

## Een model voor de dagelijkse oogstorganisatie bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders

**Citation for published version (APA):**

Fokkens, B., & Puylaert, M. A. M. (1980). Een model voor de dagelijkse oogstorganisatie bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. *Bedrijfskunde : Tijdschrift voor Modern Management*, 52(4), 369-384.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1980

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Een model voor de dagelijkse oogstorganisatie bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders

*Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van een wiskundig beslissingsmodel dat een hulpmiddel is voor de oogstleiding van het Grootlandbouwbedrijf van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Centraal in dit artikel staan de betekenis van het model voor de organisatie en een beschrijving van de ervaringen gedurende twee jaar met het model. Er wordt niet ingegaan op de wiskundige aspecten van het model.*

*Het model is ontwikkeld bij de afdeling Operationeel Onderzoek van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders in samenwerking met de afdeling Bedrijfskunde van de Technische Hogeschool Eindhoven. De afdeling Operationeel Onderzoek heeft ook de invoering van het model in de organisatie begeleid.*

## Inleiding

Bij de uitvoering van de inpolderingswerkzaamheden in het IJsselmeer heeft de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) ondermeer als taak het drooggevallen gebied verder in te richten en geschikt te maken voor agrarisch, stedelijk en recreatief gebruik. De hieruit voortvloeiende werkzaamheden zijn de aanleg van detailontwatering, de ontginning van gronden, de aanleg en inrichting van landbouwge-

bieden, natuurgebieden en recreatieterreinen. Verder de bouw van steden en dorpen en het aanbrengen van de bijbehorende nutsvoorzieningen, het scheppen van werkgelegenheid en het beheer van rijkseigendommen. Op dit moment wordt het grootste gedeelte van de werkzaamheden van de RIJP uitgevoerd in Zuidelijk-Flevoland.

Na de ontginning houdt de RIJP de gronden ongeveer vijf jaar in eigen beheer en verbouwt er gewassen op, met name koolzaad, gerst, tarwe en haver. Deze landbouwkundige exploitatie van de grond wordt door het Grootlandbouwbedrijf van de RIJP uitgevoerd. Het beheer van het Grootlandbouwbedrijf berust bij de Cultuurtechnische Afdeling. Gedurende de periode van de landbouwkundige exploitatie wordt:

- het riet bestreden, dat ten behoeve van de ontginning is ingezaaid;
- een ondergronds drainagesysteem aangelegd;
- de rijpingstoestand van de grond verbeterd, zodat deze voor de diverse bestemmingen geschikter wordt;
- de grond zo geschikt mogelijk gemaakt voor de teelt van diverse gewassen, indien er sprake is van een landbouwkundige bestemming.

De totale oppervlakte van het Grootlandbouwbedrijf bedraagt ca. 22 000 hectare. Jaarlijks komt er door ontginning 3 à 4000 hectare bij en krijgt een even grote oppervlakte zijn definitieve bestemming. *Figuur 1* geeft aan hoe het Grootlandbouwbedrijf zich in de loop der jaren

\* Ing. B. Fokkens is hoofd van de Subafdeling Bedrijfssynthese bij de afdeling Operationeel Onderzoek van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders in Lelystad.

\*\* Ir. M. Puylaert is wetenschappelijk assistent in de vakgroep Operations Research en Statistiek aan de afdeling Bedrijfskunde van de Technische Hogeschool Eindhoven.

door de polder heeft verplaatst. Het Grootlandbouwbedrijf is met zijn 22 000 hectare veruit het grootste landbouwbedrijf in West-Europa. Het is zo'n 600 maal groter dan het gemiddelde Nederlandse akkerbouwbedrijf (ongeveer 30 hectare).

Tijdens de oogstperiode – vanaf half juli tot half september – zijn een paar honderd medewerkers van de RIJP, soms nog bijgestaan door loonwerkers, bezig met het binnenhalen van de oogst. Het machinepark, dat de RIJP in eigen beheer heeft ten behoeve van de oogstwerkzaamheden bestaat uit ca. 80 maaidorsers, ca. 60 tractoren, ca. 200 wagens en 3 silobedrijven. Het gewas wordt met maaidorsers uit het zwad (koolzaad) of van stam (graan) gedorst. Het gedorste produkt wordt met een combinatie van een 100 pk tractor en twee graantransportwagens naar een van de silobedrijven getransporteerd. Bij een te hoog vochtgehalte van het koolzaad (meer dan 10%) of van het graan (meer dan 19%) wordt het eerst gedroogd voor het wordt opgeslagen. Nog tijdens de oogst wordt de opbrengst per schip naar andere opslagruimten gevoerd (zie *figuur 2*).

De geoogste hoeveelheid koolzaad en graan bedraagt 70 000 à 80 000 ton en heeft een totale waarde van ca. 50 miljoen gulden.

