

Evaluatie van een gewasgroeimodel voor opbrengstberekening van verschillende gewassen

uitgevoerd ten behoeve van het project
'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw'

B. Habekotté

cabo-dlo

Simulation Reports CABO-TT

Simulation Reports CABO-TT is a series giving supplementary information on agricultural simulation models that have been published elsewhere. Knowledge of those publications will generally be necessary in order to be able to study this material.

Simulation Reports CABO-TT describe improvements of simulation models, new applications or translations of the programs into other computer languages. Manuscripts or suggestions should be submitted to: H. van Keulen (AB-DLO) or J. Goudriaan (TPE).

Simulation Reports CABO-TT are issued by AB-DLO and TPE and they are available on request. Announcements of new reports will be issued regularly. Addresses of those who are interested in the announcements will be put on a mailing list on request.

The DLO Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility (AB-DLO) is part of the Dutch Agricultural Research Department (DLO-NL) of the Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries.

The institute was founded on 1 November 1993 by the amalgamation of the Centre for Agrobiological Research (CABO-DLO) in Wageningen and the institute for Soil Fertility Research (IB-DLO) in Haren.

The DLO organization generates new knowledge and develops and maintains the expertise needed for implementing government policies, for improving the agro-industry, for the planning and management of rural areas and for protecting the environment.

AB-DLO, with locations in Wageningen and Haren, will carry out research into plant physiology, soil science and agro-ecology with the aim of improving the quality of soils and agricultural produce and of furthering sustainable plant production systems.

Key areas of expertise in AB-DLO are: plant physiology, soil biology, soil chemistry and soil physics, nutrient management, crop and weed ecology, grassland research and agrosystems research.

Adres:

AB-DLO

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

tel. 08370-75700

fax 08370-23110

e-mail postkamer@ab.agro.nl

Voorwoord

De huidige akkerbouwbedrijfssystemen verschillen in de mate waarin voldaan wordt aan economische en ecologische doelstellingen. Naar aanleiding van de toename van de milieubelasting in de landbouw en de door de overheid ingestelde reductie-doelstellingen voor meststoffen en chemische middelen (Anonymus, 1990a,b) en het streven naar ruimte voor invulling van een ecologische infrastructuur (Anonymus, 1989), is het van toenemend belang verschillende doelstellingen in de bedrijfsvoering te combineren. Resultaten zijn hiermee behaald binnen de geïntegreerde bedrijfsstrategie op drie proefbedrijven voor bedrijfsonderzoek (Wijnands et al., 1992b). In een gezamenlijk project van voorlichting (DLV, IKC-AGV), onderzoek (PAGV, AB-DLO, LEI-DLO) en ondernemers van de 38 innovatie-bedrijven verspreid over Nederland, wordt de geïntegreerde bedrijfsstrategie geïntroduceerd naar de praktijk (Wijnands et al., 1992a). Binnen dit project is door het AB-DLO een optimaliseringsmodel ontwikkeld, waarmee akkerbouwbedrijfssystemen modelmatig geoptimaliseerd kunnen worden naar verschillende doelen (Schans, 1994). Voor de optimalisaties is kwantitatieve informatie nodig van effecten van verschillende omgevingsfactoren en een breed scala van teelttechnieken op de geformuleerde doelvariabelen. Deze informatie is beschreven en is toegankelijk gemaakt met een daarvoor ontwikkeld model TCG_CROP (Technical Coefficient Generator for arable Crops) (Habekotté, 1994). Een gedeelte van TCG_CROP heeft betrekking op het berekenen van de gewasopbrengsten van verschillende gewassen bij uiteenlopende teelttechnieken en verschillende milieu-omstandigheden. In 1992 zijn de mogelijkheden verkend van het gebruik van een gewas-groeimodel voor het berekenen van de gewasopbrengsten. De resultaten zijn beschreven in dit rapport.

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1. Probleemstelling	3
1.2. Afbakening	3
2. Inventarisatie	5
2.1. Sucros, Wofost en Lintul	5
2.2. Weersgegevens	8
2.3. Conclusie	8
3. Validatie van Wofost	9
3.1. Inleiding	9
3.1.1. Het gewasgroeimodel Wofost	9
3.1.2. Validatie	9
3.2. Suikerbiet	10
3.2.1. Experimentele gegevens	10
3.2.2. Simulaties	12
3.3. Aardappel	12
3.3.1. Experimentele gegevens	12
3.3.2. Simulaties	12
3.4. Wintertarwe	14
3.4.1. Experimentele gegevens	14
3.4.2. Simulaties	14
3.5. Zomergerst	18
3.5.1. Experimentele gegevens	18
3.5.2. Simulaties	18
3.6. Veldboon	20
3.6.1. Experimentele gegevens	20
3.6.2. Simulaties	20
3.7. Discussie en conclusie	21
Literatuur	23

Lijst van gebruikte afkortingen

AB-DLO	Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek
CBS	Centraal Bureau voor Statistiek
CZK	Centrale zeelei
DLO	Dienst Landbouwkundig Onderzoek
DLV	Dienst Landbouwkundige voorlichting
IKC-AGV	Informatie- en Kenniscentrum-afdeling Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond
IRS	Instituut voor Rationele Suikerproductie
LEI-DLO	DLO-Landbouw Economisch Instituut
PAGV	Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond
RIJP	Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders

Samenvatting

Binnen het project 'Introductie van Geïntegreerde Akkerbouw' is door het AB-DLO een optimaliseringmodel ontwikkeld, waarmee akkerbouwbedrijfssystemen modelmatig geoptimaliseerd kunnen worden naar economische en ecologische doelen. Voor de optimalisatie is kwantitatieve informatie nodig over effecten van verschillende omgevingsfactoren en over een breed scala van teelttechnieken op de geformuleerde doelvariabelen. Deze informatie is beschreven en is toegankelijk gemaakt met een daarvoor ontwikkeld model TCG_CROP (Habekotté, 1994). Een gedeelte van TCG_CROP heeft betrekking op het berekenen van de gewasopbrengsten van verschillende gewassen bij uiteenlopende teelttechnieken en omgevingsfactoren. Met gewasmodules in TCG_CROP worden standaardopbrengsten op klei- en zandgronden en reducties van deze standaardopbrengsten door bijvoorbeeld vermindering van gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen en rotatie-effecten berekend. De opbrengst- en reductiegegevens zijn gemiddelde getallen per gewas, gebaseerd op deskundigen advies en literatuur. Gewenst zijn modules waarmee op een standaardwijze het gemiddelde opbrengstniveau en de opbrengstvariatie over de jaren berekend kan worden. In 1992 zijn daarom de mogelijkheden verkend van het gebruik van een gewasgroeimodel voor het berekenen van de gewasopbrengsten. Gekozen is voor het model Wofost (versie W5.4; Van Diepen et al., 1988, 1989) aangezien dit model gebruiksklaar is voor potentiële en vochtgelimiteerde productie-omstandigheden en geparametriseerd is voor een groot aantal akkerbouwgewassen (Boons-Prins, 1993). In eerste instantie is getest of het model opbrengstvariatie over een lange reeks van jaren en voor verschillende gewassen (suikerbiet, aardappel, wintertarwe, zomergerst en veldboon) goed simuleerd bij potentiële en vochtgelimiteerde productie-omstandigheden. Bij de validatie is gebruik gemaakt van veldproefgegevens, IRS-veldmetingen en CBS-oogstramingen.

De validatieresultaten met suikerbiet en veldboon tonen dat Wofost mogelijkheden biedt voor opbrengstschattingen bij potentiële en vochtgelimiteerde groeiomstandigheden. De resultaten met granen laten zien dat de opbrengstfluctuaties niet goed gesimuleerd worden. Voor validatie van aardappel waren alleen CBS gegevens beschikbaar, hetgeen de validatie minder betrouwbaar maakt. Geconcludeerd is dat Wofost op *korte termijn* niet geschikt is voor verbetering van de gewasmodules in TCG_CROP. De modelvalidaties bieden daarvoor (nog) niet voldoende vertrouwen en voor de overige productie-omstandigheden met nutriëntenlimitering en opbrengstderving door ziekten en plagen is het model niet gebruiksklaar.

1 Inleiding

1.1. Probleemstelling

Met behulp van een optimaliseringsmodel is het mogelijk akkerbouwproductiesystemen modelmatig te optimaliseren naar verschillende doelen (Schans, 1994). Voor de optimalisatie is kwantitatieve informatie nodig van de effecten van verschillende omgevingsfactoren en een breed scala van teelttechnieken op de geformuleerde doelvariabelen. Deze kwantitatieve informatie wordt berekend met een hiervoor ontwikkeld model TCG_CROP (Habekotté, 1994). Met gewasmodules in TCG_CROP worden standaard-opbrengsten op klei- en zandgronden en reducties van de standaard-opbrengsten door o.a. vermindering van gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen berekend. De standaard-opbrengsten zijn daarbij gedefinieerd als de opbrengsten die bij verder optimale teeltomstandigheden onder gegeven milieu-omstandigheden behaald kunnen worden. De effecten van teeltmaatregelen en vruchtwisselingseffecten worden achteraf op deze standaardopbrengsten in rekening gebracht. De opbrengst- en opbrengst reductie-gegevens zijn gemiddelde getallen per gewas, gebaseerd op deskundigen advies en literatuur. De standaardopbrengsten per gewas op klei- en zandgronden zijn daarbij gebaseerd op resultaten van proeven op regionale proefboerderijen van een aantal groeiseizoenen (minimaal 5 jaar) met ruime vruchtwisseling en optimale gewasverzorging voor het betreffende gewas.

De huidige modules bieden geen aanknopingspunten voor analyse van de invloed van opbrengstvariatie door omgevingsfactoren en telersbeslissingen op de optimalisatie van geïntegreerde teeltprincipes. Hierbij gaat het om opbrengstvariatie per gewas, maar ook om het zichtbaar maken van wel of niet samenvallende opbrengstpieken en -dalen van verschillende gewassen die in sterke mate het bedrijfssaldo bepalen. Gewenst zijn gewasmodules waarmee over een ruim aantal groeiseizoenen het opbrengstniveau en -de opbrengstvariatie berekend kan worden onder invloed van de meest bepalende omgevingsfactoren en telersbeslissingen.

1.2. Afbakening

Gewasgroeimodellen als Sucros (Spitters, 1990), Lintul (Spitters, 1987) en een met Sucros verwant model Wofost (van Diepen, 1989) bieden aanknopingspunten voor het kwantificeren van de invloed van een aantal omgevingsfactoren en telersbeslissingen op opbrengstniveau en -variatie. Daarbij kunnen de volgende productie-omstandigheden onderscheiden worden:

- 1: Potentiële produktie, waarbij de genetische eigenschappen van het gewas, temperatuur, zonnestraling en zaai- en oogstdata een rol spelen.
- 2: Vochtgelimiteerde produktie, waarbij naast boven genoemde factoren tevens de invloed van vochttekort op groei en opbrengstvorming wordt berekend.
- 3: Door nutriënten gelimiteerde produktie, waarbij naast boven genoemde factoren de invloed van nutriëntenlimitering op de groei en opbrengstvorming wordt berekend.
- 4: Door ziekten en plagen bepaald opbrengstniveau waarbij naast boven genoemde factoren de invloed van ziekten en plagen op de groei en opbrengstvorming wordt berekend.

