

Einfluss abnehmenden Wasserangebotes auf die Evapotranspiration und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen mittels wägbarer Feldlysimeter

Steffi Knoblauch^{1*}

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Wertepaaren des Wasserverbrauches und der Gesamttrockenmasse, ermittelt mit wägbaren Feldlysimetern, sind für Winterraps und Sommergerste Wasser-Ertrags-Beziehungen abgeleitet worden. Dabei zeigte sich eine Abhängigkeit von der Wassernachlieferung des Bodens und der Jahreswitterung. Letztere beruht vermutlich auf in frühen Ontogeneseabschnitten unter Trockenstress erworbene Stabilisierungsmechanismen, durch die die Pflanze während des Hauptwachstums bei reduzierter Transpiration die Photosynthese zeitweilig unvermindert fortsetzen kann. Anhand der Wasser-Ertrags-Beziehungen ist erkennbar, dass Sommergerste weniger Wasser benötigt als Winterraps. Die ermittelten Schwellenwerte der Bodenfeuchte zeigen andererseits, dass Winterraps mehr Bodenwasser ohne Einschränkung der Transpiration aufzunehmen vermag. Das relativiert den Vorteil des geringeren Wasserverbrauches von Sommergerste. Wenn das Wasser knapper wird, kann auf der Basis derartiger Beziehungen Auskunft gegeben werden, welche Fruchtart mit dem vorhandenen Niederschlagsangebot zuzüglich des Betrages der Bodenwasserausschöpfung den höheren Gewinn erzielt.

Schlagwörter: Wasser-Ertrags-Beziehungen, Bodenwasserausschöpfung, Wassernutzungseffizienz, pflanzlicher Wasserverbrauch, wägbare Lysimeter

Summary

Using pairs of values of water consumption and total dry mass, determined by means of weighable field lysimeters, water-yield-relations of winter rape and summer barley are derived. This showed a dependence on the capillary water supply out of the soil and the annual weather. Probably the latter is due to stabilising mechanism, which plants can acquire in the early development stages under drought stress and with the help of which the plants can temporarily continue photosynthesis when transpiration rate is lowered. On the basis of water-yield-relations it can be seen, that summer barley need less water than winter rape. But on the other hand the determined threshold value of soil water content show, that winter rape can withdraw more soil water without reducing the transpiration. This relativises the advantage of the lower water consumption of summer barley. As water becomes even scarcer, water-yield-relations can help to find out, which crops produce the higher economic profit at a given precipitation and in relation to their genetic potential to take up soil water.

Keywords: water-yield-relations, root water uptake, water use efficiency, water consumption of plants, weighable lysimeter

Einleitung

Dem klassischen Ansatz folgend, dass zwischen der Photosyntheserate und der Transpirationsrate ein linearer Zusammenhang besteht, können Beziehungen zwischen der Evapotranspiration und dem Trockenmasseertrag Auskunft geben über den Wasserbedarf der Kulturpflanze und anhand des Anstiegs der Regressionslinie über die Wasserausnutzung. Der Verlauf dieser Beziehung hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu zählen sämtliche das pflanzliche Wachstum beeinflussende agronomische Bedingungen, wie Bodenbearbeitung, Humusversorgung und Düngung sowie Befall mit Krankheiten und Schaderregern. Bekannt ist auch, dass der lineare Zusammenhang zwischen Photosynthese und Transpiration teilweise entkoppelt werden kann durch die Abhängigkeit der Photosyntheserate vom Wasserstatus der Pflanze. In einem Gefäßversuch

mit Gerstenpflanzen zeigte sich zeitweilig eine Photosynthesestabilität bei beginnender Bodenaustrocknung und abnehmender Transpirationsrate, wenn in frühen Ontogeneseabschnitten der Pflanzen (BBCH 30 bis 32) Trockenperioden auftraten (BERGMANN et al. 1982). An von Anfang an feucht gehaltenen Gerstenpflanzen war dieser Stabilisierungseffekt während des Hauptwachstums nicht zu erkennen. Es wird vermutet, dass die durch Trockenheit in der Jugendperiode erworbene Wasserstatusstabilisierung auf Veränderungen in xeromorpher Richtung und osmotische Adaption beruht (BERGMANN et al. 1982). Wasser-Ertrags-Beziehungen können hilfreich sein, wenn bei knapper werdendem Wasserangebot die Entscheidung zu fällen ist, mit welcher Wassermenge der höhere Ertrag bzw. der höhere ökonomische Gewinn erzielt werden kann. Das Bodenwasseraufnahmevermögen der Pflanze spielt dabei eine wichtige Rolle.

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Straße 98, 07745 JENA

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



Tabelle 1: Varianten der Lysimeteranlage Buttelstedt

Faktor Boden	Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö)	Para-Rendzina aus unterem Keuper (k)
Faktor Wasser	Zusatzwasser zur Aufrechterhaltung von etwa 60 bis 80 % nFK (PET)	natürlicher Niederschlag (AET)
Faktor Düngung	mineralisch (min)	mineralisch-organisch (min-org)

