

Vergleich der Bodenfeuchteausschöpfung eines Lößbodens im Lysimeter und im Feld unter Ackerkulturen

Steffi Knoblauch^{1*}

Zusammenfassung

Im Beitrag werden langjährige Bodenfeuchte-Messreihen des Bodens der Lysimeter und der Herkunftsfläche der Lysimeter gegenübergestellt. Die festgestellten Unterschiede hängen im Wesentlichen mit Unterschieden in der Bodenwassercharakteristik zusammen. Der Anbau einer Sommer-Zwischenfrucht auf den Lysimetern beeinflusste die Bodenwasseraufnahme in den zwei folgenden trockenen Jahren stark. Parallele Messungen der Bodenfeuchte auf der Herkunftsfläche der Lysimeter können hilfreich sein, um die Auswirkung zunehmender Trockenheit auf den Bodenwasserhaushalt besser beurteilen zu können. Lysimeter haben aber den entscheidenden Vorteil, den Effekt von Bewuchs und Maßnahmen der Bewirtschaftung auf den Bodenwasservorrat genau quantifizieren zu können.

Schlagwörter: Bodenwasserentzug, Lysimeter, Feld, Bodenwassercharakteristik, Klimawandel

Summary

In the article, long-term measurement series of the soil moisture of the soil of the lysimeters and the area of origin of the lysimeters are compared. The determined differences are mostly caused by differences in soil water characteristic. The cultivation of a summer catch crop on the field lysimeters strongly influenced the soil water uptake in the following two years. Parallel measurements of the soil moisture of the soil in the field can be helpful in assessing the effect of increasing drought on the soil water balance. Lysimeters, however, have the decisive advantage of being able to precisely quantify the effects of vegetation and management measures on the soil water supply.

Keywords: soil water uptake, lysimeter, field, soil water characteristic, climate change

Einleitung

Langjährige Messungen des Bodenwasserhaushaltes sind wichtig, um die Auswirkung veränderter klimatischer Verhältnisse, des pflanzlichen Bewuchses oder der Intensität der Bewirtschaftung darauf erkennen zu können. Lysimeter sind nach unten und seitlich abgeschlossene Behälter. Bei nicht ausreichender Tiefe wird der Einfluss zunehmender Trockenheit auf den Bodenwasservorrat des Standortes nicht richtig wiedergespiegelt. Um herauszufinden, inwieweit die Bodenwasserdynamik des Lysimeterbodens mit der des Bodens der Herkunftsfläche des Lysimeters übereinstimmt, wurde die Bodenfeuchte beider Böden parallel ermittelt. Im folgenden Beitrag erfolgt eine Auswertung dieser Messreihen für den Zeitraum von 2010 bis 2019.

¹ Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Naumburger Straße 98, D-09943 Jena

* Ansprechpartner: Dr. agr. Steffi Knoblauch, email: steffi.knoblauch@tlllr.thueringen.de

Material und Methoden

Die Lysimeteranlage Butteltstedt befindet sich im Thüringer Becken, einem Teil des mitteldeutschen Trockengebietes. Das vieljährige Niederschlagsmittel beträgt 535 mm und das vieljährige Temperaturmittel 9,0 °C (1981...2010).

