

Aspecten en knelpunten bij modelbouw en simulatie in het landbouwkundig onderzoek

Verslag van de Verkenningscommissie

Toepassing Modelbouw en Simulatietechniek DLO

Augustus 1986



SIGN: L21-31
EX. NO: c
MLV:

Uitgave: Landbouw-Economisch Instituut
Den Haag

INHOUD

	Blz.
SAMENVATTING	5
1. TAAK EN SAMENSTELLING COMMISSIE	9
2. ASPECTEN BIJ MODELBOUW EN SIMULATIE	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Modelbouw	11
2.3 Simulatie en optimalisatie	13
2.4 Fasen bij modelbouw	14
2.4.1 Inleiding	14
2.4.2 Model-opzet	15
2.4.3 Specificatie en parameterbepaling	15
2.4.4 Synthese	16
2.4.5 Implementatie	16
2.4.6 Model-evaluatie	17
2.4.7 Model-experimenten	18
2.5 Enkele kanttekeningen	19
2.6 Hulpmiddelen	20
3. KNELPUNTEN	22
3.1 Inleiding	22
3.2 Knelpunten m.b.t. de visie op modellen	22
3.3 Knelpunten m.b.t. kennis en middelen	23
3.4 Knelpunten m.b.t. de samenwerking tussen experimenteel onderzoek en modelonderzoek	24
LITERATUUR	26

SAMENVATTING

Taak

1. De Verkenningcommissie heeft als taak: na te gaan
 - a. welke technieken op het terrein van modelbouw en simulatie voorhanden zijn;
 - b. wat en waar de lacunes zijn in de ontwikkeling en toepassing daarvan in het ministerieel landbouwkundig onderzoek;
 - c. op welke wijze zonodig aanvulling, resp. versterking bij of ten behoeve van instituten en proefstations kan plaatsvinden.

In dit verslag wordt gerapporteerd over de onderdelen a en b. Er worden geen concrete organisatorische aanbevelingen gedaan ten behoeve van het beleid.

Aspecten bij modelbouw

2. Het bouwen van wiskundige modellen en het experimenteren ermee, zijn activiteiten die het inzicht vergroten in samenhangen tussen grootheden in systemen die object van onderzoek zijn in het landbouwkundig onderzoek. Modelbouw vraagt explicitering van kennis t.a.v. de werking van een bepaald systeem en is als zodanig een belangrijk denkhulp-middel.
3. De wijze waarop modellen geconstrueerd worden en de aard van de modellen hangt in de praktijk nauw samen met het vakgebied en de achtergrond van de modellenbouwer. Het ene vakgebied maakt meer gebruik van systeemanalyse, het andere legt meer nadruk op de statistiek. Bij systeemanalyse ligt het accent op een volledige en consistente beschrijving van het systeem, terwijl bij de statistiek meer de nadruk ligt op de nauwkeurige kwantificering van de afzonderlijke relaties en coëfficiënten. Deze benaderingen sluiten elkaar niet uit, maar kunnen juist aanvullend zijn.
4. Experimenten met modellen kunnen worden uitgevoerd met behulp van simulatie- en optimalisatie-technieken. Simulatie heeft betrekking op het met een model doorrekenen van effecten van alternatieve veronderstellingen t.a.v. o.a. exogene variabelen en relaties tussen variabelen. Bij optimalisatie ligt de nadruk op het bepalen van het alternatief dat onder gegeven doelstellingen en veronderstellingen optimaal is. In

de praktijk van het landbouwkundig onderzoek wordt voor optimalisatie veel gebruik gemaakt van mathematische programmeringsmodellen en de daarbij behorende optimalisatie-algoritmes.

5. Ondanks de verschillen in benadering bij de bouw van een model en het gebruik van technieken zijn er een aantal fasen die vrijwel altijd naar voren komen. Deze fasen moeten in het gehele proces van modelbouw soms een aantal malen doorlopen worden. De zes fasen die hier onderscheiden worden zijn:
 - a. de modelopzet. Deze fase kenmerkt zich door de bepaling van de doelstellingen, een systeembeschrijving en de afleiding van een globale modelstructuur.
 - b. de specificatie van de modelstructuur en de parameterbepaling. De wiskundige specificatie van de relaties en toekennning van reële getalswaarden vinden hier plaats.
 - c. de synthese. De modelonderdelen worden aan elkaar gekoppeld.
 - d. de implementatie. Het model wordt in een daarmee gelijkwaardig model vertaald dat geschikt is voor computergebruik.
 - e. de model-evaluatie. Nagegaan dient te worden of het model correct opgebouwd is, of het een voldoende en geloofwaardige afspiegeling van het systeem is en hoe gevoelig het model is voor veranderingen in de veronderstellingen.
 - f. de modelexperimenten. De gevoeligheidsanalyse uit de vorige fase is in feite de geleidelijke overgang naar modelexperimenten. Met name wordt nagegaan welke invloed veranderingen in beslissings- en instrumentele variabelen hebben op doelvariabelen.

Deze zes fasen zijn niet strikt te scheiden, niet noodzakelijkerwijs opeenvolgend en behoeven evenmin altijd allemaal doorlopen te worden.

6. Aspecten die bij modelbouw afzonderlijke aandacht verdienen zijn o.a.:
 - a. de beschikbaarheid van een adequate computer en goede software, zoals standaardprogrammatuur voor statistische analyses, simulatie, optimalisatie, etc.
 - b. kennis van wiskunde (m.n. wiskundige analyse en numerieke wiskunde), informatica en statistiek.

Knelpunten

7. Door een onjuist zicht op de plaats van modelbouw binnen het onderzoek wordt een goede ontwikkeling van modelbouw afgeremd. Opdrachtgevers zijn vaak teveel gespitst op de

"bruikbaarheid" van een model, in de zin dat het nauwkeurige kwantitatieve informatie kan verschaffen die direct omgezet kan worden in beleidsdaden. Een model is echter in de eerste plaats een hulpmiddel om het inzicht in de werking van een bepaald systeem te vergroten.

