
Lysimeteruntersuchungen der Station Brandis zum zeitlichen Verlauf und zur Höhe der Verdunstung in Abhängigkeit von der Pflanzenentwicklung am Beispiel von Winterweizen

U. HAFERKORN, H. PÖHLER, J. SCHERZER und A. KALTZ

Abstract

Weighing lysimeters are capable of analyzing and characterizing plants' reaction to the recent state of atmosphere and the availability of water and nutrients in various kinds of soil in detail. This can be done depending on their stage of growth. These results are crucial values for relation for the test runs of the (SVATM) which are to be determined for an estimative climate prognosis. It is shown, taking the examples of eroded brown soil, brown soil "Pseudogleys" and a loess-para brown soil at the lysimeter station in Brandis where hibernal wheat is grown for a period of 6 years, that the amount of the crop as well as the amount of water consumed and the growth of the crops vary considerably in the course of time not only when comparing the mentioned three soils but within each single soil in the given period as well. With the help of the gained results which have been observed and measured it was possible to clearly display the water balance figures for all kinds of soil in the respective years with the help of the model "WASIM-ETH". Furthermore experiments are to point out the range of variation between the water balance figures which have been measured and those which have been calculated in the case if plant-specific parameters cannot be measured and therefore available tabular values (which are based on results of the past) have to be used for the simulation instead. These testings are to show the necessity of dynamic phenology modules in forecasting models.

Problemstellung

Neueste Untersuchungen (SMUL, 2005) verweisen auch für Sachsen auf Auswir-

kungen eines bereits beobachteten und noch zu erwartenden Klimawandels wie u. a. steigende Lufttemperaturen, vorzeitiger Beginn der Vegetationsperiode, Umverteilung der Niederschläge, Zunahme von Extremsituationen. Diese Veränderung der Klimagrößen spiegelt sich (neben den direkten Auswirkungen extremer Niederschlagsereignisse als Hochwasser) in Abhängigkeit von der Landnutzung primär im veränderten Verlauf der realen Verdunstung wider, in deren Folge sich als "Restgrößen" auch die anderen Wasserhaushaltskomponenten (Wasserspeicher- und Abflussgrößen) verändern. Deshalb erfordert die notwendige Abschätzung der Klimafolgen auf die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft prozessorientierte und prognosefähige Wasserhaushaltsmodelle, die vor allem das System "Boden/Pflanze/Atmosphäre" abbilden können.

Prognosefähig sind die Modellsysteme nur dann, wenn die Entwicklung der jeweiligen Vegetation (einschließlich Wurzelwachstum) als tatsächliche Reaktion auf die veränderten Klimabedingungen simuliert werden kann. Elementare Forderung an das Modellsystem ist dabei auch, den Beginn und das Ende der artenspezifischen Vegetationsperioden in Abhängigkeit von den veränderten meteorologischen Einflussgrößen (Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung etc.) und den gegebenen Standortfaktoren (Höhe, Exposition, Neigung, Beschattung etc.) zu dynamisieren.

In den meisten der häufig eingesetzten Modelle wird die Vegetationsperiode derzeit entweder pauschal oder für einzelne Vegetationstypen (z. B. "Laubwald", "Wintergetreide") jeweils als statisch angenommen, sofern diese Proble-

matik in den einzelnen Modellen für die Berechnungen überhaupt differenziert berücksichtigt wird. Das Einlesen der phänologischen Stützpunkte wie Aussaat, Schossen oder Ernte erfolgt in der Regel, wenn keine Beobachtungswerte vorliegen, aus Tabellen, welche die entsprechenden Daten sowie zusätzliche Angaben (z. B. Vegetationsbedeckungsgrad, Blattflächenindex, Wurzelverteilung) enthalten. So sind beispielsweise die Modelle EROSION 2D/3D und BO-WAM mit einer umfangreichen Parameterbibliothek ausgestattet. In der Regel wird zwischen den Tabelleneinträgen linear interpoliert, um die entsprechenden Informationen für die dazwischen liegenden Tage zu erhalten.

Diese Tabellenwerte beinhalten die Erfahrungen und Messwerte der vergangenen Jahre und sind deshalb nicht für die Klimafolgeabschätzungen geeignet. Eine direkte Übernahme von Modellansätzen für Sachsen aus anderen Regionen ist fragwürdig, da die Pflanzenentwicklung durch regionalspezifische Faktoren beeinflusst wird und in der Regel landestypische Sorten angebaut werden.