### Probleemstelling

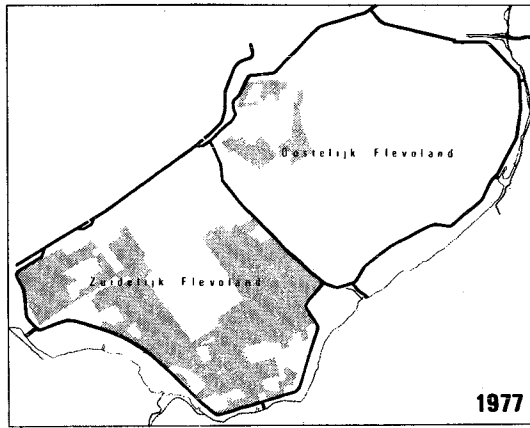
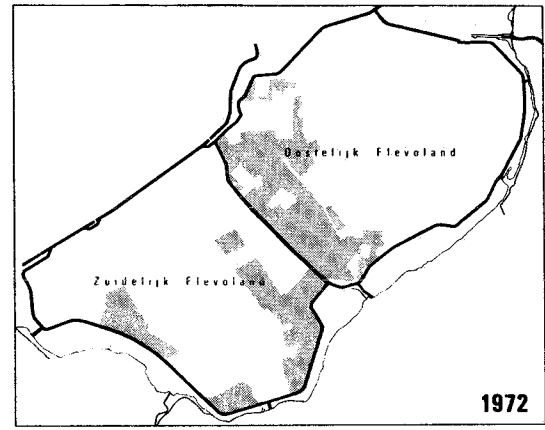
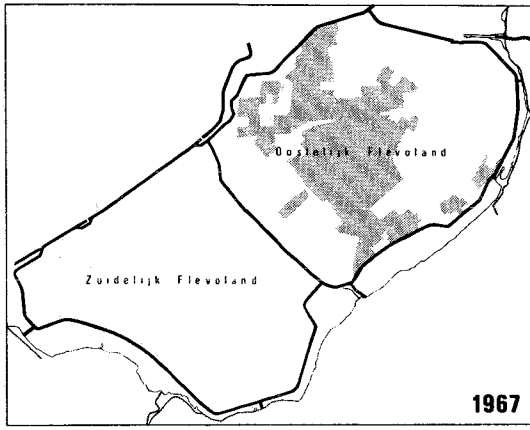
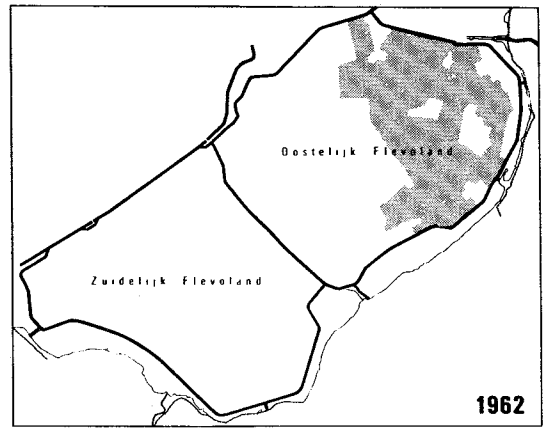
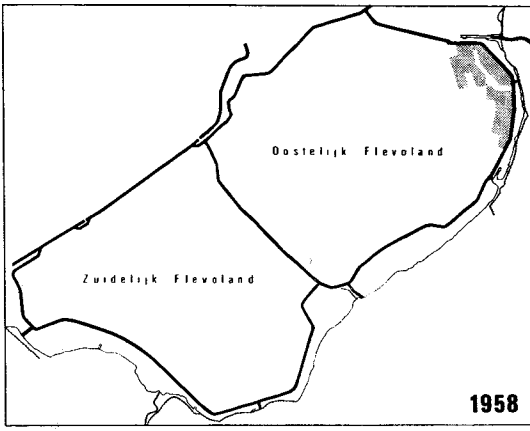
De oogst van landbouwgewassen in Nederland

is een proces, waarvoor niet weken van te voren een gedetailleerd uitvoeringsplan kan worden opgesteld. Dagelijks kunnen er veranderingen optreden in de toestand van de gewassen en de weersomstandigheden, waardoor een herziening van het plan noodzakelijk kan zijn. Het doel van de oogstplanning op het Grootlandbouwbedrijf is het minimaliseren van de totale oogstkosten. Onder de totale oogstkosten worden verstaan de som van de kosten van personeel en materieel alsmede de kosten van opbrengstverliezen, die optreden bij rijpe gewassen die nog op het land staan en niet op het tijdstip van rijp worden konden worden geoogst. (Zie *tabel 1*). Opbrengstverliezen ontstaan bijvoorbeeld doordat de korrel uit de aar valt, of de korrel in de aar gaat kiemen.

De teeltdeskundigen kunnen met grote nauwkeurigheid een week vooruit voorspellen wat het ideale tijdstip is om te oogsten. Dit wordt genoemd het tijdstip waarop het gewas maaidorsrijp wordt. Oogsten voor het tijdstip van maaidorsrijp worden is technisch niet mogelijk; uitstel van de oogst na dit tijdstip kan opbrengstverliezen (korreluitval of kwaliteitsachteruitgang) tot gevolg hebben. De kans op een aanzienlijke omvang van deze verliezen neemt toe naarmate de periode tussen maaidorsrijp worden en oogsten langer is en hangt af van de weersomstandigheden in die periode. Zouden alle gewassen op het tijdstip, waarop ze maaidorsrijp worden, moeten worden geoogst,