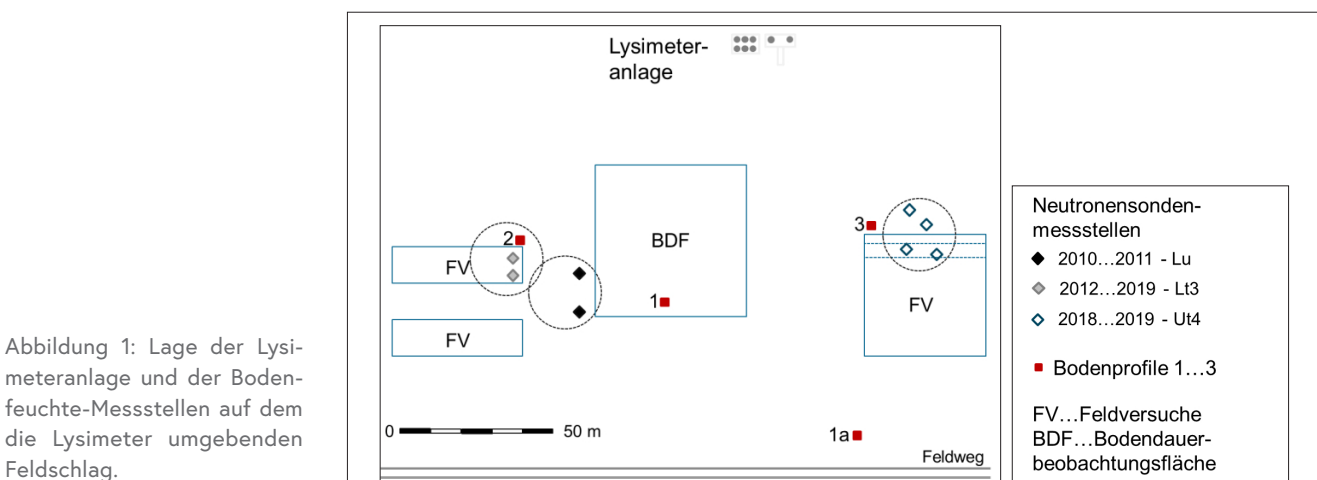
Beim Boden handelt es sich um einen tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß. Unter einem in etwa 40 cm mächtigen Humushorizont folgt bis in etwa 68 cm Tiefe der Ah-Bv-Horizont (Tabelle 1). Die schwache Ausprägung von Ton-Humus-Tapeten deutet auf den Ablauf der Tonverlagerung, was die erhöhten Werte des Permanenten Welkepunktes (PWP) und der Feldkapazität (FK) in diesem Horizont erklärt. Im daran anschließenden Ckc-Horizont offenbaren sich verschiedene Lößablagerungen, die sich in der Korngrößenzusammensetzung teils stark unterscheiden und in der Fläche mit unterschiedlicher Mächtigkeit vorkommen. Als Ursache dafür kommen periglaziale Umlagerungen (solifluidal, deluvial, kryoturbat) in Frage.

Für die Vergleichsmessungen der Bodenfeuchte wurden auf der Umgebungsfläche der Lysimeter, bei der es sich gleichzeitig um die Herkunftsfläche der Lysimeterböden handelt, im Verlauf der Jahre im Umkreis von etwa 120 m mehrere Bodenfeuchte-Messstellen eingerichtet und daneben jeweils eine Bodenprofilansprache durchgeführt (Abbildung 1).

Tabelle 1: Ausgewählte Bodeneigenschaften des Braunerde-Tschernosem aus Löß.

Horizont	Tiefe	Probenahmetiefe	Tongehalt	Bodenart	PWP pF 4,2	FK pF 2,5	Tongehalt	Bodenart	PWP pF 4,2	Tongehalt	Bodenart	PWP pF 4,2
			Profil – Lu (1)			Profil – Lt3 (2)			Profil – Ut4 (3)			
Ap	25	10-20	26,6	Lu	18,3	29,8	30,9	Tu3	24,9	25,6	Tu4	18,0
Ah	43	27-33			21,3	31,9	36,9	Tu3	29,4	25,2	Tu4	26,0
Ah-Bv	68	45-55	29,4	Lu	27,0	34,2	38,5	Tu3	29,6	32,6	Tu3	27,5
Ckc ₁ ¹	110	70-85	20,3	Lu	19,9	29,4	42,6	Tu3	31,3	21,6	Ut4	22,0
		100-115					38,5	Lt3	28,1	25,7	Tu4	24,0
Ckc ₂ ¹	160	120-130	19,2	Lu	20,8	31,0	37,6	Lt3	25,0	22,7	Lu	22,8
		130-140			20,7	30,8						
		140-150			21,1	32,1	39,4	Lt3	25,6	23,7	Lu	16,3
Ckc ₃ ¹	195	160-175	19,9	Lu			37,0	Lt3	29,8			
		175-180								22,7	Ut4	15,8
		185-200	24,6	Lu	24,0	34,2	44,0	Lt3	30,8	22,7	Ut4	15,5
		210-220								23,0	Ut4	16,1

¹ Bezeichnung und Tiefe der C-Horizonte gilt nur für Profil- Lu (1)



Das Bodenprofil (1) charakterisiert die auf dem Umgebungsschlag der Lysimeter eingerichtete Bodendauerbeobachtungsfläche. Von diesem wurde angenommen, dass es in etwa die Eigenschaften des Bodens der Lysimeter und der Feld-Messstelle (1) beschreibt. Im Vergleich hierzu zeigen die Bodenprofile der beiden anderen Messstellen einen deutlich höheren Tonanteil (2) sowie einen höheren Schluff- und Tonanteil (3), was bodenartlich beim C-Horizont zur Einstufung eines mittel tonigen Lehmes beim Profil (2) und eines stark tonigen Schluffes beim Profil (3) führte. Die andersartige Korngrößenzusammensetzung der alle aus Löß hervorgegangenen Böden zog deutliche Unterschiede in den pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalten nach sich, sichtbar an den in *Tabelle 1* angegebenen Wassergehalten beim PWP.

