



Universität
Hohenheim

WAVES
FB Agrarökosysteme



Universidade Federal
do Ceará

Die Agrarökosystemmodelle EPIC/ALMANAC und deren Einbindung in das WAVES Programm

von

T. H. Hilger¹, T. Gaiser², Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira⁴, J. Herfort¹, L.S. Schneider¹
und I. de Barros³

¹ Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie der Tropen und Subtropen, ² Institut für Bodenkunde und Standortlehre, ³ Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, ⁴ Universidade Federal do Ceará

Einleitung

Das Simulationsmodell EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) wurde in den USA während der 80iger Jahre entwickelt, um den Einfluß von Erosion auf die landwirtschaftliche Produktion zu erfassen. Das Modell wird in den Vereinigten Staaten seit 1985 für die im Rahmen des *Soil and Water Resources Conservation Act* von 1977 vorgesehenen Bestandsanalysen über den Zustand der nationalen Wasser- und Bodenressourcen genutzt.

EPIC ist ein dynamisches Simulationsmodell, welches genutzt werden kann, um einerseits die Auswirkung von Managementstrategien auf die landwirtschaftliche Produktion und andererseits deren Folgen für die Boden- und Wasserressourcen zu erfassen. Weiterentwicklungen von EPIC beschäftigen sich mit Problembereichen wie Wasserqualität und Global Change/CO₂. Für diese Bereiche wurden zusätzliche Komponenten entwickelt, die sich u. a. in den Modellansätzen zum Verbleib von Pesticiden in der Umwelt oder zur Nitrifizierung und Volatisation widerspiegeln. Um den erweiterten Möglichkeiten Rechnung zu tragen, wird EPIC heute von dessen Autoren auch als *Environmental Policy Integrated Climate Model* bezeichnet.

Bei ALMANAC handelt es um eine Weiterentwicklung von EPIC, die eine gleichzeitige Simulation des Wachstums von zwei verschiedenen Pflanzenarten auf ein und derselben Fläche erlaubt. Aufgrund der Ähnlichkeit beider Modelle werden im nachfolgenden Text, wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt, lediglich das Modell EPIC diskutiert.

Im Vorfeld der WAVES-Hauptphase wurden verschiedene Pflanzenwuchsmodelle bezüglich der Berücksichtigung von ertragsbeeinflussenden Faktoren miteinander verglichen. Die Wahl fiel dabei auf EPIC und ALMANAC, weil sie neben den Faktoren Klima und Wasser auch die Verfügbarkeit von Nährstoffen und das Vorkommen von toxischen Stoffen im Boden berücksichtigen. Zudem berücksichtigt ALMANACH über den

Vergleich von zwei Pflanzenarten den Mischbau. Der Vergleich der verschiedenen Modelle ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Modellstruktur

Die Hauptkomponenten von EPIC sind die Wettersimulation, die Hydrologie, die Sedimentation durch Erosion, die Nährstoffkreisläufe, der Verbleib von Pestiziden, das Pflanzenwachstum, die Bodentemperatur, die Bodenbearbeitung und die Bewässerung.

Diese Daten werden in folgenden Modulen verarbeitet:

- Hydrologie
- Nährstoffe
- Pflanzenwachstum/Konkurrenz
- Management

Eine Beschreibung der Modellstruktur von EPIC befindet sich in Tabelle 2. Dort werden auch die wesentlichen Prozesse der einzelnen Module und die dazugehörigen Parameter aufgeführt.

Eine Auflistung der dem Modell zugrundeliegenden Gleichungen würde den Rahmen dieser Modellbeschreibung sprengen und kann deshalb an dieser Stelle nicht aufgeführt werden. Daher wird in diesem Zusammenhang auf das Handbuch und die umfangreiche Dokumentation im Internet verwiesen.

Die Internetadresse, unter der die Dokumentation abgerufen werden, kann lautet:

<http://www.brc.tamus.edu/epic/documentation/index.html>

Darüber hinaus können bei EPIC auch Daten zur Ökonomie und Pflanzenumwelt in die Module eingegeben werden.