In deze studie zal in eerste instantie worden verkend welke van de genoemde gewasgroeimodellen op *korte termijn* de beste mogelijkheden bieden voor verbetering van de TCG_CROP-gewasmodules voor het berekenen van de gewasopbrengsten (hoofdstuk 2). Vervolgens zal het model worden getoetst met behulp van experimentele gegevens (hoofdstuk 3).

2. Inventarisatie

2.1. Sucros, Wofost en Lintul

Een goed overzicht over gebruik, mogelijkheden en beperkingen van de gewasgroeimodellen Sucros, Wofost en Lintul biedt het artikel van Spitters (1990): 'Crop growth models: their usefulness and limitations'. Onderscheid wordt gemaakt in regressiemodellen en mechanistische modellen. Met de mechanistische modellen (zoals Sucros, Wofost, Lintul) wordt getracht de groei, ontwikkeling en opbrengstvorming te verklaren aan de hand van fysiologische processen in relatie tot omgevingsfactoren (eco-fysiological models). De verschillende processen kunnen op verschillende niveaus beschreven worden als gewasniveau, orgaanniveau en celniveau. Zowel in Lintul als in Sucros en Wofost worden de volgende processen onderscheiden:

- lichtinterceptie;
- lichtbenutting voor totale biomassaproductie;
- verdeling van drogestof;
- gewasontwikkeling.

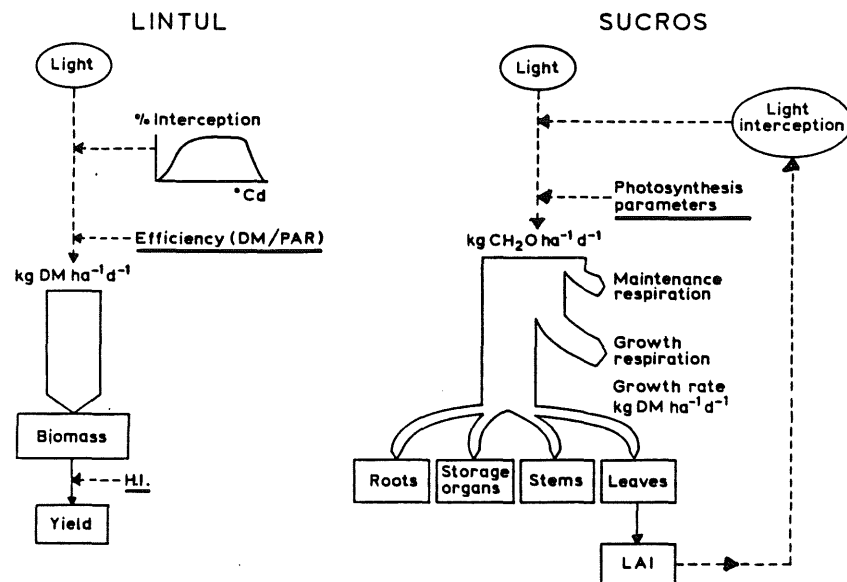
Deze modellen onderscheiden zich vooral door het niveau van procesbeschrijving, maar ook door de gedetailleerdheid van de procesbeschrijving (Fig. 1). Wat betreft het niveau wordt bijvoorbeeld de lichtbenutting voor totale biomassaproductie in Lintul beschreven op gewasniveau met behulp één parameter: de gemiddelde lichtbenuttingsefficiëntie. In Sucros en Wofost wordt de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op onderliggende processen op orgaanniveau: fotosynthese- en respiratiekarakteristieken van verschillende plantorganen in het gewas. Wat betreft gedetailleerdheid kan onderscheid gemaakt worden in het statisch of dynamisch beschrijven van een proces, zoals de oogstindex bij Lintul (statisch, gewasniveau) en een aan de ontwikkeling van het gewas gerelateerde verdeling van dagelijkse gewasgoei over de plantorganen bij Sucros en Wofost (dynamisch, gewasniveau). Stressfactoren (limitering van groei en opbrengstvorming door vocht, nutriënten, en ziekten en plagen) kunnen door een reductie op de eindopbrengst (statisch) of door invloed op verschillende deelprocessen (dynamisch) in het model worden opgenomen. De statische benadering sluit goed aan bij de meest eenvoudige Lintul versie (Fig. 1). Een dynamische benadering vergt kennis van de mate van stress gedurende het groeiseizoen en de invloed daarvan op de genoemde deelprocessen (Fig. 2; Spitters en Schapendonk, 1989).

Bij gebruik van modellen is het dus van belang criteria te formuleren op basis waarvan een keuze gemaakt kan worden ten aanzien van het niveau en de gedetailleerdheid waarmee de verschillende processen beschreven dienen te worden. Bij het gebruik voor onderzoeksdoel-einden hangt de keuze af van het onderzoeksdoel. Bij gebruik voor oogstvoorspelling hangt deze keuze af van de mate van betrouwbaarheid waarmee de deelprocessen en de eindopbrengst in afhankelijkheid van omgevingsfactoren gesimuleerd kunnen worden. Deze laatste toepassing sluit aan bij de geformuleerde probleemstelling in 1.2: 'gewenst zijn gewasmodules waarmee over een ruim aantal groeiseizoenen het opbrengstniveau en de opbrengstvariatie berekend kunnen worden onder invloed van omgevingsfactoren en telersbeslissingen'.

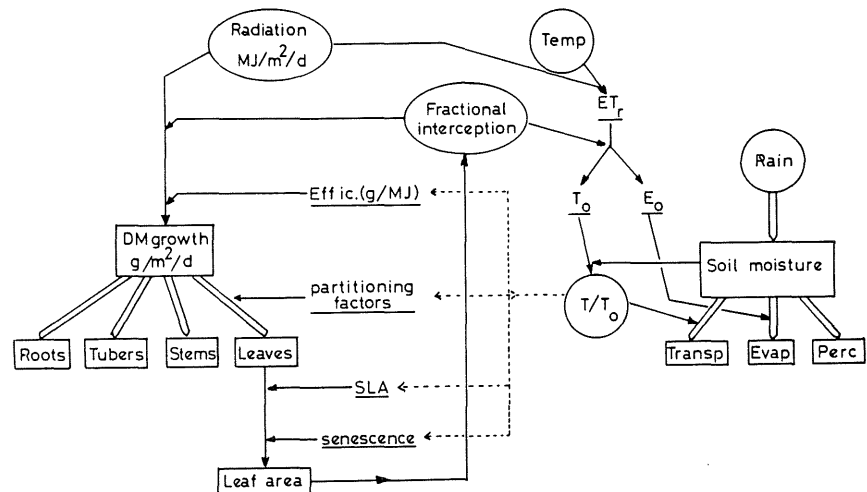
Parameterschatting speelt bij de oogstvoorspelling een grote rol. Op basis van literatuur kan meestal een idee verkregen worden van de grootte orde van de verschillende parameterwaarden (spreiding van de waarde per parameter). Deze invulling van de parameterwaarden is echter te globaal voor nauwkeurige opbrengstberekening op een specifieke locatie. Daarvoor

is het van belang de parameterwaarden op elkaar af te stemmen voor de specifieke locatie. Deze concrete invulling (calibratie) is mogelijk via 'trial & error' en via optimaliseringstechnieken (Stol et al., 1992). Bij het onderscheiden van verschillende niveaus en veel detail vereist parametrisering van een proces zoals b.v. totale biomassa-productie in Sucros en Wofost, kennis van een groot aantal parameters in relatie tot omgevingsfactoren, ontwikkeling van het gewas en gewasprofiel. Gegevens die in het meest gunstige geval uit gedetailleerde experimenten te halen zijn, maar niet voldoende bekend zijn voor uiteenlopende veldomstandigheden waar ook de vocht- en nutriëntenvoorziening een rol spelen. Daarbij komt, dat niet alle mogelijke omgevingsfactoren en telersbeslissingen en van belang zijnde gewasfysiologische processen in de modellen expliciet zijn geformuleerd. De invloed van deze 'secundaire' factoren en processen (zoals bodemverdichting; ongelijkmatigheden van een praktijk-perceel voor wat betreft groei-bepalende factoren; 'minor pathogens') worden dus bij calibratie impliciet in de parameterwaarden verwerkt. Bij een eenvoudige procesbeschrijving, zoals de lichtbenuttingsefficiëntie in Lintul worden de secundaire factoren en processen impliciet in één parameterwaarde opgenomen. Bij een uitgebreide procesbeschrijving, zoals de totale biomassa-productie in Sucros en Wofost wordt de invloed van de secundaire factoren en processen verdeeld over alle (> 10) of een geselecteerd aantal parameters die bij de totale biomassa-productie een rol spelen (Boons-Prins, 1993). Secundaire factoren verschillen per locatie, zodat afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid van de opbrengstvoorspelling, voor verschillende locaties opnieuw calibraties uitgevoerd dienen te worden. Wanneer vooral het gemiddelde opbrengstniveau maar *niet* de opbrengstvariatie beïnvloed wordt door de locatie-specifieke omstandigheden, kan deze werkwijze mogelijk vereenvoudigd worden door de introductie van een locatiespecifieke opbrengstreductie-factor. De concrete invulling van de parameterwaarden (calibratie) en de validatie van de modellen (toetsing met onafhankelijke gegevens) kan dan uitgevoerd worden met goed beschreven en gedetailleerde veldproeven voor verschillende teeltomstandigheden met potentiële, vochtgelimiteerde, nutriëntengelimiteerde en door ziekten en plagen bepaalde groei en opbrengstvorming. Actuele opbrengstniveaus te verwachten onder vergelijkbare milieuomstandigheden maar met verschillen in locatiespecifieke factoren in verschillende regio's, kunnen dan mogelijk berekend worden met een locatie-specifieke opbrengstreductie-factor. Deze factor is mogelijk af te leiden door vergelijking van de berekende gemiddelde potentiële opbrengst met het model met een maximaal telersniveau per locatie-eenheid (zoals b.v. regio, bodemsoort e.d.).

