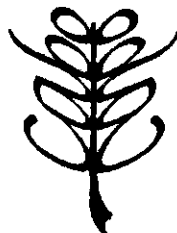


**TOEPASSING VAN SIMULATIE EN SYSTEEMANALYSE:
STAND VAN ZAKEN EN KNELPUNTEN**

C.J.T. Spitters & H. van Keulen

**CABO-Verslag nr. 128
1990**



Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
Postbus 14, 6700 AA Wageningen

INHOUD

Blz.

Samenvatting	1
I. Modellen op gewasniveau	3
A. Potentiële gewasgroei	3
1. C-huishouding	3
1.1. Fotosynthese: licht- en temperatuuradaptatie van fotosynthese parameters	3
1.2. Respiratie: onderhoudsrespiratie	3
2. Stofverdeling en -verdeling	4
2.1. Verdeling tussen organen	4
2.2. Dynamiek koolhydraatreserves en "link-source" relaties	4
2.3. Allocatie naar wortels (structurele groei, wortelrespiratie, exudatie)	5
3. Morfologie en organogenese	5
3.1. Bladoppervlaktegroei	5
3.2. Bladveroudering	6
3.3. Zijspruitvorming (granen, grassen) en vertakking (koolzaad, etc.)	6
3.4. Organogenese: aantalsdynamiek van organen	7
3.5. Wortelgroei en -verdeling	7
4. Fenologie	7
4.1. Detaillering van de ontwikkelingsstadia	7
4.2. Invloed van daglengte op ontwikkelingssnelheid	7
5. Inhoudstoffen en kwaliteit	8
5.1. Watergehalte van het oogstprodukt	8
5.2. Verteerbaarheid veevoedergewassen (maïs, gras)	8
5.3. Sortering	8
B. Waterhuishouding	10
1. Waterhuishouding van de bodem	10
1.1. Bodemfysische parameters	10
1.2. Infiltratie	10
1.3. Bodemverdamping	10
1.4. De gasfase van de bodem	11
2. Waterhuishouding van het gewas	11
2.1. Potentiële gewasverdamping	11

2.2. Wateronttrekking in relatie tot wortel- dichtheid en -verdeling	11
2.3. Gewasgroei-reductie ten gevolge van watertekort of -overmaat	12
2.4. Secundaire invloeden van droogtestress	12
C. Nutriëntenhuishouding	14
1. Nutriëntenhuishouding in de bodem	14
1.1. Stikstofhuishouding	14
1.2. Fosfor en kali-huishouding	14
2. Nutriëntenhuishouding in het gewas	15
2.1. Invloed worteldichtheid op opname	15
2.2. Verdeling en herverdeling tussen de organen	15
D. Schaderelaties met betrekking tot onkruiden, ziekten en plagen	17
1. Onkruiden (en natuurlijke vegetaties)	17
1.1. Concurrentie	17
1.2. Kieming, vestiging en regeneratie	18
1.3. Effect van onkruidbestrijdingsmaatregelen	18
1.4. Populatiedynamiek	18
2. Ziekten en plagen	18
E. Toepassing van modelbouw en simulatie in het experimentele onderzoek	20
II. Modellen op perceels-, bedrijfs- en regionaal niveau	22
A. Ontwikkeling van teeltbegeleidingssystemen	23
B. Optimaliseringstechnieken	26
III. Conclusies en aanbevelingen	27
Literatuur	29
Bijlage	32

Samenvatting

Deze nota heeft ten doel een inventarisatie te geven van aspecten van simulatie en systeemanalyse, die binnen het CABO extra aandacht verdienen. Per aandachtsveld wordt (zeer) globaal de stand van zaken en de gewenste actie gegeven. In deel I ligt de nadruk op het gewasniveau, zoals bestreken door de gewasfysiologie, die een integratie vormt van plantenfysiologie, meteorologie en bodemkunde. Een onderverdeling wordt gemaakt in (a) processen die de potentiële gewasgroei bepalen, (b) de waterhuishouding van bodem en gewas, (c) de nutriëntenhuishouding van bodem en gewas, en (d) de schaderelaties met betrekking tot onkruiden, ziekten en plagen. In de gewasfysiologische modellen wordt de groei van een gewas doorgaans vrij gedetailleerd beschreven op basis van de onderliggende fysiologische processen in interactie met de milieu-omstandigheden. Deze modellen zijn primair een hulpmiddel in het onderzoek.

In deel II worden het perceels-, bedrijfs- en regionale niveau kort besproken waar modelbouw meer in de toepassings sfeer ligt, zowel direct op het landbouwkundig bedrijf als bij ondersteuning van beleid en planning. Op perceels- en bedrijfsniveau speelt modelbouw een belangrijke rol bij de ontwikkeling van teeltbegeleidingssystemen ("decision support systems") en in de milieu-effect-evaluatie van teelt- en bedrijfssystemen. Op regionaal niveau wordt simulatie vooral toegepast voor evaluatie van landgebruik en landgebruiksplanning (agro-ecologische zonerings).

I. MODELLEN OP GEWASNIVEAU

A. POTENTIELE GEWASGROEI

1. C-huishouding

1.1. *Fotosynthese: licht- en temperatuuradaptatie van fotosynthese parameters*

Berekening van de gewasfotosynthese levert op zich weinig moeilijkheden op. Problematischer is echter de keuze van waarden voor de initiële lichtbenuttingsefficiëntie (ϵ) en de lichtverzadigde bladfotosynthese (A_{\max}). Er bestaat daarom behoefte aan meer experimenteel werk om de oorzaken van de variabiliteit op te sporen. Voor verdere verdieping van de kennis van de verschillende deelprocessen in de assimilatie (huidmondjesgedrag, Calvin-cyclus, elektronenoverdracht) bieden chlorofylfluorescentiemetingen goede vooruitzichten. De maximale bladfotosynthese is sterk afhankelijk van de voorgeschiedenis van het blad. Het is noodzakelijk deze effecten beter te kwantificeren, ook met het oog op de interpretatie van resultaten van ADC-metingen in het veld.

1.2. *Respiratie: onderhoudsrespiratie*

Modellering van de onderhoudsrespiratie is momenteel zeer zwak en speculatief, hetgeen met name de simulatie van de groei tijdens de afrijpingsfase erg onzeker maakt. Het bemoeilijkt met name ook de berekening van de groei van kasgewassen onder winterse en lichtarme omstandigheden, waar de onderhoudskosten een belangrijk deel opeisen van de relatief geringe hoeveelheid gevormde assimilaten. Het ontbreekt aan inzicht op procesniveau en aan kwantitatieve relaties. Er is daarom behoefte aan: a) experimenteel onderzoek naar deelprocessen van onderhoudsrespiratie en b) kwantitatief verklaren van op gewasniveau "gemeten" onderhoudsrespiratie (C-balansstudie met fotomobiel) op basis van simultane metingen aan donkerrespiratie op orgaanniveau (cel 9, Warburg) en gewaskarakteristieken (gehalten aan N en mineralen, elektrolyt-lekkage). Omdat de onderhoudsrespiratie met name aan het einde van de groeicyclus een belangrijke invloed heeft op de groeisnelheid verdient de onderhoudsrespiratie van opslagorganen speciale aandacht.

