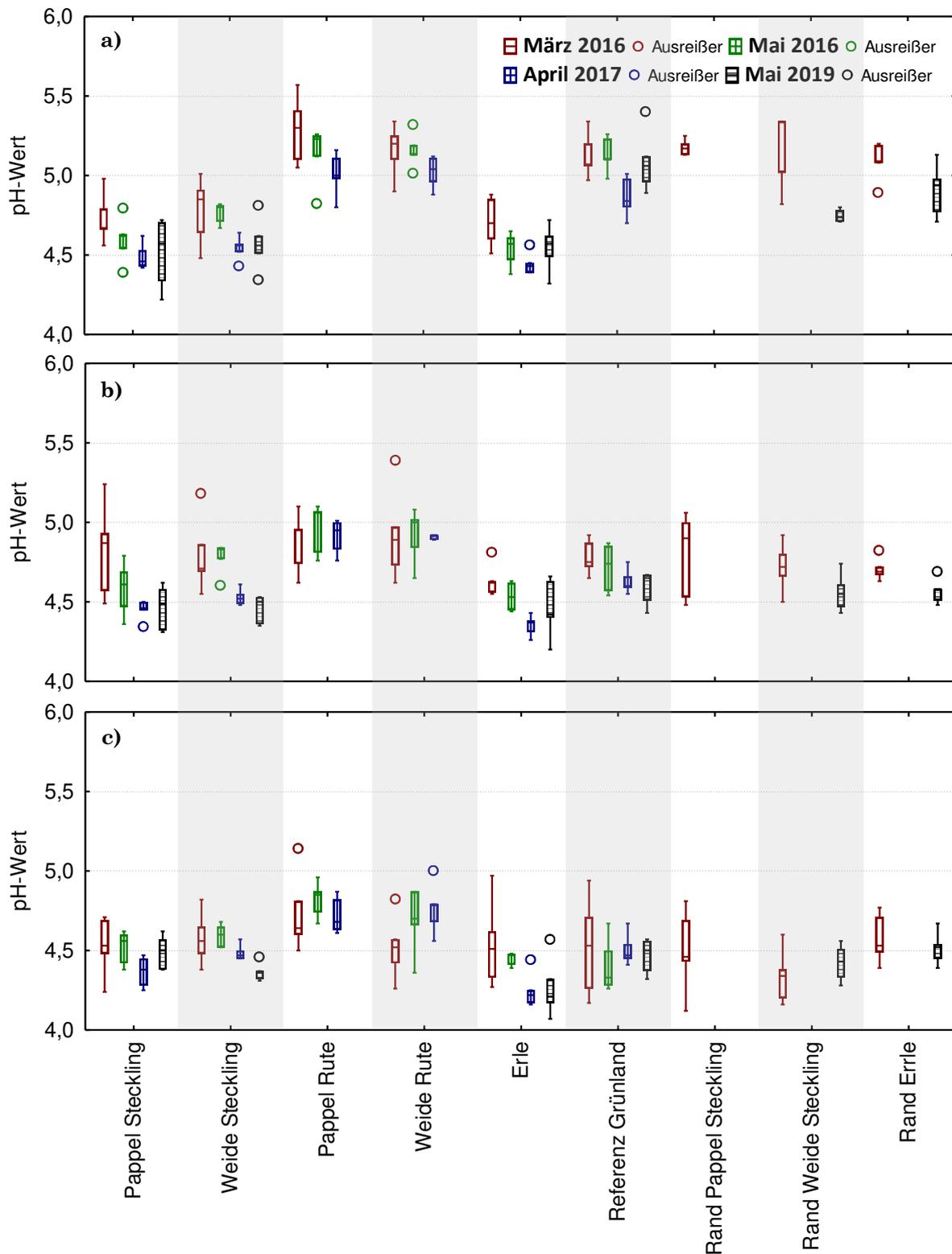


Abbildung 5: pH-Werte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

Die Zunahme der Bodenazidität ist auch noch bis zur Probenahme 2017 erkennbar, wobei der pH-Wert in diesem Jahr bei allen Versuchsgliedern tendenziell niedriger war (Abb. 5). In 2019 ist jedoch wieder eine Zunahme des pH-Wertes zu beobachten, so dass mittelfristig von einer Wiedernäherung des ursprünglichen pH-Wertes auszugehen ist.

Um eine Absenkung des pH-Wertes zu verhindern, wäre eine Kalkung vor oder direkt nach dem Pflügen angeraten. Erstes hätte den Vorteil, dass der säurepuffernde Kalk direkt in den Boden eingearbeitet würde.

Auch die Variante, Ruten ohne flächige Bodenverwundung einzubringen, erwies sich diesbezüglich durchaus als vorteilhaft. Jedoch ist die Praxistauglichkeit dieses Verfahrens aufgrund des deutlich geringeren Biomassezuwachses auf Grünland in Frage zu stellen.

3.2 Organischer Gesamtkohlenstoff (C_{org})

Die Medianwerte des C_{org} -Vorrates variierten in 0-10 cm Bodentiefe größtenteils zwischen 100.000 und 150.000 kg/ha. Eindeutige, auf die Versuchsglieder zurückzuführende Unterschiede waren nicht erkennbar und statistisch auch nicht nachweisbar (Abb. 6a). Lediglich der Randbereich an der Parzelle mit Weiden-Stecklingen hob sich mit etwas höheren Werten im März 2016 von den anderen Plots ab. Da die anderen Randbereiche und der Referenzplot jedoch keine höheren C_{org} -Werte aufwiesen, sind erkennbare Differenzen eher auf die Standortsheterogenität als auf die Etablierung der Agroforstgehölze zurückzuführen.

