Schadensanalyse und -prognose mit Hilfe von Agroökosystemmodellen - das Agroökosystemmodell AGRO90-W

Alfred Schultz, Eberswalde-Finow

1. Einführung

Die Intensivierung der gesamten landwirtschaftlichen Produktion ist weltweit mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden. Insbesondere die übermäßige Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln hat dazu geführt, daß die Landwirtschaft mittlerweile nicht mehr nur Verursacher, sondern auch selbst Betroffener ist. Für den Pflanzenschutz besteht deshalb die Notwendigkeit, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und auf wissenschaftlich begründete, ökologisch vertretbare Einsatzgrenzen zu senken.

Da agrarische Ökosysteme durch immer wiederkehrende Eingriffe von außen gekennzeichnet sind, kann sich hier kein selbständiges Regulationssystem entwickeln. Daher kann nur der Mensch für ein entsprechendes Schutzsystem und für die Vermeidung von Schäden verantwortlich sein.

Ein Mittel, die nutzungsbedingten Risiken in Agroökosystemen, also sowohl ökologische Belastungen als auch wirtschaftlichen Schaden, zu bewerten, sind Computersimulationen auf der Basis von umfassenden Agroökosystemmodellen.

Ein Ziel der im Institut für angewandte Schaderreger- und Agroökosystemmodellierung Eberswalde angesiedelten Modellierungsarbeiten ist darauf gerichtet, pflanzenschutzrelevante Komponentenmodelle für die notwendigen Agroökosystemmodelle zu entwickeln (Modelle für Pflanzenkrankheiten und tierische Schaderreger einschließlich der Wechselwirkungen zwischen ihnen und mit der Kulturpflanze, Modelle zur Beschreibung der Wirkung und des Abbaus von Fungiziden und Insektiziden).

Die bisher durchgeführten Arbeiten zur Agroökosystemmodellierung betreffen vor allem das Agroökosystem Winterweizen. Das resultiert u.a. aus der wirtschaftlichen Bedeutung der Kulturpflanze Winterweizen, aus dem Vorhandensein experimenteller biologisch-ökologischer Grundlagen zur Kulturpflanzenentwicklung und zur Entwicklung wichtiger Schaderreger sowie nicht zuletzt aus den umfangreichen Erfahrungen zum Agroökosystem Winterweizen und seiner Modellierung in der ehemaligen DDR. So gesehen ist das Agroökosystemmodell Winterweizen AGRO90-W eine Weiterentwicklung des Modells AGROSIM-W (BELLMANN u.a. 1986, EBERT u.a. 1986).

2. Das Agroökosystemmodell AGRO90-W

2.1 Komponentenmodelle

Wie immer im Falle biologischer Systeme ist auch die Modellierung des Agroökosystems Winterweizen ein Problem der Beschränkung und Abgrenzung. Der Anspruch, ein System modellieren zu wollen, wird dadurch natürlich verletzt. Aber sowohl die Existenz einer oberen Grenze für die Größe von Simulationsmodellen als auch die Notwendigkeit, eine Modellierungsaufgabe einmal beenden zu müssen, machen dies nötig. Trotzdem entsteht ein nicht unerheblicher Realitätsgewinn gegenüber den traditionellen mathematisch-statistischen Ansätzen in Form von einfachen oder multiplen linearen Regressionsmodellen. Abb. 1 zeigt schematisch die in das Agroökosystemmodell einbezogenen Komponenten des realen Agroökosystems Winterweizen.

Die in AGRO90-W vorhandenen Komponentenmodelle sind einerseits Weiterentwicklungen bereits existierender Modelle (Kulturpflanzenmodell Winterweizen TRITSIM, MATTHÄUS u.a. 1986; Populationsmodell Getreideläuse

PESTSIM-MAC, ROSSBERG u.a. 1986; Populationsmodell Getreidehähnchen PESTSIM-OUL, ROSSBERG u.a. 1986 sowie Epidemiemodell Weizenmehltau PESTSIM-ERY, GUTSCHE u.a. 1986), andererseits Neuentwicklungen.