Skalen

a) räumlich

Die räumliche Auflösung von EPIC ist, aufgrund der ursprünglichen Intention der Autoren mittels EPIC den Einfluß der Erosion auf die Produktivität der landwirtschaftlichen Produktion zu simulieren, das Wassereinzugsgebiet. Dieses kann eine Größe von maximal 100 ha erreichen, wobei Homogenität hinsichtlich Wetter, Boden und Anbausystem vorausgesetzt wird.

b) zeitlich

Die zeitliche Auflösung der Ausgabedaten ist recht weit. Sie reicht von Tageswerten über monatliche Daten bis zu Jahresdaten. Die Simulation kann für einen Zeitraum von 100 Jahren und mehr durchgeführt werden.

EPIC Crop Files

EPIC verfügt z. Zt. über 80 Crop Files, die einen weiten Bogen von annuellen bis perenierenden Kulturpflanzen spannen. Ferner werden neben stärke- und zuckerliefernden Pflanzen auch Gemüse- und Obstarten sowie weidewirtschaftlich genutzte Arten berücksichtigt. Etwa die Hälfte dieser Pflanzen kann in den Tropen angebaut werden. Diese sind in Tabelle 3 aufgeführt. Ferner werden zwei Crop Files angegeben, die sich mit der Simulation von weidewirtschaftlich genutzten Flächen auseinandersetzen.

Die brasilianischen Partnern des FB Agrarökosysteme an der UFC in Fortaleza haben inzwischen ein Crop File für die Augenbohne (*Vigna unguiculata*) zusammengestellt.

Input/Output Parameter

Eine Liste wichtiger Input/Output Parameter ist in Tabelle 4 aufgeführt. Die Eingabeparameter gliedern sich in die Bereiche Klima, Gelände, Boden, Management und pflanzenspezifische Parameter. Die Definition der Eingabeparameter erfolgt durch die folgenden WAVES Arbeitsgruppen:

Eingabegrößen (Tab.4)	Definiton durch
Klima	FB Klimaanalyse und -modellierung
Gelände und Boden	AG Bodenkunde
Management	UFC, AG Pflanzenernährung, AG Pflanzenbau, AG Ökonomie
Kulturpflanzen	UFC, AG Pflanzenbau

Überprüfung und Anpassung

EPIC und ALMANAC wurden, wie die meisten Modelle zur Simulation der Ertragsbildung von Kulturpflanzen, in gemäßigten oder subtropischen Gebieten entwickelt, in denen aufgrund der standörtlichen und produktionstechnischen Gegebenheiten i.d.R. klimatische Parameter (Temperatur, Strahlung, Niederschlag) und die Wasserverfügbarkeit ertragslimitierend sind. Derartige Bedingungen sind im Nordosten Brasiliens nur auf solchen Flächen anzutreffen, die mit modernen pflanzenbaulichen Methoden bewirtschaftet werden, meist mit der Möglichkeit der Bewässerung. Deshalb werden die vorhandenen Modelle einer Anpassung bedürfen, wenn man in Piauí und auch in Teilen Ceará die Ertragsbildung in den sogenannten low-input-Anbausystemen ohne ausreichende Grunddüngung (K, Mg und Ca) simulieren will. Die Überprüfung und Anpassung der Modellsysteme soll an repräsentativen Böden und Landschaften im Untersuchungsgebiet erfolgen. Die Anwendung der Modelle könnte dann sowohl eine Abschätzung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt als auch auf Nährstoffflüsse und pflanzlichen Erträge in Abhängigkeit von Boden und Management erlauben.