Vóór overgegaan kan worden op het berekenen van de opbrengstvorming voor de verschillende teeltomstandigheden en het bepalen van een opbrengstreductiefactor voor verschillende locaties, is het van belang uit te gaan van een geparametriseerd en gevalideerd gewas-groeimodel. Daarbij is vooral van belang dat per teeltomstandigheid (potentieel, vochtgelimiteerd, enz...) de opbrengstfluctuaties over de jaren goed gesimuleerd worden. Calibratie en validatie van de boven genoemde modellen vindt vooralsnog voornamelijk plaats op basis van verschillende veldproeven met een beperkt aantal groeiseizoenen (1 of 2) per proeflocatie, terwijl validatie over een langere reeks van jaren zichtbaar maakt of het mogelijk is met bestaande modellen de jaarlijkse variatie goed te berekenen. Validatie over een langere reeks van jaren is alleen (beperkt) uitgevoerd met de modellen Wofost en Sucros voor potentiële en vochtgelimiteerde groei-omstandigheden (pers. med. Grashoff, 1992, De Koning, 1992, Stol, 1992, Nonhebel, 1992, Kooman, 1992, Wolf, 1992, Daamen, 1992). In eerste instantie zal uitgebreider getoetst moeten worden of met de genoemde modellen (of één daarvan) de jaarlijkse variatie over een lange reeks van jaren goed gesimuleerd kan worden voor potentiële en vochtgelimiteerde groeiomstandigheden (zie hoofdstuk 3).



Figuur 1 Een schematische weergave van de berekening van gewasgroei zoals beschreven in: Links: het model Lintul, gebaseerd op lichtinterceptie, gemiddelde lichtbenuttings-efficiëntie en een harvest index; Rechts: Het model Sucros, gebaseerd op een lichtuitdovings-profiel in het gewas, fotosynthese- en respiratiekarakteristieken en verdeling van drogestof naar de verschillende plantorganen (uit: Spitters, 1990).



Figuur 2 Een vereenvoudigd schema van de dagelijkse berekening van gewasgroei in relatie tot weersgegevens en bodemvocht-beschikbaarheid. Droogtestress, gekwantificeerd door het quotiënt van actuele en potentiële transpiratie (T/T_o), beïnvloedt de lichtbenuttings-efficiëntie, de drogestofverdeling, het specifieke bladoppervlak (SLA) en de snelheid van bladafsterving (uit: Spitters en Schapendonk, 1989).

2.2. Weersgegevens

In tabel 1 zijn de beschikbare weersgegevens (locatie en jaren, Van Kraalingen et al., 1990) van AB-DLO voor validatie van modellen weergegeven. Alleen van Swifterband en Wageningen zijn voldoende weersgegevens beschikbaar voor validatie van de modellen voor een lange reeks van jaren (15-35 jaar).

Tabel 1 Beschikbare weersgegevens van het AB-DLO voor validatie van gewasgroeimodellen in Nederland

Locatie	Jaren
De Kooy	1976 - 1985
Lelystad	1987 - 1990
Swifterband	1974 - 1989
Vlissingen	1986 - 1989
Wageningen	1954 - 1989
Vredenpeel	1986 - 1987
Beek-vliegveld	1987 - 1988

2.3. Conclusie

Op basis van de geformuleerde probleemstelling (1.1), afbakening (1.2) en de overwegingen genoemd in hoofdstuk 2.1 is besloten het onderzoek voort te zetten met het model Wofost. De volgende argumenten werden daarvoor aangevoerd:

- Het model Wofost (versie W5.4) is gebruiksklaar en geparametriseerd voor een groot aantal akkerbouw-gewassen (Van Diepen et al., 1988, 1989; De Koning en Van Diepen, 1992; Boons-Prins, 1993). Met het model, zoals het nu beschikbaar is, is het mogelijk een potentieel opbrengstniveau en een vochtgelimiteerd opbrengstniveau te simuleren voor verschillende bodemsoorten, waaronder klei- en zandgronden.
- Met een eenvoudig model als Lintul of een deels vereenvoudigd Sucros-model worden waarschijnlijk de groei en opbrengstvorming niet beter gesimuleerd; het eenvoudige model is alleen doorzichtiger.
- Deze studie sluit aan bij een project waarbij verkend wordt in hoeverre met het gewasgroeimodel Wofost EG-gewasopbrengstvoorspellingen kunnen worden uitgevoerd (De Koning et al., 1993; Boons-Prins, 1993).

Gezien de beschikbare weersgegevens (2.2) zal een eerste validatie van Wofost voor de gewassen suikerbiet, aardappel, wintertarwe, zomergerst en veldboon plaats vinden met experimentele gegevens verzameld in de Centrale zeeklei (CZK, in de buurt van Swifterband) en in de omgeving van Wageningen voor potentiële en vochtgelimiteerde groeiomstandigheden.

3. Validatie van Wofost

3.1. Inleiding

3.1.1. Het gewasgroeimodel Wofost

Met het model is het mogelijk opbrengsten te berekenen van verschillende gewassen voor potentiële en vochtgelimiteerde teeltomstandigheden voor verschillende bodemsoorten, waaronder klei- en zandgronden. In de loop der jaren zijn verschillende versies van het model verschenen. Voor een uitgebreide beschrijving van de gebruikte versie van Wofost in deze studie (versie 5.4) wordt verwezen naar De Koning et al. (1993). Inmiddels is het model verder ontwikkeld en beschreven door Guiking (1993). De gebruikte gewasspecifieke parameters in deze studie zijn beschreven door Boons-Prins (1993) in 'de initiële gewasspecifieke gegevensfiles'. Enkele berekeningen zijn uitgevoerd met door Boons-Prins (1993) door middel van calibratie aangepaste gewasspecifieke gegevensfiles (bij suikerbiet en wintertarwe). Echter deze aanpassingen hadden weinig effect op de berekende opbrengsten in deze studie en verbeterden de uiteindelijke resultaten niet.

3.1.2. Validatie

De validatie van Wofost in deze studie moet gezien worden als een eerste verkenning van de mogelijkheden van Wofost. Daarbij is geen gebruik gemaakt van een statistische methode, maar is volstaan met een 'op het oog' zichtbare overeenkomst of afwijking tussen gesimuleerde en experimentele gegevens.

Voor de validatie van Wofost voor potentiële en vochtgelimiteerde omstandigheden zijn slechts in beperkte mate experimentele gegevens van goed beschreven veldproeven beschikbaar. Naast het gebruik van proefgegevens is daarom tevens gebruik gemaakt van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS-oogstramingen; Abrahamse, 1987) en het Instituut voor Rationele Suikerproductie (IRS-praktijk veldmetingen). Alleen de gegevens van het CBS zijn niet op veld-metingen gebaseerd, maar op schattingen door deskundigen per regio, zodat de geschiktheid van deze gegevens voor validatie van het model ter discussie staat (De Koning et al., 1993).

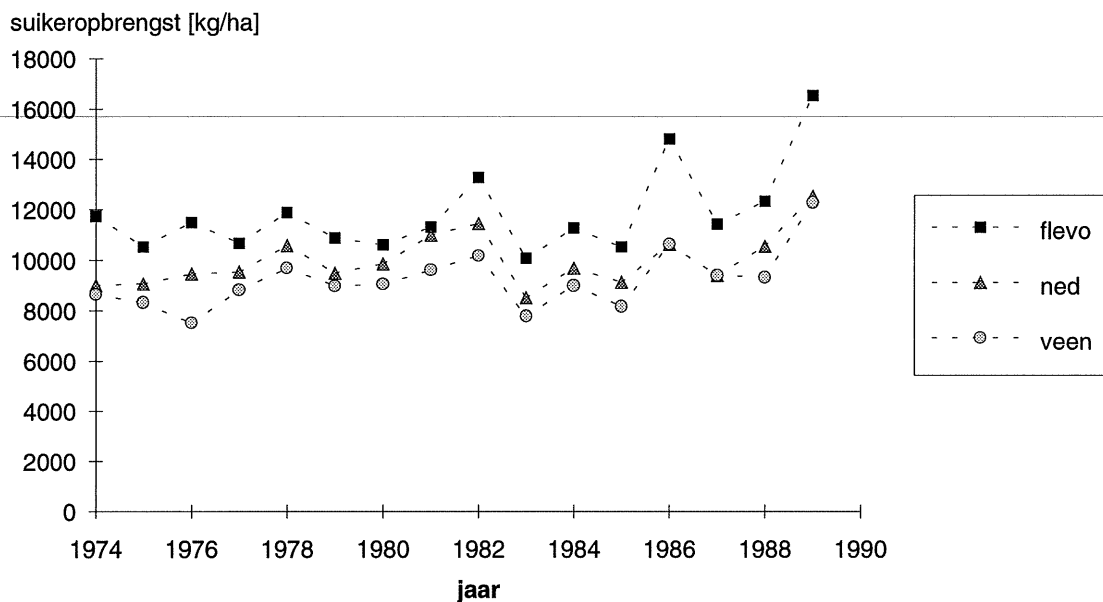
Bij de validatie is voornamelijk gelet op de opbrengstfluctuaties over de loop van jaren, aangezien verschillen in een gemiddelde opbrengstniveau tussen gesimuleerde en experimentele gegevens eenvoudig te beschrijven is met een locatie-specifieke opbrengstfactor (zie 2.1) en een factor die een trend tot opbrengstverbetering in de loop der jaren weergeeft (De Koning et al., 1993). Hierbij is van de hypothese uitgegaan dat ook bij plaatselijk andere groeiomstandigheden (nutriëntenlimitering, ziekten en plagen, enz.) de opbrengstfluctuaties voornamelijk door temperatuur, zonnestraling en waterbeschikbaarheid bepaald worden, de factoren die in het gebruikte model zijn opgenomen. Opgemerkt dient te worden, dat naarmate het verschil tussen een gesimuleerd en experimenteel opbrengstniveau groter is, het minder voor de hand ligt dat de opbrengstfluctuaties overeenkomen. De invloed van andere dan bovengenoemde factoren is dan waarschijnlijk meer aanwezig. Bij het bestuderen van de experimentele gegevens is daarom in eerste instantie bekeken of de (experimentele) opbrengstfluctuaties op verschillende locaties overeenkomen. Dan kan namelijk verondersteld worden dat de opbrengst-

fluctuaties niet zo zeer door plaatselijk specifieke factoren bepaald worden maar door de minder locatie-specifieke factoren als zonnestraling en temperatuur.

