

STAND UND NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN DES WINTERWEIZENMODELLS TRITSIM

W. Mirschel, E. Matthäus, H. Kretschmer, Müncheberg
Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit

Zusammenfassung

Vorgestellt wird ein komplexes dynamisches Modell, das für einen Winterweizenbestand für die Zeitspanne von Bestockung bis Ernte die Prozesse des Wachstums und der Entwicklung für beliebige Wasser- und Stickstoffversorgungszustände abbildet. Für konkrete Jahre wird der Einfluß von Wasser- und Stickstoffstreß auf einzelne Biomassefraktionen im Vergleich mit Experimentalwerten dargestellt. Für verschiedene Steuerstrategien bezüglich Beregnung, N-Düngung und Mehltaubekämpfung werden in verschiedenen Jahren über Simulationsexperimente die Auswirkungen auf die Zielgröße Kornertrag untersucht.

1 Einleitung

Detaillierte Kenntnisse über qualitative und quantitative Wirkungen von Witterungs- und Intensivierungsfaktoren auf die Bestandesentwicklung und Ertragsbildung sind notwendig, um mittels Bestandesführung zu hohen und stabilen Erträgen zu gelangen. Ausgehend von den betrieblichen Ressourcen und Möglichkeiten ist es basierend auf diesen Kenntnissen im Rahmen von computergestützten Beratungssystemen der Pflanzenproduktion notwendig, abzuschätzen, welche ertragsbezogenen und damit ökonomischen Auswirkungen bestimmte Steuerentscheidungen erwarten lassen, damit bei Auswahl einer geeigneten Steuerstrategie ein betriebsbezogenes wirtschaftliches Ergebnis erreicht werden kann.

Die Lösung dieses Problems setzt für unter Praxisbedingungen durchzuführende Simulationsrechnungen brauchbare Agroökosystemmodelle voraus. Die mehr oder weniger detailliert beschriebenen Modelle müssen die wichtigsten Boden- und Pflanzenprozesse sowie Steuergrößen (wie z.B. Wasser (Beregnung), Stickstoff (N-Düngung), Schädlingsbefall (Pflanzenschutz)) unter Berücksichtigung der hauptsächlichsten Umwelt- bzw. Witterungsgrößen abbilden.

Beginnend für Winterweizen wurde auf der Grundlage des im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) Berlin der Akademie der Wissenschaften (AdW) der DDR entwickelten Simulationssystems SONCHES = Simulation of Nonlinear Complex Hierarchic Ecosystem = (KNIJNENBURG, MATTHÄUS, WENZEL; 1984) ein Agroökosystem AGROSIM-W = Agroecosystem Simulation Wheat = (EBERT, BELLMANN, MATTHÄUS, ...; 1985) entwickelt.

In diesem Agroökosystem (Abb. 1) wird das Winterweizenmodell TRITSIM = Triticum Simulation =, welches das Zentralmodell innerhalb von AGROSIM-W darstellt und vom Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR entwickelt wurde, mit den Schaderregermodellen für Mehltau (*Erysiphe graminis*) PESTSIM-ERY, für die Getreideblattlaus (*Macrosiphum avenae*) PESTSIM-MAC und für das Getreidehähnchen (*Oulema spec.*) PESTSIM-OUL sowie ihren primären und sekundären Wechselwirkungen abgebildet.

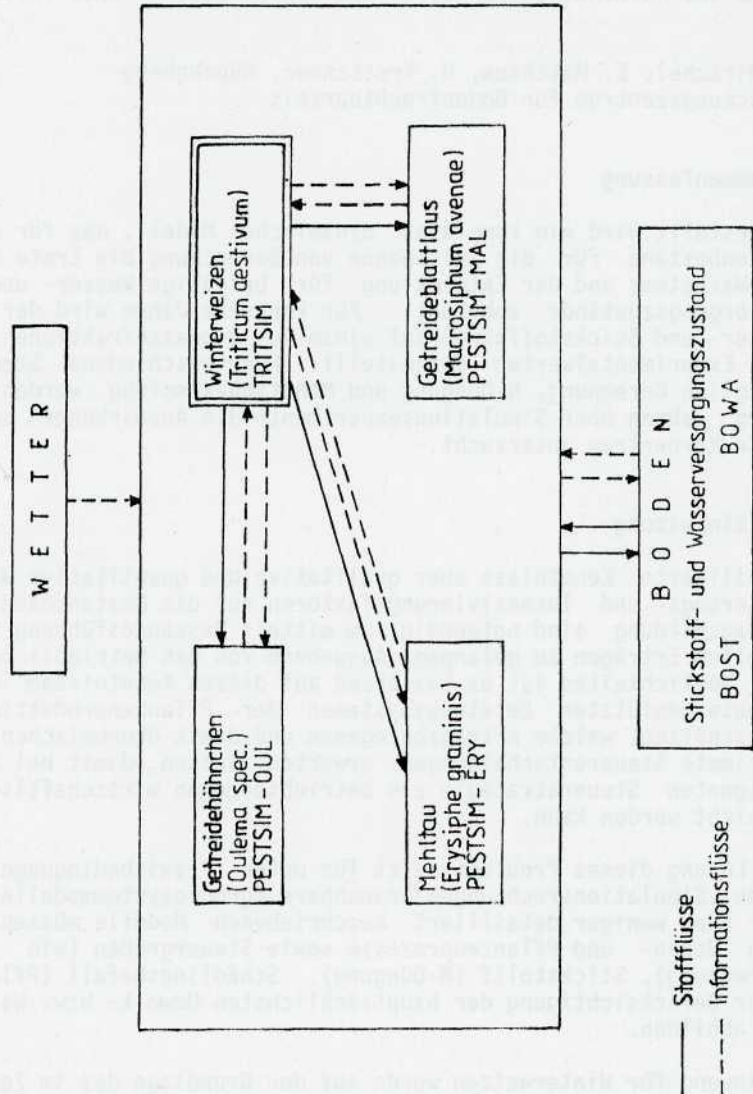


Abbildung 1

Die Schaderregermodelle wurden durch das Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR entwickelt.

Die notwendigen meteorologischen Daten werden dabei durch einen Witterungsblock und die notwendigen Größen für die Berücksichtigung des Wasser- bzw. Stickstoffversorgungsstatus durch einen Bodenblock bereitgestellt.

Dabei werden der Bodenwasserversorgungsstatus mit Hilfe des Bodenfeuchtemodells BOWA nach KOITZSCH (KOITZSCH; 1980) und der Bodenstickstoffversorgungsstatus mit Hilfe des vereinfachten Stickstoffbilanzmodells BOST beschrieben (vgl. Abb. 1).

Mit diesem Agroökosystem sind die Möglichkeiten gegeben, bezüglich der zu steuernden und zu kontrollierenden Größen, wie Wasser- und Stickstoffversorgung sowie Schädlingsbekämpfung, verschiedene Simulationsexperimente durchzuführen. Daraus ableitend kann das Verhalten der einzelnen Teilsysteme unter den verschiedensten Bedingungen untersucht werden.

