

Ermittlung der Bodenwasserbereitstellung einer skelettreichen Para-Rendzina aus unterem Keuper im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem aus Löß mit Hilfe der wägbaren Feldlysimeter Buttelsee

Steffi Knoblauch^{1*}

Zusammenfassung

Mit Hilfe der Messwerte wägbarer Feldlysimeter ist über die Bildung der kumulativen Wasserbilanz aus Niederschlag minus Verdunstung minus Sickerwasser die Größe der nutzbaren Feldkapazität für eine skelettreiche Para-Rendzina aus unterem Keuper abgeschätzt worden und mit dem für einen tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Bodenfeuchtemessungen abgeleiteten Wert verglichen worden. Während die nFKwe auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß in etwa 200 mm beträgt beläuft sich dieser Wert auf der Para-Rendzina auf etwa 145 mm. Im Vergleich zum Wasserverbrauch wird der Ertrag stärker reduziert und zeigt, dass die Ertragswirksamkeit der auf der Para-Rendzina aufgenommenen Wassermenge geringer ist als die vom Braunerde-Tschernosem. Das kann nicht nur als Folge der geringeren Verfügbarkeit des Wassers in tieferen Bodenschichten sondern auch derjenigen im stark tonhaltigen Substrat der Ackerkrume während der Keimung und Jungpflanzenentwicklung gesehen werden.

Summary

Using measured data from weighable field lysimeters the amount of plant available water was estimated calculating the balance between precipitation minus evapotranspiration minus amount of seepage water for a stony calcaric Regosol and a haplic phaeozem originated from loess. These values were compared with the soil water withdrawal on the haplic phaeozem measured with neutron probe. As a result the plant available amount of haplic phaeozem is 220 mm and of stony calcaric regosol 145 mm. Furthermore the smaller plant available amount on calcaric regosol has a lower yield efficiency. The amount of available water is needed for a better yield adapted fertilization and optimized use of water.

Einleitung

Die Wasserbereitstellung von Böden ist eine wichtige Größe für die Abschätzung der Anbaueignung von Kulturen und der Ertragsfähigkeit von Böden. In Anbetracht knapper werdender Niederschläge werden zukünftig genauere Kenntnisse darüber benötigt. Von der Ertragsfähigkeit der Böden hängt zum Beispiel auch die Höhe der N-Düngung und das Erreichen niedriger N-Überschuss-Salden für den Schutz der Gewässer ab.

Die Bestimmung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge kann über die Drucktopfmethode im bodenphysikalischen Labor oder über die in-situ-Messung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Sensoren erfolgen. Für Böden mit homogener Porengrößenverteilung, wie Lößlehme sind diese Verfahren gut geeignet. Für skelettreiche und/oder geschichtete Böden erweisen sie sich als schwierig. Das betrifft zum Beispiel die repräsentative Probenahme. Unklar ist auch, inwiefern wenig durchlässige Schichten durch Stauwasserbildung den pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher erhöhen können.

Wägbare Feldlysimeter, die geeignet sind, die Verdunstung von Pflanzenbeständen zu messen, können über die Ermittlung der Gewichtsänderung Auskunft über die Inanspruchnahme des Bodenwassers geben.

Die Lysimeteranlage Buttelsee ist im Jahr 2005 um zwölf Feldlysimeter erweitert worden für die Bestimmung der unvermeidbaren N-Auswaschung aus zwei verschiedenen, für das Thüringer Becken typischen Böden mit ackerbaulicher Nutzung. Es handelt sich um einen tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß mit einer über den gesamten Wurzelraum homogenen Porengrößenverteilung und eine Para-Rendzina aus unterem Keuper mit unter dem Humushorizont sehr stark wechselnden Korngrößen- und Skelettanteilen.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, mit Hilfe der Lysimetermessungen eine Abschätzung der Menge und Ertragswirksamkeit des Bodenwassers der skelettreichen Para-Rendzina im Vergleich zum schluffig-lehmigen Braunerde-Tschernosem aus Löß vorzunehmen.

Material und Methoden

Versuchsböden

Die Versuchsböden vertreten etwa 66 % der Böden im Thüringer Keuperbecken. Der Braunerde-Tschernosem aus Löß weist einen 40 cm mächtigen Ap/Ah-Horizont auf und ist bis in 65 cm Tiefe entkalkt (*Tabelle 1*). Die

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Straße 98, D-07743 JENA

* Ansprechpartner: Dr. Steffi Knoblauch, s.knoblauch@tllmail.de

Tabelle 1: Bodenphysikalische und -chemische Kennwerte des Braunerde-Tschernosem aus Löß im Thüringer Becken