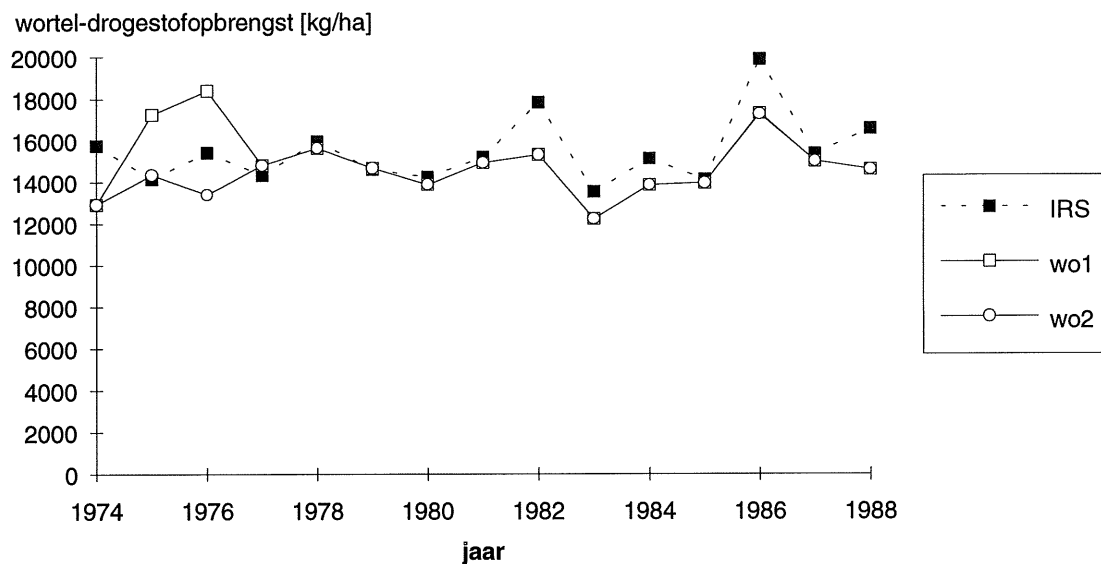
3.2. Suikerbiet

3.2.1. Experimentele gegevens

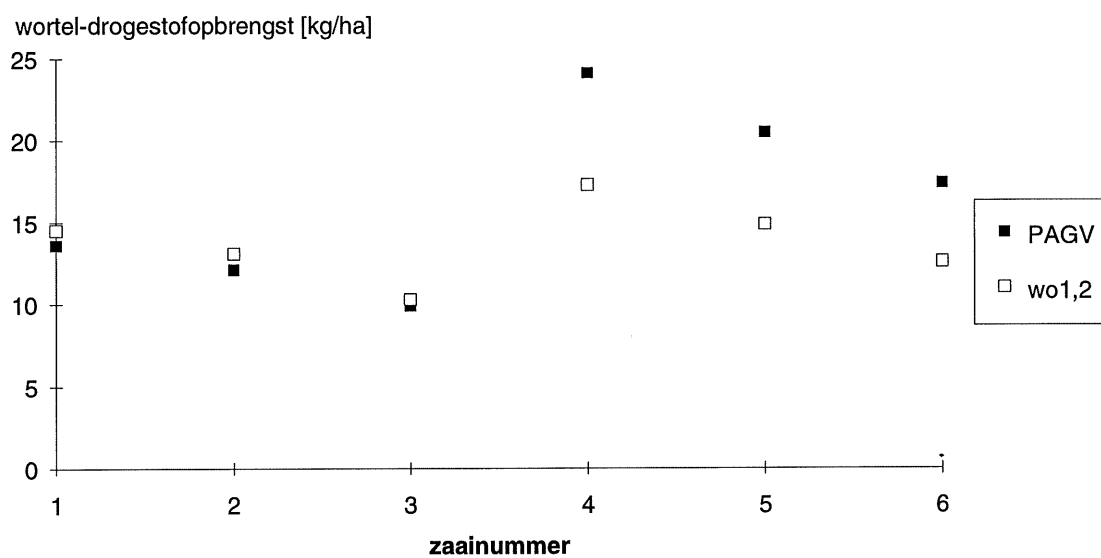
Suiker-opbrengstgegevens van suikerbieten van het IRS van verschillende locaties zijn onderling vergeleken in Fig. 3. Deze opbrengstgegevens zijn gemiddelde getallen van 15-40 praktijk percelen (pers. med. B. Smit 1992 (LUW)). Het is opvallend dat er duidelijke niveauverschillen zijn en toch vergelijkbare jaarlijkse variatie optreedt op de verschillende locaties. Dit duidt erop dat vooral plaatselijke factoren de niveau-verschillen bepalen, en de minder plaatselijke weersgegevens als straling en temperatuur de opbrengstvariatie veroorzaken.



Figuur 3 Suikeropbrengst (kg/ha) in de Flevopolder (flevo) en de veenkoloniën (veen) en gemiddeld voor Nederland (ned) over de periode van 1974 tot en met 1990 (bron:IRS).



Figuur 4 Experimentele worteldrogestof-opbrengsten (IRS) en gesimuleerde worteldrogestof-opbrengsten (potentieel (wo1) en vocht-gelimiteerd (wo2)) in de Flevopolder in de periode van 1974 tot 1989



Figuur 5 Experimentele en gesimuleerde worteldrogestof opbrengsten van twee achtereenvolgende zaaitijdenproeven uitgevoerd in 1985 en 1986 (wo1,2: gesimuleerde potentiële en water-gelimiteerde produktie). Zaaidata in 1985 waren achtereenvolgens: 19 april (1), 8 mei (2) en 21 mei (3) en in 1986: 24 april (4), 9 mei (5) en 23 mei (6).

3.2.2. Simulaties

Wofost berekent de opbrengsten van suikerbiet in eenheden worteldrogestof (kg/ha). De experimentele gegevens van het IRS zijn gegeven in eenheden suikeropbrengst. Voor vergelijking van de gesimuleerde opbrengsten met de experimentele gegevens zijn de IRS gegevens gedeeld door een gemiddeld suikergehalte per eenheid drogestof (74,5 % suiker per eenheid drogestof; pers. med. B.Smit, 1992, AB-DLO). Voor de simulaties is een gemiddelde zaaidatum (gemiddeld voor de verschillende praktijkpercelen) per jaar ingevuld. De eind oogstdata waren identiek voor alle proefvooierpercelen in de periode van 1974 tot 1989 (15 oktober). In Fig. 4 zijn de experimentele en gesimuleerde gegevens weergegeven voor de flevopolder (potentieel (wo1) en watergelimiteerde opbrengst (wo2)). De opbrengstniveaus en -variatie komen redelijk overeen. Watergelimiteerde opbrengsten worden alleen gesimuleerd in de jaren 1974, 1975 en 1976. Op basis van de experimentele gegevens is niet op te maken of water-gelimiteerde opbrengsten zich wel of niet voordeden.

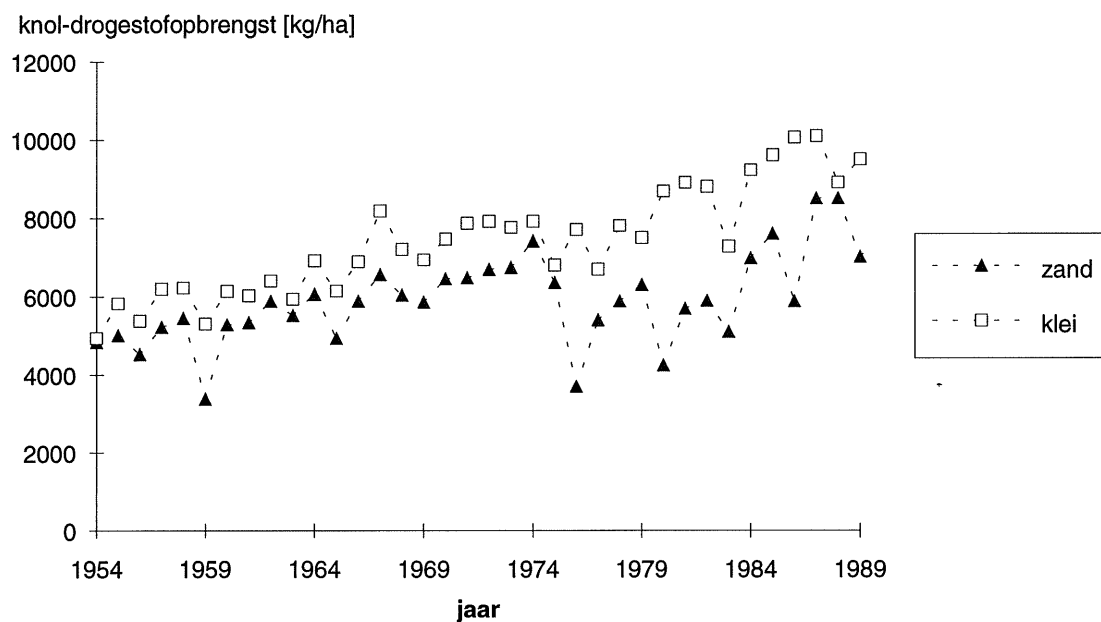
3.3. Aardappel

3.3.1. Experimentele gegevens

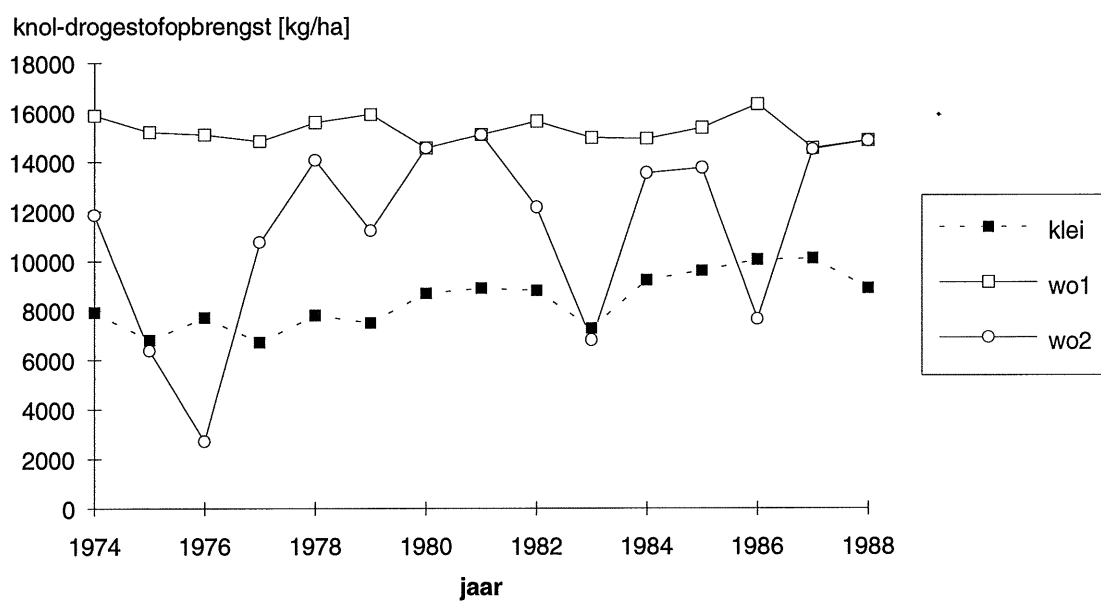
In Fig. 6 zijn CBS-opbrengst gegevens van aardappel van de Hollandse en IJsselmeerpolders (vòòr 1976: zeeklei-gebied) en van het Centrale zandgebied (vòòr 1976: zandgebied) in Nederland met elkaar vergeleken over de periode van 1954 tot en met 1990. De verse knolopbrengsten zijn omgerekend naar drogestof-knolopbrengsten. Hierbij is uit gegaan van een gemiddeld drogestofgehalte van 20 % (pers. med. Kooman, 1992, AB-DLO). Opvallend is, dat over de gehele periode een duidelijke trend tot opbrengstverhoging te zien is. Verder is er een duidelijk lager opbrengstniveau op de zandgronden dan op de kleigronden en komen opbrengstvariatiës gedeeltelijk overeen, hetgeen aanduidt dat de plaatselijke factoren het opbrengstniveau en de -fluctuaties beïnvloeden.