2 Beschreibung des Modells TRITSIM

Das Winterweizenmodell TRITSIM beschreibt in Tagesschrittweiten für die Zeitspanne von der Nachwinterbestockung bis zur Ernte das Wachstum, die Ertragsbildung und die Entwicklung eines Winterweizenbestandes für einen Quadratmeter unter Freilandbedingungen. Dabei werden alle Massebilanzierungen über den Kohlenstoff (C) realisiert, wobei über ontogeneabhängige C-Biomasse-Äquivalente für Wurzel, Sproß und Korn der Bezug zur Trockenmasse gewährleistet ist.

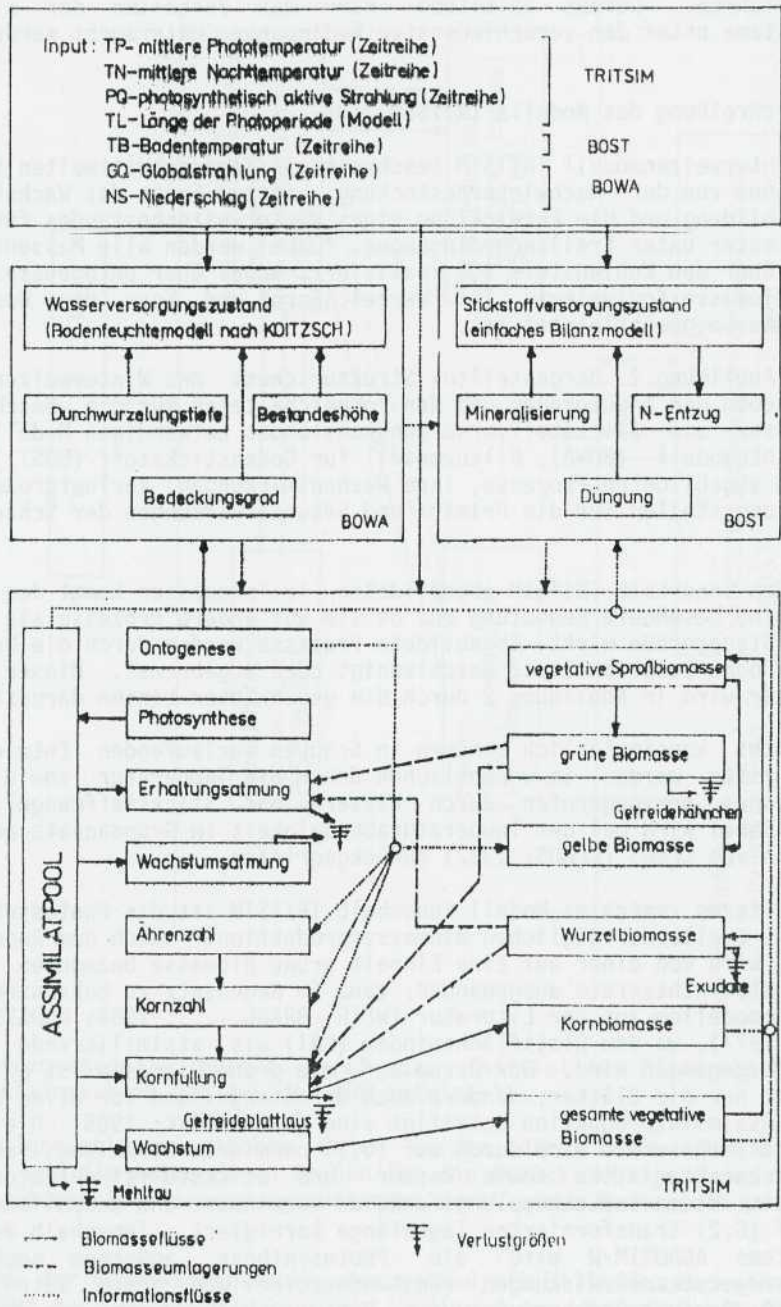
Das in Abbildung 2 dargestellte Strukturschema des Winterweizenmodells gibt neben den Inputgrößen und den vorgeschalteten für die Beschreibung des Wasser- und Stickstoffversorgungs Zustandes notwendigen Modellen (Bodenfeuchtemodell (BOWA), Bilanzmodell für Bodenstickstoff (BOST)) die in TRITSIM abgebildeten Prozesse, ihre Wechselwirkungen, Verlustgrößen sowie Anknüpfungsstellen für die Primär- und Sekundärwirkungen der Schaderreger wieder.

Unter den innerhalb TRITSIM abgebildeten Teilprozessen kommt der Ontogenese eine besondere Bedeutung zu, da sie auf andere Prozesse als zeitbezogene Steuergröße wirkt. Abgebildete Prozesse werden durch die Ontogenese ein- oder ausgeschaltet, beschleunigt oder abgebremst. Dieser Steuercharakter wird in Abbildung 2 durch die gepunkteten Linien dargestellt.

Die nicht kontinuierlich sondern in Schüben verlaufenden Entwicklungsfortschritte werden im wesentlichen durch die Temperatur sowie Streßsituationen, hervorgerufen durch Wasser- und Stickstoffmangel, beeinflusst. Dabei wird bei der Temperaturabhängigkeit im Grundansatz auf Überlegungen von CLAUS (CLAUS; 1982) zurückgegriffen.

Ein weiteres zentrales Modell innerhalb TRITSIM ist das Photosynthesemodell als Quelle der täglichen Biomassenproduktion. Nach dem Reduktionskonzept wird von einer auf eine Einheit grüne Biomasse bezogenen maximalen Photosyntheserate ausgegangen, ganz im Gegensatz zu bekannten Photosynthesemodellen aus der Literatur (WEIR, BRAGG, ...; 1984; HODGES, KANEMASU; 1977), wo vom Blattflächenindex (LAI) als assimilierende Bezugsgröße ausgegangen wird. Der Bezug auf die grüne Biomasse ist notwendig, da nicht nur die Blätter, sondern auch der Stengel und vor allem die Ähre an der Assimilatproduktion beteiligt sind (NALBORCZYK; 1986). Die maximale Photosyntheserate wird durch auf (0,1) normierte Strahlungs- und Temperaturcharakteristika sowie Wasser- und Stickstoffstreßfaktoren und durch eine Biomasserückkopplungsfunktion vermindert und anschließend mit der auf (0,2) transformierten Tageslänge korrigiert. Innerhalb des Agroökosystems AGROSIM-W wird die Photosynthese außerdem noch durch Schaderregersekundärwirkungen (Bestandesaufhellung durch Getreidehähnchenfraß, Gasaustauschhemmung durch Honigttauablagerungen der Getreideblattlaus) beeinflusst; auch hier abgebildet durch normierte Größen (MATTHÄUS, MIRSCHEL, KRETSCHMER, ...; 1985).