Horizont	pt		Skelett	Korngrößenverteilung			Bodenart	Bodenwassergehalt bei pF				nFK b. pF	C _{org}	CaCO ₃	pH CaCl ₂
	uT cm	g cm ⁻³		G-%	S %	U %		T %	1,5	2,0	2,5 Vol. %				
Ap	10	1,27	0,08	16,9	56,5	26,6	Lu	38,2	32,2	28,6	16,7	11,9	1,7	0,3	6,6
	25	1,39						37,9	33,8	29,8	18,3	11,5			
Ah	43	1,46						37,6	34,9	31,9	21,3	10,6	1,2	0,3	6,5
Ah-Bv	65	1,49	0,08	16,9	53,7	29,4	Lu	38,3	36,3	34,2	27	7,2	0,8	0,2	6,7
Ckc1	110	1,53	4,4	29,1	50,7	20,3	Lu	37,4	34,1	29,4	19,9	9,5	0,3	17,8	7,4
Ckc2	130	1,59	8	26,2	54,6	19,2	Lu	36,5	34,2	31	20,8	10,2	0,2	15,3	7,6
	140	1,64						34,4	32,8	30,8	20,7	10,1			
	160	1,67						36,5	34,7	32,1	21,1	11			
Ckc3	170	1,62	7	22,3	57,7	19,9	Lu	38,5	37	33,7	20,5	13,2	0,3	12,8	7,6
	195	1,58						39,3	37,4	34,2	24	10,2			

Tabelle 2: Bodenphysikalische und -chemische Kennwerte der Para-Rendzina aus unterem Keuper im Thüringer Becken

Horizont	pt		Skelett	Korngrößenverteilung			Bodenart	Bodenwassergehalt bei pF				nFK b. pF	C _{org}	CaCO ₃	pH CaCl ₂
	uT cm	g cm ⁻³		G-%	S %	U %		T %	1,8	2,0	2,5 Vol. %				
Ap-Ah	22	1,46	29,3	8,0	49,6	42,4	Lt3	43,6	43,3	42,3	29,0	13,2	1,23	12,6	7,6
I elCv	58	1,5	42,1	5,3	54,8	39,9	Tu3	44,9	44,3	42,8	25,4	17,4	0,17	2,3	7,7
II elCv	73	1,76	24,9	25,5	52,5	22	Lu	34,6	34,2	33	24,9	8,1	0,23	<0,5	7,7
III elCv	101	1,78	27,4	36,1	44,7	19,2	Ls2	34	33,6	32,5	22,2	10,3	0,25	<0,5	7,5
IV elCv	128	1,8	45,7	24,8	56,7	18,5	Lu	30,7	30,3	29,3	20,5	8,8	0,21	<0,5	7,3
V elCv	154	1,75	56,9	38,1	42,2	19,7	Ls2	33,6	33,3	32,2	19,6	12,6	0,35	<0,5	7,2
VI Cn1	182		48,2	15,7	53,3	31	Tu3	31,3	30,3	29,5	16,4	13,1	0,41	<0,5	7,1
VII Cn2	200		63,7	10,6	59,9	29,5	Lu	29,7	28,9	27,1	16,4	10,7	0,4	<0,5	7,0
VIII Cn3	250														

bodenphysikalisches Labor der TLL, Dr. R. Paul, VDLUFA, 2002

Bodenart ist durchgängig schluffiger Lehm. Mit einem Grobporenvolumen von > 6 Vol.% in 0...200 cm Tiefe und Nadelstichporengefüge bestehen günstige Bedingungen für die Durchwurzelung. In Anbetracht mittlerer nFK-Werte im Bereich von 7,2 bis 13,2 Vol.% (Drucktopfmethode, pF 2,5) bzw. 9,7...14,1 Vol.% (Neutronensondenmessung) würde bei einer effektiven Durchwurzelungstiefe von 1,6 m ein nutzbarer Bodenwasservorrat von etwa 160 bzw. 190 mm zur Verfügung stehen.

Die Para-Rendzina ist aus carbonathaltigen lockeren und festen Mergelgesteinen hervorgegangen. Der bis in 22cm Tiefe reichende Ap/Ah-Horizont ist ein mittel schluffiger Lehm und der Bodenart Ton zuzuordnen (Tabelle 2). Darunter folgen tonige, schluffige und lehmige Verwitterungsprodukte des unteren Keupers mit im Tiefenverlauf stark wechselnden Korngrößenanteilen und Skelettgehalten. Bodenausgangsgesteine sind Dolomit, Tonstein, Tonmergel, Schluffmergel und Sandstein. Die Horizontgrenzen sind aufgrund kryoturbater Umlagerungen teils eben und geneigt teils zungen- und taschenförmig ausgebildet und begründen die Annahme der Ausbildung präferentieller Fließbahnen und wassergesättigter Porenbereiche, wodurch es zu einer Erhöhung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge über den Wert der Feldkapazität kommen kann. Die mittels

Drucktopfmethode bestimmten Werte der nutzbaren Feldkapazität bewegen sich im Bereich von 8,1...17,5 Vol% (pF 2,5). Der Skelettgehalt sollte mit einer repräsentativen Probenahme für die Ermittlung des Wassergehaltes in den Druckstufen pF 1,8 bis 3,0 berücksichtigt sein. Der Wassergehalt bei pF 4,2 ergibt sich aus dem Wassergehalt des Solums <2mm nach Einwirkung von 15 bar multipliziert mit der pt des Solums (VDLUFA, 2002).

Klima und Witterung

Die vieljährige Niederschlagsmenge beträgt 551 mm/a und das vieljährige Temperaturmittel 8,2 °C.