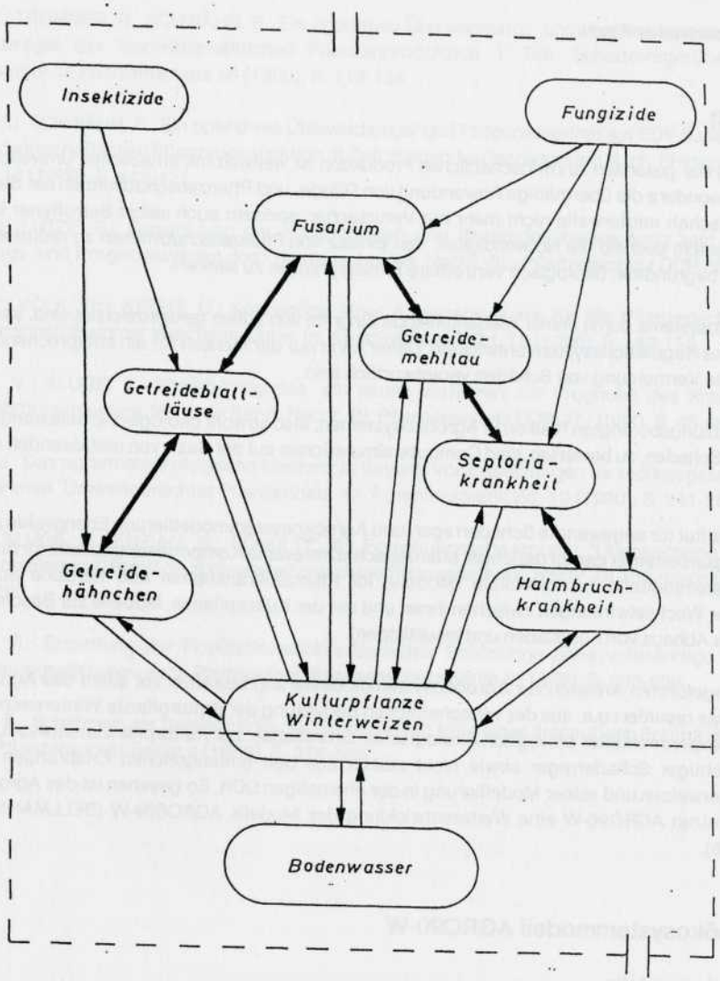

Abb. 1: Abgrenzung des Agroökosystems Winterweizen (modellierte Komponenten)

Die Weiterentwicklung der Komponentenmodelle konzentriert sich auf wirklichkeitsnähere Algorithmen zur Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Schaderreger und Kulturpflanze, der Schaderreger untereinander und zur Abbildung von Insektizid- und Fungizidwirkungen.

Neu sind die Komponentenmodelle für die Septoria-Blattfleckenkrankheit und Spelzenbräune und für Bodenwasser. Ein Modell für die Halmbruchkrankheit befindet sich in der Planungsphase, für ein Modell für Ährenfusarium werden notwendige experimentelle Vorleistungen aus arbeitsteiligen Forschungsarbeiten mit dem Pflanzen- und Bodenschutzdienst Budapest derzeit erbracht.