Für die Bestimmung des Bodenwassergehaltes dient eine Am/Be-Neutronensonde (Troxler). Die Messung wird in 20cm-Tiefenabstufungen bis in 2,3 m Tiefe und mit zwei Wiederholungen durchgeführt. Beim Boden der Lysimeter handelt es sich um ortsfeste Messstellen, im Feld werden die Messrohre nach der Aussaat jeweils neu gesetzt. Der Messrhythmus ist während der Vegetationszeit wöchentlich und danach bis Ende November monatlich.

Die Lysimeter weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2,5 m auf. Sie sind monolithisch befüllt und befinden sich zur Vermeidung von Oaseneffekten inmitten eines 30ha großen Feldschlages, der mit der gleichen Kultur bewachsen ist. Das Sickerwasser wird mittels keramischer Saugkerzen unter Einwirkung eines Unterdruckes gewonnen. Die Lysimeter sind wägbare mit einer Genauigkeit von 100 g, was einer Verdunstungs- bzw. Niederschlagshöhe von 0,05 mm entspricht.

Ein Vergleich der mit Hilfe der Neutronensonde gemessenen Wassergehaltsänderung des Lysimeterbodens mit der über die Gewichtsänderung bestimmten Bodenwasserbilanz ergab im Mittel der Jahre 2010 bis 2019, dass die Änderung des Bodenwasservorrates mit der Neutronensonde im Winterhalbjahr in geringem Maß um -0,07 mm/d unterschätzt und während der Vegetationszeit um +/- 0,15 mm/d über- oder unterschätzt wird.

Im Versuchszeitraum von 2010 bis 2019 gelangten auf die Lysimeter und dem umgebenden Feldschlag in der Fruchtfolge Sommergerste, Winterraps, Sudangras, Winterweizen und Wintergerste zum Anbau. Im Jahr 2017 wurde auf die Lysimeter nach Ernte von Winterraps Tagetes etabliert zur ökologischen Bekämpfung von Wurzelnekrotomykosen. Dies geschah auf dem Feldschlag nicht. Düngung und Pflanzenschutz erfolgten nach den Regeln der guten fachlichen Praxis.

Die Niederschläge der Versuchsjahre vermittelt *Tabelle 2*. Nach einem überdurchschnittlich feuchten Jahr 2010 war es daraufhin in zwei Jahren etwas zu feucht und in sieben Jahren zu trocken. Als sehr trocken mit weniger als 80 % des normalen Wertes erwiesen sich die Jahre 2011, 2018 und 2019. Die Jahresdurchschnittstemperaturen lagen in 2011, 2012 und 2013 unter dem Normalwert, in den übrigen Jahren darüber.

Ergebnisse

Sickerwassermenge und Bodenfeuchtedefizit

Überdurchschnittliche Niederschläge im Jahr 2010 führten zu einer vollständigen Auffüllung des Bodenwasservorrates und ergiebiger Sickerwasserbildung ab Ende des Jahres (*Tabelle 3*). Die Sickerwasserperiode setzte sich bis in den Mai des Folgejahres fort mit dem Ergebnis einer Sickerwasserspense von 103 mm im Jahr 2011. In den folgenden

Tabelle 2: Niederschlag der Versuchsjahre im Vergleich zum vieljährigen Mittel.

Jahr		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Niederschlag	mm/a	611	415	483	561	503	458	499	573	383	435
Abweichung vom vieljährigen Mittel	%	114	78	90	105	94	86	93	107	72	81

Jahr		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sickerwassermenge	mm/a	20	103	0	0	0	0	0	0	0	0
Bodenfeuchtedefizit Vegetationsbeginn	mm	-67	-30	-174	-90	-176	-180	-197	-207	-184	-264

Tabelle 3: Sickerwassermenge und Bodenfeuchtedefizit zu Vegetationsbeginn.

acht Jahren kam es nicht mehr zu einer vollständigen Auffüllung des Bodenwasservorrates und blieb eine Sickerwasserbildung aus. Nachdem sich die Bodenfeuchtedefizite im Frühjahr meist zwischen -100 und -200 mm bewegten, stellte sich im Frühjahr 2019 nach einer sehr trockenen und warmen Witterung in 2018 ein Maximalwert von -264 mm ein (Tabelle 3).

