38.0 OTTER, S., BERGERMEIER, J.- W.: Das Weizensimulationsmodell Ceres - Aufbau und Anwendungen

Zusammenfassung

Das CERES Modell simuliert Wachstum und Entwicklung von Winter- und Sommerweizen auf der Basis täglicher Witterungsdaten und einer ausreichend definierten pflanzenbaulichen Ausgangssituation. Der biologische Schrittmacher des Modells ist die Phänologie, Haupteinflußfaktoren sind Temperatur, Sonneneinstrahlung, Tageslänge und der davon bestimmte Wasserhaushalt des Bodens.
Die detaillierte Ausgabe erlaubt vielfältige Anwendungen, die mehr oder weniger ausführlich erprobt sind.

Abstract

The CERES model is capable of simulating growth and development of spring and winter wheats at any location where wheat can be grown on the basis of daily weather input and sufficiently defined initial crop management conditions. Biological pacemaker is the crop's phenology, main factors are temperature, radiation, daylength, and soil water balance as influenced by the former.
Detailed output allows multiple applications of the model, which were tested to different extents.

Das CERES-Modell ist über einen Zeitraum von zehn Jahren am Blackland Research Center in Temple, Texas, von Prof. Dr. J.T. Ritchie mit Unterstützung von anderen Wissenschaftlern entwickelt worden. Seit Anfang dieses Jahres ist die Testphase abgeschlossen und das Modell liegt in seiner endgültigen Fassung vor.

Das Ziel bestand in der Entwicklung eines Modells, das in der Lage ist, aus Informationen über Boden- und Sorteneigenschaften, produktionstechnischen Maßnahmen und Wetter die phänologische und morphogenetische Entwicklung, das Wachstum und den resultierenden Ertrag eines Weizenbestandes zu simulieren. Dies gilt für die Grundversion. Eine andere Version simuliert darüberhinaus die Stickstoffdynamik im System Boden und Pflanze. Vom technischen Standpunkt aus werden zwei Versionen unterschieden, die jedoch in ihrer Funktion, Ein- und Ausgabe identisch sind: Je eine für die Anwendung an Großrechnern und Microcomputern.

CERES ist in FORTRAN programmiert und so konzipiert, daß das gesamte Programm für jeden Tag der Vegetationszeit einmal durchlaufen wird. Es gliedert sich in ein Hauptprogramm und elf Subroutinen, von denen einige bei Bedarf umgangen werden können.

Durch die Eingabeparameter wird ein Ausgangszustand definiert, der vom Modell aufgrund der ebenfalls als Eingabe erforderlichen täglichen Witterungsdaten wie Sonneneinstrahlung, Höchst- und Tiefsttemperatur sowie Niederschlag auf den neuesten Stand gebracht und der Entwicklung des Weizenbestandes angepaßt wird. Die Eingabe besteht im einzelnen aus:

- Breitengrad des Standortes,
- Saatdatum, Saatdichte,
- Sorte,
- Bodenart,
- Versorgung mit Bodenwasser zur Zeit der Aussaat,
- Zeit und Menge einer eventuellen Beregnung.

Bodenart und Sorte sind wiederum durch mehrere Parameter näher definiert, die jeweils in Bibliotheken abgespeichert sind. Ein Boden wird dabei charakterisiert durch seine Farbe, ausgedrückt als Reflektionskoeffizient für Sonnenlicht, seine Wasserverdunstung innerhalb eines bestimmten Zeitraumes, die Zahl der Schichten des Profils sowie ihre Mächtigkeit. Jede einzelne dieser Schichten hat einen eigenen Wert für den Bodenwassergehalt am Welkepunkt, bei Feldkapazität und bei Wassersättigung sowie einen Koeffizienten für die Durchwurzelung, der sich aus der Lagerungsdichte und der relativen Lage der Schicht im Profil ergibt.

de einzelne Sorte ist in der betreffenden Bibliothek mit sechs Koeffizienten gespeichert, die folgende Eigenschaften charakterisieren:

Vernalisationsbedürfnis,

Empfindlichkeit für die Tageslänge,

Wärmebedarf für die Ährenbildung,

Kapazität der Assimilateinlagerung während der Kornfüllung,

Großkörnigkeit,

Intensität des vegetativen Blatt- und Stengelapparates.

Für CERES mit Stickstoffsubroutinen sind noch einige zusätzliche Angaben erforderlich wie:

- NO3- und NH4-Gehalt in den Bodenschichten,
- organischer Kohlenstoff in den Bodenschichten,
- Lagerungsdichte und pH,
- Art, Menge, Ablagetiefe und Zeit der N-Düngung,
- Menge, C:N-Verhältnis und Einarbeitungstiefe von organischem Material.

Die Ausgabe besteht im wesentlichen aus drei Teilen:

- Übersichtstabelle (Übersicht 1 auf Seite 420),
- Tägliche Übersicht für Bodenwasser und Wurzelwachstum,
- Tägliche Entwicklung der oberirdischen Pflanzenteile.

