

Modellbasierte Berechnungsberatung unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen

Reinhard Günther¹

Zusammenfassung

Für die Landwirtschaft ist Wasser als elementarer Baustein der Biomassebildung eine unverzichtbare Naturressource. Da diese Ressource zunehmend als limitierender Faktor in Betracht gezogen werden muss, ist eine höhere Effizienz beim Einsatz dieses Produktionsfaktors unabdingbar. Infolge des rezenten Klimawandels, vor allem gekennzeichnet durch einen Anstieg der Lufttemperatur sowie den Rückgang der natürlichen Niederschläge in der Vegetationsperiode, steigen die Verdunstungswerte und somit auch die Defizite der Klimatischen Wasserbilanz weiter an, die Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen wird folglich geringer. Wegen dieses Prozesswandels gewinnt die Bewässerung zweifellos wieder mehr an Bedeutung, da nur sie die Kompensation der fehlenden Niederschläge und die bessere Ausnutzung der klimatisch bedingten Gunstfaktoren wie höhere Temperatur, längere Vegetationszeit und erhöhter CO₂-Gehalt der Atmosphäre ermöglicht.

Da Bewässerung ein arbeits- und energieintensives Verfahren darstellt, muss man sich wissenschaftlich begründeter Steuerungsmethoden bedienen, die einen exakten und effizienten Wassereinsatz gewährleisten. Mit BEREST, ein System zur operativen computergestützten Berechnungseinsatzsteuerung, steht ein Instrument zur Verfügung, dass diesen Anforderungen gerecht wird.

Schlagwörter: Trends klimatischer Größen, Lufttemperatur, Niederschlag, Klimatische Wasserbilanz, Bewässerungsmodell

Summary

For agriculture, water is an essential natural resource and a vital component of biomass production. Since this resource increasingly seen as a limiting factor must be taken into consideration, a higher efficiency in the use of this vital factor of production is required. Because of the recent climate change, characterized by an increase of air temperature and radiation as well as a decline in natural rainfall in the growing season, increase the evapotranspiration values and consequently the deficits of the climatic water balance also. The water availability for crops will be lower.

Because this process of change the irrigation becomes more important, since only they compensate the lack of rainfall and allows the better utilization of the beneficial climatically related factors such as higher temperature, longer growing season and increased CO₂ content of the atmosphere. Irrigation is a labour-intensive and energy-intensive process. Therefore a precise control and high efficiency of water use is necessary. In order to meet this requirement, one must use scientifically substantiated control methods.

With BEREST, a computerized system for an operational irrigation management, is a tool available that meets these requirements.

Keywords: climatic trends, air temperature, precipitation, climatic water balance, irrigation model

Einleitung

Für die Landwirtschaft ist Wasser als elementarer Baustein der Biomassebildung eine unverzichtbare Naturressource, deren Bedeutung in der Zukunft weiter wachsen wird. Weltweit ist ein stark wachsender Bedarf an Biomasse sowohl zur Ernährung als auch zur industriellen und energetischen Nutzung zu konstatieren und dies bei gleichzeitig abnehmenden Ackerflächen. Dies erfordert eine erheblich höhere Produktivität pro Flächeneinheit, aber auch eine höhere Effizienz der eingesetzten Produktionsfaktoren. Letzteres gilt in besonderem Maße für das Wasser, das zunehmend als limitierender Faktor in Betracht gezogen werden muss. So weist die Klimatische Wasserbilanz (KWB) als Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung in der Vegetationsperiode (April bis September) verbreitet negative Werte auf, die im Tiefland der neuen Bundesländer bei 120 mm liegen.

In niederschlagsarmen Vegetationsperioden kann dieses Defizit im Thüringer Becken auf über 350 mm ansteigen.

Infolge des rezenten Klimawandels, gekennzeichnet durch einen Anstieg der Lufttemperatur und der Strahlung sowie einen Rückgang der natürlichen Niederschläge in der Vegetationsperiode, steigen die Verdunstungswerte und somit die Defizite der KWB, weiter an.

Wegen dieses Prozesswandels gewinnt die Bewässerung zweifellos wieder mehr an Bedeutung, da nur sie die Kompensation der fehlenden Niederschläge und die bessere Ausnutzung der klimatisch bedingten Gunstfaktoren wie höhere Temperatur, längere Vegetationszeit und erhöhter CO₂-Gehalt der Atmosphäre ermöglicht.

Durch Bewässerung kann auch eine verbesserte Nährstoffnutzung und somit eine Verringerung der Nährstoffverlagerung und -auswaschung erzielt werden.