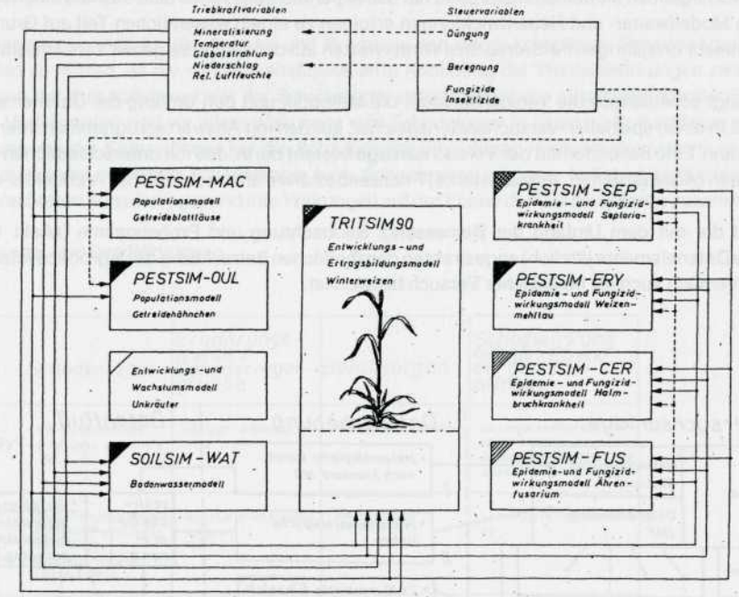

Abb. 2: Triebkraftvariablen, Steuervariablen und Komponentenmodelle des Agroökosystemmodells AGRO90-W. Bearbeitungsstand der Komponentenmodelle: ◤: Erprobungsphase, ◩: Realisierungsphase, ▽: Planungsphase, ▫: weißer Fleck

Abb. 2 gibt eine Übersicht über die aktuelle Version des Agroökosystemmodells AGRO90-W und den Bearbeitungsstand der einzelnen Teile:

- Entwicklungs- und Ertragsbildungsmodell Winterweizen TRITSIM90
- Bodenwassermodell SOILSIM-WAT
- Populationsmodell Getreideläuse PESTSIM-MAC
- Populationsmodell Getreidehähnchen PESTSIM-OUL
- Epidemie- und Fungizidwirkungsmodell Weizenmehltau PESTSIM-ERY
- Epidemie- und Fungizidwirkungsmodell Septoria-Blattfleckenkrankheit und Spelzenbräune PESTSIM-SEP
- Epidemie- und Fungizidwirkungsmodell Halmbruchkrankheit PESTSIM-CER
- Epidemie- und Fungizidwirkungsmodell Ährenfusarium PESTSIM-FUS.

Der Hinweis auf ein Entwicklungs- und Wachstumsmodell Unkräuter soll die Notwendigkeit betonen, auch Unkräuter als wichtige Elemente des Agroökosystems Winterweizen in die Modellierung einbeziehen zu müssen.

Ausführlichere Beschreibungen des Aufbaus und des Leistungsumfanges der Komponentenmodelle findet man bei SCHULTZ und HEYTER (1990).

2.2 Experimentelle Grundlagen

Kausal angelegte dynamische Modelle für biologische Objekte unterliegen immer der Gefahr, auf zu wenig oder zu ungenauen experimentellen Grundlagen zu beruhen, um die Wirklichkeit hinreichend genau widerspiegeln zu können. Für Agroökosystemmodelle, die aus einer Vielzahl in Wechselwirkung stehender Elemente bestehen, trifft das in besonderem Maße zu.

Bei dem vorliegenden Modellierungsprojekt hat das experimentelle Hinterland deshalb einen speziellen Stellenwert. Die Modellweiter- und Neuentwicklungen erfolgen zu einem wesentlichen Teil auf Grundlage der Daten eines nunmehr dreijährigen Feldversuches Winterweizen auf der institutseigenen Versuchsstation Hohenfinow.

Abb. 3 zeigt schematisch die Versuchsanlage, die Methodik und den Umfang der Datenerhebung sowie den Datenfluß in einen speziellen Versuchsdatenspeicher, auf den mit Auswerteprogrammen interaktiv zugegriffen werden kann. Eine Besonderheit der Versuchsanlage besteht darin, daß mit unterschiedlichen agrotechnischen Maßnahmen (Aussaattermin, Aussaatstärke) Pflanzenbestände unterschiedlicher Architektur erzeugt werden.

Aufgrund der mit dem Umfang der Bemessung, Beobachtung und Probennahme (allein 1.8. Mio manuell erhobene Datenelemente jährlich) angestrebten ganzheitlichen Betrachtung des Agroökosystems Winterweizen wird der Versuch auch als holistischer Versuch bezeichnet.