2. Stofverdeling en -herverdeling

2.1. *Verdeling tussen organen*

Momenteel wordt de gesimuleerde toename in drooggewicht toegewezen aan de diverse plantorganen volgens empirische verdeelsleutels als functie van het ontwikkelingsstadium (SUCROS), of in afhankelijkheid van de concurrentiepositie van het orgaan en het niveau van beschikbare koolhydraten in de plant (Ng en Loomis, 1984). De eerste benadering is een oversimplificatie die desondanks redelijk bruikbaar is, terwijl de tweede benadering voor veel doeleinden te gecompliceerd is en in zijn onderdelen niet experimenteel verifieerbaar. Internationaal bezien vertoont de modellering van de drogestofverdeling weinig progressie en een doorbraak lijkt niet op komst.

(a) Er kan waarschijnlijk volstaan worden met het volgen van de ontwikkelingen elders en voor specifieke gevallen kunnen ad hoc oplossingen gezocht worden. (b) De drogestofverdeling van soorten met een niet-gedetermineerde groeiwijze (bijvoorbeeld komkommer, tomaat, paprika) verandert echter dynamisch gedurende het seizoen in afhankelijkheid van milieu-condities en verdient speciale aandacht. (c) Schatting van de verdelingsfuncties uit groeianalysegegevens kan geobjectiveerd worden via eenvoudige statistische technieken (overleg met Groep Landbouwwiskunde).

2.2. *Dynamiëk koolhydraatreserves en "sink-source"relaties*

In veel gewassen (met name zaadgewassen, grassen) treedt een substantiële herverdeling van droge stof op als gevolg van remobilisatie van koolhydraatreserves. De opbouw van de reserves wordt gemodelleerd via een verdeelsleutel als functie van het ontwikkelingsstadium van de plant (WHEAT, uitgebreide versie SUCROS) of via de potentiële snelheid van structurele groei van de diverse organen. De translocatie van de reserves wordt beschreven in relatie tot de vraag van de sink (i.c. opslagorgaan).

Knelpunten zijn:

- bij veel groeianalyses ontbreken waarnemingen van de hoeveelheden reserves;
- modellering van de opbouw van reserves in relatie tot de potentie van de plantorganen voor structurele groei;

- modellering van de sinksterkte (met name aantal zaden en potentiële groeisnelheid per zaad, alsmede causale relaties tussen potentiële zaadvullingssnelheid en het aantal zetmeelkorrels of endospermcellen en tussen potentiële zaadvullingsduur en de toename van opslagsubstantie en afname van watergehalte in de opslagcellen);
- identificatie van triggers voor de remobilisatie van kooldraatreserves.

2.3. *Allocatie naar wortels (structurele groei, wortelrespiratie, exudatie)*

Allocatie van koolhydraten naar de wortels wordt in het algemeen beschreven via een empirische verdeelsleutel (2.1), terwijl remobilisatie en transport naar bovengrondse delen worden verwaarloosd. Deze sterk vereenvoudigde benadering voldoet redelijk bij de simulatie van de groeisnelheid van éénjarigen. Voor modellering van de groei van meerjarigen en als wordt beoogd de omvang van het wortelstelsel te modelleren ten behoeve van nutriëntenopname is een dergelijke beschrijving echter onvoldoende. In het kader van onderzoek in het rhizotron verdient dit onderdeel meer aandacht. Daarnaast verdient simulatie van de verdeling van de assimilaten over spruit en wortel volgens het principe van de functionele balans (Brouwer, 1983, 1963; De Wit et al., 1970) heroverweging.

3. Morfologie en organogenese

De morfologie van de plant bepaalt de omvang en ruimtelijke positie van die organen die nodig zijn voor de opname van de essentiële groeifactoren, i.c. blad en wortels. De aantalsdynamiek van de organen - de organogenese - is o.a. van belang voor hun sinksterkte en voor hun grootteverdeling (sortering van economisch gewenste plantorganen).

3.1. *Bladoppervlaktegroei*

De toename van de LAI wordt in het algemeen berekend door de gesimuleerde toename in bladgewicht te vermenigvuldigen met het specifieke bladoppervlak. Dit voldoet niet in de beginfase, zodat in SUCROS de bladoppervlakte toename per plant in die periode als functie van de temperatuur wordt beschreven. Meer gedetailleerde modellen zijn echter nodig voor gewassen met een lange exponentiële beginfase (maïs, suikerbiet), voor inter-plantconcurrentie (onkruiden, natuurlijke

vegetaties) en voor optimalisering van de opkweek van kasplanten (ten behoeve van het plannen van afleveren van plantgoed en voor voorspelling van tijdstip van eerste oogst). Met name elders zijn modellen ontwikkeld gebaseerd op bladafsplittingsnelheid en oppervlaktetoename van individuele bladeren (Jones & Hesketh, 1980). CABO/TPE lopen op dit gebied achter en het lijkt wenselijk meer aandacht aan dit onderwerp te besteden, met name bij maïs, onkruiden, grassen en kasgewassen.

3.2. *Bladveroudering*

Bladsterfte wordt in het algemeen beschreven als een empirische functie van het ontwikkelingsstadium van het gewas (SUCROS) of door een bepaalde levensduur aan opeenvolgende bladklassen toe te kennen (WOFOST, WHEAT). Beide benaderingen zijn vrij onnauwkeurig, terwijl gesimuleerde gewasopbrengsten tamelijk gevoelig zijn voor de modellering van de bladveroudering. Er is meer experimenteel onderzoek nodig naar de invloed van diverse factoren (ziekten, stikstof, droogte, temperatuur, licht) op de bladlevensduur en de daaraan gekoppelde bladfotosynthesekarakteristieken tijdens de verouderingsfase. De Wageningse gewasgroeimodellen zijn primair fotosynthesemodellen, waarin de effecten op de leaf area index (welke uitermate belangrijk zijn bij verklaring van de invloed van stressfactoren) veel te simpel worden behandeld.

3.3. *Zijspruitvorming (granen, grassen) en vertakking (koolzaad, etc.)*

Modellering van spruitvorming en vertakking is relevant voor gedetailleerde modellen van LAI-toename en voor de berekening van het aantal opslagorganen (sinksterkte, sortering). Beide processen lijken redelijk te beschrijven op basis van bladafsplittingsnelheid en minimale assimilatenbehoefte voor uitlopen van okselknoppen. Dit terrein is modelmatig onderontwikkeld. Daarom is er behoefte aan:

- granen: uitbouwen van reeds ontwikkelde modellen voor spruitvorming;
- grassen: ten aanzien van spruitvorming loopt een samenwerkingsproject van de vakgroep Landbouwplantenteelt en CPO;
- vertakking: literatuuronderzoek.

