

De koppeling van remote sensing gegevens en gewasgroeimodellen

B.A.M. Bouman

Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
(CABO-DLO)
Postbus 65,
6700 AA Wageningen

Probleemstelling

In de landbouw is het volgen van groei en ontwikkeling, en een tijdige oogstverwachting van diverse gewassen van algemeen belang. Men denke bijvoorbeeld aan de individuele boer die graag weet hoe zijn gewas er bij staat om zijn teelthandelingen zo goed mogelijk te kunnen uitvoeren. Op een, geografisch, hoger niveau heeft b.v. de suikerindustrie graag zo snel mogelijk in het seizoen een inzicht in de te verwachten bletenaanvoer voor de capaciteitsplanning. Op regionale tot internationale schaal zijn zelfs betrouwbare oogstramingen zo vroeg mogelijk ná de oogst van belang voor het te voeren beleid ten aanzien van prijsstellingen, import en export. Op het niveau van de EG worden oogstramingen jaarlijks door de individuele lidstaten aangeleverd. Voor sommige lidstaten betreft het dan de oogstramingen van datzelfde jaar, terwijl andere lidstaten op dezelfde tijd pas oogstramingen van twee jaar tevoren leveren. Ook de wijze waarop de oogstramingen verkregen worden, en de nauwkeurigheid van die cijfers varieert van lidstaat tot lidstaat (Heath, 1990). Hierdoor is een sterke behoefte ontstaan aan een uniforme methode van oogstramingen die een vergelijking op regionaal niveau binnen de EG mogelijk maakt.

Naast de klassieke manier van oogstramingen op basis van steekproeven bij boeren, wordt de laatste jaren meer en meer gekeken naar het gebruik van gewasgroeimodellen en remote sensing waarnemingen. De aantrekkelijkheid van de meeste gewasgroeimodellen is dat de groei en ontwikkeling van gewassen berekend

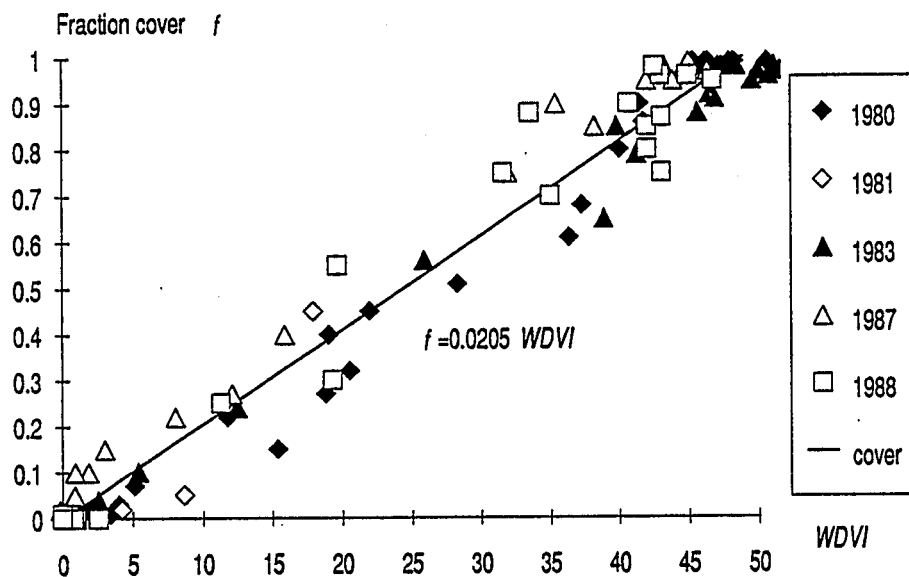
wordt uit agrometeorologische omstandigheden (b.v. hoeveelheid zonlicht, temperatuur, neerslag). Hierdoor kunnen verschillen in gewasgroei tussen regio's en in verschillende jaren (gedeeltelijk) verklaard worden. Tevens ontstaat er naast een schatting van de uiteindelijke opbrengst, eveneens inzicht in de wijze waarop deze in de loop van het groeiseizoen tot stand komt. Voor operationeel gebruik voor nauwkeurige oogstschattingen zijn de meeste gewasgroeimodellen echter nog niet geschikt; zij zijn daar meestal ook niet voor ontworpen. Vaak ontbreken de benodigde veldgegevens om de groeimodellen te voeden, en zijn de effecten van mogelijk aanwezige stress factoren op de eindoogst onvoldoende bekend. Hierdoor wijkt de gesimuleerde groei van het gewas dikwijls af van de werkelijke groei in het veld. We zouden dus graag, in de loop van het groeiseizoen, actuele informatie over de toestand van het gewas in het veld willen hebben om de simulaties met de groeimodellen 'bij te kunnen sturen'. Remote sensing is een verzamelnaam voor technieken waarmee dergelijke informatie verzameld zou kunnen worden.