Während die beiden letzten Tabellen nicht obligatorisch sind und zusätzliche Details auflisten, gibt die Übersichtstabelle die Eingabe wieder, gefolgt von der Beschreibung der Bestandesentwicklung am Ende wichtiger phänologischer Entwicklungsabschnitte sowie der Ertragsstruktur.

Sämtliche Eingabeparameter werden als Einflußfaktoren in die Simulation einbezogen, d.h. das Modell ist in der Lage, die Wirkung unterschiedlicher Saatzeit, -stärke, Sortenwahl, Bodenwasserverhältnisse, Beregnung und Düngung an jedem beliebigen Weizenstandort nachzuvollziehen.

Während einer Simulation laufen mehrere Vorgänge parallel zueinander ab:

1. phänologische Entwicklung
2. Morphogenese
3. Längenwachstum und Gewichtsentwicklung aller Organe einer Weizenpflanze

Jede einzelne Sorte ist in der betreffenden Bibliothek mit sechs Koeffizienten abgespeichert, die folgende Eigenschaften charakterisieren:

- Vernalisationsbedürfnis,
- Empfindlichkeit für die Tageslänge,
- Wärmebedarf für die Ährenbildung,
- Kapazität der Assimilateinlagerung während der Kornfüllung,
- Großkörnigkeit,
- Intensität des vegetativen Blatt- und Stengelapparates.

Für CERES mit Stickstoffsubroutinen sind noch einige zusätzliche Angaben erforderlich wie:

- NO3- und NH4-Gehalt in den Bodenschichten,
- organischer Kohlenstoff in den Bodenschichten,
- Lagerungsdichte und pH,
- Art, Menge, Ablagetiefe und Zeit der N-Düngung,
- Menge, C:N-Verhältnis und Einarbeitungstiefe von organischem Material.

Die Ausgabe besteht im wesentlichen aus drei Teilen:

- Übersichtstabelle (Übersicht 1 auf Seite 420),
- Tägliche Übersicht für Bodenwasser und Wurzelwachstum,
- Tägliche Entwicklung der oberirdischen Pflanzenteile.

Während die beiden letzten Tabellen nicht obligatorisch sind und zusätzliche Details auflisten, gibt die Übersichtstabelle die Eingabe wieder, gefolgt von der Beschreibung der Bestandesentwicklung am Ende wichtiger phänologischer Entwicklungsabschnitte sowie der Ertragsstruktur.

Sämtliche Eingabeparameter werden als Einflußfaktoren in die Simulation einbezogen, d.h. das Modell ist in der Lage, die Wirkung unterschiedlicher Saatzeit, -stärke, Sortenwahl, Bodenwasserverhältnisse, Beregnung und Düngung an jedem beliebigen Weizenstandort nachzuvollziehen.

Während einer Simulation laufen mehrere Vorgänge parallel zueinander ab:

1. phänologische Entwicklung
2. Morphogenese
3. Längenwachstum und Gewichtsentwicklung aller Organe einer Weizenpflanze

Der biologische Schrittmacher dieses Modells ist die Phänologie. Das Modell folgt der Hypothese, daß für einen beliebigen Entwicklungsabschnitt eine mehr oder minder fest definierte Wärmesumme notwendig ist. Das Modell unterscheidet folgende Entwicklungsabschnitte:

1. Saat bis Bildung des endständigen Ährchens,
2. .... bis Ende des vegetativen Wachstums,
3. .... bis Ende des Ährenwachstums vor der Blüte,
4. .... bis Beginn der Kornfüllung,
5. .... bis physiologische Reife,
6. .... bis Ernte,
7. .... bis Aussaat,
8. .... bis Keimung,
9. .... bis Aufgang.

Die Temperaturabhängigkeit der Entwicklung wird in der Phase vom Aufgang bis zur Auslösung der Ährenbildung am Vegetationskegel vom Vernalisationsbedürfnis und der Tageslängenreaktion überlagert. Es wird davon ausgegangen, daß Vernalisation nur im Temperaturbereich zwischen 0 und 8 Grad Celsius stattfinden kann. Die Tage mit den entsprechenden Temperaturen werden aufsummiert bis der für Winterweizen typische Wert erreicht ist. Sollte das bis zum Ende der kühlen Jahreszeit nicht der Fall sein, wird die nachfolgende Entwicklung verzögert.

Danach hängt die Entwicklungsgeschwindigkeit von der Tageslängensensitivität der betreffenden Sorte ab. Im allgemeinen werden in höheren Breiten mit stark schwankenden Tageslängen zwischen Sommer und Winter Sorten angebaut, die auf Tageslängenänderungen stärker reagieren. Im länger werdenden Tag beschleunigen sie also ihre Entwicklung bis zum Beginn der Ährenbildung am Vegetationskegel, müssen aber den vorgegebenen Wärmesummenwert erreichen.