Im Untersuchungszeitraum war es im Jahr 2005 zu warm und etwas zu trocken. Das Jahr 2006 zeigt sich im Winterhalbjahr niederschlagsnormal und während der Vegetationszeit deutlich zu warm und zu trocken (+1,9 K, 79 % vj. NS), insbes. im Juni und Juli. Daran schließt sich im Winterhalbjahr 2006/07 eine überdurchschnittlich warme und trockene Witterung, die ab Mai 2007 in eine sehr niederschlagsreiche Periode (153 % vj. NS) mit normalen Temperaturen übergeht. Im Winterhalbjahr 2007/08 setzt sich die feuchte Witterung bei übernormalen Temperaturen fort und geht im Sommerhalbjahr 2008 wieder in eine

trockene, etwas zu warme Witterung (+0,5 K, 73 % vj. NS) über. Im Jahr 2009 ist es nach einem trockenen Winter (85 % vj. NS) auch während der Vegetationszeit bei normalen Temperaturen etwas zu trocken (88 % vj. NS), insbesondere im August. Das Jahr 2010 zeichnet sich sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr durch eine zu feuchte Witterung (110 und 120 % vj. NS) mit leicht unternormalen Temperaturen aus.

In der Fruchtfolge werden in den Jahren 2005 bis 2010 Silomais, Braugerste, Winterraps, Winterweizen, Sorghum bicolor und Braugerste angebaut. Die N-Düngung erfolgt bedarfsgerecht nach dem Stickstoffbedarfsanalyse-System der TLL (N-Sollwert).

Die Feldlysimeter Butteltstedt sind monolithisch befüllt und weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2,5 m zur Etablierung eines repräsentativen Pflanzenbestandes und Gewährleistung eines uneingeschränkten Wurzelwachstums auf. Sie befinden sich inmitten eines Feldschlages mit gleichem Pflanzenbewuchs zur Vermeidung von Oaseneffekten. Das Bodenwasser wird auf den Lysimetern mit Löß (lö 15 und 16) in 2,3 m Tiefe unter Einwirkung von Unterdruck mit Hilfe keramischer Saugkerzen gewonnen und auf den Lysimetern mit Verwitterungssubstraten des Keupers (k 6 und 7) in 2,4 m Tiefe gravitativ über eine Filterstrecke aus Quarzschluff und -sand. Die Lysimeter stehen auf Plattformwaagen und werden kontinuierlich gewogen mit einer Genauigkeit von 100 g resp. 0,05 mm.

Die Bodenfeuchte wird auf den Lysimetern mit Löß mit Hilfe einer Am/Be-Neutronensonde in 20 cm-Tiefenstufen und wöchentlichem Abstand während der Vegetationszeit gemessen. Auf der Para-Rendzina ist aus Gründen der hohen Skelettgehalte vom Einbau einer Rohrsonde abgesehen worden.

Ergebnisse

Wasserverbrauch, Erträge und Wassernutzungseffizienz

Der Wasserverbrauch der Kulturen liegt auf der Para-Rendzina um 46 und 66 mm (Braugerste, 2006 und 2010) bis 97, 102 und 107 mm (Silomais, Winterweizen, Sorghum bic.) niedriger im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem (Tabelle 3). Winterraps nimmt mit einem geringeren Wasserverbrauch um 75 mm im Anbaujahr 2007 eine Mittelstellung ein.

Ein Einfluss der Jahreswitterung oder Fruchtart ist kaum zu erkennen, in der Tendenz ist der Unterschied in den Trockenjahren (2005, 2006, 2008 und 2009) etwas größer. Im Mittel der Fruchtfolge ist der Wasserverbrauch auf der Para-Rendzina um 82 mm geringer als auf dem Lößboden.

Im Vergleich zum Wasserverbrauch wird der TM-Ertrag stärker reduziert. Das in geringerer Menge zur Verfügung stehende Wasser wird von den Pflanzen offenbar schlechter für die Biomassebildung verwertet als vom Lößboden, sichtbar am höheren Transpirationskoeffizienten.

Bodenwasserausschöpfung auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß

Die maximale Tiefe der Bodenwasserausschöpfung beträgt in der Reihenfolge der Kulturen in der Fruchtfolge von 2005 bis 2010: 180 (Silomais), 200 (Braugerste), 240 (Winterraps), 200 (Winterweizen) 200 Sorghum bic. und 120 cm (Braugerste). Der Bodenwasserentzug beläuft sich auf: 146 (Silomais), 212 (Braugerste), 112 (Winterraps), 215 (Winterweizen), 187 (Sorghum bic.) und 127 mm (Braugerste) (Abbildung 1).