Remote sensing betekent letterlijk 'waarnemen van afstand'; ze wordt meestal toegepast vanuit vliegtuigen en satellieten. De technieken die in dit verhaal ter sprake komen zijn 'optische' en 'radar' remote sensing. Optische remote sensing is de registratie van de hoeveelheid gereflecteerd zonlicht door de objecten op het aardoppervlak, in bepaalde delen van het zonne-spectrum (golflengte-banden). De objecten zijn in ons geval landbouwgewassen. De

optische reflectie is dan de verhouding van het door het gewas gereflecteerde zonlicht en het op het gewas invallende zonlicht. Bij radar remote sensing worden eerst microgolven, meestal tussen de 1 en 25 cm golflengte, opgewekt en naar het aardoppervlak uitgezonden. Vervolgens worden de microgolven die door de objecten (gewassen) zijn gereflecteerd weer opgevangen, en wordt de radarreflectie berekend.

Remote sensing vanuit vliegtuigen of satellieten kan dus reflectie-beelden verschaffen van de actuele aard en toestand van geteelde landbouwgewassen op regionale schaal. Door herhaalde opnamen in de tijd te maken ontstaat een beeld van de regionale groei en ontwikkeling van de gewassen. Het probleem zit dan in de 'vertaalslag' van de, uit remote sensing beelden verkregen informatie, uitgedrukt in percentage gereflecteerd zonlicht of in radarreflectie, naar grootheden als biomassa en eindopbrengst. Rechtstreekse vergelijkingen tussen remote sensing data en de biomassa van gewassen blijken te onnauwkeurig voor toepassing in oogstschattingen. Daarentegen lijken 'secundaire' grootheden als fractie bodembedekking of hoeveelheid bladoppervlak met redelijke nauwkeurigheid te schatten uit b.v. optische remote sensing gegevens. Om deze grootheden nu te gebruiken voor oogstschattingen moet teruggegrepen worden op gewasgroeimodellen.

Er kunnen twee methoden onderscheiden worden om remote sensing gegevens en gewasgroeimodellen te koppelen: de 'schatting van input parameters' en de 'calibratie van het groeimodel'.



Figuur 1
 Relatie tussen de bodembedekking f en de WDWI (een optische reflectie maat, berekend uit de infrarood en de groen reflectie), voor een aantal bietengewassen tussen 1980 en 1988. Voor de lineaire relatie geldt $r^2 = 0.97$, met $N = 97$.

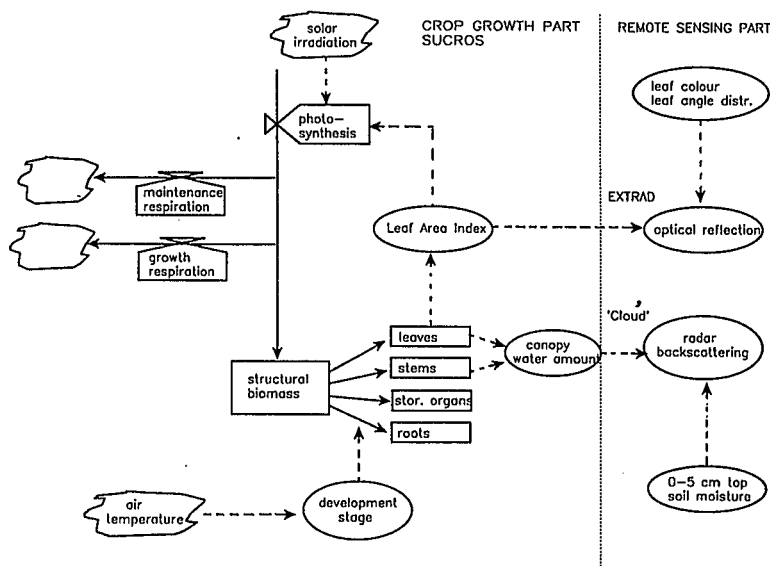
Methode I: schatting van input parameters van gewasgroei modellen