Die folgenden Entwicklungsabschnitte werden hauptsächlich über die Temperatur gesteuert. Jeweils bei Erreichen einer vorgegebenen Temperatursumme wird ein Stadium abgeschlossen bis schließlich die physiologische Reife erreicht ist, womit die Simulation endet.

Parallel zur phänologischen Entwicklung läuft die Steuerung der Organentwicklung. Dies sind zunächst die Blätter. Man hat beobachtet, daß eine Weizenpflanze Blätter in nahezu regelmäßigen Abständen hervorbringt. Ein solcher Abstand, Phyllochron genannt (von phyllos und chronos, griech. für 'Blatt' und 'Zeit'), dauert ca. 95 Wärmeeinheiten (Grad Celsius Tage) bei einer Basistemperatur von 0 Grad Celsius.

Diese Basistemperatur wurde ermittelt, indem die Steigung der Geraden zur Beschreibung der Abhängigkeit der Blattbildung von der Temperatur bis zu ihrem Schnittpunkt mit der x-Achse verlängert wurde. Dieser Wert bleibt ein hypothetischer Wert, da er von der Genauigkeit der Messungen im unteren Temperaturbereich abhängt. In der Literatur sind daher teilweise andere Basistemperaturen zu finden.

Das gleiche Prinzip liegt der Simulation der Bestockung zugrunde (Übersicht 2 auf Seite 420). Im Abstand von jeweils einem Phyllochron werden neue Bestokkungstriebe entwickelt. D.h. gleichzeitig mit der Bildung des dritten Blattes an den Haupttrieben formen sich die ersten Primärbestockungstriebe. Während der Entwicklung des vierten Blattes kommt die nächste Generation Triebe erster Ordnung zum Vorschein und simultan an den ersten Primärtrieben die ersten Sekun-

därtriebe und so fort. Die Gesamtzahl der Bestockungstriebe nimmt unter optimalen Versorgungsbedingungen einen exponentiellen Verlauf. In Wirklichkeit und im Modell wird die Bestockung jedoch durch inner- und zwischenpflanzliche Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe begrenzt. Sobald eine Streßsituation auftritt, werden die Bestockungstriebe mit weniger als drei Blättern abgestoßen. Die Versorgung mit Assimilaten ist hierbei entscheidend.

Daher spielen nicht nur die Bodenwasserverhältnisse eine Rolle, die letztlich auch das Nährstoffangebot beeinflussen, sondern auch die standortspezifische Sonneneinstrahlung und die Zahl der bereits gebildeten Triebe. Im Modell wird die Zunahme der Zahl der Bestockungstriebe durch das source-sink-Verhältnis reguliert. Zusätzlich wird eine mehr oder weniger willkürliche Obergrenze von 1600 Trieben/qm gezogen, die jedoch in den wenigsten Fällen erreicht wird. Aufgrund der Konkurrenzsituation werden die Bestockungstriebe auf eine Zahl reduziert, die als ährentragende Halme bis ans Ende der Entwicklung aufrecht erhalten werden.

Parallel zur Phänologie und Morphogenese wird die gewichtsmäßige Entwicklung der Pflanzenorgane simuliert, die letztendlich zu einer Ertragsschätzung führen soll. Die Entwicklung des Keimlings zehrt von den Kohlenhydratreserven im Korn.

Während der Hauptwachstumsphase wird der tägliche Massezuwachs und dessen Verteilung auf die Pflanzenteile auf der Basis der aufgenommenen Sonneneinstrahlung und des Blattflächenindexes berechnet. Der Zuwachs an Blattmasse vergrößert die Blattfläche. Es wird davon ausgegangen, daß fast alle Sorten zehn Blätter bilden, wovon nach dem Ährenschieben nur noch die drei obersten assimilieren können. Die abgestorbene Blattmasse wird gesondert berechnet.

Auch der Teil der Assimilate, der dem Wurzelwachstum zur Verfügung steht, wird täglich der Wachstumssituation angepaßt. Aus dem Wurzelmassezuwachs und dem Eindringfaktor in die einzelnen Bodenschichten resultieren täglich neue Wurzeldichteverteilungen in den Bodenschichten.

Nach Abschluß des vegetativen Wachstums beginnt die Kornbildung. Die Körner sind der neue 'sink' für die gebildeten Assimilate. Die Kornausbildung und Zahl der Körner je Ähre bzw. je qm wird ebenso wie die Länge der Kornfüllungsphase durch die sortenspezifischen Parameter bestimmt, die eingangs erwähnt wurden.

Da die geschilderten Zusammenhänge bei der Ausgangssituation ansetzen, können Einflüsse unterschiedlicher Saatstärken und Saatzeiten berücksichtigt werden. Der aktuelle Stand der Wasserversorgung wird täglich abgefragt, da er zur Steuerung fast aller Prozesse notwendig ist. Die Berechnung des Wassergehaltes der einzelnen Bodenschichten erfolgt täglich in einer gesonderten Subroutine unter Einbeziehung der Situation bei Beginn der Simulation, der Wasserhalteeigenschaften und der potentiellen und aktuellen Verdunstung sowie eventueller Beregnung. Auch für die Erstellung der täglichen Wasserbilanz sind die Wetterdaten notwendig.