Mit Blick auf die anpflanzungsbedingte Bodenbearbeitung konnte in keiner der Tiefenstufen ein abnehmender Trend des C_{org} -Vorrates beobachtet werden. Allerdings ist der Schwankungsbereich auch sehr groß. So beträgt beispielsweise das Wertespektrum der Parzelle Pappel-Stecklinge im Mai 2019 in 10-30 cm Bodentiefe zwischen 120.000 und 350.000 kg/ha. Auch im März 2016 bewegten sich die C_{org} -Vorräte dieses Versuchsgliedes in diesem Wertebereich, wenngleich auch mit etwas geringerer Spannweite (Abb. 6b).

Auffallend in 0-60 cm Tiefe sind die hohen C_{org} -Vorräte auf dem Referenzplot (Abb. 6c). Diese sind auf die Beprobung fester Tiefenstufen zurückzuführen. So waren die Proben dieser Tiefenstufe aufgrund des mächtigeren A-Horizontes hier durch einen relativ hohen Anteil an humosem Material gekennzeichnet.

Da die Untersuchungsfläche aufgrund des ehemaligen Niedermoorcharakters durch vergleichsweise hohe C_{org} -Vorräte gekennzeichnet ist, sind geringfügige bewirtschaftungsbedingte Einflüsse in dem recht kurzen Untersuchungszeitraum nicht abbildbar. Für spezifizierte Aussagen zur Entwicklung des C_{org} -Vorrates sind prinzipiell längere Betrachtungszeiträume notwendig. Es ist also durchaus möglich, dass durch das partielle Pflügen eine geringe Abnahme des C_{org} -Vorrates im Boden stattgefunden hat. Wahrscheinlich ist aber auch, dass durch die Streu der Bäume im Oberboden ein etwaiger bearbeitungsbedingter Verlust an organischer Substanz wieder ausgeglichen oder langfristig sogar überkompensiert wird. Unabhängig von der Art der Vegetation ist auf diesem Standort jedoch mit einer Fortsetzung des Vererdungsprozesses zu rechnen, der effektiv nur durch einen dauerhaften Wiederanstieg des Grundwasserspiegels aufzuhalten ist. Dies wiederum könnte sich negativ auf die Grünlandbewirtschaftung mit Weidehaltung auswirken.