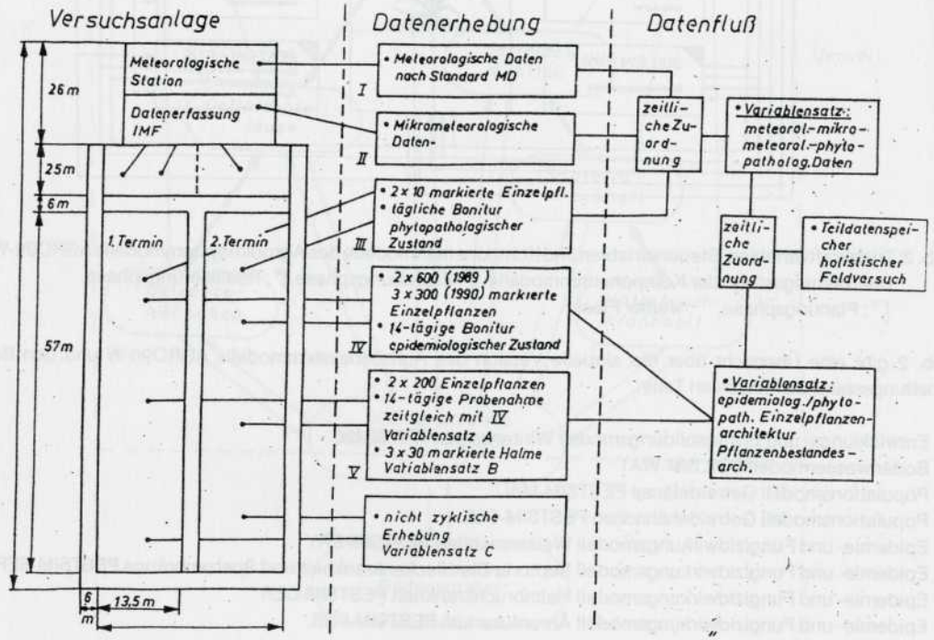

Abb. 3: Holistischer Feldversuch Agroökosystem Winterweizen. Versuchsanlage, Datenerhebung, Datenfluß

2.3 Rechentechnische Realisierung

Sowohl die einzelnen Komponentenmodelle als auch das gesamte Agroökosystemmodell (bis jetzt Winterweizen + Bodenwasser + Getreideläuse + Getreidehähnchen + Weizenmehltau + Septoria-Krankheit + Fungizide + Insektizide) sind mit Hilfe des Ökosystemsimulators SONCHES (WENZEL u.a. 1989) erstellt. Bei allen Modellen handelt es sich um sogenannte algorithmische Modelle. Die aktuelle Agroökosystemmodellversion umfaßt ca. 500 Differenz- bzw. Rekurrenzgleichungen. Die nach außen sichtbare Schrittweite ist ein Tag, die interne Verarbeitung der primären Witterungstriebkraftvariablen erfolgt aber wegen der besonderen Dynamik der Entwicklung der Pflanzenkrankheiten im Stundentakt.

2.4 Schaderreger - Kulturpflanze - Wechselwirkungen

Um ein Agroökosystemmodell für die Analyse und Prognose von durch komplexen Schaderregerbefall verursachte Schäden zu nutzen, ist die wirklichkeitsäquivalente Abbildung der Wechselwirkungen zwischen den Schaderregern und der Kulturpflanze sowie der Schaderreger untereinander von ausschlaggebender Bedeutung. In der aktuellen Modellversion sind vor allem Wirkungen vom Schaderreger in Richtung Kulturpflanze abgebildet. Die Rückkopplung von der Kulturpflanze auf die Schaderregerentwicklung realisiert sich vorerst nur über die aktuelle Befallsstärke der einzelnen Schaderreger bzw. Schaderregergruppen. In Tab. 1 sind einige Charakteristika der betrachteten Schaderreger und ihre Wirkungen auf der Ebene der Gesamtpflanze zusammengefaßt.

