

Kurzbericht zum Nährstoffstatus der Betriebsflächen Tempelhof

Sabine Zikeli, Universität Hohenheim, Kontakt: sabine.zikeli@uni-hohenheim.de

1. Material und Methoden

1.1. Probenahme

Auf den Flächen von Tempelhof wurden jeweils an mindestens sechs über die jeweilige Fläche verteilten Stellen Bodenproben von 0-10, 10-30 und 30-50 cm gezogen. Diese Tiefenstufen wurden getrennt aufgearbeitet und analysiert.

1.2. Probenaufbereitung und Analytik

Alle Bodenanalysen wurden an luftgetrockneten und auf 2 mm gesiebten Proben durchgeführt. Die Analysen erfolgten an der Core Facility der Universität Hohenheim.

Pflanzenverfügbares Phosphat (P_{CAL}) und Kalium (K_{CAL}): Extraktion nach VDLUFA (1991) mit Calcium-Acetat-Lactat bei pH 3,6; Messung mithilfe der Optischen Emissionsspektrometrie mit Induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES Varian Vista Pro)

Pflanzenverfügbares Magnesium (Mg_{verf}): Extraktion mit 0,0125 M $CaCl_2$ nach VDLUFA (1991), Messung mithilfe der Optischen Emissionsspektrometrie mit Induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES Varian Vista Pro)

Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N): Verbrennung der organischen Substanz und Bestimmung von C und N im Gasfluss nach VDLUFA (1991) unter Nutzung eines Elementar Analyzer Vario EL der Fa. Elementar, Baujahr 2014)

1.3. Auswertung

Da sich die aktuell gültige Klassifizierung der Nährstoffgehalte in Ackerböden und in gärtnerisch genutzten Böden immer auf eine Mischprobe eines Schläges aus der Tiefe von 0-30 cm bezieht (LTZ, 2010), wurden in der folgenden Auswertung immer ein Mittelwert über Proben einer Fläche aus den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm errechnet. Dabei ist zu beachten, dass die Entnahmetiefe für die Bewertung der Grundnährstoffversorgung im Obstbau bei 0-20 cm liegt (LTZ, 2010). Im Falle des Waldgartens wurde jedoch ebenfalls über eine Tiefe von 0-30 cm gemittelt, da sich auf dieser Fläche neben den tiefwurzelnenden Gehölzen auch einjährige Pflanzen und mehrjährige Stauden und Büsche befinden. Für Grünland wird eine Probenahmetiefe von 0-10 cm vorgeschrieben. In der Auswertung wurde jedoch immer für die Fläche „Vorderes Grünland“ ein Wert für die Beprobungstiefe von 0-30 cm errechnet, um die Fläche mit den anderen Flächen vergleichen zu können.

Für die Auswertung wurden die aktuell gültigen Gehaltsklassen zur Bewertung der Grundnährstoffversorgung aus Tabelle 1 zugrunde gelegt (LTZ 2009). Da bei der Bewertung der Gehalte von Magnesium (Mg) und Kalium (K) zwischen Böden unterschiedlicher Textur unterschieden wird (leicht, mittel, schwer) wurde für alle Standorte die Einstufung für „schwere Böden“ gewählt, da die Proben sehr tonhaltig waren. Da bisher keine Texturanalyse erfolgt ist, kann zur Korngrößenverteilung und damit zum Tongehalt keine genauere Angabe gemacht werden.

Tabelle 1: Gehaltsklassen für pflanzenverfügbares Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Mineralböden. Bezugsgröße: 100 g Boden gesiebt auf 2 mm, Beprobung 0-30 cm, Angaben in der Originaltabelle für P₂O₅ und K₂O, in der vorliegenden Tabelle für Reinnährstoffe berechnet (LTZ, 2009)

<i>Gehaltsklasse</i>	<i>P</i>	<i>K (schwere Böden)</i>	<i>Mg (schwere Böden)</i>
		<i>mg⁻¹ 100g Feinerde</i>	
A (sehr niedrig)	< 2	< 6	< 6
B (niedrig)	3 - 4	6 -12	6 - 10
C (optimal - anzustreben)	5 - 9	13 – 21	11 - 15
D (hoch)	10 - 20	22 – 29	16 - 25
E (sehr hoch)	> 20	> 29	> 25