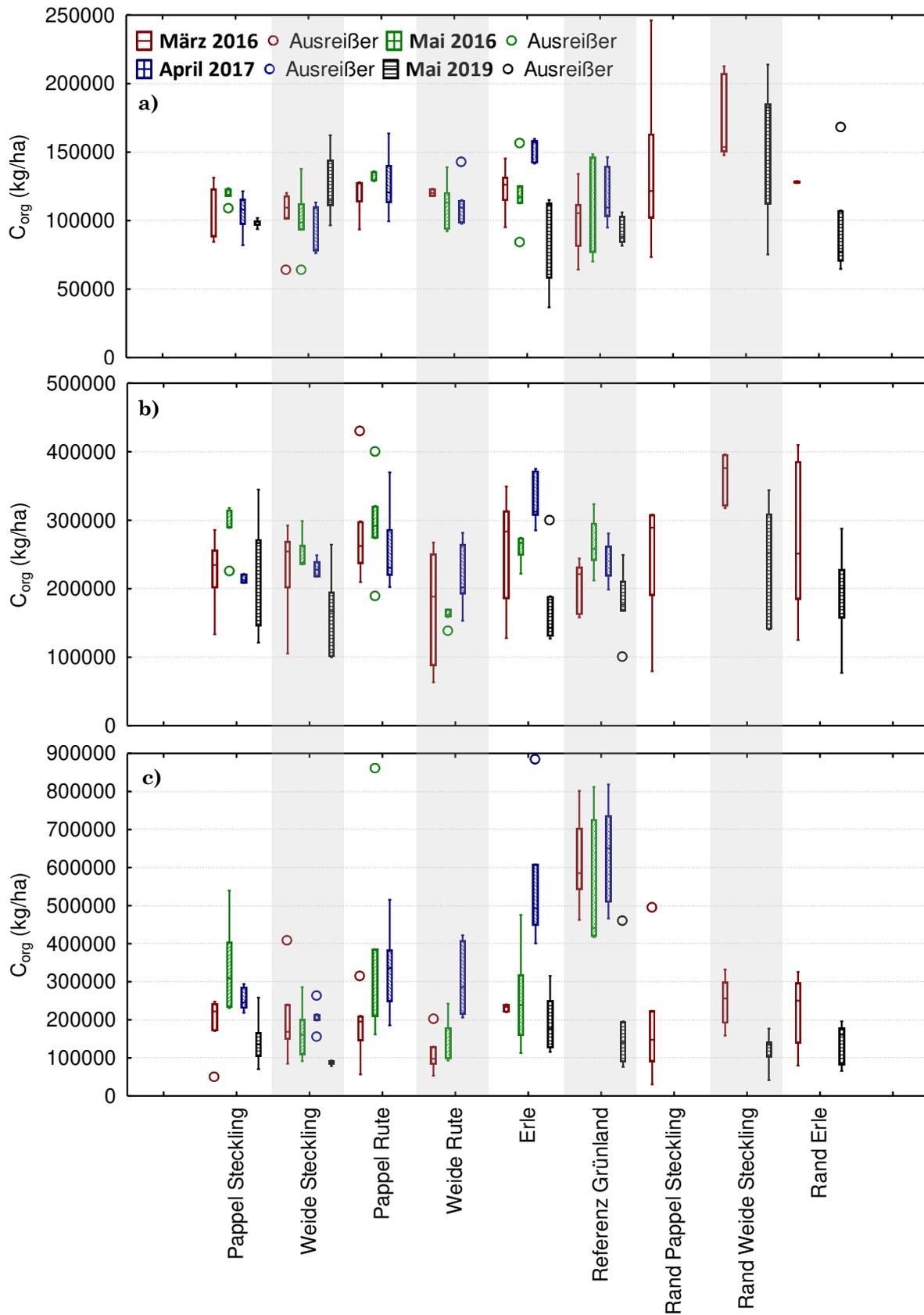


Abbildung 6: C_{org} -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

3.3 Heißwasserextrahierbarer organischer Kohlenstoff (HWC_{org})

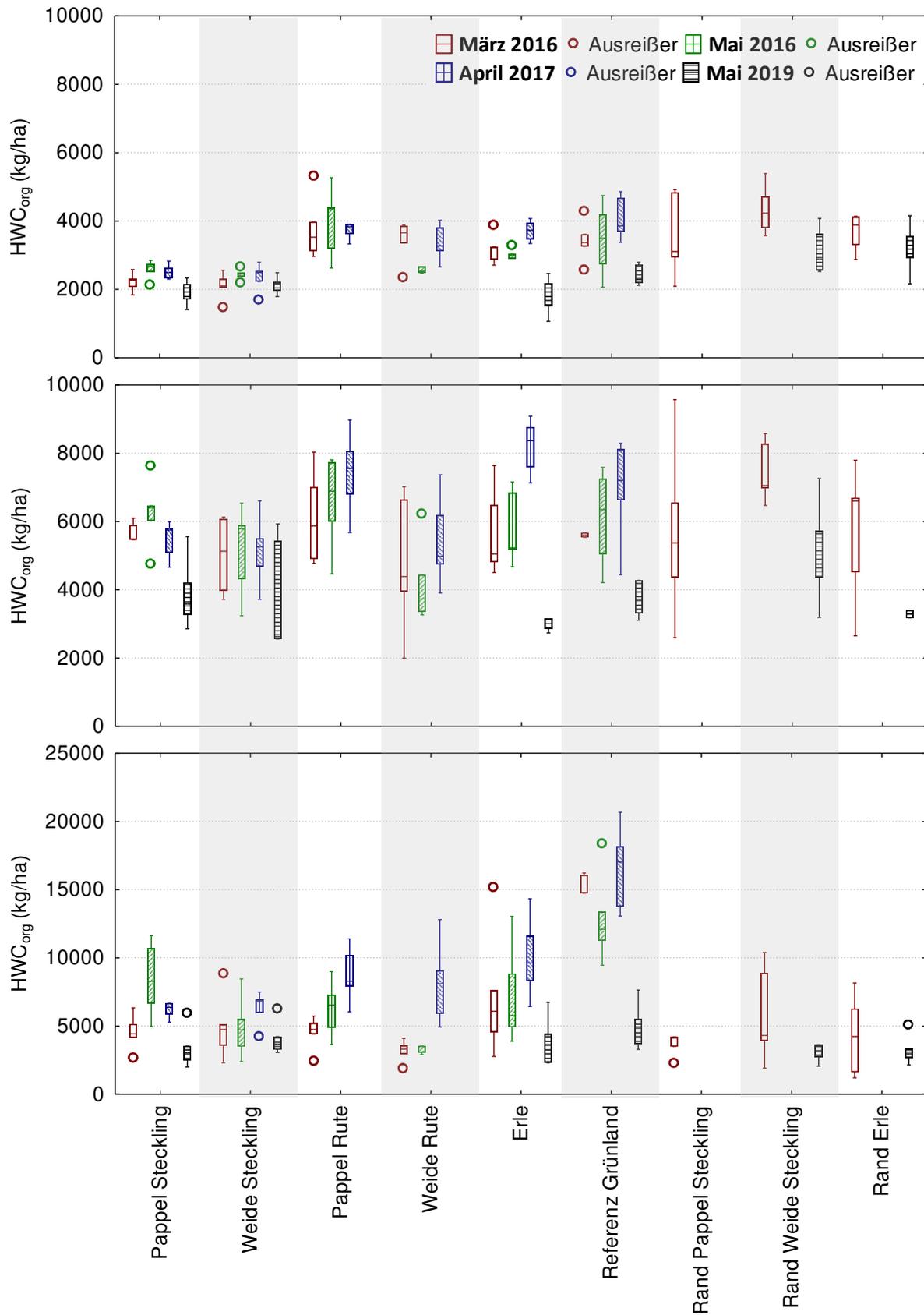


Abbildung 7: HWC_{org}-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

Der HWC_{org} steht für eine labile Fraktion des C_{org} . Landnutzungsänderungen spiegeln sich hier schneller wider (Böhm et al. 2010). Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern traten insbesondere in 0-10 cm Tiefe auf. In Abbildung 7a wird deutlich, dass die gepflügten Parzellen einen im Medianbereich um etwa 1.000 kg/ha niedrigeren HWC_{org} -Vorrat aufwiesen als die nicht bearbeiteten Parzellen mit Steckruten, wo im März 2016 ähnliche Werte wie im Boden des Referenzplots und der beprobten Randbereiche festgestellt wurden. Diese Unterschiede waren bis auf die Probenahme im Mai 2016 statistisch signifikant. Auch wenn nicht eindeutig belegbar ist, inwiefern hierfür die Bodenheterogenität als Ursache in Betracht kommt und es durchaus fraglich erscheint, ob die geringeren Werte tatsächlich zu 100 Prozent auf die Bodenbearbeitung, die erst wenige Tage vor der ersten Beprobung stattgefunden hatte, zurückzuführen sind, lässt sich eine rasche bearbeitungsbedingte Reduktion des HWC_{org} -Vorrates auch nicht ausschließen. Diese Annahme wird durch die enge räumliche Nähe der unterschiedlich behandelten Plots gestärkt. Dagegen spricht allerdings, dass im ebenfalls gepflügten Plot mit Schwarzerlen keine Differenzen zur Referenz und den nicht bearbeiteten Versuchsgliedern erkennbar sind.

