Ontwikkeling van methodologie voor systeemanalyse van geïntegreerde produktie-systemen, toegespitst op de bloembollenteelt

Doelstellingen en werkwijze

G.K. Boon, W.A.H. Rossing[1] & J. Schans

ab-dlo

Rapport 11
Wageningen, maart 1994

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:
- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige produktiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwprodukten.

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembiologie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidecologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

Adres

Vestiging Wageningen:
Postbus 14, 6700 AA Wageningen
tel. 08370-75700
fax 08370-23110
e-mail postkamer@ab.agro.nl

Vestiging Haren:
Postbus 129, 9750 AC Haren
tel. 050-337777
fax 050-337291
e-mail postkamer@ab.agro.nl

Auteurs:

[1)]W.A.H. Rossing: Vakgroep Theoretische Produktie-ecologie,
LUW, Postbus 430, 6700 AK Wageningen (tel. 08370-82141, fax 08370-84892)

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Summary	3
1. Inleiding	5
1.1. Methodologie voor de ontwikkeling van duurzame agrarische produktiesystemen	5
1.2. Problemen bij duurzame teelt van bloembollen	6
1.3. Doelstellingen van dit onderzoek	6
1.4. Doel van dit rapport	7
2. Systeemanalyse van produktiesystemen in de intensieve bloem-bollenteelt in het noordelijk zandgebied van Noord-Holland	9
2.1. Inleiding	9
2.2. Doelstellingen bij de teelt van bloembollen	9
2.3. Produktiesystemen in relatie tot doelstellingen	10
3. Naar een produktiesysteemgenerator voor de intensieve bloembollenteelt in het noordelijk zandgebied van Noord-Holland	15
3.1. Inleiding	15
3.2. Analyse en kwantificering van de teelt van tulp	15
3.3. Opbrengstmodel voor tulp	19
3.3.1. Potentiële opbrengst	19
3.3.1.1. Aanwasgetal	19
3.3.1.2. LINTUL	20
3.3.1.3. ROCROP	20
3.3.1.4. TUCROS	21
3.3.2. N-gelimiteerde opbrengst	22
3.3.3. Opbrengstreductie door Fusarium	24
3.3.4. Het opbrengstmodel	25
3.3.5. Onzekerheden in het opbrengstmodel	27
3.3.6. Van opbrengstmodel naar teeltmodel	27
4. Evaluatie en perspectief	29
Literatuur	31

Voorwoord

Dit rapport is het eerste uit een reeks die betrekking heeft op het project 'Ontwikkeling van methodologie voor het ontwerpen, toetsen en optimaliseren van geïntegreerde plantaardige produktiesystemen', dat wordt uitgevoerd door het DLO-Centrum voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) (projectnr. 796) en de vakgroep Theoretische Produktie-ecologie van de Landbouwuniversiteit (TPE-LUW) (projectnr. F300-894), en gefinancierd als onderdeel van het Aanvullend Onderzoeksplan Geïntegreerde Plantaardige Produktie.

In deze nota wordt de onderzoeksaanpak in het project gepresenteerd en toegelicht voor de teelt van bloembollen, met name tulp. Een eerdere versie is uitvoerig besproken met onderzoekers van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek in Lisse, waarmee intensief wordt samengewerkt. Die versie droeg het karakter van een discussienota en had een tweeledig doel. Enerzijds bood het de samenwerkingspartners van het LBO de gelegenheid in detail kennis te nemen van de methodiek, gebaseerd op meervoudige interactieve doelprogrammering. Anderzijds kreeg het AB-DLO/TPE-LUW de gelegenheid na te gaan welke additionele gegevens over de teelt van bloembollen beschikbaar waren, naast de ten behoeve van de discussienota gecompileerde gepubliceerde gegevens. In het voorliggende rapport zijn de aanvullingen, correcties en commentaren uit de discussierondes verwerkt. Wij danken dr. J. van Aartrijk, ir. C. Bastiaansen, dhr. A. Koster, ir. A. Landman, ir. P.W.J. Raven, dhr. M. de Rooy, ir. R. Stokkers, ir. G.G.M. van der Valk en dhr. C.O.N. de Vroomen voor hun bijdrage hieraan.

Samenvatting

Voor een duurzame landbouwkundige produktie zijn geïntegreerde produktiesystemen vereist, waarmee alle economische en ecologische doelen van grondgebruik op ten minste de gewenste niveaus worden gerealiseerd. Interactieve Meervoudige Doelprogrammering (IMDP) is, naast experimenteel onderzoek, een geschikte techniek bij de ontwikkeling van dergelijke produktiesystemen. In het project 'Ontwikkeling van methoden voor het ontwerpen, toetsen en optimaliseren van geïntegreerde plantaardige produktiesystemen' wordt een gestandaardiseerde methodologie ontwikkeld voor systeemanalyse op basis van IMDP. Het onderzoek is toegespitst op de bloembollenteelt, waar vanwege een hoge produktiewaarde en hoge emissies van pesticiden en nutriënten dringend behoefte is aan de ontwikkeling van geïntegreerde produktiesystemen.

In dit verslag worden de verschillende fasen in de methodologie onderscheiden. Vervolgens wordt het gebruik van interactiematrices bij de formulering van relaties tussen teelt- en bedrijfsmaatregelen enerzijds en effecten op doelvariabelen anderzijds geïntroduceerd. Dit blijkt een efficiënte methode om, in overleg met deskundigen, het probleemveld en de beschikbare kennis in kaart te brengen. Ten slotte worden de mogelijkheden van opbrengst- en gewasgroeimodellen bij het kwantificeren van deze relaties verkend voor het gewas tulp. Verklarende modellen zijn nuttig voor het verkrijgen van inzicht in de fysiologie van de verschillende gewassen en de respons op teeltmaatregelen, maar vragen teveel onbekende parameters voor schatting van kengetallen voor het IMDP-model. Simpeler, beschrijvende, modellen lijken hiervoor beter geschikt.

Summary

Sustainable agricultural production requires integrated farming systems, satisfying all economic and ecological goals of land use at or above their desired levels. In addition to empirical and experimental research, Interactive Multiple Goal Linear Programming (IMGLP) is a useful technique for development of integrated farming systems. In the project 'Development of methods for design, validation and optimization of integrated cropping systems', a standardized methodology is developed for systems analysis based on IMGLP. Research is focussed on flower bulb production, where integrated farming systems are urgently required because of high production values and high emission rates of pesticides and nutrients.

In this report, various stages in the methodology are distinguished. The use of interaction matrices is introduced for formulation of relations between farming and cropping techniques and effects on goal variables. It is an efficient method to explore the problem in discussion with experts. Finally, the potential of crop growth and yield models for quantification of these relations is evaluated for tulip. Explanatory models are useful for gaining insight in crop physiology and response to cropping techniques, but too many parameters must be quantified for calculation of technical coefficients in the IMGLP model. Simple, descriptive models appear more useful for this purpose.

1. Inleiding

1.1. Methodologie voor de ontwikkeling van duurzame agrarische produktiesystemen

De huidige produktietechnieken in de landbouw zijn hoofdzakelijk gericht op bedrijfseconomische effecten op korte termijn en dragen in belangrijke mate bij aan de belasting van het milieu. Ze voldoen veelal niet aan het criterium van duurzaamheid, hier gedefinieerd als de afwezigheid van ongewenste economische, ecologische en maatschappelijke effecten op middellange en lange termijn. Geïntegreerde produktiesystemen, waarin naast bedrijfseconomische doelstellingen ook expliciet ecologische, sociaal-economische en maatschappelijke doelstellingen worden nagestreefd, zijn essentieel voor een duurzame landbouwkundige produktie. De langste ervaring met de ontwikkeling van dergelijke systemen bestaat in de akkerbouw, waarvoor in 1979 het proefbedrijf Ontwikkeling Bedrijfs-Systemen te Nagele is gestart (Vereijken & Wijnands, 1990). In de op dit bedrijf ontwikkelde geïntegreerde bedrijfsvoering is men er in geslaagd om, in vergelijking met de gangbare bedrijfsvoering, de inzet van chemische bestrijdingsmiddelen met 60 tot 90 % en het verschil tussen aan- en afvoer van N, P en K met 35 tot 100 % te reduceren, waarbij het netto overschot en het arbeidsinkomen gelijk bleven. Het succes van 'Nagele' heeft geleid tot het ontstaan van proefbedrijven voor geïntegreerde produktiesystemen voor akkerbouw op andere grondsoorten en voor de sectoren melkveehouderij, vollegrondsgroententeelt en bloembollenteelt.

De experimentele ontwikkeling van geïntegreerde produktiesystemen dient plaats te vinden op bedrijfsniveau, omdat belangrijke strategische teeltmaatregelen (bijvoorbeeld de vruchtwisseling en de basisbemesting) boven het gewasniveau uitstijgen. Het gewenste niveau, waarop de verschillende doelen van geïntegreerde landbouw verweven moeten worden, is echter op bedrijfsniveau niet vast te stellen. Een aantal doelstellingen (bijvoorbeeld natuurontwikkeling) worden immers pas op regionaal niveau zichtbaar. Omdat er praktische bezwaren kleven aan onderzoek op regioniveau (kosten, proeftechniek) moet het experimentele onderzoek op bedrijfsniveau worden aangevuld met modelmatig onderzoek op regioniveau. Het doel van dit modelmatig onderzoek is het vaststellen van de mogelijkheden van de regio voor optimale verweving van doelstellingen en het identificeren van de hiervoor benodigde agrarische produktiesystemen. De Interactieve Meervoudige Doelprogrammering (IMDP) is hiervoor een zeer bruikbaar instrument (Schans, 1991). Hoewel deze techniek al in verschillende studies naar optimaal landgebruik is ingezet (Van Keulen et al. 1992; Van de Ven, 1994), is een goed uitgewerkte methodologie voor toepassing van deze techniek niet beschikbaar, zodat vaak ad hoc oplossingen bedacht worden voor methodologische problemen. Dit geldt met name voor het genereren van technische coëfficiënten, het interpreteren van verschillen tussen modelmatig geformuleerde produktiesystemen en het toetsen van kansrijke geïntegreerde produktiesystemen in de praktijk.

1.2. Problemen bij duurzame teelt van bloembollen

De teelt van bloembollen is zeer arbeids- en kapitaalintensief en stelt hoge eisen aan de grond. Grofkorrelig en kalkrijk zand en lichte zavel worden geprefereerd boven klei, o.a. vanwege de uiterlijke kwaliteit van de bollen, de mogelijkheid om bollen grondvrij te maken voor export, de oogstzekerheid en, bij een beperkt aantal gewassen, de gevoeligheid van wortelgroei voor mechanische weerstand van de grond. Het gebrek aan goede grond, waarvan een deel bovendien wordt onttrokken voor andere bestemmingen, heeft geleid tot intensivering van de teelten, waarbij nauwe vruchtwisselingsschema's met uitsluitend bolgewassen worden gehanteerd. Hierdoor treden bodemgebonden ziekten en plagen op, waartegen grote hoeveelheden pesticiden (84 kg werkzame stof ha^{-1} $jaar^{-1}$ bij een totale inzet van 123 kg ha^{-1} $jaar^{-1}$; Ministerie van LNV, 1991) worden ingezet. Door vervluchtiging, uit- en afspoeling en overwaaien van deze stoffen en hun metabolieten wordt het milieu verontreinigd. Resistentieveredeling is pas laat op gang gekomen, waardoor resistente rassen slechts beperkt beschikbaar zijn.