8. Een doel van modelonderzoek dat eveneens te weinig aandacht krijgt, is het richting geven aan de ontwikkeling van het experimenteel onderzoek. In een model komen de zwakke schakels in de kennis omtrent een systeem en de belangrijkheid van die schakels voor het systeem als geheel duidelijk naar voren.
9. Vervolgens is een knelpunt dat veel onderzoekers niet opgeleid zijn om modellen te bouwen. Het systematisch opzetten van een wiskundig model en het integreren van kennis m.b.t. deelmodellen in een globaal model, vereist speciale vaardigheden. Model-evaluatie, en dan met name validatie, krijgt te weinig aandacht of weerhoudt onderzoekers van het bouwen van modellen. Het experimenteren met modellen vereist kennis van simulatie- en optimalisatie-technieken. Op een deel van de instituten is deze kennis nauwelijks aanwezig.
10. Een laatste categorie knelpunten betreft de samenwerking met het experimenteel onderzoek. Het modelonderzoek steunt voor het ontwerpen en valideren van modellen sterk op het experimenteel onderzoek. Anderzijds geeft het modelonderzoek richting en stimulansen aan het experimenteel onderzoek door te wijzen op zwakke schakels in de kennis van een systeem. De twee soorten onderzoek worden teveel gezien als concurrerend terwijl ze juist elkaar nodig hebben. Modelonderzoek wordt nog te weinig multi-disciplinair aangepakt. Onderzoekers met kennis van het te modelleren systeem zijn vaak nog teveel gescheiden van onderzoekers met kennis van modelbouw.

1. TAAK EN SAMENSTELLING COMMISSIE

Door de directeur landbouwkundig onderzoek is op 28 januari 1986 (schriftelijk) de Verkenningscommissie Toepassing Modelbouw en Simulatietechniek DLO ingesteld. De commissie heeft als taak gekregen: na te gaan:

- a. welke technieken op het terrein van modelbouw en simulatie ten behoeve van het landbouwkundig onderzoek voor handen zijn;
- b. wat en waar lacunes zijn in de ontwikkeling en toepassing daarvan in het ministerieel landbouwkundig onderzoek;
- c. op welke wijze zonodig aanvulling, resp. versterking bij of ten behoeve van instituten en proefstations kan plaatsvinden.

Voor 15 augustus 1986 moet de commissie de taken a en b verricht hebben en daarover verslag uitbrengen aan de directie landbouwkundig onderzoek.

De verkenningscommissie heeft de volgende samenstelling:

- Ir. J. Wijnands, hoofd Sectie Algemeen Economisch Onderzoek en Methodologie, afd. Landbouw LEI (voorzitter)
- Drs. J. Dijk, Sectie Algemeen Economisch Onderzoek en Methodologie, afd. Landbouw LEI (secretaris)
- Dr. ir. J.A.M. van Arendonk, Vakgroep Veefokkerij LH
- Ir. J.C.A.M. Bervaes, adjunct-directeur De Dorschkamp
- Ir. W.A. Dekkers, afd. Teeltonderzoek PAGV
- Dr. ir. E. van Elderen, afd. Organisatiekunde IMAG
- Dr. ir. A.J.H. van Es, adjunct-directeur IVVO
- Ir. A.A.M. Jansen, hoofd sectie Wageningen afd. Statistiek ITI-TNO (v/h IWIS)
- Dr. ir. C.J.T. Spitters, hoofd afd. Simulatiemodellen SVP
- Dr. ir. Ph.Th. Stol, hoofd afd. Wiskunde en Informatieverwerking ICW
- Dr. ir. A.J. Udink ten Cate, Vakgroep Informatica LH.

De commissie heeft het taakgebied beperkt tot de categorie wiskundige modellen. Door deze taakomschrijving vallen de modellen van o.a. het Informaticastimuleringsplan landbouwkundig onderzoek (INSP-LO) grotendeels buiten het werkterrein van deze commissie. De enige overlap tussen deze vooral gegevens en relaties tussen gegevens vastleggende informatiemodellen en het werkterrein van de commissie zou kunnen liggen in de eerste fase bij modelbouw (zie par. 2.4), nl. de systeembeschrijving en modelopzet.

De commissie heeft het ook niet tot haar taak gerekend om een volledige inventarisatie te geven van alle modellen die binnen het ministerieel landbouwkundig onderzoek gebruikt worden. Wel wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van de aspecten

die bij modelbouw relevant zijn en worden indelingen in soorten modellen gemaakt. Uit de discussies binnen de commissie kwam de indruk naar voren dat het gebruik van modellen en het soort model dat geconstrueerd wordt, nogal samenhangt met het vakgebied en de onderzoekstraditie. Zo heeft het gebruik van simulatiemodellen o.a. opgang gemaakt in het vakgebied van de theoretische teeltkunde. Lineaire programmeringsmodellen worden veelvuldig gebruikt in het kader van optimalisatie van de produktie en produktiewijze van landbouwbedrijven.

Gezien de beperkte tijd en samenstelling van de commissie heeft de commissie zich met name gericht op een algemeen overzicht van de aspecten en van de problematiek bij modelbouw.

Ook bij de inventarisatie van knelpunten heeft de commissie zich beperkt tot een algemeen overzicht. De genoemde knelpunten zullen afhankelijk van de instelling, de daarbij behorende organisatie en de aanwezige vakdisciplines, meer of minder relevant zijn.

In hoofdstuk 2 komen de aspecten bij modelbouw en simulatie aan de orde. In hoofdstuk 3 worden de, naar inzicht van de commissie, belangrijkste knelpunten besproken.

2. ASPECTEN BIJ MODELBOUW EN SIMULATIE

2.1 Inleiding

Modellen zijn er in vele soorten en maten. Het zijn afbeeldingen van gedeelten van de complexe werkelijkheid. Een model kan fysiek van aard zijn, zoals b.v. een schaalmodel; het kan ook een verzameling onderling samenhangende symbolen zijn.

De verkenningscommissie richt haar aandacht op een deel van de symbolische modellen, nl. op wiskundige modellen. Het aandachtsveld van de commissie omvat daarbij zowel het bouwen van als het experimenteren met deze modellen.

Bij het uitvoeren van experimenten met een wiskundig model kan o.a. gebruik gemaakt worden van simulatie- en optimalisatie-technieken. In de literatuur wordt wel gesproken over simulatie- en optimalisatie-modellen. Hoewel er vaak een nauwe samenhang is tussen de aard van een model en de technieken om er mee te experimenteren, komt het de duidelijkheid ten goede om deze twee zaken hier te onderscheiden.