Der Fachbereich Agrarökosysteme gliedert sich auf deutscher Seite in die Arbeitsgruppen „Bodenkunde“, „Pflanzenernährung“, „Pflanzenbau“. Auf brasilianischer Seite besteht eine Forschergruppe der Universidade Federal do Ceará unter der Leitung von Prof. Luiz Gonzaga. Alle Arbeitsgruppen testen gemeinsam die Pflanzenwachstumsmodelle EPIC und ALMANAC auf unterschiedlichsten Standorten in den Projektschwerpunktregionen Picos und Tauà, wobei die Arbeitsgruppen „Pflanzenbau“ und „Pflanzenernährung“ schwerpunktmäßig die Nährstoff- und Ertragskomponenten der Modelle und die Arbeitsgruppe „Bodenkunde“ die Simulation des Bodenwasserhaushaltes bzw. der Wasserverfügbarkeit überprüfen wird.

Im Einzelnen sind die Aufgaben folgendermaßen verteilt:

Modul	Standort	Bearbeitung
Wettergenerator, Hydrologie und Erosion	Tauá Picos	UFC ¹ AG „Bodenkunde“ (UHoh ²)
Pflanzeneingabeparameter, Nährstoffdynamik und Pflanzenwachstum	Tauá Picos	UFC AG „Pflanzenbau“ und AG „Pflanzenernährung“ (UHoh)

Regionalisierung der Simulationsergebnisse und Schnittstellen zu anderen Teilmodulen

Schnittstellen zu anderen Teilmodulen des Integrierten Regionalmodells CACHAÇA und zu MOSDEL bestehen in der Zulieferung von technischen Koeffizienten der Produktion, Ertragspotentialen und Wasserbedarf der wichtigsten vorkommenden Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Witterung, Standort, und Management. Dazu werden die Simulationsergebnisse (Tab.4) je nach Zielparameter und Fragestellung in die adäquate Zielskala transformiert.

Zur Erarbeitung von Skalierungstechniken wurden die Zielskala und die Zielparameter festgelegt werden. Während des Workshops "Räumliche Integration und Skalierung" in Freising wurde nochmals das Munizip als räumliche Einheit definiert, auf die alle Teilprojekte ihre Ergebnisse transformieren müssen. Die Vorgehensweise der Transformation ist abhängig von den jeweiligen Parametern und den inhaltlichen Zielen. Bei der Abschätzung der standortsbedingten Produktionspotentiale, die in Szenarien für in der Zukunft mögliche Flächenausdehnungen oder Einführung neuer Kulturpflanzen eingesetzt werden sollen, wird das Schätzverfahren in der SOTER-Datenbank auf der Ebene der Bodenprofile bzw. Bodenkomponenten angewendet und durch Klassenbildung und Summation auf die SOTER-Einheiten transformiert. Die Transformation auf die Munizipebene erfolgt durch die Verschneidung der SOTER-Einheiten mit den Munizipgrenzen in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich "Landschaftsökologie".

Bei der Abschätzung der realen, landwirtschaftlichen Produktion wird eine andere Vorgehensweise gewählt (Abb.1). Die reale landwirtschaftliche Produktion ist zum einen bestimmt durch die standörtlichen Gegebenheiten, zum anderen aber auch durch die ökonomischen Bedingungen der landwirtschaftlichen Betriebe. In diesem Fall muß die Transformation der Ergebnisse aus den Ertragsmodellen (Hektarerträge) auf die Munizipebene in Verbindung mit dem regionalen landwirtschaftlichen Sektormodell RASMO (Regional Agricultural Sector Model) erfolgen. Dazu wurden gemeinsam mit den Arbeitsgruppen "Ökonomie" und "Pflanzenbau" Produktionsverfahren in Abhängigkeit von Standort, Kulturpflanze und Anbauintensität definiert. Diese Produktionsverfahren werden