Tab. 1: Schaderreger und ihre Wirkungen

Modell	Schaderreger	Ernährungsweise / Schaderregergruppe	Befallsorgan	Schadwirkung auf der Ebene der Gesamtpflanze
PESTSIM-ERY	Getreidemehltau Erysiphe graminis DC.	obligat-biotroph, Pilz	Ähre, Blätter, Halm	verringerte Photosynthese, veränderte innerpflanzliche Translokation beschleunigte Seneszenz
PESTSIM-SEP	Septoria-Blattfleckenkrankheit und Spelzenbräune Septoria nodorum [Berk.] Berk.	fakultativ-saprophytisch, Pilz	Ähre, Blätter	verringerte Photosynthese
PESTSIM-OUL	Getreidehähnchen Oulema spp.	pflanzensaft-saugend, Insekt	Blätter	Fraß von grüner Blattbiomasse
PESTSIM-MAC	Getreideblattläuse Macrosiphum avenae [Fabr.]	blattfressend, Insekt	Ähre, Blätter	Saugen von Phloemsaft, verringerte Photosynthese rate durch Honigtauausscheidung
PESTSIM-CER	Halmbruchkrankheit Pseudocercosporella herpotrichoides [Fron.] D.	fakultativ-saprophytisch Pilz	Halmbasis	veränderter Wasser- und Nährstofftransport
PESTSIM-FUS	Partielle Weißährigkeit Fusarium culmorum [W.G.Sm.] Sacc Fusarium graminearum Schwabe	fakultativ-saprophytisch Pilz	Ähre	geringere Kornzahl, verringerte Einspeicherungsrate

3. Simulationsergebnisse

Die hier vorgestellten Simulationsergebnisse sollen deutlich machen, welche Anwendungen von AGRO90-W zum Zwecke der Schadensanalyse und -prognose, aber auch zu Fragen der Untersuchung der Beeinflußbarkeit von Epidemie- und Populationsentwicklungen denkbar sind.

Abb. 4 zeigt die Beeinflussung der Ertragsbildung eines Winterweizenbestandes in Abhängigkeit unterschiedlich terminierter Fungizidapplikationen (es wird ein Modellfungizid definierter Wirkung benutzt). Hier wird deutlich, daß der optimale Bekämpfungszeitpunkt außerordentlich wichtig für den Bekämpfungserfolg ist. Der - in diesem Falle am Ertrag orientierte - Erfolg von zwei Bekämpfungen zu nicht optimalen Zeitpunkten ist kleiner als der einer zum optimalen, sehr frühen Zeitpunkt, was natürlich nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht, sondern vor allem auch aus der Sicht eines geringeren, d. h. ökologisch günstigeren Wirkstoffeinsatzes zu betrachten ist.

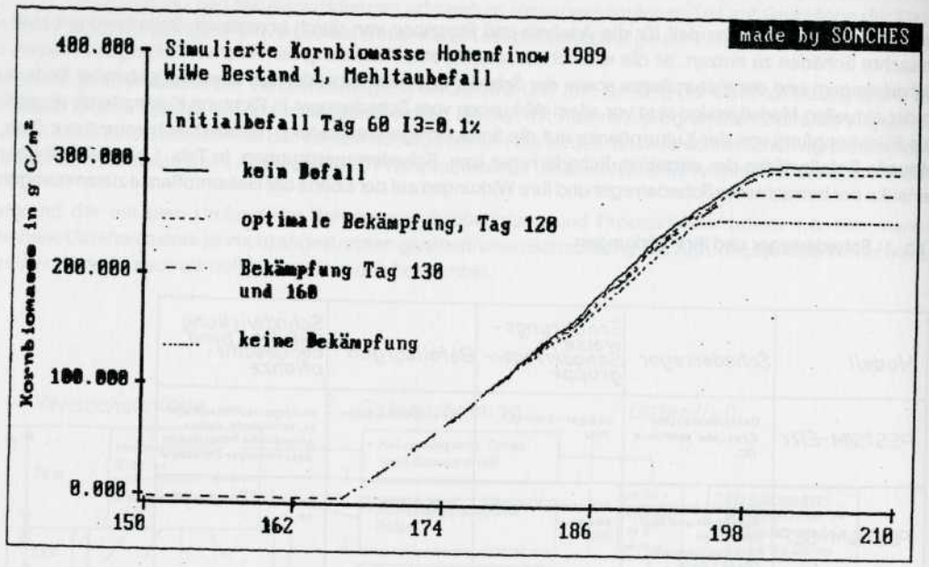

Abb. 4: Wirkung unterschiedlich terminierter Fungizidapplikationen auf den simulierten Kornertrag