Für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs C_{org} wurde zuerst in den Proben mit HCl das Vorhandensein von anorganischem Kohlenstoff in Form von Carbonaten geprüft. Erfolgte eine Reaktion, d.h. waren Carbonate vorhanden, wurde eine Verbrennung der Probe bei zwei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt, um die Carbonate und den Gesamtkohlenstoff (C_t) zu erfassen. C_{org} wurde anschließend rechnerisch nach folgender Formel ermittelt:

$$C_{org} (\%) = C_t (\%) - C_{anorg} (\%)$$

Für Carbonat-freie Proben gilt: C_t = C_{org}

Für die Bewertung des Humusgehaltes wurden die Werte aus Tab. 2 genutzt. Für die Berechnung des Humusgehalts wurde folgende Formel genutzt (LTZ, unbekannt):

$$\text{Humusgehalt} (\%) = C_{org} (\%) \times 1,72$$

Tab. 2: Einstufung des Humusgehalts in Mineralböden. Bezugsgröße: 100 g Boden gesiebt auf 2 mm, Beprobung 0-30 cm (LTZ, 2009)

<i>Gehaltsklasse</i>	<i>Humusgehalt</i>	<i>Kürzel</i>
stark humos	4% - 8%	h
sehr stark humos	> 8% - 15%	hh
anmoorig	> 15% - 30%	am
Moor	> 30%	Mo

2. Ergebnisse und Diskussion

2.1. Phosphor

Die Phosphor-Versorgung der Untersuchungsflächen ist mit Ausnahme der Standorte Tempelhof Kontrolle, Waldgarten und Vorderes Grünland sehr gut (Tab. 3). Die beiden konventionellen Kontrollflächen weisen niedrigere Gehalten an pflanzenverfügbarem P auf als die anliegenden Tempelhofer Untersuchungsflächen. Nach der neuen Düngeverordnung darf auf der Fläche Market Garden Nord und Süd mit den Düngemitteln höchstens so viel P ausgebracht werden,

wie mit dem Erntegut abgefahren wird, da die Flächen in der Gehaltsklasse D und E liegen, es sei denn, die in der Düngeverordnung festgelegten Ausnahmen greifen. Dies gilt auch für die Flächen Rotbach, Tempelfeld 2 und Tempelfeld 3. Wenn diese Flächen ackerbaulich genutzt werden, sind diese hohen Gehalte an pflanzenverfügbarem P unproblematisch, da N durch Leguminosen in die Fruchtfolge eingebracht werden kann und keine weitere Düngung mit z. B. Festmist oder Kompost notwendig ist. Mit dem Erntegut wird bei Getreide- und Leguminosenanbau außerdem P in größerem Umfang P entzogen.

Schwieriger stellt sich die Situation für die gartenbaulich genutzten Flächen dar. Um eine ausreichende N-Versorgung der Gemüsekulturen sicherzustellen, müssen Grund- und im ökologischen Landbau zugelassene Handelsdünger eingesetzt werden. Insbesondere die Grunddünger wie Festmist und Kompost sind jedoch Mehrnährstoffdünger, die P und K in einem Verhältnis enthalten, das nicht den Entzügen der Gemüsekulturen entspricht. Daher führt ihr Einsatz zwangsläufig zu Nährstoffungleichgewichten. Gewächshäuser sind von der Düngeverordnung ausgenommen. Sehr hohe Gehaltsklassen bei pflanzenverfügbarem P sind häufig in den Oberböden ökologisch bewirtschafteter Gewächshäuser zu finden (Zikeli et al. 2017). Hierbei ist zu beachten, dass sehr hohe P-Gehalte die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen negativ beeinflussen können (Norvell et al., 1987; Pérez-Novo et al., 2011).

Bei den Minima und Maxima der Gehalte an pflanzenverfügbarem P ist zu beachten, dass die Maxima jeweils aus der Tiefenstufe 0-10 cm und die Minima in der Tiefenstufe 10-30 cm zu finden waren.