Achtereenvolgens zal nu wat dieper worden ingegaan op modelbouw, simulatie en optimalisatie, eerst in algemene zin en daarna meer toegespitst op de aspecten die in de verschillende stadia van het construeren van en het experimenteren met een model een rol (kunnen) spelen. Ook zal enige aandacht geschonken worden aan de rol van aangrenzende vakgebieden zoals de informatica, de numerieke wiskunde en de statistiek.

De commissie acht een dergelijke opzet noodzakelijk om de te signaleren knelpunten en lacunes een duidelijke plaats te geven.

2.2 Modelbouw

Het construeren van een wiskundig model heeft meestal als doel het verhelderen van het zicht op de werking van een complex systeem. Het inzicht in een systeem kan vergroot worden door de essentiële eigenschappen van en de interacties binnen dat systeem, vereenvoudigd weer te geven in een model en vervolgens na te gaan hoe het model zich gedraagt.

De noodzaak van een modelmatige benadering heeft niet alleen te maken met de complexiteit van verschijnselen, maar ook met het vaak erg kostbaar zijn van experimenteren met systemen. Sommige systemen lenen zich zelfs in het geheel niet voor experimenten. Model-experimenten bieden dan een alternatief voor experimenten met het systeem.

Modellen kunnen gezien worden als handige hulpmiddelen bij het nemen van beslissingen of het doen van voorspellingen. Het

bouwen van een model kan echter ook in de eerste plaats bedoeld zijn als een denk-hulpmiddel. Of er uiteindelijk een werkbaar model resulteert uit het bouwproces, is dan van minder belang dan het expliciet maken van kennis omtrent een bepaald systeem of fenomeen.

De aard van een model dat voor een bepaalde toepassing wordt geconstrueerd, hangt vooral af van de doelstelling die de gebruiker voor ogen staat. Gaat het om beslissingsproblemen, dan kan in een aantal gevallen gebruik gemaakt worden van modellen die mathematisch-analytisch oplosbaar zijn (b.v. LP-modellen). Via een algoritme kan dan een optimale oplossing worden bepaald bij een geformuleerd probleem. Gaat het er meer om, inzicht te krijgen in de werking van een bepaald systeem, en na te gaan wat er binnen het systeem gebeurt bij verschillende veronderstellingen, dan is simulatie met een systeem-analytisch model meer voor de hand liggend. Optimalisatie-overwegingen staan dan wat meer op de achtergrond, al zal in veel simulatie-onderzoek het vergelijken van alternatieven wel een belangrijke doelstelling zijn. Een strikte scheiding tussen beide soorten modellen is moeilijk te maken. In termen van vakgebieden ligt de eerste groep modellen met name op het gebied van de 'Operations Research', en de tweede groep op het gebied van de 'Systeem-analyse' en de 'Econometrie'.

Om meer greep op het terrein van de modelbouw te krijgen, is het nuttig een aantal indelingen de revue te laten passeren.

Een eerste mogelijke indeling is die welke betrekking heeft op de functie van het te bouwen model. In een model kan de nadruk liggen op beschrijven, verklaren, voorspellen of beslissen. Een beschrijvend model geeft samenhangen tussen variabelen weer in de vorm van wiskundige vergelijkingen. Causale verbanden staan op de achtergrond. Bij verklarende modellen gaat het er ook om aan te geven hoe oorzaken en gevolgen liggen. Het testen van hypothesen op data-materiaal is onderdeel van de bouw van verklarende modellen. Voor het maken van voorspellingen is de nauwkeurigheid waarmee een model voorspellingen kan doen van meer belang dan kennis omtrent de werking van onderliggende structuren. Heel eenvoudige modellen kunnen soms een beter voorspellend vermogen hebben dan meer complexe. Om beslissingsproblemen te kunnen oplossen, kan veelal niet worden volstaan met eenvoudige modellen. De verbanden tussen beslissingsvariabelen en doelvariabelen zullen goed in beeld moeten komen. Veel modellen bezitten meerdere van de genoemde functies.

Een tweede indeling kan plaatsvinden naar de wijze waarop het model tot stand komt. a) Econometrische en biometrische modellen zijn het resultaat van het toepassen van statistische schattingsmethoden op tijdreeks- en steekproefgegevens. b) Mathematisch-analytische modellen worden zo geformuleerd dat ze met wiskundige methoden analytisch kunnen worden opgelost. c) Systeem-analytische modellen komen tot stand door het gebruik van wiskundige en statistische methoden in combinatie met a-priori

informatie, gebaseerd op theoretisch inzicht, intuïtie, ervaring, vraaggesprekken, e.d.

Een derde indeling kijkt naar de rol die de factor 'tijd' in het model speelt. In statische modellen heeft het gebeuren in een bepaalde tijdsperiode geen invloed op het gebeuren in een volgende periode, zo er al sprake is van een ruimere tijdshorizon dan één periode of één tijdstip. In dynamische modellen is er een doorwerking van het huidige modelgedrag in het toekomstige gedrag.

Een laatste indeling die hier genoemd kan worden legt het accent op de aard van de beschrijving van processen in het model: is alles deterministisch of zijn er stochastische elementen aanwezig.

Ongeacht de aard van een model, zijn er bij het bouwen van een model een aantal fasen te onderscheiden. Deze fasen worden in de meeste gevallen een aantal malen doorlopen, aangezien modelbouw een cyclisch proces is van construeren, testen en herzien. Niet bij elk model zal de volgorde waarin de verschillende aspecten aan de orde komen, dezelfde zijn, en de aandacht die elk van de fasen krijgt, zal ook van model tot model verschillen. In paragraaf 2.4 zal meer aandacht worden besteed aan de afzonderlijke fasen.

2.3 Simulatie en optimalisatie

Simulatie wordt vaak opgevat als het geheel van het bouwen van en het werken met wiskundige modellen. In dit rapport zullen de begrippen modelbouw en simulatie echter van elkaar worden onderscheiden. Modelbouw slaat op het construeren van een model, simulatie op het experimenteren met het model.

In principe houdt elk gebruik van een model een 'simulatie' in. Immers, door het model wordt en bepaald systeem nagebootst, 'gesimuleerd'. In de praktijk wordt onder 'simulatie' vaak een wat beperkter terrein van modelgebruik verstaan. In de literatuur duidt simulatie vaak op het manipuleren met stochastische, dynamische modellen, waarbij wordt nagegaan hoe het model zich ontwikkelt in de loop van de tijd.