¹ Schöndorfer Hauptstraße 14a, D-99427 WEIMAR, reinhard.guenther@tllmail.de

Bewässerung kann des Weiteren Mehrerträge und wegen der höheren Produktqualität auch höhere Produktpreise und somit zunehmende Mehrerlöse, bei allerdings auch höheren Energiepreisen, bedingen.

Da die Bewässerung ein arbeits- und energieintensives Verfahren ist, ist einer exakten Steuerung des Wassereinsatzes ein hoher Stellenwert zuzumessen. Dieser Forderung kann nur entsprochen werden, wenn man sich wissenschaftlich begründeter Steuerungsmethoden bedient.

Eine solche, für den Praktiker überschaubar und nachvollziehbare Methode zur schlagbezogenen operativen Bewässerungseinsatzsteuerung im konventionellen und integrierten Landbau ist im ehemaligen Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg mit dem Berechnungsmodell „BEREST“ entwickelt worden. BEREST kam bereits in der ehemaligen DDR auf einer Einsatzfläche von 345 Tha und in der ehemaligen Sowjetunion von mehr als 3 Mill. ha zur Anwendung.

Material und Methoden

Alle derzeit verfügbaren rechnergestützten Entscheidungshilfen, Prognose- und Empfehlungsmodelle setzen die Verfügbarkeit von meteorologischen Daten voraus. Dies gilt sowohl für Pflanzenschutzprogramme, Programme zur Steuerung der Düngung und Beregnung, als auch für Programme zur Vorhersage von Erträgen. Der sich derzeit vollziehende Klimawandel wirft des Weiteren die Frage auf, welche Auswirkungen auf den Wasserverbrauch der Pflanzen und für die Zusatzwasserversorgung zu erwarten sind. Dazu wurden Untersuchungen in der Lysimeterstation Großobringen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt, in der darüber hinaus seit 1983 sowie seit 1992 mit dem in Thüringen installierten agrarmeteorologischen Messnetz kontinuierliche Messungen der wesentlichsten meteorologischen, insbesondere der ver-

dunstungsbestimmenden Größen erfolgen (ROTH et al. 2005). Die nunmehr von der Station Großobringen vorliegende 25-jährige Datenreihe berechtigt dazu, Aussagen zu Trends dieser Größen zu machen. Nachfolgend wird auf die Ergebnisse des Zeitraumes 1983 bis 2005 Bezug genommen

Wegen der Unverzichtbarkeit einer Zusatzbewässerung in klimatisch benachteiligten Gebieten oder zur Erzielung einer hohen Ertragsstabilität und Produktqualität erlangen verlässliche Bewässerungssteuerungssysteme immer mehr an Bedeutung. Das Berechnungssteuerungsprogramm BEREST stellt eine wissenschaftlich begründete Methode zur schlagbezogenen, operativen Bewässerungseinsatzsteuerung im konventionellen und integrierten Landbau dar (WENKEL et al. 1989) und wird im Beitrag vorgestellt.

Ergebnisse

Trends ausgewählter klimatischer Größen

Den folgenden Ergebnissen liegen Trendberechnungen (lineare Regression) aus Daten der Station Großobringen (23-jährige Reihe) zu Grunde.

Diese Ergebnisse werden auch weitgehend durch die Daten der Stationen des agrarmeteorologischen Messnetzes Thüringens gestützt (GÜNTHER 2006).

Lufttemperatur

Bei der Lufttemperatur ist an allen Standorten ein massiv ansteigender Trend zu erkennen. Aus der 23-jährigen Reihe (1983...2005) der Station Großobringen ergibt sich ein Temperaturanstieg von 8,07 °C im Jahr 1983 auf 9,82 °C im Jahr 2005 (Abbildung 1).

Statistisch ist somit die Temperatur im Verlaufe dieser 23 Jahre um 1,75 K, d.h. 0,076 °C pro Jahr, angestiegen. Legt