Sehr wichtig ist die Kenntnis des Bodenwasserstatus für die Nährstoffverfügbarkeit, wobei für die entsprechende Version des Modells der verfügbare mineralische und gebundene organische Stickstoff auf der Angebotsseite und die N-Konzentration in der Pflanze auf der Nachfrageseite ermittelt werden.

Die wesentlichen Merkmale des N-Modells sind:

- Mineralisation des organischen N,
- Immobilisation von mineralischem N,
- Transformation von Düngemittel-N,
- Nitrifikation und Denitrifikation,
- Auswaschung und Transport nach oben,
- Aufnahme durch die Pflanze.

Die Anwendungsmöglichkeiten dieses Modells sind vielfältig. Aufgrund seiner Struktur ist es für manche Anwendungen besser, für andere weniger gut geeignet. Vorgesehen sind:

Hilfsmittel der Wissenschaft bei der Beantwortung von Fragen der Ertragsphysiologie von Weizen. So kann für eine Gegend, in der bisher noch kein Weizen angebaut wurde, eine passende Sorte mit ihren genetischen Parametern definiert werden und theoretisch als Zielvorlage für die Züchtung einer angepaßten Sorte dienen.

Management- bzw. Entscheidungshilfen bei der Bestandesführung in Fragen der Düngung, Beregnung, Sortenwahl, Saatzeitpunkt und Aussaatstärke auf der Basis von kombinierten, aktuellen und historischen Wetterdaten. Diese Anwendung ist relativ umständlich und wenig erprobt.

Wahrscheinlichkeitsanalyse für den Erfolg der Durchführung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf der Grundlage von 50 Jahren historischer Wetterdaten oder Modellklimata. Diese Anwendung erlaubt Aussagen der Art, mit welcher Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, daß beispielsweise eine Beregnung nach dem Ährenschieben an dem betreffenden Standort monetären Erfolg hat.

Großräumige Ertragsvorhersage bzw. -schätzung aufgrund aktueller Wetterdaten für jeden beliebigen Standort, für den diese Daten vorliegen. Daraus lassen sich Fakten als Grundlage für politische Entscheidungen ableiten.

Bei allen Anwendungen wird davon ausgegangen, daß Krankheiten, Schädlinge und Unkraut entweder ordnungsgemäß bekämpft werden oder in so geringem Umfang auftreten, daß sie keinen negativen Einfluß auf den Ertrag ausüben. Bei der CERES-Version ohne Stickstoffroutinen wird außerdem vorausgesetzt, daß der Bestand optimal mit Stickstoff versorgt ist. In Fällen in denen auch das Wasser aller Voraussicht nach nicht ertragslimitierend wird, kann die Berechnung des Bodenwassergehaltes umgangen werden.

Das Modell läuft bisher an verschiedenen Großrechenanlagen wie der IBM 3800, Cyber 750 und Amdahl 470 und benötigt für einen Durchgang ca. 1 CPU-Sekunde. Ein Lauf am IBM-PC dauert ca. vier bis fünf Minuten je nach Länge der Vegetationszeit. Er liefert generell den gleichen Output, wobei nur das Übersichtstableau simultan erzeugt wird, während die übrigen Tabellen auf Bestände gespeichert werden und so zum Ausdrucken bereitstehen.

Der Modellaufbau ist generell sehr zeiteffizient. Die Anwendbarkeit hängt jedoch nicht nur von technischen und physiologischen Strukturen ab, sondern auch von der Güte der Simulation. Diese soll an wenigen Beispielen veranschaulicht werden,

obwohl sie an mehreren hundert Durchläufen und Daten von 25 Standorten verschiedener Länder zwischen 36. Grad südlicher und 55. Grad nördlicher Breite gestestet worden ist.

Als Beispiele sollen zwei Versuchsstandorte in Deutschland dienen: Weihenstephan und Ahrensburg. Die verfügbaren gemessenen Daten waren sehr unterschiedlich. In Weihenstephan wurden zwei Sorten über die Vegetationsperiode hinweg intensiv beobachtet und an mehreren Terminen die bereits gebildete Trockensubstanz, der Blattflächenindex und die Zahl der Bestockungstriebe ermittelt. Nicht nur stimmten die Eintrittstermine der phänologischen Ereignisse mit den beobachteten überein, auch die genannten Merkmale sowie der Ertrag konnten mit hoher Genauigkeit simuliert werden. Lediglich der Blattflächenindex der Sorte Caribo lag gegen Mitte der Vegetationszeit beträchtlich über den simulierten Werten. Hierzu sei angemerkt, daß der Blattflächenindex aufgrund der Meßtechnik in der Regel mit einem relativ großen Meßfehler behaftet ist (Übersicht 3 auf Seite 421 bis Übersicht 8 auf Seite 424).