¹ Universidade Federal do Ceará

² Universität Hohenheim

je nach den natürlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen in jedem Munizip bzw. in jeder agrarökonomischen Region in unterschiedlichem Ausmaß verwirklicht. Der Fachbereich "Agrarökosysteme" schätzt für das RASMO Produktionsfunktionen bzw. Hektarerträge in Abhängigkeit von Witterung, Standort, Kulturpflanze und Anbauintensität. Diese gehen als Inputparameter in das RASMO ein und bestimmen in Abhängigkeit von den ökonomischen Rahmenbedingungen (Betriebsmittelpreise, Marktsituation etc.) und der Standortausstattung (Verschneidung Munizipgrenzen mit SOTER-Einheiten) die Flächenausdehnung der verwirklichten Produktionsverfahren im ökonomischen Optimum pro Munizip bzw. agrarökonomischer Region und damit die produzierten Mengen. Über die Flächenausdehnung der einzelnen Produktionsverfahren können neben dem Flächenertrag und dem Wasserbedarf zur Bewässerung auch andere Ausgabeparameter der Ertragsmodelle EPIC und ALMANAC wie aktuelle Evapotranspiration oder Oberflächenabfluß auf die Munizipebene transformiert werden (Abb.1).

Erste Ergebnisse

Erste Ergebnisse der Simulation des Wachstums und der Ertragsbildung von Mais und Cowpea unter den Bedingungen des "El-Nino" Jahres 1998 auf einem extrem nährstoffarmen wurden im Jahresbericht 1998 der AG "Pflanzenbau" aufgezeigt (siehe WAVES Homepage). Untersuchungen der Arbeitsgruppe der UFC und der AG Bodenkunde haben die Bedeutung des Eingabeparameters "Globalstrahlung" für die Simulation des Cowpeawachstums aufgezeigt (Abb. 3). Es stellte sich heraus, daß der in EPIC und ALMANAC integrierte Wettergenerator WXGEN die Globalstrahlung während der Trockenzeit (in der intensiver Bewässerungsanbau üblich ist) die einfallende Strahlungsmenge pro Tag unterschätzt (Abb.2). Dies führt zu einer deutlichen Unterschätzung der Biomassebildung durch Cowpea. Die Untersuchung zeigt außerdem, daß die Trockenmasseentwicklung von Cowpea bei Bewässerung und Volldüngung von EPIC hinreichend genau beschrieben wird (Abb.3). Andererseits zeigen erste Ergebnisse der Simulation des Cowpea- und insbesondere des Maiswachstums im Jahr 1998 auf dem nährstoffarmen Acrisolstandort in Picos, daß das Ertragsmodell ALMANAC einer Modifizierung bedarf, um unter derartigen Standorts- und Witterungsbedingungen hinreichend gute Ertragsabschätzungen machen zu können.

Tabelle 1: Vergleich einiger Ertragsmodelle bezüglich der Berücksichtigung ertragsbeeinflussender Faktoren

Modell (Autor)	Klima	Wasserverfügbarkeit im Boden	Nährstoffverfügbarkeit	toxische Stoffe	Schädlinge, Krankheiten	Mischkultur
SORGF (Arkin et al., 1976)	+	+	-	-	-	-
Stewart, 1981	+	-	-	-	-	-
SUCROS (Van Keulen et al., 1982)	+	+	-	-	-	-
Pegov et al., 1983	+	+	-	-	-	-
Konij et al, 1983	+	*	-	-	-	-
CERES (Ritchey and Otter, 1983; Jones et al, 1986)	+	+	N	-	-	-
CENTURY (Parton et al, 1987)	+	+	N,P,S	-	-	-
SIMRIW (Yoshino et al, 1987)	+	-	-	-	-	-
CROPWAT (Smith, 1989)	+	+	-	-	-	-
WOFOST (Van Diepen et al, 1989)	+	+	-	-	-	-
EPIC (USDA, 1990)	+	+	N,P	AI	(+)	-
QUEFTS (Janssen et al, 1990)	-	-	N,P,K	-	-	-
ALMANAC (Kiniry et al, 1990)	+	+	N,P	AI	(+)	+
DEMETER (Matthäus et al, 1994)	+	+	N	-	-	-