Tabelle 2: Ausgewählte Eigenschaften der Böden

Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö13..lö16)						Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö9..lö12)					
Horizont	uT	pt	Skelett	Bodenart	nFK	Horizont	uT	pt	Skelett	Bodenart	nFK
	cm	gcm ⁻³	G.-%		pF2,5 Vol.%		cm	gcm ⁻³	G.-%		pF2,5 Vol.%
Ap	25	1,36	0,08	Lu	11,6	Ap	30	1,54	0	Tu3	5,0
Ah	43	1,46		Lu	10,6	Ah	42	1,59	0	Tu3	5,3
Ah-Bv	65	1,49	0,08	Lu	7,2	Ah-Bv	63	1,49	0	Tu3	5,0
Ckc ₁	110	1,53	4,4	Lu	9,5	Ckc ₁	149	1,56	0	Lu	8,7
Ckc ₂	160	1,63	8	Lu	10,5	pal Bvhc	190	1,63	0	Tu3	3,1
Ckc ₃	195	1,59	2,5	Lu	11,1	pal Sd-eBt	210	1,61	0	Tu3	5,1
						palSw-eCc	250	1,64	0	Tu3	2,9
Para-Rendzina aus unterem Keuper (k6, k7)						Para-Rendzina aus unterem Keuper (k1..k3)					
Horizont	uT	pt	Skelett	Bodenart	nFK	Horizont	uT	pt	Skelett	Bodenart	nFK
	cm	gcm ⁻³	G.-%		pF2,5 Vol.%		cm	gcm ⁻³	G.-%		pF2,5 Vol.%
Ap-Ah	22	1,46	29,3	Lt3	13,2	Ap-Ah	35	1,42	5,2	Lt3	5,8
I elCv	58	1,5	42,1	Tu3	17,4	I elCv	51	1,67	17,4	Ls2	5,4
II elCv	73	1,76	24,9	Lu	8,1	II elCv	70	1,70	0,3	Lt2	2,0
III elCv	101	1,78	27,4	Ls2	10,3	III elCv	83	1,73	12,4	Lt2	4,7
IV elCv	128	1,8	45,7	Lu	8,8	IV elCv	101	1,74	16,2	Lu	8,3
V elCv	154	1,75	56,9	Ls2	12,6	V elCv	110		23,3	Ls3	
VI elCn ₁	182		48,2	Tu3	13,1	VI elCv	128	1,68	0,9	Lu	4,0
VII elCn ₂	200		63,7	Lu	10,7	VII elCv	139	1,71	2,4	Ls2	11,1
VIII elCn ₃	250					VIII elCv	148	1,72	1,9	Lu	6,9
						IX elCv	170	1,72	24	Sl4	11,5

Die Lysimeteranlage Buttelstedt verfügt seit 2005 über sechzehn Lysimeter, die mit einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß und einer Para-Rendzina aus unterem Keuper befüllt sind und sich deutlich in der Wasserbereitstellung unterscheiden. Zwei der mit Löß befüllten Lysimeter werden seit 1983 mit Zusatzwasser versorgt für die Bestimmung der potenziellen Evapotranspiration der Pflanze. Mit diesen unterschiedlichen Stufen des Wasserangebotes soll unter sonst gleichen agronomischen und klimatischen Bedingungen der Versuch unternommen werden, Beziehungen zwischen Evapotranspiration und Trockenmasseertrag am Beispiel der Kulturarten Winterraps und Sommergerste zu finden.

Material und Methoden

Lysimeteranlage Buttelstedt

Die Feldlysimeter weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2,0 m (Para-Rendzina aus unterem Keuper) bzw. 2,5 m (Braunerde-Tschernosem aus Löß) auf. Sie sind monolithisch befüllt und befinden sich inmitten eines 30-ha großen Feldschlages, der ebenso wie die Feldlysimeter bewachsen ist, um Oaseneffekte zu vermeiden. Die Feldlysimeter werden mit Hilfe einer Plattformwaage (lö13, lö14, k6 und k7) bzw. mittels Ringtorsionswägezellen (ab

2009 in mehreren Schritten alle weiteren Lysimeter) mit einer Genauigkeit von 100 g, resp. 0,05 mm gewogen. Für die Ermittlung der Wasser-Ertrags-Beziehung stehen ab 2009 sechs, ab 2010 zehn, ab 2011 dreizehn und ab 2012 alle Lysimeter zur Verfügung. Das Sickerwasser wird auf dem Lößboden unter Einwirkung eines Unterdruckes mittels Saugkerzen (Keramik, Borosilikatglas) und auf der Para-Rendzina gravitativ über eine Filterstrecke aus Quarzschluff- und -sand gewonnen.

Als Fruchtarten gelangen seit 2005 Silomais/Sorghumhirse, Sommergerste, Winterraps und Winterweizen in einer vierfeldrigen Fruchtfolge zum Anbau. Die Auswahl der Sorten richtet sich nach dem aktuellen Sortenratengeber der TLL. Die Versorgung mit Nährstoffen erfolgt nach dem Düngungsberatungssystem der TLL. Es werden eine mineralische und eine mineralisch-organische N-Düngungsvariante mit gleich hohem N-Sollwert geprüft (Tabelle 1).

Die Bodenbearbeitung wird mit Hacke und Spaten vorgenommen, vergleichbar einer Grubberkombination im Feld mit einer Bearbeitungstiefe von 15 cm. Für die Gesunderhaltung des Pflanzenbestandes kommen Pflanzenschutzmittel unter Beachtung von Bekämpfungsschwellen zum Einsatz. Nach Aufgang der Pflanzen wird auf allen Lysimetern auf eine etwa gleiche Zielpflanzen-Zahl vereinzelt (Sommergerste 310 Pflanzen je m², Winterraps 55 Pflanzen je m²).