Um den gestellten Anforderungen gerecht zu werden, wird derzeit im Rahmen des KliWEP-Projektes (<http://www.lfug.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/>) das Modell WASIM-ETH (SCHULLA und JASPER, 2000) weiterentwickelt. So ist u. a. auch die Neuentwicklung eines phänologischen Moduls vorgesehen, mit dem die Pflanzenentwicklung in Abhängigkeit vom jährlichen Witterungsverlauf und der aktuellen Wasserverfügbarkeit berechnet werden kann.

Die Lysimeterstation Brandis ist einer der Standorte in Sachsen, an dem das

Autoren: Dr. Ulrike HAFERKORN, Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, FB Lysimeterstation, Kleinsteiberger Str. 13, D-04821 BRANDIS, ulrike.haferkorn@smul.sachsen.de, Dr. Hannaleena PÖHLER und Dr. Jörg SCHERZER, UDATA, Maconring 98a, D-67434 NEUSTADT, Dr. Andrea KALTZ, Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, D-01109 DRESDEN

Modell WASIM-ETH mit den neu entwickelten Modulen getestet werden soll. Im Verlauf der 26 Beobachtungsjahre wurden auf den 24 Lysimetern der Station in gebietstypischer Fruchtfolge verschiedene landwirtschaftliche Kulturen angebaut. Am Beispiel der 6 Anbaujahre mit Winterweizen (1982, 1986, 1988, 1991, 2001 und 2004), die in Bezug auf die Witterung sehr unterschiedlich verliefen, wird an Hand der Lysimetermessungen das komplizierte Wechselspiel zwischen den jeweiligen Klimagrößen, der aktuellen Verfügbarkeit von Bodenwasser und der entsprechenden Pflanzenentwicklung (Verdunstung, Biomasseentwicklung) gezeigt. Dies sollte von den prozessorientierten, prognosefähigen Modellen für das System "Boden/Pflanze/Atmosphäre" nachvollzogen werden können.

Material und Methoden

Kennwerte der untersuchten Lysimeterböden

Der zeitliche Verlauf der Pflanzenentwicklung und der Wasserhaushaltsgrößen wird am Beispiel von 3 natürlich gelagerten landwirtschaftlich genutzten Lysimeterböden (1 m² Oberfläche und 3 m Tiefe) (Tabelle 1) der Station Brandis (HAFERKORN, 2000) demonstriert.

Witterung am Untersuchungsstandort Brandis

Die Station Brandis liegt ca. 25 km südöstlich von Leipzig im Bereich des stärker kontinental beeinflussten ostdeutschen Binnenklimas. Im Mittel der Jahre 1981-2006 wurden bodengleich 650 mm Niederschlag gemessen. Dem steht eine potentielle Verdunstung (ETP) von 640 mm (berechnet nach WENDLING, 1991) gegenüber.

Es ist zu erwarten (s. Tabelle 2), dass die Verdunstung und Biomasseentwicklung am Untersuchungsstandort in der überwiegenden Anzahl der Jahre, nicht durch die Strahlung, sondern durch das mangelnde Niederschlagsangebot im Sommerhalbjahr begrenzt wird, falls die Defizite nicht durch pflanzenverfügbares Bodenwasser oder zusätzliche Beregnung gedeckt werden können. Problematisch sind darüber hinaus mögliche Bodenwasserdefizite aus den vorangegangenen Sommerhalbjahren, die im Win-

Tabelle 1: Bodenarten und charakteristische Werte der Wasserbindung [Vol.%] (mit Berücksichtigung des Humus- und Skelettgehaltes)

Tiefe [cm u. Gel.]	Bodenart dv-Kurz.	KA4	FK	nFK [Vol.%]	PWP
Lysimetergruppe 5 - erodierte Braunerde					
0-35	Su3/SI3	Bv-Ap	25,6	16,8	8,8
35-175	mSgs	II Cv	8,1	5,9	2,2
175-300	mSfs	II Cn	17,2	13,2	3,9
Lysimetergruppe 7 - Braunerde-Pseudogley					
0-35	Slu	Ap	34,3	21,6	12,7
35-50	Slu	Bv-Sw	26,9	18,1	8,8
50-135	Ls4	II Sd	26,9	12,0	14,9
135-220	Ls3	II Sd	28,1	12,6	15,5
220-300	mSfs	III ICn	12,2	9,5	2,7
Lysimetergruppe 9 - Löß-Parabraunerde					
0-30	Ut3/Ut4	Ap	40,0	22,0	18,0
30-60	Ut4	Bt	38,5	21,0	17,5
60-170	Ut3	Bt-ICv	36,0	23,5	12,5
170-205	Ut3	IcCn	35,6	23,2	12,4
205-225	Uls	II IcCn	31,0	20,7	10,3
225-300	mS	III Icn	9,9	6,7	3,2