Bolgewassen hebben in het algemeen een matig ontwikkeld, ondiep wortelstelsel. Om voldoende opname van voedingsstoffen te verzekeren worden hoge mestgiften ingezet. Gecombineerd met een goed drainerende grond en het gebruik van drijfmest tegen het stuiven van grond, leidt dit tot een zeer lage benutting van mineralen en een hoog niveau van uitspoeling.

Door de zware belasting van het milieu met pesticiden en mineralen staat de bloembollenteelt onder grote maatschappelijke druk. Voor de continuïteit van de bedrijfsvoering is het nodig geïntegreerde produktiesystemen te ontwikkelen, waarbij de emissie van mineralen en pesticiden tot binnen de normen wordt beperkt, terwijl de bedrijfseconomische resultaten aanvaardbaar blijven.

1.3. Doelstellingen van dit onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om een gestandaardiseerde methodologie te ontwikkelen voor systeemanalyse van geïntegreerde produktiesystemen in de landbouw, op basis van interactieve meervoudige doelprogrammering. De teelt van bloembolgewassen, met als uitgangspunt de bedrijfsvoering bij de intensieve bloembollenteelt op zand in Noord-Holland, is gekozen als 'case' voor deze methodologieontwikkeling. Hiermee is de ontwikkeling van teeltmodellen voor bloembolgewassen bij diverse niveaus van teeltintensiteit een tweede doelstelling van het onderzoek. Verwachte resultaten van het project vallen uiteen in twee categorieën. Wat betreft de ontwikkeling van methoden zijn de verwachte resultaten: een procedure voor het in kaart brengen en prioriteren van teeltcomponenten en hun relatie met doelvariabelen voor relevante gewassen in een produktiesysteem, een flexibele procedure om de als belangrijk aangemerkte relaties tussen teeltcomponenten en doelvariabelen te kwantificeren in een rekenmodel waarmee produktiesystemen gegenereerd kunnen worden ten behoeve van lineaire programmering alsmede de software daarvoor, een evaluatie van methoden om de gegenereerde produktiesystemen te toetsen aan empirische gegevens en 'common sense', en een analyse van de onderscheidbaarheid van produktiesystemen tegen de achtergrond van onzekerheden in relaties tussen teeltcomponenten en doelvariabelen. Wat betreft de teelt van bloembollen wordt verwacht dat belangrijke relaties tussen teeltcomponenten en doelvariabelen gekwantificeerd worden voor een aantal relevante bolgewassen en vergeleken worden

met gegevens van praktijkbedrijven en dat wordt aangegeven wat kansrijke bedrijfsscenario's voor geïntegreerde bloembollenteelt zijn, op maat gemaakt voor regionale mogelijkheden en beperkingen.

1.4. Doel van dit rapport

Sinds de start van dit project in juni 1991 is er een algemene beschrijving gemaakt van de verschillende fasen in de methodologie, waarbij doel en methode van elke fase zijn geformuleerd (hoofdstuk 2). Voor het gewas tulp worden een aantal modellen (aanwasgetal, LINTUL, ROCROP-SEEDMIX, TUCROS) onderzocht op hun geschiktheid voor het genereren van technische coëfficiënten, benodigd voor de IMDP (hoofdstuk 3). Om aansluiting te houden met het experimentele onderzoek naar geïntegreerde produktiesystemen op proefbedrijf 'De Noord', is de onderzoeksaanpak begin 1992 besproken met de betrokken onderzoekers van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek te Lisse aan de hand van een eerdere versie van dit rapport. Naast een algemene bespreking van de aanpak werd in kleiner verband met de specialisten gesproken over de stand van zaken m.b.t. de kennis van modellen voor groei en opbrengst van tulp en andere bolgewassen onder potentiële en water- en stikstof-gelimiteerde omstandigheden, en over effecten van teeltmaatregelen op groei- en opbrengstkortende factoren en milieucomponenten. Naar aanleiding van opmerkingen en verbeteringen zijn de hoofdstukken 1 tot en met 3 op onderdelen aangepast. De conclusies van de discussies zijn verwoord in hoofdstuk 4.

2. Systeemanalyse van produktie-systemen in de intensieve bloembollenteelt in het noordelijk zandgebied van Noord-Holland

2.1. Inleiding

De hoge inzet van bestrijdingsmiddelen en nutriënten bij de gangbare teelt van bloembollen vormt een probleem voor de continuïteit van de bedrijfsvoering in de sector wegens de daarmee samenhangende negatieve neveneffecten op biotische en abiotische milieucomponenten. De voorgestelde oplossingen variëren van aanpassingen in de teelttechniek bij ongewijzigde vruchtopvolging (Ministerie van LNV, 1991; LBO, 1990; Meijles & Marcelis, 1990) tot uitbreiding van het bouwplan met niet-bolgewassen (Ministerie van LNV, 1989), al dan niet door uitwisseling van grond tussen bedrijven. Alle voorgestelde oplossingen beogen een compromis tussen bedrijfseconomische doelstellingen (rentabiliteit, solvabiliteit) en milieukundige doelstellingen (inzet en/of uitspoeling van pesticiden en nutriënten). In dit hoofdstuk wordt een methode gepresenteerd waarmee kan worden geëvalueerd in hoeverre voorgestelde oplossingsrichtingen tegemoet komen aan expliciet geformuleerde doelstellingen. De methode is die van Interactieve Meervoudige Doelprogrammering (IMDP), een op lineaire programmering gebaseerd optimaliseringsalgoritme. Deze methode wordt ook gebruikt in een studie ter ondersteuning van het project Introductie Geïntegreerde Akkerbouw (Schans, 1991; Wijnands, 1992). Het interactieve karakter van de methode maakt het mogelijk gevolgen van verschillende prioriteitstelling met betrekking tot doelstellingen op landbouwkundig en milieukundig gebied zichtbaar te maken. Daarnaast wordt de werkwijze voor het identificeren en kwantificeren van de belangrijkste relaties tussen teeltmaatregelen en doelstellingen uiteengezet.

2.2. Doelstellingen bij de teelt van bloembollen

De te optimaliseren doelstellingen zijn ontleend aan beleidsnota's van overheid, bedrijfsleven en milieubeweging. De voor de bloembollensector relevante nota's zijn samengevat in Tabel 2.1. De vaak in algemene termen geformuleerde doelstellingen zijn vervolgens vertaald naar op bedrijfsniveau hanteerbare doelstellingen.

De doelstellingen bij de teelt van bloembollen in het noordelijk zandgebied van Noord-Holland zijn voorlopig als volgt geoperationaliseerd. De bedrijfseconomische doelstelling is geformuleerd als *maximalisatie van het saldo van de vruchtwisseling bij volledig eigen mechanisatie.* Het saldo wordt berekend als de totale baten verminderd met de toegerekende kosten, gesommeerd over de gewassen in de rotatie en gemiddeld per hectare. De milieukundige doelstelling is geformuleerd als *minimalisatie van de emissie van stikstof en de inzet van fosfaat en pesticiden per eenheid van oppervlak en per eenheid van produkt.* Deze tweedeling in de dimensie waarin de milieukundige doelstelling wordt uitgedrukt, is aangebracht om eventueel efficiënter gebruik van produktiemiddelen bij hogere opbrengstniveau's te kunnen onderzoeken.

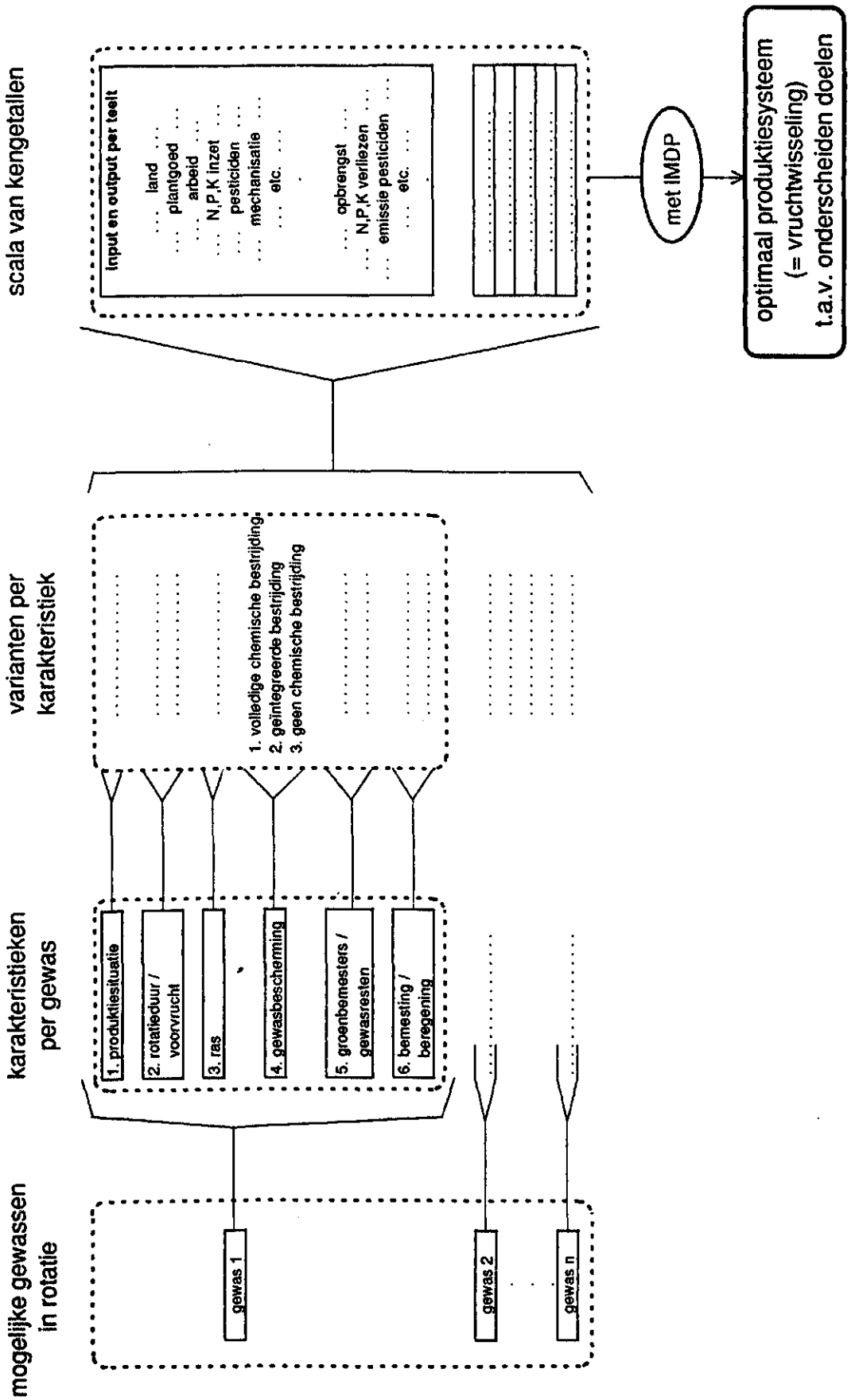
Tabel 2.1. Beleidsnota's, gebruikt voor formulering van doelstellingen bij de teelt van bloembollen