Für die Bestimmung der potenziellen Evapotranspiration der Pflanze (PET) erhalten zwei der mit Löß befüllten Lysimeter (lö13, lö14) seit 1983 Zusatzwasser zur Aufrechterhaltung von etwa 60 bis 80 % nFK im jeweiligen Wurzelraum (Tabelle 1). In den Jahren 2005 bis 2008 waren diese Lysimeter nicht wägbare. Die anderen beiden, 1983 gewonnenen Lysimeter lö15 und lö16 wurden unter natürlichem Niederschlag belassen, wie auch alle weiteren im Jahr 2005 gewonnenen Lysimeter (k1 bis k6 und lö8 bis lö12).

Die Bestimmung der potenziellen Evapotranspiration der Pflanze erfolgt mit zwei Wiederholungen, die Düngungsvarianten werden mit 3 bzw. 4 Wiederholungen untersucht.

Der Bodenwassergehalt wird in Tiefenstufen von 20 cm bis in 240 cm Tiefe mit Hilfe einer Am/Be-Neutronen-sonde (Fa. Troxler) während der Vegetationszeit in wöchentlichem Abstand gemessen.

Böden

Der Braunerde-Tschernosem aus Löß ist hinsichtlich der Bodenart durchgehend durch schluffigen Lehm (lö13 bis lö16, Tongehalt 19,2 bis 29,4 %) oder wechselnd schluffigen Ton und schluffigen Lehm (lö8 bis lö12, Tongehalt 24,1 bis 39,3 %) charakterisiert (Tabelle 2).

Nadelstichporengefüge und Grobporengehalte > 6 Vol.% bis in 250 cm Tiefe begünstigen die Durchwurzelung. Kennzeichnend für die Para-Rendzina aus unterem Keuper ist ein stark toniger Lehm im Ap-Horizont (Tongehalt 39,1...43,7%). Darunter folgen, in der Fläche unterschiedlich ausgeprägt, mehrere Lagen schluffig-toniger und lehmiger Verwitterungsprodukte des unteren Keupers mit häufig hohen Skelettanteilen, die bis in 100 cm Tiefe durch dm-mächtige Lößlagen unterbrochen sein können. Die Horizontengrenzen sind eben (lö) bis taschenförmig (k), letzteres aufgrund periglazialer Umformungen. Entsprechend der unterschiedlichen Abfolge der Bodenarten und Skelettanteile unterscheiden sich die k-Lysimeter z.T. sehr stark in der Bodenwasserbereitstellung (Tabelle 2).

Klima und Witterung in den Versuchsjahren 2006, 2007, 2010 und 2011

Der Versuchsstandort liegt am südöstlichen Rand des Thüringer Beckens im mitteldeutschen Trockengebiet mit einer vieljährigen Niederschlagssumme von 544 mm und einem vieljährigen Temperaturmittel von 8,3 °C (1961...90). Im Jahr 2006 ist es im Winterhalbjahr niederschlagsnormal, ebenso zu Beginn der Vegetationszeit im April und Mai. Der Juni und Juli 2006 zeichnen sich mit 47 und 30 % des vj. NS durch eine sehr trockene Witterung aus. Im Mittel ist es in der Vegetationszeit deutlich zu warm (+1,9 K). Daran schließt eine sehr warme und trockene (+2,9 K, 75 % vj. NS) Witterung im Winter 2006/07, die bis April mit 12 % vj. NS anhält. Von Mai bis Juli 2007 ist es niederschlagsreich (159 % vj. NS) und temperaturnormal. Nach einem feuchten und kühlen Winter 2009/10 herrscht im April 2010 eine sehr trockene Witterung vor (32 % vj. NS). Im Mai setzen ergiebige Niederschläge ein (219%), im Juni bleiben sie mit 8 % vj. NS fast aus. Insgesamt ist das Sommerhalbjahr 2010 etwas zu kühl. Das darauffolgende Winterhalbjahr 2010/11 zeigt sich etwas zu trocken. In der Vegetationszeit hält von März bis Mai 2011 mit 45 % vj. NS eine sehr trockene und zu warme Witterung (+2 K) an. Nach einem etwas zu trockenen Juni (85 % vj. NS) setzen ab Juli (174 % vj. NS) ergiebige Niederschläge ein.

Ergebnisse und Diskussion

Winterraps

Unter der Bedingung trocken-warmer Witterung bis Ende Mai 2011 (Ende Blüte) und normalem Niederschlagsaufkommen bis zur Ernte fällt die aktuelle Evapotranspiration der Lysimeter lö15 und lö16 während der gesamten Wachstumszeit kaum unter den Wert des unter potenziellen Verdunstungsbedingungen gehaltenen Pflanzenbestandes (Abbildung 1).