3.4. *Organogenese: aantalsdynamiek van organen*

De populatiebenadering op orgaanniveau is, in vergelijking met de productfysiologie, in het Wageningse sterk ondergewaardeerd (zie 3.3). Het lijkt gewenst hier een algemeen onderzoeksproject voor te formuleren.

3.5. *Wortelgroei en -verdeling*

Dit is met name van belang voor de modellering van nutriëntenopname en de invloed van bodempathogenen al dan niet in interactie met droogte en nutriëntentekort. Gezien het toekomstige rhizotron-onderzoek zou een vrij eenvoudige module voor de ontwikkeling van het wortelsysteem moeten worden ontwikkeld, die aan SUCROS is te koppelen. De modellen van Huck & Hillel (1983) en Brugge & Thornley (1985) zouden als uitgangspunt kunnen fungeren.

4. Fenologie

4.1. *Detaillering van de ontwikkelingsstadia*

In de meeste modellen worden slechts drie cruciale ontwikkelingsstadia onderscheiden, te weten opkomst, bloei (of begin van de vulling van de opslagorganen) en rijpheid. Deze stadia worden respectievelijk als 0, 1 en 2 ingeschaald. Het actuele ontwikkelingsstadium wordt op deze schaal bijgehouden in afhankelijkheid van de temperatuursom na opkomst. Het ontwikkelingsstadium is echter sterk bepalend voor het groeipatroon van het gewas en teelthandelingen worden vaak afgestemd op de gewasontwikkeling. Een gedetailleerde output van gewasontwikkeling in de modellen verdient aanbeveling, zowel naar de met het blote oog waarneembare stadia als naar de apex-ontwikkeling. De duur tussen de opeenvolgende stadia dient nauwkeurig beschreven te worden in relatie tot temperatuur, daglengte, vernalisatiebehoefte en wellicht het optreden van stressfactoren.

4.2. *Invloed van daglengte op ontwikkelingssnelheid*

Naast temperatuur beïnvloedt met name de daglengte de ontwikkelingssnelheid. Voor granen zijn semi-empirische functies ontwikkeld. Voor andere gewassen (o.a. aardappel) zou dit ook moeten gebeuren.

5. Inhoudstoffen en kwaliteit

Het gehalte aan inhoudstoffen varieert met het ontwikkelingsstadium van het gewas en wordt in het algemeen ook beïnvloed door de C- en N-huishouding. Gewasgroeisimulatie kan daardoor bijdragen aan een beter inzicht in het effect van diverse factoren op het gehalte aan inhoudstoffen. Een modelmatige benadering dwingt ook tot een nauwkeurige definitie van het begrip "kwaliteit", hetgeen op zich al een impuls aan het onderzoek kan geven. Samenwerking met andere instituten (met name ATO, RIKILT, IGMB, NIBEM) lijkt een vereiste. Enkele algemene onderwerpen zijn:

5.1. Watergehalte van het oogstprodukt

Dit is met name belangrijk in de tuinbouw en er bestaat daar behoefte aan zowel eenvoudige regressiemodellen als aan gedetailleerde, verklarende beschrijvingen voor de invloed van ontwikkelingsstadium en milieufactoren op het watergehalte van het te oogsten orgaan. Het watergehalte speelt daarnaast bij de voorspelling van de verse opbrengst van aardappelen en suikerbieten en het gewenste oogsttijdstip van snijmaïs. Tevens hangt bij sommige gewassen de "kwaliteit" van het produkt af van dat watergehalte.

5.2. Verteerbaarheid veevoedergewassen (maïs, gras)

Van belang zijn met name de dynamiek van koolhydraatreserves, het eiwitgehalte, het celwandgehalte, de celwandverteerbaarheid en de verdeling van de droge stof over de diverse plantorganen.

5.3. Sortering

Bij veel gewassen is slechts een bepaalde grootteklasse van het oogstprodukt marktbaar of zijn er prijsverschillen tussen de diverse klassen: bijv. bij aardappelen, spruitkool, worteltjes en brouwgerst en in de bosbouw. Het volstaat dan niet de totale opbrengst van het oogstprodukt te simuleren, maar men dient ook het aantal te oogsten organen (bijv. knollen) te berekenen en hun gewichtsverdeling. Indien het gaat om de grootteverdeling van individuen (bomen, worteltjes) kan worden aangesloten bij de

modellen voor inter-plantconcurrentie. Voor de grootteverdeling van organen zijn statistische benaderingen beschikbaar, die in veel gevallen redelijk voldoen.

B. WATERHUISHOUDING

1. Waterhuishouding van de bodem

1.1. *Bodemfysische parameters*

De grootste bottle-neck voor het nauwkeurig simuleren van de waterbalans in de bodem is de geringe beschikbaarheid van goede bodemfysische gegevens. Dit hangt mede samen met de heterogeniteit van de bodem, die het moeilijk maakt deze karakteristieken met voldoende nauwkeurigheid te bepalen. Onderzoek op dit gebied ligt niet direct op het terrein van het CABO, maar een goede samenwerking met Staringcentrum en vakgroep Bodemkunde en Geologie van LUW om wederzijds te kunnen profiteren lijkt nuttig.

1.2. *Infiltratie*

Beschrijving van infiltratie lijkt niet al te moeilijk, maar in de meeste modellen wordt nog steeds "vanaf de verkeerde kant" gewerkt, dat wil zeggen oppervlakkige afstroming wordt vrijwel altijd als een "forcing functie" ingevoerd, waaruit de infiltratie wordt berekend. Een beschrijving waarbij oppervlakkige afstroming als resultaat volgt uit de infiltratiecapaciteit en de regenvalintensiteit, rekening houdend met de helling, zou te prefereren zijn. Zowel het gesignaleerde gebrek aan goede bodemfysische parameters, als de geringe beschikbaarheid van voldoende gedetailleerde regenvalgegevens, maken de kansen op het ontwikkelen van een dergelijke module op korte termijn niet erg waarschijnlijk.

1.3. *Bodemverdamping*

Er zijn een aantal "vereenvoudigde" of "geparameteriseerde" beschrijvingen van de verdamping van de bodem in omloop. Het zou aanbeveling verdienen nog eens na te gaan, in hoeverre deze beschrijvingen verschillende resultaten opleveren, en hoe die resultaten zich verhouden tot die van een meer deterministisch model van vocht- en damptransport in de bodem. Samenwerking met Staringcentrum lijkt ook hier voor de hand te liggen.

1.4. *De gasfase van de bodem*

Als complement van de waterfase van het totale poriënvolume, hangt de gasfase af van het bodemvochtgehalte. Met name voor processen als denitrificatie en opname van water en nutriënten door het wortelstelsel, is kennis van de samenstelling van de gasfase van belang. Modelmatig is hier tot nog toe weinig aandacht aan besteed, maar met name in samenhang met het onderzoek in het rhizotron zou dat uitgebreid kunnen worden.