	Beleidsnota
Overheid	Structuurnota Landbouw, 1989
	Meerjarenplan Gewasbescherming inclusief Achtergrondsdocument Bloembollenteelt, 1991
Bedrijfsleven	Milieuactieplan Bloembollenteelt (Landbouwschap), 1989
Milieugroeperingen	Voorbeeldbedrijven bollenteelt en milieu (CLM), 1990

2.3. Produktiesystemen in relatie tot doelstellingen

Het lineaire programmeringsalgoritme berekent op bedrijfsniveau de optimale rotatie van bloembolgewassen (of, op regioniveau, de optimale combinatie van rotaties) op de beschikbare oppervlakte grond, waarbij zo goed mogelijk aan de doelstellingen wordt voldaan. De variabelen in het IMDP-model zijn de arealen onder de diverse bloembolgewassen. Rotaties bloembollen kunnen verschillen in vruchtopvolging en/of teeltcomponenten en het niveau van inzet van de teeltcomponenten (Fig. 2.1). Vruchtopvolging, teeltcomponenten en het niveau van inzet van de teeltcomponenten bepalen de door het produktiesysteem benodigde input en de geproduceerde output. Op hun beurt bepalen input en output in hoeverre aan economische en milieukundige doelstellingen kan worden voldaan. Dit betekent dat input en output van teeltwijzen moeten worden geformuleerd in termen van de doelstellingen, bijvoorbeeld gulden per hectare en kg stikstof per hectare. In Fig. 2.1 is een en ander grafisch toegelicht. Het formuleren van relevante teeltwijzen en het kwantificeren van input en output is derhalve een cruciaal onderdeel van deze studie. Hierbij is het de kunst uit de veelheid van mogelijke vruchtopvolgingseffecten en teeltcomponenten die te selecteren die een zo groot mogelijke bijdrage kunnen leveren aan het realiseren van één of meer doelstellingen. De geselecteerde relaties vormen de basis voor de produktiesysteemgenerator, een model waarmee kengetallen voor de verschillende teeltsystemen ten behoeve van het lineaire programmeringsmodel worden berekend. De verschillende fasen bij de ontwikkeling van de produktiesysteemgenerator zijn weergegeven in Tabel 2.2 en worden hieronder besproken.

Als eerste stap worden per gewas de relaties tussen de voorvrucht en de teeltcomponenten aan de ene kant en de doelvariabelen aan de andere kant, systematisch in kaart gebracht in een interactiematrix (Fig. 2.2). In de interactiematrix zijn langs de horizontale as de doelvariabelen gerangschikt en langs de verticale as de rotatie- en teeltcomponenten. De doelvariabelen vallen uiteen in een categorie die betrekking heeft op fysieke opbrengst en een categorie die betrekking heeft op milieu. Daarnaast kan een categorie 'natuur' worden onderscheiden. Binnen de categorie 'opbrengst' is een onderscheid gemaakt in potentiële opbrengst, water- en/of nutriënten-gelimiteerde opbrengst en opbrengst bij aanwezigheid van groeikortende factoren (ziekten, plagen, onkruiden, hagel, wind, etc.). De potentiële opbrengst wordt bepaald door straling, temperatuur en gewaseigenschappen, zoals gewasarchitectuur en cultivar. Water en nutriënten zijn voldoende aanwezig en groeikortende factoren komen niet voor. De opbrengst kan lager uitvallen dan het potentiële niveau door water- en/of nutriëntengebrek. Dit is het geval bij het merendeel van de te velde geteelde gewassen. Daarenboven kan de opbrengst worden gereduceerd door biotische (ziekten, plagen en onkruiden) of abiotische (hagel, wind) oorzaken.



Figuur 2.1. Karakterisering van teeltsystemen ten behoeve van Interactieve Meervoudige Doelprogrammering (IMDP)

Tabel 2.2. Fasen bij de ontwikkeling van een produktiesysteemgenerator voor Interactieve Meervoudige Doelprogrammering (IMDP)

Stap	Doel	Methode
1	Overzicht krijgen van gangbare en innovatieve teeltcomponenten en hun relatie met doelvariabelen voor relevante gewassen in een produktiesysteem	Samenvatten van literatuuronderzoek en expertise van deskundigen (onderzoekers, voorlichters, telers) in de interactiematrix
2	Identificeren van belangrijke relaties tussen teeltcomponenten en doelvariabelen voor de relevante gewassen	Selectie in interactiematrix op basis van theorie en praktijkervaringen
3	Kwantificeren van de belangrijke relaties tussen teeltcomponenten en doelvariabelen voor de relevante gewassen	Raadplegen witte en grijze literatuur en oude proefgegevens
4	Vastleggen van de gekwantificeerde relaties in een rekenmodel waarmee produktiesystemen kunnen worden gegenereerd (produktiesysteemgenerator)	Schrijven van computerprogramma in FORTRAN of andere programmeertaal
5	Berekenen van input en output van verschillende produktiesystemen	Maken van computerruns
6	Toetsing van uitkomsten	- Vergelijken van individuele relaties per gewas met onafhankelijke experimentele gegevens - Vergelijken van input en output per teeltsysteem en per produktiesysteem met experimentele gegevens en met de mening van experts
7	Onzekerheidsanalyse	- Kwantificeren van onzekerheid in de relaties in de systeemgenerator - Berekenen van onzekerheid in de uitkomsten van de systeemgenerator - Bepalen van belangrijkste bronnen van onzekerheid

In de cellen van de matrix wordt eerst weergegeven of een rotatie- of teeltcomponent een effect van betekenis heeft op een doelvariabele. Het lijkt nuttig te beginnen met een grove indeling van rotatie- en teeltcomponenten en deze indien nodig verder te detailleren in deelmatrices. Zo kunnen binnen de teeltcomponent 'grondontsmetting' de teelthandelingen 'chemische' en 'fysische grondontsmetting' worden onderscheiden met als varianten de verschillende chemische middelen en fysische methoden van ontsmetting. Detailleren heeft alleen zin als varianten verschillende effecten hebben op de doelvariabelen.

In horizontale richting lezend blijkt uit de matrix in Fig. 2.2 bijvoorbeeld dat de teeltactiviteit 'planten (tijdstip)' effecten heeft op de potentiële opbrengst, daar vroeg planten leidt tot een langer groeiseizoen, maar ook op de opbrengstkortende factoren. Zo leidt vroeg planten gemiddeld tot grotere schade door pythium en tabaksratelvirus (overgebracht door trichodoride nematoden). Het tijdstip van planten heeft geen belangrijke effecten op doelvariabelen die betrekking hebben op milieu. In verticale richting lezend, blijkt de potentiële opbrengst

Doelvariabelen bij de teelt van bloembollen

	Opbrengst					Milieu		
	Potentiële opbrengst	Opbrengstbeperkende factoren		Opbrengstkortende factoren		Oppervlaktewater	Grond	Lucht
		- water	- nutriënten	- bodemgebonden	- niet bodemgebonden			
Rotatiecomponent								
Voorvrucht / tussenteelt			•	•			•	
Teeltcomponent								
Grondontsmetting			•	•	•	•	•	•
Grondbewerking			•	•	•		•	
Plantgoed uitzoeken	•			•	•			
Plantgoed ontsmetten				•	•	•		•
Planten (tijdstip)	•			•	•			
Winterdek aanbrengen		•	•	•	•	•	•	•
Stuifbestrijding			•	•	•	•	•	•
Bemesten			•	•		•	•	•
Beregenen		•	•	•	•	•	•	
Onkruid bestrijden				•		•	•	•
Gewasbescherming				•	•	•	•	•
Ziekzoeken				•	•			
Koppen					•			
Loofmaaien en verwijderen					•			
Rooien (tijdstip)	•			•	•			
Verwerking				•	•			

Figuur 2.2. Voorbeeld van een interactiematrix

belangrijk te worden beïnvloed door het uitzoeken van het plantgoed, met name de grootteverdeling, en de tijdstippen van planten en rooien, die samen de lengte van het groeiseizoen bepalen.

Na het in kaart brengen van de relaties van enige betekenis tussen teeltcomponenten en doelvariabelen worden (stap 2, Tabel 2.2) sleutelrelaties in de matrix aangegeven. De keuze van de sleutelrelaties wordt in eerste instantie gebaseerd op kwalitatieve informatie op grond van theoretische overwegingen of praktijkervaring van onderzoekers, voorlichters en telers. Vervolgens (stap 3) wordt nagegaan in hoeverre gegevens beschikbaar zijn om deze sleutelrelaties te kwantificeren. Gegevens worden ontleend aan gepubliceerde en niet-gepubliceerde proefresultaten. Bij ontbreken van kwantitatieve gegevens over een relatie kan in eerste instantie met 'beredeneerde schattingen' worden volstaan.

De kwantitatieve verbanden worden vastgelegd in een rekenmodel (stap 4), de zogenaamde produktiesysteemgenerator, waarmee de input en output voor een reeks van teeltsystemen (d.w.z. combinaties van vruchtopvolgingseffecten, teeltcomponenten en het niveau van inzet van de teeltcomponenten) kunnen worden berekend (stap 5). Bij deze berekeningen wordt rekening gehouden met regio-karakteristieke aspecten, zoals grondsoort, besmettingsgraad van de grond met nematoden, beschikbaarheid van beregeningswater, etc. De kwaliteit van deze berekeningen hangt uiteraard sterk af van de kwaliteit van de in de produktiesysteemgenerator verwerkte kennis. Toetsing van deze kennis en van de berekende input en output per gewas, c.q. teeltsysteem, en voor de rotatie als geheel aan experimentele gegevens en gezond verstand is dan ook essentieel (stap 6). Daarnaast is het wellicht nuttig rekening te houden met onzekerheden in de schattingen van de relaties. Op basis van gegevens over de onzekerheden in de diverse relaties kan de onzekerheid in de input en output worden berekend. De belangrijkste bronnen van onzekerheid kunnen op deze wijze worden geïdentificeerd. Deze bronnen vereisen nadere studie (stap 7). De stappen 1 tot en met 5 worden in hoofdstuk 3 geïllustreerd aan het voorbeeld van tulp.

Wanneer voldoende vertrouwen bestaat in de produktiesysteemgenerator kan deze worden gebruikt om input en output voor het IMDP-model te genereren. Met dit model worden vervolgens een serie optimalisatie-runs gemaakt. In de eerste ronde van IMDP wordt ieder doel individueel geoptimaliseerd zonder beperkingen op de overige doelstellingen. Op deze wijze worden de waarden van elk doel en de bijbehorende produktiesystemen bepaald. In volgende ronden wordt elk doel geoptimaliseerd onder stapsgewijs toenemende beperking op de andere doelstellingen. De mate waarin dan op realisatie van de betreffende doelstelling moet worden toegegeven maakt het mogelijk de waarde van iedere doelstelling uit te drukken in termen van de andere doelstellingen. Bovendien worden de aanpassingen in rotatie en teeltmaatregelen, die nodig zijn voor verweving van doelen, zichtbaar.

De mate van detail waarin het produktiesysteem door de generator beschreven wordt, hangt af van de beschikbare gegevens en de benodigde nauwkeurigheid van de uitkomsten. Als op basis van het model slechts globale uitspraken gedaan hoeven te worden, is het niet zinvol een hoge mate van detaillering na te streven. Vaak zullen modellen met verschillende mate van detail naast elkaar worden ontwikkeld. In een latere fase (bijvoorbeeld tijdens de optimalisatie) wordt pas gekozen voor één van de modelvarianten. Ook deze problematiek komt in het voorbeeld van tulp aan de orde (hoofdstuk 3).