Tabelle 3: Gehaltsklassen bezogen auf den Mittelwert für pflanzenverfügbaren Phosphor der Untersuchungsflächen Tempelhof (gemittelt über Probenahmepunkte und Probenahmetiefen (0-10 cm und 10-30 cm, n=Anzahl der Proben), MW=Mittelwert, Min=Minium, Max=Maximum

<i>Fläche</i>	<i>P mg 100 g⁻¹</i>			<i>Gehaltsklasse</i>	<i>n</i>
	MW	Min	Max		
Rotbach Kontrolle	11,6	5,1	13,8	D	8
Rotbach	12,5	4,2	18,1	D	10
Market Garden Nord	12,4	7,4	18,8	D	13
Market Garden Süd	25,8	15,6	37,4	E	13
Gewächshaus	24,5	10,7	55,1	E	8
Tempelfeld Kontrolle	3,8	1,0	6,7	B	11
Tempelfeld 1	7,0	3,5	12,9	C	8
Tempelfeld 2	15,3	7,9	27,6	D	6
Tempelfeld 3	31,4	26,6	35,5	E	4
Vorderes Grünland	2,7	1,3	5,5	B	6
Waldgarten	3,2	1,4	6,6	B	10

Inwieweit die niedrigen Gehalte an pflanzenverfügbarem P auf den Flächen Tempelhof Kontrolle, Waldgarten und Vorderes Grünland zu verringerten Erträgen führen können ist unklar. Die Extraktionsmethode CAL unterschätzt das in der organischen Substanz gebundene P (Wuenscher et al. 2015), welches jedoch auf vielen ökologisch bewirtschafteten Flächen einen großen Anteil der P-Fraktionen ausmacht. Bisher sind keine systematisch erhobenen Daten für P_{CAL} im Vergleich zu anderen P-Extraktionsverfahren, das organisch gebundene P besser erfassen, für ökologisch bewirtschaftete Böden vorhanden, so dass hier keine Aussage getroffen werden kann.

2.2. Kalium

Bis auf die Standorte Vorderes Grünland und Waldgarten (beide in der Gehaltsklasse B) sind alle Untersuchungsflächen optimal bis sehr gut mit K versorgt (Tab. 4). Die beiden konventionellen Kontrollflächen weisen im Fall von Rotbach Kontrolle ebenfalls sehr hohe Gehalte an pflanzenverfügbarem K auf, während die Fläche Tempelhof Kontrolle optimal versorgt ist. Auch hier benötigen die Flächen in den Gehaltsklassen D und E keine weitere Düngung mit K-haltigen Düngemitteln wie z.B. Festmist. Da diese Flächen auch bei P übertersorgt sind, kann die N-Versorgung sehr gut über den Anbau von Leguminosen gewährleistet werden. Auf diesem Wege wird nur in sehr geringem Maße P und K über das Saatgut importiert, jedoch mehr über das Erntegut entzogen. Auf den gärtnerisch genutzten Flächen können die hohen K-Gehalte langfristig sogar von Vorteil sein, da bedingt durch die Nährstoffverhältnisse in den Grunddüngern und die hohen K-Entzüge der Gemüsekulturen eher eine Tendenz zu einem K-Defizit in der Nährstoffbilanz haben. Da der Standort Waldgarten und der Standort Vorderes Grünland bei P in der Gehaltsklasse B liegen, können beide Standorte mit zusätzlichem Festmist oder Kompost gedüngt werden, wobei dies wahrscheinlich bei der Untersuchungsfläche Waldgarten aufgrund der extensiven Bewirtschaftung und der geringen Entzüge nicht notwendig ist.