2. Waterhuishouding van het gewas

2.1. *Potentiële gewasverdamping*

Gedetailleerde berekening van de (potentiële) gewasverdamping via een kwantitatieve beschrijving van de energiebalans van het gewas lijkt op het ogenblik geen grote moeilijkheden op te leveren. Wel bestaat er nog steeds een discrepantie tussen "theorie" en "praktijk" met betrekking tot het waterverbruik van met name C4-gewassen (maïs) onder Nederlandse omstandigheden. Het verdient aanbeveling nog eens systematisch (misschien in samenwerking met Staringcentrum) de beschikbare experimentele gegevens te evalueren en te vergelijken met simulatieresultaten. De invloed van de interne CO₂ concentratie op de huidmondjesopening is een aspect van de transpiratieberekeningen dat nodig nadere experimentele onderbouwing verdient.

Er wordt op dit ogenblik gewerkt aan vereenvoudigde beschrijvingen van de (potentiële) gewasverdamping, die in "samenvattende" modellen gebruikt kunnen worden. Ook deze lijken voor hun doel bruikbare resultaten op te leveren.

De behandeling van door het gewas onderschept regenwater in de potentiële verdampingsberekening verdient meer aandacht.

2.2. *Wateronttrekking in relatie tot worteldichtheid en -verdeling*

Berekening van de uiteindelijke bewortelingsdiepte van het gewas, in relatie tot bodemfysische en bodemchemische eigenschappen, vormt vaak een knelpunt in de simulatie van de bodemwaterbalans.

Met betrekking tot de opname van water door wortels uit de grond bestaat er geen eenheid van opvatting. In de meeste gevallen lijkt een relatief simpele benadering, waarbij wortels via een wel/niet aanwezig zijn worden gekarakteriseerd, en de beschikbaarheid van water in de bodem via de parameters "veldcapaciteit" en "verwelkingspunt", redelijke resultaten te geven. Echter, in meer extreme situaties, zoals zwaardere gronden, langdurige droogte, etc. moeten waarschijnlijk een aantal andere karakteristieken in de beschouwing worden betrokken, zoals worteldichtheid en de bewortelbaarheid van de bodem (rondom of in structuurelementen). Met name in het ontwikkelingsgerichte onderzoek zullen deze aspecten meer aandacht verdienen. Het ligt voor de hand ook hier weer aansluiting te zoeken bij Staringcentrum, en mogelijk IB, omdat worteldichtheid ook een belangrijke rol kan spelen in verband met de nutriëntenhuishouding.

2.3. Gewasgroei-reductie ten gevolge van watertekort of -overmaat

Opvallend is dat in de gewasgroei-modellen steeds een eenvoudige, empirische functie wordt gebruikt voor de relatie tussen waterbeschikbaarheid en groei-reductie, soms gemodificeerd via de potentiële evapotranspiratie. Knelpunt is de parameterisatie van deze functie voor de verschillende gewassen, te meer daar tengevolge van aanpassingsmechanismen de parameters van een gewas verschillend kunnen zijn voor gematigde en continentale klimaten en voor korte en langdurige droge perioden.

Mechanistische modellen, gebaseerd op plantwaterpotentialen, zijn in het verleden wel ontwikkeld, maar die voldoen niet, onder meer ten gevolge van de rechtstreekse invloed van de bodemwaterpotentialen op de huidmondjes-opening via de ABA-productie. Er is momenteel echter geen zicht op betere mechanistische modellen.

2.4. Secundaire invloeden van droogtestress

Droogtestress beïnvloedt niet alleen de momentane fotosynthese, maar bijv. ook de potentiële fotosynthesecapaciteit van het blad, bladlevensduur, bladstrekking-groei, accumulatie van stengelreserves, functioneel evenwicht tussen spruit en wortel, sinkcapaciteit (zaadzetting) en watergehalte van het te oogsten produkt. Deze "secundaire" effecten zijn nog niet of nauwelijks in de modellen opgenomen. Met name de invloed van droogtestress op bladontwikkeling verdient meer aandacht.

Op het belang van watergehalte als kwaliteitskenmerk is reeds gewezen in Subsectie A.5.1.

C. NUTRIENTENHUISHOUDING

1. Nutriëntenhuishouding in de bodem

1.1. Stikstofhuishouding

Veel aandacht is de laatste jaren besteed aan simulatie van de stikstofhuishouding in de bodem. De resultaten zijn zeer wisselend (zie bijv. Groot en Van Keulen, 1989). Het lijkt er op, dat de beschikbaarheid van stikstof voor een gewas, op een heel groeiseizoen betrokken, vrij goed kan worden gesimuleerd. Er blijken echter zeer grote discrepanties op te treden wanneer gedetailleerd de stikstofdynamiek in de bodem gevolgd wordt. Blijkbaar is het inzicht in de processen die op korte termijn een rol spelen nog onvoldoende. Dat geldt zowel ten aanzien van afbraak van organische stof en de daarbij optredende mineralisatie en/of immobilisatie van stikstof, als ten aanzien van het lot van toegediende kunstmeststikstof. Deze onzekerheid maakt het gebruik van simulatiemodellen bij de stikstofadvisering tot een hachelijke zaak (Van Keulen et al., 1988). Op dit ogenblik wordt op IB ruime aandacht aan deze problematiek geschonken en een nauwe samenwerking met die instelling lijkt dan ook op zijn plaats.

1.2. Fosfor en kali-huishouding

Kwantitatieve beschrijvingen van de kringloop van andere voedingselementen in de bodem - fosfor, kali - zijn veel minder ontwikkeld dan die voor stikstof. Toch is, zowel met het oog op de milieuproblematiek in het agrarisch en bosbouwkundig landgebruik in Nederland, als met het oog op de limiterende factoren in bijv. de Sahel, simulatie van de fosforcyclus een belangrijk onderwerp. Er kan in dit verband gedacht worden aan een samenwerking met de Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, LUW, waar voor beide eerder genoemde onderwerpen ook actieve belangstelling bestaat. Wanneer het PSS project op gang komt, zou gedacht kunnen worden aan het inzetten van een "bij het project geleverde" junior onderzoeker voor zo'n onderwerp.

2. Nutriëntenhuishouding van het gewas

2.1. *Invloed worteldichtheid op opname*

Een onderwerp dat in de belangstelling staat is de invloed van omvang en morfologie van het wortelstelsel op de opnamecapaciteit voor nutriënten. Aansluitend bij het werk dat op dit gebied bij het IB gebeurt wordt binnen SARP naar deze problematiek gekeken. Met name is hierbij van belang de interactie tussen water- en nutriëntenbeschikbaarheid, en het effect van uitdrogen van de bodem op de opnamecapaciteit van het wortelstelsel of de relatieve beschikbaarheid van nutriënten. Bij het concretiseren van in het rhizotron uit te voeren onderzoek dient deze problematiek aandacht te krijgen. Voor het ogenblik wordt dit onderzoek binnen SARP gecoördineerd, en het verdient aanbeveling het onderwerp in de gaten te houden, wanneer SARP in zijn huidige vorm afloopt.