Vergleich der Inanspruchnahme des Bodenwassers im Lysimeter und im umgebenden Feldschlag

Die Abbildungen 2 und 4 zeigen die mit der Neutronensonde gemessene Bodenfeuchteänderung auf dem Lysimeter und dem umgebenden Feldschlag für den Zeitabschnitt „Vegetationsbeginn bis Ernte der Kultur“ von 2010 bis 2019. Jeweils zwischen diesen Wertepaaren ist die mit der Neutronensonde ermittelte Zunahme des Wasservorrates des Lysimeterbodens für den Zeitabschnitt „nach Ernte bis Vegetationsbeginn des Folgejahres“ erkennbar.

In den Jahren 2010 bis 2014 war beim Lysimeterboden eine stärkere Inanspruchnahme des Bodenwassers im Vergleich zum Boden des Feldes zu beobachten verbunden mit jeweils höheren Erträgen.

Besonders ausgeprägt offenbarte sich dieser Unterschied in 2011 beim Anbau von Winterraps. Zu Vegetationsbeginn wiesen beide Böden im Wurzelraum Feldkapazität auf (Abbildung 3). Beim Lysimeter wurde der Bodenwasservorrat unter dem Einfluss einer sehr trockenen Witterung um -273 mm gesenkt und der Bodenwassergehalt bis in 240 cm Tiefe bis in den Bereich des PWP. An der Feldmessstelle (Lu, 1) war bis in 240 cm Tiefe ein Bodenwasserentzug von nur -174 mm nachweisbar.

Bei den schichtweisen Werten des PWP und der FK in den Abbildungen 3, 5 und 6 handelt es sich beim Lysimeterboden um die Mittelwerte der mit der Neutronensonde ermittelten niedrigsten und höchsten Werte des Bodenwassergehaltes (nur bei ergiebiger Sickerwasserbildung) und bei den Böden der Feldmessstellen um die mittels Druck-Methode für das jeweilige Bodenprofil bestimmten Werte.

Wenngleich angenommen wurde, dass das Profil (1) die θ - Ψ -Charakteristik des Lysimeterbodens beschreibt, weist die in unmittelbarer Nähe dieses Profiles im Feld erfasste Änderung des Bodenwassergehaltes daraufhin, dass die Pflanzenverfügbarkeit des

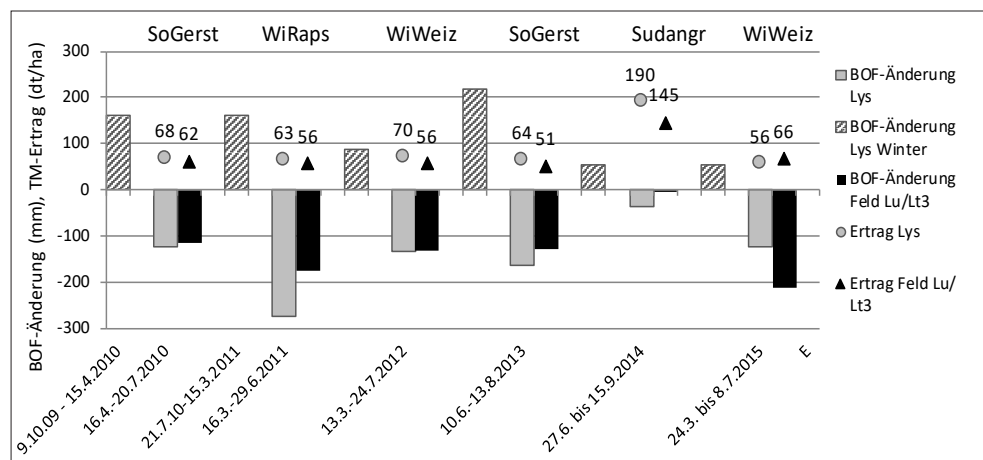


Abbildung 2: Änderung der Bodenfeuchte während der Vegetationszeit (Lysimeter, Feld) und während des Winterhalbjahres (nur Lysimeter) sowie die erzielten Erträge der Hauptprodukte.