Het optimaliseren m.b.v. modellen zullen we voor ons doel zien als een activiteit die niet onder 'simuleren' valt, al is de literatuur over simulatie op dit punt niet eenduidig. Het zoeken naar sub-optimale oplossingen bij beslissingsmodellen via heuristische zoekprocedures bijv., kan worden aangemerkt als simulatie, maar in feite gaat het daarbij om het toepassen van een oplossingsmethode.

Aangezien de verkenningscommissie zich in principe richt op beide vormen van werken met modellen, zou een betere benaming wellicht zijn: 'Toepassing modelbouw, simulatie- en optimalisa-

tie-technieken'.

Simulatie kan gezien worden als een methode van experimenteren met modellen die toegepast wordt als het gedrag van de variabelen in een model niet of moeilijk kan worden bepaald uit het analytisch oplossen van een stelsel vergelijkingen. Numerieke oplossingsmethoden zijn in dergelijke gevallen een bruikbaar alternatief. Simulatie heeft veelal betrekking op het m.b.v. een model doorrekenen van effecten van alternatieve veronderstellingen ten aanzien van exogene variabelen, parameters, (trekkingen uit) kansverdelingen, specificaties, beslissingsregels, e.d. op de endogene model-variabelen.

Worden niet alleen alternatieven doorgerekend maar is de doelstelling het vinden van alternatieven die in een bepaald opzicht optimaal zijn, dan wordt gebruik gemaakt van optimalisatie-technieken. In het landbouwkundig onderzoek wordt veel gebruik gemaakt van de technieken van de mathematische programmering. Deze zijn aantrekkelijk door hun eenvoud van toepassing en algemene beschikbaarheid. Via algoritmen worden exacte optima bepaald. In sommige gevallen zal de strakke modelformulering van de mathematische programmering echter een bezwaar zijn. Dan zal via heuristische procedures een benadering van optima moeten worden gezocht.

Simulatie en modelbouw hoeven geen achtereenvolgende fasen te zijn. Het testen van een voorlopige versie van een model kan al aangemerkt worden als simulatie. Voor het uitvoeren van een simulatie zijn meestal geen geformaliseerde en gestandaardiseerde procedures voorhanden, al zijn wel een aantal algemene regels te geven, en zijn er een aantal stadia in het simulatie-proces aan de wijzen.

Computers zijn niet essentieel voor het uitvoeren van een simulatie, maar in de praktijk zal men er nauwelijks omheen kunnen. Zeker als stochastische componenten onderdeel van het model zijn, is het gebruik van de computer onontbeerlijk. Het geconstrueerde wiskundige model wordt dan omgezet in een computerprogramma, waarbij gebruik gemaakt kan worden van speciale simulaties.

2.4 Fasen bij modelbouw

2.4.1 Inleiding

In het proces van modelbouw, simulatie en optimalisatie kan een aantal fasen onderscheiden worden, namelijk:

- I model-opzet
- II specificatie en parameterbepaling
- III synthese
- IV implementatie
- V model-evaluatie
- VI model-experimenten

Vorenstaande indeling geeft geen chronologische volgorde van fasen in de modelbouw weer. Er zullen interacties en terugkoppelingen zijn tussen de verschillende fasen. Bovendien hoeft niet bij elk model iedere fase doorlopen te worden, b.v. als het een overname van een bestaand model betreft. Deze indeling is slechts een handvat bij het bespreken van de aspecten die bij modelbouw een rol spelen.

2.4.2 Model-opzet

Modellen worden met een bepaald doel gebouwd. Het duidelijk formuleren van de doelstelling van een model is van wezenlijk belang voor de verdere modelbouw. Een model dat voor het ene doel uitermate geschikt is, kan totaal ongeschikt zijn voor andere doelen.

Uit de doelstellingen die t.a.v. een te construeren model zijn gesteld, zal een globale model-structuur moeten worden afgeleid. Om dat te kunnen doen, zal het te beschrijven systeem duidelijk in kaart gebracht moeten worden. Een multidisciplinaire aanpak zal vaak voor de hand liggen. Vakdisciplines die met het systeem te maken hebben, zullen hierbij informatie kunnen aanleveren over de wezenlijke eigenschappen van het systeem: welke grootheden kenmerken het systeem, hoe beïnvloeden die elkaar en welke grootheden van buiten het systeem zijn op welke manier van invloed op grootheden binnen het systeem? In de vorm van o.a. stroomdiagrammen ~ een ander soort symbolische modellen - zal een beeld ontstaan van de werking van het systeem.

N.a.v. de beschrijving van het systeem, zal een model-structuur gekozen moeten worden die op een logische en consistente wijze het systeem afbeeldt.

De kenmerken van het systeem op een bepaald moment krijgen in het model de vorm van (toestands-)variabelen, de invloeden van variabelen op andere variabelen krijgen de vorm van (voorlopige nog globaal gespecificeerde en ongekwantificeerde) wiskundige relaties.

2.4.3 Specificatie en parameterbepaling

Een model waarvan de structuur in grote lijnen vastligt, zal nader gespecificeerd moeten worden en aan de parameters in de gespecificeerde wiskundige relaties zullen reële getalswaarden toegekend moeten worden. Veelal kan hierbij een beroep worden gedaan op in het verleden verricht onderzoek of op kennis van deskundigen. Bij de bouw van fysische modellen bijv. zullen min of meer geaccepteerde relaties die bepaalde wetmatigheden weergeven, direct in het model kunnen worden ingebouwd. Wel zal onderzocht moeten worden of in het model voldaan is aan de voorwaarden waaronder deze relaties gelden. Voor het vastleggen van verbanden in wiskundige vergelijkingen is de wiskundige analyse een belangrijk instrument.

Zijn er hiaten in de kennis t.a.v. relaties tussen grootheden in het model, dan kunnen deze opgevuld worden door nadere gegevens te verzamelen. Door middel van data-analyse kan dan inzicht verkregen worden in de aard van deze relaties. Data-verzameling en data-analyse zijn fasen die bijv. bij de bouw van econometrische en biometrische modellen wat meer op de voorgrond treden dan bij meer fysisch georiënteerde modellen. Data-analyse is het geheel van technieken en middelen dat dient om inzicht te krijgen in samenhangen en patronen in beschikbaar data-materiaal. Het omvat zowel het gebruik van eenvoudige hulpmiddelen (bijv. grafieken en spreidingsdiagrammen) als het toepassen van multivariate technieken om verbanden in het data-materiaal op te sporen, als ook het schatten en toetsen van wiskundige relaties met statistische technieken.