2.2. *Verdeling en herverdeling tussen de organen*

Een tweede aspect dat aandacht verdient is de verdeling en herverdeling van nutriënten over de verschillende organen van de plant. Dit sluit ook weer aan bij de onder A genoemde onderwerpen, met name:

- Bladoppervlaktedynamiek. Stikstof bevordert de bladstrekking en daarmee de bladoppervlaktetoeename, terwijl stikstofgebrek veroudering van het bladapparaat bespoedigt. Een invalshoek voor de bladveroudering zou de vraag kunnen zijn in hoeverre herverdeling van met name stikstof tijdens de vulling van de opslagorganen een autonoom proces is, waardoor het wordt geregeld, en of door management invloed daarop kan worden uitgeoefend (vergelijk "zelfdestructie", cf. De Wit en Sinclair, 1975, 1976). Een goede aanzet voor aanpak van dergelijk onderzoek is het werk van Groot, waarvan rapportage in de loop van 1990 verwacht mag worden. In hoeverre hierbij ook naar andere voedingsstoffen moet worden gekeken is op dit ogenblik moeilijk in te schatten.
- De functionele balans tussen bovengrondse en ondergrondse delen, die de wortelgroei beïnvloedt, maar ook de vulling van de opslagorganen bij wortel- en knolgewassen.

- Fotosynthese. De relatie tussen lichtverzadigde bladfotosynthese (A_{\max}) en bladstikstofgehalte is redelijk bekend. De geringe kennis over het verticale profiel in bladstikstofgehalte binnen het gewas en de invloed van stikstofvoorziening en uitwendige omstandigheden daarop, staan echter implementatie in groeimodellen nog in de weg.
- Onderhoudsademhaling. De kwantitatieve relatie tussen stikstofgehalte en onderhoudsademhaling is veel minder zeker dan in het verleden werd verondersteld en vraagt nader procesmatig onderzoek.
- Produktkwaliteit. Stikstof beïnvloedt diverse kwaliteitskenmerken, zoals bakkwaliteit van tarwe, brouwkwaliteit van gerst, eiwitwaarde van veevoedergewassen, nitraatgehalten in bladgroenten en gras. Deels zijn deze effecten te modelleren vanuit de verdeling van de beschikbare stikstof tussen de organen, zoals beïnvloed door hun sinksterkte, en de werkingscapaciteit van deze organen.

D. SCHADERELATIES MET BETREKKING TOT ONKRUIDEN, ZIEKTEN EN PLAGEN

Opbrengstreductie als gevolg van de aanwezigheid van onkruiden, en het optreden van ziekten en plagen kan worden verklaard uit de invloed van deze organismen op de morfo-fysiologische processen in het gewas, hetgeen de schaderelaties binnen de gewasfysiologie plaatst. Op het CABO wordt modelmatig onderzoek uitgevoerd aan gewas/onkruid-interacties (in samenwerking met TPE en VPO) en aan effecten van ziekten en plagen op gewasgroei (in samenwerking met TPE, IPO, Binnenhavenvakgroepen en IRRI).

1. Onkruiden (en natuurlijke vegetaties)

De aspecten die bij de gewas/onkruid-interactie spelen, zijn grotendeels ook van belang in het oeco-fysiologisch onderzoek van natuurlijke vegetaties.

1.1. Concurrentie

In de modellen wordt concurrentie beschreven via de verdeling van de beschikbare hoeveelheden licht, water en nutriënten tussen de verschillende soorten in de gemengde vegetatie. De procesbeschrijvingen zijn ontleend aan de gewasgroeimodellen en iedere verbetering daarin kan vrij probleemloos worden geïmplementeerd in de concurrentiemodellen. Echter in een concurrentiesituatie worden kleine verschillen in eigenschappen tussen de soorten uitvergroot. Met name van belang zijn de startpositie (kieming, vestiging, regeneratie), plantlengte en de ontwikkeling van bladoppervlak en wortelstelsel. Simulatie van de bovengrondse concurrentie om licht vraagt een nauwkeurige beschrijving van de morfologie van gewas en onkruid, met name in aanpassing op vegetatieschaduw. De concurrentiepositie van een soort met betrekking tot bodemvocht en nutriënten tendeert evenredig te zijn met de omvang van zijn wortelstelsel, waardoor de simulatie van de ondergrondse concurrentie geconfronteerd wordt met de gebrekkige modellering van wortelgroei en -verdeling.

1.2. *Kieming, vestiging en regeneratie*

Gezien het belang van de startpositie van een soort in de concurrentiestrijd verdient modellering van die startpositie speciale aandacht. Een voorlopig model voor de invloed van temperatuur, bodemvocht en kiemrust op het kiemingsverloop van zaden is ontwikkeld op TPE/CABO en dit wordt nu procesmatig uitgebouwd bij VPO/LU-Plantenfysiologie. Ons zijn echter nog geen fysiologische modellen bekend voor de vegetatieve vermeerdering en het uitlopen van meerjarige soorten.

1.3. *Effect van onkruidbestrijdingsmaatregelen*

In het kader van het onderzoek naar gereduceerd herbicidegebruik verdient het aanbeveling de effecten van herbiciden (werkzame stof, dosis, toepassingstijdstip) op de fysiologische processen van onkruid en gewas op een modelmatige wijze te beschrijven en in de concurrentiemodellen te incorporeren.

1.4. *Populatiodynamiek*

Onkruiden worden niet alleen bestreden om hun negatieve effecten in de betreffende teelt tegen te gaan, maar ook om te anticiperen op die effecten in toekomstige teelten. Voor dit strategische aspect van de bestrijding is simulatie van de lange-termijn dynamiek van onkruidpopulaties noodzakelijk. De structuur van de huidige populatiodynamische modellen voldoet redelijk. De bottle-neck wordt echter gevormd door de parameterisatie voor de diverse onkruidsoorten, hetgeen eerder op het terrein van PAGV en VPO ligt dan op dat van CABO.

2. Ziekten en plagen

Op TPE/CABO is reeds veel modelmatig, gewasfysiologisch onderzoek verricht naar de invloed van ziekten en plagen op gewasgroei, bijvoorbeeld ten aanzien van bladschimmels bij granen en aardappelen, bladluizen bij granen, virus in suikerbiet en bodempathogenen bij aardappelen. Voor een overzicht van de modelmatige benaderingen zie Rabbinge et al. (1989). Met name de

dynamiek van het bladoppervlak, zoals beïnvloed door ontbladering, veroudering, hergroei, etc., is hierbij van belang.

Iedere keer weer blijkt dat de koppeling met gewasgroeimodellen grensverleggend werkt omdat het de gebruikelijke planteziektenkundige benadering, die eenzijdig op het pathogeen is gericht, goed aanvult. Het verdient aanbeveling het gewasfysiologisch onderzoek naar schaderelaties tot een zwaartepuntsprogramma te maken, gezien het belang:

- maatschappelijk, voor teeltbegeleidingssystemen en geïntegreerde landbouw;
- wetenschappelijk, vanuit de vrij unieke positie van CABO/TPE op dit terrein (samen met enkele instellingen in de US).