Tabelle 3: Wasserverbrauch, Trockenmasseertrag und Transpirationskoeffizient der landwirtschaftlichen Kulturen auf Para-Rendzina und Braunerde-Tschernosem

Jahr	Fruchtart	Zeitraum Aufgang bis Ernte	Para-Rendzina aus unterem Keuper (k)			Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö)			Vergleich der Böden k zu lö	
			ET	TM-Ertrag	TK	ET	TM-Ertrag	TK	ET	TM-Ertrag
			mm	dt/ha	kg H ₂ O/kg TM	mm	dt/ha	kg H ₂ O/kg TM	%	%
2005	Silomais	4./23.5.-19./28.9.05	324	153,0	212	431	234,1	184	75	65
2006	Braugerste	19.4.-25.7.06	274	49,5 +49,3	277	320	71,3 +76,6	216	86	66
2007	Winterraps	6.9.06-12.7.07	303	31,2 +51,8	365	378	47,4 +77,7	302	80	66
2008	Winterweizen	21.11.07-1.8.08	351	74,72 +48,4	285	448	94,2 +68,2	276	78	75
2009	Sorghum bic.	20.5.-2.10.09	386	158,8	243	488	201	243	79	79
2010	Braugerste	2.4.-22.7.10	339	53,5 +26,7	423	405	67,8 +41,6	370	84	73

NIED...Niederschlag, ET...aktuelle Evapotranspiration, TK...(Evapo)-Transpirationskoeffizient, TM...Trockenmasse, b. Getreide und Raps oben Korn, unten Stroh

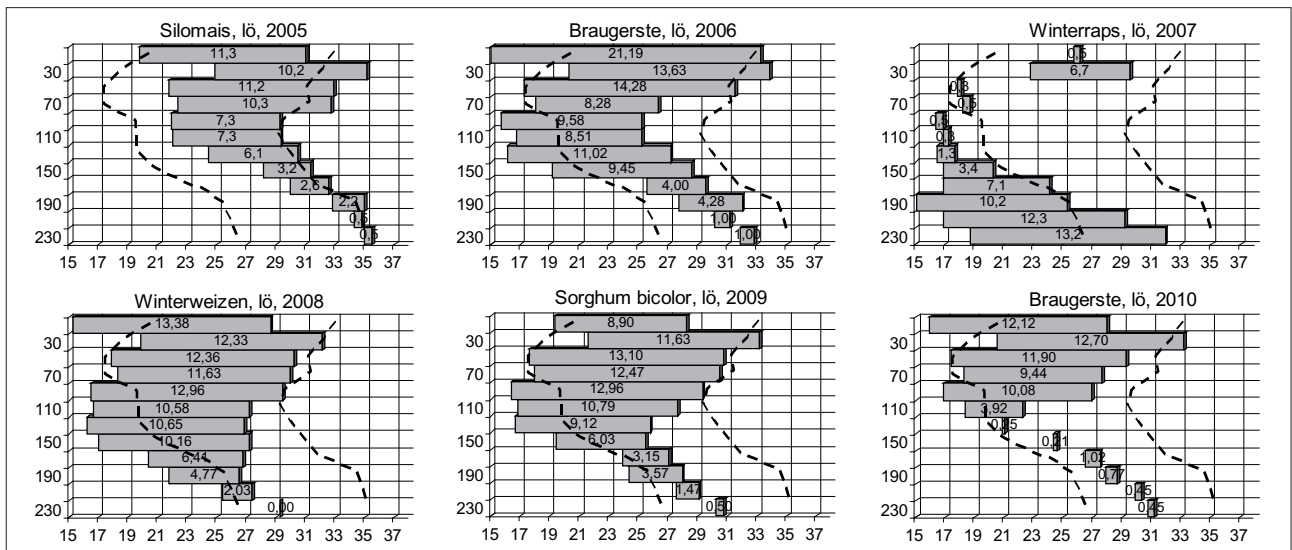


Abbildung 1: Intensität der Bodenwasserausschöpfung in den einzelnen Bodenschichten (0...20, 20...240 cm Tiefe) auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß (l615) in Vol.%, unterbrochene Linien PWP und FK, abgeleitet aus langjährigen Bodenfeuchtemessungen mit der Neutronenprobe

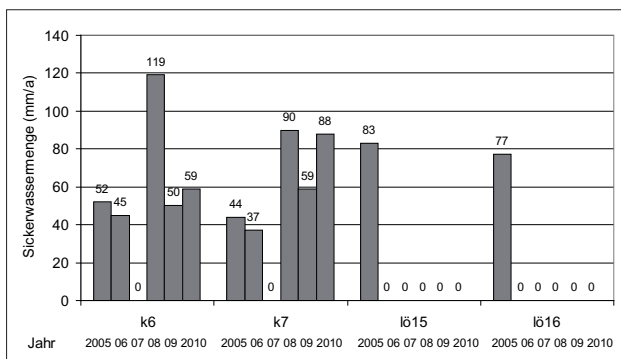


Abbildung 2: Sickerwassermengen auf der Para-Rendzina aus unterem Keuper und dem Braunerde-Tschernosem aus Löß in den Jahren 2005...2010

Auffällig ist, dass zu Wachstumsbeginn der Kulturen im Frühjahr 2006, 2007, 2008, 2009 und 2010 der Bodenwasserspeicher nicht vollständig aufgefüllt ist. Es fehlen zu Vegetationsbeginn noch -26 (2006), -192 (2007), -48 (2008), -44 (2009) und -75 (2010) mm. Dieser Befund ist typisch für die tiefgründigen Lößböden im Thüringer Becken mit einem vieljährigen Jahresniederschlag von < 550 mm. Insbesondere im Jahr 2007 erklärt diese Beobachtung den im Vergleich zu Winterweizen geringen Bodenwasserentzug der tiefwurzelnenden Kultur Wintertraps, zeigt aber auch das Potenzial dieser Pflanze, trotz einer bis zum ÄWP ausgeschöpft gebliebenen Bodenzone in 50 bis 140 cm Tiefe das Bodenwasser darunter bis in 240 cm Tiefe auszunutzen (Abbildung 1).