3.3.2. Simulaties

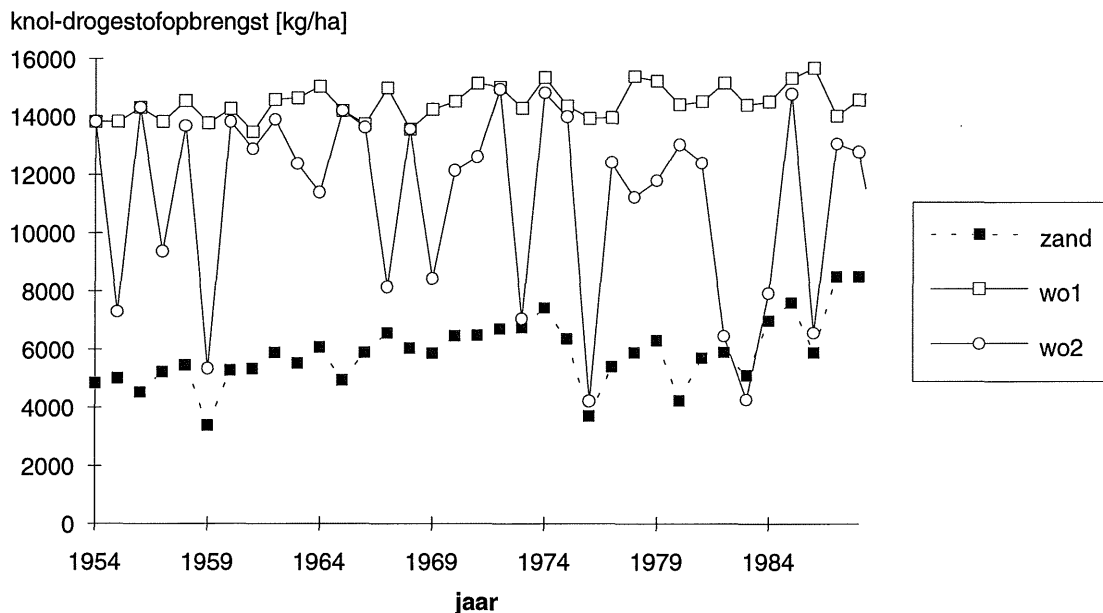
Simulaties van de aardappelopbrengsten zijn uitgevoerd voor kleigrond met weersgegevens van Swifterband (1974-1988) en voor zandgrond met weersgegevens van Wageningen (1954-1990) voor potentiële en vochtgelimiteerde omstandigheden. Hierbij is gebruik gemaakt van een gemiddelde opkomstdatum: 8 mei (pers. med. Van de Waard, AB-DLO, 1992). De resultaten zijn weergegeven in de Fig. 7 en 8. De resultaten in de Fig. 7 en 8 tonen dat de gesimuleerde potentiële opbrengst ruim twee keer zo hoog ligt als de experimentele gegevens op beide locaties. De gesimuleerde vochtgelimiteerde opbrengsten vertonen variaties die niet of slechts in zeer beperkte mate overeenkomen met de experimentele fluctuaties.



Figuur 6 Drogestof-aardappelopbrengsten van de Hollandse en IJsselmeerpolders (CBS; klei; vóór 1976: zeeklei-gebied) en van het Centrale zandgebied (CBS; zand; vòòr 1976: zandgebied) in Nederland met elkaar vergeleken over de periode van 1954 tot en met 1990 (20 % drogestof)



Figuur 7 Gesimuleerde knol-drogestofopbrengsten en experimentele gegevens van het CBS van de Hollandse en IJsselmeerpolders (klei; vòòr 1976: zeeklei-gebied; wo1: gesimuleerde potentiële opbrengst; wo2: gesimuleerde watergelimiteerde opbrengst)



Figuur 8 Gesimuleerde aardappel-drogestofopbrengsten en experimentele gegevens van het CBS van het (centrale) zandgebied (vóór 1976: zandgebied; wo1: gesimuleerde potentiële opbrengst; wo2: gesimuleerde watergelimiteerde opbrengst)

3.4. Wintertarwe

3.4.1. Experimentele gegevens

In Fig. 9 zijn experimentele wintertarwe-opbrengstgegevens van het CBS en de Rijksdienst voor IJsselmeerpolders (RIJP-proefveldgegevens, Habekotté, 1989) weergegeven over de periode van 1979 tot en met 1989. De experimentele gegevens van de verschillende locaties en bronnen verschillen in niveau en in opbrengstvariatie. Opbrengstvariatie en -niveau worden blijkaar beide in sterke mate door plaatselijke factoren beïnvloed.

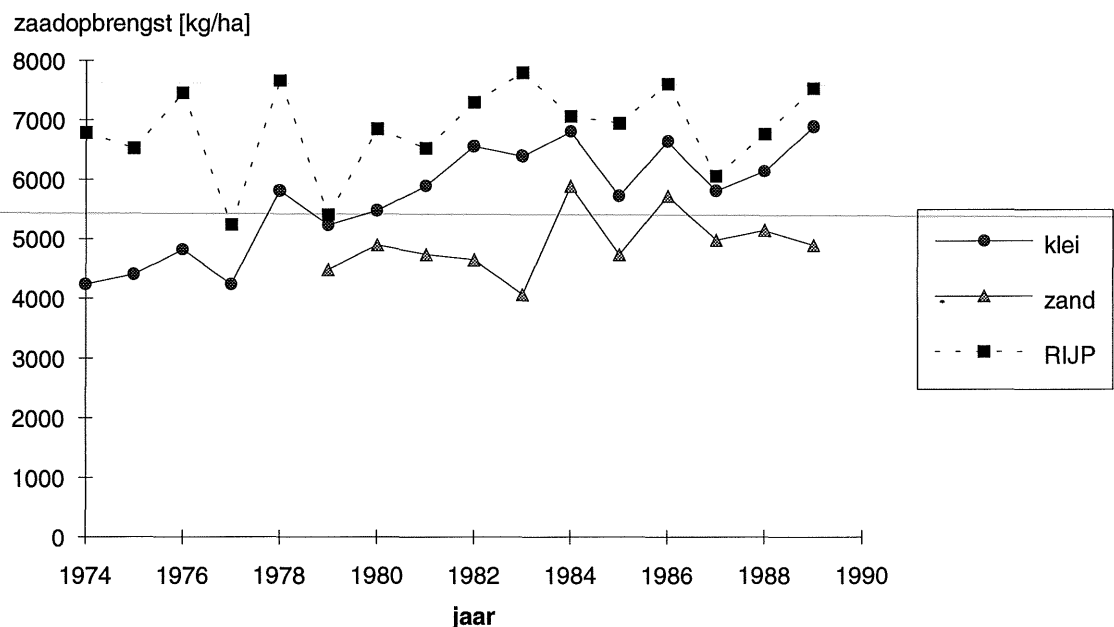
3.4.2. Simulaties

Simulaties zijn uitgevoerd met goed gedocumenteerde veldproeven (Groot en Verberne, 1991; Daamen en Jorritsma, 1990), rassenproefgegevens, gegevens van de RIJP en met CBS-gegevens. De resultaten zijn weergegeven in de Fig. 10 tot en met 13.

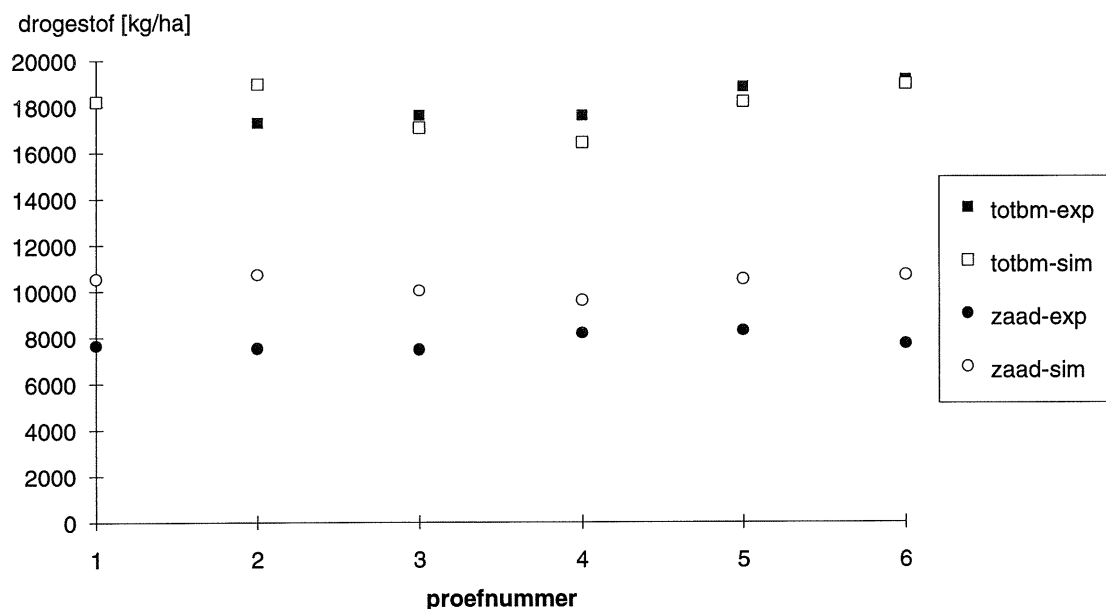
In Fig. 10 is weergegeven de totale bovengrondse biomassa-productie en zaadopbrengst van wintertarwe van zes veldproeven, uitgevoerd op 3 locaties in twee achtereenvolgende jaren (1982/83 en 1983/84) onder optimale vocht en nutriëntenvoorziening en bij afwezigheid van ziekten en plagen. De gesimuleerde biomassa-productie komt goed overeen met de experimentele waarden. De gesimuleerde zaadopbrengst vertoont een systematisch hoger niveau dan de experimentele gegevens.