Wie groß die Vorratsschwankungen auf der Untersuchungsfläche auch innerhalb eines Versuchsgliedes sind, zeigen die Werte in der Tiefenstufe 10-30 cm (Abb. 7b). Hier differierte z.B. der HWC_{org} -Vorrat im Boden der Parzelle mit Erle zwischen 2017 und 2019 um über 4.000 kg/ha. Diese Schwankungsbreite erschwert nutzungsbedingte Aussagen. Festhalten lässt sich dennoch, dass eine durch das Pflügen des Grünlandes bedingte mögliche Abnahme des HWC_{org} -Vorrates im Wesentlichen auf die oberen 10 cm des Bodens beschränkt blieb. Höhere Werte im 30-60 cm tiefen Boden des Referenzplots sind – analog zum C_{org} -Vorrat – probenahmebedingt (vgl. Abschnitt 3.2).

3.4 Gesamtstickstoff (N_t)

Bezüglich des N_t -Vorrates sind ähnlich wie bei dem C_{org} ebenfalls keine nennenswerten oder gar statistisch signifikanten Differenzen zwischen bearbeiteten und nicht bearbeiteten Teilflächen erkennbar. Dies gilt auch für die zeitliche Entwicklung. Auffallend sind lediglich die überdurchschnittlich hohen Vorräte im oberen Bodenbereich des Plots mit Pappel-Ruten (Abb. 8a), was möglicherweise auf eine rückblickend nicht mehr nachvollziehbare, lokale Anreicherung von stickstoffhaltiger organischer Substanz (wie z.B. tierische Exkremente) zurückzuführen ist.

In 0-10 cm Tiefe liegt die Mehrzahl der N_t -Vorratswerte zwischen 4.000 und 7.000 kg/ha (Abb. 8a). Das sich hieraus ergebende $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_t$ -Verhältnis mit über 20 signalisiert einen mäßig gehemmten Substanzabbau (Hoth und Meisel 2004), was für ehemalige Niedermoorböden mit hohem Humusgehalt durchaus typisch ist (MLUV 2003).

Die im Vorfeld der Anpflanzung durchgeführte Gülleausbringung kann zu einer kurzfristigen Erhöhung der Mineralisierungsrate beigetragen haben, auch wenn dies im N_t -Vorrat nicht erkennbar ist.

Allgemein nimmt die Schwankungsbreite der N_t -Vorräte mit zunehmender Bodentiefe zu (Abb. 8), was – ebenfalls analog zum C_{org} – auch mit den tiefenstufenbezogenen Beprobungsgrenzen in Zusammenhang stehen dürfte.