Die Ergebnisse bestätigen, dass Wintertraps, Winterweizen und Sorghum bic. in der Lage sind bei günstigen Bodenbedingungen ein tiefreichendes Wurzelsystem für die Aufnahme von Bodenwasser zu entwickeln. Aber auch Silomais und Braugerste vermögen bei trockener Witterung Bodenwasser tieferer Schichten zu erschließen. Im Mittel der Fruchtfolge ergibt sich ein Bodenwasserentzug, ohne Wintertraps 2007, von 177 mm.

Sickerwassermenge

Auf dem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß werden im Jahr 2005 80 mm Sickerwasser gebildet (Abbildung 2). Diese hohe Sickerwassermenge ist die Folge des Anbaus von Feldgemüse in den Jahren zuvor. Aufgrund der kürzeren Wachstumszeit, des geringeren Wurzeltiefgangs und der Verabreichung von Zusatzwasser ist das Bodenwasser weniger in Anspruch genommen. Zu Beginn der Fruchtfolge mit Ackerkulturen im Jahr 2005 steht deshalb ein vollständig aufgefüllter Bodenwasserspeicher bereit. In den Folgejahren bleibt eine Sickerwasserbildung aus.

Auf der Para-Rendzina kommt es in fünf von sechs Jahren zur Bildung von Sickerwasser und damit zur Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Im Jahr 2007 gibt es auch auf der Para-Rendzina kein Sickerwasser und es ist davon auszugehen, dass der Bodenwasserspeicher zu Vegetationsbeginn nicht vollständig aufgefüllt ist. Der im Vergleich zu Winterweizen geringere Bodenwasserentzug von Wintertraps im Jahr 2007 kann damit eine Erklärung finden.

Wasserbilanz

Mit Hilfe der Messwerte der Verdunstung und des Niederschlages aus der Gewichtsänderung der Lysimeter (auf der Basis von Stundenwerten) und der Messwerte der Sickerwassermenge ist die Tageswasserbilanz aus Niederschlag minus Verdunstung minus Sickerwasser gebildet worden und daraus durch Aufsummieren eine kumulative Wasserbilanz berechnet worden (Abbildung 3). Die Berechnung beginnt am 1.5.2005 mit aufgefülltem Wasserspeicher beider Böden und endet am 31.10.2010. Negative Werte der kumulativ aufsummierten Tages-Wasserbilanzen bedeuten die Inanspruchnahme von Bodenwasser, das Erreichen des Wertes 0 die vollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Dass auf beiden Böden Anfang des Jahres 2010 die kumulative Wasserbilanz über den Wert 0 steigt, ist im Zusammenhang mit Schneefall während einer länger

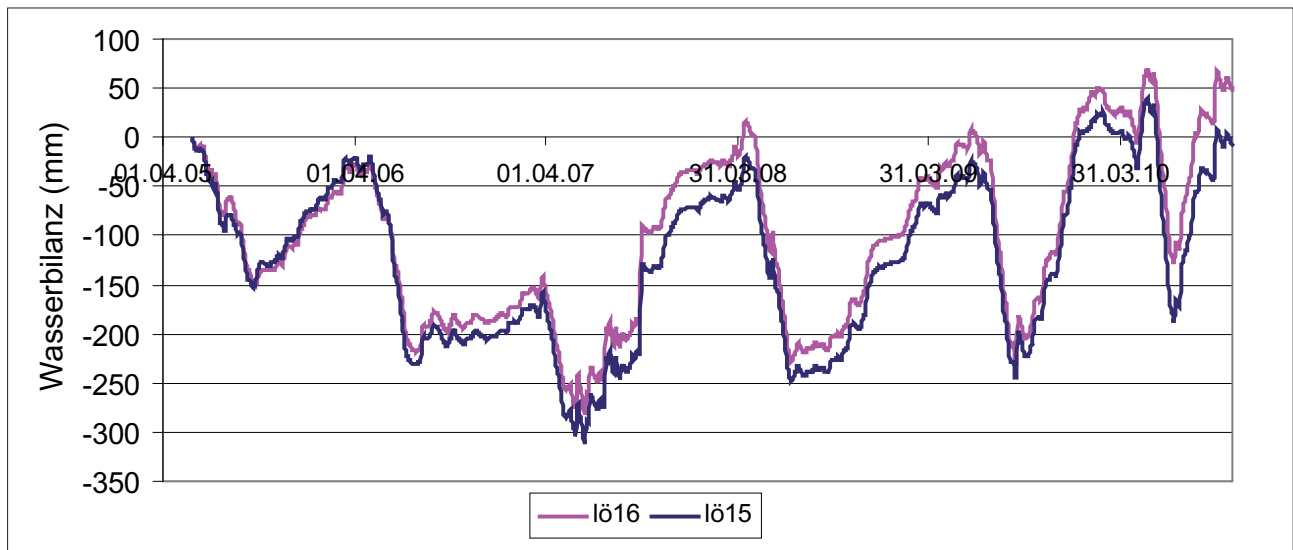


Abbildung 3: Kumulative Wasserbilanz (1.5.2005...31.10.2010) aus Niederschlag minus (Verdunstung + Sickerwasser) auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß im Anbauzeitraum mit Ackerkulturen 2005...2010, Lysimeter lö15 und lö16