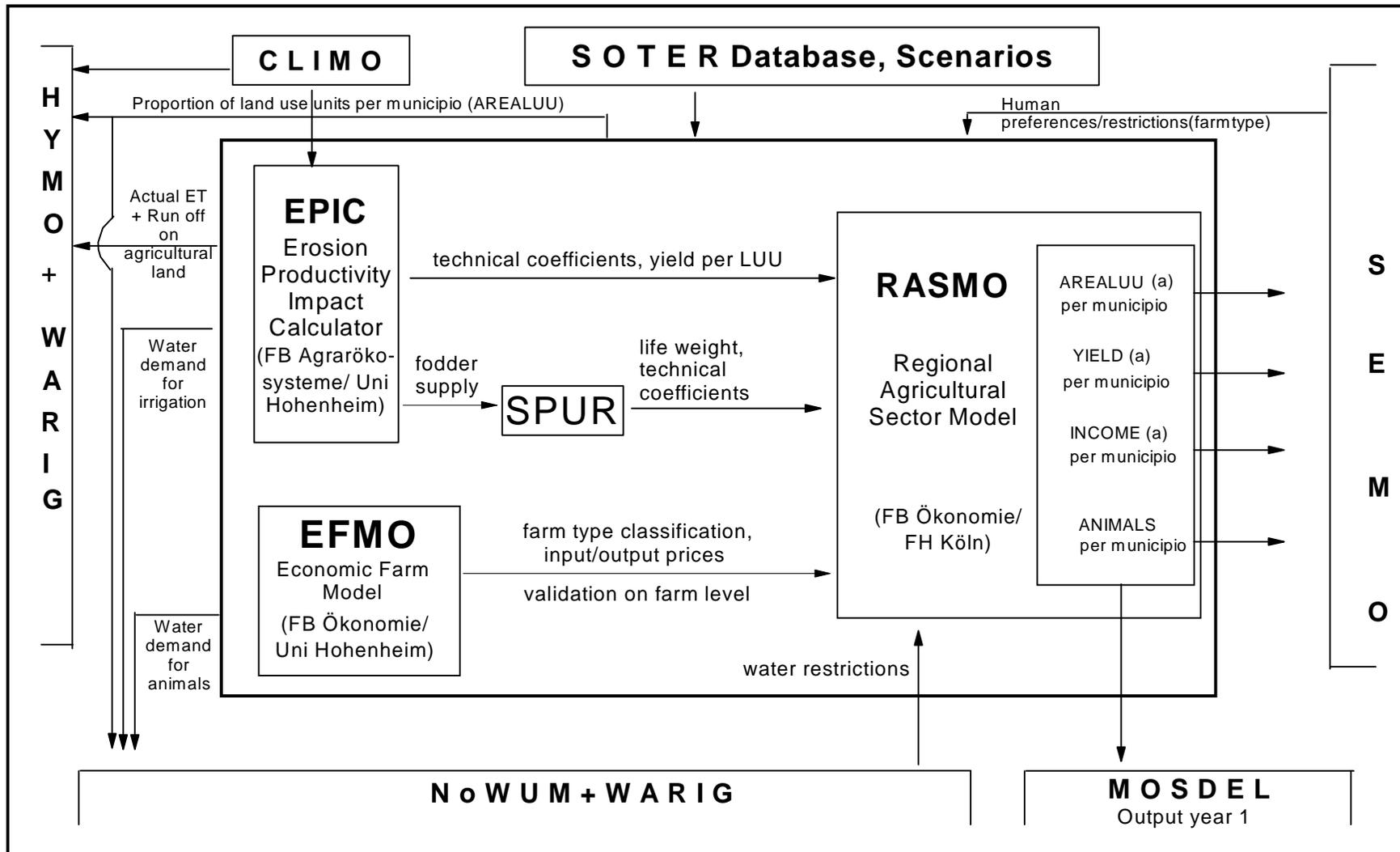


Abb.1: Zusammenhang zwischen EPIC (FB Agrarökosysteme) und RASMO (AG Ökonomie) sowie Schnittstellen zu den anderen Modulen des Integrierten Regionalmodells CACHAÇA bzw. zu MOSDEL