Een betrekkelijk eenvoudige methode is om uit de remote sensing metingen een gewasparameter te schatten die je direct in een groei model kan invoeren. Met behulp van eenvoudige fysische of strikt empirische relaties kan je b.v. uit remote sensing metingen een schatting maken van de fractie bodembedekking van een gewas (Fig. 1). Een eenvoudig groei model leert dat de groeisnelheid van een gewas te berekenen is als het product van de

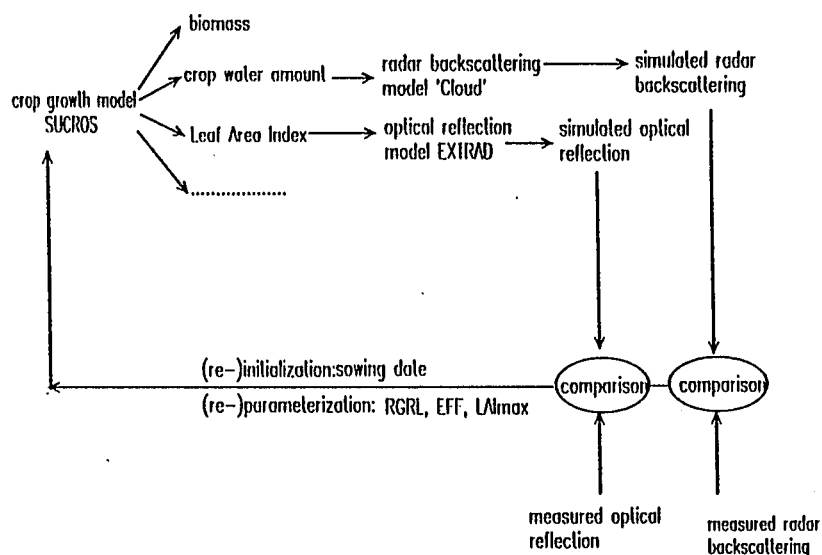
hoeveelheid onderschept licht en een efficiëntiefactor waarmee het zonlicht in biomassa wordt omgezet (Gallagher and Biscoe, 1978; Monteith, 1981). De hoeveelheid onderschept licht is te berekenen uit de, m.b.v. remote sensing geschatte fractie bodembedekking, maal de hoeveelheid invallende zonlicht. Dit laatste wordt dagelijks door meteorologische stations gemeten. De efficiëntiefactor moet uit veldexperimenten bepaald worden in de regio waar dit groei model gehanteerd zal worden. Uit talrijke experimenten is gebleken dat deze efficiëntiefactor in een

bepaalde regio voor veel gewassen een redelijk stabiele grootheid is gedurende het grootste deel van het groeiseizoen. Ook tussen verschillende jaren is de efficiëntiefactor tamelijk stabiel, mits de variaties in groei condities, met name in stressfactoren, niet al te groot zijn.

Na ijking in een bepaalde regio, kan dit model gebruikt worden voor 'globale' productieschattingen in diezelfde regio indien de groei condities niet al te veel afwijken van die tijdens de ijking. IJking wil hier zeggen: de experimentele bepaling van de efficiëntiefactor en van



Figuur 2
 Schematische werking van het gewasgroei model SUCROS, en de koppeling met de modellen EXTRAD voor optische reflectie, en 'Cloud' voor radarreflectie.



Figuur 3
Methodologie van calibratie van SUCROS op optische en radar remote sensing gegevens.

de relatie om de fractie bodembedekking uit de remote sensing metingen te schatten. De toevoeging 'globaal' wil zeggen dat we, per gewasstype, een schatting krijgen van de totale groei van het gewas, d.w.z. de biomassa van alle gewasonderdelen bij elkaar (bladen, stengels, knollen, vruchten, etc). Voor een groot aantal gewassen is de totale hoeveelheid biomassa echter niet zo interessant en is men veel meer geïnteresseerd in de biomassa van specifieke onderdelen, b.v. de knollen van bieten en aardappelen, of de korrels van graan. Hiervoor kan een oogstindex aan het model toegevoegd worden die de verhouding geeft van de biomassa van het 'economische' produkt ten opzichte van die van het totale gewas. Ook deze oogstindex zal weer experimenteel bepaald moeten worden waarmee een nieuwe onzekerheid aan het model is toegevoegd. Deze oogstindex kan namelijk ook weer afhangen van groeiomstandigheden die niet in het model betrokken zijn. Zo is van veel boonsoorten bekend dat watergebrek specifiek tijdens de bloei tot een grote reductie in de uiteindelijke opbrengst aan bonen leidt.