Während aus Weihenstephan nur einjährige Beobachtungen vorlagen, handelte es sich in Ahrensburg um eine Versuchsreihe aus den Jahren 1966-1984, leider ohne Messungen während der Vegetationszeit. Über den genannten Zeitraum stellt sich der Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Erträgen folgendermaßen dar: In der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes wurden die Erträge in Ahrensburg tendenziell überschätzt, während sie in der zweiten Hälfte eher zu gering ausfielen (Übersicht 9 auf Seite 424). Dies ist möglicherweise mit der während dieser Zeit erfolgten Verbesserung der Produktionstechnik zu erklären. Insbesondere die bessere Kontrolle der im Norden der BRD stark ertragsmindernden Pilzkrankheiten könnte hier zum Ausdruck kommen. Da wie oben erwähnt das CERES-Modell derartige Einflüsse nicht berücksichtigt, kann geschlossen werden, daß es für eine Anwendung unter mitteleuropäischen Verhältnissen eventuell der Ergänzung bedarf, um der hier üblichen ausgefeilten Produktionstechnik Rechnung zu tragen.

Statistische Vergleiche verschiedener Ausgabewerte der Simulation mit Messungen oder Beobachtungen am Bestand haben teilweise ausgezeichnete Übereinstimmung nachgewiesen. In Fällen, wo stärkere Abweichungen zu verzeichnen waren, konnten sie in der Regel auf Einflußfaktoren zurückgeführt werden, die modellmäßig nicht berücksichtigt worden waren.

Dies ist unvermeidlich, da bei der Entwicklung jedes Modells Kompromisse eingegangen werden müssen zwischen Genauigkeit und Handhabung (d.h. Computerzeitverbrauch und Eingabeerfodernisse). Ein wesentliches Charakteristikum von CERES ist die universelle Anwendbarkeit für jeden beliebigen Standort. Unter diesem Aspekt erscheint CERES sehr gut geeignet, Entwicklung und Aufwuchs eines Weizenbestandes zu simulieren.

WEATHER=ROTHAMS9 ROTHAMSTEAD, ENGLAND - 1959-1960

VARIETY NUMBER 1002 VARIETY NAME CAPELLE DESPREY

LATITUDE = 42.5 , SOWING DEPTH = 4. CM , PLANT POPULATION = 254.PLANTS PER SQ METER

GENETIC SPECIFIC CONSTANTS P1V =0.033 P1D =0.0085 P5= 470. G1 =1.000 G2 =0.246 G3 =1.720 G4 =1.250 G5 =1.000

SOIL ALBEDO= 0.14 U= 6.0 SWCON= 0.50 RUNOFF CURVE NO.= 60.0

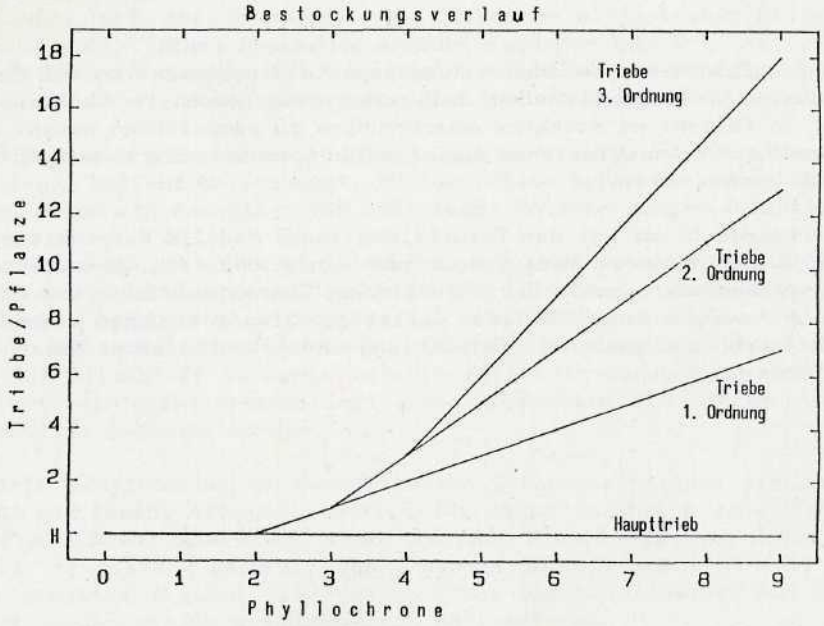
DEPTH-CM	LOW LIM	UP LIM	SAT SW	EXT SW	INIT SW	WR
0.- 10.	0.110	0.280	0.280	0.170	0.280	1.000
10.- 30.	0.110	0.280	0.320	0.170	0.280	0.700
30.- 50.	0.080	0.190	0.230	0.110	0.190	0.400
50.- 70.	0.070	0.180	0.190	0.110	0.150	0.150
70.- 90.	0.070	0.180	0.190	0.110	0.150	0.080
90.- 130.	0.130	0.240	0.280	0.110	0.240	0.008
130.- 170.	0.130	0.240	0.280	0.110	0.240	0.003
170.- 210.	0.130	0.240	0.280	0.110	0.240	0.001
210.0	23.3	48.2	55.0	24.9	47.0	TOTAL FOR PROFILE