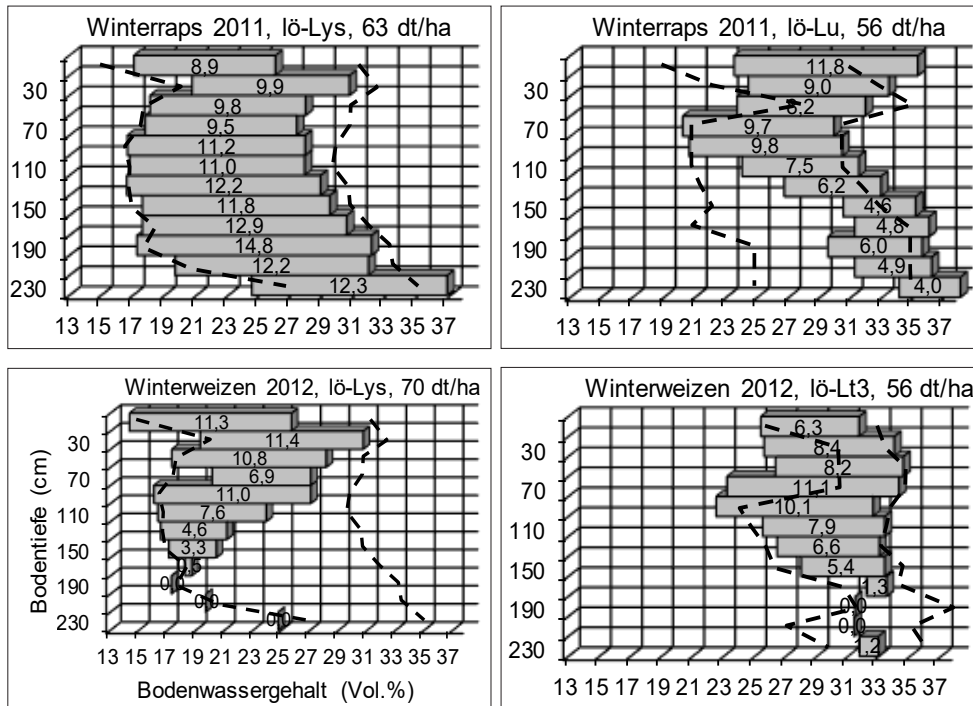


Abbildung 3: Schichtweiser Bodenfeuchteentzug auf dem Lysimeter und den umgebenden Feld-Messstellen Lu (2011) und Lt3 (2012) (gestrichelte Linien kennzeichnen links den PWP und rechts die FK, die Säulen rechts den Anfangs- und links den Endwassergehalt).

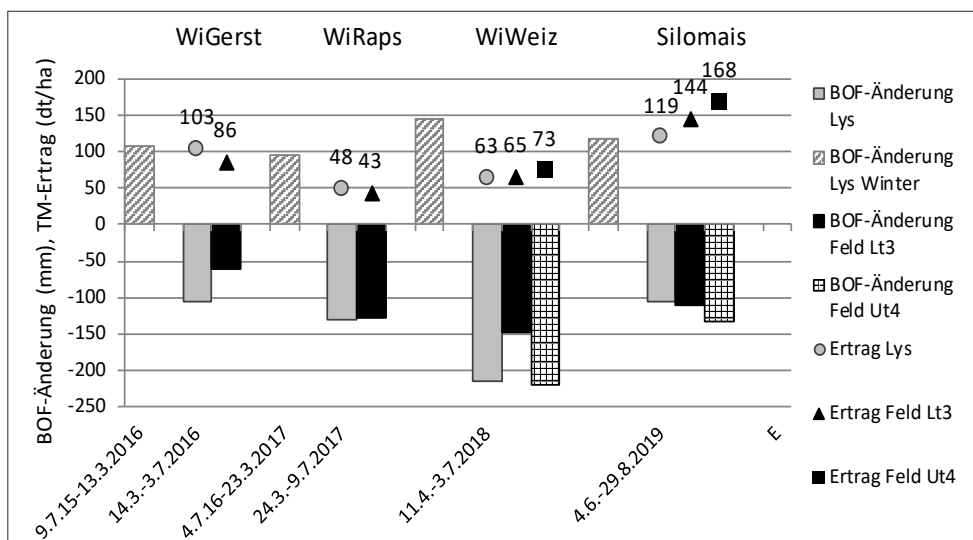


Abbildung 4: Änderung der Bodenfeuchte während der Vegetationszeit (Lysimeter, Feld) und während des Winterhalbjahres (nur Lysimeter) sowie die erzielten Erträge der Hauptprodukte.