Ab Anfang Juni entwickelt sich ein leichter Rückgang von 1,2 auf 1,0. Ende Juni (Beginn Reife) sinkt der AET/PET-Quotient kurzzeitig unter 1,0. Nach RIJTMA 1966 wird

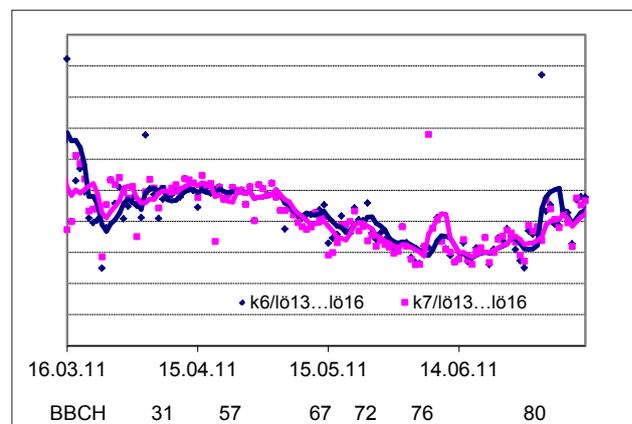
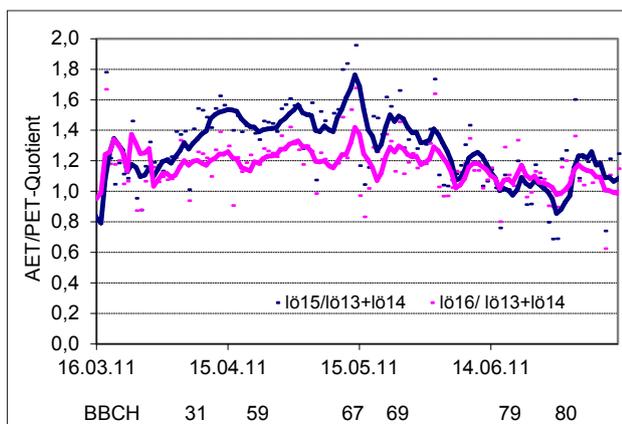


Abbildung 1: AET/PET-Quotient von Winterraps (Einzelwerte, Pentadenmittel) auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö) und der Para-Rendzina aus unterem Keuper (k) im Verlauf des Wachstums (Vegetationsbeginn bis Ernte) im Versuchsjahr 2011

Tabelle 3: Wasserverbrauch, Trockenmasseertrag und Transpirationskoeffizient von Winterraps in den Versuchsjahren 2011 und 2007

Var.	Lysimeter-Nr.	Wasserverbrauch ¹ mm	Trockenmasseertrag		Transpirationskoeffizient	
			Gesamt dt ha ⁻¹	Korn	16.3. bis Ernte kg H ₂ O kg Trockenmasse ⁻¹	Aufgang bis Ernte ²
2011						
lö/PET	13	424,1	153,5	60,8	276	375
	14	498,4	171,1	67,7	291	378
lö/AET	15	600,7	183,1	66,2	328	425
	16	548,3	156,6	60,6	350	466
k/AET	6	414,2	108,7	43,2	381	560
	7	413,2	115,0	45,7	359	527
2007						
lö/AET	15	380,4	131,4	50,6	289	441
	16	367,6	118,7	44,2	310	478
k/AET	6	307,8	83,5	31,8	369	583
	7	288,7	82,5	30,5	350	557

¹ Vegetationsbeginn bis Ernte, in beiden Jahren 16.3. bis 14.7. (2011) und 12.7. (2007)

² bezogen auf den Gesamtwasserverbrauch von Aufgang bis Ernte

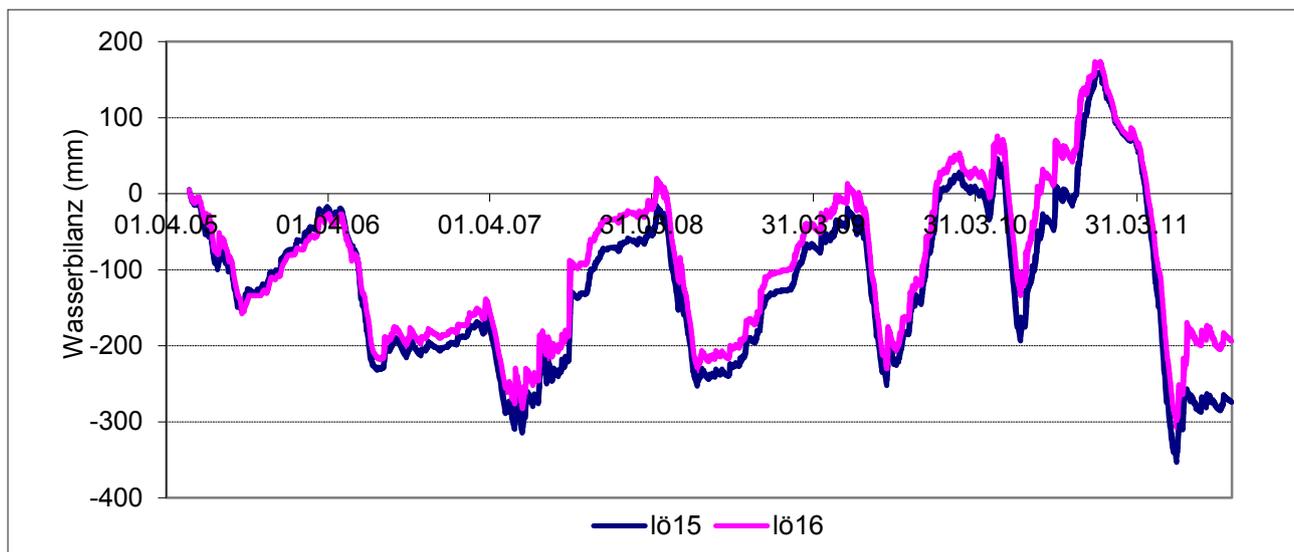


Abbildung 2: Kumulative Wasserbilanz (1.5.2005...31.10.2011) aus Niederschlag minus (Verdunstung + Sickerwasser) auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß im Anbauzeitraum 2005...2011, Lysimeter lö15 und lö16