Abbildung 2



Die täglich gebildeten Assimilate werden in einem sogenannten Assimilatpool, der schon von THORNLEY (1977) vorgeschlagen wurde, eingespeist, von dem dann durch die verschiedensten assimilativverbrauchenden Prozesse Assimilate entnommen werden. Die Entnahmen erfolgen in einer streng eingehaltenen, durch die Natur vorgegebenen Hierarchie. An erster Stelle steht die Assimilatentnahme für die Absicherung der Erhaltungsatmung, an zweiter Stelle die für die Kornfüllung (ab DC 61) und erst an dritter Stelle die für das Wachstum und die Wachstumsatmung. Ist der Bestand mit Mehltau befallen, wird durch diesen dem Assimilatpool ebenfalls eine bestimmte Menge entnommen. Dabei existiert aber für den Pool eine von der grünen Biomasse abhängige untere Ausschöpfungsschwelle.

Reichen die Poolvorräte zur Abdeckung der Erhaltungsatmung nicht aus, werden Translokationen aus der grünen Biomasse bzw. der Wurzel aktiviert.

Reichen die Assimilatpoolvorräte nicht für die Abdeckung der im wesentlichen von der Ontogenese gesteuerten aber auch von der Ähren- und Kornzahl pro Flächeneinheit abhängenden Kornfüllungsrate aus, treten ebenfalls Umlagerungen aus grüner Biomasse und der Wurzel in Kraft, wobei nach dem Prinzip des geringsten Energieaufwandes zuerst aus der grünen Biomasse umgelagert wird. Erst bei nicht mehr möglicher Umlagerung tritt eine Reduktion der täglichen Kornfüllungsrate ein. Eine Reduktion wird aber auch induziert durch das Absaugen von Phloemsaft kurz vor oder an der Ähre durch die Getreideblattlaus.

Die den Bestand charakterisierende Ährenzahl pro Fläche ergibt sich über eine zuwachsratenabhängige Potenzfunktion zwischen Schoßbeginn (DC 31) und Blüte (DC 61).

Ausgehend von der Ährenzahl, der Ontogenese, den Streßfaktoren und der genetisch fixierten Kornzahl pro Ähre wird eine Kornzahldynamik und damit auch eine streßbedingte Kornzahlreduktion abgebildet.

Verbleiben nach Abdeckung der Assimilatanforderungen durch die beiden vorhin beschriebenen Prozesse noch Assimilate im Pool verfügbar, werden sie diesem für das Wachstum und die Wachstumsatmung entnommen. Die Atmungsprozesse stellen hierbei für das Gesamtsystem echte Verlustgrößen dar. Die durch die Wachstumsrate vermehrte vegetative Biomasse wird über ein ontogeneseabhängiges Sproß-Wurzel-Verhältnis in vegetative Sproß- und Wurzelbiomasse aufgespalten.

Neben dem positiv in der Wurzel-Biomasse-Bilanz wirkenden Wurzelzuwachs werden eine Wurzelabsterberate und eine Rate für Exudataausscheidungen als negativ wirkende Bilanzglieder abgebildet. Dabei stellen die Exudate, über deren Höhe es in der Literatur unterschiedliche Auffassungen gibt (vergl. SCHÄFER, KLANK, ...; 1984), vom Gesamtsystem her gesehen eine echte Senke dar.

Die vegetative Sproßbiomasse teilt sich in grüne und gelbe (abgestorbene) Biomasse auf. Dabei überwiegt die grüne in den ersten Ontogenesestadien die gelbe bei weitem. Mit fortschreitender Bestandsentwicklung tritt der Seneszenzprozeß immer stärker in Kraft und mehr und mehr grüne tritt in gelbe Biomasse über. Dabei wird im Seneszenzprozeß nicht nur eine ontogeneseabhängige, sondern auch eine wasser- und stickstoffstreßbedingte, als auch eine durch Mehltaubefall hervorgerufene Seneszenzbeschleunigung abgebildet.

Bei einem durch Getreidehähnchen befallenen Bestand wird die grüne Biomasse zusätzlich noch durch deren Fraßmenge vermindert.

Neben den im oberen Teil der Abbildung 2 wiedergegebenen notwendigen Inputzeitreihen für die Modellkomplexe BOWA, BOST und TRITSIM sind für die aufzubalanzierenden Modellgrößen Startwerte vorzugeben.

Die Berücksichtigung von Wasser- und Stickstoffstreß erfolgt bei den Prozessen Ontogenes, Photosynthese, Kornzahldynamik und Seneszenz direkt und bei den anderen mit diesen gekoppelten Prozessen über Prozeßabhängigkeiten indirekt. Bei der Photosynthese werden dabei ein Wasserkurzzeit- und ein Wasserlangzeitstreß berücksichtigt. Kriterium für das Auftreten und die Stärke eines Wasserstresses ist der mit Hilfe des Bodenfeuchte-modells BOWA nach KOITZSCH (KOITZSCH; 1977), (KOITZSCH, HELLING, ...; 1980) bestimmte Quotient aus aktueller zu potentieller Evapotranspiration (AET/PET). Bei Unterschreitung eines ontogenesabhängigen AET/PET-Grenzwertes wird der Wasserkurzzeitstreß in Abhängigkeit vom Grad der Unterschreitung über ein Potenzfunktion als normierte Größe berechnet. Wird ein die Streßtiefe und -dauer ausdrückender Schwellwert überschritten, treten im Zeitraum bis Ende des Blattzuwachses Wachstumskompensationen auf, die durch einen positiven Langzeiteffekt (HSIAO, FERERES, ...; 1976) abgebildet werden. Dieser positive Langzeiteffekt klingt über einen längeren Zeitraum wieder auf das Ausgangsniveau ab.