2.4.4 Synthese

Nadat voor alle model-onderdelen specificaties en parameterwaarden zijn bepaald, zullen de model-onderdelen aan elkaar gekoppeld moeten worden. Hoewel we de synthese als 4e fase in het modelbouw-proces hebben genoemd, zal deze in de tijd gezien niet na de voorafgaande fasen plaatsvinden, maar parallel daaraan. Het afgrenzen van het systeem, het globaal invullen van de relaties binnen het model, het analyseren van de data, enz., zal hand in hand gaan met het zorgen voor een consistente en logische modelstructuur. Veelal zal hiervoor gebruik gemaakt worden van stroomdiagrammen e.d.

De verzameling (differentiaal-) vergelijkingen die ontstaat door het samenvoegen van afzonderlijke vergelijkingen, geeft een beschrijving van het gedrag van de variabelen in het model in de loop van de tijd. Het oplossen van een dergelijk stelsel vergelijkingen op analytische wijze, is meestal niet mogelijk, zodat een beroep gedaan moet worden op numerieke integratie-methoden. Bij modellen die niet zozeer processen beschrijven maar veeleer een optimaliserend doel hebben, dient een optimalisatie-algoritme of heuristische procedure te worden toegevoegd aan het model.

2.4.5 Implementatie

Indien de synthese een feit is, kan implementatie van het model op een computer volgen. Implementatie houdt in dat het symbolische model dat geconstrueerd is, wordt vertaald in een daarmee gelijkwaardig model dat geschikt is voor computergebruik. Dat wil zeggen dat het symbolische model wordt omgezet in programmeertaal. Welke talen het best gebruikt kunnen worden, hangt af van de aard van het model. Naast de 'general-purpose languages' zijn er de 'special-purpose simulation languages'. De laatste categorie bevat talen die ontwikkeld zijn met het oog op het modelleren van specifieke systemen.

Groeiprocessen b.v., kunnen weergegeven worden door ver-

zamelingen integraalvergelijkingen. Dergelijke processen kunnen veelal het best worden beschreven in computertalen die geschikt zijn om differentiaalvergelijkingen te integreren. CSMP is een voorbeeld van een speciale taal die numerieke integratieprocedures bevat.

Modellering van processen met een meer discreet karakter leidt tot andersoortige modellen. In deze modellen speelt de factor tijd weliswaar ook een rol, maar meer om het zich voordoen van gebeurtenissen en het uitvoeren van beslissingen in de juiste volgorde weer te geven. Voorbeelden van talen die geschikt zijn om dergelijke sequentiële en wachtrij-processen te modelleren, zijn SIMSCRIPT en SIMULA.

Veel systemen bevatten zowel continue als discrete elementen, waardoor naast een speciale taal ook nog een algemene programmeertaal nodig is; 'gemengde' talen zijn nog niet in ruime mate beschikbaar.

'Special purpose'-talen hebben het voordeel dat een aantal programmeer-taken niet meer hoeft te worden uitgevoerd, maar hebben als nadeel dat ze minder flexibel zijn. Of een algemene dan wel een speciale programmeertaal meer geschikt is, hangt af van de aard van het te implementeren model.

Enkele aspecten die bij de implementatie aan de orde komen en waarvoor in de speciale talen vaak voorzieningen zijn getroffen, zullen we hier nog noemen. Er moet een techniek gekozen worden om op een juiste manier de tijds-dimensie in het model te incorporeren. 'Time stepping simulation' en 'event-stepping simulation' zijn begrippen die in dit verband een rol spelen. Verder zullen initiële waarden aan de endogene variabelen in het model moeten worden toegekend, en zullen waarden voor de exogene variabelen moeten worden bepaald. Daarnaast zal de input en output van het computer-model een bepaalde structuur moeten krijgen. Indien het model stochastische variabelen en/of relaties bevat, zullen trekkingen uit kansverdelingen in het model moeten worden opgenomen. Stochastische afhankelijkheid (zowel in de tijd als tussen variabelen) kan daarbij voor complicaties zorgen.

2.4.6 Model-evaluatie

Is een model geïmplementeerd op de computer, dan kan begonnen worden met het 'draaien' van het model. Voordat er met eigenlijke model-experimenten begonnen kan worden, zullen verificatie, validatie en gevoeligheidsanalyse moeten plaatsvinden waarbij eventueel weer terugkoppeling plaats vindt naar eerdere fasen in het modelbouw-proces.

Voor het toetsen van het model via verificatie, validatie en gevoeligheidsanalyse, zijn geen standaardprocedures voorhanden, maar in de literatuur is wel een aantal algemene regels te vinden om dit toetsen enigszins gestructureerd te kunnen doen plaatsvinden.

Verificatie en validatie zijn begrippen die in de literatuur i.h.a. niet scherp zijn afgebakend. Ze worden soms zelfs als synoniemen gebruikt. Een onderscheid tussen beide kan verkregen worden door verificatie te koppelen aan de relatie tussen model en simulator (computer) en validatie aan de relatie tussen model en realiteit.

Verificatie heeft betrekking op het controleren van de correctheid van het model. Het model zal in overeenstemming moeten zijn met datgene wat de modelbouwer voor ogen stond. Bovendien zal het op de computer geïmplementeerde programma de wiskundige formulering van het model correct moeten weergeven.

Validatie is nodig om na te gaan of het model dat gebouwd is een voldoende en geloofwaardige afspiegeling vormt van het afgebeelde systeem. Validatie is een terrein waar plausibiliteit en subjectiviteit een grote rol speelt, alhoewel parametrische en non-parametrische statistische toetsen en methoden ook nuttig kunnen zijn. (bijv. goodness-of-fit-tests, spectraalanalyse, e.d.).

Gevoeligheids-analyse wordt uitgevoerd om na te gaan hoe gevoelig het modelgedrag is voor veranderingen in de veronderstellingen ten aanzien van de waarden van parameters, de vorm van vergelijkingen, de waarden van exogene variabelen, enz. Met name als het gaat over veronderstellingen waarover grote onzekerheid bestaat, is het van belang te weten hoe die veronderstellingen doorwerken in de eindresultaten van het model. Gevoeligheids-analyse kan min of meer in het verlengde van verificatie en validatie liggen, maar kan ook onderdeel zijn van het geheel van experimenteren met het model.