ab einer Reduzierung der Transpiration um 20% mit einer deutlichen Einschränkung der Stoffproduktion gerechnet. Der Schwellenwert der Bodenfeuchte wird demnach erreicht, wenn der AET/PET-Quotient unter 0,8 sinkt. Der Verlauf des AET/PET-Quotienten in *Abbildung 1* gibt von einem leichten Absinken auf 0,9 Ende Juni abgesehen keinen Hinweis für eine Einschränkung der Stoffproduktion im Vergleich zu einem feucht gehaltenen Pflanzenbestand. Tatsächlich beläuft sich der Korn-Trockenmasseertrag der AET-Lysimeter lö15 und lö16 auf 66 und 61 dt/ha und liegt nicht niedriger im Vergleich zu den Werten der PET-Lysimeter lö13 und lö14 mit 61 und 66 dt/ha (*Tabelle 3*).

Die seit Beginn 2005 nach vollständiger Auffüllung des Bodenwasserspeichers berechnete kumulative Wasserbilanz aus Niederschlag minus (Verdunstung + Sickerwasser) ergibt für die AET-Lysimeter lö 15 und lö16 auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß kurz vor Ernte ein Bodenwasserdefizit von -330 und -287 mm (*Abbildung 2*).

Die mit Hilfe der Neutronensonde ermittelten Beträge der Bodenfeuchteauschöpfung zwischen dem 16.3. und 29.6. sind 291 und 255 mm (lö15 und lö16) (*Abbildung 3*). Bezogen auf die Feldkapazität errechnet sich anhand des am 29.6. ermittelten Bodenfeuchtwertes ein Defizit von -303 und -343 mm, in etwa vergleichbar dem Defizit der kumulativen Wasserbilanz (*Abbildung 2*).

Der positive Wert der kumulativen Wasserbilanz im März, April 2011 ist die Folge von über mehrere Wochen anhaltendem Schneefall, der nach dem Auftauen ab Mitte März eher die Verdunstung als das Sickerwasser gespeist hat (*Abbildung 2*). Sickerwasserbildung in Höhe von insgesamt 121,7 mm im Winterhalbjahr 2010/11 belegt aber, dass der Bodenwasserspeicher des Lößbodens nahezu vollständig aufgefüllt war. Unter dieser Randbedingung und sehr trocken-warmer Witterung bis Ende Blüte und etwas unternormalem Niederschlag bis zur Ernte vermochte Winterraps 291 bzw. 255 mm Bodenwasser aufzunehmen, ohne den