3. Naar een produktiesysteemgenerator voor de intensieve bloembollenteelt in het noordelijk zandgebied van Noord-Holland

3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de in het voorafgaande beschreven methodiek voor een kwantitatieve beschrijving van bloembolproduktiesystemen in het zandgebied in de kop van Noord-Holland, uitgewerkt voor één gewas binnen de rotatie. Hiervoor werd tulp gekozen omdat verwacht werd dat voldoende gegevens over groei en milieu-effecten van dit qua areaal belangrijkste bloembolgewas beschikbaar waren. Deze case-study beschrijft de ontwikkeling van een eenvoudig model voor de opbrengst en milieueffecten van tulp. Doel van dit hoofdstuk is het illustreren van de kwalitatieve en de kwantitatieve systeemanalyse uit hoofdstuk 2. Deze aanpak leidt tot respectievelijk een interactiematrix en een aanzet tot een teeltmodel voor tulp als onderdeel van een produktiesysteemgenerator voor de intensieve bloembollenteelt. Daarnaast wordt een overzicht gepresenteerd van de in kaart gebrachte onderzoeksgegevens.

3.2. Analyse en kwantificering van de teelt van tulp

Op basis van informatie uit de literatuur is een interactiematrix opgesteld waarin de relaties tussen rotatie- en teeltcomponenten en doelvariabelen zijn vastgelegd (Fig. 3.1). Bij het opstellen van de matrix is uitgegaan van een technisch correcte uitvoering van teelthandelingen, dus zonder verspilling van bestrijdingsmiddelen, etc. De indeling van de teeltcomponenten is gebaseerd op gegevens uit 'Kwantitatieve Informatie' (IKC-BLB, 1990) en de gewasbeschermingsgids (CAD-G/PVS, 1990) en geeft een overzicht van gangbare teeltcomponenten en hun varianten. Verdere detaillering van de varianten is mogelijk, bijvoorbeeld door onderscheid te maken tussen de verschillende chemische middelen voor grondontsmetting. Dit is evenwel alleen nuttig als er verschil in effecten op de doelvariabelen te verwachten is. In Fig. 3.2 zijn de interacties samengevat die in Fig. 3.1 als belangrijk zijn aangemerkt. Classificatie als 'belangrijk' is gebaseerd op het Meerjarenplan Gewasbescherming (Ministerie van LNV, 1991), op gesprekken met deskundigen van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek en op kennis van en ervaring met andere teelten dan bloembollen.

In Fig. 3.2 is tevens aangegeven welke relaties gekwantificeerd konden worden op basis van de beschikbare 'witte' en 'grijze' literatuur en persoonlijke archieven. De beschikbare informatie is in veel gevallen onvoldoende voor kwantificering van de relaties. Zo blijkt kwantitatieve kennis van effecten van voorvrucht op opbrengst- en milieuvariabelen voor tulp te ontbreken, hoewel deze effecten als belangrijk worden aangemerkt. In verband met de schaarste aan informatie is besloten de aandacht in eerste instantie te richten op de ontwikkeling van een kwantitatief model voor opbrengst van tulp en de effecten van teeltmaatregelen op de opbrengst. In een later stadium zullen de milieueffecten, met name de emissies van nutriënten, en de effecten van teeltmaatregelen hierop, nader gekwantificeerd worden door gebruik te maken van resultaten van lopend onderzoek bij diverse instanties.

Figuur 3.1. Interactiematrix tulp. Belang van het effect van teelthandelingen en -varianten op de opbrengstcomponenten: • relatief onbelangrijke relatie, ♦ belangrijke relatie. Bronvermelding tussen vierkante haakjes

		OPBRENGST	OPBRENGST BEPERKENDE COMPONENTEN								OPBRENGST KORTENDE COMPONENTEN												MILIEU COMPONENTEN						NA-
		BEPALENDE	WATER	BODEM							VNL. BODEMGEBONDEN ZIEKTEN					VNL. NIET-BODEMGEB. ZKTN			NEMA-	PLAGEN	OV.	ON-	EMISSIES		EMISSIES		EMISSIES		TUUR
		COMPO-									SCHIMMELZIEKTEN				VIRUS-	VIRUS-	SCHIMMEL-				AFWIJK-	KRUID	NAAR OPP.		NAAR		NAAR		COM-
		NENTEN	kwaliteit,	struk-	vruchtbaarheid										ZIEKTEN	ZIEKTEN	ZIEKTEN				INGEN		WATER		GRONDW.		LUCHT		PO-
		potentiële	kwantiteit	tuur	orga.				ov. ele-		Rhizoc-	Rhizoc-	Pythium	Fusar-	Ratel	TBV	Botrytis	Penici-			mechan.		nutri-	bio-	nutri-	bio-	nutri-	bio-	NEN-
Teelt- of rotatie-	Teelthandelingen & varianten	opbrengst	verdeling		stof				menten		tonia	tonia	spp.	lium oxy-	(Trichodo-		spp.	lium	(Ditylen-		bescha-		enten	ciden	enten	ciden	enten	ciden	TEN
component					geh.	N	P	K			tuliparum	solani		sporum	ride aaltjes)			spp.	chus)		diging								
voorvrucht [9]				•	•	•	•	•	•		♦	♦	♦	♦	♦				♦			♦	•	•	•	•	•	•	
grondont-	chemisch [1, 3, 4, 5, 6, 8]																												
smetten	schaarinjektor/tandinjektor [1,5,6,7,8]												•	•	♦		•		♦			•		•		•		•	•
	afdichten grond																												
	drijfmest spuiten (30000 kg/ha) [4, 5, 7]			•	•	•	•	•	•		•			•								•		•		♦		•
	gft-compost (9000 kg/ha) [5, 7]			•	•	•	•	•	•		•			•								•		•		•		•
	fysisch																												
	6 weken grond inunderen [1, 3, 4, 5]			•		•					♦				•		•		♦	•		♦			•	•			•
grondbe-	spitten/ploegen			•																•		•	•		•				•
werking	verlikale vruchtwisseling [3, 4, 8]			♦	•	•	•	•	•		•				•		•		♦	•		•			•	•			•
planten	plantgoed uitzoeken [1, 4, 8, A]													♦			•			•	•								
	planttijdstip [1, 4, 8, A, B]	♦									•	•	♦	•	♦		•					•							
	plantdichtheid [B]	♦														•	•					•			•				
	samenstelling plantgoed	♦																											
chemisch ont-	dompelen (< 1 - 15 min) [2, C]										♦	♦	♦	♦			♦	♦			•			•		•		•	
smetten plantg.	douchen (5-15 min) [2, C]										♦	♦	♦	♦			♦	♦			•			•		•		♦	
	schuimen [2, C]										♦	♦	♦	♦			♦	♦			•			•		•		•	
	spuiten [2, C]										♦	♦	♦	♦			♦	♦			•			•		•		♦	
winter dek	stro dekken 4 ton/ha [4, 7]		•	•	•	•	•	•	•					•	•					•		•		•		•		•	
	onder gras planten 250 kg/ha [4, 7, D]		•	•	•	•	•	•	•		•	♦		•	♦	•				•		♦		♦		•		•	
basis bemesting	kas lage dosis 50 kg zuiver N/ha [4, F]					•			•					•								•	•		•		•		
	kas hoge dosis 125 kg zuiver N/ha [4, F]					♦			•					♦								•	♦		♦		♦		
	NPK lage dosis 50 kg zuiver N/ha [4, F]					•	•	•						•								•	•		•		•		
	NPK hoge dosis 150 kg zuiver N/ha [4, F]					♦	♦	♦						♦								•	♦		♦		♦		
	organische mest (stuifbestrijding) [4]			•	•	•	•	•	•		•			•								•	•		•		•		
bijmesten	ks of kas 1x 50-75 kg zuiver N/ha [4, F]					•			•					♦								•	♦		♦		•		
	ks of kas 2x 30-35 kg zuiver N/ha [4, F]					•			•					♦								•	•		•		•		
	ks of kas 3x 25 kg zuiver N/ha [4, F]					♦			•					♦								•	•		•		•		

beregenen (op zwaardere gronden) [1, 4]			♦	•		•	•	•	•			•	♦			♦			•		♦								
bronbemaling			♦	•		•																								
onkruid	chemisch [9]																													
bestrijden	voor planten [1, 4, 8]													•	•	•			•		♦		•		•		•	♦		
	rond opkomst [1, 4, 8]													•	•	•			•		♦		•		•		•	♦		
	na opkomst [1, 4, 8]													•	•	•			•		♦		•		•		•	♦		
	mechanisch [G]																				♦									
	schoffelen [1, 4, 8]													•	•	♦	•		•	•	♦									
	branden [1, 4, 8]													•	•	♦	•		•	•	♦									
	cultivateren [1, 4, 8]			•										•	•	♦	•		•	•	♦									
	fysisch																													
	inundatie ca. 6 weken [1, 4]			•					♦					•		•		♦	•		•				•	•			•	
gewasbe-	chemisch tegen schimmels																													
scherming	maneb/zineb, (13x) + vinchlozolin 50%-																													
	(3x) +benomyl 50%, (1x) [1, 2, 4]															♦								•		•		♦	•	
	chloorthalonil, (7x) + vinchlozolin 50%-																													
	(4x) + carbendazim 50% (4x) [1, 2, 4]															♦								•		•		♦	•	
	chemisch tegen luizen [H]																													
	permethrin, (6x) + fenvaleraat (1x)														♦				♦					♦		•		•	•	
	waarnemingen + aangepast spuitsysteem																													
	+ dosis: permethrin + fenvaleraat 300g/l														♦				♦					♦		•		•	•	
	grondbehandeling [1,4]																													
	tolclofos-methyl 50% vv voor planten								♦	♦	♦													•		•			•	
	idem in de regel tijdens planten								♦	♦	♦													•		•			•	
	furalaxyl of metalaxyl 5% (in de regel)								♦	♦	♦													•		•			•	
	ruimtebehandeling [I]																													
	pirimifos-methyl																				♦							•		
ziekzoeken/selektie [1, 4, 8]								•					♦	♦	♦				•											
koppen [1,3,4]															•	•														
loofmaalen en verwijderen[1]														•		•														
rooien (tijdstip)[1]		♦		•								•				•	•													
verwerking	zeven											•					•			•										
	spoelen										•	•					•			•			•		•					
	drogen [8]											•					•		•	•										
	schonen [8]											•					•		•	•										
	pellen [6]										♦	•					•		•	•										
	sorteren											•					•			•										
	fust																		•	•										

Bronnen: 1: CAD/PD, 1989; 2: IKC-BLB, 1990; 3: Werkgroep-BLB, 1990; 4: LBO, 1983; 5: Meijles & Marcelis, 1990; 6: Werkgroep beperking emissies, 1990; 7: LBO, 1990; 8: CAD/PVS, 1990; 9: Adviezen in jaargang 103 van Boembollencultuur.