In Fig. 11 zijn gesimuleerde en experimentele gegevens weergegeven van wintertarweopbrengsten (gemiddelde van een aantal variëteiten) op rivierklei in de buurt van Wageningen (Randwijk; proefbedrijf De Bouwing) over een periode van 1976 tot en met 1986. Niveau en

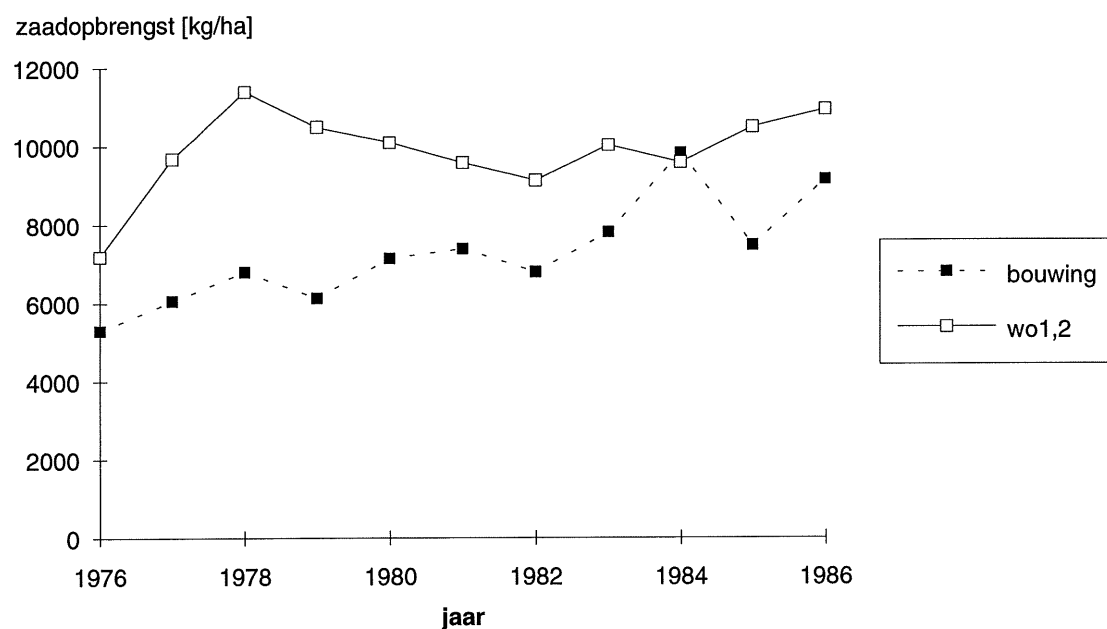
variatie van de gesimuleerde en experimentele zaadopbrengsten komen niet overeen. In de experimentele gegevens is een duidelijke trend tot opbrengstverhoging te zien. In Fig. 12 zijn gesimuleerde en experimentele gegevens weergegeven van wintertarweopbrengsten van de IJsselmeerpolders. Hiertoe zijn gemiddelde opbrengsten van een aantal variëteiten genomen (RIJP) en de zaadopbrengst van de variëteit Arminda. De experimentele gemiddelde zaadopbrengst van een aantal variëteiten vertoont eenzelfde niveau en vergelijkbare opbrengstvariatie als de zaadopbrengst van een enkele variëteit Arminda. De gesimuleerde potentiële zaadopbrengst is systematisch hoger dan de experimentele opbrengsten. In de jaren 1974, 1975 en 1976 doet zich volgens de simulaties een opbrengstreductie voor door water gebrek. Een dergelijke reductie blijkt niet uit de experimentele gegevens. Gesimuleerde en experimentele wintertarwe-opbrengsten op zandgrond zijn weergegeven in Fig. 13. De experimentele gegevens zijn gemiddelden van een aantal variëteiten van rassenproeven van het RIVRO (voormalig Rijksinstituut voor Rassenonderzoek) van een proefveld in Wageningen (Wageningen) en gemiddeld voor een aantal locaties (zand). Opbrengstniveau en -variatie van gesimuleerde en experimentele gegevens komen niet overeen.



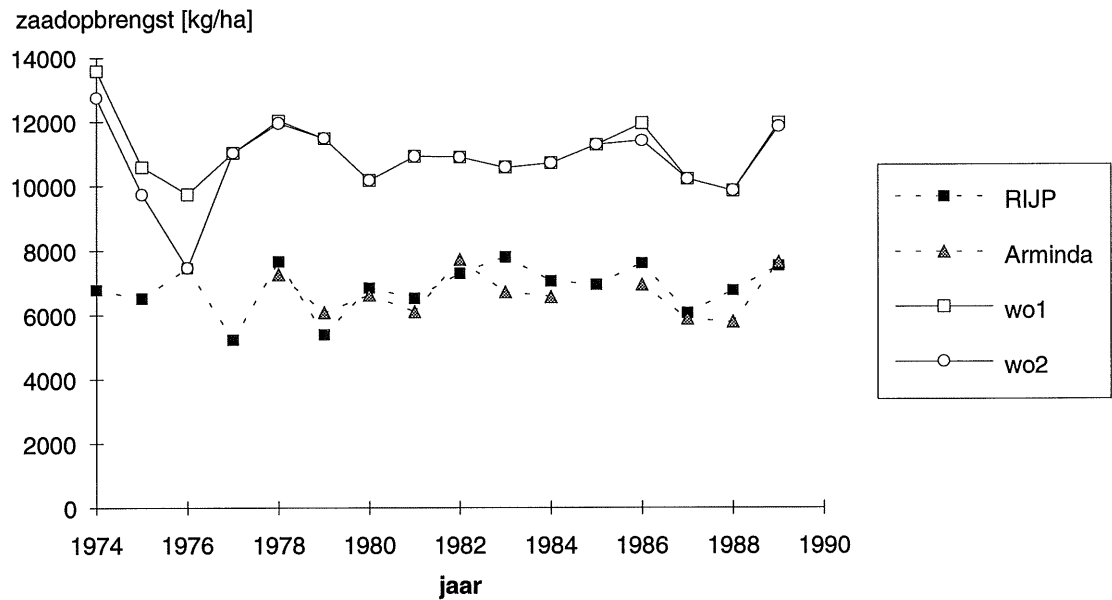
Figuur 9 Wintertarwe-opbrengstgegevens (100 % drogestof) van de RIJP (Habekotté, 1989) en van het CBS op verschillende locaties: Noordhollandse- en IJsselmeerpolders (klei); centraal zandgebied (zand)



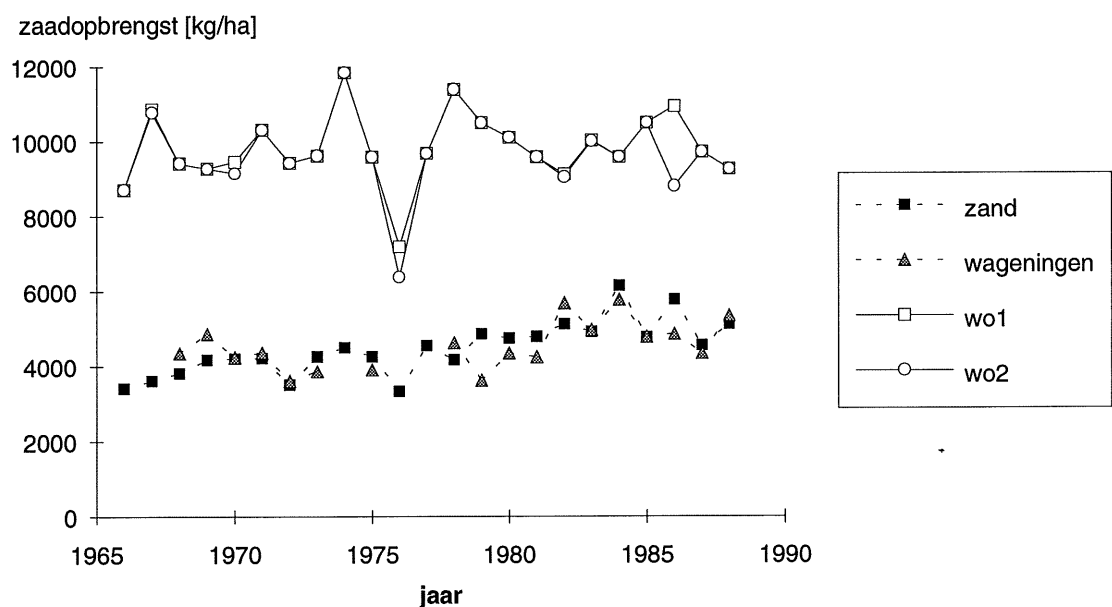
Figuur 10 Gesimuleerde (sim) en experimentele (exp) totale bovengrondse biomassa-productie (totbm) en zaadopbrengst (zaad) van wintertarwe op drie locaties en twee achtereenvolgende jaren (1982/83 en 1983/84; Groot en Verberne, 1991). De locaties zijn: Nagele (1 en 2), Randwijk (3 en 4) en PAGV (5 en 6)



Figuur 11 Gesimuleerde (wo1,2) en experimentele (bouwing) zaadopbrengst van wintertarwe op rivierklei in de buurt van Wageningen (Randwijk; proefbedrijf de Bouwing) over een periode van 1976 tot en met 1986 (experimentele gegevens uit: Daamen en Jorritsma, 1990)



Figuur 12 Gesimuleerde (wo1: potentieel; wo2: water-gelimiteerd) en experimentele zaadopbrengst van wintertarwe van de IJsselmeerpolders (Habekotté, 1989). De experimentele gegevens zijn de gemiddelde zaadopbrengst van een aantal variëteiten (RIJP) en de zaadopbrengst van één variëteit (Arminda)



Figuur 13 Gesimuleerde (wo1: potentieel; wo2: water-gelimiteerd) en experimentele zaadopbrengst van wintertarwe op zandgrond. De experimentele gegevens zijn gemiddelde van een aantal rassen in Wageningen (Wageningen) en van verschillende rassen en locaties (zand; RIVRO)