FK-Feldkapazität, nFK-nutzbare Feldkapazität und PWP-permanenter Welkepunkt

terhalbjahr nicht aufgefüllt werden konnten (s. Tabelle 3).

Ermittlung der Verfügbarkeit von Bodenwasser und der Ausschöpfungstiefe

Die Entwicklung von Pflanzenbeständen und der entsprechende Verlauf der Bodenwasserhaushaltsgrößen kann in geeigneter Weise mittels wägbarer Lysimeter ermittelt werden. Der Niederschlag wird als Tagessumme im Hellmannmesser erfasst, anschließend ereignisbezogen korrigiert oder direkt über die Lysimeterwägung ermittelt. Gleichfalls gemessen werden Sickerwassermenge und Gewichtsänderung der Monolithe. Die tägliche reale Verdunstung wird nicht gemessen, sondern über die Lysimeterbilanz (Gl. 1) ermittelt.

$$GI. 1: ETR = N_{kor} - SW \pm \Delta G \ddot{A} \text{ [mm]}$$

ETR = reale Verdunstung

N_{kor} = korrigierter Niederschlag

SW = Sickerwassermenge

$\Delta G \ddot{A}$ = Gewichtsänderung zum Vortag [1 kg = 1 mm/m²]

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Bilanzrechnungen ist die in jedem Jahr und für jeden Boden ermittelte Gesamtsumme der Bodenwasserentnahme (Gl. 2). Es handelt sich dabei um die unter den gegebenen Einflussfaktoren (Bodenart, Art der Vegetation und deren Entwicklungsstand, Niederschlag und Verduns-

tungsanspruch der Atmosphäre) tatsächlich beanspruchte Bodenwassermenge.

$$GI. 2: SB_j = SB_{j-1} + (N_{korj} - ETR_j) - S^* \text{ [l/m}^2\text{] oder [mm]}$$

j = Zeitindex (z. B. Dekaden)

SBj-1 = Summe der bis zur Dekade j-1 seit Beginn der Ausschöpfung entnommenen Bodenwassermenge

N_{korj} = korrigierter Niederschlag der aktuellen Dekade

ETR_j = mittels Lysimeter ermittelte Verdunstung der aktuellen Dekade

S* = Versickerung bei zwischenzeitlicher Wiederauffüllung aus der verdunstungsbeeinflussten Zone in die Dränwasserzone

Zur Berechnung der Ausschöpfungstiefe im Sinne der effektiven Wurzeltiefe (We_{eff}) (KA4, 1995) erfolgt eine vertikale Aufteilung der Bodenprofile in weitere kleine Schichten. Auf Grundlage der vorhandenen Bodenkennwerte (Tabelle 1) wurde für jede dieser Schichten (hier 0,5 cm) die nFK ermittelt und mittels der Dekadensummen der Bodenwasserentnahme die Abschätzung der Entnahmetiefen vorgenommen. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass nacheinander in jeder Schicht 100 % der nFK ausgeschöpft werden. Des Weiteren wird angenommen, dass jede neu erschlossene Bodenschicht eine Bodenfeuchte im Bereich der Feldkapazität hat. Problematisch ist die Abschätzung der Entnahmetiefen bei den Löß-Böden,

Tabelle 2: Niederschlag (N), potentielle Verdunstung (ETP) und klimatische Wasserbilanz (kWB) am Standort Brandis in den Sommerhalbjahren (April-Oktober) 1981-2005

Jahr	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
N _{Sommer}	380	280	391	393	273	373	397	274	258	365	255	342	482
ETP _{Sommer}	422	522	501	410	462	449	392	482	541	538	498	429	442
kWB _{Sommer}	-42	-242	-110	-17	-189	-76	6	-208	-283	-173	-243	-87	40
N _{Sommer} /ETP _{So}	0,90	0,54	0,78	0,96	0,59	0,83	1,01	0,57	0,48	0,68	0,51	0,80	1,09

Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Mittel 1981-2005
N _{Sommer}	391	438	399	316	519	320	317	391	385	234	386	388	358
ETP _{Sommer}	520	479	399	507	498	555	548	537	507	597	505	519	490
kWB _{Sommer}	-129	-41	0	-191	21	-234	-232	-145	-122	-363	-119	-131	-132
N _{Sommer} /ETP _{So}	0,75	0,92	1,00	0,62	1,04	0,58	0,58	0,73	0,76	0,39	0,77	0,75	0,74

Tabelle 3: Wasserhaushaltsgrößen und Trockenmasseerträge für Winterweizen im Zeitraum von Vegetationsbeginn bis Ernte

Jahr	ETR mm	BW _{Entnahme} mm	Lysimetergruppe 5			ETR/ETP	ETK l/kg
			Wuti _{max} cm	Ru mm	TM-Ertrag kg/m ²		
1982	279	70	26	31	0,49	0,70	569
1986	270	68	28	111	0,7	0,78	386
1988	245	73	31	120	0,43	0,68	570
1991	330	72	30	43	0,77	0,81	429
2001	330	55	21	134	0,64	0,68	516
2004	380	43	16	33	0,9	0,74	422

Jahr	ETR mm	BW _{Entnahme} mm	Lysimetergruppe 7			ETR/ETP	ETK l/kg
			Wuti _{max} cm	Ru mm	TM-Ertrag kg/m ²		
1982	364	145	66	28	1,05	0,91	347
1986	391	159	75	66	1,25	1,12	313
1988	345	174	84	85	0,94	0,95	367
1991	413	153	72	27	1,54	1,01	268
2001	402	135	61	88	1,26	0,83	319
2004	450	98	40	23	1,31	0,88	344

Jahr	ETR mm	BW _{Entnahme} mm	Lysimetergruppe 9			ETR/ETP	ETK l/kg
			Wuti _{max} cm	Ru mm	TM-Ertrag kg/m ²		
1982	465	234+46	126	5	1,66	1,16	280
1986	448	214	95	70	1,5	1,29	299
1988	444	270	122	106	1,28	1,23	347
1991	460	190+260	188	0	1,66	1,13	277
2001	453	140	60	31	1,85	0,93	245
2004	439	78+100	78	0	1,46	0,85	301

wenn die Winterniederschläge nicht ausreichen, die im vorangegangenen Sommerhalbjahr entstandenen Bodenwasserdefizite aufzufüllen und deshalb zu Beginn der Vegetationsperiode noch ein erhebliches Wasserdefizit aus dem Vorjahr zu verzeichnen ist. Bei der Verteilung der Winterniederschläge im wasserdefizitären Bodenprofil wird angenommen, dass zunächst die oberen Bodenschichten aufgefüllt werden, während in den unteren Schichten ein Defizit verbleibt.

Ergebnisse

Bodenwasserentnahme und Ausschöpfungstiefe

Erwartungsgemäß schwanken die sommerlichen Bodenwasserentnahmen und

Ausschöpfungstiefen sowohl im Vergleich der drei untersuchten Böden als auch in den 6 Untersuchungsjahren mit Winterweizen erheblich (Tabelle 3). Am geringsten sind die Schwankungsbreiten bei der "Erodierten Braunerde" (Lys. 5). Hier werden im Verlauf der bisherigen Untersuchungsjahre von 1981 bis 2006 mit regionaltypischer Fruchtfolge im Jahr 1988 (mit Winterweizen) mit 73 mm und 31 cm die bisher ermittelte max. Bodenwasserentnahme (=nFK_{We}) und max. Ausschöpfungstiefe (effektive Wurzeltiefe) erreicht. Diese Maximalwerte werden im Verlauf der betrachteten Jahre mit Winterweizen nur in den sommerfeuchten Jahren 2001 und 2004 nicht ausgeschöpft.