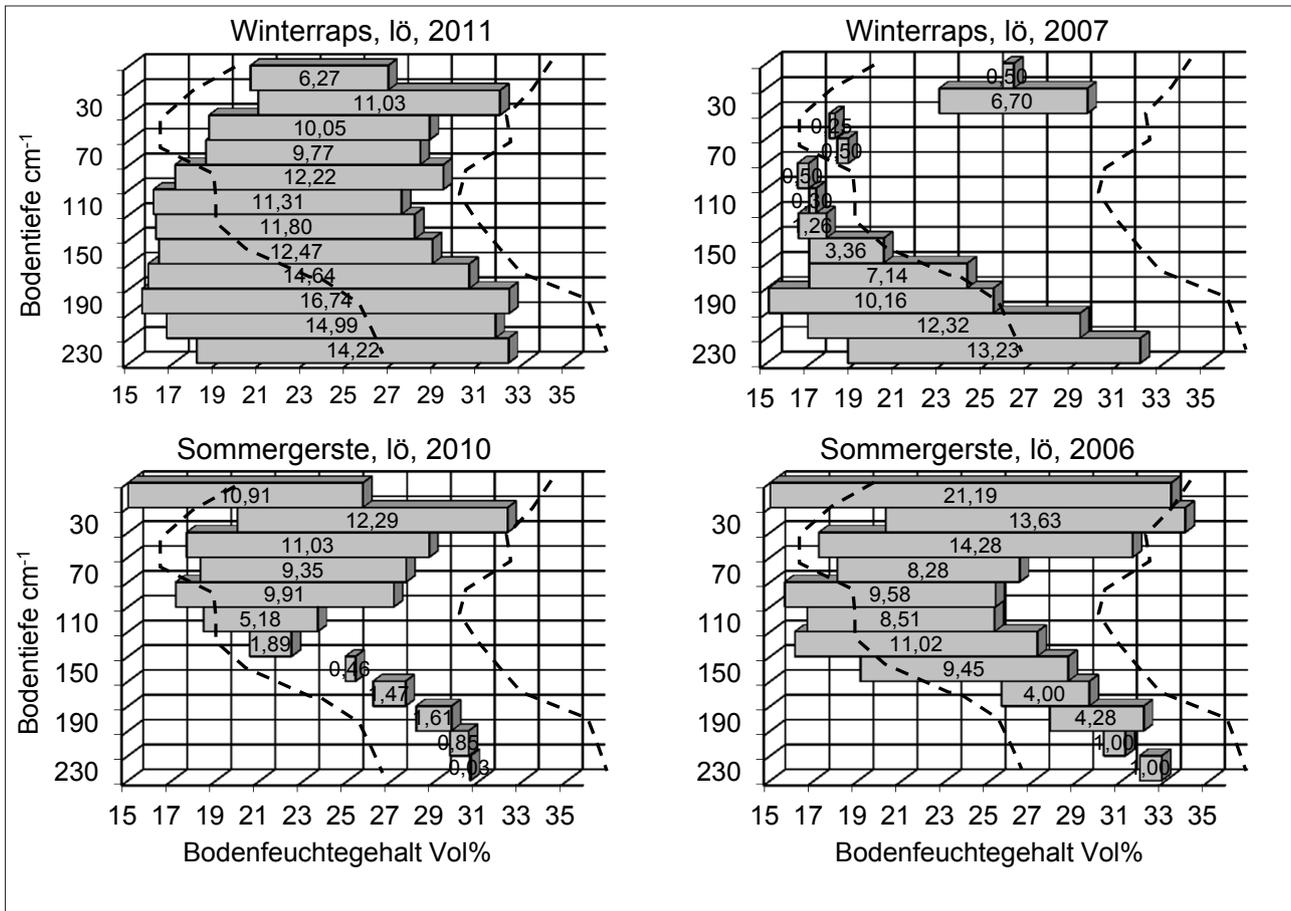


Abbildung 3: Intensität der Bodenfeuchteausschöpfung durch Winterraps und Sommergerste in den einzelnen Bodenschichten (0...20, 20...240 cm Tiefe) auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß (löß15) in Vol.%, unterbrochene Linien sind PWP und FK, abgeleitet aus langjährigen Neutronensondenmessungen

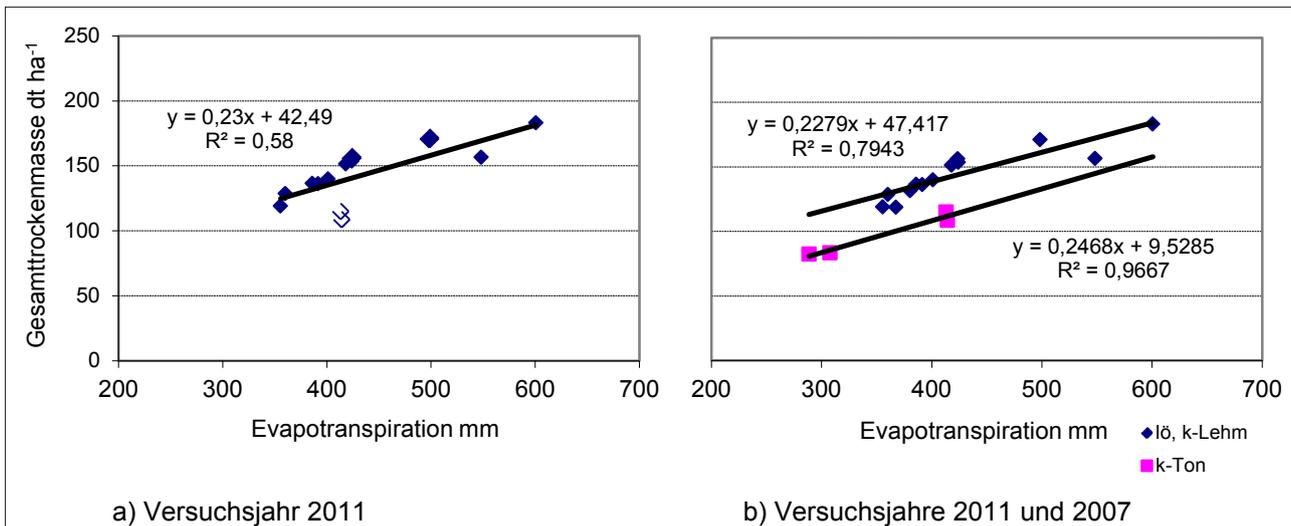


Abbildung 4: Beziehung zwischen Wasserverbrauch und Gesamttrockenmasse von Winterraps unter den klimatischen Bedingungen des Thüringer Beckens

Ertrag zu reduzieren. Unter der gleichen Randbedingung der Witterung gelang dies auf der tonigen, skelettreichen Para-Rendzina aus unterem Keuper (k6, k7) mit geringstem Bodenwasserspeicher nicht. Dennoch entwickelt sich bis

zum 29.6. ein Bodenwasserdefizit von -194 und -243 mm (k6 und k7, kumulative Wasserbilanz). Die Evapotranspiration der Lysimeter k6 und k7 wird im Vergleich zu den PET-Lysimetern lö13 und 14 schon ab etwa 8.5. während der

Vollblüte unter einen Quotienten von 0,8 gesenkt (*Abbildung 1*). Zu diesem Zeitpunkt weist die kumulative Wasserbilanz ein Bodenwasserdefizit von durchschnittlich -120 mm aus. Die Korn-Trockenmasseerträge der Lysimeter k6 und k7 liegen mit 43 und 46 dt/ha deutlich unter den Werten der PET-Lysimeter (*Tabelle 3*).

Durch In-Beziehung-Setzen des Wasserverbrauches von Vegetationsbeginn bis Ernte mit der Gesamttrockenmasse ergibt sich eine lineare Beziehung, wobei die Lysimeter k6 und k7 am weitesten streuen (*Abbildung 4a*).