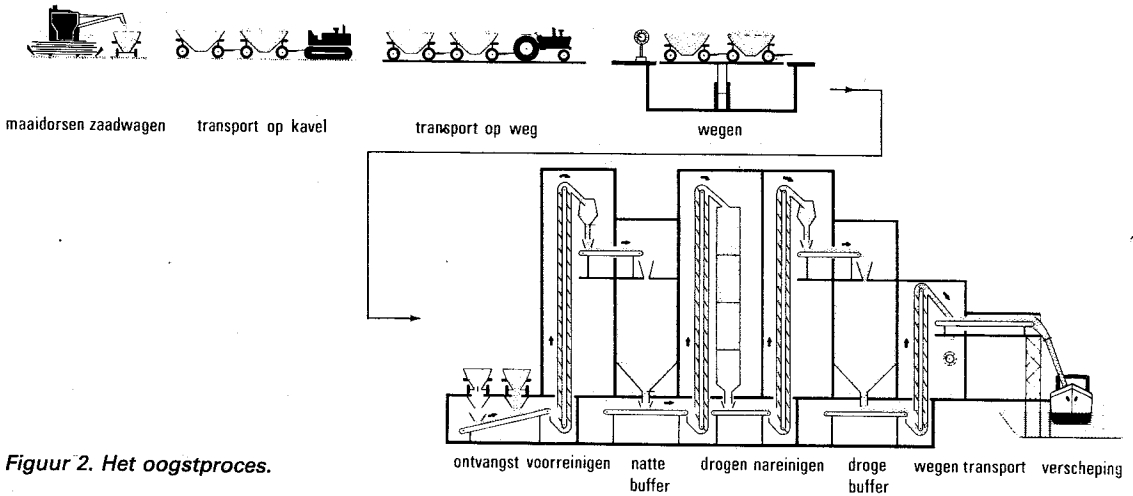
*Tabel 1. De verdeling naar kostensoort van de oogstkosten, als verwachtingswaarde (op basis van het kostenpeil in 1977).*

Kostensoort	Totaal (gld)	Per hectare (gld)	Percentage
dorsen	4 000 000	200	25
transport	1 900 000	95	12
ontvangst, drogen schonen en opslag	2 650 000	132	16
opbrengstverliezen	7 650 000	382	47
<b>Totaal</b>	<b>16 200 000</b>	<b>809</b>	<b>100</b>



 grootlandbouwbedrijf

Figuur 1. De verschuiving van het Grootlandbouwbedrijf door de polders.



Figuur 2. Het oogstproces.

dan zou een enorme oogstcapaciteit nodig zijn. Het is niet mogelijk het tijdstip van maaidorsrijp worden per gewas, in de tijd te spreiden, bijvoorbeeld door in de tijd gespreid zaaien. Ook al wordt er op verschillende tijdstippen gezaaid, het gewas wordt toch vrijwel op hetzelfde tijdstip maaidorsrijp. Bovendien leidt spreiding van de inzaai tot lagere opbrengsten. Blijft de mogelijkheid de oogst over een bepaalde periode te spreiden. Dit gaat ten koste van opbrengstverliezen, maar betekent een verlaging van de benodigde oogstcapaciteit. De optimale oogstcapaciteit is die capaciteit, waarbij de verwachte totale oogstkosten minimaal zijn. Een half jaar voor de oogst wordt de verwachte optimale oogstcapaciteit bepaald met behulp van een computerprogramma, dat de oogstwerkzaamheden simuleert.

In dit artikel zullen wij ons verder bezighouden met de dagelijkse planning van de oogstwerkzaamheden in de oogstperiode.

Tijdens de oogst moet de bedrijfsleiding twee soorten beslissingen nemen:

1. Het bepalen van de volgorde waarin de kavels worden geoogst, wat leidt tot een verdeling van de capaciteiten;
2. Het aantrekken van extra capaciteit (aantrek-

ken van loonwerkers, huren van siloruimtes).

Als hulpgereedschap voor de dagelijkse oogstplanning is een wiskundig beslissingsmodel ontwikkeld in de vorm van een lineair programmeringsmodel. Tijdens de oogst van 1978 en 1979 is met succes gebruik gemaakt van dit beslissingsmodel. In dit artikel zal een schets van de opbouw van het beslissingsmodel worden gegeven alsmede een beschrijving van de rol, die het model speelt in het besluitvormingsproces ten aanzien van de dagelijkse oogstplanning.

## Model

### Modelkeuze

In de literatuur hebben wij geen beschrijvingen van modellen gevonden die de planningsproblematiek behandelen, zoals die op het Grootlandbouwbedrijf bestaat. In Nederland heeft met name Van Elderen\* zich wel bezig gehou-

\*Elderen, E. van, *Heuristic strategy for scheduling farm operations*, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1977.

den met de ontwikkeling van modellen voor de werkindeling tijdens de oogst op een doorsnee akkerbouwbedrijf. Zijn benadering is vanwege de grootschaligheid van het Grootlandbouwbedrijf niet toepasbaar.

De eisen waaraan een beslissingsmodel voor de dagelijkse oogstplanning moet voldoen, zijn:

- het moet snel verwerkbaar zijn;
- het moet in staat zijn een groot aantal variabelen aan elkaar te relateren;
- de veranderde gegevens moeten snel ingevoerd kunnen worden;
- de resultaten moeten direct te interpreteren zijn ten behoeve van de te nemen maatregelen.

Gekozen is voor een lineair programmeringsmodel, dat veruit de voorkeur verdient boven een dynamisch programmeringsmodel (omvang), simulatiemodel (zoekt niet zelf naar een optimale oplossing, maar rekent een beperkt aantal alternatieven uit, die door de gebruiker zijn gegenereerd), of een transportmodel (per model kan maar één type relatie worden beschreven).