Voor simulaties van de groei en eindooft van economische produkten, onder een ruimere variatie aan groeiomstandigheden, is er dus behoefte om meer gedetailleerde gewasgroei modellen te hanteren.

Methodie II: calibratie van gewasgroei modellen

Een van de simulatiemodellen voor gewasgroei die op het CABO-DLO en de

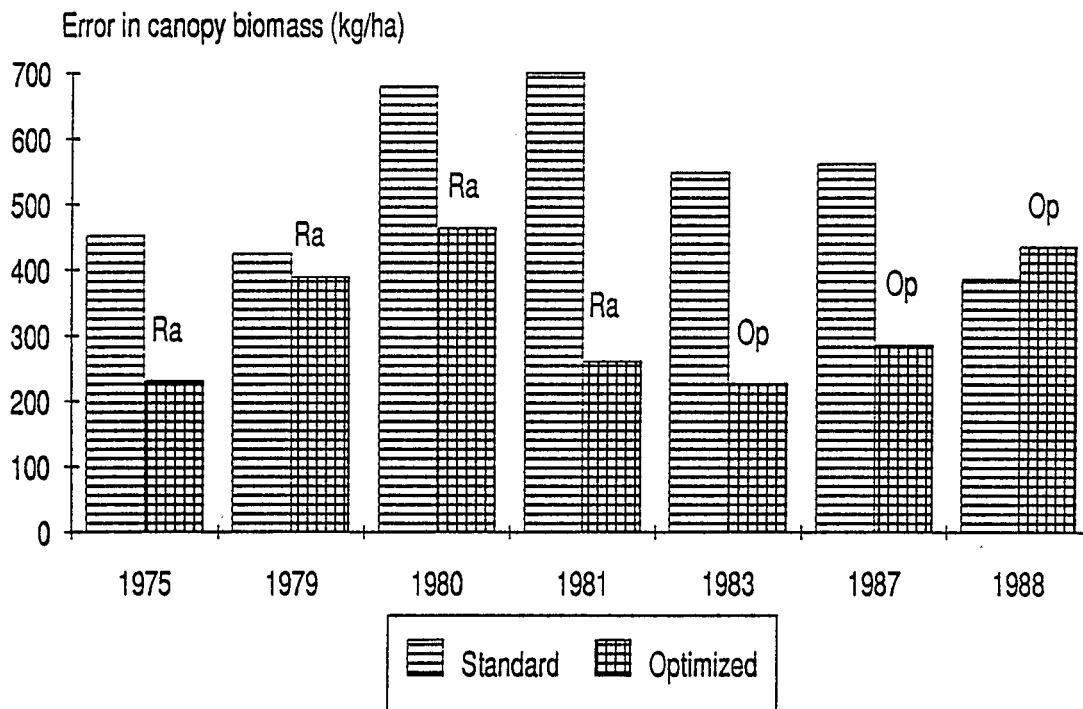
vakgroep Theoretische Produktie-ecologie (voormalig Theoretische Teeltkunde) van de LU ontwikkeld zijn, is SUCROS: Simple and Universal Crop Growth Simulator (Spitters et al., 1989). Dit model simuleert de dagelijkse groei en ontwikkeling van gewassen onder optimale groei-omstandigheden; d.w.z. dat het gewas goed voorzien is van water en nutriënten, en dat er geen aantasting is door ziekten of plagen. De basiswerking van het model is als volgt (linkerdeel van figuur 2). Een zekere hoeveelheid bladmateriaal (leaf area index) van het gewas op dag x vangt een bepaalde hoeveelheid zonlicht op. Met de energie uit het zonlicht wordt CO² uit de lucht omgezet naar assimilaten (fotosynthese). Deze assimilaten worden eerst gebruikt voor onderhoud, en de rest wordt omgezet in structurele biomassa. Deze structurele biomassa wordt verdeeld over de diverse organen van het gewas zoals wortels, stengels en bladeren. Op dag x+1 is er dus een nieuwe, grotere hoeveelheid bladeren, die een grotere hoeveelheid zonlicht opvangt, hetgeen weer leidt tot een grotere hoeveelheid gevormde assimilaten.