Persoonlijke mededelingen Van Aartrijk/Koster: A: Vroeg planten kan tot grote schade door Pythium leiden; B: kleine maten geven meer aanleiding tot ziekteproblemen, moeilijk te scheiden van plantdichtheidseffekt;

C: ook bij dompelen geen effekten op grondwater door hechting aan organische stof; D: Doodspuiten gras vraagt meer middel dan bestrijding tarweopslag. Daarnaast minder goede bestrijding overig onkruid;

E: Groenbemester bespaart een onkruidbestrijding. Tagetes verlaagt populatiedichtheid Ditylenchus. F: Gladiool: verhoogde Fusarium aantasting bij hoge N-gift. Vermoedelijk ook zo bij tulp;

G: Mechanische onkruidbestrijding resulteert door beschadiging in hoger Botrytis-risiko; H: Emissie naar oppervlaktewater van belang i.v.m. vistoxiciteit; I: met name gericht op mijten.

Doelvariabelen bij de teelt van bloembollen

	Opbrengst						Milieu		
Rotatiecomponent	Potentiële opbrengst	Opbrengstbeperkende factoren -water	Opbrengstbeperkende factoren - nutriënten	Opbrengstkortende factoren - bodemgebonden	Opbrengstkortende factoren - niet bodemgebonden	Oppervlaktewater	Grond	Lucht
Voorvrucht / tussenteelt			•	•			•	
Teeltcomponent								
Grondontsmetting			•	•	•	•	•	•
Grondbewerking			•	•	•		•	
Plantgoed uitzoeken	■			•	•			
Plantgoed ontsmetten				■	•	•		•
Planten (tijdstip)	■			•	•			
Winterdek aanbrengen		•	•	•	•	•	•	•
Stuifbestrijding			•	•	•	•	•	•
Bemesten			■	•		•	•	•
Beregenen		•	•	•	•	•	•	
Onkruid bestrijden				•		•	•	•
Gewasbescherming				•	•	•	•	•
Ziekzoeken				•	•			
Koppen					•			
Loofmaaien en verwijderen					•			
Rooien (tijdstip)	■			•	•			
Verwerking				•	•			

Figuur 3.2. Interactiematrix met de belangrijkste relaties voor de teelt van tulp op 'De Noord'. De in de eerste versie van de systeemgenerator gekwantificeerde relaties zijn aangegeven met (■)

3.3. Opbrengstmodel voor tulp

De in het opbrengstmodel verwerkte relaties zijn weergegeven als (■) in Fig. 3.2. De bijbehorende literatuurreferenties zijn weergegeven in Tabel 3.1. De onderdelen van het opbrengstmodel worden hieronder besproken.

Tabel 3.1. Elementen van de eerste versie van het opbrengstmodel voor tulp

Doelvariabele	Teeltcomponent	Aspecten	Referenties
Potentiële opbrengst	Plantgoed uitzoeken Planten; Rooien	Cultivar keuze Ziftmaat Plantdichtheid Plant-en rooidatum	IVT, 1972 IKC-BLB, 1990
N-beperkte opbrengst	Bemesten	Tijdstip	Van der Boon, 1973, 1986; niet gepubliceerde resultaten[1]
		Hoeveelheid	Cheal & Winsor, 1966, 1968, 1969; Cheal & Hewitt, 1962, 1964
Opbrengstreductie door *Fusarium*	Plantgoed ontsmetten	- Cultivar	Van Eijk, niet gepubliceerde resultaten[2]

[1]Landelijke stikstofproeven te Breezand, Ens, Lisse en Wieringermeer, 1968/69, 1969/70 en 1970/71. Rapporten C7731, C7699 en vdb 72-1-22/60. IB, Haren.
[2]Lijst van op zuur-resistentie geteste tulpe-cultivars, -species en -specieshybriden. IVT, Wageningen.

3.3.1. Potentiële opbrengst

De potentiële opbrengst van gewassen wordt in het algemeen bepaald door straling, temperatuur en gewas- en cultivarspecifieke eigenschappen als fotosynthese- en respiratiesnelheden en verdeling van de droge stof. Bij tulp en andere bolgewassen zijn bovendien plantdichtheid en geplante bolmaat van grote invloed op de netto gewasfotosynthese en de verdeling van drogestof over boven- en ondergrondse plantedelen, door hun invloed op de concurrentie om licht tussen planten. Gezien de niet-gescheiden teelt van plantgoed (bolmaat 9 en kleiner) en leverbaar (bolmaat 10 en groter) is de grootteverdeling van het plantgoed ('de bollenkraam') van grote invloed op de potentiële opbrengst. Daarnaast bepalen plant- en rooidatum de potentiële gewasproduktie als gevolg van het seizoensverloop in straling en temperatuur. In het navolgende worden vier modellen voor potentiële produktie beschreven in volgorde van toenemende complexiteit.

3.3.1.1. Aanwasgetal

Het eenvoudigste model voor potentiële produktie is het aanwasgetal, gedefinieerd als het percentage waarmee het geplante gewicht is toegenomen bij de oogst. Het aanwasgetal is voor ongeveer 300 tulpecultivars weergegeven in de Rassenlijst 1972 (IVT, 1972), gedifferentieerd naar zand- en kleigrond. In combinatie met gegevens over gemiddeld gewicht per ziftmaat, de sortering van het plantgoed en de plantdichtheid kan daaruit de opbrengst voor een cultivar worden berekend. Een voorbeeld wordt gegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Berekening van de potentiële opbrengst van tulp, cv. 'Prominence', via het aanwasgetal, bij gelijke verdeling van de stikstofgift over winter en voorjaar

Gangbare hoeveelheid pootgoed					10 000 kg ha^{-1}	
Gemiddeld gewicht pootgoed 'Prominence' maat 10-11 [a])					0,0182 kg $plant^{-1}$	
Plantdichtheid					549 450 planten ha^{-1}	
potentiële opbrengst ($kg\ ha^{-1}$)	=	gemiddeld gewicht pootgoed ($kg\ plant^{-1}$)	x	plantdichtheid ($plant\ ha^{-1}$)	x	aanwasgetal (-)
18 500	=	0,0182	x	549 450	x	1,85

[a]) gegevens Van der Boon, 1986

De getallen uit de Rassenlijst 1972 zijn gebaseerd op schattingen door deskundigen en hebben betrekking op de hele bollenkraam van een bedrijf (Van der Valk & De Vroomen, persoonlijke mededeling). Met deze gegevens kan geen schatting worden gemaakt van de variatie ten gevolge van uitgangsmateriaal of van externe omstandigheden, bijvoorbeeld als gevolg van variatie in teeltmaatregelen of locatie.
Een alternatief model, gebaseerd op kengetallen met betrekking tot het aantal oogstbare bollen per hectare (320 000-450 000; IKC-BLB, 1990), vormt een nog grovere maat voor de opbrengst en wordt hier buiten beschouwing gelaten.

3.3.1.2. LINTUL

In het LINTUL (Light INTerception and UtiLization) model (Spitters, 1990) wordt produktie van biomassa beschreven als functie van de cumulatieve geabsorbeerde fotosynthetisch actieve straling. Het is een waarnemingsfeit dat in veel gewassen een rechtlijnig verband bestaat tussen opbrengst en totaal geabsorbeerde straling. De geabsorbeerde straling kan worden berekend uit de gemeten straling en de gemeten LAI, gecorrigeerd voor rijenteelt. De toepasbaarheid van dit model kan worden onderzocht met behulp van gegevens van proeven van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, waarin tussen 1982 en 1986 opbrengsten en opbrengstcomponenten van tulp bepaald werden bij verschillende plantdichtheden.

3.3.1.3. ROCROP

Het model ROCROP (Van der Valk & Van Gils, 1990) is, met TUCROS (zie hieronder), het meest gedetailleerde model van potentiële gewasgroei van tulp dat beschikbaar is. In dit verklarende simulatiemodel wordt de dagelijkse gewasgroei berekend op basis van de dagelijkse netto fotosynthese en de omzettingssnelheid van assimilaten in droge stof, bij gegeven straling. Groei van het bladoppervlak worden beschreven als tijdafhankelijk proces, gebaseerd op een verband tussen maximaal bladoppervlak en bolgewicht bij planten. Hierbij wordt gecorrigeerd voor de plantdichtheid. Relaties met temperatuur ontbreken. Validatie van het model met behulp van onafhankelijke veldgegevens is nog niet gepubliceerd, maar al wel uitgevoerd (Van der Valk, persoonlijke mededeling). Afwijkingen tussen modeluitkomsten en veldwaarnemingen lijken met name te herleiden op bladontwikkeling en schattingen van het drogestof gehalte van geoogste bollen.

Om het model ROCROP geschikt te maken voor ondersteuning van onderzoek en voor bedrijfsadviezen, is een schil om het model gebouwd waarmee groei en produktie van plantgoed bestaande uit verschillende ziftmaten kan worden berekend. Tevens wordt de opbrengst in financiële termen berekend. Deze versie van ROCROP staat bekend als SEEDMIX. Deze schil kan in principe ook gebruikt worden voor vertaling van de resultaten van LINTUL en het aan-

wasgetal-model in bedrijfseconomisch relevante termen. ROCROP en SEEDMIX zijn geparameteriseerd voor acht tulpecultivars ('Apeldoorn', 'Don Quichote', 'Kees Nelis', 'Lucky Strike', 'Madame Lefebre', 'Parade', 'Prominence' en 'West Point').

3.3.1.4. TUCROS

Het model TUCROS (Benschop, 1985) is een voor tulp geparameteriseerde variant van SUCROS (Spitters et al., 1989), een generiek gewasgroeimodel uit de Wageningse School van C.T. de Wit. Dagelijkse gewasgroei wordt, evenals in ROCROP, berekend uit de dagelijkse fotosynthese en de efficiëntie van omzetting van assimilaten in droge stof van de diverse organen. Fotosynthese en assimilatenverdeling zijn een functie van het gewasontwikkelingsstadium, dat wordt berekend als temperatuursom. Aan het begin van het groeiseizoen wordt voor de berekening van het ontwikkelingsstadium alleen de bodemtemperatuur gebruikt, later een combinatie van bodem- en luchttemperatuur. In tegenstelling tot ROCROP wordt bij de berekening van de lichtonderschepping geen rekening gehouden met het effect van rijenteelt. Groei van het bladoppervlak wordt berekend uit de toename van het drooggewicht van het blad en een constante omrekeningsfactor, het specifiek bladoppervlak (SLA). Daarnaast draagt translocatie van biomassa uit de moederbol bij tot de groei van het blad. Afsterving van het blad wordt nagebootst door de fotosynthesesnelheid van het blad te laten afnemen, bij gelijkblijvend bladoppervlak. TUCROS is gecalibreerd voor één cultivar (Apeldoorn) en één ziftmaat (zift 9). Validatie is uitgevoerd (Raven en Van der Valk, persoonlijke mededeling), maar niet gepubliceerd.

Tabel 3.3. Vergelijking van potentiële opbrengsten (versgewicht, kg are^{-1}) berekend met het aanwasgetal en met SEEDMIX, voor drie cultivars en vier plantdichtheden. Plantgoed heeft een gewicht van 17-18 g plant^{-1}.