Ähnliches gilt für den "Braunerde Pseudogley" (Lys. 7). Mit Blick auf den Un-

tersuchungszeitraum seit 1981 wurde auch bei diesem Boden die ermittelte max. Bodenwasserentnahme (=nFK_{We}=174 mm) und max. Ausschöpfungstiefe (=effektive Wurzeltiefe We_{eff}=84cm) im Jahr 1988 erreicht. Diese Werte galten aber nur bis zum Jahr 2003 als Maximalwerte. In diesem extrem sommertrockenen Jahr wurde bei einem Bewuchs mit Raps eine bisher nicht für möglich gehaltene Bodenwasserentnahme von 197 mm und eine Ausschöpfungstiefe von 99 cm ermittelt. Dagegen wurden auf der "Erodierten Braunerde" im Extremjahr 2003 nicht einmal die bisherigen Maximalwerte des Jahres 1988 erreicht, weil der Bestand bereits im Mai nachhaltige Trockenschäden zeigte und sich nicht weiter entwickeln konnte.

Auch im Fall der Löß-Parabraunerde war die in Tabelle 3 für das Jahr 1988 ausgewiesene Bodenwasserentnahme von 270 mm bis zum Jahr 2003 der für diesen Boden bisher größte jährliche Wasserentzug. Dieser bisherige Maximalwert wurde dann im Jahr 2003 (mit Raps) übertroffen als von der 2. Märzdekade bis zur 3. Augustdekade ein Bodenwasserdefizit von 310 mm entstand.

Die bisher größte verfügbare Wassermenge (nFK_{We}) der Löß-Parabraunerde wurde allerdings im Verlauf der Trockenperiode von 1988 bis 1992 (Wintergerste) registriert. So ist die maximale Entnahmemenge von 450 mm (s. Tabelle 3) die Summe aus der Bodenwasserentnahme von 190 mm im Jahr 1991 und einem bereits aus den Vorjahren vorhandenen Wasserdefizit von 260 mm. Die maximale Entnahmemenge von 450 mm ist also nicht das Ergebnis der Ausschöpfung nur eines Sommers und steht unter den klimatischen Bedingungen am Untersuchungsstandort nicht jedes Jahr

in dieser Höhe zur Verfügung. Bei den untersuchten Jahren mit Winterweizen ist in den Jahren 1982 und 2004 auch ein Defizit aus dem Vorjahr zu beachten (Tabelle 3).

Es wird deutlich, dass in den besonders trockenen Sommerhalbjahren nur die Lössböden (Lys. 9) auf Grund der großen verfügbaren Bodenwassermenge eine landnutzungsabhängige maximale Verdunstung und damit ohne zusätzliche Beregnung gute Erträge ermöglichen. Mit Ausnahme weniger feuchter Sommer ist das Wasserangebot auf den Böden mit geringer und mittlerer nFK_{we} der limitierende Faktor für die Transpiration und die Ertragsbildung, ein Problem, das bei gleich bleibenden (bzw. abnehmenden) Sommerniederschlägen aber steigenden Lufttemperaturen, zunehmen wird.

Verdunstung (Wasserverbrauch) und Ertragsbildung von Winterweizen

Auch das Verhältnis zwischen Wasserverbrauch (Verdunstung) und Biomassebildung wird durch die Wasserverfügbarkeit bestimmt. Aus mangelnder Wasserversorgung der Pflanzenbestände resultiert ein unwirtschaftlicher Umgang mit dem Wasser, der in den trockenen Jahren ($N_{kor}/ETP < 0,65$) auf den Böden mittlerer und geringer Wasserverfügbarkeit besonders zum Tragen kommt. Dabei werden die von vielen Faktoren abhängigen Erträge unter Umständen auch durch Nährstoffmangel reduziert. Während die mögliche Wasserbereitstellung durch den Boden (nFK_{we}) das entsprechende Niveau der Versorgungslage der Pflanze mit Wasser festlegt, bestimmt der aktuelle Zustand der Atmosphäre (Sättigungsdefizit, Lufttemperatur) die aktuelle Produktivität der Transpiration. Die Reaktion der Pflanze auf extrem günstige oder ungünstige Witterungsabläufe (Einfluss des Wasserdampf-Sättigungsdefizits der Luft) ist zeitgleich und auf allen Böden ähnlich. So wird nach DENMEAD & SHAW (1962) die Transpiration bei einem hohen Verdunstungsanspruch der Luft (z. B. 6 bis 7 mm/Tag) schon bei relativ hohen pflanzennutzbaren Bodenwassergehalten eingeschränkt, während an einem kühlen, wolkenreichen Tag die Transpiration erst