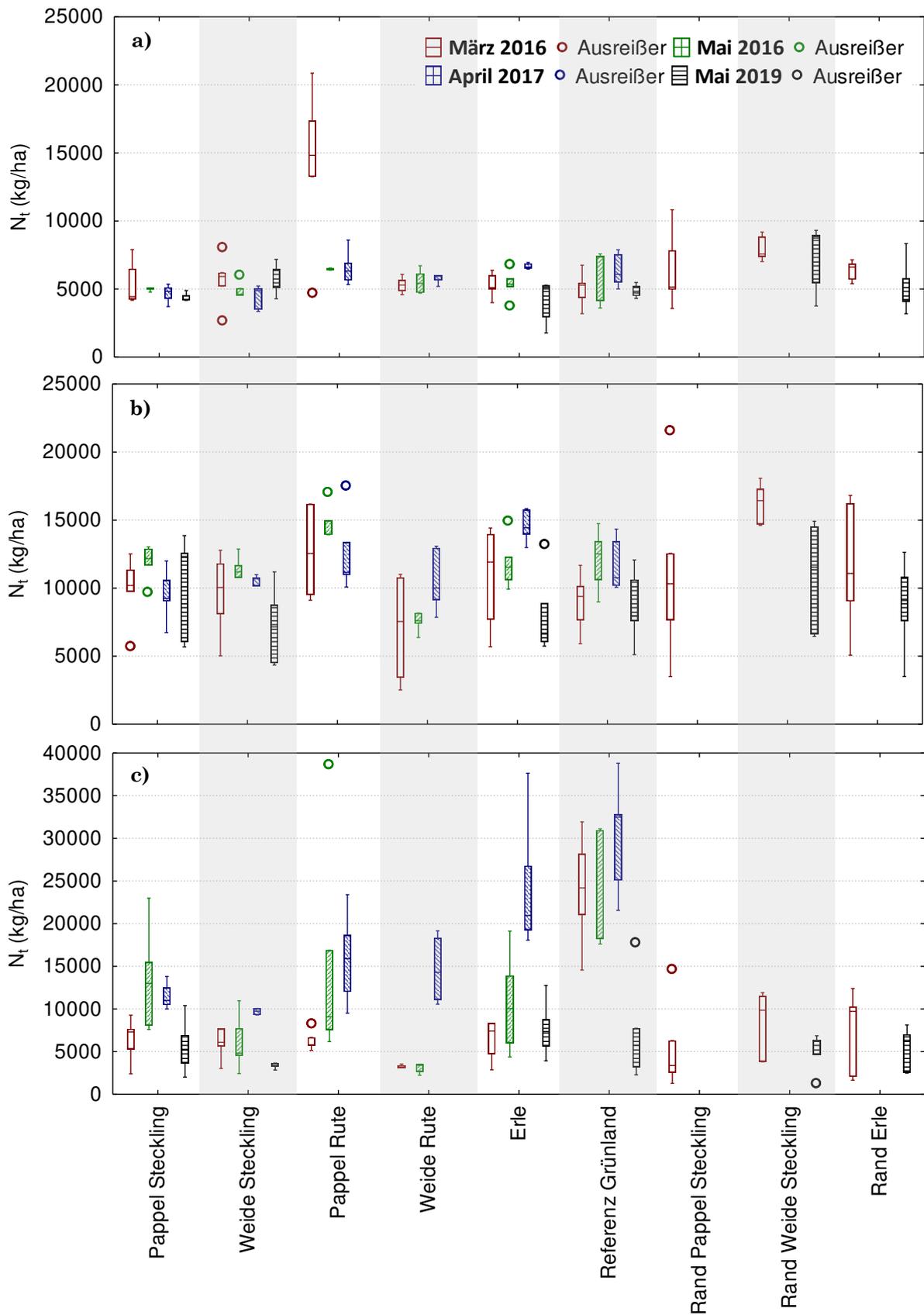


Abbildung 8: N_t-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

3.5 Heißwasserextrahierbarer Stickstoff (HWN)

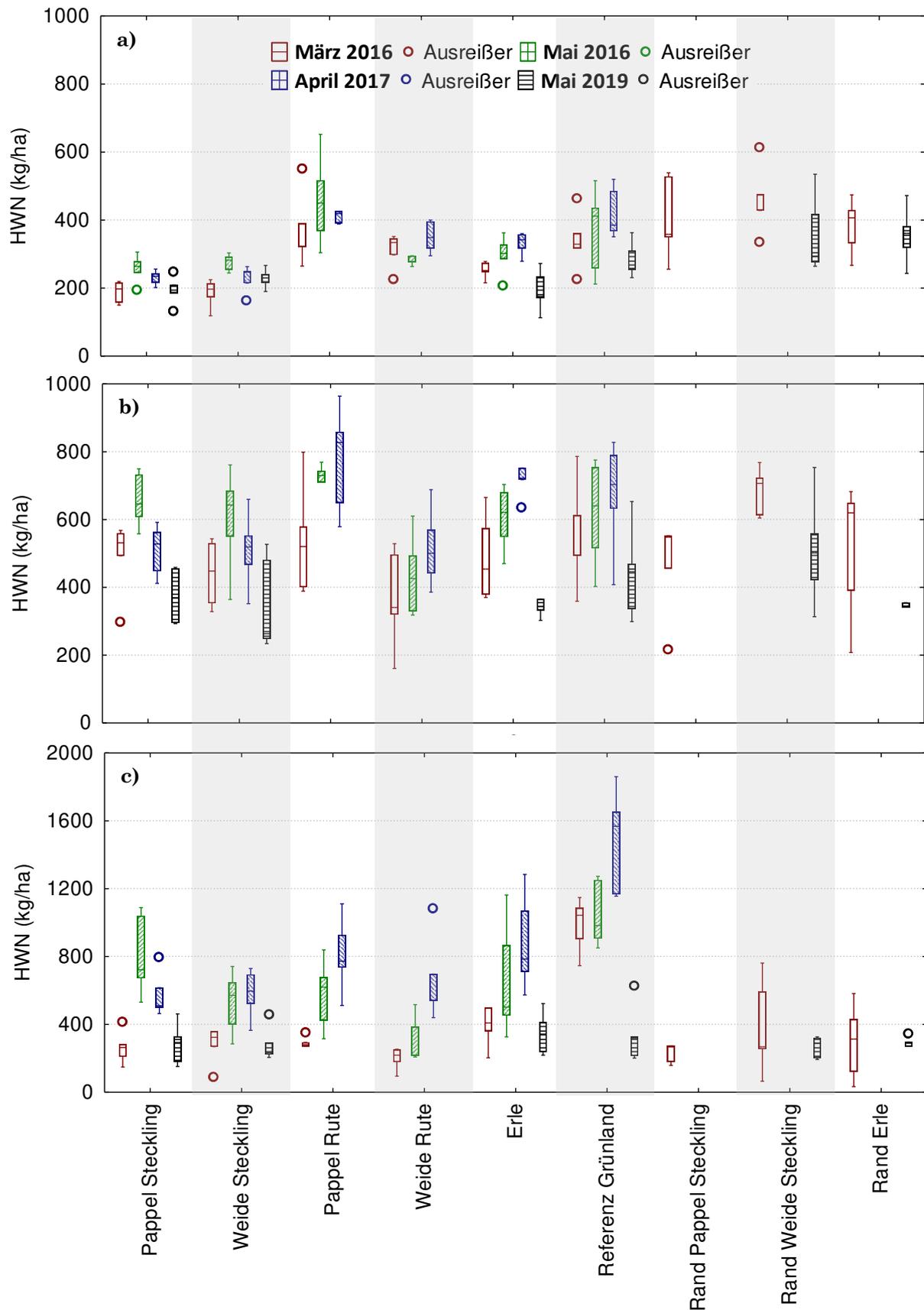


Abbildung 9: HWN-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

Der Vorrat an HWN war in der Bodentiefe 0-10 cm in den Bereichen ohne Bodenbearbeitung höher als bei den gepflügten Parzellen (Abb. 9a). Mit zunehmender Bodentiefe wurden die Wertespannen insgesamt größer bzw. die Differenzen zwischen den Versuchsgliedern undeutlicher und somit statistisch nicht mehr nachweisbar. Auffallend ist eine Zunahme des HWN-Vorrates von März 2016 zu Mai 2016, die mit einer Erhöhung des ebenfalls im HWN enthaltenen mineralischen Stickstoffvorrates im Boden zusammenhängen könnte. So wurden bezüglich des $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorrates ähnliche zeitliche Schwankungen festgestellt (vgl. Abb. 11). Im Gegensatz zum N_{min} war der HWN – trotz eines vermeintlich höheren N_{min} -Gehaltes – bei den Stecklingsvarianten jedoch insgesamt niedriger als bei den Parzellen mit Ruten und der Referenz. Dies lässt den Schluss zu, dass durch die Bodenbearbeitung eine verstärkte Mineralisierung des als leicht nachlieferbar geltenden organischen HWN stattgefunden hat.

3.6 Mineralischer Stickstoff (N_{min})

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Vorräte an Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) und Nitratstickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$), die zusammen den N_{min} ergeben. Der $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Vorrat lag im Wesentlichen zwischen 5 und 20 kg/ha, in 30-60 cm Tiefe vor allem im April 2017 auch deutlich darüber (Abb. 10). Insgesamt war der $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Vorrat aber niedriger als jener des $\text{NO}_3\text{-N}$ (Abb. 11).