Tabelle 2: EPIC Modellstruktur - Submodelle und Prozesse

Modul	Prozess	Bemerkungen
Hydrologie	Niederschlag Runoff Perkolation Evapotranspiration Erosion	täglich/monatlich (Wetter file PIK oder Wettergenerator) SCS-Curve numbers kapazitiv (storage routing technique) pot.: Priestley-Taylor/Penman/ Penman-Monteith akt.: Ritchie USLE/MUSLE/Onstad-Foster
Nährstoffe	<u>N</u> : Düngung Atmosph. Eintrag Mineralisierung, Immobilisierung, Aufnahme, Verluste	mineralisch/organisch Regen frische, aktive, stabile OBS Angebot/Bedarf Auswaschung/Erosion/volatile Verluste
	<u>P</u> : Düngung organische Fraktion mineralische Fraktion Aufnahme/Verluste	wie N labiles, aktives, stabiles P verfügbares/gebundenes P wie N
Pflanzenwachstum (Sproß/Wurzel)	Temperatursummen/Einstrahlung (PAR)	Einschränkungen durch Wasser, Temperatur, Nährstoffe, Luftmangel, AI
Konkurrenz	Wasser, Nährstoffe, Licht	tägliche simultane Aufnahme von Wasser und Nährstoffe sowie Lichtinterzeption
Management	Bodenbearbeitung Bewässerung Düngung Kalkung Pestizide	Saatbettbereitung, Hacke Furche/Sprinkler organisch/mineralisch ca. 30 Wirkstoffe

Tabelle 3: EPIC Cropfile Liste mit in den Tropen angebauten Kulturpflanzen

Crop file no.	Crop code	Bot Name	Vulgärname
1	SOYB	<i>Glycine max</i>	Sojabohne
2	CORN	<i>Zea mays</i>	Mais
3	GRSG	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorghum (Korn)
4	COTS	<i>Gossypium sp.</i>	Baumwolle (Stripper)
5	COTP	<i>Gossypium sp.</i>	Baumwolle (Picker)
6	PNUT	<i>Arachis hypogea</i>	Erdnuß
7	SUNF	<i>Helianthus annuum</i>	Sonnenblume
18	RICE	<i>Oryza sativa</i>	Reis
21	LEN1	<i>Lens culinaris</i>	Linse
22	LENT	<i>Lens culinaris</i>	Linse
26	FPEA	<i>Pisum sativum</i>	Erbse
27	MUNG	<i>Vigna radiata</i>	Mungbohne
28	SESB	<i>Sesbania sp.</i>	Sesbania (Futterbusch)
30	SGHAY	<i>Sorghum bicolor</i>	Futtersorghum (Heu)
36	RANGE	-	Natürliche Weideland
37	SPAS	-	Künstliche Weide
50	POTA	<i>Solanum tuberosum</i>	Kartoffel
51	POT2	<i>Solanum tuberosum</i>	Kartoffel
53	BROC	<i>Brassica oleracea var italica</i>	Brokkoli
54	CABG	<i>Brassica sp.</i>	Kohl
55	CAUF	<i>Brassica oleracea var botrytis</i>	Blumenkohl
57	LETT	<i>Lactuca sativum</i>	Salat
60	CRRT	<i>Daucus carota</i>	Karotte
61	ONIO	<i>Alium cepa</i>	Zwiebel
63	GRBN	<i>Phaseolus vulgaris</i>	grüne Bohne
64	LIMA	<i>Phaseolus lunatus</i>	Limabohne
65	PEAS	<i>Pisum sativum</i>	Erbse
66	CUCM	<i>Cucumis sativum</i>	Salatgurke
67	EGGP	<i>Solanum melongena</i>	Aubergine
69	HMEL	<i>Cucumis melo</i>	Honigmelone
70	WMEL	<i>Citrullus lanatus</i>	Wassermelone
71	PEPR	<i>Capsicum sp.</i>	Chilies
73	TOMA	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	Tomate
74	SPOT	<i>Ipomoea batatas</i>	Süßkartoffel
75	SCRN	<i>Zea mays</i>	Zuckermais
76	TOBC	<i>Nicotiana sp.</i>	Tabak
77	SUGC	<i>Saccharum officinalis</i>	Zuckerrohr
79	PMIL	<i>Pennisetum glaucum</i>	Perlhirse
81	MESQ	<i>Prosopis sp.</i>	Prosopis