THE PROGRAM STARTED ON JULIAN DATE 274

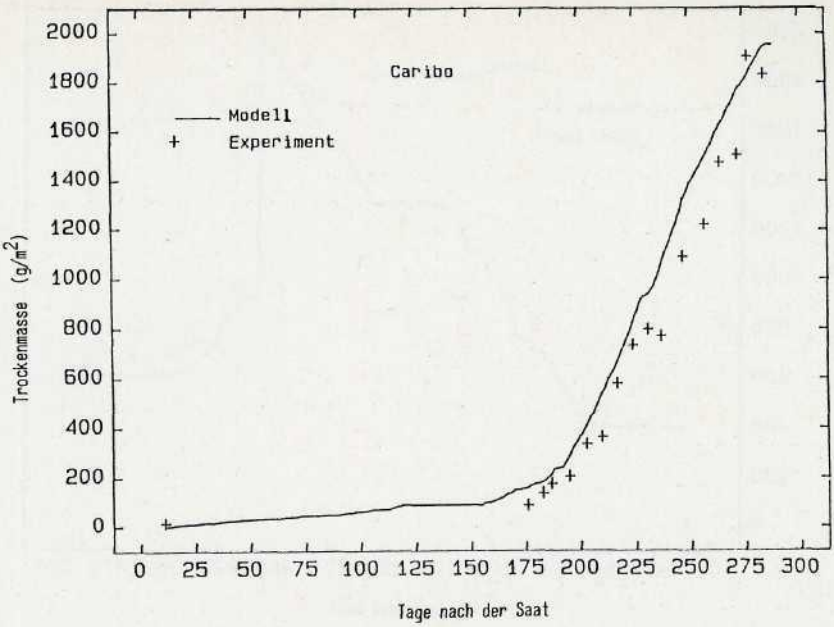
DAY	JUL DAY	CUM DTT	PHENOLOGICAL STAGE	BIOMASS	LAI	CSD1	CSD2	ET	ES	EP	PREC	PESW
								WATER BALANCE COMPONENTS CUMULATIVE AFTER GERMINATION				
10/20/59	293	0.	SOWING									
10/21/59	294	7.	GERMINATION					26.2	26.2	0.0	19.7	23.9
11/ 3/59	307	88.	EMERGENCE, PHINT = 95.					10.7	10.7	0.0	37.8	25.1
5/ 1/60	122	1106.	TERM SPIKELET, VERN DAYS=50.	501.	4.99	0.00	0.00	137.5	61.5	75.9	389.5	20.1
5/24/60	145	1387.	END VEG BEGIN EAR GROWTH	798.	5.46	0.00	0.00	193.0	67.2	125.8	427.5	18.3
6/ 6/60	158	1573.	END EAR GROWTH,EARS= 418.	1062.	4.17	0.09	0.18	242.2	72.0	170.2	427.5	13.4
6/20/60	172	1786.	BEGIN GRAIN FILL,GPSM=10015.	1280.	3.74	0.16	0.24	284.1	79.4	204.7	453.9	11.8
7/24/60	206	2256.	MATURITY,GRAIN WT = 0.0478	1483.	0.00	0.03	0.09	372.6	104.1	268.4	538.7	11.6

YIELD (KG/HA) = 4791. (BU/ACRE)= 71.5 FINAL GPSM= 10015.