Lineaire programmering is een relatief eenvoudig te hanteren techniek en zowel de ervaring in het gebruik als de programmatuur waren bij de Afdeling Operationeel Onderzoek aanwezig. Door gebruik te maken van een matrix-generator kan de invoer van gegevens snel en eenvoudig geschieden. Door een reportwriter aan het lineair programmeringsprogramma te koppelen is het mogelijk een duidelijke direct interpreteerbare output te krijgen. Programmatuur van matrix-generator, oplossingsprogramma en reportwriter waren beschikbaar bij de RIJP.

### *Beslissingsvariabelen*

De beslissingen die bij de dagelijkse oogstorganisatie moeten worden genomen, hebben betrekking op:

1. De verdeling van de maaidorsers over de

kavels;

2. De verplaatsingen van de maaidorsers die noodzakelijk zijn om tot de gewenste verdeling van de maaidorsers over de kavels te komen;
3. De verdeling van de wagens en trekkers;
4. De verdeling van de opbrengst van de gewassen over de silobedrijven.

Ideaal zou zijn als aan het begin van de oogst per kavel kon worden bepaald op welke dag de kavel geoogst moet worden, met hoeveel maaidorsers, wagens en trekkers het oogsten van deze kavel moet worden uitgevoerd en naar welke silobedrijf de opbrengst moet worden getransporteerd. Er zijn echter  $\pm 500$  kavels, die in  $\pm 40$  dagen moeten worden geoogst en waarvan de opbrengst naar drie eigen silobedrijven of naar een silobedrijf van derden kan worden gebracht. Alleen al voor de bepaling van de oogstvolgorde en de verdeling van de maaidors-, transport- en ontvangstcapaciteit zouden dan  $500 \times 40 \times 4 = 80\,000$  variabelen nodig zijn. Modellen met een dergelijke omvang zijn (nog) niet oplosbaar. Bovendien is een detaillering per dag en per kavel niet zinvol, omdat het grote aantal onzekere factoren, zoals het weer en machinedefecten, een sterk gedetailleerde indeling gemakkelijk kunnen verstoren (schijnnaauwkeurigheid).

De taak van de oogstleiding is te bepalen, wat de eerstkomende 2 à 3 dagen moet worden geoogst als het weer het toelaat. Hierbij moet rekening worden gehouden met de gevolgen, die een genomen beslissing naar verwachting kan hebben voor het verdere verloop van de oogst. Een bepaalde verdeling van maaidorsers over de bedrijven aan het begin van de oogst zal bijvoorbeeld later grote tijdrovende verplaatsingen tot gevolg kunnen hebben. Tegenover de wens om bij het nemen van beslissingen rekening te houden met de gevolgen van die beslissingen staat de onzekerheid over wat die gevolgen zullen zijn. Die gevolgen worden in sterke mate bepaald door het weer, dat in de

weken volgend op het beslissingstijdstip, heerst. Bij de constructie van het model is daarom naar een compromis gezicht tussen twee tegenstrijdige wensen, nl.:

- het bepalen van het verloop van de gehele oogst, deels op basis van minder nauwkeurige gegevens, om inzicht te krijgen in de gevolgen van een gekozen strategie;
- het beperken van de invloed van de minder nauwkeurige gegevens van latere perioden van de oogst op de beslissing voor de eerste week.

Het compromis wordt gevonden in:

- een variabele periodelengte; de eerste week wordt onderverdeeld in 2 of 3 perioden van resp. 3 of 2 dagen, vervolgens 2 perioden van elk één week en tenslotte een restperiode;
- het samennemen van kavels; aangezien het Grootlandbouwbedrijf organisatorisch is verdeeld in 11 kleinere bedrijven, worden per bedrijf kavels met ongeveer gelijke gewaseigenschappen samengenomen;
- de onderverdeling van de gewassen; gewassen, die de eerste twee à drie weken niet zullen worden geoogst, worden niet onderverdeeld (voor de onderverdeling van gewassen in gewasgroepen zie de paragraaf over de gegevens).

De variabelen van het model kunnen in drie groepen worden onderverdeeld:

1. variabelen voor de verdeling van de maaidors- en transportcapaciteit;
2. variabelen voor de bepaling van de verplaatsingen van maaidorsers, die nodig zijn om tot de gewenste verdeling te komen;
3. variabelen voor de bepaling van het aantal ontvangstopputten van een silobedrijf, dat voor de ontvangst van een gewas nodig is.

### *Vergelijkingen*

In een lineair programmeringsmodel ten behoeve van de dagelijkse oogstplanning worden

de verschillende invloeden op de voortgang van de oogst kwantitatief aan elkaar gerelateerd in een aantal lineaire vergelijkingen. In de oogstperiode moet met een beperkt aantal maaidorsers, wagens, trekkers en mensen en een beperkte ontvangstcapaciteit de oogst op het Grootlandbouwbedrijf worden uitgevoerd. In het model worden vergelijkingen die de beperkte aanwezigheid van capaciteiten uitdrukken opgenomen. Andere invloeden op de oogstvoortgang, zoals het weer en tijdverliezen ten gevolge van storingen en wachten, worden verwerkt in de coëfficiënten van de variabelen in de vergelijkingen.

De beperkte capaciteiten tijdens de oogst op het Grootlandbouwbedrijf zijn:

- de maaidorsers;
- de wagens;
- de ontvangstruimte.