Op grond van gevoeligheids-analyses kan b.v. besloten worden om nader onderzoek te verrichten naar de waarde van een voor het model belangrijke parameter of om stochastische elementen in het model op te nemen, om daardoor het model op die punten te kunnen verbeteren waar dat het meest van belang is.

2.4.7 Model-experimenten

Bij het verifiëren, het valideren en het uitvoeren van gevoeligheidstesten, zal veelvuldig geëxperimenteerd worden met een model. Dit 'spelen' met een model zal uiteindelijk kunnen uitmonden in experimenten die worden uitgevoerd om na te gaan wat de invloed van veranderingen in beslissings- of instrumentele variabelen op doelvariabelen in het model is. Hopelijk heeft het validatie-proces er dan toe geleid dat er zoveel vertrouwen in het model gesteld kan worden, dat het voor dit doel kan worden aangewend.

Omdat het experimenteren met modellen een (computer-)tijdrovende zaak is, is een efficiënte opzet in deze fase van groot belang. Of experimenten nu primair een exploratief of een optimaliserend doel hebben, het aantal factoren dat er een rol in

speelt zal meestal enorm groot zijn. Het gebruik van experimentele proefopzetten zal in deze fase uitkomst kunnen bieden. Proefopzetten die gebruikt worden bij 'praktijk'-experimenten, zoals b.v. factor-opzetten, zijn ook goed bruikbaar bij model-experimenten.

Als een simulatie niet alleen een exploratief, maar ook een optimalisatie-doel heeft, zal i.h.a. gebruik gemaakt moeten worden van heuristische procedures zoals extensieve en intensieve zoekprocedures (b.v. een steepest ascent procedure).

Het vergelijken van de uitkomsten van experimenten is geen eenvoudige zaak, omdat veelal combinaties van veronderstellingen moeten worden vergeleken met combinaties van modeluitkomsten. Als het model stochastisch van aard is, zullen kansverdelingen met elkaar vergeleken moeten worden. Indien de modelgebruiker expliciet kan maken hoe hij verschillende combinaties van uitkomsten waardeert, vergemakkelijkt dat de analyse. Vaak zal het beoordelen van uitkomsten slechts worden uitgevoerd aan de hand van de grafische weergave van (tijd-)reeksen en andere informatieverdichtende middelen.

2.5 Enkele kanttekeningen

Hoewel er t.a.v. modelbouw en simulatie veel aspecten zijn waarvoor methoden, technieken en algemene regels zijn aan te geven, blijven een aantal zaken toch enigszins ongrijpbaar. Dat betreft bijvoorbeeld de afweging die gemaakt moet worden ten aanzien van de tijd en de energie die gestopt wordt in de verschillende onderdelen van het te bouwen model en in de verschillende stadia van het modelbouwproces. Gevoeligheidsanalyse op een voorlopige modelversie kan hier enig licht op werpen.

De vraag of het model een voldoende valide afbeelding van het te beschrijven systeem is, zal eveneens niet kunnen worden beantwoord zonder het subjectieve oordeel van modelbouwer en -gebruiker. Bovendien kan een model valide zijn voor het ene doel terwijl het dat niet is voor andere er op gelijkende doelen. Het is daarom zaak om ruime aandacht te schenken aan de formulering van de doelstelling van het werken met een model.

Of al dan niet bepaalde technieken worden gebruikt bij modelbouw en simulatie, is in het algemeen veel minder belangrijk voor succes of mislukking ervan dan de manier waarop technieken gebruikt worden. De bewering dat modelbouw meer een kunst dan een wetenschap is, bevat ongetwijfeld een kern van waarheid.

Voor sommige systemen is modelbouw en simulatie vrijwel de enige manier om het systeem te kunnen analyseren, omdat experimenteren met het systeem onmogelijk, onpraktisch of onbetaalbaar is. Simulatie kan dan op z'n minst gezien worden als het beste van een aantal slechte alternatieven. Om met Theil te spreken:

"It does require maturity to realize that models are to be used, not to be believed".

Het is belangrijk om te beseffen dat de betrouwbaarheid van een model staat of valt met de betrouwbaarheid van de kennis en de gegevens die aan het model ten grondslag liggen. Het gebruiken van een model als iets waar je wat instopt en waar vervolgens resultaten uitkomen zonder dat aangegeven kan worden waarom de resultaten zijn zoals ze zijn, houdt grote gevaren in. Een modelbouwer moet in staat zijn om de uitkomsten van een model te verklaren uit de verbanden die hij er zelf heeft ingebouwd. Een modelgebruiker zal daar niet altijd toe in staat zijn. Een goede beschrijving van het doel en de werking van specifieke modellen is dan ook zeer belangrijk voor het in goede banen leiden van de toepassing van modellen.

2.6 Hulpmiddelen

In het voorafgaande is al aangegeven dat bij modelbouw en simulatie bijna altijd gebruik gemaakt zal worden van reken- en opslag-capaciteiten van een computer. Een aantal aspecten hierbij verdient afzonderlijke aandacht.

1. Om te komen tot de invulling van een model moeten veelal grote hoeveelheden data worden geanalyseerd. Een efficiënte opslag van data in data-banken, gekoppeld aan een snelle en doeltreffende mogelijkheid tot het opvragen van deze gegevens, zal de modelbouwer van groot nut zijn. Een goed database management systeem is eveneens van belang bij het uitvoeren van model-experimenten (invoer-uitvoer).
2. Het analyseren van data brengt vaak omvangrijke berekeningen met zich mee. Ook het tekenen van grafieken, het maken van tabellen e.d. zijn zaken die uitermate geschikt (kunnen) zijn om computer-matig uitgevoerd te worden. Daarbij dient wel bedacht te worden dat een met de hand geschetste grafiek soms even nuttig is als het toepassen van een geavanceerde statistische techniek. Voor het analyseren van data kunnen eigen computer-programma's gemaakt worden, maar in de praktijk wordt veelal gebruik gemaakt van statistische standaard-programmatuur die de gebruiker in staat stelt om snel een statistische analyse uit te voeren. Voorbeelden van pakketten met statistische programmatuur zijn SPSS, BMDP, Genstat en Lisrel. Tegenover het voordeel van het sneller kunnen werken, staat het nadeel van de geringe flexibiliteit van de meeste pakketten en het beperkte (en meestal op een bepaald vakgebied toegesneden) arsenaal aan analyse-technieken.
3. De implementatie van het geconstrueerde model houdt in dat het in symbolen opgezette model wordt omgewerkt tot een computer-programma. Naast algemene programmeertalen zijn er