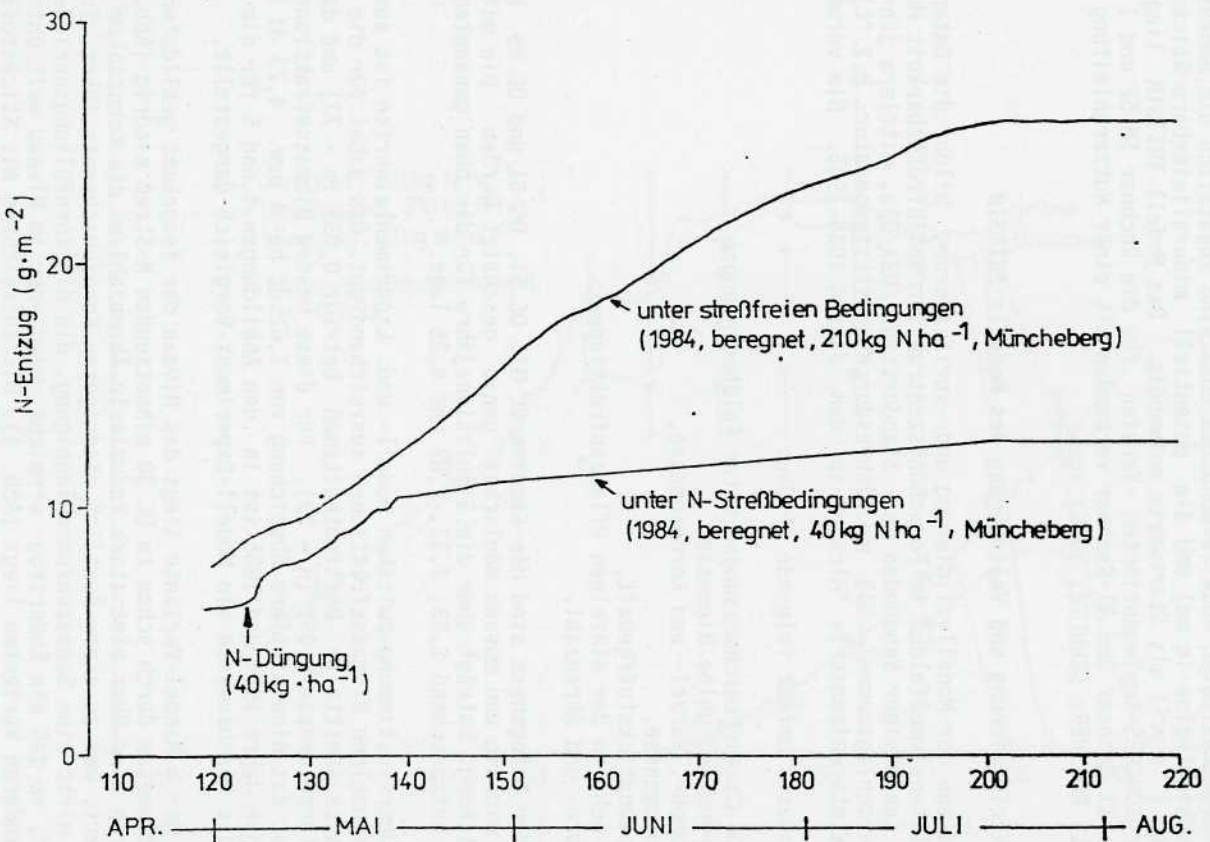
Für die Bestimmung einer normierten, den Stickstoffstreß beschreibenden Größe wird vom N-Gehalt im Sproß ausgegangen. Dieser wird mit einer ontogeneseabhängigen Grenzwertkurve für den N-Gehalt in der oberirdischen Biomasse (VIELEMEYER, NEBERT, ...; 1983) verglichen. In Abhängigkeit vom Grad der Unterschreitung wird die normierte Größe über eine Potenzfunktion bestimmt.

Der N-Gehalt im Sproß wird mit Hilfe der gebildeten oberirdischen Biomasse und der in ihr enthaltenen N-Mengen berechnet. Dieser N-Menge wird aus kumulierten täglichen N-Entzugsraten bestimmt, deren Größe ausgehend von einer biomasseabhängigen maximalen N-Entzugskurve im täglichen Vergleich mit dem im Boden vorhandenen und durch die Pflanze aufnehmbaren N-Vorrat festgelegt wird. Das dafür notwendige Bodenstickstoffmodell BOST ist ein einfaches Bilanzmodell, in das die Düngung und die Mineralisierung (dargestellt als vom Bodenwasser und der Bodentemperatur abhängiger Prozeß (FREYTAG, zit. bei GROTH; 1985) als positive und die täglichen Entzugsraten durch den Weitenbestand als negative Bilanzglieder eingehen.

In Abbildung 3 ist für 1984 die kumulative N-Entzugskurve für einen unter streßfreien Bedingungen gewachsenen Bestand der entsprechenden Kurve für einen Bestand gegenübergestellt, der unter Stickstoffstreß gewachsen ist. Es wird deutlich, daß nach der N-Düngergabe von 40 kg ha⁻¹ die bis dahin gestreßte Variante eine N-Aufnahme zeigt, die der nicht gestreßten entspricht. Nach vollständigem Entzug dieser N-Menge durch den Bestand tritt erneut eine stark reduzierte N-Aufnahme ein, für die nur die täglichen Mineralisierungsraten zur Verfügung stehen.

Die detaillierte Beschreibung der Algorithmen und mathematischen Beziehungen für die dargelegten Abhängigkeiten sind bei MATTHÄUS, MIRSCHEL, ...; (1985) und MIRSCHEL; KRETSCHMR, ... (1986) zu finden.

Abbildung 3



Da einige in Abbildung 2 aufgeführte Inputzeitreihen sehr spezifische meteorologische Größen sind, die nicht überall gemessen werden können und damit eine Übertragbarkeit auf andere Standorte erschwert ist, wurden diese Größen aus den meteorologischen Standarddaten Tagesmitteltemperatur und Globalstrahlung abgeschätzt (MIRSCHER, KLANK; 1986).

Die Startwerte für das Modell TRITSIM sind: Starttag, Sproßbiomasse, N_{an} -Vorrat im Boden (beide in $g\ m^{-2}$) und Ontogenesezustand (FEEKES). Für die vorgeschalteten Modelle BOWA und BOST sind zusätzlich die Bodenfeuchte (schichtweise in mm) und die potentiell mineralisierbare Stickstoffmenge ($g\ m^{-2}$) als Startwerte notwendig. Das Modell TRITSIM liegt in einer SONCHES-implementierten Version für die Rechner SM 52 und I 102 F sowie XT-Rechner und AT-Rechner verbunden mit einer Nutzeranleitung (MIRSCHER; ROSSBER; SCHULTZ; 1986) vor.

3 Verifizierung und Validierung des Modells TRITSIM

Grundlage der Modellvalidierung und -verifizierung bildet die Datenbasis des Intensivmeßfeldes im Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchenberg (anlehmgiger Sandboden des Standorttyps D2a/D3a, mittlere jährliche Niederschlagssumme: 533 mm, Jahresdurchschnittstemperatur: 8,2 °C) für die Winterweizensorte "Alcedo" in den Jahren 1980-1985. Die verwendete

Datenbasis umfaßt folgende Größen:

- CO_2 -Gasaustauschmessungen unter Feldbedingungen,
- grüne und gelbe Biomasse,
- Sproß-, Wurzel- und Kornbiomasse,
- Ontogenese,
- Bodenstickstoffgehalt,
- N-Gehalte der einzelnen Pflanzenfraktionen,
- Korn- und Ährenzahl.

Bei der Ontogenese sind die Stadien DC 31, DC 51, DC 61 und DC 85 besonders wichtig und müssen möglichst genau geschätzt werden. Die mittlere Abweichung beträgt über die Simulationsjahre für die oben genannten Stadien entsprechend 2,25; 2,13; 2,87 und 4,25 Tage.