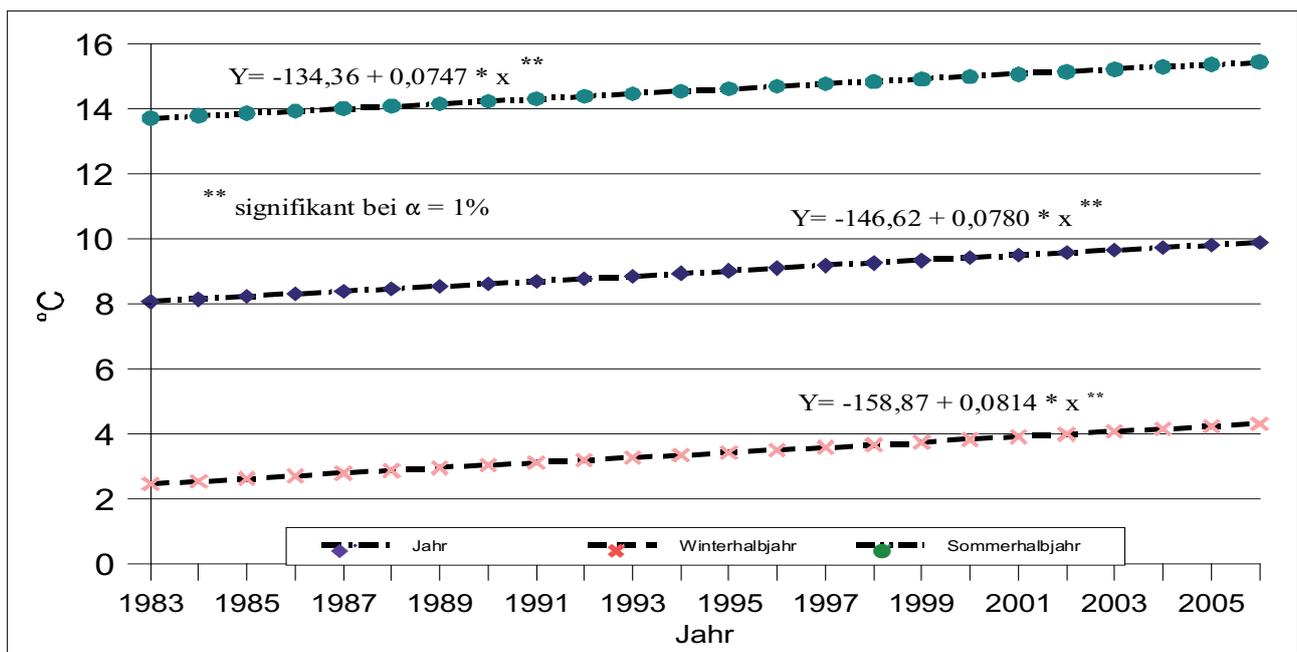


Abbildung 1: Trend der Lufttemperaturmittel bezüglich Jahr, Winterhalbjahr und Sommerhalbjahr (Analyse der Datenreihe 1983 bis 2005 der Station Großobringen)

Tabelle 1: Temperaturanstiege in unterschiedlichen Zeiträumen am Standort Großobringen, abgeleitet aus dem Trend 1983...2005 sowie aus den vieljährigen Mittelwerten von 1951 bis 1980 und von 1983 bis 2005

	Temperaturanstieg aus der Trendanalyse	Temperaturanstieg aus dem Vergleich der vieljährigen Mittelwerte		
	ΔT [°C]	1951...1980	1983...2005	ΔT [°C]
Gesamtjahr	1,75	8,2 °C	8,9 °C	0,7
Winterhalbjahr (Oktober bis März)	1,76	2,6 °C	3,4 °C	0,8
Sommerhalbjahr (April bis September)	1,65	13,7 °C	14,5 °C	0,8