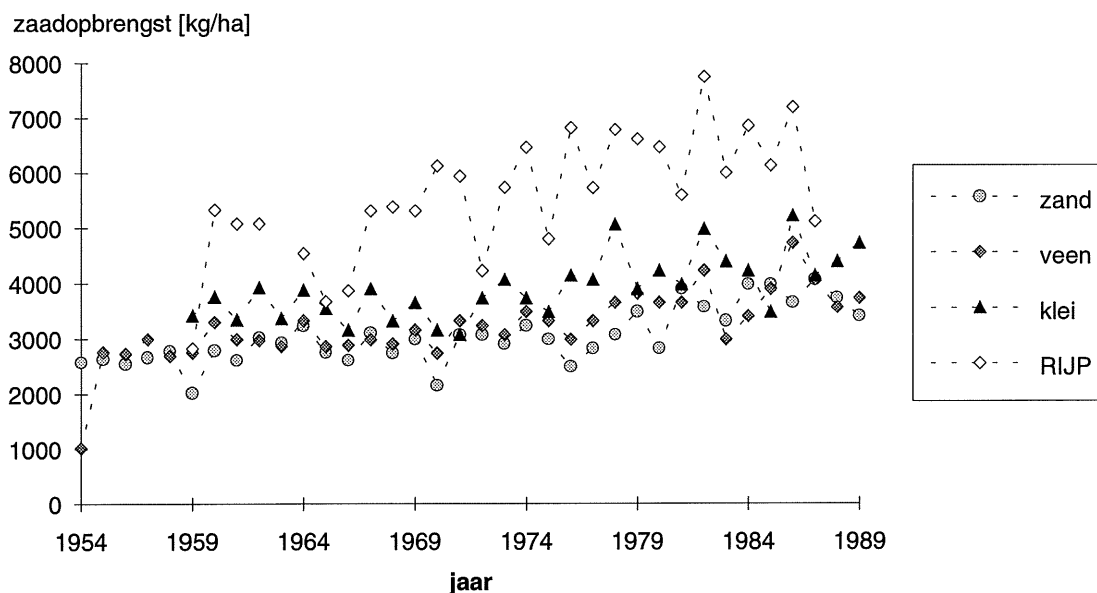
3.5. Zomergerst

3.5.1. Experimentele gegevens

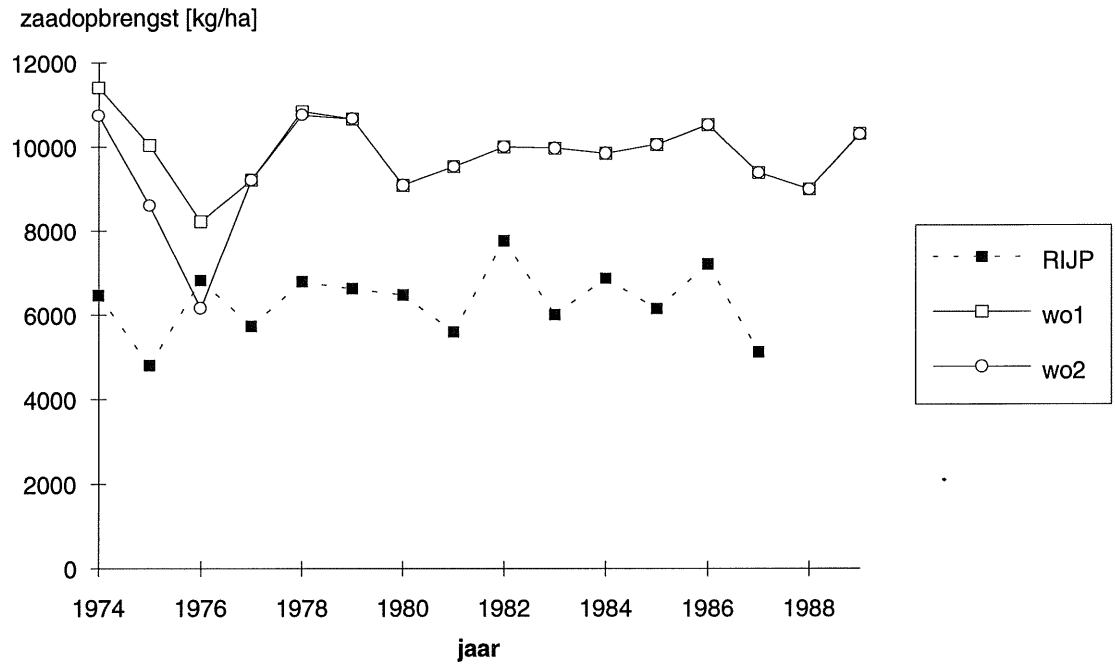
In Fig. 14 zijn experimentele zomergerst-opbrengstgegevens van het CBS en de Rijksdienst voor IJsselmeerpolders (RIJP-proefveldgegevens, Habekotté, 1989) weergegeven over de periode van 1954 tot en met 1989. Opvallend is dat de experimentele gegevens van de verschillende locaties en bronnen verschillen in niveau en in opbrengstvariatie. Dit duidt erop dat evenals bij wintertarwe lokale factoren sterke invloed hebben op de opbrengstvorming.

3.5.2. Simulaties

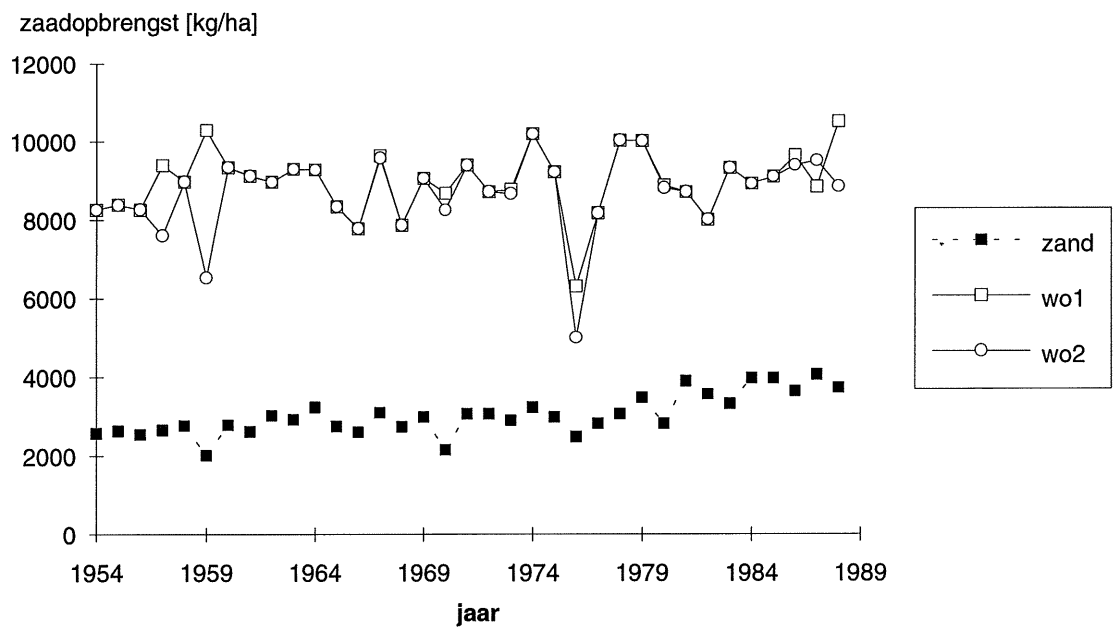
Simulaties van de zomergerstopbrengsten zijn uitgevoerd voor kleigrond met weersgegevens van Swifterband (1974-1988) en voor zandgrond met weersgegevens van Wageningen (1954-1990) voor potentiële en vochtgelimiteerde omstandigheden (zie Fig. 17 en 18). De klei-simulaties zijn vergeleken met experimentele gegevens van de RIJP en bij de simulaties is gebruik gemaakt van experimentele zaaidata van de proefvelden. De zand-simulaties zijn vergeleken met experimentele gegevens van het CBS, hierbij is gebruik gemaakt van een gemiddelde zaaidatum (1 maart). Niveau en variatie in de zaadopbrengst van de simulaties en experimentele gegevens komen niet overeen.



Figuur 14 Opbrengstgegevens van zomergerst (100 % drogestof) van het CBS van verschillende locaties: (centrale) zandgronden (zand); Noordhollandse en IJsselmeerpolders, tot 1976 zee-kleigebieden (klei); Veenkoloniën (veen); en van de Rijk (RIJP; Habekotté, 1989)



Figuur 15 Gesimuleerde (wo1: potentieel; wo2: water-gelimiteerd) en experimentele zaadopbrengst van zomergerst van de IJsselmeerpolders over de periode van 1974 tot en met 1988 (Habekotté, 1989). De experimentele gegevens zijn gemiddelden van een aantal variëteiten



Figuur 16 Gesimuleerde (wo1: potentieel; wo2: water-gelimiteerd) en experimentele zaadopbrengst van zomergerst van de (centrale) zandgronden (CBS-gegevens) over de periode van 1954 tot en met 1988

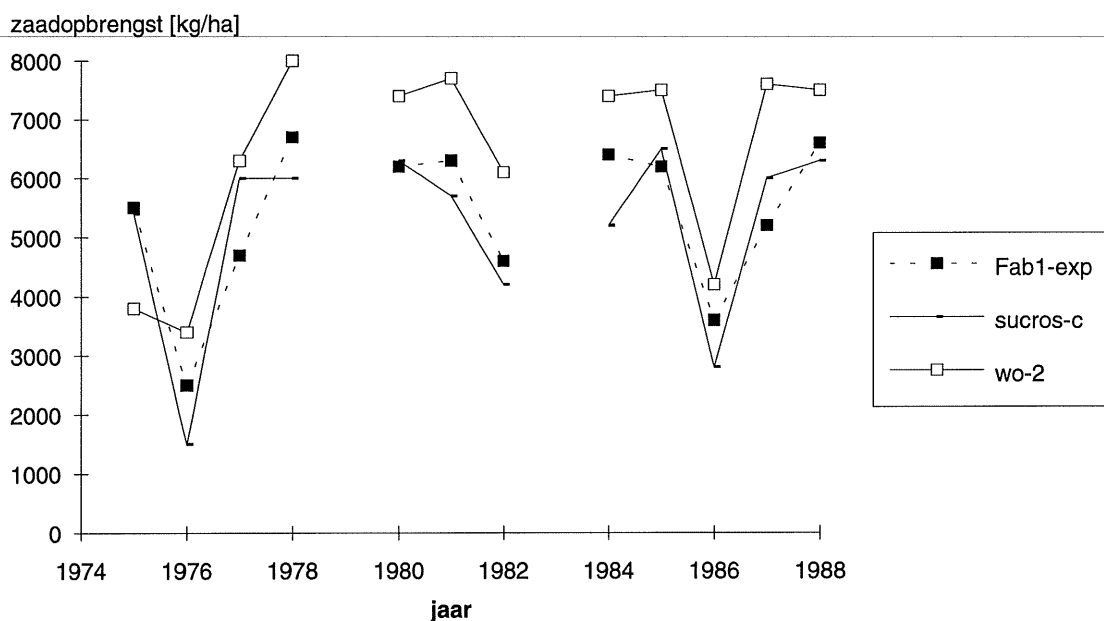
3.6. Veldboon

3.6.1. Experimentele gegevens

Voor toetsing van Wofost voor simulatie van de opbrengst van veldboon zijn experimentele gegevens gebruikt van veldproeven uitgevoerd op het proefbedrijf 'De Bouwing' in Randwijk (klei), beschreven door Grashoff en Stokkers (1992; zie Fig. 17).

3.6.2. Simulaties

In Fig. 17 zijn de experimentele gegevens en de gesimuleerde opbrengsten van veldboon weergegeven over de periode van 1975 tot en met 1988. Opvallend is dat het door Wofost gesimuleerde opbrengstniveau systematisch hoger ligt dan het experimentele opbrengstniveau. De opbrengst-variatie komt goed overeen, zoals ook bij de simulaties met Sucros, beschreven door Grashoff en Stokkers (1992). Geringe ziektedruk kan echter de overeenkomst in opbrengst-variatie tussen experimentele gegevens en gesimuleerde opbrengsten (enkel met invloed van vocht-limitering) te niet doen, zoals beschreven door Grashoff en Stokkers (1992).