Die Übereinstimmung zwischen Modell- und Experimentalwerten ist auch für die einzelnen Biomassefraktionen ausreichend gut. Das dabei für die grüne Biomasse ermittelte Bestimmtheitsmaß beträgt 0,933 ($n = 73$) und das für die Kornbiomasse 0,953 ($n = 53$). Für diese beiden Biomassefraktionen bedeutet das eine mittlere Abweichung von 7,62 dt ha^{-1} bzw. 4,23 dt ha^{-1} . Für die Jahre 1984 und 1985 ist in den Abbildungen 4 und 5 für die grüne und die Kornbiomasse ein Modell-Experiment-Vergleich dargestellt.

Bei der N-Mangel-Variante liegt das Niveau der insgesamt gebildeten grünen Biomasse durch schon zu DC 30 einsetzenden N-Streß niedrig (Abb. 4). Dadurch wird über eine stark reduzierte Ährenzahl/ m^2 die Kornzahl/ m^2 verringert, was zu einer deutlich niedrigeren Kornzuwachsrate führt. Zusätzlich wirkt eine Seneszenzbeschleunigung, die die Kornfüllungsperiode verkürzt, so daß ein Endertrag erreicht wird, der im Niveau weit unter dem der anderen Varianten liegt (Abb. 4). Die ausreichend mit Stickstoff versorgte, aber unberechnete Variante unterscheidet sich im Mai und Juni bezüglich der grünen Biomasse nur unwesentlich von der berechneten Variante.

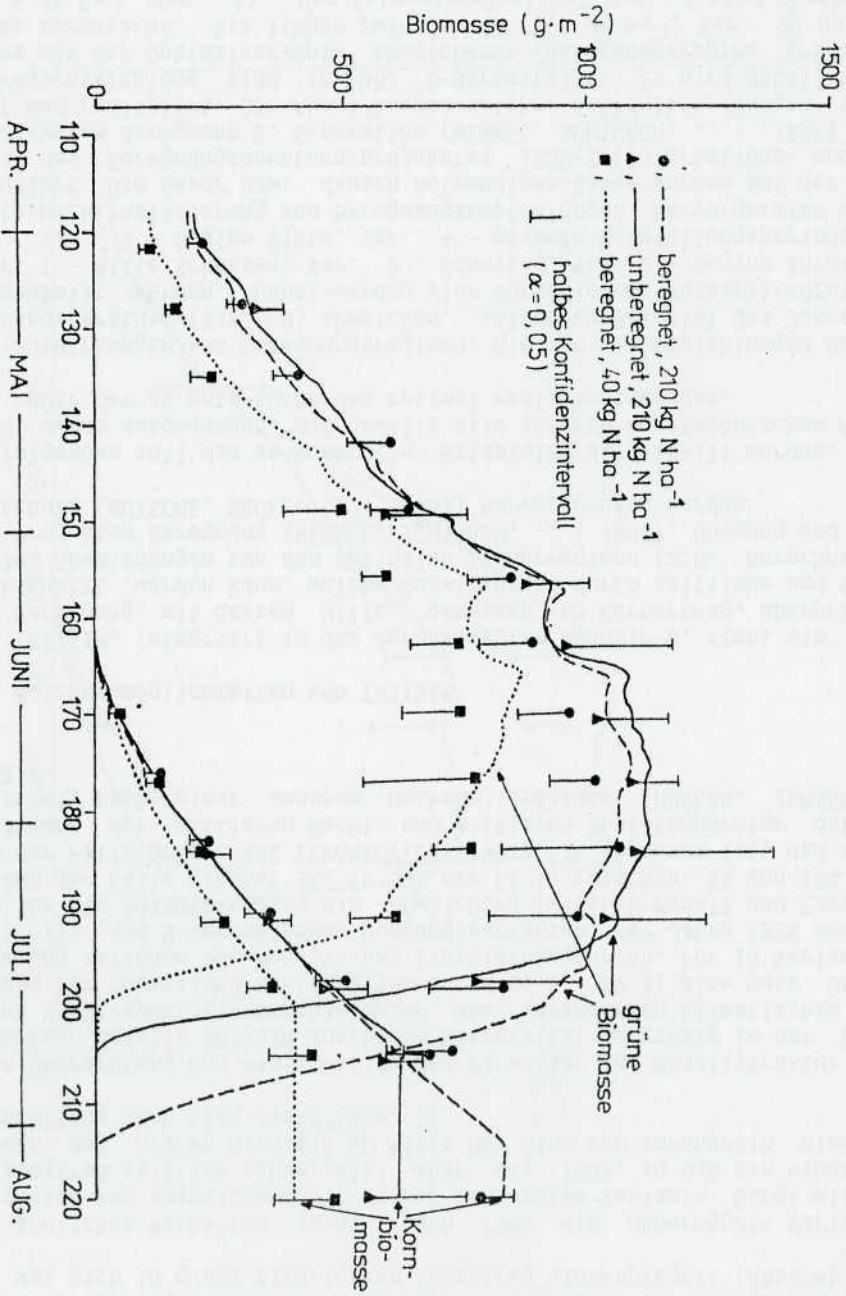


Abbildung 4

Im Juli wirkt sich die fehlende Bodenfeuchte auf die Seneszenz beschleunigend aus, so daß der Übertritt von grüner in gelbe Biomasse früher und schneller realisiert wird. Dadurch kommt es auch bei einer Variante zu einer Verkürzung der Kornfüllungsperiode gegenüber der berechneten Variante, was sich in einem niedrigeren Endertrag widerspiegelt (Abb. 4).

Ein ähnliches Verhalten zeigt auch 1985 die unberechnete Variante im Vergleich zur ausreichend mit Wasser versorgten Variante. Dabei wirkt der Wasserstreß zeitlich schon viel eher als 1984, so daß ein niedrigeres Niveau der grünen Biomasse ab Mitte Mai eine von vornherein niedrigere Kornfüllung nach sich zieht (Abb. 5).

Eine Überprüfung des hinsichtlich der Parameter und Modellstruktur unveränderten Modells TRITSIM durch die Universität Keszthely in der Ungarischen Volksrepublik erbrachte unter den veränderten klimatischen Bedingungen für ungarische Winterweizensorten (u.a. MV-4) eine gute Übereinstimmung zwischen den Modell- und Experimentalwerten. Für 10 Varianten (1 Kontroll- und 9 verschiedene Düngungsvarianten) der Jahre 1985 und 1986 lag für die Gesamtbiomasse die Abweichung zwischen Modell und Experiment in 40% der Fälle kleiner 5%, in 30% der Fälle zwischen 5% und 10% und in 30% der Fälle größer 10% (ZEMANKOVICS; 1987). Zu ergänzen ist, daß die Abschätzung der mittleren Nacht- und mittleren Phototemperatur dabei in Keszthely nach einer anderen Methode erfolgte (HUNKAR, ZEMANKOVICS; 1988).