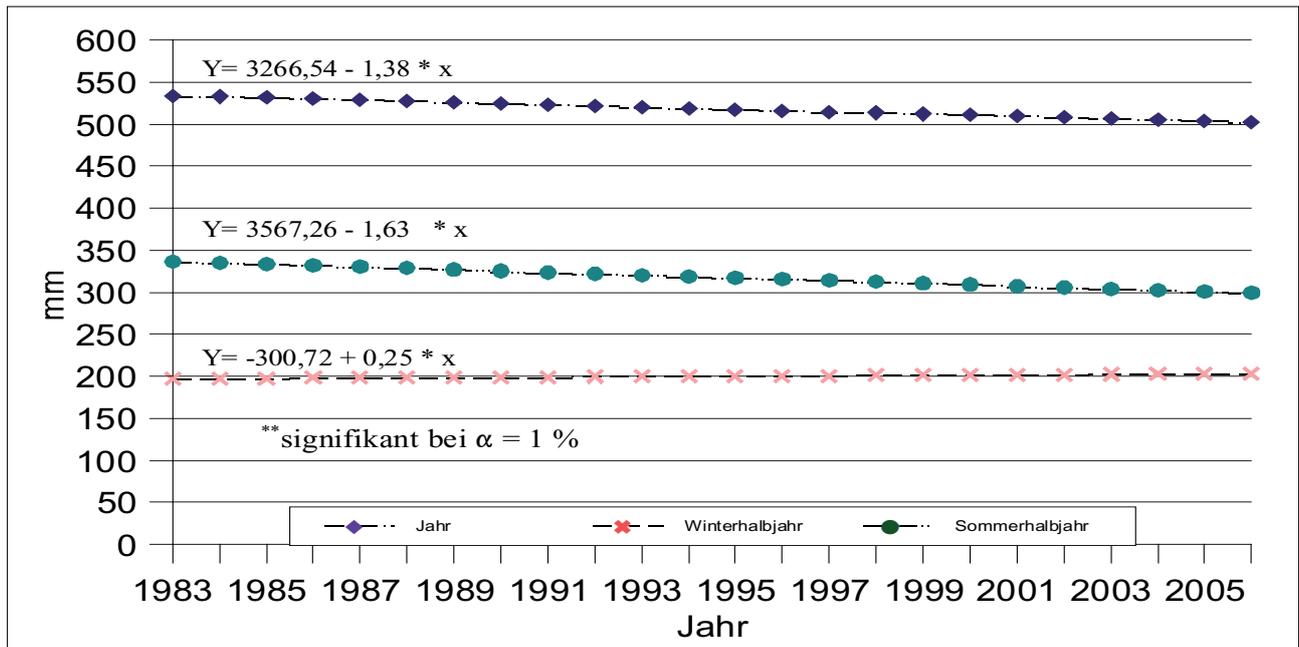


Abbildung 2: Trend des Niederschlagsaufkommens pro Jahr, Winterhalbjahr und Sommerhalbjahr (Analyse der Datenreihen 1983 bis 2005 der Station Großobringen)

Tabelle 2: Niederschlagsänderungen in unterschiedlichen Abschnitten des Jahres am Standort Großobringen, abgeleitet aus dem Trend 1983...2005 sowie aus den vieljährigen Mittelwerten 1951...1980 bzw. 1983...2005

	Niederschlagsänderung abgeleitet aus der Trendanalyse	Niederschlagsänderung aus dem Vergleich der vieljährigen Mittelwerte		
	ΔN (mm)	1951...1980	1983...2005	ΔN (mm)
Gesamtjahr	-30	552 mm	519 mm	-33 mm
Winterhalbjahr (Oktober bis März)	+6	201 mm	200 mm	-1 mm
Sommerhalbjahr (April bis September)	-36	351 mm	319 mm	-32 mm

man das 30-jährige Mittel der Lufttemperatur als Ausgangswert zu Grunde (8,2 °C), verbleibt immer noch an Anstieg um 1,62 °C.

Betrachtet man das Winter- und Sommerhalbjahr getrennt, so ergeben sich aus dem Trend für die beiden Halbjahre Anstiege um 1,76 °C bzw. 1,65 °C (Tabelle 1).

Niederschlag

Beim Niederschlag ist an fast allen Standorten eine Abnahme der Jahressummen zu konstatieren, die in der Regel aus einer leichten Zunahme im Winterhalbjahr und einer stärkeren Abnahme im Sommerhalbjahr resultiert (Abbildung 2).

Die sich aus den Trends ergebenden absoluten Abweichungen in den drei verschiedenen Zeiträumen gehen aus Tabelle 2 hervor.

Danach beträgt die Abnahme im Gesamtjahr 30 mm, die sich aus einer Zunahme von 6 mm im Winterhalbjahr und einer beträchtlichen Abnahme von 36 mm im Sommerhalbjahr ergibt. Diese Abnahme entspricht etwa dem thüringenweiten Durchschnittsniederschlag im März.

Potenzielle Verdunstung

Die Verdunstung wird in der Regel mit Hilfe von Modellansätzen vorwiegend aus meteorologischen Einflussgrößen

Tabelle 3: Auswirkungen des Temperatur- und Strahlungstrends auf die potenzielle Verdunstung (PET)

	Vieljähriger Durchschnitt			Abgeleitet aus Trendanalyse 1983...2005			Δ PET (mm)
	T(°C)	GS(MJ/m ²)	PET(mm)	T(°C)	GS(MJ/m ²)	PET(mm)	
April bis September	13,7	14,39	488,6	15,4	15,14	530,7	42,1
Gesamtjahr	8,2	9,37	576,7	9,8	9,85	627,8	51,1