Samenwerking met de planteziektenkundige vakgroepen en IPO is noodzakelijk vanwege hun kennis van het pathogeen en ten behoeve van de koppeling aan de epidemiologische modellen.

E. TOEPASSING VAN MODELBOUW EN SIMULATIE IN HET EXPERIMENTELE ONDERZOEK

Naast verdere ontwikkeling van de methodologie van simulatie en systeemanalyse wordt in het bovenstaande ook aandacht geschonken aan bevordering van de toepassing van modellen als hulpmiddel bij het onderzoek. Ook binnen CABO zou de toepassing nog sterk verbeterd en uitgebreid kunnen worden. Mogelijke stappen in deze richting zouden kunnen zijn:

(a) het stimuleren van sterk vereenvoudigde, modelmatige benaderingen. Een modelmatige aanpak kan zeer nuttig zijn in het experimentele, gewasfysiologische onderzoek. Dat eist in het algemeen dat:

(i) de modellen simpel zijn omdat experimentators doorgaans geen modelbouwers zijn;

(ii) het model wordt toegespitst op de vraagstelling (overbodig detail verwijderen, bijv. door de subroutines voor de berekening van de gewasfotosynthese te vervangen door een gemiddelde lichtbenuttingsefficiëntie);

(iii) het model dermate eenvoudig is dat het in de betreffende onderzoekspublikatie op een voor de lezer verifieerbare wijze kan worden uitgelegd (gedetailleerde modellen zijn voor de lezer een "black box" en resultaten van deze modellen overtuigen dan ook niet echt);

(iv) het model een grote beschrijvende kracht heeft, dat wil zeggen dat de behandelingseffecten in het experiment gekarakteriseerd kunnen worden met enkele (zo min mogelijk) modelparameters. SUCROS is daarvoor ongeschikt en gewasfysiologisch verantwoorde regressiemodellen zijn vereist. Bovenstaande eisen gelden ook voor modules in teeltbegeleidingssystemen.

(b) het ontwikkelen van een reeks van gewasgroeimodellen, naar opklimmend detail, en

(c) het parameteriseren van deze modellen voor de belangrijkste gewassen, met name voor de Nederlandse situatie. De afleiding van de gewasparameters en de toetsing van de geparameteriseerde modellen dienen gedocumenteerd te worden.

(d) het samenstellen van een bundel met resultaten van Nederlandse groeianalyses, te gebruiken als referentiekader voor modeltoetsing.

(e) het stimuleren dat modules worden gedocumenteerd en gepubliceerd in de vorm van CABO/TT-rapporten.

II. MODELLEN OP PERCEELS-, BEDRIJFS- EN REGIONAAL NIVEAU

Gewasgroeimodellen kunnen tot op zekere hoogte ook worden gebruikt op de hogere integratieniveaus van perceel, bedrijf en regio. Toepassingsgebieden zijn:

- Op het perceelsniveau:
 - in teeltbegeleidingssystemen ("decision support systems") in akkerbouw, weidebouw en glastuinbouw;
- Op het bedrijfsniveau:
 - milieu-effectevaluatie en ontwikkeling van geïntegreerde teelt- en bedrijfssystemen (belangrijk is daarbij de simulatie van de effluxen van nutriënten en bestrijdingsmiddelen en van de verschuivingen in soortensamenstelling van natuurlijke vegetaties binnen en buiten de agrarische produktie).
- Op het regionaal niveau:
 - evaluatie van landgebruik ("agro-ecologische zonerings"), met name op EG-schaal en in ontwikkelingslanden;
 - regionale opbrengstvoorspellingen, eventueel gekoppeld aan remote sensing;
 - inschatten van milieu-effecten op regionale schaal, zowel ten gevolge van veranderingen in bedrijfssystemen binnen de regio als grootschaliger effecten zoals klimaatsveranderingen.

Binnen de gewasfysiologie (Hoofdstuk I) worden modellen vooral gebruikt als hulpmiddel in het onderzoek, met als doel a) kennis op een kwantitatieve wijze samen te vatten en te integreren en b) een kader te geven voor de analyse van experimentele resultaten. Dit eist dat de modellen vooral verklarend zijn, dat wil zeggen de relevante processen op een causale wijze beschrijven en daarmee inzicht geven in het bestudeerde systeem. De nauwkeurigheid van de voorspellingen is ondergeschikt.

Toepassing van gewasgroeisimulatie op perceels-, bedrijfs- en regionaal niveau stelt echter andere eisen aan de modellen:

- eenvoud: de gewasgroeiberekeningen worden geïmplementeerd binnen een groter systeem, zodat zij zeer eenvoudig dienen te zijn;
- nauwkeurigheid: daarnaast dienen zij nauwkeurige opbrengstvoorspellingen te genereren, hetgeen in het algemeen een relatief eenvoudig groeimodel

eist dat grondig gecalibreerd is op actuele opbrengstcijfers in het doelmilieu;

Daarnaast voor het uitgebreide model:

- optimalisering: omdat men vaak wil komen tot een advies over de optimale keuze van (teelt)maatregelen bij een veelvoud van (produktie)doelstellingen gaan optimaliseringstechnieken een belangrijke rol spelen.

A. ONTWIKKELING VAN TEELTBEGELEIDINGSSYSTEMEN

Het ontwikkelen van teeltbegeleidingssystemen is niet in eerste instantie een verantwoordelijkheid van CABO, maar ligt meer op het terrein van de proefstations. Ondanks alle nog optredende moeilijkheden, lijkt echter het toepassen van gewasgroeisimulatiemodellen als onderdeel van dergelijke systemen veelbelovend. Bij het "gebruiksklaar" maken van de modellen ligt wel een taak voor het CABO.

Een eerste activiteit die binnen dit kader past is het project van Spitters/Van Kasteren/Van Diepen "Ontwikkeling van gewasgroeimodellen voor teeltbegeleiding en opbrengstraming van akkerbouwgewassen". Binnen dat project zal gewerkt worden aan het ontwikkelen, parameteriseren en testen van relatief simpele groeimodellen voor de voornaamste akkerbouwgewassen voor Noordwest-Europese omstandigheden. Het lijkt voor de hand te liggen bij een dergelijk project ook PAGV te betrekken, met name omdat daar mogelijkheden lijken te liggen om via aanvullende waarnemingen bij de vele daar uitgevoerde proeven, relatief snel de beschikking te krijgen over verschillende datasets. In de glastuinbouw bestaat naast het gebruik van eenvoudige modellen ook belangstelling voor incorporatie van gedetailleerde, fysiologisch gebaseerde modellen in teeltbegeleidingssystemen.