4 Nutzungsmöglichkeiten von TRITSIM

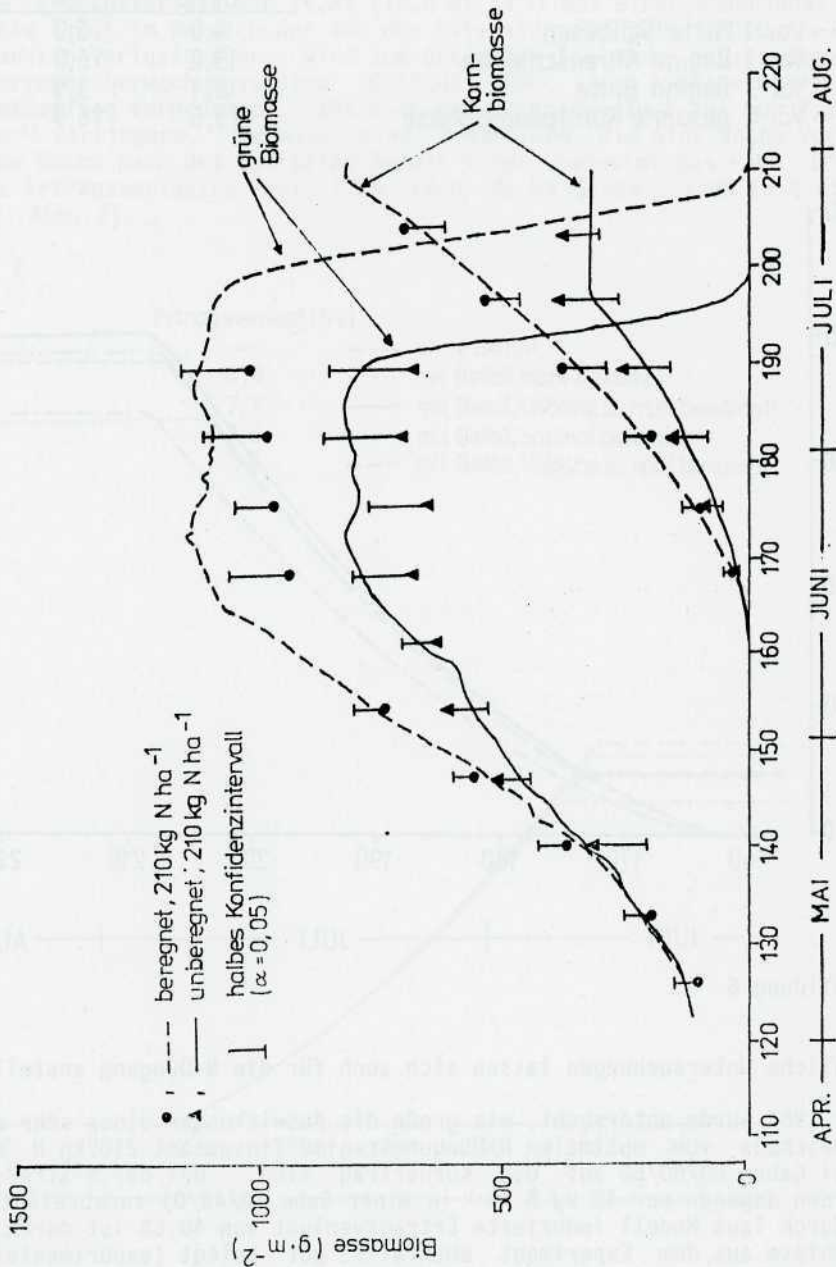
Mit TRITSIM, integriert in das Agroökosystem AGROSIM-W, steht ein Modell zur Verfügung, mit dessen Hilfe, gemessen am Kornertrag, überprüft und abgeschätzt werden kann, welche Auswirkungen durch zeitliche und mengenmäßige Abweichungen von den optimalen Steuerregimen (z.B. berechnet nach den Projekten Beregnung (WENKEL, SCHIRACH, ...; 1985), Düngung und Pflanzenschutz (GUTSCHE, GROLL, ...; 1986)) hervorgerufen werden.

Im folgenden soll das an konkreten Beispielen dargestellt werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß jeweils alle anderen agrotechnischen Maßnahmen außer der zu untersuchenden optimal realisiert werden.

Die Auswirkungen von Beregnungsregimen, die von den Empfehlungen der Beregnungsberatung (Var. 0) abweichen, sollen am Beispiel des Jahres 1985 dargestellt werden. Dabei werden vier verschiedene Wasserstreßzeiträume (Var. 1 - Mitte Schossen, Var. 2 - Schossen, Var. 2 - Beginn Ährenschieben, Var. 3 - Beginn Blüte, Var. 4 - gesamte Kornfüllungsperiode), die durch Nichtrealisierung von Beregnungsempfehlungen hervorgerufen werden, simuliert. Die davor bzw. danach notwendigen Gaben wurden auf der Grundlage des Beregnungsberatungsprojektes IBSB-2 (Informations- und Beratungssystem Beregnung 2. Generation (WENKEL, SCHIRACH, ...; 1985) ermittelt und realisiert. Die Auswirkungen solcher Fehlentscheidungen auf die Ertragsentwicklung sind in Abb. 6 dargestellt. Es wird deutlich, daß jedes von der Optimalvariante abweichende Beregnungsregime Ertragsverluste verursacht. Sie liegen zwischen 4% (3,1 dt ha⁻¹, Var. 3) und 16% (13,6 dt ha⁻¹, Var. 4). Der Ertragsverlust bei Var. 4 wird durch eine Verringerung der Kornfüllungsrate, eine beschleunigte Seneszenz und im wesentlichen eine Verkürzung der Kornfüllungsperiode um 8 Tage hervorgerufen.

rufen. Das durch Simulation erhaltene Ergebnis bestätigt den experimentell nachgewiesenen täglichen Ertragsverlust von 1...2 dt ha⁻¹, hervorgerufen durch starken Wasserstreß in dieser Periode.