Im Jahr 2007 wurde ebenfalls Winterraps angebaut. Ebenso wie im Jahr 2011 war es im April während früher Ontogeneseabschnitte bis Mitte Blüte ausgesprochen trocken. Ab Mai setzten ergiebige Niederschläge ein. Im Unterschied zu 2011 fehlten zu Vegetationsbeginn auf dem tiefgründigen Löß noch 192 mm bis zur vollständigen Auffüllung (*Abbildung 2*). Winterraps vermochte trotzdem noch 112 mm Bodenwasser aufzunehmen (*Abbildung 3*) und die kumulative Wasserbilanz weist kurz vor Ernte ebenso wie 2011 ein Bodenwasserdefizit von durchschnittlich -300 mm aus (*Abbildung 2*). Ein Vergleich mit der PET der Lysimeter 13 und 14 war in diesem Jahr nicht möglich. Die Korn-Trockenmasseerträge der Lysimeter lö15 und lö16 in Höhe von 44 und 51 dt/ha Korn deuten daraufhin, dass damit eine Einschränkung der Photosynthese verbunden war. Der erwartungsgemäß noch stärkere Trockenstress auf der Para-Rendzina zeigt sich an den noch geringeren Erträgen der Lysimeter k6 und k7 mit 32 und 31 dt/ha (*Tabelle 3*). Diese vier Wertepaare ordnen sich in die Wasser-Ertrags-Beziehung von Winterraps 2011 ein (*Abbildung 4b*) und lassen erkennen, dass durch getrennte Auswertung der eher schluffig-lehmigen Lysimeter aus Löß und Keuper einerseits und der tonigen und skelettreichen Ausprägungsform der Keuperverwitterungsböden k6 und k7 andererseits eine bessere Anpassung erreicht wird. Das deutet auf den Einfluss der Wassernachlieferung des Bodens auf die Wassernutzungseffizienz.

Sommergerste

Ein Vergleich der aktuellen mit der potenziellen Evapotranspiration von Sommergerste ist im Versuchsjahr 2010 nicht möglich aufgrund von Hasenfraß am Pflanzenbestand der Lysimeter lö13 und lö14.

Sommergerste wächst im April während der Phase der Blattentwicklung und Bestockung unter trockenen Verhältnissen (32% vj. NS) auf. Nach ergiebigen Niederschlägen im Mai (Bestockung, Schossen) folgt ab Ende Schossen im Juni mit 8 % vj. NS eine ausgesprochen trockene Periode. Während der Kornfüllung im Juli regnet es ergiebig. Der Pflanze steht auf dem tiefgründigen Löß ab Juni ein nahezu aufgefüllter Bodenwasserspeicher zur Verfügung. Bis zur Ernte wird der Bodenwasserspeicher der Lysimeter lö15 und 16 um 193 und 134 mm vermindert (*Abbildung 2*). Die Messung der Bodenfeuchteausschöpfung kommt mit 156 und 143 mm zu einem ähnlichen Ergebnis (*Abbildung 3*). Es wird eine Korn-Trockenmasse von 75 und 60 dt/ha erzielt. Auf der Rendzina aus unterem Keuper k6 und k7 liegen die Erträge mit 51 und 56 dt/ha erwartungsgemäß deutlich niedriger (*Tabelle 4*).

Auf der Para-Rendzina werden vom Bodenwasserspeicher 148 und 150 mm in Anspruch genommen (k6 und k7, kumulative Wasserbilanz). Im Winterhalbjahr zuvor sind 74 mm Sickerwasser gebildet worden, so dass von einem vollständig aufgefülltem Bodenwasserspeicher zu Vegetationsbeginn ausgegangen werden kann. Im Unterschied zum Lößboden (lö15 und lö16) geht diese Ausschöpfung ab einem Defizit von -70 mm, Ende Ährenschieben, mit einer deutlichen Reduzierung der Evapotranspiration einher (*Abbildung 5*).

Die Wasser-Ertrags-Beziehung geht aus den Wertepaaren von zwei mit Löß- und sechs mit Rendzina aus unterem Keuper befüllten Lysimetern hervor (*Abbildung 6*). Die nicht ausreichende statistische Sicherung ist auch als Folge dieses geringen Stichprobenumfangs zu sehen.

Tabelle 4: Wasserverbrauch, Trockenmasseertrag und Transpirationskoeffizient von Sommergerste in den Versuchsjahren 2010 und 2006

		Wasserverbrauch ¹		Trockenmasseertrag		Ährenzahl Stck m ⁻²	Vollkornanteil %	Transpirations- koeffizient kg H ₂ O kg TM ⁻¹
		mm	mm	Gesamt dt ha ⁻¹	Korn			
2010								
lö/PET	13	308,5		87,8 ²	55,1	960	97	351
	14	340,9		102,6 ²	62,6	948	97	332
lö/AET	15	414,7		121,7	75,2	1113	96	341
	16	379,5		97,0	60,4	934	96	391
k/AET	6	340,8		77,0	51,4	811	97	442
	7	335,9		83,4	55,6	863	98	403
2006								
lö/AET	15	330,2		149,2	72,6	1031	70	221
	16	307,3		146,6	70,1	1057	72	210
k/AET	6	270,9		100,9	50,4	663	78	268
	7	271,1		96,6	48,6	652	81	281

¹ Aufgang bis Ernte, 2.4. bis 22.7.2010 und 19.4. bis 25.7.2006

² aufgrund von Hasenfraß Bestand am 25.5.10 einmalig um etwa 12 % (lö13) und 4 % (lö14) vermindert, Ährenzahl zur Ernte aber vergleichbar zu lö15 und lö16, Tageswerte ET für Bestimmung AET/PET-Quotient dennoch nicht verwendbar