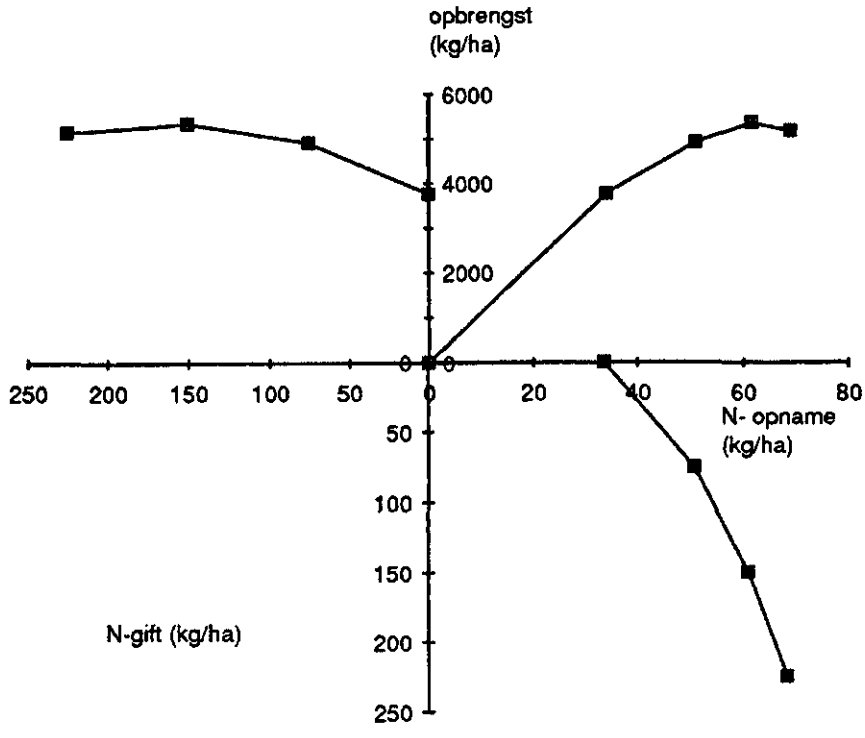
Cultivar	Hoeveelheid plantgoed (kg are^{-1})	Opbrengst	
		SEEDMIX	Aanwasgetal
'Prominence'	80	203	159
	90	218	178
	100	232	198
	110	244	218
'Kees Nelis'	80	197	179
	90	213	201
	100	226	224
	110	239	246
'Lucky Strike'	80	251	171
	90	267	193
	100	280	214
	110	292	235

Vergelijking van de uitkomsten van de verschillende modellen met de resultaten van onafhankelijke veldproeven is nog niet geschied en dringend gewenst. Een vergelijking van de resultaten van SEEDMIX met het model gebaseerd op het aanwasgetal (Tabel 3.3) laat zien dat bij een plantgewicht van 17-18 g plant^{-1} de opbrengsten van 'Kees Nelis' redelijk overeen komen. Echter, de opbrengsten van 'Prominence' en 'Lucky Strike' berekend met SEEDMIX zijn aanzienlijk hoger dan die van het aanwasgetalmodel. Met SEEDMIX wordt de hoogste opbrengst berekend voor 'Lucky Strike' terwijl het aanwasgetalmodel de hoogste opbrengst geeft voor 'Kees Nelis'.

In de eerste versie van het opbrengstmodel wordt het aanwasgetal op zandgrond gebruikt als model voor de potentiële produktie van tulp. In de loop van het project zal aandacht worden besteed aan het gebruik van meer generieke modellen om opbrengsten van diverse gewassen te berekenen onder verschillende groeicondities.

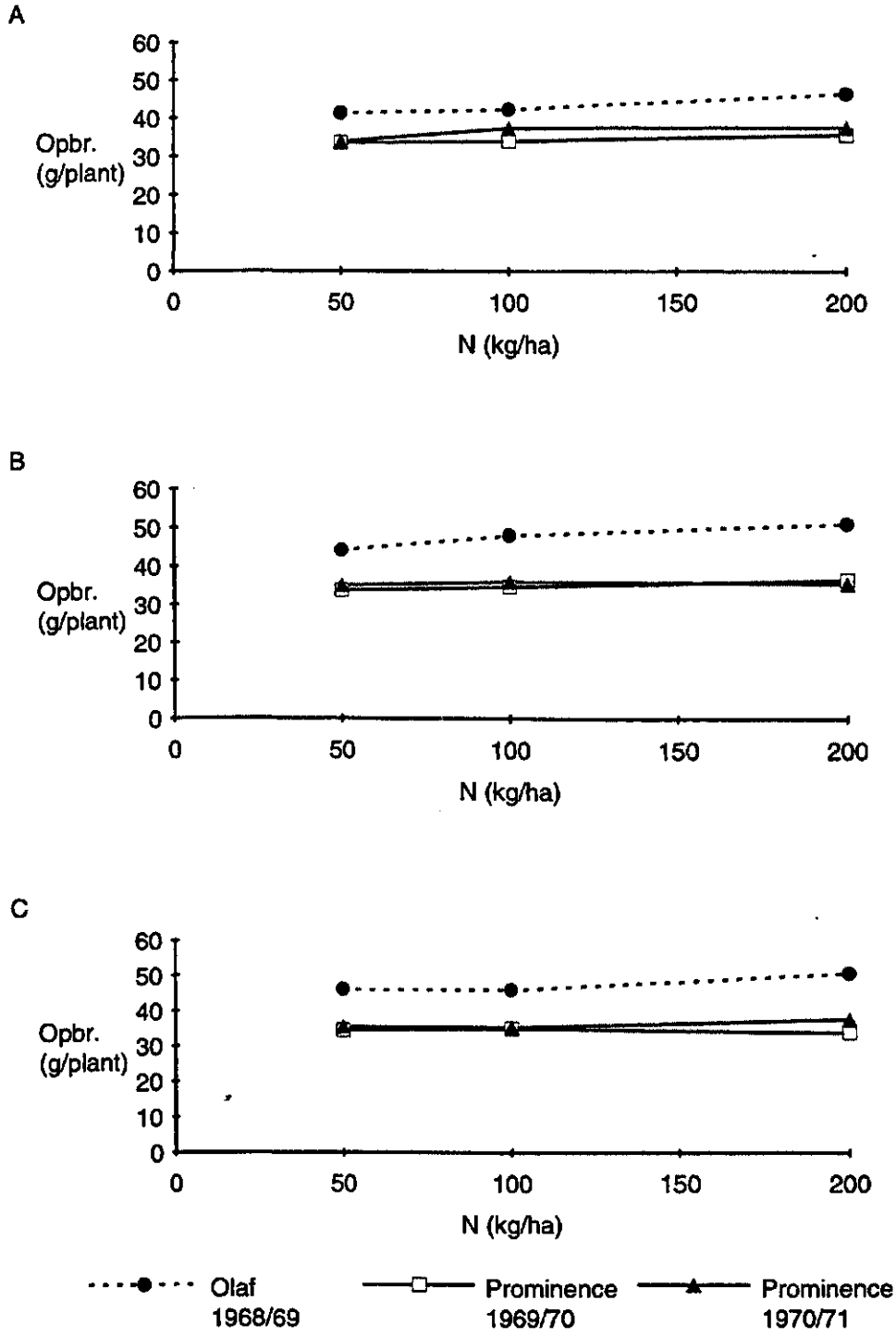
3.3.2. N-gelimiteerde opbrengst

Indien de stikstofconcentratie in de plant te laag is, wordt de groei negatief beïnvloed door een lagere bruto fotosynthesesnelheid van de bladeren en door verkorting van hun levensduur. Een bruikbare manier om de reactie van de biomassaproduktie op de stikstofgift te kwantificeren, is de drie-kwadranten methode (De Wit, 1953; Van Keulen, 1982), zoals in Fig. 3.3. Bij deze wijze van grafische weergave van proefresultaten worden het verband gift en opname (kwadrant IV) en het verband tussen opname en opbrengst (kwadrant I) afzonderlijk weergegeven. Uit analyse van proeven met andere gewassen blijkt dat variatie in de relatie



Figuur 3.3. Illustratie van analyse van het effect van stikstof op opbrengst met behulp van een drie-kwadrantendiagram. Gegevens hebben betrekking op gemiddelde waarden van drie leliecultivars ('Enchantment', 'Aristo' en 'Connecticut King'), bij een gedeelde gift van 1/4 in maart, 1/4 in april, 1/4 in mei en 1/4 in juni. Bron: Slangen et al., 1987.

tussen N-gift en opbrengst tussen proeven veelal terug te voeren is op variatie in de relatie weergegeven in kwadrant IV, terwijl de relatie in kwadrant I meestal redelijk stabiel is.
De beschikbare literatuur met betrekking tot effecten van stikstofbemesting op groei en produktie van tulp onder veldomstandigheden is beperkt tot verslagen van het IB (Van der Boon, niet gepubliceerd, zie tabel 3.1 Van der Boon, 1973, 1986). Gedurende drie seizoenen werden



Figuur 3.4. Effect van N-gift en -verdeling op opbrengst van tulp, proeftuin Breezand. A: volledige N-gift in december; B: gedeelde N-gift in december en maart; C: volledige N-gift in maart. Bron: Van der Boon ,1973

tulpen geteeld bij verschillende totale stikstofgiften en bij verschillende verdeling van de gift in de tijd, te weten volledige gift in december, volledige gift in maart en een gelijke verdeling van de gift over beide maanden. De cultivar 'Prominence' werd in twee van de drie proeven gebruikt, de cultivar 'Olaf' in de derde. In de proeven werden geen metingen gedaan van de stikstofopname door het gewas.

De relaties tussen stikstofgift en opbrengst in de twee proeven met 'Prominence' komen redelijk overeen (Fig. 3.4). De resultaten voor 'Olaf' wijken af van die voor 'Prominence' (Fig. 3.4). De reden hiervoor is niet te achterhalen omdat de stikstofopname door het gewas niet is bepaald. Opvallend is dat de respons van de opbrengst op stikstofgiften hoger dan 50 kg ha^{-1} vrijwel nihil is. Dit strookt niet met de huidige ervaringen. Het bemestingsadvies van de voorlichtingsdienst voor tulp is 175 kg (N) ha^{-1} - N_{min} (Bemestingsadviesbasis bloembollen 1988). Kennelijk waren tijdens de proeven van Van der Boon andere produktiefactoren dan stikstof het meest limiterend voor de opbrengst.

Naast deze veldproeven zijn in Engeland (Cheal & Hewitt, 1962; Cheal & Winsor, 1968) en in Japan (Tsutsui, 1975) experimenten gedaan naar de stikstofhuishouding van tulp op zandcultures. De vertaalbaarheid van de resultaten naar veldomstandigheden is gering.

In de eerste versie van het opbrengstmodel worden de gegevens van de IB-proeven met 'Prominence' gebruikt om de berekende potentiële opbrengst te corrigeren voor stikstofgebrek. De hoogste opbrengst in de proeven, die werd gerealiseerd bij een eenmalige gift van 200 kg ha^{-1} in december, is als referentie genomen. De opbrengsten bij andere timing en hoogte van de gift zijn vervolgens als fractie van de referentie uitgedrukt. De N-beperkte opbrengst wordt berekend door de potentiële opbrengst te vermenigvuldigen met de fractie behorend bij de betreffende N-gift uit Tabel 3.4. Bij tussenliggende N-giften wordt lineair geïnterpoleerd.

Tabel 3.4. Relatieve opbrengst van tulp, cv. 'Prominence', bij verschillende hoeveelheden stikstof (50, 100 en 200 kg ha^{-1}) en verschillende timing van de stikstofgift gemiddeld over identieke proeven in 1969/70 en 1970/71 (naar Van der Boon, 1973). Opbrengst bij 200 kg ha^{-1} N in december is 100.