Auffallend ist, dass die Variabilität des Wertebereichs des mineralischen Stickstoffvorrates innerhalb eines Versuchsgliedes, sowohl während eines Beprobungstermins als auch im zeitlichen Verlauf der Untersuchungsperiode, häufig deutlich größer als jener zwischen unterschiedlichen Versuchsgliedern war. Zwar sind vor allem bis in eine Bodentiefe von 30 cm zum Teil signifikante Unterschiede feststellbar gewesen, jedoch betrifft dies vor allem den $\text{NO}_3\text{-N}$ und hier die Probenahme Mai 2016. Zu diesem Zeitpunkt wurden auf den gepflügten Arealen (Pappel- und Weide-Steckling sowie Erle) drei- bis viermal so viel $\text{NO}_3\text{-N}$ bestimmt wie auf den nicht bearbeiteten Parzellen (Abb. 11 a und b). Wie zuvor bereits erwähnt, bewirkte die bearbeitungsbedingte Sauerstoffzufuhr eine kurzzeitige Erhöhung der Nitrifikation und damit des $\text{NO}_3\text{-N}$. Diese Zunahme kann mit einem verstärkten Nitrat austrag in das oberflächennahe Grundwasser verbunden sein. Um diesen Effekt zu mindern, wäre es zu überlegen, direkt nach dem Pflügen eine Kultur einzusäen, die einerseits Stickstoff aufnehmen und andererseits keine oder zumindest nur eine schwache Konkurrenz für die Bäume darstellt. Letzteres ist jedoch gerade bei Stecklingen, die dann sehr schnell von der angebauten Kultur „überwachsen“ werden, nicht unkritisch zu sehen und kann gegenüber einer vollständigen Unterdrückung von krautiger Vegetation mit geringeren Biomasseerträgen verbunden sein (Lfl 2019).

Bereits im April 2017 waren im Oberboden die Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern mit und ohne Bodenbearbeitung deutlich geringer bzw. nicht mehr nachweisbar. Weiterhin detektierbar waren diese jedoch in einer Bodentiefe von 30-60 cm, wobei der Bereich mit Erle besonders deutlich herausstach (Abb. 11 c). Hier stellten sich die initialen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte erst 2019 wieder ein. Dies könnte ein Indiz für eine zeitlich verzögerte $\text{NO}_3\text{-N}$ -Verlagerung sein. Allerdings weist der Boden in dieser Tiefe neben dem Plot mit Erle auch im Referenzplot sowie bei den Versuchsgliedern mit Steckruten im April 2017 einen deutlich erhöhten $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Vorrat auf (Abb. 10 c). Der N_{min} -Vorrat war zu diesem Beprobungstermin im Unterboden also allgemein vergleichsweise hoch, wobei die Bedingungen für eine Nitrifikation bei den bearbeiteten Varianten offensichtlich günstiger waren. Inwieweit dies auf das zwei Jahre zuvor erfolgte Pflügen zurückzuführen ist, konnte anhand der Daten dieser Studie nicht eindeutig aufgeklärt werden. Für eine Risikoabschätzung bezüglich einer potentiell – wenn gegebenenfalls auch nur kurzzeitig – ansteigenden $\text{NO}_3\text{-N}$ -Verlagerung sind weitere Untersuchungen, vor allem über längere Zeiträume, notwendig. In diesem Zusammenhang sollte auch beleuchtet werden, inwieweit die Schwarzerle aufgrund ihrer auf Symbiose beruhenden Fähigkeit, Luftstickstoff zu binden bzw. zu nutzen, besonders stark zu einer Anreicherung und Verlagerung von N_{min} im Boden beiträgt.