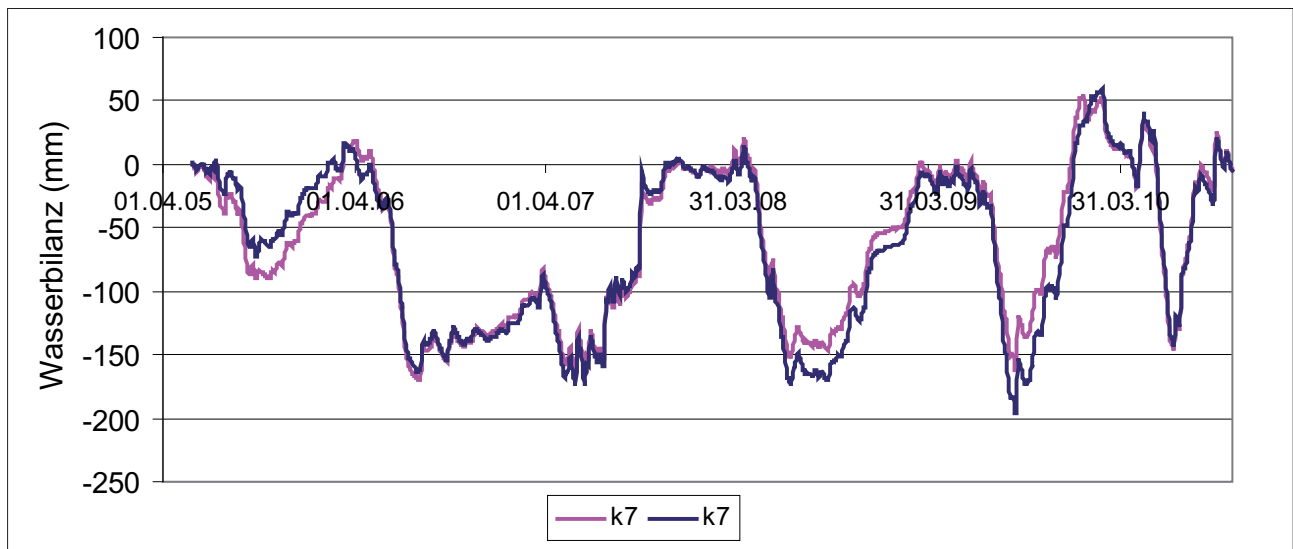


Abbildung 4: Kumulative Wasserbilanz (1.5.2005...31.10.2010) aus Niederschlag minus (Verdunstung + Sickerwasser) auf der Para-Rendzina aus unterem Keuper im Anbauzeitraum mit Ackerkulturen 2005...2010, Lysimeter k6 und k7

anhaltenden Frostperiode zu sehen. Auf dem Lößboden zeigen die Bodenfeuchtemessungen zu Vegetationsbeginn keine vollständige Wiederauffüllung und es tritt auch kein Sickerwasser aus. Vermutlich haben die nach der Tauphase überdurchschnittlich hohen Temperaturen im März 2010 (+4°C über dem Normalwert) über eine rasche Zunahme der Verdunstung einer Versickerung in tiefere Bodenschichten entgegengewirkt.

Die Minimalbeträge der kumulativen Wasserbilanz betragen auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß in den einzelnen Jahren der Fruchtfolge -155 (2005, Silomais), -225 (2006, Braugerste), -300 (2007, Winterarraps), -240 (2008, Winterweizen), -240 (2009, Sorghum bic.) und -145 mm (2010, Braugerste) (Abbildung 3). Im Mittel der Jahre sind es -227 mm. Im Jahr 2007 wird das Bodenwasser weit über den aus langjährigen Bodenfeuchtemessungen ermittelten nFKwe-Wert von 190 mm in Anspruch genommen. Das ist

im Zusammenhang mit dem Frühjahrs-Bodenfeuchtedefizit von -192 mm und dem außerordentlichen Bodenwasseraufnahmevermögen von Winterarraps aus der Bodenschicht unterhalb 140 cm zu sehen. Mit Ausnahme des Jahres 2005 mit Feldkapazität im Wurzelraum zu Vegetationsbeginn sind die Bodenwasserdefizite nach Ernte das Ergebnis aus der Summe des Bodenwasserdefizites im Frühjahr und dem Bodenwasserentzug der Pflanze während der darauffolgenden Vegetationszeit. Die mit der Neutronensonde ermittelten Beträge der Bodenfeuchteänderung stimmen gut mit den aus der Lysimeter-Wasserbilanz abgeleiteten Werten der Inanspruchnahme des Bodenwassers überein. Die Anwendung dieser Methode für die Ableitung der nutzbaren Feldkapazität auf der Para-Rendzina erscheint deshalb zulässig.