Timing	Relatieve opbrengst		
	50 kg ha^{-1}	100 kg ha^{-1}	200 kg ha^{-1}
december	92	97	100
maart	94	97	99
1/2 december, 1/2 maart	96	97	98

3.3.3. Opbrengstreductie door *Fusarium*

Bij de teelt van tulp kan *Fusarium oxysporum* f. sp. *tulipae* door teeltmaatregelen en door ontsmetting van het plantgoed worden bestreden. Teeltmaatregelen omvatten bijvoorbeeld het telen van een resistente cultivar, laat planten, matig bemesten en het toepassen van verticale vruchtwisseling. Informatie over de effecten van teeltmaatregelen op het aantastingsniveau en de relatie tussen aantasting en opbrengstderving ontbreekt goeddeels. Ook is niet bekend

wat de effectiviteit van de chemische middelen is. Wel heeft het Centrum voor Plantenveredelings- en Reproduktieonderzoek (CPRO-DLO) in de jaren '70 en '80 een maat ontwikkeld voor de resistentie van tulp tegen de ziekte. Hiertoe werden bollen van een cultivar geplant in een bodem die tevoren zwaar geïnoculeerd was met sporen van de schimmel. De resistentie van de cultivar werd uitgedrukt als het percentage bollen dat bij de oogst niet aangetast was. In Tabel 3.5 is van een aantal cultivars de resistentie weergegeven.

Tabel 3.5. Resistentie van enkele tulpecultivars tegen *Fusarium*. Resistentie is uitgedrukt als het percentage van de geoogste bollen dat niet is aangetast na teelt in zwaar besmette grond (Van Eijk, niet gepubliceerd, zie tabel 1)

Cultivar	Resistentie
'Apeldoorn'	5
'Don Quichotte'	64
'Kees Nelis'	94
'Lucky Strike'	96
'Lustige Witwe'	7
'Monte Carlo'	100
'Prominence'	6

In de eerste versie van het opbrengstmodel is de door CPRO-DLO gedefinieerde maat voor resistentie gebruikt om de opbrengstreductie door *Fusarium* te kwantificeren. Hierbij is aangenomen dat aangetaste bollen als verlies te beschouwen zijn. Verder is aangenomen dat ontsmetting van het plantgoed schade volledig voorkomt en dat effecten op de volgteelt niet van belang zijn.

3.3.4. Het opbrengstmodel

Één en ander leidt tot het volgende model:

opbrengst (kg ha^{-1}) =	potentiële opbrengst (kg ha^{-1}) x reductie door N-tekort (-) x reductie door Fusarium (-)
waarbij:	
potentiële opbrengst (kg ha^{-1}) =	gemiddeld gewicht pootgoed (kg $plant^{-1}$) x plantdichtheid (plant ha^{-1}) x aanwasgetal (-)

De reductiefaktoren voor N-tekort en aantasting door Fusarium worden afgelezen uit Tabellen 3.4 en 3.5.

Na berekening van de opbrengst kan met behulp van tabellen uit SEEDMIX de verdeling van de opbrengst over de diverse ziftmaten worden bepaald. Zo geeft een gemiddeld geoogst gewicht per plant van 33,7 g een verdeling van de opbrengst per ziftmaat zoals vermeld in Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Verdeling van een gemiddeld geoogst versgewicht van 33,7 g plant^{-1} over de ziftmaten voor tulpecultivar 'Prominence' (naar: Van der Valk & Van Gils, 1990)

Ziftmaat (cm)	Gewichtspercentage per ziftmaat
5	2,65
6	4
7	6
8	6,35
9	4
10	12,3
11	27,6
12	37,1

Het opbrengstmodel vormt de kern van een computerprogramma waarmee de opbrengst van tulp voor verschillende cultivars kan worden berekend bij verschillende teeltwijzen. Een teeltwijze wordt hier gekarakteriseerd door de hoeveelheid plantmateriaal, vooralsnog van één bolmaat, de hoeveelheid en de timing van de stikstofgift en het al dan niet ontsmetten van het plantgoed. De fractie van het areaal dat aangetast is door Fusarium kan worden gevarieerd. Een voorbeeld van de uitvoer van het programma is weergegeven in Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Illustratie van de resultaten van een eenvoudig model voor opbrengst van tulp en de onzekerheid daarin als gevolg van onzekerheid over het effect van bemesting en resistentie tegen *Fusarium*. Onzekerheid over het effect van bemesting werd gemodelleerd als een uniforme verdeling tussen minimum en maximum gemeten opbrengst bij een bepaalde N-gift. Onzekerheid over het niveau van resistentie werd beschreven als een uniforme verdeling op het interval (gemiddelde-10 %, gemiddelde+10 %), waarbij het gemiddelde afkomstig was uit Tabel 3.5.

Cultivar	Pootgoed (kg ha^{-1})	N-gift/niveau (maand/kg ha^{-1})	*Fusarium*-aantasting (%)	Ontsmetting	Opbrengst (kg ha^{-1})		
					Gemiddeld	Minimum	Maximum
Olaf	8000	Dec/200	0,33	0	11959	11650	12283
				1	17422	16974	17914
			0,67	0	6353	6175	6550
				1	17489	16966	17910
		Mrt/200	0,33	0	12314	11095	13505
				1	17920	16191	19657
			0,67	0	6537	5829	7172
				1	18069	16265	19680

3.3.5. Onzekerheden in het opbrengstmodel

Zoals uiteengezet, zijn bij de huidige stand van kennis alternatieve modellen denkbaar voor de berekening van de potentiële opbrengst. Momenteel worden ROCROP en TUCROS op bruikbaarheid onderzocht. Gegevens voor meer verklarende modellen van groei en produktie onder stikstof-beperkte omstandigheden en bij *Fusarium*aantasting ontbreken vooralsnog. Naast onzekerheid over de structuur van het gebruikte opbrengstmodel bestaat onzekerheid over de waarde van de parameters in het model. Zo is het produktie-ecologisch onwaarschijnlijk dat het aanwasgetal voor een cultivar slechts één waarde heeft. Vermoedelijk is een reeks van waarden mogelijk, afhankelijk van de stralings- en temperatuursomstandigheden en van grootteverdeling van het plantgoed.

Onzekerheid over de waarden van de parameters in het model leidt tot onzekerheid in de uitkomst van de berekeningen. Deze onzekerheid kan worden gekwantificeerd door het model zeer vaak door te rekenen, telkens met een andere keuze uit de reeks van mogelijke waarden. Het resultaat is een reeks opbrengsten, waarvan bijvoorbeeld de minimale en maximale waarde kan worden vastgesteld. Een voorbeeld van dergelijke resultaten is eveneens weergegeven in Tabel 3.7, waarbij het effect van bemesting is gevarieerd over het gemeten interval en een variatie in de resistentiegraad van ±10 % is verondersteld.

Een consequentie van grote variatie in de uitkomsten van het opbrengstmodel is dat op grond van de berekeningen slechts sterk verschillende teeltwijzen van tulp zinvol onderscheiden kunnen worden bij de optimalisatie van bloembolproduktiesystemen. Een tweede consequentie van grote variatie in de opbrengsten is dat deze variatie tot risico leidt, dat als doelstelling bij de evaluatie van produktiesystemen dient te worden meegenomen.

3.3.6. Van opbrengstmodel naar teeltmodel

Momenteel beperkt de beschikbare kennis over de mechanismen van opbrengstvorming bij tulp zich tot de potentiële opbrengst. Ter verklaring van de effecten van watertekort op gewasgroei kan terug worden gegrepen op expertise bij andere gewassen. Effecten van stikstoftekort dan wel groeikortende factoren op de opbrengst kunnen slechts globaal worden aangegeven. Het gebruik van simulatiemodellen met brede inzetbaarheid is derhalve beperkt tot de situatie van potentiële produktie.

Om de gewasgroeimodellen te kunnen gebruiken als basis voor schattingen van de potentiële opbrengst onder verschillende externe produktieomstandigheden, is vergelijking van de resultaten met onafhankelijke veldgegevens onontbeerlijk. Voor deze validatie zijn gegevens van een groot aantal proeven op het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek aanwezig. Ontsluiting van deze gegevens en toetsing van de modellen is gewenst en zal in deelprojecten ter hand worden genomen.

Vervolgens dient te worden geïnventariseerd wat de belangrijkste teeltcomponenten en hun effecten op opbrengst en overige doelvariabelen zijn. Waar mogelijk dient het zo ontstane teeltmodel met experimentele gegevens te worden getoetst. Hiervoor komen in aanmerking waarnemingen op proefbedrijf 'De Noord' en resultaten van inventarisaties op commerciële

bedrijven, zoals bijvoorbeeld uitgevoerd door de milieupraktijkgroepen van het Centrum voor Landbouw en Milieu.

Met betrekking tot de omrekening van fysieke opbrengst in financiële opbrengst lijken voor tulp variaties in kilogrammen en guldens elkaar op te heffen, zodat met een constante prijs kan worden gerekend (zie ook De Vroomen, 1985). Wel dient in een later stadium een maximaal afzetbaar areaal per cultivar als beperking mee te worden genomen.

4. Evaluatie en perspectief

Het doel van het project waar dit rapport deel van uitmaakt, is het ontwikkelen van een gestandaardiseerde methode voor analyse van geïntegreerde produktiesystemen in de landbouw, op basis van interactieve meervoudige doelprogrammering. In dit rapport is met name ingegaan op de wijze waarop produktiesystemen kunnen worden beschreven in termen van teelt- en rotatie-componenten aan de ene kant, en doelvariabelen aan de andere kant. Daartoe zijn zeven stappen onderscheiden (Tabel 2.2), die voor de teelt van een aantal soorten bloembollen op het noordelijk zandgebied nader zullen worden uitgewerkt. Synthese van de individuele teeltmodellen tot produktiesystemen en evaluatie van deze produktiesystemen wat betreft de mate waarin zij aan doelvariabelen voldoen, is in dit rapport buiten beschouwing gebleven. Het technische raamwerk nodig voor een dergelijke synthese en evaluatie met behulp van interactieve meervoudige doelprogrammering wordt elders beschreven (Schans, 1994).

Zowel tijdens het vooronderzoek, als tijdens de discussies met de betrokken onderzoekers van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek bleek de interactiematrix een nuttig instrument te zijn bij het systematisch analyseren van produktiesystemen. In eerste instantie leidt het 'vullen' van de matrix tot gestructureerd evalueren van relaties in het systeem. Keuzes werden gemotiveerd op basis van onderzoeksgegevens. Bij ontbreken van empirische gegevens, gaf de matrix aanleiding tot het zoeken naar consensus tussen experts over optreden en belang van interacties. In combinatie met de bronvermeldingen biedt de matrix een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot de kennis over een teeltsysteem.

Verklarende modellen vormen potentieel nuttige instrumenten bij het kwantificeren van relaties tussen teelt- en rotatiecomponenten enerzijds en doelvariabelen die betrekking hebben op opbrengst en milieu anderzijds. Het verklarend karakter van deze modellen komt voort uit een beschrijving van de relatie tussen de omgeving en die processen, die in belangrijke mate de oorzaak zijn van het gedrag van het systeem. In tegenstelling tot verklarende modellen wordt in beschrijvende modellen niet het onderscheid gemaakt tussen proces- en systeemniveau. In plaats daarvan wordt het gedrag van het systeem direct gerelateerd aan variabelen op systeemniveau. Door hun mechanistisch karakter kunnen verklarende modellen gebruikt worden bij de voorspelling van het systeemgedrag in nieuwe, niet eerder experimenteel geanalyseerde situaties. Restrictie hierbij is dat de procesbeschrijvingen geldig blijven. Een ander voordeel van simulatie is dat effecten van technologie en proeftechniek in proefgegevens worden uitgesloten bij de verkenning van de potenties van produktiesystemen. Een belangrijk nadeel van verklarende modellen is de grote hoeveelheid gegevens die nodig is voor de ontwikkeling en toepassing ervan. Met beschrijvende modellen kunnen voorspellingen worden gedaan onder de restrictie dat de beschrijving geldig blijft, dat wil zeggen dat er niet buiten het gemeten domein wordt geëxtrapoleerd. Hierdoor zijn beschrijvende modellen in het algemeen minder breed toepasbaar dan verklarende modellen.