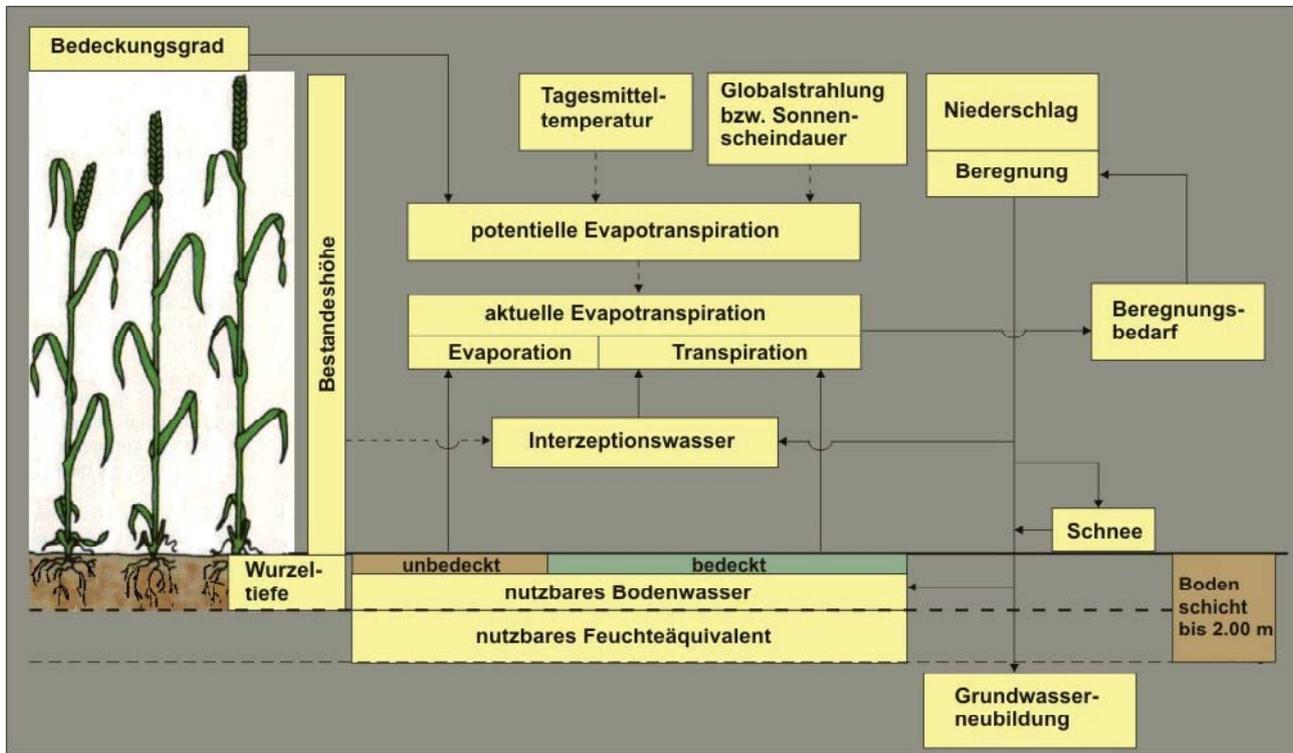


Abbildung 3: Modellschema des Mehrschichtenbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodells von BEREST (WENKEL et al. 2006)

wie Strahlung, dem Sättigungsdefizit der Luft, der Lufttemperatur und zum Teil der Windgeschwindigkeit bestimmt. Als wesentlichste Einflussgröße auf die Verdunstung hat sich die Strahlung erwiesen. Für die Berechnung der hier verwendeten Verdunstung liegt die Formel von TURC, modifiziert nach WENDLING (1986), zu Grunde, die als Eingangsparameter die Globalstrahlung und die Lufttemperatur benötigt. Aus der Verrechnung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur der Station Großbröningen resultiert für den Zeitraum von 1983 bis 2005 ein Temperaturanstieg von 1,75 °C. Allein ein solcher Temperaturanstieg führt zu einer Mehrverdunstung von ca. 22 mm im Jahr. Bezieht man die Strahlungserhöhung (ca. 73 MJ/m²) mit ein, dann nimmt die potenzielle Verdunstung sogar um 51 mm zu (Tabelle 3).

Stellt man diese Betrachtung für das Sommerhalbjahr ebenfalls unter Berücksichtigung der Strahlung an, dann ergibt sich durch die um 1,65 °C erhöhte Temperatur und eine zusätzliche Einstrahlung von 86 MJ/m² eine Verdunstungserhöhung um ca. 42 mm. Wenn darüber hinaus der Niederschlagstrend mit einer Abnahme von 36 mm einbezogen wird, erhöht sich das klimatische Wasserdefizit in der Vegetationsperiode um 78 mm.

Für einen Beregnungsbetrieb bedeutet dies, sich zukünftig auf ca. 3 zusätzliche Gaben pro Kultur einzustellen.

Bewässerungssteuerung

Der ressourcenschonende Umgang mit Wasser ist ein wesentlicher Bestandteil der nachhaltigen Landwirtschaft. Dies gilt insbesondere für den Anbau von Gemüse, der ohne Zusatzwasserversorgung in vielen Gebieten Deutschlands nicht möglich ist. Bei der Bewässerung, allein auf der Basis von Erfahrungen, müssen eine Vielzahl von Erfahrungen berücksichtigt werden. Diesem Sachverhalt wohnt inne, dass Fehler unvermeidlich sind.

Deshalb werden zur Bewässerungssteuerung zunehmend Hilfsmittel eingesetzt, um die Fehler weitgehend auszuschließen und die Effizienz des Wassereinsatzes zu erhöhen.