Tabelle 4: Gehaltsklassen bezogen auf den Mittelwert (MW) für pflanzenverfügbares Kalium der Untersuchungsflächen Tempelhof (gemittelt über Probenahmepunkte und Probenahmetiefen (0-10 cm und 10-30 cm, n=Anzahl der Proben), MW=Mittelwert, Min=Minium, Max=Maximum

<i>Fläche</i>	<i>K mg 100 g⁻¹</i>			<i>Gehaltsklasse</i>	<i>n</i>
	<i>MW</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>		
Rotbach Kontrolle	36,9	21,7	53,6	E	8
Rotbach	33,6	7,6	70,4	E	11
Market Garden Nord	25,2	7,9	58,1	D	13
Market Garden Süd	86,3	27,7	142,3	E	13
Gewächshaus	60,3	20,0	131,1	E	8
Tempelfeld Kontrolle	18,2	6,7	26,9	C	11
Tempelfeld 1	20,3	9,7	29,8	C	8
Tempelfeld 2	32,1	23,7	44,0	D	6
Tempelfeld 3	69,9	50,0	83,9	E	4
Vorderes Grünland	5,2	4,0	8,1	B	6
Waldgarten	7,7	5,1	11,7	B	10

Ähnlich wie bei den Gehalten von pflanzenverfügbarem P tritt eine Stratifizierung von K in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe auf, so dass die Minima vor allem in der Bodentiefe von 10-30 cm gemessen wurden und die Maxima in der Tiefe von 0-10 cm.

2.3. Magnesium

Auf allen Standorten in Tempelhof liegen die Gehalte an pflanzenverfügbarem Magnesium in der Gehaltsklasse E (Tab. 5). Diese hohen Werte sind vermutlich geogen bedingt und stimmen mit den Karten des LTZ zur Grundnährstoffversorgung der Böden Baden-Württembergs für die Region überein (LTZ, 2014).

Tabelle 5: Gehaltsklassen bezogen auf den Mittelwert (MW) für Pflanzenverfügbares Magnesium der Untersuchungsflächen Tempelhof (gemittelt über Probenahmepunkte und Probenahmetiefen (0-10 cm und 10-30 cm, n=Anzahl der Proben), MW=Mittelwert, Min=Minium, Max=Maximum

<i>Fläche</i>	<i>Mg mg 100 g⁻¹</i>			<i>Gehaltsklasse</i>	<i>n</i>
	<i>MW</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>MW</i>	
Rotbach Kontrolle	69	40	83	E	5
Rotbach	73	64	110	E	4
Market Garden Nord	106	48	142	E	9
Market Garden Süd	95	51	144	E	11
Gewächshaus	139	76	198	E	4
Tempelfeld Kontrolle	149	48	277	E	8
Tempelfeld 1	64	32	100	E	8
Tempelfeld 2	95	63	138	E	7
Tempelfeld 3	106	72	144	E	10
Vorderes Grünland	144	124	176	E	9
Waldgarten	136	107	198	E	11

Die Mg-Gehalte in den Tiefenstufen zeigten weder den Trend einer Abnahme mit größerer Tiefe noch einen klaren Trend eine Zunahme (Daten hier nicht gezeigt). Eine Magnesiumdüngung ist auf keiner der Flächen notwendig, allerdings wird in Form von Komposten, Mulch etc. mit jeder Düngung Magnesium auf den Flächen ausgebracht. Die großen Mengen an pflanzenverfügbarem Magnesium sind aus Sicht der Pflanzenernährung unproblematisch, da zwar bei hohen K-Gehalten in der Bodenlösung eine reduzierte Mg-Aufnahme erfolgt, nicht jedoch umgekehrt (Kabu und Toop, 1970).

2.4. Kohlenstoff und Humusgehalte

Die Böden des Betriebes Tempelhof weisen im Vergleich zu anderen Böden Baden-Württembergs mit ähnlichen Texturen (Pelosol 1,47% C_{org}, Auenboden, Kolluvium 1,84% C_{org}, Auengley, Gley, Pseudogley 2,09% C_{org} (Waldmann und Weinzierl, 2014) vergleichsweise hohe C_{org}-Gehalte in der Bodentiefe von 0-30 cm auf (Tab. 6). Da die Bodentypen der Flächen nicht näher bestimmt wurden, ist eine genaue Zuweisung in die oben genannten Bodentypen nicht möglich. Es bestehen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden konventionell bewirtschafteten Kontrollflächen und den Tempelhof-Flächen. Dies ist nicht überraschend, da die ökologische Bewirtschaftung noch nicht so lange andauert, dass Unterschiede festzustellen sind. Außerdem kann auch langfristig nicht immer davon ausgegangen werden, dass in jedem Fall eine Umstellung auf ökologischen Landbau auch zu einer stärkeren Anreicherung von C führt, da auch Standorteigenschaften eine Rolle spielen (Drexler et al. 2020).