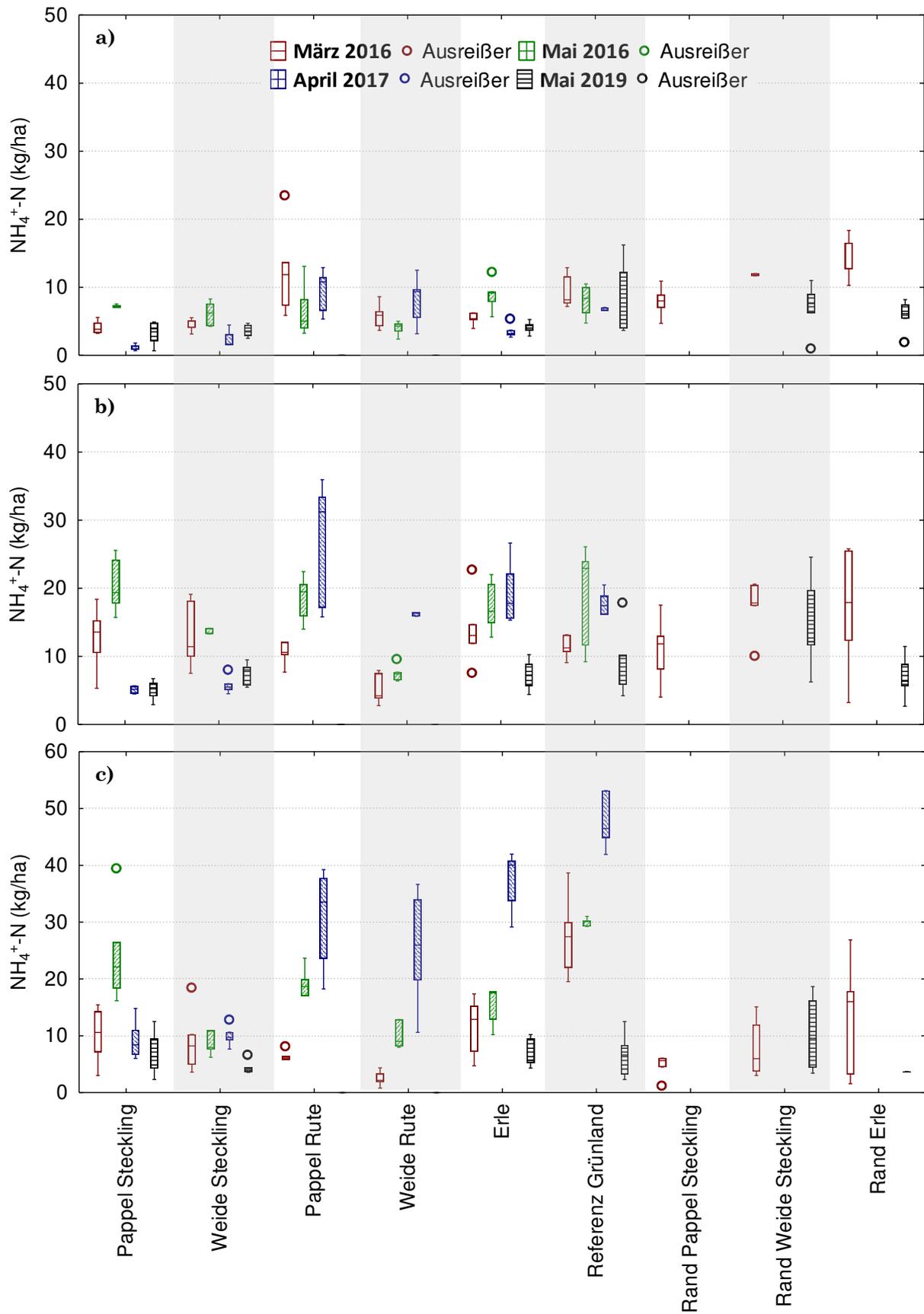


Abbildung 10: $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

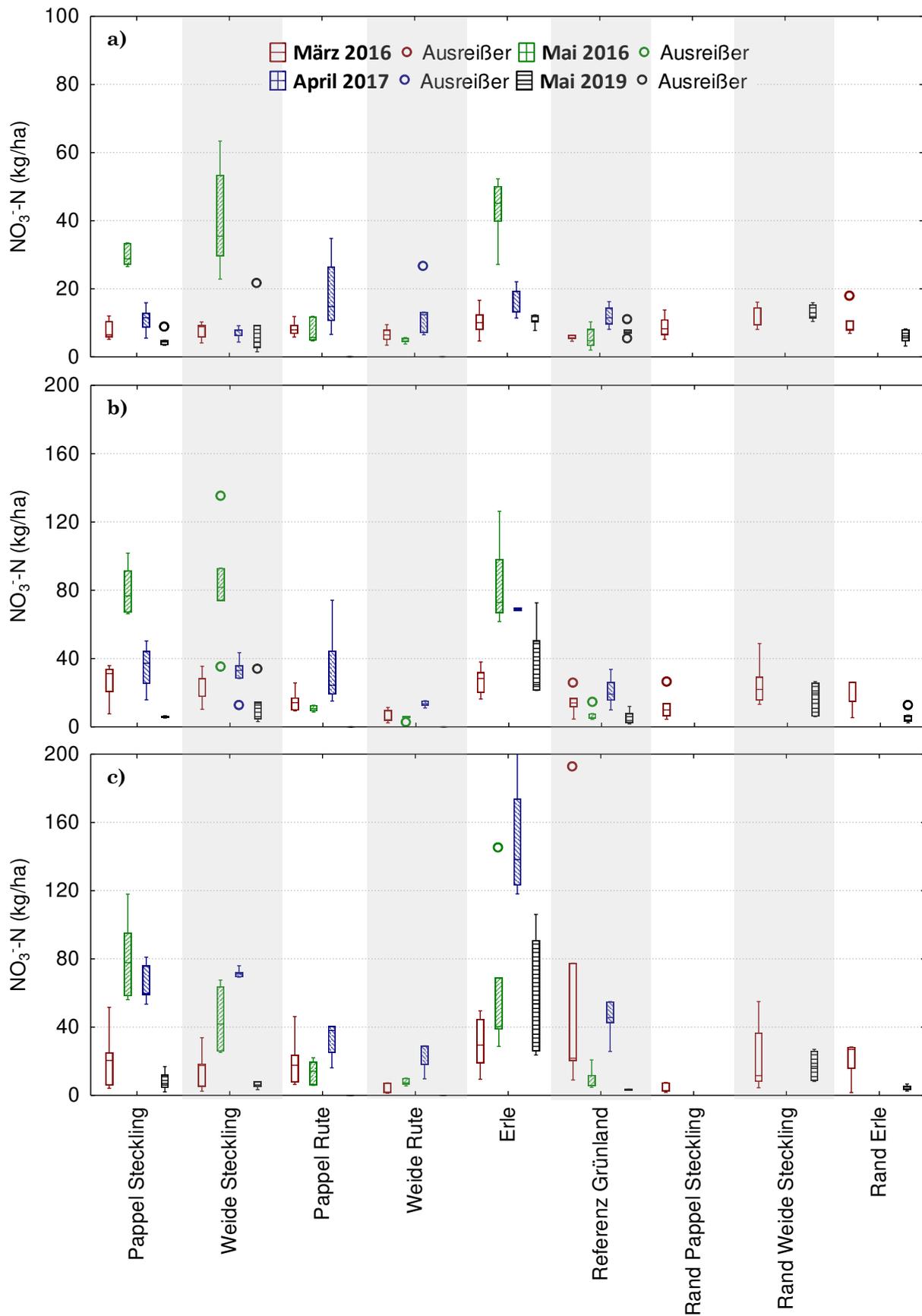


Abbildung 11: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte des Bodens in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsglieder (vgl. Abb. 5) während des Untersuchungszeitraumes von März 2016 bis Mai 2019, getrennt nach den Tiefenstufen **a)** 0-10 cm, **b)** 10-30 cm und **c)** 30-60 cm (**unten**) (Querstrich in der Box = Medianwert; Box = 25 % bis 75 % der Werte; Whisker = Minimum- und Maximum-Werte ohne Ausreißer)