Tabelle 4: Liste der Input- und Outputparameter von EPIC

Input Parameters

Climate:	<ul style="list-style-type: none">• rainfall• temperature min/max• wind•(rel. humidity)³•net radiation• CO2-concentration	daily daily daily
Terrain:	<ul style="list-style-type: none">• slope steepness• slope length• irrigation sceme• altitude of test site	
Soil:	<ul style="list-style-type: none">• soil profile description +• initial soil water content• depth to water table (min/max)• initial depth to water table• bulk density• texture• soil pH• organic carbon• coarse fragment content•(initial nitrate content in the soil)•(initial available P)•(phosphorus sorption ratio)•(organic P concentration)	
Management:	schedule of farm operations (crop rotation, tillage, application of fertilizer and pesticides, irrigation, weeding)	
Crop:	<ul style="list-style-type: none">• crop name• crop parameters (40 !) from file or literature (ref. User Manual)	

Output parameters (not complete)

Hydrology:	<ul style="list-style-type: none">• actual evapotranspiration• percolation• surface runoff (*)⁴• soil water content in profile (*)	
Erosion:	<ul style="list-style-type: none">• soil loss per year / crop	
Nutrients:	<ul style="list-style-type: none">• N mineralized from stable organic matter• N losses (denitrification, seepage, surface runoff, subsurface flow)• total nitrate in soil profile (* ?)• total N and P uptake by crop (*)• N and P in yield (*)	