Abbildung 5



— Var. 0 nach Empfehlungen des IBSB-2

Nichtrealisierung empfohlener
Gaben zu:

- Var. 1 Mitte Schossen
- - - Var. 2 Beginn Ährenschieben
- · - · - Var. 3 Beginn Blüte
- · · · · Var. 4 gesamte Kornfüllungsphase

| Ertragsverlust gegenüber Var. 0 | |
|------------------------------------|------|
| dt ha ⁻¹ | % |
| 4,0 | 5,0 |
| 13,2 | 16,0 |
| 3,1 | 3,9 |
| 13,6 | 16,9 |

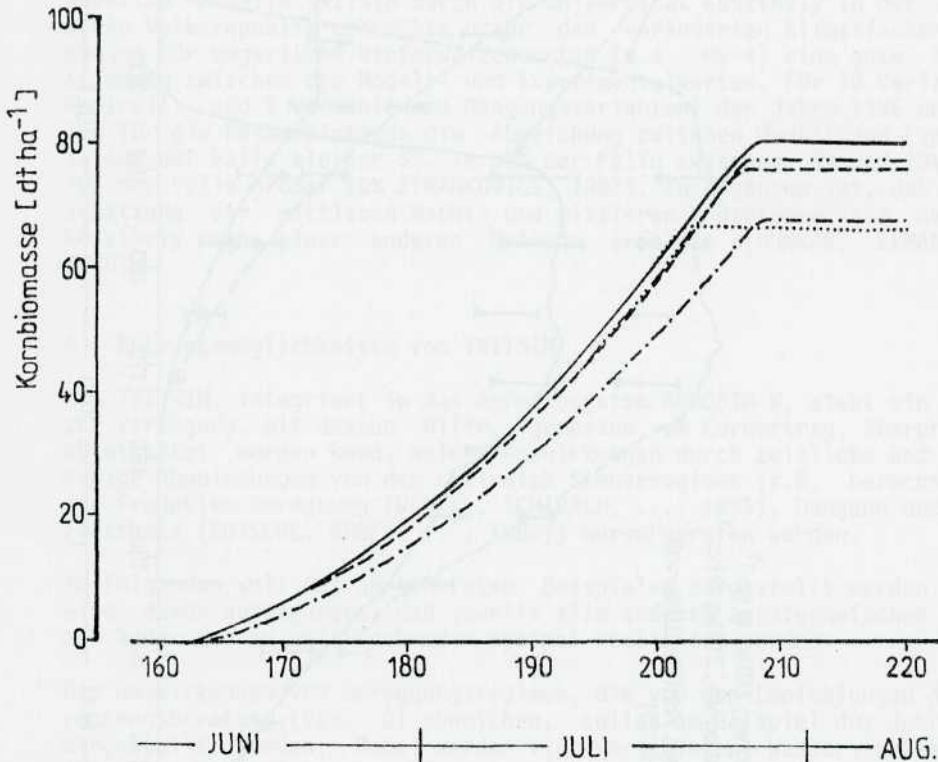


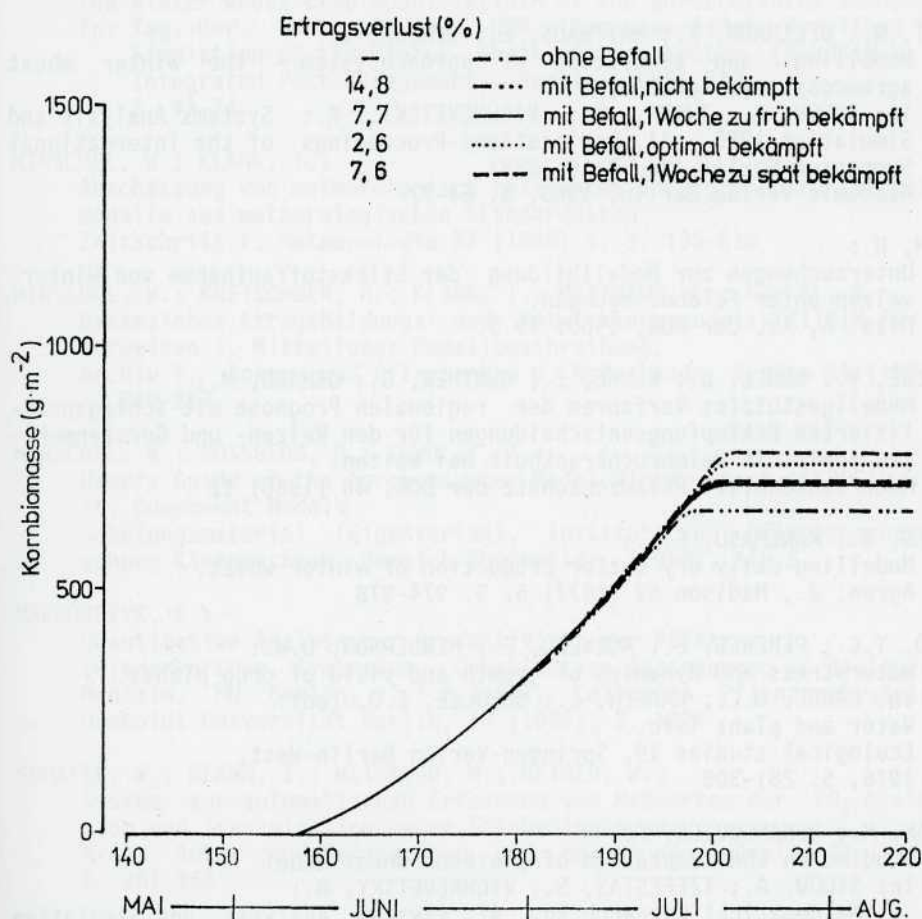
Abbildung 6

Ähnliche Untersuchungen lassen sich auch für die N-Düngung anstellen.

Für 1984 wurde untersucht, wie große die Auswirkungen eines sehr extremen Abweichens vom optimalen N-Düngungsregime (insgesamt 210 kg N ha⁻¹ in drei Gaben 80/80/50 auf den Kornertrag sind. Bei der N-Streßvariante wurden dagegen nur 40 kg N ha⁻¹ in einer Gabe (0/40/0) verabreicht. Der dadurch laut Modell induzierte Ertragsverlust von 40,6% ist durch die Ergebnisse aus dem Experiment ebenfalls gut belegt (experimenteller Ertragsverlust: 36,9% (28,5 dt ha⁻¹)).

Die Auswirkungen einer zeitlich nicht den Pflanzenschutzempfehlungen entsprechenden Behandlung werden am Beispiel des Mehltaubefalls in Abbildung 7 dargestellt. Für den zeitlichen Wirkungsverlauf eines Bekämpfungsmittels auf die Populationsdynamik wurde ein aus den Wirkungen verschiedener Spritzmittel gemittelter Verlauf angesetzt. Simuliert wurde für das Jahr 1983 ein starker Befall. Der dabei gegenüber einem befallsfreiem Bestand induzierte Ertragsverlust von 14,8% (11,6 dt ha⁻¹) bei einer unbehandelten Variante liegt im Bereich der aus der Literatur (GUTSCHE, GROLL, ...; 1986) bekannten Verlustgrößen. Wird zum optimalen Zeitpunkt entsprechend dem Schaderregerüberwachungssystem (GUTSCHE, GROLL, ...; 1986) eine einmalige Bekämpfung vorgenommen, läßt sich der Ertragsverlust auf nur 2,6% (2,1 dt ha⁻¹) verringern. Erfolgt eine Bekämpfung, die eine Woche vor bzw. eine Woche nach dem optimalen Termin liegt, bedeutet das eine Erhöhung des Ertragsverlustes auf 7,7% (6,0 dt ha⁻¹) bzw. 7,9% (6,2 dt ha⁻¹) (vgl. Abb. 7).