- 'special purpose' simulatie-talen, waarin al een aantal faciliteiten m.b.t. het simuleren met modellen is ingebouwd. Bijvoorbeeld t.a.v. de wijze van invoer en uitvoer van gegevens en de wijze waarop de faktor tijd en vertragingen worden gemodelleerd. Analoog aan wat opgemerkt is voor statistische standaardpakketten, geldt voor standaard-simulatietalen dat ze beperkter in hun mogelijkheden zijn dan algemene programmeertalen.
4. Voor het zoeken naar optimale oplossingen in modellen bestaan in een aantal gevallen, zowel voor analytische als voor heuristische oplossingsmethoden, standaardcomputerprogramma's (b.v. SCICONIC, IMSL, NAG).
 5. Bij simulaties waar stochastische processen worden afgebeeld, moeten waarden uit gespecificeerde kansverdelingen gegenereerd worden. Het is onnodig te vermelden dat computers daarbij vrijwel onmisbaar zijn.

Naast kennis van de informatica speelt wiskundige kennis natuurlijk in alle fasen van de constructie van een model een rol. Bijvoorbeeld bij de specificatie van wiskundige vergelijkingen, zal kennis m.b.t. wiskundige analyse en numerieke wiskunde onontbeerlijk zijn.

Op het terrein van de statistiek krijgt men te maken met waarschijnlijkheidsrekening, de vorm van statistische verdelingen, statistische toetsings- en schattingsmethoden, e.d.

Bij optimaliseringsproblemen kan gebruik gemaakt worden van analytische oplossingsmethoden (bijv. LP) maar vaak zijn heuristische oplossingsmethoden goede alternatieven, met name indien de analytische methoden teveel computer-capaciteit of -rekentijd vergen. De heuristische methoden zijn iteratieve zoekprocedures die meestal sub-optimale oplossingen geven.

In toenemende mate is het moeilijk om het terrein van de wiskundige modellen en de simulatie-technieken goed af te bakenen. Grensgebieden zijn bijv. de meet- en regeltechniek, computer aided design, signaalverwerkingstechnieken e.d., waarin gewerkt wordt met het besturen van modellen, het simuleren van ruimtelijke structuren, e.d. Bestaande modellen en simulatie-technieken bewegen zich steeds meer in deze richtingen. De koppeling van simulatiemodellen aan bepaalde processen vindt eveneens steeds meer toepassing.

Informatiemodellen en expertsystemen zijn aan te merken als behorend tot de rand van het terrein zoals dat door de commissie is afgebakend.

3. KNELPUNTEN

3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is aangegeven welke aspecten een rol spelen bij het bouwen van en het experimenteren met modellen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de knelpunten die zich in het landbouwkundig onderzoek voordoen bij dit bouwen en experimenteren. Deze inventarisatie van knelpunten vormt de neerslag van de visies van de commissieleden op de situatie op hun eigen terrein. Dat betekent dat slechts een kwalitatief overzicht wordt gegeven. Een kwantitatieve onderbouwing door middel van een inventarisatie van knelpunten op alle landbouwkundige instituten en instellingen, heeft niet plaatsgevonden.

Het ontwikkelen van wiskundige modellen en/of het werken ermee, vindt steeds meer toepassing in het landbouwkundig onderzoek. Enerzijds als hulpmiddel in het onderzoek, anderzijds als hulpmiddel voor de praktijk. Deze ontwikkeling naar meer modelmatig onderzoek verloopt echter niet altijd even soepel. De voornaamste knelpunten op het terrein van modelbouw, simulatie en optimalisatie zijn door de commissie in 3 categorieën ondergebracht. Onderscheiden worden knelpunten met betrekking tot:

- a. de visie op modellen
- b. kennis en middelen
- c. samenwerking tussen modelonderzoek en experimenteel onderzoek.

3.2 Knelpunten m.b.t. de visie op modellen

Een model kan nooit los gezien worden van de doelstellingen waarvoor het ontworpen is. Deze doelstellingen zijn vaak anders - meestal beperkter - dan de doelstellingen die de opdrachtgever of gebruiker voor ogen staan. Modellen worden nog teveel gezien als verschaffers van nauwkeurige kwantitatieve informatie. Ze moeten echter vooral gezien worden als hulpmiddelen, zowel in het onderzoek als in de sfeer van de praktische toepassing. In modellen moeten immers veronderstellingen en daarop gebaseerde kennis expliciet worden gemaakt. In modellen moeten onderzoeksgegevens in hun samenhang worden weergegeven. Modellen geven de raakvlakken van disciplines aan en bevorderen zo de communicatie tussen onderzoekers uit verschillende disciplines. Modelbouw is dus in de eerste plaats een denk-hulpmiddel.

Verkeerde verwachtingen m.b.t. de mogelijkheden die wiskundige modelbouw biedt, worden ten dele ook veroorzaakt door modelbouwers die soms de indruk wekken dat het allemaal een kwestie is van "nog even en we kunnen alle vragen met modellen beantwoorden".

In een model komen de zwakke schakels in de kennis omtrent een systeem en de belangrijkheid van die schakels voor het systeem als geheel, duidelijk naar voren. Desondanks wordt in het onderzoek weinig gebruik gemaakt van dit positieve aspect van modelbouw. Onderzoekers hebben meestal wel een (deel-)model in hun hoofd en weten terdege waar de zwakke schakels in het model zitten. Die zwakke schakels krijgen dan ook extra aandacht in het onderzoek. Het is echter effectiever om het mentale model ook expliciet te formuleren, zodat de noodzaak van verder onderzoek op bepaalde punten, met behulp van een kwantitatief model duidelijk gemaakt kan worden of kan worden gerelativeerd. Op deze wijze kan modelonderzoek richting geven aan het experimenteel onderzoek.