Bodenwassers geringer sein muss als diejenige des Lysimeterbodens. Offenbar handelt es sich beim Lysimeterboden um andersartige Lößablagerungen mit der Folge andersartiger Korngrößenzusammensetzungen und Porengrößenverteilungen. Erkennbar wird an beiden Entnahme-Dichte-Profilen, dass der Bodenwasserentzug von Wintererbsen tiefer als 2,4 m reichen kann. Möglicherweise hat Wintererbsen im Feld auch Bodenwasser unterhalb 2,4 m Tiefe erschlossen. Dennoch war der Ertrag der Feldparzelle niedriger, was die vermutete geringere Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers bestätigt (Abbildung 3).

In 2012 vollzieht sich ein vergleichbarer Bodenfeuchteentzug von -132 mm. Ab diesem Jahr finden die Messungen im Feld an der Messstelle Lt3 statt, einer stark tonig-lehmigen Ausprägungsform des Lösses (2). Im Vergleich zum Profil (1) ist die nutzbare Feldkapazität (nFK) geringer und liegen die Bodenwassergehalte in diesem pF-Bereich höher. Sowohl beim Lysimeter als auch beim Boden des Feldes war keine vollständige Auffüllung des Bodenwasservorrates festzustellen, wobei das Defizit des Lysimeterbodens aufgrund

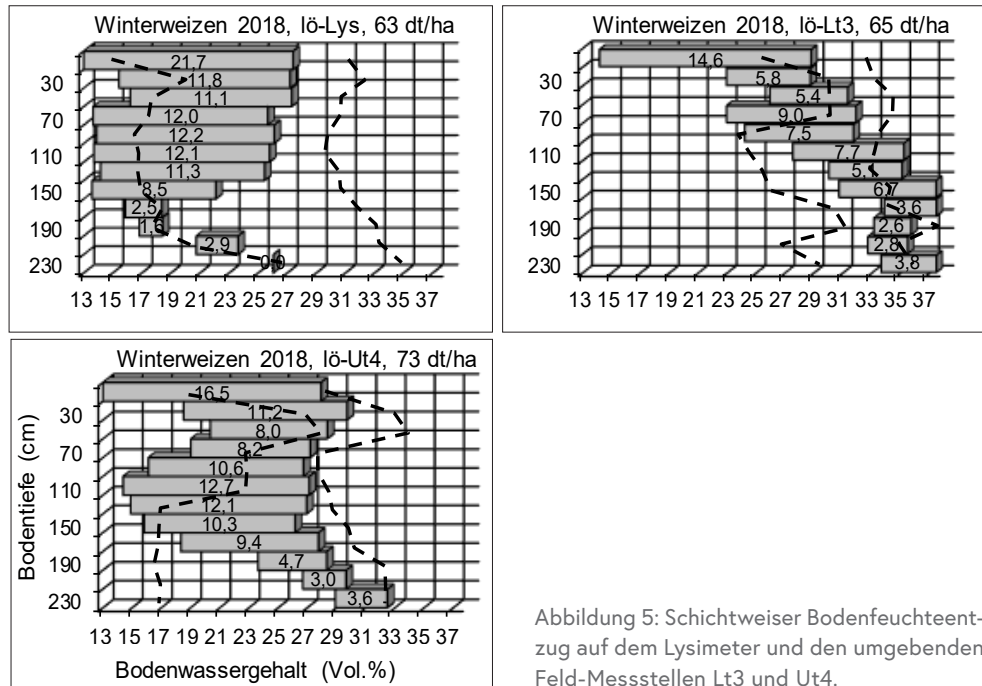


Abbildung 5: Schichtweiser Bodenfeuchteentzug auf dem Lysimeter und den umgebenden Feld-Messstellen Lt3 und Ut4.

höherer Werte der nFK deutlich größer ausfiel. Dass trotz gleichen Bodenwasserentzuges und Senkung der Bodenwasserhalte bis zum PWP unterschiedliche Erträge erfasst wurden, ist auf einem im Feld verstärkten Ertragsverlust durch Mäusefraß zurückzuführen.

Im Jahr 2015 blieb der Ertrag von Winterweizen auf dem Lysimeter aus agrotechnischen Gründen hinter dem Wert der Feld-Messstelle zurück. Dementsprechend geringer fiel auch die Bodenfeuchteausschöpfung aus. Im darauffolgenden Jahr 2016 zeichnete sich auf dem Lysimeterboden erneut eine höhere Bodenwasseraufnahme ab und erzielte Wintergerste einen höheren Ertrag als auf der Messparzelle Lt3 im Feld (Abbildung 4).

Diese Tendenz höherer Erträge und höherer Bodenwasserentzüge auf dem Lysimeter im Vergleich zum Feld setzt sich auch im Jahr 2017 mit Anbau von Winterraps fort.