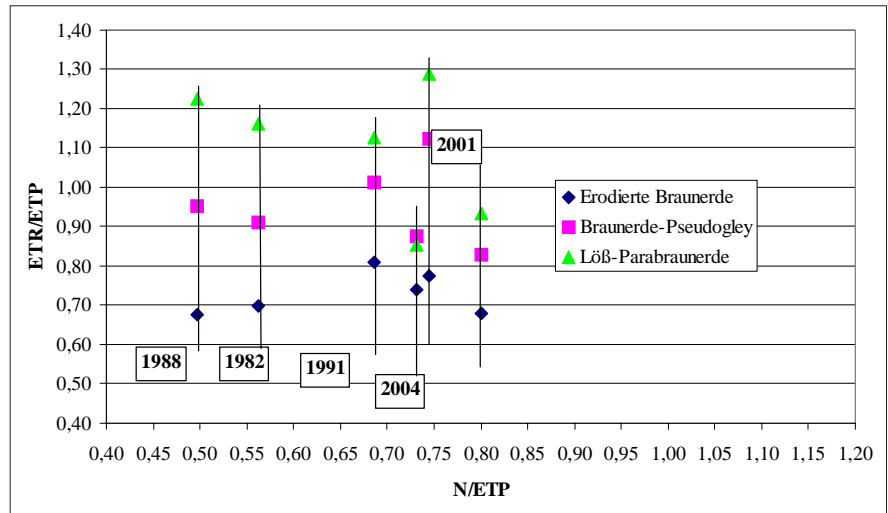


Abbildung 1: Einfluss von Niederschlag und potentieller Verdunstung (N/ETP) im Zeitraum von Vegetationsbeginn bis Ernte auf die Verdunstungsleistung (ETR/ETP) von Winterweizen in Abhängigkeit von der Bodenart

bei relativ niedrigen Bodenwassergehalten vermindert wird.

Das Verhältnis zwischen Wasserverbrauch und Biomassebildung kann mit dem Evapotranspirations-Koeffizienten (ETK) angegeben werden. Der $ETK_{win-tergetreide}$ [l/kg] ist der Quotient aus Wasserverbrauch [l] (von Beginn der Vegetationsperiode bis Ernte) und der Trockenmasseproduktion (hier Stroh und Korn) [kg] im gleichen Zeitraum. Dabei wird bei Lysimetermessungen (in der Regel auch bei Felduntersuchungen) neben der Transpiration als Wasserverbrauch unvermeidlich auch die Boden- evaporation mit gemessen.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen liefert der ETK wichtige Hinweise auf den Einfluss von Standorteigenschaften (Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen) und Zustand der Atmosphäre auf die Effizienz des Wasserverbrauches der Pflanzen (hier des Winterweizens) in den verschiedenen Anbaujahren. Dabei zeigt sich auch bei diesen Untersuchungen: Je höher die nFK_{we} um so günstiger sind in der Regel auch die ETK (Tabelle 3).

Eine deutliche Ausnahme in Bezug auf die Ergebnisse der Böden der Lysimetergruppe 7 und 9 mit mittlerer und hoher Wasserverfügbarkeit ist das Jahr 2004 (Abbildung 1). Es zeichnete sich durch hohe Sommerniederschläge aus und war sehr warm. Die Pflanzenentwicklung verlief sehr intensiv. Das phänologische Stadium "Schossen" war

bereits um den 12. Mai zu verzeichnen (Tabelle 4). Aber sowohl Verdunstung und Ertragsbildung blieben insbesondere bei der Löss-Parabraunerde weit hinter den Erwartungen zurück. Insbesondere die besondere Konstellation des Wasser- und Wärmeangebotes dieses Jahres mit seinen Auswirkungen auf die Entwicklung des Winterweizens wird in weiterführenden Arbeiten auf Grundlage von Berechnungen mit dem Modell WASIM-ETH untersucht.

Zusammenfassung

Die Reaktion der Pflanzen in ihren einzelnen Aufwuchsstadien auf den aktuellen Zustand der Atmosphäre und die aktuelle Verfügbarkeit von Wasser- und Nährstoffen in den verschiedenen Böden kann mittels wägbarer Lysimeter detailliert analysiert und beschrieben werden. Diese Resultate sind für die Testläufe der für die Klimafolgeabschätzung zu qualifizierenden "Soil-Vegetation-Atmosphäre-Transfer-Models" (SVATM) sehr wichtige Vergleichsgrößen.