De sturende variabelen van SUCROS zijn de dagelijkse hoeveelheid zonlicht, en maximum en minimum temperatuur. Voor iedere simulatie-run is de zaai- of opkomstdatum van het gewas als invoergegeven nodig. Tenslotte zijn er in het model zo'n 40 modelparameters aanwezig, waarvan de waarde direct gemeten is, empirisch bepaald, of afgeleid uit standaard tabellen (zoals b.v.

de hoogte van de zon als functie van uur en dag in het jaar)

Om een gewasgroei model als SUCROS te koppelen aan remote sensing gegevens, is op het CABO-DLO een nieuwe methode ontwikkeld: de calibratie van SUCROS op remote sensing gegevens. Daartoe werd eerst SUCROS uitgebreid met 'remote sensing interactie-modellen' om remote sensing signalen van het gesimuleerde gewas te berekenen (rechterhelft van figuur 2). Remote sensing interactie-modellen berekenen remote sensing signalen van een gewas op basis van een fysische beschrijving van het interactieproces tussen straling (zonlicht, microgolven) en het vegetatiedek. Voor het optische gebied werd het EXTRAD model gebruikt (Goudriaan, 1977), en voor het radar gebied het 'Cloud' model (Attema and Ulaby, 1978). Door het gebruik van deze golflengte-specifieke interactie-modellen, werd de simulatie van optische reflectie en van radarreflectie gekoppeld aan specifieke onderdelen van SUCROS. Zo was de simulatie van optische reflectie gekoppeld aan o.a. de berekening van het bladoppervlak, en de simulatie van radarreflectie aan o.a. de berekening van de hoeveelheid water in het vegetatiedek. Het uitgebreide 'SUCROS-Cloud-EXTRAD' model simuleert dus de groei en ontwikkeling, en de optische- en radarreflectie van gewassen in de tijd.

Normaal hebben de modelparameters in SUCROS alle een bepaalde vaste waarde,



Figuur 4
 Seizoensgemiddelde fout tussen in-het-veld-gemeten en gesimuleerde bovengrondse biomassa van bieten met standaard SUCROS, en met SUCROS gecalibreerd op remote sensing metingen. 'Ra' betekent gecalibreerd naar radar metingen, en 'Op' naar optische metingen (nabij infrarood en groen reflectie). De gemeten bovengrondse biomassa waarden aan het eind van het groeiseizoen varieerden tussen 5500 en 7000 kg/ha.

eventueel verlopend in het groeiseizoen. In werkelijkheid hebben deze parameters nooit een bepaalde waarde, maar kunnen zij een waarde aannemen tussen 'biologische' grenzen. Doordat nu in principe iedere parameter een, beperkte, range in waarden kan aannemen, kunnen de gesimuleerde biomassa (productie) en remote sensing signalen eveneens een range aan waarden aannemen. De calibratie van SUCROS op de remote sensing gegevens gaat nu als volgt. Voor iedere simulatie-run wordt de gesimuleerde tijdreeks van remote sensing signalen vergeleken met een werkelijk gemeten tijdreeks van die signalen. Een aantal speciaal gekozen parameters in het gewasgroei-model worden vervolgens binnen de 'biologische' grenzen bijgesteld/gere-parameteriseerd zodat de gesimuleerde tijdreeks remote sensing signalen het beste bij de gemeten tijdreeks past (Fig. 3). Doordat ieder jaar opnieuw de modelparameters een andere waarde tussen de 'biologische' grenzen kunnen innemen, moet de calibratie ieder jaar opnieuw verricht worden. De calibratie wordt uitgevoerd met een

numerieke optimalisatie procedure, waarbij naar ieder gewenst aantal of combinatie van remote sensing metingen (type) gere-parameteriseerd kan worden (Klepper, 1989; Rouse et al., 1991). Zo kan het gewasgroei-model b.v. worden gecalibreerd op enkel optische of radar remote sensing metingen, op een combinatie hiervan, of op radar metingen bij verschillende inijkhoeken of polarisaties.

De ontwikkelde calibratie-methode is toegepast op enkele proefvelden met suikerbieten waar optische en/of radar remote sensing metingen van voorhanden waren (Bouman, 1991). Het standaard SUCROS model voor bieten werd gedraaid voor ieder jaar, met werkelijke zaaidatum als invoergegeven. De gesimuleerde biomassa in de loop van het groeiseizoen werd vergeleken met biomassa metingen in het veld om de simulatie-nauwkeurigheid te bepalen. Vervolgens werd het SUCROS model voor ieder jaar en ieder veld apart gecalibreerd op de remote sensing metingen. Ook de zaaidatum werd gecalibreerd (model-initialisatie) omdat

deze in toepassingen op regionale niveaus onbekend wordt verondersteld. Op één geval na, waren de biomassa simulaties na de calibratie op remote sensing data nauwkeuriger dan de biomassa simulaties met standaard SUCROS (Fig. 4). De remote sensing data waren vooral effectief in de model initialisatie, en in het bijsturen van SUCROS in het begin van het groeiseizoen.