Ab dem Jahr 2018 werden die Messungen im Feld erweitert um die Messstelle Ut4. Das in der Nähe aufgenommene Bodenprofil (3) lässt eine im Vergleich zum Messplatz Lt3 höhere nutzbare Feldkapazität erkennen. Unter dem Einfluss einer sehr trockenen Witterung entwickelt Winterweizen auf dem Lysimeter einen Bodenwasserentzug von -200 mm. Auf der Feldmessstelle Ut4 liegt dieser Wert in der gleichen Größenordnung, während er auf der Messstelle Lt3 geringer ausfällt, dem niedrigeren nFK-Wert dieses Bodens entsprechend. Der Ertrag des Winterweizens ist auf der Messstelle Ut4 am höchsten, gefolgt von den Werten der Messstelle Lt3 und des Lysimeters.

Im trockenen Jahr 2019 verstärkt sich diese Tendenz, wobei auf dem Lysimeter sowohl der Bodenwasserentzug als auch der Ertrag am geringsten ausfällt. Anhand der Abbildung 5 wird deutlich, dass der Boden des Lysimeters zu Vegetationsbeginn 2018 ein sehr viel höheres Bodenfeuchtedefizit aufwies als die Böden der Feld-Messstellen, bei denen nahezu Feldkapazität erreicht worden war. Im Unterschied zum Feld kam auf die Lysimeter im Juli 2017 ein Bewuchs mit Tagetes. Im Juli und August dieses Jahres regnete es mit 186 % des Normalwertes überdurchschnittlich. Tagetes erreichte einen Ertrag von 57 dt Trockenmasse/ha und verdunstete zwischen Aufgang und Ernte 200 mm, was im Mittel der Wachstumszeit 3,3 mm/d entsprach. Der ergiebige Niederschlag im Juli und August in Höhe von 3,5 mm/d wurde dadurch nahezu verbraucht. Ein flach bearbeiteter Boden wies im gleichen Zeitraum im Jahr zuvor eine Evaporation von 1,4 mm/d auf. Daraus ergibt sich für den Bewuchs mit Tagetes gegenüber einer Brache ein Mehrverbrauch von 1,9 mm/d. Multipliziert mit 60 d Wachstumszeit sind somit dem Boden des Lysimeters

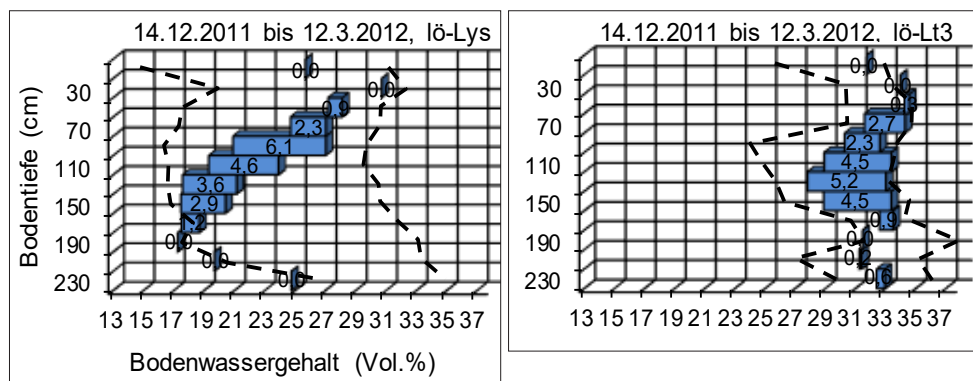


Abbildung 6: Schichtweise Bodenwasserauffüllung auf dem Lysimeter und der umgebenden Feld-Messstelle Lt3.

etwa 114 mm für die Auffüllung des Bodenwasservorrates und die Wasserversorgung der Folgefrucht verloren gegangen.

Obwohl Winterweizen im Jahr 2018 beim Lysimeter ebenso viel Bodenwasser aufnahm wie an der Messstelle Ut4 sank der Bodenwassergehalt des Lysimeterbodens deutlich stärker in den Bereich um den PWP (Abbildung 5). Dieser Entzug des stärker gebundenen Bodenwassers ist als Ursache für den geringeren Ertrag auf dem Lysimeter zu sehen und erklärt auch die Ertragsunterschiede beim Silomais im Jahr 2019 trotz gleichen Betrags der Wiederauffüllung des Bodenwasservorrates beim Lysimeter und den Messstellen im Feld im Winter 2018/19.