Als solche Hilfsmittel haben sich Beregnungssteuerungsprogramme erwiesen, die auf Bodenfeuchte- bzw. Verdunstungsmodellen basieren. Die Abschätzung des Wasserverbrauches der zu beregnenden Fruchtart sowie des Bodenfeuchteverlaufes sind notwendige Voraussetzungen für die Ableitung von mengen- und zeitpunktmäßigen Zusatzwasserempfehlungen.

Wasserverbrauch und Bodenfeuchtegehalt hängen bei der modellmäßigen Berechnung im entscheidenden Maße von der Modelleingangsgröße "potenzielle Verdunstung" ab.

Diese wird meist mit empirischen Formeln aus meteorologischen Größen berechnet und spiegelt die natürliche Verdunstung eines Pflanzenbestandes nur unzureichend wider. Der Korrektur dieser Eingangsgröße kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu und ist entscheidend für die Simulationsgüte eines Modells (PACHOLD 1997, GÜNTHER & ROTH 1994).

Um den heutigen Anforderungen an eine Zusatzwasserversorgung zu entsprechen, hat Bewässerung nach wissenschaftlich begründeten Methoden zu erfolgen.

Eine solche, für den Praktiker überschaubar und nachvollziehbare Methode zur schlagbezogenen, operativen Bewässerungseinsatzsteuerung im konventionellen und integrierten Landbau ist bereits in den 70-iger Jahren im ehemaligen Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg mit dem Berechnungssteuerungssystem „BEREST“ entwickelt worden (WENKEL et al. 1989). BEREST kam bereits in der ehemaligen DDR auf einer Fläche von 345 Tha und in der ehemaligen Sowjetunion auf einer solchen von über 3 Mill. ha zur Anwendung.

Kern des DOS-Systems ist ein dynamisches Mehrschichtenbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodell sowohl für aktuelle als auch für prognostische Berechnungen (Abbildung 3). Darauf aufbauend erfolgt die schlagspezifische Berechnung des Wassereinsatzes auf der Grundlage des Quotienten aus aktueller und potenzieller Evapotranspiration (AET/PET) als Maßstab der Wassermangelstressbelastung der Bestände bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Bodenfeuchtezustandes.

Das System bietet:

- eine fruchtart- und schlagspezifische Abschätzung und Prognose des Bodenfeuchtegehaltes sowie der Versickerung,
- die Ermittlung und Prognose der Verdunstung sowie der aktuell bestehenden und prognostisch zu erwartenden Wasserstressbelastung der Pflanzenbestände,
- die Berechnung des aktuellen und prognostisch zu erwartenden Zusatzwasserbedarfs,
- die Berechnung und Bereitstellung aktueller schlagspezifischer Bewässerungsempfehlungen (optimaler Bewässerungszeitpunkt, optimale Höhe der Zusatzregengabe, Fortsetzungs- oder Unterbrechungsempfehlung),
- die Ermittlung der maximal zulässigen Regengabenhöhe, die nicht überschritten werden sollte, um Versickerungs- und damit Nährstoffauswaschungsverluste sowie Oberflächenabfluss bei Hangneigung zu vermeiden und
- die Möglichkeit der Datenspeicherung und Datenauswertung zu Zwecken der Produktionsanalyse.

Die für das Mehrschichtenbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodell erforderlichen Inputdaten, Modellparameter sowie die Modelloutputgrößen sind der *Abbildung 4* zu entnehmen.

Essenzieller Bestandteil des Modells sind neben der dynamischen Berechnung von Bodenfeuchte und Evapotranspiration fruchtartspezifische, fachlich fundierte Steuerkurven für die Ontogenese, den Bedeckungsgrad, die Wasserentnahme- bzw. Durchwurzelungstiefe, den Korrekturfaktor der potenziellen Evapotranspiration und den Grenzwert des