Auf der Para-Rendzina ergeben sich aus der Berechnung der kumulativen Wasserbilanz in den einzelnen Jahren der

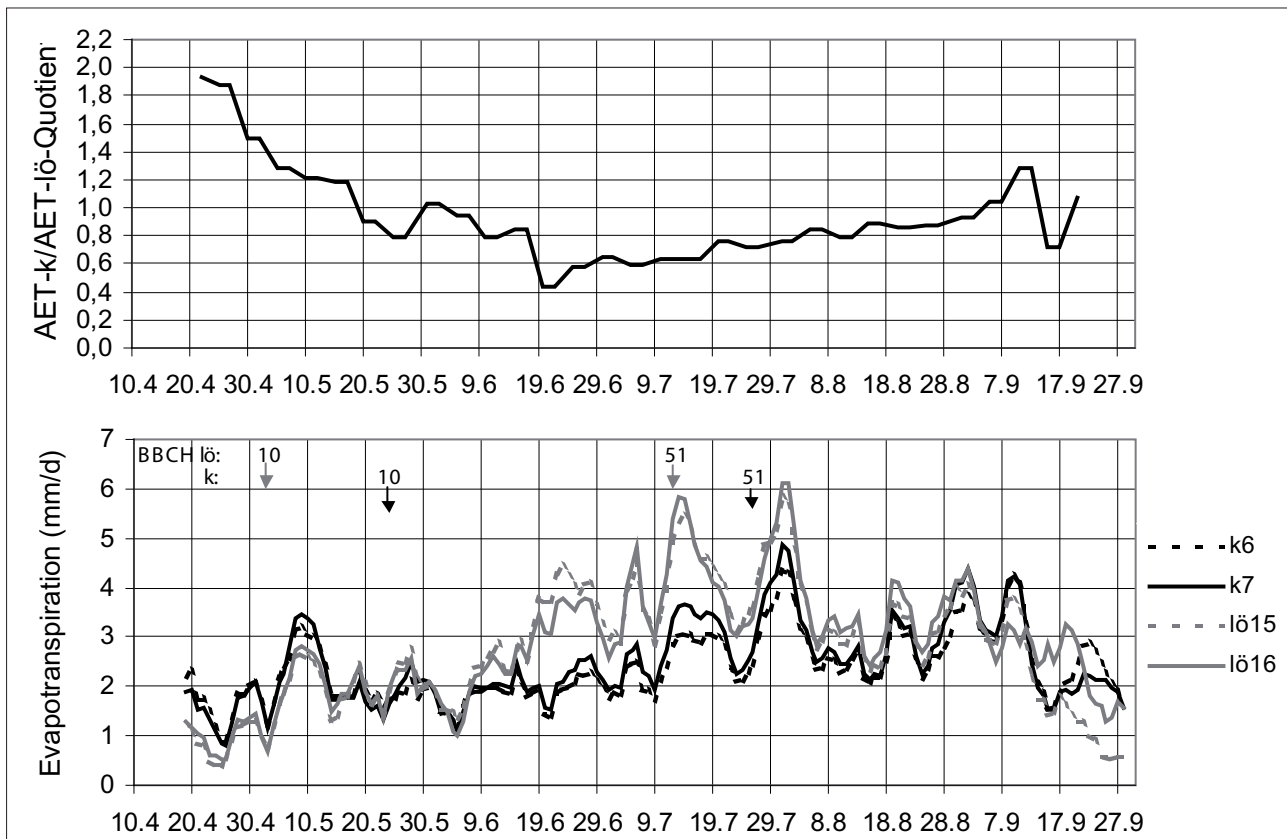


Abbildung 5: Tageswerte der Evapotranspiration von Silomais auf der Para-Rendzina aus unterem Keuper und dem Braunerde-Tschernosem aus Löß sowie AET-k-Quotient/ AET-lö-Quotient. AET...aktuelle Evapotranspiration von Silomais, k...Para-Rendzina, lö...Braunerde-Tschernosem

Fruchtfolge folgende Minimalbeträge: -74 (2005, Silomais), -160 (2006, Braugerste), -165 (2007, Winterraps), -165 (2008, Winterweizen), -175 (2009, Sorghum bic.) und -130 mm (2010, Braugerste) (Abbildung 4).

Die Ausschöpfungsbeträge der tiefer wurzelnden Kulturen Winterraps, Winterweizen und Sorghum bic. sind in der Tendenz höher.

Im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem mit gleichem Pflanzenbewuchs und identischen Bedingungen der Witterung (Niederschlag, Verdunstungsanspruch der Atmosphäre) wird auf der Para-Rendzina weniger Bodenwasser in Anspruch genommen. Die Differenzbeträge sind 82 (2005, Silomais), 62 (2006, Braugerste), 107 (2007, Winterraps), 80 (2008, Winterweizen), 60 (2009, Sorghum bic.) und 15 mm (2010, Braugerste). Im Mittel der Fruchtfolge werden vom Bodenwasserspeicher der Para-Rendzina 145 mm in Anspruch genommen. Im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem sind es 68 mm weniger. In Jahren mit Anbau tiefwurzelnder Kulturen fällt die Differenz etwas höher aus.