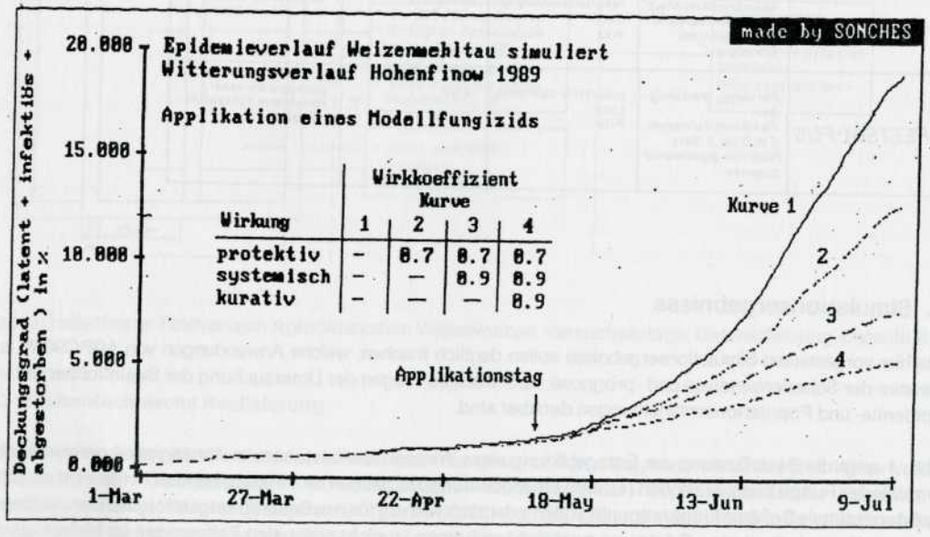

Abb. 5: Einfluß unterschiedlich wirkender Fungizide auf den simulierten Epidemieverlauf von Weizenmehltau

Abb. 5 zeigt einen Epidemieverlauf für den Weizenmehltau (Summe der Deckungsgrade der latenten und akuten Infektion sowie des bereits abgestorbenen Teils der Pflanze) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Wirkkoeffizienten für die protektive, systemische und kurative Wirkung des Fungizids bei vorgegebenem zeitlichen Abbauverhalten und vorgegebener Regenabwaschfunktion. Bei Vorhandensein der nötigen Inputs (Wirkkoeffizienten, zeitlicher Abbau und Regenabwaschfunktion) ist ein modellgestützter Vergleich unterschiedlicher Präparate oder Wirkstoffe möglich, insbesondere kann untersucht werden, welche Wirkung (die ja auch eine Wirkstoffmenge darstellt) nötig ist, um die Epidemie unter einen bestimmten Schwellwert zu drücken.

4. Literatur

BELLMANN, K.; EBERT, W.; FREIER, B.; KÜNKEL, K.; MATTHÄUS, E.; SCHULTZ, A.; WENZEL, V.: Agroecosystem modelling and simulation - The winter wheat agroecosystem model AGROSIM-W. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 5-28.

EBERT, W.; MATTHÄUS, E.; SCHULTZ, A.: Use of the agroecosystem model winter wheat (AGROSIM-W) for assessment of complex infestation situations. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 113-127.

MATTHÄUS, E., MIRSCHEL, W.; KRETSCHMER, H.; KÜNKEL, K.; KLANK, I.: The winter wheat crop model TRITSIM of the agro-ecosystem AGROSIM-W. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 43-74.

ROSSBERG, D.; HOLZ, F.; FREYER, B.; WENZEL, V.: PESTSIM-MAC - A model for simulation of Macrosiphum avenae FABR. populations. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 87-100.

ROSSBERG, D.; HOLZ, F.; FREYER, B.; WENZEL, V.: PESTSIM-OUL - A model for simulation of Oulema spp. populations. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 75-85.

GUTSCHE, V.; MÜLLER, P.; KLUGE, E.; SCHULTZ, A.: PESTSIM-ERY - A model for simulation of infection with powdery mildew (Erysiphe graminis DC.). Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1986) 242, 101-112.

WENZEL, V.; BELLMANN, K.; MATTHÄUS, E.: Rechnergestützte Modellierung mittels SONCHES. Tag.-Ber., Akad.Landwirtsch.- Wiss. DDR, Berlin (1989) 275.

SCHULTZ, A.; HEYTER, F.: Simulation experiments with the agroecosystem model AGRO90-W. Paper on workshop "Modelling of Agro-Ecosytems and Parameter Estimation". Göhren-Lebbin, 12.-15.11.1990 (under press).