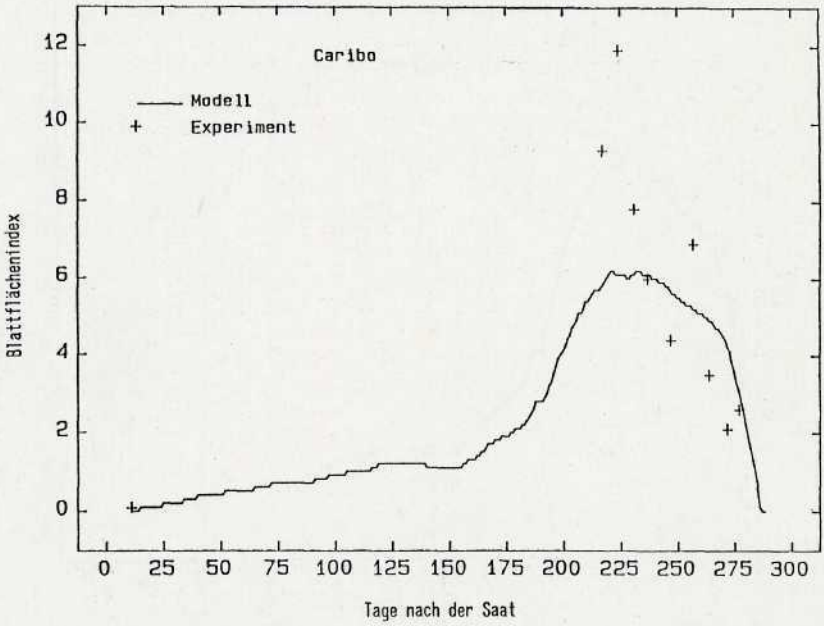
Übersicht 1. Übersichtstableau



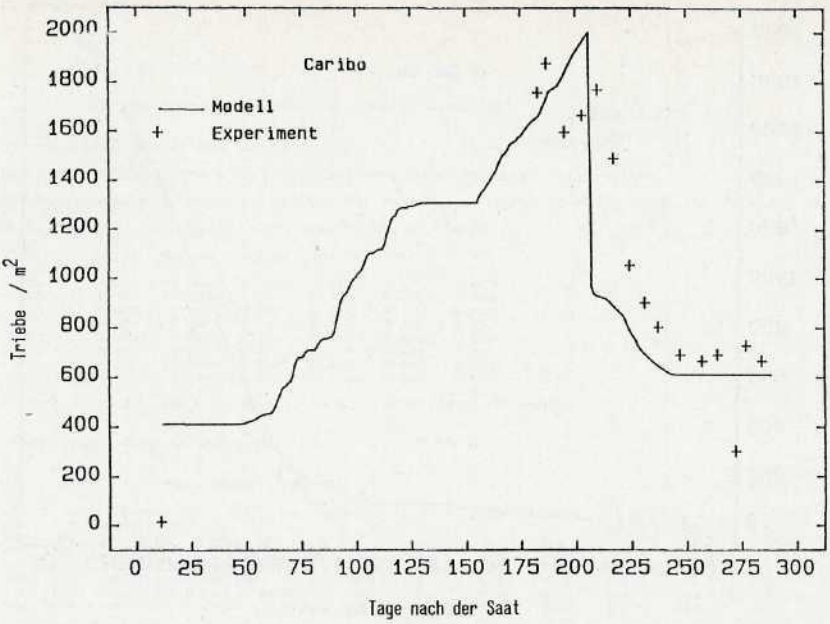
Übersicht 2. Bestockungsverlauf



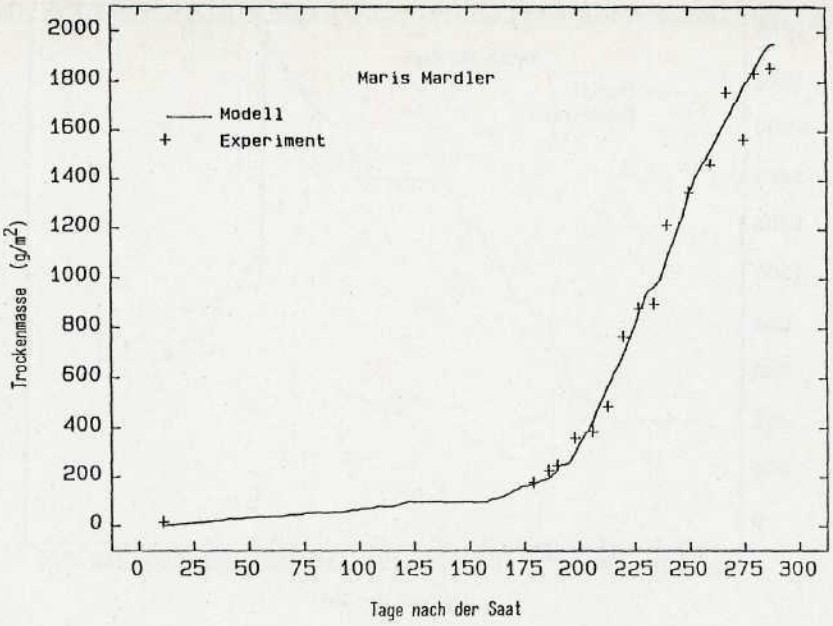
Übersicht 3. Gemessener und simulierter Trockenmassezuwachs (Weihenstephan 1983)