Verder wordt een vergelijking geformuleerd, waarin wordt weergegeven, dat alle gewassen moeten worden geoogst. Een hulpvergelijking is nodig om het aantal maaidorserverplaatsingen te kunnen berekenen. Beperkingen ten aanzien van loonwerk moeten in aparte vergelijkingen worden geformuleerd, behalve voor maaidorscapaciteit, die bij de eigen Grootlandbouwcapaciteit kan worden opgeteld. Transportcapaciteit van loonwerkers kan de gewasopbrengst niet naar de silobedrijven van het Grootlandbouwbedrijf voeren, omdat de silobedrijven van het Grootlandbouwbedrijf alleen geschikt zijn voor de ontvangst van graan en koolzaad, dat wordt getransporteerd door speciaal voor het Grootlandbouwbedrijf geconstrueerde transportwagens. Omgekeerd kunnen wagens van het Grootlandbouwbedrijf niet bij derden lossen.

### *Doelstellingsfunctie*

Het lineaire programmeringsmodel voor de dagelijkse oogstplanning is zoals uit de probleemstelling blijkt, ontwikkeld om een verde-

ling van capaciteiten te berekenen zodanig dat de totale oogstkosten minimaal zijn.

De kosten waar de oogstleiding door de werk-indeling invloed op heeft, zijn:

1. de opbrengstverliezen, voor zover die afhan-gen van de oogstvolgorde van de gewas-sen;
2. de capaciteitskosten voor zover die afhan-gen van de lengte van de oogstperiode. De beïnvloedbare variabele, die de lengte van de oogstperiode bepaalt is het aantal ver-plaatsingen. Verplaatsen betekent niet dor-sen, dus verlies van capaciteit;
3. de transportkosten, voor zover die afhangen van de af te leggen afstand.

### Gegevens

De grote onbekende tijdens de oogst, die de oogstvoortgang bepaalt, is het aantal werkbare uren in een periode. Onder werkbare uren worden verstaan uren waarin het mogelijk is om in verband met de weersgesteldheid of de gevolgen daarvan op de grond en/of het gewas veld-werkzaamheden uit te voeren. Het aantal werkbare uren tijdens de oogst wordt bepaald door het vochtgehalte van het te dorsen gewas. Verder is er niet alleen sprake van werkbaarheid en onwerkbaarheid, maar beïnvloedt het vochtgehalte van het gewas ook de snelheid van het maaidorsen. Het aantal werkbare uren in een periode wordt in het model benaderd voor:

- de eerstkomende week met behulp van de weersverwachting van het K.N.M.I.;
- de volgende weken gelijkgesteld aan het ge-middeld aantal werkbare uren in de voor-gaande 40 jaar.

De kosten van opbrengstverliezen (korreluitval en kwaliteitsachteruitgang) is de kostensoort die de grootste invloed heeft op de oogstvolg-orde. Deze opbrengstverliezen ontstaan door uitstel van de oogst, nadat het gewas maai-dorsrijp is geworden. Dat het verzamelen van betrouwbare gegevens hierover geen eenvou-

dige zaak is moge blijken uit het grote aantal invloeden, die de omvang van de opbrengst-verliezen bepalen. De belangrijkste invloeden zijn: raseigenschappen, toestand van het ge-was (gelegerd of niet gelegerd, gezond of ziek, schotgevoeligheid) en de weersomstandighe-den. De gemeten opbrengstverliezen zijn de re-sultante van al deze invloeden.

De berekening van de verwachte opbrengstver-liezen in het model gebeurt in twee fasen:

1. voor elk gewas is een relatie gelegd tussen de kwantitatieve achteruitgang van de op-brengst en de wind, de neerslag en de tijd die verstreken is sinds het tijdstip waarop het gewas maaidorsrijp werd. Voor het be-palen van deze relatie is gebruik gemaakt van gegevens, die verkregen zijn uit proe-ven, die op een proefboerderij van de RIJP zijn gedaan, met het verschuiven van het oogsttijdstip van maaidorsrijpe gewassen. Vanaf het tijdstip van maaidorsrijp worden, worden de volgende grootheden gemeten:
  - de wind gemeten als het aantal m/s ge-middeld per dag boven de 5 m/s;
  - de neerslag in aantal mm.

Uit de gegevens is met behulp van lineaire regressieanalyse voor elk gewas een relatie gelegd tussen de opbrengst en de tijd dat het gewas nog op de kavel stond, terwijl het al maaidorsrijp was, de wind en de neerslag (wind en neerslag cumulatief vanaf het tijd-stip, waarop het gewas maaidorsrijp werd). De correlatiecoëfficiënt voor de relaties lag voor de verschillende gewassen tussen 0,7 en 0,8. In figuur 3 is de gemiddelde op-brengstdaling van de gewassen, uitgezet te-gen het aantal dagen, dat verstreken is tus-sen het maaidorsrijp worden en oogsten;

2. de onder 1 geformuleerde relatie voor een gewas met een normale standdichtheid en ontwikkeling. In de praktijk zijn er nogal wat verschillen tussen kavels wat betreft de ver-wachting van de opbrengstdaling. Gelegerde, zieke of schotgevoelige gewas-sen zullen een grotere opbrengstdaling heb-



ben dan gezonde rechtop-staande gewassen. Dit betekent, dat gewassen moeten worden onderverdeeld in een aantal groepen (gewasgroepen). Gewassen met een grote kans op hoge verliezen zullen mét voorrang moeten worden geoogst. Voor elke gewasgroep wordt bekeken hoever de verliezen zullen afwijken van de verliezen in een normaal rechtopstaand gewas. De kavels op een bedrijf met eenzelfde verwachte opbrengstdalingsfunctie worden in een groep samengenomen. De onderverdeling in gewasgroepen per bedrijf komt in de invoer van de variabelen tot uitdrukking.