Bij het kwantificeren van sleutelrelaties binnen teelten en tussen opeenvolgende teelten zijn aandachtsvelden te onderscheiden op grond van het bestaan van coherente wetenschappelijke kennis:

1. gewasgroei en -produktie onder verschillende externe omstandigheden (potentiële, water- en nutriëntgelimiteerde, en door (a)biotische factoren gekorte produktie);
2. dynamiek van pesticiden en nutriënten in milieucompartimenten;
3. effecten van teeltmaatregelen op gewasgroei en op dynamiek van pesticiden en nutriënten.

In (een deel van) de aandachtsvelden 1 en 2 is het niveau van kennis over bloembolproduktiesystemen zodanig, dat waarnemingen bevredigend met modellen verklaard kunnen worden. In aandachtsveld 1 heeft onderzoek naar gewasgroei en -produktie van tulp onder potentiële omstandigheden geleid tot de verklarende modellen ROCROP en TUCROS. Toetsing van deze modellen aan onafhankelijke veldgegevens is mogelijk, gezien de beschikbare hoeveelheid proefgegevens. Toetsing van deze modellen lijkt met name nuttig voor extrapolatie naar potentiële opbrengsten van bolgewassen waar veel minder proefgegevens van beschikbaar zijn, zoals krokus en hyacint. Verklarende modellen voor groei onder waterbeperking zijn in principe beschikbaar, maar dienen te worden getest voor toepassing op bolgewassen. Verklarende modellen voor de effecten van de beschikbaarheid van nutriënten op gewasgroei ontbreken. Bemestingseffecten op opbrengst kunnen worden gekwantificeerd middels beschrijvingen in de vorm van drie-kwadranten diagrammen (Fig. 3.3). Van de effecten van ziekten, plagen en onkruiden op groei en produktie van bolgewassen zijn vooralsnog onvoldoende proefgegevens beschikbaar voor kwantificering in een verklarend model.
Onderzoek in aandachtsveld 2 heeft geleid tot verklarende, fysische modellen van transport van pesticiden en nutriënten in de bodem. Validatie van deze modellen met veldgegevens is onderwerp van een scala van onderzoeksprojecten. In aandachtsveld 3 zijn onvoldoende onderzoeksresultaten beschikbaar om te komen tot verklarende modellen. Wel zijn beschrijvende relaties op te stellen op basis van metingen op proefveld- en rotatieschaal (Scholte, 1989; Zadoks, 1989).

Voor toetsing van de uit beschrijvende en verklarende submodellen samengestelde teelt- en rotatiemodellen zijn gegevens op bedrijfsniveau nodig. In de literatuur ontbreekt dit type informatie. Het gestructureerd verzamelen van relevante gegevens is daarom een belangrijk onderdeel van ontwikkeling van methodologie van toetsing van geïntegreerde produktiesystemen. Binnen dit project zijn voor inventarisatie van bestrijdings- en bemestingsgegevens per bedrijf contacten gelegd met het Centrum voor Landbouw en Milieu en de door CLM begeleide milieupraktijkgroepen uit de bollenteelt. Daarnaast zijn de proefbedrijven voor ontwikkeling van geïntegreerde bedrijfssystemen van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek belangrijke bronnen van informatie.

Volgende stappen in het onderzoek in dit project dienen te leiden tot inventarisatie van onderzoekgegevens nodig voor schattingen van de effecten van verschillende teeltmaatregelen op opbrengst en milieu. Hierbij zal evaluatie van de bruikbaarheid van verklarende modellen prioriteit krijgen. Speciale aandacht zal worden besteed aan kwantificering van de onzekerheid in relaties en de gevolgen hiervan voor het aantal produktiesystemen dat zinvol onderscheiden kan worden. Daarnaast zal het technisch raamwerk van de produktiesysteemgenerator worden vervolmaakt. Tenslotte zal aandacht worden besteed aan het ontwikkelen van een coherente set gegevens voor toetsing van de ontwikkelde modellen.

Literatuur

Benschop, M., 1985.
TUCROS, een simulatiemodel voor de tulpecultivar 'Apeldoorn'. Simulation Report CABO-TT no. 6, CABO-DLO, Wageningen, 83 pp.

Boon, J. van der, 1973.
Stikstofbemestingsproeven bij tulp; samenhang tussen opbrengst en stikstofgehalte van blad, bol en grond. Rapport 1-73, IB, Haren, 51 pp.

Boon, J. van der, 1986.
Stikstofopname en -verdeling in de tulp. Rapport 2-86, IB, Haren, 110 pp.

CAD/PD, 1989.
Gewasbeschermingsgids. Consulentschap in Algemene Dienst / Planteziektenkundige Dienst, Wageningen.

CAD-B, 1990.
De oogst van bloembollen. Rapport AS 20, Consulentschap in Algemene Dienst voor de Bloembolenteelt, Lisse, 83 pp.

CAD-G/PVS, 1990.
Gewasbescherming bloembollen en bolbloemen. Consulentschap in Algemene Dienst/ Produktschap voor Siergewassen, Wageningen.

Cheal, W.F. & E.J. Hewitt, 1962.
Effects of major nutrients on two varieties of tulip grown in sand culture. Journal of Horticultural Science 37: 134-140.

Cheal, W.F. & E.J. Hewitt, 1964.
The effects of supply of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on leaf and stem growth, flowering and 'topple' of Golden Harvest and Elmus tulip. Annals of Applied Biology 53: 477-484.

Cheal, W.F. & G.W. Winsor, 1966.
The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on the growth of tulip during the second season of treatment and on the chemical composition of the bulbs. Annals of Applied Biology 57: 287-299.

Cheal, W.F. & G.W. Winsor, 1968.
Response of tulips (variety Elmus) to nitrogen and potassium, Part I: Sand culture. Experimental Horticulture 18: 88-89.

Cheal, W.F. & G.W. Winsor, 1969.
Response of tulips (variety Elmus) to nitrogen and potassium, Part II: Field-grown crops. Experimental Horticulture 19: 61-70.

IKC-BLB, 1990.
Kwantitatieve informatie bloembollen- en bolbloementeelt. Informatie en Kenniscentrum Bloembollen, Lisse.

IVT, 1972.
Tweede rassenlijst voor tulpen 1972. IVT, Wageningen, 253 pp.

Jong, J.A. de, 1985.
De teelt van aardappelen. Drachten, 316 pp.

Keulen, H. van, 1982.
Graphical analyses of annual crop response to fertilizer application. Agricultural Systems 9:113-126.

Keulen, H. van, J. Schans & G.W.J. van de Ven, 1992.
Duurzaam landgebruik vraagt verweving van doelstellingen: illustratie van een methodologie. In: F.W.T. Penning de Vries & J.H.J. Spiertz (Eds) Kwaliteit en duurzaamheid als hoeksteen voor plantaardige produktie, milieu en natuur. Agrobiologische Thema's 7, CABO-DLO, Wageningen, 87-105.

LBO, 1983.
Ziekten en afwijkingen bij bolgewassen, Deel 1: Liliaceae. LBO, Lisse, 181 pp.

LBO, 1990.
Onderzoeksprojekt Geïntegreerde bedrijfssystemen bloembollenteelt 'De Noord', Onderzoeksplan Geïntegreerde bedrijfssystemen bloembollenteelt 'De Noord'. LBO, Interne Notitie, 54 pp.

Landbouwschap, 1989.
Bloembollenteelt milieu-actieplan. Landbouwschap, Den Haag.

Meijles, J.G. & R.A.L. Marcelis, 1990.
Voorbeeldbedrijven bollenteelt en milieu. Vooronderzoek. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 71 pp.

Ministerie van LNV, 1989.
Structuurnota Landbouw. Beleidsvoornemen. Ministerie LNV, Den Haag, 139 pp.

Ministerie van LNV, 1991.
Meerjarenplan Gewasbescherming. Beleidsvoornemen. Ministerie LNV, Den Haag, 273 pp.

Schans, J., 1991.
Optimal potato production systems with respect to economic and ecological goals. Agricultural Systems 37:387-397.

Schans, J. (in prep.)
MGOPT-CROP, een model voor optimalisering van gewasrotaties naar ekonomische en ekologische doelen. Verslag, AB-DLO, Wageningen.

Scholte, K., 1989.
Effects of crop rotation on the incidence of soil-borne pathogens and the consequences for potato production. Dissertatie, Landbouwuniversiteit Wageningen, 143 pp.

Slangen, J.H.G., C.H.M. Hendriks & N. Hof, 1987.
Stikstof-bemesting bij lelies (veldproeven 1984, 1985). Rapport no. 61, LBO, Lisse, 73 pp.

Spitters, C.J.T., H. van Keulen & D.W.G. van Kraalingen, 1989.
A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: R. Rabbinge, S.A. Ward & H.H. van Laar (Eds), Simulation and systems management in crop protection. Pudoc, Wageningen, pp. 147-181.

Spitters, C.J.T., 1990.
Crop growth models: their usefulness and limitations. Acta Horticulturae 267: 349-368.

Tsutsui, K., 1975.
Nitrogen fertilization in tulip bulb production in Japan. Acta Horticulturae 47: 347-353.

Valk, G.G.M. van der & J.B.H.M. van Gils, 1990.
ROCROP, model of tulip bulb production. Concept. LBO, Lisse/ICW, Wageningen.

Ven, G.W.J. van de (in prep.).
Optimalisering van ruwvoederproduktie en gebruik van dierlijke mest in relatie tot milieu-eisen, Verslag, AB-DLO Wageningen.

Vereijken, P. & F.G.Wijnands, 1990.
Geïntegreerde akkerbouw naar de praktijk; Strategie voor bedrijf en milieu. PAGV-Verslag 50, Lelystad, 86 pp.

Vroomen, C.O.N. de, 1985.
Analysis of differences in physical and financial crop results of forced tulip flowers. Acta Horticulturae 177: 273-278.

Werkgroep Beperking Emissies, 1990.
Rapportage Werkgroep Beperking Emissies, Achtergrondsdocument Meerjarenplan Gewasbescherming, Ministerie LNV, Den Haag, 74 pp.

Werkgroep Bloembollenteelt, 1990.
Rapportage Werkgroep Bloembollenteelt. Achtergrondsdocument Meerjarenplan Gewasbescherming, Ministerie LNV, Den Haag, 124 pp.

Wijnands, F.G., 1992.
Evaluation and introduction of integrated arable farming in practice. Netherlands Journal of Agricultural Science 40:239-249.

Wit, C.T. de, 1953.
A physical theory on placement of fertilizers. Verslagen Landbouwkundige Onderzoeken 59.4. Staatsdrukkerij, Den Haag, 71 pp.

Zadoks, J.C.(Ed.), 1989.
Development of farming systems, Pudoc, Wageningen, 90 pp.