Een andere activiteit in dit kader kan aansluiten bij de ontwikkeling van informatiemodellen voor de landbouw. Door Graumans et al. (1989) wordt opgemerkt: "Over processen als plantengroei, parasiet-ontwikkeling, het gedrag van stikstof in de bodem, etc. is veel bekend. Maar omdat vaak nog onvoldoende bekend is hoe met kennis van deze processen de beslissing van de ondernemer kan worden ondersteund, zijn dergelijke processen niet in het informatiemodel vermeld". Er bestaat echter wel degelijk behoefte aan dergelijke informatie, om de integratie van bestaande simulatiemodellen in beslissingsondersteunende systemen te bevorderen. Een aanzet daartoe kan worden gegeven via het project "Integratie van gewassimulatie in een informatiemodel", dat in 1989 van start zal gaan als een gezamenlijke CABO/PAGV activiteit. In eerste instantie gaat het daarbij om het vaststellen welke informatie, zowel wat betreft voor simulatiemodellen benodigde invoer, als door simulatiemodellen gegenereerde uitvoer, in het informatiemodel moet worden opgenomen en op welke wijze.

Het directe gebruik van simulatiemodellen in teeltbegeleidingssystemen (of "decision support systems") is nog betrekkelijk gering. Er wordt (op een

sterk vereenvoudigde manier) gebruik gemaakt van modellen in het EIPRE-systeem (Drenth en Stol, 1990), terwijl internationaal gezien als voorbeelden gegeven kunnen worden het expert-systeem COMAX (Lemmon, 1986), dat gebruik maakt van het simulatiemodel GOSSYM (Baker et al., 1983) om adviezen te genereren met betrekking tot irrigatie, stikstofbemesting en oogsttijdstip voor katoen; FLEXCROP, dat bemestingsadviezen voor tarwe genereert (Acock, 1989); COFARM, dat grondbewerkings- en bemestingsadviezen genereert, gebruik makend van het Nitrogen-tillage-residue management model NTRM (Shaffer and Larson, 1982); het SIRATAC systeem (Australië) dat gebruikt wordt bij advisering van irrigatie en ziektebestrijding in katoen (Hearn et al., 1981). Het is te verwachten dat de belangstelling voor dit soort gebruik van modellen zal toenemen in de nabije toekomst, en CABO zal zich moeten afvragen in hoeverre ze daarbij betrokken wil zijn (worden).

B. OPTIMALISERINGSTECHNIEKEN

In de tegenwoordige situatie waar landbouw niet meer alleen (of als voornaamste) doelstelling heeft de produktie van voedsel, maar vele andere aspecten van het gebruik van het landelijk gebied een rol spelen, wordt het steeds belangrijker zo optimaal mogelijk gebruik te maken van de natuurlijke hulpbronnen. Optimaliseringstechnieken vormen daarbij een belangrijk hulpmiddel, dat met de toenemende beschikbaarheid en capaciteit van computers gemakkelijker toepasbaar is geworden. Een in het landbouwkundig onderzoek reeds lang gebruikte techniek is die van de lineaire programmering.

Op CABO is de laatste jaren vooral ervaring opgedaan met de interactieve meervoudige doelprogrammering (De Wit et al., 1988; Van Keulen en Van de Ven, 1988), die het mogelijk maakt verschillende, deels tegenstrijdige, doelstellingen met elkaar te vergelijken. Hiertoe wordt eerst gekeken in hoeverre ieder van de afzonderlijke doelstellingen gerealiseerd kan worden, wanneer aan de overige doelstellingen geen restricties worden opgelegd. Vervolgens wordt nagegaan wat het effect van steeds stringentere voorwaarden voor een of meer van de doelstellingen is op de realiseerbaarheid van de andere doelstellingen. Daarbij ontstaat tenslotte een situatie waarbij een doelstelling alleen maar meer volledig gerealiseerd kan worden ten koste van realisatie van een of meer van de andere doelstellingen. Op die manier kan de "speelruimte" voor beleid worden vastgesteld, en kunnen de verschillende doelstellingen in elkaar worden uitgedrukt, bijv. zoveel minder gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen leidt tot een zodanige verlaging van het arbeidsinkomen van de ondernemer.

Tot nu toe is (wordt) deze methodologie toegepast op regionaal niveau. Voor toepassing op bedrijfsniveau zal met een aantal andere aspecten rekening gehouden moeten worden, zoals bedrijfsgrootte, arbeidsbeschikbaarheid in de tijd, vruchtwisselingseisen, etc. In het kader van het onderzoek naar de mogelijkheden voor geïntegreerde landbouwproduktiesystemen zal meer aandacht voor optimalisatie op het bedrijfsniveau nodig zijn, om micro- en macro-niveau op een zinvolle manier aan elkaar te kunnen koppelen. Voorstel is dan ook om indien in het kader van het "aanvullend onderzoeksplan" additionele capaciteit ter beschikking komt, deze op dit gebied in te zetten.

III. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De gedetailleerde gewasfysiologische modellen dienen vooral als onderzoeksinstrument. Verdere ontwikkeling en gebruik van deze modellen zal dan ook hand in hand met het experimentele onderzoek gaan. De belangrijkste knelpunten liggen momenteel bij de modellering van:

- (1) bladoppervlakedynamiek, met name in relatie tot stressfactoren;
- (2) "sink-source" relaties en organogenese (bij zaadgewassen: aantal zaden en vullingssnelheid en -duur per zaad);
- (3) onderhoudsademhaling.

Voor ieder van de aandachtspunten lopen er projecten. Waar mogelijk zouden deze projecten versterkt moeten worden. Daarnaast kunnen de onderwerpen meer voor het voetlicht gebracht worden binnen de themagroepen en in het kader van de themadagen, en wel via modelmatige presentaties. Het zij benadrukt dat de problemen met name zijn terug te voeren op onvoldoende inzicht in de relevante processen, dat met gericht experimenteel onderzoek verbeterd moet worden.

Toepassingsgebieden van gewasgroeimodellen liggen enerzijds op gewas- en perceelsniveau en anderzijds op bedrijfs- en regionaal niveau. Op gewasniveau is dit bij teeltbegeleiding en kasklimaatregeling. Op bedrijfsniveau is dit bij de ontwikkeling van geïntegreerde teelt- en bedrijfssystemen, welke naast de agrarische produktiedoelstelling tevens een minimaal gebruik van schaarse grondstoffen en een minimale emissie van ongewenste stoffen beogen. In deze systemen nemen nutriëntenbalansen en geleide bestrijding een belangrijke plaats in. Om die reden lijkt het nodig het meer fundamentele modelwerk op het gebied van schaderelaties van ziekten en plagen en op het gebied van oecofysiologische relaties bij onkruiden en natuurlijke vegetaties extra impulsen te geven.

Modellen maken het ook mogelijk de effecten van maatregelen op bedrijfsniveau door te rekenen naar een regionale context.

Met betrekking tot toepassing van optimaliseringstechnieken lijkt de aandacht zich vooral te moeten richten op de vraag hoe optimalisering op regionaal niveau gekoppeld kan worden aan optimalisering op bedrijfsniveau, met name voor de ontwikkeling van geïntegreerde landbouwsystemen, waar doelstellingen op beide niveau's van integratie een rol (kunnen) spelen.