³ in brackets: optional input parameter

⁴ (*): to be validated

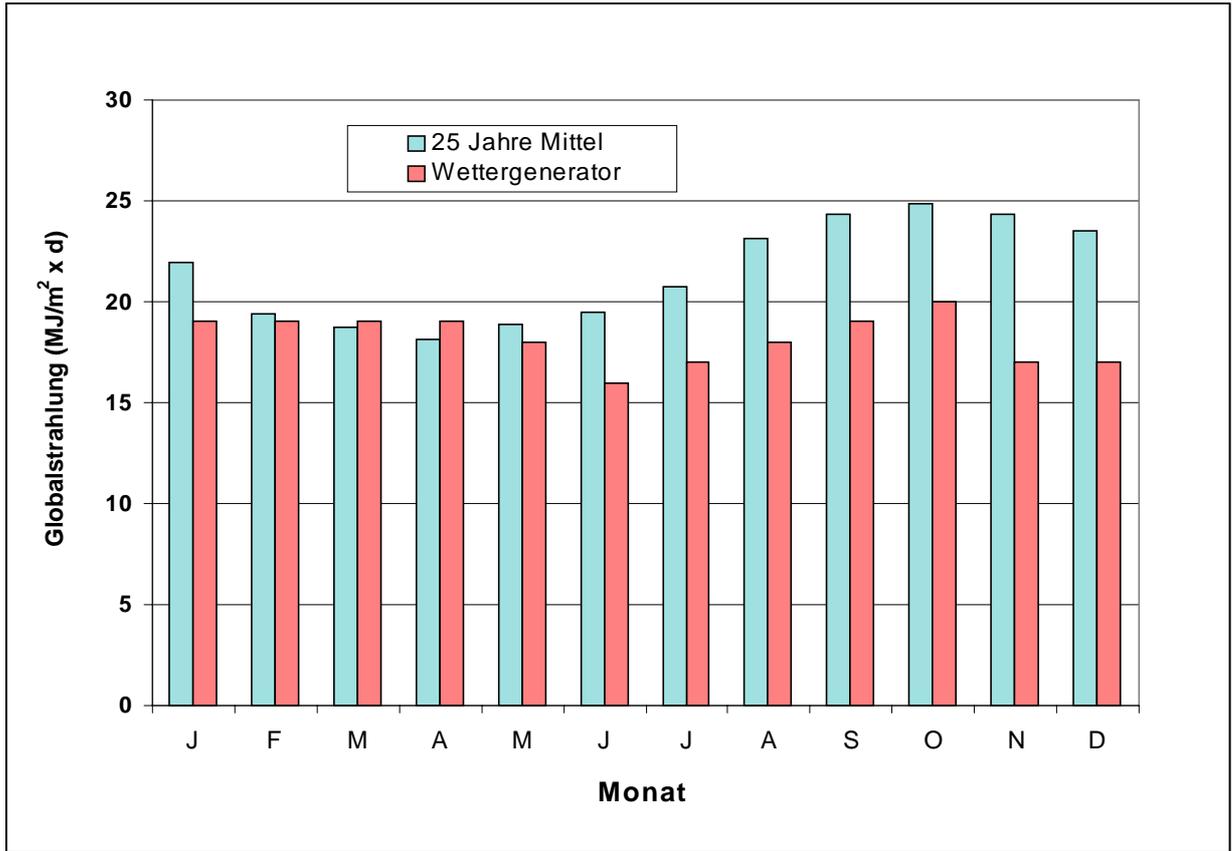


Abb.2: Vergleich von gemessenen und mit dem EPIC Wettergenerator WXGEN simulierten Werten für Globalstrahlung in Fortaleza

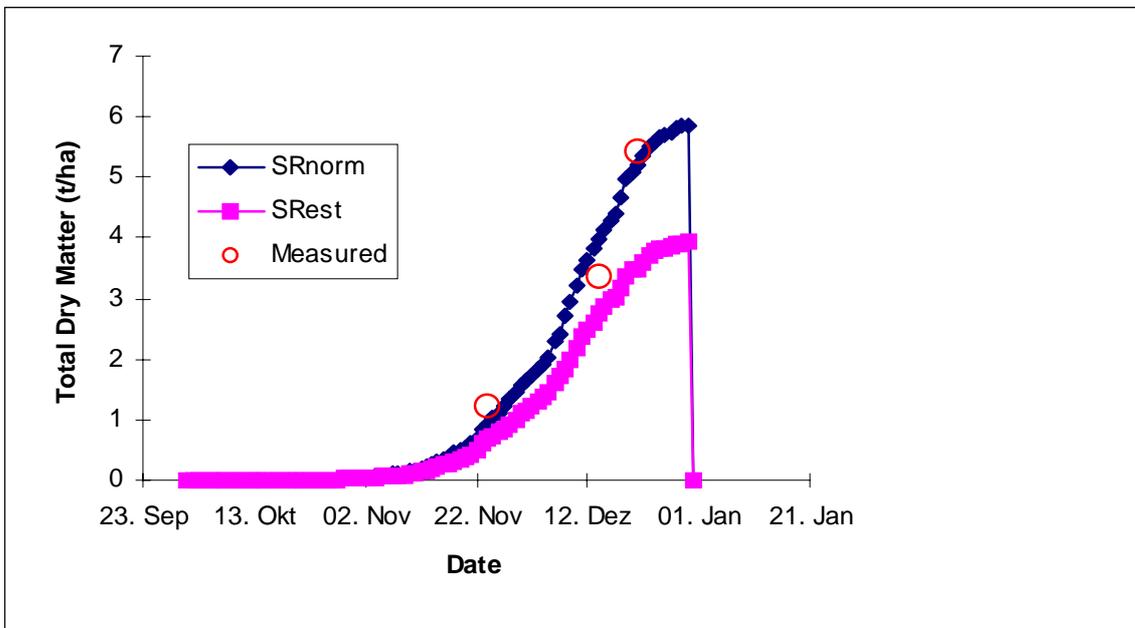


Abb.3: Auswirkung der Variation des Eingabeparameters "Globalstrahlung" (SRnorm = 25 jährige Monatsmittel, SRest = durch den EPIC Wettergenerator geschätzte Strahlungswerte) auf die Simulation der Trockenmassebildung von Cowpea durch das Ertragsmodell EPIC