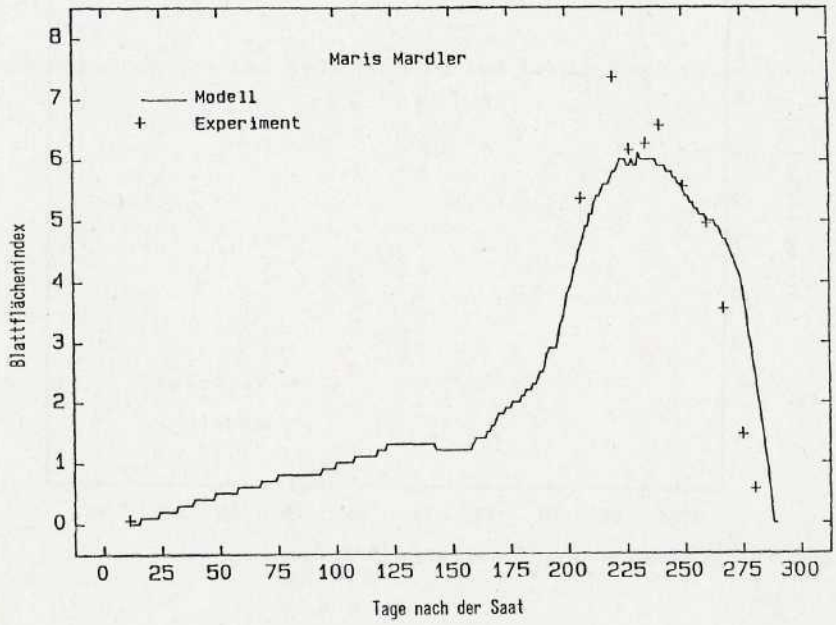
Übersicht 4. Gemessener und simulierter Blattflächenindex (Weihenstephan 1983)



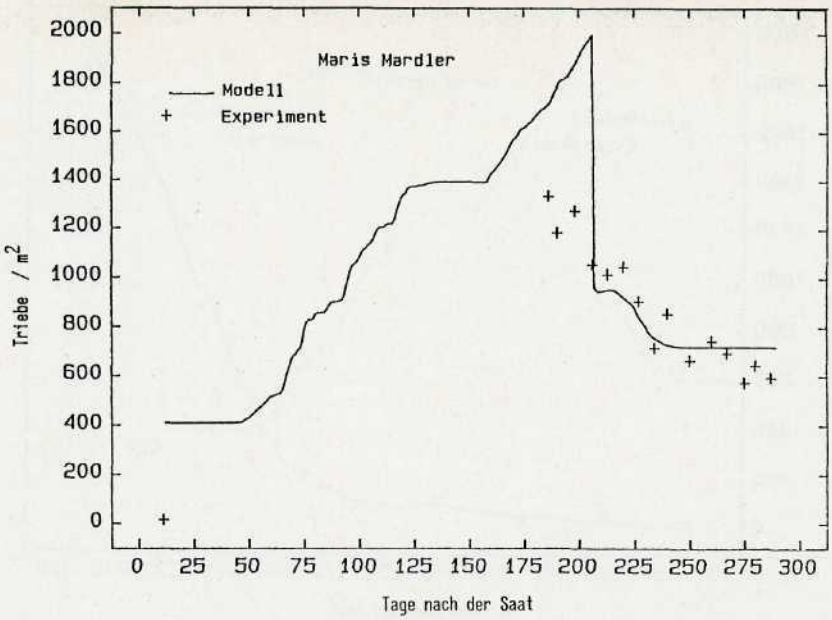
Übersicht 5. Gemessene und simulierte Zahl der Bestockungstriebe (Weihenstephan 1983)



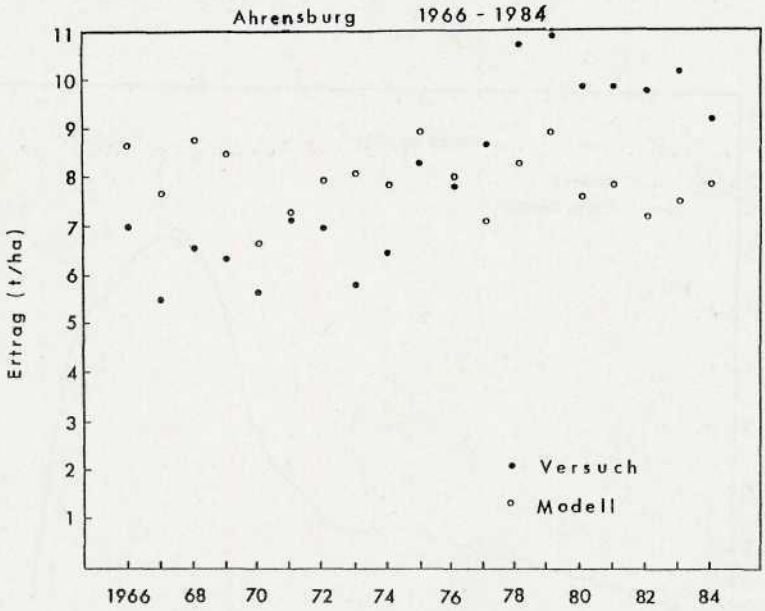
Übersicht 6. Gemessener und simulierter Trockenmassezuwachs (Weihenstephan 1983)



Übersicht 7. Gemessener und simulierter Blattflächenindex (Weihenstephan 1983)



Übersicht 8. Gemessene und simulierte Zahl der Bestockungstriebe (Weihenstephan 1983)



Übersicht 9. Gemessene und simulierte Erträge