Abbildung 6 zeigt die Zunahme des Bodenwassergehaltes im Winterhalbjahr 2011/2012.

Die Niederschläge in diesem Winterhalbjahr waren nicht ausreichend, um den Boden des Lysimeters und den der Feld-Messstelle Lt3 bis zur Feldkapazität aufzufüllen. Der ermittelte Auffüllungsbetrag von +40 und +38 mm bis in 180 cm Tiefe war vergleichbar. Ein im Feld möglicher Beitrag des kapillaren Aufstieges an der Wiederauffüllung des Bodenwasservorrates scheint mit einer Zunahme des Bodenwassergehaltes um 0,6 Vol.% in 220 bis 240 cm Tiefe in geringem Umfang abgelaufen zu sein.

Diskussion

Nach einer vollständigen Auffüllung des Bodenwasservorrates Anfang des Jahres 2011 und einer daraufhin bis in 240 cm Tiefe durch Winterraps erfolgten Ausschöpfung des Bodenwasservorrates bis zum PWP kam es beim Lysimeterboden in den folgenden neun Jahren nicht wieder zu einer erneuten Auffüllung. Im Vergleich zur Bodenfeuchtemessung im Feld zeigte sich über die Jahre eine intensivere Beanspruchung des Bodenwasservorrates, wobei zumeist auch die Erträge höher ausfielen. Eine detaillierte Betrachtung der Bodenwassercharakteristik der Böden im Feld brachte die Erkenntnis, dass von der Annahme einer homogenen Ausprägung des Lößbodens in der Fläche nicht ausgegangen werden kann. Vielmehr zeigten die bodenphysikalischen Untersuchungen differenzierte Verhältnisse der Korngrößenzusammensetzung und der sich daraus ableitenden pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalte. Die anfangs unterschiedlichen Werte des Bodenwasserentzuges auf dem Lysimeter und den Feld-Messstellen konnten somit auf Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung verschiedener Lößablagerungen zurückgeführt werden. Inwieweit die im Lysimeter ab 2,5 m Tiefe unterbrochene Verbindung zum darunter anstehenden Boden einen Verlust an kapillarem Aufstieg bedeutet, ließ sich noch nicht abschließend klären. Anhand von Messungen vor und nach dem Winterhalbjahr 2011/2012 war nur ein geringer Beitrag des kapillaren Aufstieges an der Wiederauffüllung des Bodenwasservorrates nachweisbar. Ab dem Versuchsjahr 2017 kam ein weiterer Messplatz im Feld hinzu, dessen Boden eine tonig-schluffige Ausprägungsform des Lösses darstellte. Die hier gefundene Bodenwassergehaltsänderung zeigt Ähnlichkeiten zum Boden des Lysimeters. Dennoch war im Frühjahr 2018 ein deutlicher Unterschied im Auffüllungsgrad des Bodenwasservorrates zwischen diesen

beiden Messplätzen zu erkennen. Einen wesentlichen Anteil daran hat der im Juli des Vorjahres nur auf die Lysimeter etablierte Pflanzenbestand mit Tagetes, durch den etwa 114 mm dem Bodenwasservorrat im Folgejahr verloren gegangen sind. Dieser Betrag dem im Frühjahr 2018 ermittelten Bodenfeuchtedefizit hinzugerechnet, hätte der Boden des Lysimeters nur ein Defizit von -66 mm aufgewiesen. Damit wäre man in die Nähe des für die tonig-schluffige Ausprägungsform im Feld bestimmten Bodenwasservorrates gekommen, der in etwa bei Feldkapazität lag.

Schlussfolgerungen

Die Vergleichsmessungen der Inanspruchnahme des Bodenwassers im Lysimeter und der Herkunftsfläche der Lysimeter zeigen, dass für eine Vergleichbarkeit die Matrixpotenzialkurven beider Böden genau bekannt sein müssen. Vor dem Hintergrund geringer werdender Niederschläge kann die Betrachtung der Bodenwasserinanspruchnahme im Feld nützlich sein, wenn die Tiefe der Lysimeter nicht mehr ausreicht, um die Auswirkung einer tiefergehenden Durchwurzelung des Bodens auf den Bodenwasserhaushalt erkennen zu lassen. Lysimeter haben aber den entscheidenden Vorteil einer genauen Bilanzierung des Bodenwasservorrates in Abhängigkeit vom Bewuchs und der Bewirtschaftung des Bodens in den Zeitabschnitten zwischen der Etablierung der Kulturpflanzen.