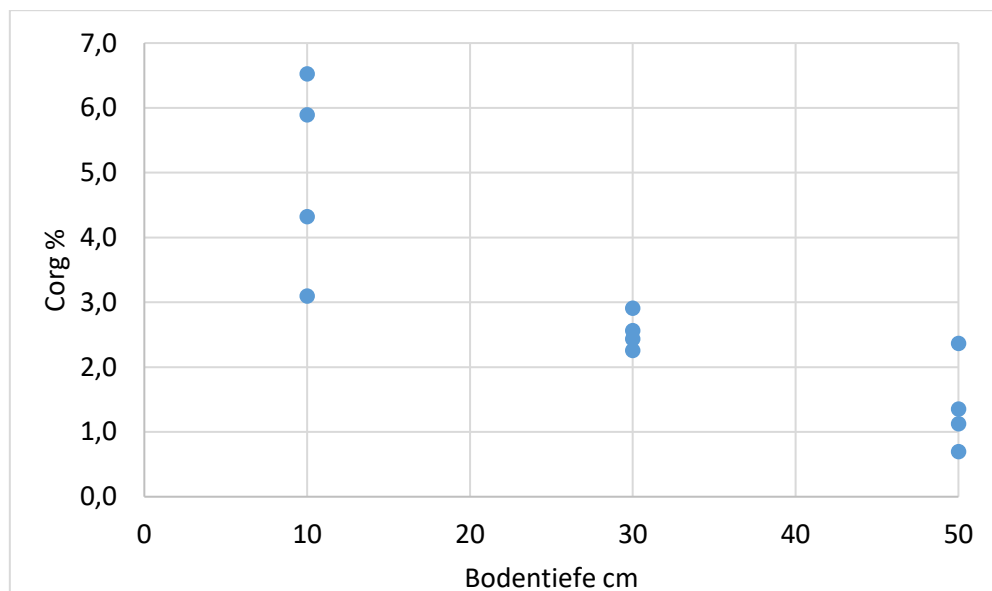
Vergleicht man die ackerbaulich genutzten Untersuchungsstandorte mit den Ergebnissen von Drexler et al. (2020) zu den Kohlenstoff-Gehalten in Ackerböden Deutschlands, so liegen die Gehalte der Tempelhofer Flächen am oberen Ende der Verteilung. Dies ist vermutlich auf die hohen Tongehalte der Standorte zurückzuführen, da ein enger Zusammenhang zwischen Tongehalt und C_{org}-Gehalt in Böden besteht. Dies kann jedoch nur vermutet werden, da keine Texturdaten zu den Kohlenstoffgehalten vorhanden sind.

Tabelle 6: Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und Klassifizierung des Humusgehaltes in Zustandsstufen der Untersuchungsflächen Tempelhof (gemittelt über Probenahmepunkte und Probenahmetiefen (0-10cm und 10-30 cm, n=Anzahl der Proben), MW=Mittelwert, Min=Minium, Max=Maximum

<i>Fläche</i>	<i>C_{org}</i>			<i>Humusgehalt</i>	<i>Zustandsstufe Humus</i>	<i>n</i>
	MW	Min %	Max	MW %		
Rotbach Kontrolle	1,7	1,5	2,40	2,92		12
Rotbach	1,9	1,7	2,14	3,27		12
Market Garden Nord	2,2	1,7	2,95	3,78		14
Market Garden Süd	2,7	1,5	3,97	4,64	h	18
Gewächshaus	3,8	2,3	6,53	6,54	h	8
Tempelfeld Kontrolle	1,9	0,9	3,3	3,27		12
Tempelfeld 1	1,8	1,1	4,70	3,10		12
Tempelfeld 2	2,1	1,5	2,88	3,61		12
Tempelfeld 3	3,4	1,9	5,09	5,85	h	12
Vorderes Grünland	3,7	2,0	5,33	6,36	h	12
Waldgarten	3,4	1,4	5,97	5,85	h	14