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Anhand der vorliegenden Studie ist eine abschließende Bewertung der Anlage von Gehölzstreifen auf Grünland mit Blick auf eine etwaige Kohlenstoff- und Stickstofffreisetzung nicht möglich. Hierzu sind längere Untersuchungszeiträume sowie zeitlich höher aufgelöste Beprobungsintervalle notwendig. Außerdem sollten bei künftigen Untersuchungen auch umweltrelevante Treibhausgasemissionen und Austräge in das Grundwasser beleuchtet werden, so dass Bilanzen gerechnet werden können, die auch eine durch die Bäume hervorgerufene Kohlenstoffakkumulation im Boden berücksichtigen.

Als problematisch erwies sich auch die starke Heterogenität der Fläche, welche eine statistische Ergebnisauswertung teilweise einschränkte. Ebenfalls hinderlich für eine eindeutige Interpretation der vorliegenden Untersuchungsdaten war die Ausbringung von Gülle auf einem Großteil der Teilflächen unmittelbar vor der Bepflanzung.

Ungeachtet dieser Unsicherheiten konnte durch die vorliegenden Daten aber dennoch gezeigt werden, dass ein Umbruch des Grünlandes im Zuge der Agroforstgehölzetaablierung durchaus mit zumindest kurzzeitigen Kohlenstoff- und Stickstofffreisetzungen verbunden sein kann. Die Auswirkungen waren allerdings zeitlich beschränkt und könnten gegebenenfalls durch entsprechende Maßnahmen wie Untersaat oder dem Beschränken des Pflügens auf schmale Pflanzstreifen abgemildert werden. Ein streifenförmiger Umbruch der Grasnarbe, wie es u.a. auch von Landgraf et al. 2018 beschrieben wird, könnte eine Kompromisslösung zwischen einem bestmöglichen Anwuchs und Zuwachs der Bäume einerseits und einer flächig so stark wie möglich beschränkten Bodenbearbeitung andererseits sein. Denn diese Studie zeigte auch, dass eine Bodenbearbeitung vor der Pflanzung ein wesentlicher Erfolgsfaktor für einen hohen Biomassezuwachs darstellt.

Generell ist vor der Agroforstanlage ein flächenspezifischer Abwägungsprozess angeraten. Hierbei ist es sinnvoll, auch andere betriebsrelevanten und gesellschaftlichen Ziele wie Aspekte des Tierwohls, des Landschaftsbildes, der Strukturvielfalt und der Wertschöpfung zu berücksichtigen. Wichtig bei der Bewertung der Agroforstflächenanlage auf Grünland ist ebenso der Flächenanteil der Gehölze. Je kleiner dieser ist, umso weniger fallen mögliche Kohlenstoff- und Stickstoffausträge mit Bezug auf die Gesamtfläche ins Gewicht. Bei Systemen mit Einzelbaumverteilungen oder Gehölzstreifen mit geringer Baumdichte dürften diese negativen Effekte im Zuge der Flächenanlage prinzipiell sehr gering bzw. nicht nachweisbar sein. Solche Systeme besitzen auf Grünland bei dem derzeit geltenden Grünlandumbruchverbot ohnehin eine größere Praxisrelevanz, da nach der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 640/2014 bis zu 100 Bäume je Hektar vorhanden sein können, ohne dass die Beihilfefähigkeit der Fläche in Frage gestellt oder der Grünlandstatus aberkannt wird. Ungeachtet dessen haben solche Systeme gegenüber dichteren Gehölzstreifen aber auch Nachteile. So ist beispielsweise bei geringeren Baumdichten von einer niedrigeren Windschutzwirkung auszugehen. Da die Anlage von Agroforstsystemen auf Grünland keine gängige Praxis darstellt, ist in jedem Falle die frühzeitige Einbindung der zuständigen unteren Behörden angeraten.

LITERATUR

- Böhm, C., Landgraf D., Makeschin F. (2010): Changes in total and labile carbon and nitrogen contents in a sandy soil after the conversion of a succession fallow to cultivated land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 46-54
- Buffington D.E., Collier R.J., Canton G.H. (1983): Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 26, 1798-1802
- Gregory N.G. (1995): The role of shelterbelts in protecting livestock: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 38, 423-450

- Hoth D., Meisel S. (2004): Methode der einfachen Moorbodenansprache. Gutachten im Auftrag der Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
- Landgraf D., Bärwilff B., Burger F., Pecenka R., Hering T., Schweier J. (2018): Produktivität, Management und Nutzung von Agrarholz. In: Veste M., Böhm C. (Hrsg.): Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft. Springer, Berlin, 447-510
- Lfl – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019): Agroforstsysteme zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau. Schriftenreihe der LfL 7
- Mann H., Whitney D. (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of mathematical Statistics* 18, 50-60
- MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (2003): Moorgley, Steckbriefe Brandenburger Böden
- Smith D.L., Smith T, Rude B.J., Ward S.H. (2013): Short communication: Comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science* 96, 3028-3033
- Soren N.M. (2012): Nutritional manipulations to optimize productivity during environmental stresses in livestock. In: Sejian V., Naqvi S.M.K., Ezeji T., Lakritz J., Lal R. (Hrsg.): *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Springer, Berlin, Heidelberg, 181-218
- Werwoll J, Müller-Nilsson A. (2017): Auswirkungen der Umwandlung von Grünlandflächen in Agroforstflächen auf die Prozesse der C- und N-Transformation in Böden im Kontext der Klimawirksamkeit. Studienprojekt BTU Cottbus-Senftenberg