Am Beispiel einer erodierten Braunerde, eines Braunerde-Pseudogleys und einer Löss-Parabraunerde der Lysimeterstation Brandis und 6 Anbaujahren mit Winterweizen wird gezeigt, dass sich die Höhe der Erträge sowie Wasserverbrauch und Bestandsentwicklung in ihrem zeitlichen Verlauf sowohl im Vergleich der drei untersuchten Böden als auch bei jeweils einem Boden in den 6 Untersuchungsjahren erheblich unter-

Tabelle 4: Niederschlag (N), potentielle Verdunstung (ETP), klimatische Wasserbilanz (kWB) im Zeitraum von Vegetationsbeginn bis Ernte und phänologische Daten für die Untersuchungsjahre mit Winterweizen der Station Brandis

	1982	1986	1988	1991	2001	2004
	Lys.Gr.	Lys.Gr.	Lys.Gr.	Lys.Gr.	Lys.Gr.	Lys.Gr.
	5 7 9	5 7 9	5 7 9	5 7 9	5 7 9	5 7 9
Niederschlag	273	358	277	289	413	443
ETP	542	466	498	488	528	532
kWB	-269	-108	-221	-199	-115	-89
N/ETP	0,50	0,77	0,56	0,59	0,78	0,83
Vegetationsbeginn	25. Mrz	30. Mrz	31. Mrz	10. Mrz	10. Mrz	12. Mrz
Wuchshöhe in cm	n.g.	n.g.	5 5 5	5 5 5	10 10 10	7 8 8
Schossen	18. Mai	08. Mai	26. Apr	15. Mai	26. Apr	28. Apr
Wuchshöhe in cm	n.g.	30 30 30	n.g.	35 30 30	18 24 29	25 32 31
Ährenschieben	08. Jun	07. Jun	31. Mai	31. Mai	10. Mai	12. Mai
Wuchshöhe in cm	n.g.	n.g.	37 76 80	47 55 60	45 47 50	46 52 58
Vollblüte	17. Jun	18. Jun	06. Jun	17. Jun	14. Jun	07. Jun
Wuchshöhe in cm	n.g.	70 95 100	40 75 80	65 80 90	68 85 97	65 75 78
Reife	17. Jul	28. Jul	23. Jul	27. Jul	10. Aug	21. Jul
Wuchshöhe in cm	50 70 80	83 100 100	46 72 85	n.g.*	68 85 98	71 82 80
Ernte	04. Aug	04. Aug	02. Aug	14. Aug	16. Aug	06. Aug
Wuchshöhe in cm	50 70 80	80 100 100	46 72 85	n.g.*	60 75 80	60 70 70
Vegetationsende	27. Nov	28. Nov	03. Nov	23. Nov	10. Nov	20. Nov

*bei Lys.-Gr. 5 und 7 erhebliche Trockenschäden

scheiden. Auf Grund der vorliegenden Mess- und Beobachtungsdaten konnten die Wasserhaushaltsgrößen für alle Böden und untersuchten Jahre mit dem Modell WASIM-ETH gut abgebildet werden. In weiterführenden Arbeiten soll gezeigt werden, wie groß die Unterschiede zwischen den gemessenen und berechneten Wasserhaushaltsgrößen sind, wenn für die Simulationen nur die verfügbaren Tabellenwerte (denen die Erfahrungen der Vergangenheit zu Grunde liegen) verwendet werden. Mit diesen Untersuchungen soll die Notwendig-

keit dynamischer Phänologiemodule in Prognosemodellen verdeutlicht werden.

Literatur

- DENMEAD, O.T. and R.H. SHAW, 1962: Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. J. 54: 385-390.
- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes - Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Dissertation. Fakultät für Agrarwissenschaften der

Georg-August-Universität Göttingen. 22.06.2000.

KA4, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover.

SCHULLA, J. and K. JASPER, 2000: Model description WaSiM-ETH. - Technical report, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich.

SMUL, 2005: Klimawandel in Sachsen, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft.

WENDLING, U., 1991: Schätzmethoden der Verdunstung landwirtschaftl. Bestände nach den Ansätzen von Penman und Turc. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkunde, Berlin 35/4, 251-257.