Figuur 17 Gesimuleerde (wo-2: met Wofost en Sucros: beschreven door Grashoff en Stokkers, 1992)) en experimentele gegevens (exp.; Grashoff en Stokkers, 1992) van de opbrengst van veldboon op kleigrond in Randwijk

3.7. Discussie en conclusie

Bij het bespreken van de validatie van Wofost is het van belang onderscheid te maken in opbrengstniveau en -fluctuaties over een aantal jaren. Zoals opgemerkt in 3.1 wordt de meeste waarde gehecht aan een goede simulatie van de opbrengstfluctuaties, aangezien verschillen in een gemiddelde opbrengstniveau tussen gesimuleerde en experimentele gegevens eenvoudig te beschrijven is met een locatie-specifieke opbrengstfactor (2.1) en een factor die een trend tot opbrengstverbetering in de loop der jaren weergeeft (de Koning et al., 1993). Hierbij is van de hypothese uitgegaan dat de opbrengstfluctuaties voornamelijk door temperatuur, zonnestraling en waterbeschikbaarheid bepaald worden, de factoren die in het gebruikte model zijn opgenomen.

Verder is bij het bespreken van belang onderscheid te maken in validatie met experimentele gegevens van goed beschreven veldproeven, van praktijk-veldmetingen (IRS-gegevens) en van oogstramingen (CBS-gegevens). Daarbij staat vooral de validatie met de CBS-gegevens ter discussie, aangezien het hier niet om gemeten maar om oogstschattingen gaat door deskundigen per regio. Echter in geval dat de experimentele gegevens van verschillende locaties duidelijke overeenkomst vertonen in opbrengstfluctuaties is toch aannemelijk dat factoren als temperatuur en straling de opbrengstvorming sterk beïnvloeden. In dit geval mag wel verwacht worden, dat het model de opbrengstfluctuaties goed simuleert.

Op basis van de resultaten kan het volgende opgemerkt worden:

- Bij alle CBS-gegevens (Fig. 7, 8, 12, 16) en bij een aantal proefveldgegevens (Fig. 5, 1986, Fig. 11, 13, 15) is het gesimuleerde gemiddelde opbrengstniveau beduidend hoger dan het experimentele opbrengstniveau. Redelijk overeen komen de gesimuleerde en experimentele opbrengstniveaus van suikerbiet (Fig. 4, IRS-gegevens; Fig. 5, proefveldgegevens, 1985), wintertarwe (Fig. 10, proefveldgegevens) en veldboon (Fig. 17, proefveldgegevens).
- Gesimuleerde opbrengstfluctuaties (potentieel of watergelimiteerd) komen bij aardappelen, wintertarwe en zomergerst niet overeen met de experimentele gegevens. Bij suikerbiet en veldboon worden redelijk tot goede resultaten behaald (Fig. 4, 5 en 17).
- Bij de validatie met CBS-gegevens ontbreken de jaarlijks variërende zaai- en oogstgegevens, terwijl de simulatie van wintertarwe start vanaf 1 januari in het jaar na zaai (Boons-Prins, 1993). Het werken met gemiddelde zaai- of opkomstgegevens en met de gesimuleerde gewasrijpheid en de genoemde werkwijze bij wintergraan kan ook hebben bijgedragen aan de slechte validatie-resultaten.
- De experimentele gegevens van wintertarwe en zomergerst, vertonen duidelijke verschillende in opbrengstniveau en -variatie op verschillen locaties (bij aardappel gedeeltelijk). Dit duidt aan, dat vooral plaatselijke factoren de opbrengst bepalen en niet alleen de minder plaatselijke factoren als zonnestraling en temperatuur (potentiële productie-omstandigheden).

Samenvattend kan opgemerkt worden dat met het model bij twee gewassen redelijk tot goede simulaties van opbrengstfluctuaties werden behaald. Bij wintertarwe en zomergerst werd bij redelijk betrouwbare experimentele gegevens (RIJP, RIVRO, Daamen en Joritsma, 1990) geen overeenkomst waargenomen tussen de gesimuleerde en experimentele opbrengstfluctuaties. Voor de validatie van aardappel waren alleen CBS-gegevens beschikbaar, hetgeen de validatie minder betrouwbaar maakt.

De validatieresultaten met suikerbiet en veldboon tonen dat Wofost wel mogelijkheden biedt voor opbrengstschattingen bij potentiële en vochtgelimiteerde groeiomstandigheden. Ver-

volgonderzoek kan hier uitsluitsel over geven. Echter de resultaten met granen laten zien dat de opbrengstfluctuaties niet goed gesimuleerd worden. Waarschijnlijk speelt hierbij een rol dat andere dan de in het model opgenomen factoren een belangrijke rol spelen bij de opbrengstvorming, terwijl Wofost alleen voor de potentiële en vochtgelimiteerde produktieomstandigheden te gebruiken is. De hypothese dat de opbrengstfluctuaties ook bij andere produktieomstandigheden voornamelijk door temperatuur, zonnestraling en waterbeschikbaarheid bepaald worden, is dus niet bevestigd. Tevens kan een rol spelen dat de structuur van Wofost met eenzelfde procesbeschrijving van de opbrengstvorming bij alle gewassen en alleen gewasspecifieke parameters per gewas, te simplistisch is (De Koning et al., 1993).

Na bezien van bovenstaande is geconcludeerd dat Wofost op *korte termijn* niet geschikt is voor verbetering van de gewasmodules in TCG_CROP. De modelvalidaties bieden daarvoor (nog) niet voldoende vertrouwen en voor overige produktieomstandigheden met bijvoorbeeld nutriëntenlimitering en opbrengstderving door ziekten en plagen is Wofost niet bruikbaar.

Literatuur

Abrahamse, 1987.

Oogstraming akkerbouwgewassen in heden en verleden, Mndstat landbouw, CBS, 1, 62-69.

Anonymus, 1989.

Natuurbeleidsplan. Staatsdrukkerij Uitgeverij, Den Haag, 190 pp.

Anonymus, 1990.

Structuurnota Landbouw, beleidsvoornemen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Staatsdrukkerij Uitgeverij, Den Haag, 58 pp.

Anonymus, 1990.

Rapportage Werkgroep Akkerbouw, Achtergronddocument Meerjarenplan Gewasbescherming. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Staatsdrukkerij Uitgeverij, Den Haag, 66 pp.

Boons-Prins, E.R., G.H.J. de Koning, C.A. van Diepen & F.W.T. Penning de Vries, 1993.

Crop specific model parameters for yield forecasting across the European Communities. Simulation Report CABO-TT, no 32. DLO Centre for Agrobiological Research, Wageningen, the Netherlands. Joint Research Centre, ISPRA, Italy, 160 pp.

Daamen, R.A. & I.T.M. Jorritsma, 1990.

Effects of powdery mildew and weather on winterwheat yield. 1. Variation of weather between years. Netherlands Journal of Plant Pathology, 96, 29-34.

Diepen, C.A. van, J. Wolf, H. van Keulen & C. Rappoldt, 1989.

WOFOST: a simulation model of crop production. Soil use and management, 5, 16-24.

Grashoff, C. en R. Stokkers, 1992.

Effects of pattern of water supply on Vicia faba L. 4. Simulation studies on yield variability. Netherlands Journal of Agricultural Science, 40, 447-468.

Groot, J.J.R. & E.L.J. Verberne, 1991. Response of wheat to nitrogen fertilization, a gegevens set to validate simulation models for nitrogen dynamics in crop and soil. Fertilizer Research, 27, 349-383.

Guiking, I., 1993.

User manual for the crop growth simulation model WOFOST version 6.0. Report DLO Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands. Joint Research Centre, ISPRA, Italy.

Habekotté, A., 1989.

Invloed van het zaaitijdstip op opbrengst en ontwikkeling van winterkoolzaad en granen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directie Flevoland, Flevobereicht nr. 302, Lelystad, 85 pp.

Habekotté, B., 1994.

TCG_CROP, een model voor berekening van produktie- en ecologische variabelen van verschillende gewassen. Ontwikkeld ten behoeve van het project 'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw'. Simulation Reports CABO TT nr. 35, AB-DLO pp.

Koning, G.H.J. de, M.J.W. Jansen, E.R. Boons-Prins, C.A. van Diepen, & F.W.T. Penning de Vries, 1993.

Statistical validation of crop growth simulation for regional yield forecasting across the European Community, DLO Centre for Agrobiological Research (CABO-DLO), Wageningen, the Netherlands, 31, 105 pp.

- Kraalingen, D.W.G. van , W. Stol, P.W.J. Uithol & M.G.M. Verbeek, 1990.
User manual of CABO/TPE Weather System, Centre for Agrobiological Research, Dept. of Theoretical Production Ecology, PO Box 430, Wageningen, 27 pp.
- Schans, J., 1994.
OPTICROP een model voor optimalisering van gewasrotaties naar economische en ecologische doelen. Simulation Reports CABO TT nr. 37, AB-DLO.
- Smit, A.L., 1989.
Overzaaien van suikerbieten. PAGV-verslag 91, Lelystad, 78 pp.
- Spitters, C.J.T., 1987.
An analysis of variation in yield among potato cultivars in terms of light absorption, light utilization and dry matter partitioning. *Acta Horticulturae* 214, 71-84.
- Spitters, C.J.T., 1990.
Crop growth models: their usefulness and limitations. *Acta Horticulture* 267, 349-368.
- Spitters, C.J.T., H. van Keulen and D.W.G. van Kraalingen, 1989.
A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: R. Rabbinge, S.A. Ward and H.H. van Laar (Eds.), *Simulation and Systems Management in Crop Protection. Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, 32, 147-181.
- Stol, W, D I. Rouse, D.W.G. van Kraalingen & O. Klepper, 1992.
FSEOPT, a Fortran program for calibration and uncertainty analysis of simulation models. Simulation reports CABO-TT nr. 24, CABO-DLO, Wageningen, pp.
- Wijnands, F.G., S.R.M. Janssens, P., van Asperen & K. van Bon, 1992.
Innovatiebedrijven geïntegreerde akkerbouw: opzet en eerste resultaten. PAGV-verslag nr. 144, Lelystad.
- Wijnands, F.G., B.M.A. Kroonen-Backbier, Y. Hofmeester, W.K. van Leeuwen-Haagsma, J. Boerma & G.J.M. van Dongen, 1992.
Ontwikkeling van geïntegreerde bedrijfssystemen. Themadag Bedrijfssystemen voor een akkerbouw met toekomst. Themaboekje nr.14, PAGV, Lelystad, 9-180.
- Wijnands, F.G. & P. Vereijken, 1992.
Region-wise development of prototypes of integrated arable farming and outdoor horticulture. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 40 (3): 225-238.