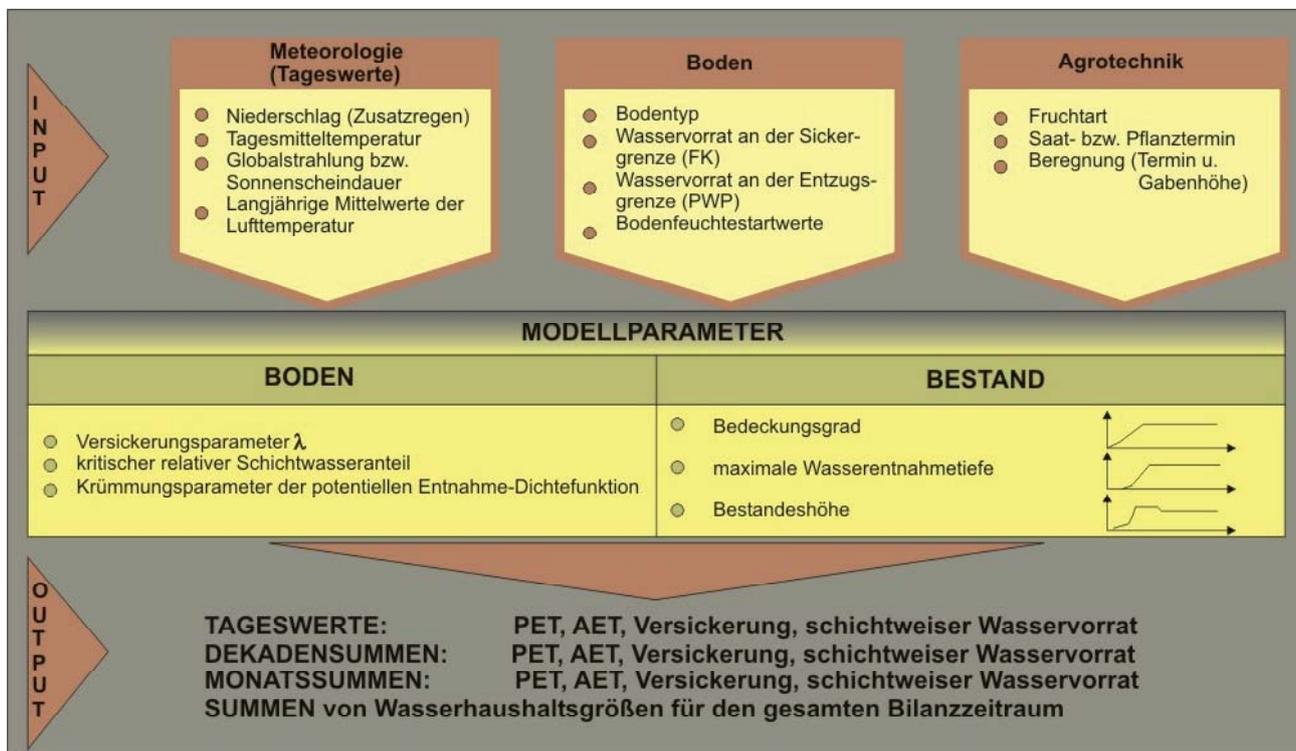


Abbildung 4: Input- und Outputparameter des Mehrschichtenbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodells BEREST (WENKEL et al. 2006)

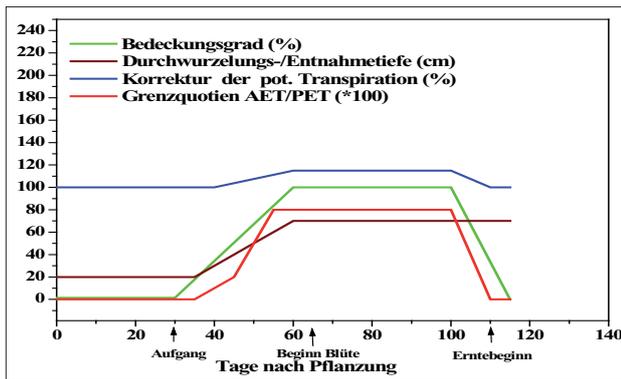


Abbildung 5: Steuerkurven für Frühkartoffeln (RG1) des Modells BEREST(WENKEL et al. 2006)

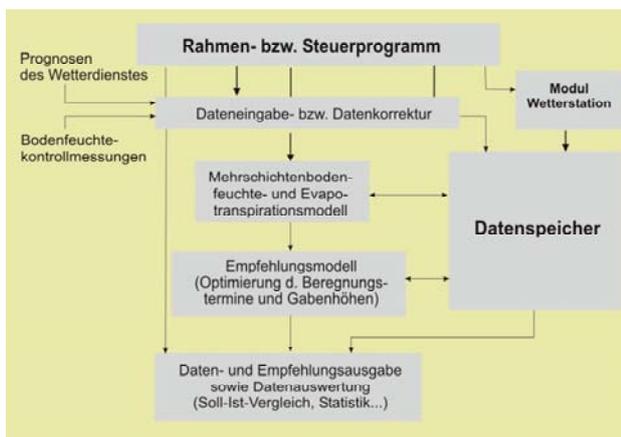


Abbildung 6: Vollständige Programmstruktur von BEREST

AET/PET-Quotienten. *Abbildung 5* zeigt beispielhaft einen Steuerkurvensatz für Frühkartoffeln der Reifegruppe 1.