Daarnaast krijgt het gebruik van modellen te weinig aandacht bij het uitvoeren van kosten/baten-analyses in het meer toepassingsgerichte onderzoek. Het bepalen van prioriteiten in het onderzoek kan gerelateerd worden aan de baten die uit alternatieve onderzoeksprogramma's verwacht mogen worden voor het godelleerde systeem. Daardoor kan een optimalisatie in de investeringen in het experimenteel onderzoek bereikt worden.

3.3 Knelpunten m.b.t. kennis en middelen

Het werken met wiskundige modellen, vereist andere kennis en vaardigheden en een andere instelling van onderzoekers dan het experimenteel onderzoek. Modelonderzoek is meer dan het simpelweg samenvoegen van bekende formules in een vorm die geschikt is om er mee te experimenteren met behulp van een computer. Bij het ontwikkelen van wiskundige modellen blijkt dat weliswaar het gebrek aan kennis m.b.t. te modelleren systemen (materie-kennis) ook een knelpunt is, maar dat de grootste problemen zitten in het goed ontwerpen van en experimenteren met modellen. Dat heeft o.a. te maken met het feit dat het systematisch en efficiënt opzetten van een model zowel een 'science' als een 'art' is.

Wat de 'science' betreft, is er in de ontwerpfase een gebrek aan kennis op het gebied van de systeem-analyse. Daarnaast levert de validatie van een ontworpen of overgenomen model de nodige problemen op. Bij validatie spelen uiteraard subjectieve overwegingen en oordelen een grote rol, maar er zijn ook tal van formele technieken voor dit doel beschikbaar. Onderzoekers zijn daar vaak niet erg mee vertrouwd. Ook worden ze weerhouden van het ontwerpen en valideren van modellen door de veelheid van data die voor een validatie verzameld moet worden. Voor die gegevensverzameling - via experimenteel onderzoek - ontbreekt nogal eens de onderzoekscapaciteit.

Een gebrek aan de juiste computerfaciliteiten en het niet ter beschikking hebben van de juiste programma's werken hier evenmin bevorderlijk. Het voornaamste knelpunt zit echter in het

ontbreken van mensen met de juiste opleiding. Veel onderzoekers zijn niet opgeleid in het gebruik van technieken van modelbouw, simulatie en optimalisatie. De mogelijkheden tot het bijscholen van onderzoekers worden onvoldoende benut. Op sommige instituten is te weinig bekend over die mogelijkheden. Het gebruik van bestaande modellen of van delen daarvan, wordt bemoeilijkt door het feit dat goede beschrijvingen van bestaande modellen - met name ten aanzien van de uitgangspunten die er aan ten grondslag liggen - helaas nog meer uitzondering dan regel zijn. Dit hangt ook samen met een geringe uniformiteit in de naamgeving van de in modellen gebruikte variabelen en parameters.

De beschikbaarheid en kennis van optimalisatie-technieken is in veel gevallen beperkt tot de bekende mathematische programmerings-technieken. Er zijn echter ook tal van heuristische zoekprocedures ontwikkeld, die - zonder een strakke modelformulering te eisen - in een iteratief proces van simulaties met een model, optima bepalen of benaderen. Meer in het algemeen geldt dat het vergelijken van verschillende modelstructuren met de daarbij behorende technieken van simulatie en optimalisatie nog te weinig aandacht krijgt.

3.4 Knelpunten m.b.t. de samenwerking tussen experimenteel onderzoek en modelonderzoek

Het experimenteel onderzoek in de landbouw heeft een andere benaderingswijze van onderzoeksproblemen dan het modelonderzoek. Weliswaar heeft het experimenteel onderzoek een kwantitatieve inslag, maar die wordt meer gekenmerkt door de begrippen 'analyse' en 'statistiek' dan door 'synthese' en 'modelbouw'.

De meer omvattende en geïntegreerde benadering van modelonderzoek sluit vaak niet aan op de meer partiële benadering van het experimenteel onderzoek, waar een sterke nadruk wordt gelegd op de onzekerheden in de relaties tussen grootheden, die op grond van experimenten zijn opgesteld. Het experimenteel onderzoek realiseert zich te weinig dat in een systeem-analytische benadering dergelijke zwakke schakels in een model niet altijd een bezwaar hoeven te zijn. Er zijn immers mogelijkheden tot experimenteren en stochastiseren.

Experimenteel en modelonderzoek worden teveel gezien als concurrerende soorten van onderzoek. Te weinig realiseren onderzoekers zich dat beide vormen - experimenten in de praktijk en experimenten met een wiskundig model - elk hun eigen bijdrage aan het onderzoek leveren. En dat soms de ene benadering de aangewezen weg is en soms de andere. Maar daarnaast is een nauwe samenwerking en wisselwerking tussen beide onontbeerlijk. Enerzijds levert het experimenteel onderzoek de noodzakelijke informatie betreffende de invulling en het testen van een model, anderzijds kan het modelonderzoek informatie verschaffen over de richting waarin het experimenteel onderzoek zich dient te ontwikkelen.

Modelonderzoek kan sterke impulsen geven aan het experimenteel onderzoek vanwege de noodzaak tot validatie van modellen.

Een goed zicht op de verhouding tussen beide soorten onderzoek, vergroot de bereidheid tot samenwerken. Modelonderzoek kenmerkt zich nog te weinig door een multidisciplinaire aanpak, waarin materie-kennis en modelbouw-kennis dicht bij elkaar gesitueerd zijn.

LITERATUUR

J.R. Anderson,
Simulation: Methodology and Application in Agricultural
Economics, Review of Marketing and Agricultural Economics,
Vol. 42, No. 1, March 1974, blz. 3-55.

G. Broekstra/J.S. Knipscheer,
Systemen en toekomstverkenning, Leiden, 1977.

J.B. Dent and M.J. Blackie
Systems Simulation in Agriculture, London, 1979

I.D. Everts,
Econometrie, beeld van een realiteit,
in: Landbouw tussen vrijheid en gebondenheid,
LEI, Den Haag, 1981.

S.R. Johnson and G.C. Rausser,
Systems Analysis and Simulation: A Survey of Applications in
Agricultural and Resource Economics,
in: A Survey of Agricultural Economics Literature, Vol 2,
Minneapolis, 1977, blz. 157-230.

D.R. Mertens,
Our Industry Today, Principles of Modeling and Simulation in
Teaching and Research,
in: Journal of Dairy Science, Vol. 60, No. 7, blz. 1176-1186.