Naast de hierboven beschreven invoergegevens (werkbare uren en verwachte opbrengstdaling per gewasgroep), die op basis van voorspellingen worden bepaald, moeten ook een aantal op het beslissingstijdstip waarneembare gegevens in het model worden ingevoerd. Dit zijn:

- het aantal bedrijven;
- het aantal silobedrijven;
- het aantal ontvangstopputten per silobedrijf;
- de ontvangstcapaciteit per put per silobedrijf per gewas;
- het beschikbare aantal maaidorsers;
- het beschikbare aantal graantransportwagens;
- het tijdverlies als gevolg van een maaidorserverplaatsing;
- de kosten van een maaidorserverplaatsing;
- het aanwezige aantal maaidorsers per bedrijf per gewas;
- de transportafstand van een bedrijf naar een silobedrijf;
- het aantal maaidorsuren per hectare per gewasgroep;
- de benodigde transportcapaciteit per hectare per gewasgroep;
- het aantal perioden waarin de resterende oogstperiode wordt verdeeld;
- het aantal hectare per gewas per bedrijf dat

nog op het veld staat;

- het aantal onderscheiden gewasgroepen per gewas;
- de gewasgroepen die gelijktijdig op één put ontvangen kunnen worden;
- het aantal gewassen dat gelijktijdig bij derden ontvangen kan worden;
- de verwachte gemiddelde opbrengst per gewasgroep, per bedrijf;
- de periode waarin iedere gewasgroep rijp wordt.

### *Evaluatie*

In het model wordt de oogst voorgesteld als een continu gebeuren, dat regelmatig verloopt.

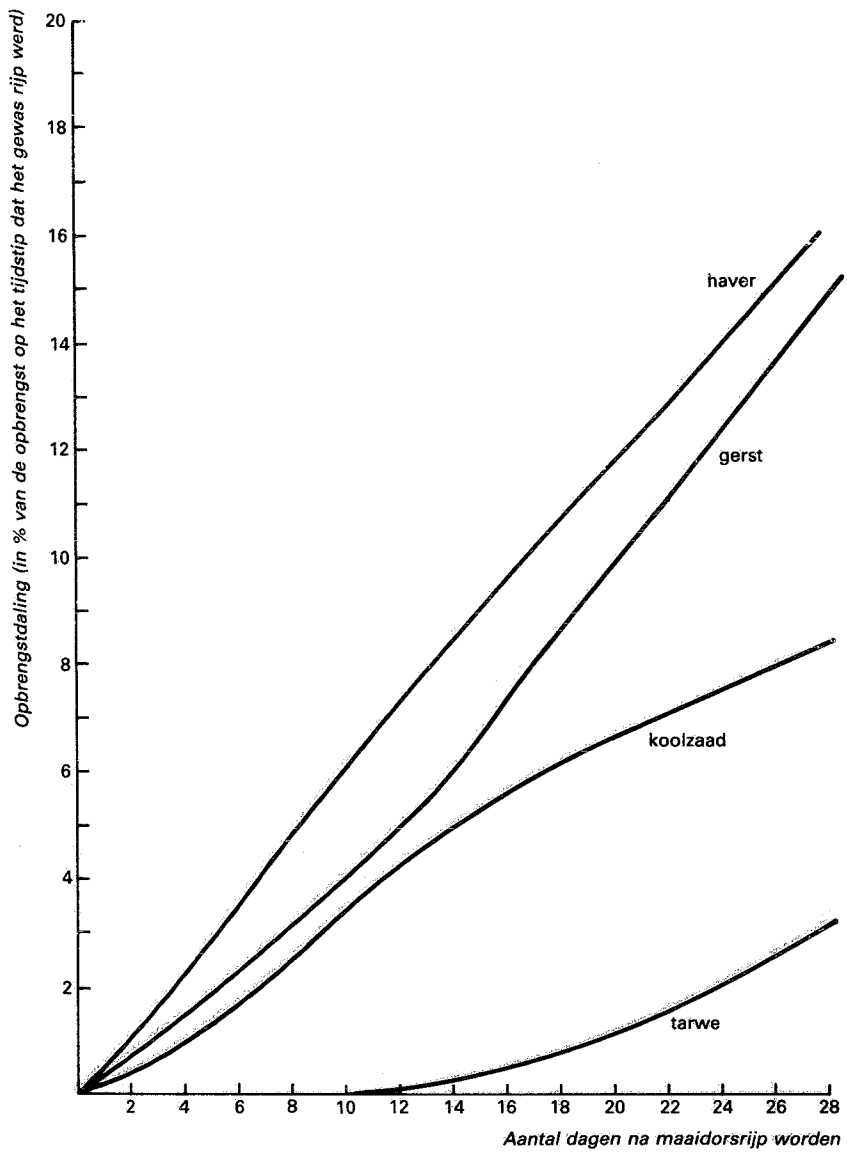
Storingen, zoals machinedefecten en onwerkbaar weer, zijn in het model verwerkt door bij de berekening van de snelheid waarmee de oogst verloopt rekening te houden met deze storende invloeden. De snelheid waarmee de oogst verloopt wordt in het model uitgedrukt door

- het aantal werkbare uren in een periode;
- de productiecapaciteit van het maaidorsen, transporteren en ontvangen.