Insbesondere die Flächen Gewächshaus, Market Garden Süd, Tempelfeld 3, Vorderes Grünland und Waldgarten zeigen sehr hohe C_{org} -Gehalte. Auf den Standorten Gewächshaus, Market Garden Süd, Waldgarten und Vorderes Grünland, auf denen keine wendende Bodenbearbeitung stattfindet, liegt eine typische Stratifizierung vor: Die höchsten C-Gehalte finden sich in der Bodentiefe von 0-10 cm, die niedrigsten in der Bodentiefe von 30-50 cm (Fig. 1, beispielhaft dargestellt für die Fläche Gewächshaus). Erhöhte Gehalten an C_{org} fanden sich auch in anderen ökologisch bewirtschafteten Gewächshäusern in Baden-Württemberg bedingt durch die hohen Inputs an organischer Substanz aus Grunddüngern wie Festmist und Kompost aber auch durch die Zufuhr von organischem Material durch den Einsatz von Presstöpfen (Zikeli et al. 2017). Die C/N-Verhältnisse in der Tiefenstufe 0-10 cm liegen bei ca. 12, in den Tiefenstufen 10-30 cm bei 10 so dass ein schneller Umsatz der organischen Substanz gegeben ist und keine N-Immobilisierung stattfindet.

Abb. 1: C_{org} -Gehalte (%) in unterschiedlichen Bodentiefen auf der Fläche Gewächshaus



Die erhöhten C_{org} -Gehalte auf dem Standort Waldgarten stellen ein Relikt der vorherigen Nutzung als Dauergrünland dar, da es Mittel fast zwei Jahrzehnte dauert, bis sich bei einer Umnutzung ein neues Gleichgewicht einstellt (Poeplau et al. 2011) Es kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass in Zukunft durch die Nutzung als Waldgarten eine weitere Anreicherung von C stattfindet. Aufforstungen von Grünland führen nicht zur weiteren Anreicherung von C sondern häufig sogar zu C-Verlusten (Poeplau et al., 2011). Die Fläche Vorderes Grünland zeigt hingegen eine typische Stratifizierung des C-Gehaltes mit im Mittel 4,58% C_{org} in der Bodentiefe 0-10 cm und nur 2,83% in der Tiefenstufe 10-30 cm. Gemittelt über die 0-30 cm liegt der C_{org} -Gehalt mit 3,7% in einem Bereich, der typisch für Dauergründlandstandorte in Deutschland ist (Drexler et al., 2020).

3. Schlussfolgerungen

Basierend auf den vorliegenden Daten kann die Nährstoffversorgung der Untersuchungsflächen mit pflanzenverfügbarem P, K und Mg als sehr gut beurteilt werden. Für die zukünftige Düngestrategie sollte im Vordergrund stehen, langfristig ausgewogene Nährstoffzu- und -abfuhr entsprechend des Nährstoffstatus der Flächen zu erreichen. Besonders auf den gemüsebaulich genutzten Flächen ist dies eine Herausforderung, da die im ökologischen Landbau genutzten Düngemittel als Mehrnährstoffdünger diesen Ansatz nicht erfüllen können. Die Integration von Klee gras und Klee grasschnitt (als frisches Mulch-Material oder Silage) in die gärtnerische Fruchtfolge kann einerseits auf den Schlägen Market Garden Süd und Nord N in das Anbausystem bringen ohne zusätzlich K und vor allem P auf die Flächen zu bringen. Wird das Schnittgut von der mit P und K übertroffenen Fläche Market Garden Süd abgefahren und auf andere Schläge mit niedrigeren Nährstoffgehalten ausgebracht, können andererseits langfristig betrieb intern Nährstoffe umverteilt werden. Klee grasschnitt als Dünger hat eine höhere N-Effizienz und eine Nährstoffzusammensetzung, die eher der von Gemüse entspricht als z.B. Mist oder Kompost.