Ertragswirksamkeit des Bodenwassers

Für die Darstellung der Ertragswirksamkeit des Bodenwassers auf der Para-Rendzina im Vergleich zum Löß ist am Beispiel von Silomais der Quotient zwischen der aktuellen Evapotranspiration auf den beiden Böden gebildet worden.

Beide Böden weisen zu Vegetationsbeginn 2005 Feldkapazität auf. Die AET-k/AET-lö-Kurve beginnt zur Aussaat und endet zur Ernte. Es zeigt sich, dass nach der Aussaat bis zum Auflaufen die Evaporation auf der Para-Rendzina deutlich größer ist als auf dem Braunerde-Tschernosem. Der Mais geht auf der Para-Rendzina etwa 15 d später auf. Die höheren Verdunstungsverluste vor dem Auflaufen deuten daraufhin, dass für die Keimung weniger Bodenwasser als auf dem Löß zur Verfügung gestanden hat. Die Wuchsverzögerung hält bis zum Erreichen des vegetativen Stadiums (BBCH 51) an und ist mit die Ursache für die während der Hauptwachstumsperiode zu beobachtende geringere Verdunstung im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem. Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe wird auf dem Lößboden ab Ende Juni (BBCH32, 100 cm Wuchshöhe) aufgenommen, eine kumulative Wasserbilanz < -30 mm und damit ein größerer Bedarf an Bodenwasser entwickelt sich auf der Para-Rendzina erst ab Ende Juli (BBCH33, 110 cm Wuchshöhe). Bis zur Ernte nimmt Silomais auf der Para-Rendzina 74 mm Bodenwasser auf, auf dem Braunerde-Tschernosem 155 mm. Der im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem geringere Wasserverbrauch des Silomaises im Jahr 2005 ist nicht nur das Ergebnis eines geringeren Wasserangebotes in tieferen Schichten, sondern auch einer geringeren Wasserverfügbarkeit im stark tonhaltigen Substrat der Ackerkrume während der Keimung mit der Folge einer verzögerten Pflanzenentwicklung. Beides hat vermutlich dazu beigetragen, dass die Ertragswirksamkeit des weniger

aufgenommenen Wassers auch noch geringer ist und der Transpirationskoeffizient höher ausfällt.

Diskussion

Auf der Para-Rendzina wird das Bodenwasser im Mittel der Fruchtfolge um 145 mm mit einer jahres- und fruchtarten-abhängigen Schwankung von 74 bis 175 mm in Anspruch genommen. Im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem aus Löß mit gleichen Bedingungen des Bewuchses und der Witterung sind es im Mittel der Jahre 68 mm mit einer Schwankungsbreite von 15 bis 107 mm weniger.

Der aus langjährigen Neutronensondenmessungen für den Braunerde-Tschernosem aus Löß abgeleitete nFKwe-Wert von 190 mm fällt im Zeitraum von 2005...2008 mit 227 mm etwas höher aus. Das liegt am Extremjahr 2007 mit einem Bodenwasserdefizit von -150 mm zu Vegetationsbeginn und dem Bodenwasseraufnahmevermögen von Winterraps von knapp 100 mm aus der Bodenzone 140...240 cm. Ohne das Anbaujahr mit Winterraps läge die nFKwe bei 200 mm. Umgerechnet in Vol.% entspricht dieser Wert in etwa dem zwischen den Druckstufen pF 4,2 und 2,5 ermittelten Bodenwassergehalt.

Für die Para-Rendzina ermittelt sich für diesen Druckbereich eine nutzbare Feldkapazität von 13,2 Vol.% im Mittel

der oberen 1m-Bodenzone. Bei einer aus der Wasserbilanz abgeleiteten pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge von 145 mm könnte die effektive Durchwurzelungstiefe etwa 110 cm betragen. Messungen dazu sind nicht erfolgt. Da in Einzeljahren Wasserbilanzdefizite von bis zu 175 mm entstanden sind, kann die Durchwurzelung auch tiefer erreicht haben. Des Weiteren kann bei diesen hohen Mengen nicht ausgeschlossen werden, dass Stauwasser auf gering durchlässigen Boden zonen die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge über den für Feldkapazität ermittelten Wert erhöht hat. Aufgrund des geringeren Wasserdargebotes ist die Ertragserwartung auf der Para-Rendzina deutlich niedriger als auf dem Braunerde-Tschernosem. In der Fruchtfolge 2005 ...2010 liegt der TM-Ertrag um 21...35 % niedriger. Der Ertrag wird stärker reduziert als die Wasseraufnahme. Das kann nicht nur die Folge der abnehmenden Verfügbarkeit des Wassers tieferer Bodenschichten sein, sondern auch der geringeren Verfügbarkeit im stark tonhaltigen Substrat der Ackerkrume während der Keimung und Jungpflanzenentwicklung, die zu einer verzögerten Pflanzenentwicklung führt.

Literatur

VDLUFA, 2002: Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch 1. 3. Teillieferung C.4.3.2