Het model, zoals het tot nu toe is beschreven is geen star geheel. Het kan op een eenvoudige wijze aan veranderde situaties en wensen worden aangepast. Bijvoorbeeld een verandering in de samenstelling van de gewasgroepen. Dit betekent dat het model geen vaste omvang heeft. Het aantal variabelen (kolommen) is ongeveer 1850 en het aantal vergelijkingen (rijen) is ongeveer 520.

### **Gebruik van het model**

In 1978 is het hierboven beschreven oogstorganisationsmodel in de praktijk beproefd, waarbij met name ten aanzien van twee aspecten een toetsing plaatsvond. Deze aspecten waren:



Figuur 3. De gemiddelde opbrengstdaling uitgezet tegen de tijd dat een maaidorsrijp gewas op de kavel staat.

- a. de kwaliteit van de uitkomsten van het model;  
 b. de bruikbaarheid van het model in organisatorische, technische en economische zin.  
 In 1979 is het model daadwerkelijk in de organisatie gebruikt.

In een verwerkingsgang van het model kunnen drie fasen worden onderscheiden:

- a. gegevens verzamelen;  
 b. gegevensverwerking;  
 c. uitkomstinterpretatie.

In de volgende paragrafen zullen deze drie fasen worden beschreven. Er zal een overzicht worden gegeven van de ervaringen in de testfase in 1978 en het gebruik in 1979. Tevens zal worden aangegeven welke veranderingen in de testfase ten aanzien van het oorspronkelijke model zijn aangebracht, zodat het in 1979 kon functioneren.

#### *Gegevens verzamelen*

De voorbereidingen om tot een modelberekening te komen vroegen tijdens de oogst in 1978 vrij weinig tijd (3 à 4 uur). Vrijwel alle voor het model benodigde gegevens werden reeds om andere redenen verzameld, zodat nauwelijks een nieuw informatiesysteem ten behoeve van het model behoefde te worden opgezet. Een beschrijving van de gegevens, die verzameld moeten worden staat onder Gegevens, zie pag. 375 e.v.

#### *Gegevens verwerking*

De gegevens verwerking gebeurt in een viertal fasen:

- de voorbereiding;
- de matrixgeneratie;
- de berekening van de oplossing;
- de nabewerking van de oplossing.

De voorbereiding gebeurt deels met de hand en deels met de computer. Met name de vorming van de gewasgroepen gebeurt met een bij de Afdeling Operationeel Onderzoek ontwikkeld sorteerprogramma. Met behulp van dit programma worden de kavels, op grond van door de gebruiker te kiezen eigenschappen, in groepen ingedeeld. Ook de te verwachten opbrengstverliezen worden deels met behulp van een computerprogramma bepaald.

De aldus verkregen gegevens worden samen met de handmatig verkregen gegevens verponst, zoals in een voorbeeld in de bijlage is weergegeven. In deze bijlage staat een voorbeeld van alle gegevens die voor een run benodigd zijn. Het zal U duidelijk zijn dat door deze wijze van invoeren gemakkelijk wijzigingen in de gegevens van het model kunnen worden aangebracht.

De verdere verwerkingsfasen kunnen volgtijdig met behulp van drie verschillende computerprogramma's automatisch worden uitgevoerd. De matrix-generatie gebeurt met de matrix-generator van Anthonisse\*. Het oplossingsprogramma werkt volgens het Land and Doig al-

*Tabel 2*

Te oogsten aantal hectaren van een groep in een bepaalde periode:

	<i>periode 1</i>	<i>periode 2</i>	<i>periode 3</i>	<i>periode 4</i>	<i>periode 5</i>
gewas 1 volgnr 1:	478	670	132	0	0
gewas 2 volgnr 1:	492	259	469	0	0
gewas 2 volgnr 2:	17	69	276	1663	0

\* Jac M. Anthonisse, Mathematisch Centrum, Universiteit van Amsterdam.

Tabel 3

## Bezettingsgraad van de beschikbare capaciteiten

periode	maaidors- capaciteit	transport- capaciteit	larservaart	silo-ontvangstcapaciteit	
				hogevaart	hagevoort
1	1.00 (36.71)	1.00 (11.03)	.65	1.00	1.00
2	1.00 (17.97)	1.00 (14.06)	.69	1.00	1.00
3	.86 ( 0.00)	1.00 (14.08)	.61	1.00	1.00
4	.80 ( 0.00)	1.00 ( 5.60)	.68	1.00	.74
5	.00 ( 0.00)	.00 ( 0.00)	.00	.00	.00

Tussen haakjes staan de schaduwprizen.

Tabel 4

## Verdeling van de maaidorsers over de bedrijven

	periode 1	periode 2	periode 3	periode 4	periode 5
bedrijf: 1	8	8	8	0	0
bedrijf: 2	7	7	10	14	0
bedrijf: 3	1	1	1	15	0
bedrijf: 4	11	11	6	0	0
bedrijf: 5	4	4	4	1	0
bedrijf: 6	6	11	11	6	0
bedrijf: 7	5	5	8	4	0
bedrijf: 8	21	20	8	8	0
bedrijf: 9	11	14	13	13	0
bedrijf: 10	8	7	6	6	0
bedrijf: 11	5	0	0	4	0

gorithme en ook de gebruikte report writer is van Anthonisse. De wijze waarop de uitkomsten van de modelberekening worden gepresenteerd aan de oogstleiding, is in de vorm van een verkleind voorbeeld opgenomen in tabel 2, 3, 4 en 5. Deze presentatievorm is de uitkomst van het report-writer programma.