Abbildung 7



Diese Beispiele zeigen, welche Möglichkeiten ein Agroökosystemmodell nicht nur zur Ableitung vereinfachter Entscheidungsgrundlagen für Beratungssysteme in der Pflanzenproduktion, sondern auch als integrierter Bestandteil eines Steueralgorithmus bietet.

4 Literatur

- BELLMANN, K.; MATTHÄUS, E.; WENZEL, V.; EBERT, W.:
AGROSIM-W, a SONCHES-implemented interactive simulation model for an agroecosystem winter wheat.
30. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1985, Vortragsreihe "Technische Kybernetik/Automatisierungstechnik",
S. 43-47
- CLAUS, St.:
Ein Beitrag zum Beschreiben der Ontogenese von Getreidepflanzen.
In: Wiss. Beiträge MLU Halle/Wittenberg, 1982/85 (P 17). -
Halle (1982). - S. 200-206
- EBERT, W.; BELLMANN, K.; MATTHÄUS, E.; WENZEL, V.:
Modelling and simulation of agroecosystem - the winter wheat agroecosystem, AGROSIM-W.
In: SYDOW, A.; THOMA, M.; VICHNEVETSKY, R.: Systems Analysis and Simulation 1985 - II. Applications-Proceedings of the International Symposium Berlin (26.-31.8.1985),
Akademie-Verlag Berlin, 1985, S. 64-77
- GROTH, R.:
Untersuchungen zur Modellbildung der Stickstoffaufnahme von Winterweizen unter Feldbedingungen.
Diss. A, AdL der DDR, 1985, 79 S.
- GUTSCHE, V.; GROLL, U.; KLUGE, E.; GÜNTHER, G.; OSMANN, M.:
Modellgestütztes Verfahren der regionalen Prognose mit schlagspezifizierten Bekämpfungsentscheidungen für den Weizen- und Gerstenmehltau sowie die Halbruchkrankheit bei Weizen.
Nachrichtenblatt Pflanzenschutz der DDR, 40 (1986) 12
- HODGES, T.; KANEMASU, E.T.:
Modelling daily dry matter production of winter wheat.
Agron. J., Madison 69 (1977) 6, S. 974-978
- HSIAO, T.C.; FERERES, E.; ACEVEDO, E.; HENDERSON, D.W.:
Waterstress and dynamics of growth and yield of crop plants.
In: LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; SCHULZE, E.D. (ed):
Water and plant life.
Ecological studies 19, Springer-Verlag Berlin-West,
1976, S. 281-305
- HUNKAR, M.; ZEMANCOVICS, F.:
Studies on the adaptation of a winter wheat model
In: SYDOW, A.; TZEFESTAS, S.; VICHNEVETSKY, R.:
Mathematical Research Bd. 47 (System Analysis and Simulation 1988, II. Applications - Proceedings of the International Symposium in Berlin (12.-16.9.1988))
Akademie-Verlag Berlin, 1988, S. 233-240

- KNIJNENBURG, A.; MATTHÄUS, E.; WENZEL, V.:
 Concept and usage of the interactive simulation systems for ecosystems SONCHES.
 Ecological Modelling, 26 (1984), S. 51-76
- KOITZSCH, R.:
 Schätzung der Bodenfeuchte aus meteorologischen Daten, Boden- und Pflanzenparametern mit einem Mehrschichtenmodell.
 Z. Meteorologie, Berlin 27 (1977) 5, S. 302-306
- KOITZSCH, R.; HELLING, R.; VETTERLEIN, E.:
 Simulation des Bodenfeuchteverlaufes unter Berücksichtigung der Wasserbewegung und des Wasserentzuges durch Pflanzenbestände.
 Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 24 (1980) 11, S. 717-725
- MATTHÄUS, E.; MIRSCHEL, W.; KRETSCHMER, H.; KÜNKEL, K.; KLANK, I.:
 The winter wheat crop model TRITSIM of the agroecosystem AGROSIM-W.
 In: Tag.-Ber. der AdL der DDR (Computer-Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Berlin (1985) 242, S. 43-74
- MIRSCHEL, W.; KLANK, I.:
 Abschätzung von meteorologisch relevanten Inputgrößen für Wachstumsmodelle aus meteorologischen Standarddaten.
 Zeitschrift f. Meteorologie 37 (1986) 4, S. 195-210
- MIRSCHEL, W.; KRETSCHMER, H.; KLANK, I.; MATTHÄUS, E.; KÜNKEL, K.:
 Dynamisches Ertragsbildungs- und Entwicklungsmodell TRITSIM für Winterweizen 1. Mitteilung: Modellbeschreibung.
 Archiv f. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde, Berlin 31 (1986) 4, S. 249-257
- MIRSCHEL, W.; ROSSBERG, D.; SCHULTZ, A.:
 User's Guide of the Agroecosystem Model Winter Wheat (AGROSIM-W) and its Component Models
 Schulungsmaterial (Eigenverlag), Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow, Bereich Eberswalde, (1986), 116 S.
- NALBORCZYK, E.:
 Quantitative Analyse der Produktivität der Pflanzen
 (Plenarvortrag, Symposium, Quantitative Beziehungen in Biologie und Medizin, HU Berlin, 3.-7.2.1986), Colloquia Pflanzenphysiologie, Humboldt Universität Berlin, 10 (1986), S. 1924
- SCHÄFER, W.; KLANK, I.; WEIRAUCH, M.; REIHER, W.:
 System zur automatischen Erfassung von Meßwerten der CO₂-Assimilation und Transpiration unter Feldbedingungen.
 Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 27 (1983) 6, S. 361-366
- THORNLEY, I.H.M.:
 Growth, maintenance and respiration: A re-interpretation.
 Ann. Bot. 41 (1977), S. 1191-1203

- VIELEMEYER, H.-P.; NEUBERT, P.; HUNDT, I.; VANSELOW, S.; WEISSERT, P.:
 Ein neues Verfahren zur Ableitung von Pflanzenanalyse-Grenzwerten
 für die Einschätzung des Ernährungszustandes landwirtschaftlicher
 Kulturpflanzen.
 Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 27 (1983) 7,
 S. 445-453
- WEIR, A.U.; BRAGG, P.L.; PORTER, J.R.; RAYNER, J.H.:
 A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limi-
 tations.
 J. agric. Sci., Cambridge 102 (1984), S. 371-382
- WENKEL, K.-O.; SCHIRACH, F.; KOITZSCH, R.; NEUMEYER, M.:
 Grundlagen, Entwicklungszustand und Anwendungsmöglichkeiten der 2.
 Generation der EDV-Berechnungsberatung.
 Tag.-Ber. der AdL der DDR, Berlin (1985) 231, S. 133-146
- ZEMANKOVICS, F.:
 Persönliche Mitteilung
 University of Agricultural Science Keszthely (UVR), 1987