- Keulen, H. van and G.W.J. van de Ven, 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development: A case study for the Mariut region (Egypt). In: (J.M. Broussard, Ed.) Agriculture. Socio-economic factors in land evaluation. Comm. Eur. Comm. EUR 11269 EN. pp. 36-56.
- Keulen, H. van, J.J. Neeteson, C.F.M. Belmans and J.J.R. Groot, 1988. Blijvende aandacht voor verfijning van stikstofbestedingsadviezen wintertarwe. Meststoffen 2, 18-22.
- Kropff, M., 1988. Modelling the effects of weeds on crop production. Weed Res. 28, 465-471.
- Lemmon, H., 1986. COMAX - an expert system for cotton crop management. Science 233, 29-33.
- Ng, E. and R.S. Loomis, 1984. Simulation of growth and yield of the potato crop. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 147 pp.
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Janssen, H. ten Berge and H.A. Bakema, 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29, Pudoc, Wageningen. 271 pp.
- Rabbinge, R., S.A. Ward and H.H. van Laar (Eds.), 1989. Simulation and systems management in crop production. Simulation Monographs 32, Pudoc, Wageningen. 420 pp.
- Shaffer, M.J. and W.E. Larson (Eds.), 1982. Nitrogen-tillage-residue management (NTRM) model. USDA, ARS, St. Paul, Minnesota
- Sinclair, T.R. and C.T. de Wit, 1976. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. Agron. J. 68, 319-324.
- Sinclair, T.R. and C.T. de Wit, 1975. Photosynthesis and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189, 565-567.
- Spitters, C.J.T. and R. Aerts, 1983. Simulation of the competition for light and water in crop weed association. Asp. appl. Biol. 4, 467-484.
- Whisler, F.D., B. Acock, D.N. Baker, R.E. Fye, H.F. Hodges, J.R. Lambert, H.E. McKinion and V.R. Reddy, 1986. Crop simulation models in agronomic systems. Adv. Agron. 40, 141-208.
- Wit, C.T. de, R. Brouwer en F.W.T. Penning de Vries, 1970. The simulation of photosynthetic systems. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity, Pudoc, Wageningen, pp. 47-70.

Wit, C.T. de, H. van Keulen, N.G. Seligman and I. Spharim, 1988.

Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. Agric. Syst. 26, 211-230.

Bijlage

Groeipering van CABO-projecten naar de gehanteerde indeling. De projecten zijn ingedeeld bij het aandachtsveld waar het zwaartepunt ligt.

Vanzelfsprekend komen veelal meerdere aspecten (zijdelings) aan de orde.

I. MODELLEN OP GEWASNIVEAU

A. Potentiële gewasgroei

1. C-huishouding

1.1. Fotosynthese

737 Schapendonk, Goudriaan; 694 Ten Cate; 693 Goudriaan, Van Kraalingen

1.2. Onderhoudsrespiratie

740 De Visser, Bouma

2. Stofverdeling en -herverdeling

2.1. Verdeling tussen organen

733 Marcelis

2.2. Dynamiek koolhydraatreserves en 'sink-source' relaties

678 Dekhuijzen, Verkerke; 711 Spitters; 709 Grashoff; 701 De Visser; 751 Habekotté, Meijer, Goudriaan

2.3. Allocatie naar wortels

704 Veen; 657 Van de Geijn, Smit

3. Morfologie en organogenese

3.1. Bladoppervlaktegroei

796 Lotz, Kropff

3.2. Bladveroudering

3.3. Zijspruitvorming en vertakking

3.4. Organogenese: aantalsdynamiek van organen

3.5. Wortelgroei en -verdeling

657 Van de Geijn, Smit, 781 Smit

4. Fenologie

724 Booijs; 785 Haverkort, Kooman

4.1. Ontwikkelingsstadia

4.2. Invloed daglengte

5. Inhoudstoffen en kwaliteit

730, 760 Meijer, Vertregt; 711 Spitters

5.1. Watergehalte

621, 775 Van de Sanden

5.2. Verteerbaarheid

692 Ketelaars

5.3. Sortering

758 Haverkort

B. Waterhuishouding

*743 Ten Berge; 712 Van Keulen, Goudriaan, Spitters;
621, 775 Van de Sanden*

1. Waterhuishouding van de bodem

1.1. Bodemfysische parameters

1.2. Infiltratie

1.3. Bodemverdamping

2. Waterhuishouding van het gewas

2.1. Potentiële gewasverdamping

2.2. Wateronttrekking in relatie tot worteldichtheid en
-verdeling

2.3. Gewasgroei-reductie ten gevolge van watertekort of -overmaat

2.4. Secundaire invloeden van waterstress

C. Nutriëntenhuishouding

*743 Ten Berge; 712 Van Keulen, Goudriaan, Spitters;
767 Berendse, Bloemhof; 754 Sibma, Van der Meer*

1. Nutriëntenhuishouding in de bodem

1.1. Bodemstikstofhuishouding

1.2. Fosfor en kali

2. Nutriëntenhuishouding van het gewas

2.1. Invloed worteldichtheid op opname

743 Ten Berge

2.2. Verdeling en herverdeling tussen organen

711 Spitters, Groot; 701 De Visser

D. Schaderelaties met betrekking tot onkruiden, ziekten en plagen

1. Onkruiden (en natuurlijke vegetaties)

1.1. Concurrentie

769 Lotz, Kropff; 736, 767 Berendse, Bloemhof; 741 Best

1.2. Kieming, vestiging, regeneratie

1.3. Effecten van bestrijdingsmaatregelen

1.4. Populatiedynamiek

2. Ziekten en plagen

757 Haverkort; 759 Smit; 742 De Jong, Daamen

E. Infrastructuur voor toepassing van modelbouw en simulatie in het experimentele onderzoek

712 Van Keulen, Goudriaan, Spitters; 763 Gijzen,
Ten Cate; 793 Spitters, Van Kasteren, Van Diepen;
789 Uithol, Stol; 788 Jansen

II. MODELLEN OP BEDRIJFS- EN REGIONAAL NIVEAU

1. Teeltbegeleidingssystemen

763 Gijzen, Ten Cate; 714 Ten Berge, Penning de Vries;
787 Lotz, Kropff; 798 Van Keulen, Raven, Stol

2. Milieu-effectevaluatie

713 Aarts, 748 Van de Ven; 755, 795 Schans, Vereijken; 725,
767 Berendse, Bloemhof; 734 Nonhebel, Goudriaan,
801 Van Keulen

3. Regionale evaluatie, landgebruik

591, 643, 689 Breman, Van Keulen, De Ridder; 749 Veeneklaas,
Gosseye, Cissé; 716 Bouman; 785 Haverkort, Kooman;
710 Grashoff

4. Optimaliseringstechnieken

796 Van Keulen, Rossing