Insgesamt liegen für 186 Fruchtarten und Anbauformen Steuerkurven-Sätze vor. Im Einzelnen bestehen diese aus 14 Sätzen für Getreide, 7 für Hülsenfrüchte, 3 für Ölf Früchte, 54 für Gemüse, 18 für Hackfrüchte, 69 für Futterpflanzen, 13 für Obst und 8 für Sonderkulturen.

Die gesamte Programmstruktur von BEREST geht aus *Abbildung 6* hervor.

Ein aktuelles Anwendungsbeispiel von BEREST sind die von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft seit 1990 jährlich im Zeitraum von April bis September im Wochenturnus herausgegebenen Beregnungsempfehlungen, um den auf die Beregnung angewiesenen Thüringer Produzenten eine Beratungs- und Entscheidungshilfe in die Hand zu geben (GÜNTHER 2006).

Seit 1995 bestehen die Empfehlungen aus fünf Informativanteilen.

Der erste Teil beinhaltet die Niederschlags- und Verdunstungssumme sowie die Klimatische Wasserbilanz der Vorwoche für repräsentative Beregnungsstandorte. Die zugrunde liegenden Daten stellen in der Mehrzahl Messwerte von Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes dar, ergänzt durch einige DWD-Stationen.

Die zweite Tabelle weist die aktuelle Bodenfeuchte in 0 bis 60 cm Tiefe unter unberegneten und beregneten Bedingun-

gen an den unterschiedlichen Standorten aus. In der dritten Tabelle werden empfohlene Gabenhöhen und die kumulativ empfohlenen Zusatzwassermengen mitgeteilt. Im Teil 4 erfolgt ein Ausblick auf das Wetter der nächsten Tage. Der letzte Teil enthält verbale Hinweise zur Beregnung, wobei unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Belange für die aktuell beregnungswürdigen und -bedürftigen Fruchtarten entsprechende Gabenhöhen empfohlen werden.

Ausblick

BEREST hat sich als computergestütztes Expertensystem zur operativen Steuerung eines umweltschonenden und wassersparenden Beregnungseinsatzes in der Landwirtschaft und im Gartenbau herausgestellt.

Gegenwärtig wird an der Weiterentwicklung von BEREST zu einem internetgestützten Experten- und Managementsystem (IRRIGAMA) gearbeitet, dass auch eine betriebswirtschaftliche Bewertung der durchgeführten Bewässerungsmaßnahmen beinhalten soll (WENKEL et al. 2006).

Im Ergebnis soll BEREST bzw. IRRIGAMA den gestiegenen Anforderungen der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Praxis an eine in jeder Hinsicht effiziente Zusatzbewässerung gerecht werden und bei der betrieblichen Anwendung die Nutzung neuer Medien wie das Internet durch landwirtschaftliche und gartenbauliche Unternehmen ermöglichen und unterstützen.

Literatur

- GÜNTHER, R. und D. ROTH, 1994: Korrekturfaktoren für Schätzverfahren der potentiellen Verdunstung (PET) abgeleitet aus Lysimeterwerten. Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung 19.-20. April 1994, BAL Gumpenstein, S. 79-86.
- GÜNTHER, R., 1997: Verbesserte Verdunstungs- und Bodenfeuchtemodelle als Basis für die Beregnungsempfehlung der TLL. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Forschungsbericht Themenblatt-Nr.: 15.09.630/97.
- GÜNTHER, R., 2006: Aufgaben und Leistungen des agrarmeteorologischen Messnetzes in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Abschlussbericht Themenblatt-Nr.: 46.07.730/05, 30 S.
- PASCHOLD, P.-J., 1997: Bewässerungseinsatz nach der Geisenheimer Methode. Deutsche Gärtnerpost 27, 1997, 5, S. 12-13.
- ROTH, D., R. GÜNTHER und K. SCHWARZ, 1984: Die Lysimeterstation Butteltstedt zur Erfassung des Pflanzenwasserverbrauches. Z. f. Meteorol., 34 (1984), S. 256-265.
- ROTH, D., R. GÜNTHER, S. KNOBLAUCH und H. MICHEL, 2005: Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen. Jena, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 1, 159 S.
- WENKEL, K.-O., M. NEUMEYER und F. SCHIRACH, 1989: Computergestützte schlagbezogene Einsatzsteuerung der Beregnung. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin 275, S. 201-210.
- WENKEL, K.-O., W. MIRSCHEL, B. SCHÖRLING, M. VOIGT, R. HARTUNG und B. GUTEZEIT, 2006: Die Entwicklung eines internetgestützten Informations- und Beratungssystems zur umweltschonenden und ökonomisch effektiven Steuerung des Bewässerungseinsatzes in der Landwirtschaft und im Gartenbau - IRRIGAMA.NET; Entwicklungskonzeption, ZALF Münchenberg/ Beregnungsmanagement und -beratungs GbR.