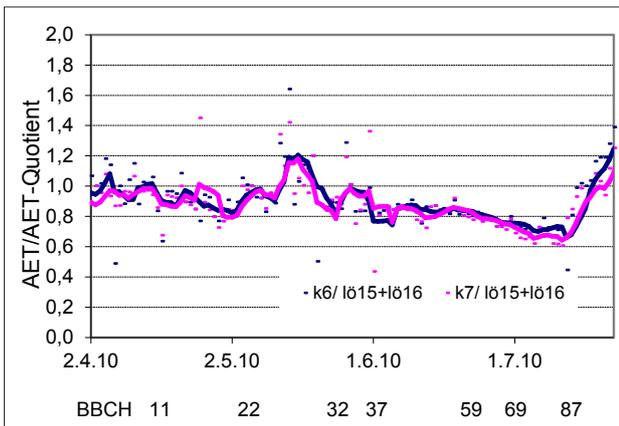


Abbildung 5: AET/AET-Quotient von Sommergerste (Einzelwerte, Pentadenmittel) auf der Para-Rendzina aus unterem Keuper (k) im Vergleich zum Braunerde-Tschernosem aus Löß (lö) im Verlauf des Wachstums (Aufgang bis Ernte) im Versuchsjahr 2010

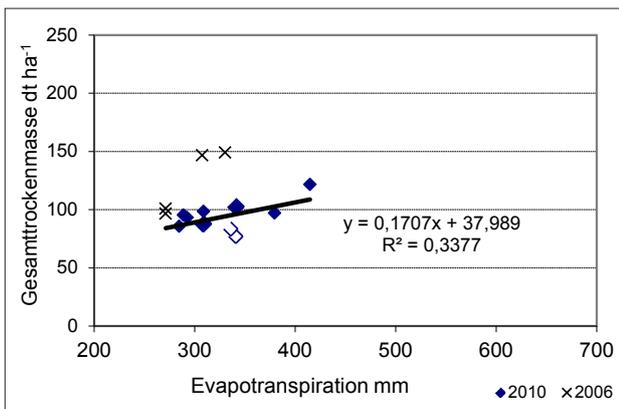


Abbildung 6: Beziehung zwischen Wasserverbrauch und Gesamttrockenmasse von Sommergerste unter den klimatischen Bedingungen des Thüringer Beckens

Ebenso wie beim Wintertraps streuen die Wertepaare der tonigen Ausprägungsform der Para-Rendzina k6 und k7 am weitesten. Im Unterschied zur Wasser-Ertrags-Beziehung

des Wintertrapses ist ein geringerer Wasserverbrauch zu erkennen.

Die im Anbaujahr 2006 ermittelten Wertepaare der Lysimeter lö15, lö16, k6 und k7 lassen sich durch die im Anbaujahr 2010 gefundene Beziehung nicht erklären (Abbildung 6). Wengleich der Korn-Trockenmasseertrag in etwa vergleichbar ist, fällt die Gesamttrockenmasse deutlich höher und der Wasserverbrauch geringer aus (Tabelle 4). Daraus errechnet sich eine günstigere Wassernutzungseffizienz (Tabelle 4).

Im Anbaujahr 2006 wuchs Sommergerste während Blattentwicklung und Bestockung im April und Mai bei etwas zu feuchter und warmer Witterung auf, die offenbar die Anlage von Bestockungstrieben begünstigt hat und den im Vergleich zu 2010 höheren Strohertrag erklärt. Bis Mitte Juni sind die Ähren geschoben und auf dem Lößboden ein Bodenwasserdefizit von -162 und -146 mm erreicht (Abbildung 2). Die nFK ist zu diesem Zeitpunkt bis in 140 cm Tiefe vollständig ausgeschöpft. Zu Vegetationsbeginn fand Sommergerste einen nahezu vollständig aufgefüllten Bodenwasserspeicher vor (Abbildung 2). Bis zur Ernte wird dieser um -230 und -218 mm vermindert, übereinstimmend mit den Bodenfeuchtemessungen (Abbildung 3). Es ist davon auszugehen, dass Sommergerste ab Mitte Juni, Ende Ährenschieben Trockenstress ausgesetzt war und bis zur Ernte die Transpirationsrate reduziert hat. Der unter dem Normwert liegende Vollkornanteil (Tabelle 4), aufgrund dessen Braugerste-Qualität nicht erreicht wird, belegt, dass nicht genug Wasser für eine vollständige Kornausbildung zur Verfügung stand. Der trotzdem geringere Transpirationskoeffizient könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Gerstenpflanze durch Trockenstress in frühen Ontogeneseabschnitten (Anfang Juni während des Schossens) Stabilisierungsmechanismen erworben hat, durch die sie während Blüte und Kornausbildung die Photosynthese bei abnehmender Transpiration länger aufrechterhalten und damit die Transpirationsproduktivität in $\text{mg CO}_2/\text{g H}_2\text{O}$ zeitweilig steigern konnte. Die Jahreswitterung bzw. die Verteilung der Niederschläge in den einzelnen Ontogeneseabschnitten könnte damit wesentlich die Beziehung zwischen Wasserverbrauch und Trockenmasseertrag beeinflusst haben.