Toepassingen van de ontwikkelde methoden

De keuze van één van de twee hierboven beschreven methoden voor het schatten van de productie van landbouwgewassen zal voornamelijk afhangen van het beoogde doel. Voor een snel inzicht in de totale productie op regionale schaal, en voor vergelijkingen tussen regio's zal het gebruik van eenvoudige modellen wenselijk zijn (methode I: input-parameter schatting). Meer gedetailleerde modellen (methode II: calibratie) zullen het beste gebruikt kunnen worden op kleinere schaal als inzicht in de groei en ontwikkeling gedurende het groeiseizoen, en de

totstandkoming van het economisch eindprodukt van interesse is. Tevens spelen factoren als beschikbaarheid van de benodigde modelinput mee (gewas- en bodemparameters, meteorologische gegevens) alsmede de hoeveelheid en het type remote sensing observaties.

Methode II, calibratie, biedt het voordeel dat verschillende types remote sensing metingen gebruikt kunnen worden, en, dat door de manier waarop de fysische remote sensing modellen aan het gewasgroei-model gekoppeld zijn, specifieke onderdelen (processen) van het groei-model 'bijgestuurd' kunnen worden.

Naast de toepassing van oogstschattingen in de landbouw zijn gewasgroei-modellen gekoppeld aan remote sensing metingen bruikbaar in studies naar b.v.

klimaatverandering en in atmosferische circulatie modellen. Een belangrijk aspect bij deze studies is de energiebalans aan het landoppervlak.

Om deze te beschrijven zijn modellen die de jaarlijkse dynamiek van gewassen en natuurlijke vegetaties simuleren van groot belang. Het zal hierbij niet gaan om oogstverwachtingen van een bepaald economisch eindprodukt, maar om simulaties van b.v. de jaarlijkse hoeveelheid vastgelegde CO², het vochttransport door het vegetatiedek, of de veranderingen in vegetatiehoogte i.v.m. de weerstand voor (horizontale) luchtverplaatsingen. Juist voor toepassingen van vegetatie-modellen op regionale tot mondiale schaal zal sturing door remote sensing een essentieel element vormen.

Referenties

- ATTEMA, E.P.W., and F.T. ULABY, 1978
Vegetation modelled as a water cloud
Radio Science, 13(2): 357-364.
- BOUMAN, B.A.M., 1991
Linking physical remote sensing models with crop growth simulation models, applied for sugar beet
International Journal of Remote Sensing (in press.)
- GALAGHER, J.N., and P.V. BISCOE, 1978
Radiation absorption, growth and yield of cereals
Journal of Agricultural Science (Cambridge) 91: 47-60.
- GOUDRIAAN, J., 1977
Crop meteorology: a simulation study
Publisher: PUDOC, Wageningen, The Netherlands.
- HEATH, D.W., 1990
Introductory remarks
In: Proceedings of the Conference on The Application of Remote Sensing to Agricultural Statistics (edited by F. Toselli and J. Meyer-roux), 10-11 October 1989, Varese, Italy, Publisher: Commission of The European Communities, Brussel
- KLEPPER, O., 1989
A model of carbon flows in relation to macrobenthic food supply in the Oosterschelde estuary (S.W. Netherlands)
Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- MONTEITH, J.L., 1981
Does light limit production?
In: Physiological processes limiting plant productivity (edited by C.B. Johnson), Publisher: Butterworth, London.
- ROUSE, D.I., W. STOL and O. KLEPPER, 1991
A Fortran program for calibration and uncertainty analysis of crop growth models: description with users guide and program listing
CABO-report (in press.), Wageningen, The Netherlands.
- SPITTERS, C.J.T., H. VAN KEULEN and D.W.G. VAN KRAALINGEN, 1989
A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87,
In: Simulation and systems management in crop protection (edited by R. Rabbinge, S.A. Ward and H.H. van Laar), Publisher: PUDOC, Wageningen, The Netherlands.