Die Flächen Waldgarten und Vorderes Grünland sind die beiden Flächen mit den niedrigsten Gehalten an pflanzenverfügbarem P und K, weisen jedoch gleichzeitig hohe Humusgehalte auf. Hier wäre interessant zu untersuchen, wie viel P sich in der organischen Fraktion befindet, um ein genaueres Bild der Pools zu bekommen, die für eine langfristige Nährstoffversorgung zur Verfügung stehen. Da die Nutzung des Waldgartens im Vergleich zu den gärtnerisch genutzten Flächen sehr extensiv ist und sich die Bäume im Laufe der Zeit vermutlich Nährstoffe in tieferen Bodenschichten erschließen, wäre es langfristig auch interessant, P und K im Unterboden zu untersuchen. Um ein genaueres Bild der Kohlenstoff-Dynamik zu bekommen, sollte auch der Unterboden untersucht werden, bestenfalls mit einer tieferen Beprobung bis z.B. 1 m Tiefe, umso An- und Abreicherungen von C besser dokumentieren zu können. Solche Untersuchungen müssen aber sehr langfristig angelegt werden, da vermutlich erst in 10 Jahren erste Änderungen an den C_{org} -Gehalten festzustellen sind.

Literaturverzeichnis

Kabu, K. L., Toop, E. W. (1970) Influence of potassium –magnesium antagonism on tomato plant growth. Canadian Journal of Plant Science, 50(6): 711-715, <https://doi.org/10.4141/cjps70-132>

Drexler, S., Broll, G., Don, A., Flessa, H. (2020) Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. Thünen Report 75, 110 S.

LTZ (unbekannt): Humusbestimmung. <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/1930632>, zuletzt geprüft am 23.07.2020

LTZ (2009) Tabellen und Vorgaben für die Einstufung der Grundnährstoffgehalte von Böden. <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/1930635>, zuletzt geprüft am 22.07.2020

LTZ (2010) Anleitung zur Entnahme von Bodenproben zur Durchführung der Grunduntersuchung an Acker- und Sonderkulturflächen sowie Grünland. <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Service/Bodenuntersuchung>, zuletzt geprüft am 23.07.2020

LTZ (2014) Grundnährstoffversorgung von Böden in Baden-Württemberg - Hinweise und Anleitung. <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/1930635>, zuletzt geprüft am 22.07.2020

LTZ (2018) Merkblätter für die Umweltgerechte Landwirtschaft. Düngerverordnung. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngerverordnung–DüV) vom 26. Mai 2017, BGBl. I 2017, Nr. 32, S. 1305–1348, <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Duengung>, zuletzt geprüft am 23.07.2020

Norvell, W.A., Dabkowska-Naskret, H., Cary, E.E., 1987. Effect of phosphorus and zinc fertilization on the solubility of Zn²⁺ in two alkaline soils. Soil Science Society of America Journal 51:584–588.

Pérez-Novo, C., Fernández-Calviño, D., Bermúdez-Couso, A., López-Periago, J.E., Arias-Estévez, M., 2011. Phosphorus effect on Zn adsorption-desorption kinetics in acid soils. *Chemosphere* 83:1028–1034.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., & Geniesse, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17: 2415–2427.

VDLUFA (1991) VDLUFA-Methodenbuch, Band I: Die Untersuchung von Böden. VDLUFAVerlag, Darmstadt

Waldmann, F., Weinzierl, W. (2015) Organische Kohlenstoffvorräte der Böden in Baden-Württemberg. Fachbericht 2015/1, Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. <http://www.lgrb-bw.de/lgrb-shop/docPool/c385data.pdf>, zuletzt geprüft am 23.07.2020

Wuenschel, R., Unterfrauner, H., Peticzka, R., Zehetner, F. (2015) A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant Soil and Environment* 61(2): 86–96, doi: 10.17221/932/2014-PSE

Zikeli, S., Deil, L., Möller, K. (2017) The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of organic greenhouses in Southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 244:1–13