Gedurende de testfase in 1978 nam de verwerking via de toen aanwezige terminal en de C.D.C.-computer van SARA (Universiteit van Amsterdam) in ongunstige situaties soms enige dagen in beslag en in de gunstigste situatie nog altijd een nacht ( $\pm 12$  uur). De kosten van een éénmalige verwerking bedroegen hierbij gemiddeld: f 2500,-. Het tijdsbeslag bij verwer-

king via SARA was te groot om het model zinvol te kunnen verwerken. Daarom werd het model in 1979 met behulp van een nieuwe terminal via de CDC-computer van het ECN in Petten verwerkt. De verwerking kostte dan 2 à 3 uur en gemiddeld f 1500,-. In 1980 zal een éénmalige verwerking binnen één uur mogelijk zijn en niet meer dan f 500,- kosten, omdat dan nieuw ontwikkelde programmatuur gebruikt kan worden.

*Uitkomstinterpretatie*

Het model beoogt ondersteuning te geven aan de oogstleiding bij de dagelijkse organisatie van de oogst. De oogstleiding komt tijdens de

Tabel 5

Verdeling van de maaidors-, transport- en ontvangstcapaciteit in periode 1

Bedrijf gewas nummer	te oogsten oppervlakte maai- dorsers	benodigde aantal trekkers wagens	larservaart						specificatie van de benodigde aantallen hogevoort									
			ma		tr		wa		ma		tr		wa		derden			
			tr	wa	tr	wa	tr	wa	tr	wa	tr	wa	tr	wa	tr	wa		
1 1 =	29	3	1	7	3	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2 1 =	54	4	2	10	4	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2 2 =	15	1	0	3	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 1 =</b>	<b>95</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>20</b>														
2 1 1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 2 1 =	79	7	6	23	6	6	21	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2 2 2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 2 =</b>	<b>79</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>23</b>														
3 1 1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 2 1 =	17	1	1	3	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3 2 2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 3 =</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>														
4 1 1 =	65	6	4	19	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	19	0	0	0
4 2 1 =	63	5	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	15	0	0	0
4 2 2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 4 =</b>	<b>128</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>34</b>														
5 1 1 =	42	4	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	11	0	0	0
5 2 1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 2 2 =	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 5 =</b>	<b>49</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>11</b>														
6 1 1 =	67	6	3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	11	3	0	0
6 2 1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 2 2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 6 =</b>	<b>67</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>11</b>														
7 1 1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 2 1 =	60	5	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	13	0	0	0
7 2 2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totaal bedrijf 7 =</b>	<b>60</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>13</b>														

8	1	1 =	221	21	5	26	1	1	2	9	5	24	0	0	0	0	0	0	0	
8	2	1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	2	2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totaal bedrijf 8 =			221	21	5	26	1	1	2	9	5	24	0	0	0	0	0	0	0	
9	1	1 =	54	5	2	13	0	0	0	5	2	13	0	0	0	0	0	0	0	
9	2	1 =	63	5	2	12	0	0	0	5	2	12	0	0	0	0	0	0	0	
9	2	2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totaal bedrijf 9 =			117	10	4	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1	1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	2	1 =	96	8	3	18	0	0	0	8	3	18	0	0	0	0	0	0	0	
10	2	2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totaal bedrijf 10 =			96	8	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	1	1 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	2	1 =	60	5	4	15	0	0	0	0	0	0	5	4	15	0	0	0	0	
11	2	2 =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totaal bedrijf 11 =			60	5	4	15	0	0	0	0	0	0	0	5	4	15	0	0	0	0

oogst om de twee dagen bij elkaar om de voortgang van de oogst tot dat moment te bespreken, een werkplan op te stellen voor de komende twee dagen en zaken die van invloed zijn op de oogstvoortgang te bespreken. Een model voor de oogstplanning zal nooit in de plaats kunnen komen van de regelmatig te houden bijeenkomsten van de oogstleiding. De modeluitkomst dient het begin te vormen van de bespreking over de verdeling van de capaciteiten. Uitgaande van de door het model, aan de hand van de door de oogstleiding en andere betrokken afdelingen verstrekte gegevens, berekende verdeling, is de taak van de oogstleiding:

- te beoordelen of de beperkingen in het model en de invoergegevens nog juist zijn en eventueel de modeluitkomst aan de veranderde situatie aan te passen;
- de modeluitkomst aan te passen aan beperkingen, die niet in het model zijn opgenomen. De modelbenadering is gericht op een economisch optimale uitvoering van de oogstwerkzaamheden, waarbij alle facetten van de oogst worden uitgedrukt in kwantitatieve grootheden. Behalve met economische en technische aspecten zal de oogstleiding ook rekening houden met andere aspecten zoals organisatorische en sociale aspecten, die veel moeilijker in een kwantitatieve relatie of in geld kunnen worden uitgedrukt.

In vergelijking met het besluitvormingsproces van de verdeling van de oogstcapaciteiten zonder model komt de oogstleiding sneller tot een verdeling, omdat niet van de grond af een verdeling moet worden opgebouwd, maar uitgegaan dan worden van een bijna optimale verdeling. Een groot deel van het routinewerk van de oogstleiding tijdens de oogstbespreking, zoals het inventariseren van de bestaande situatie en het maken van een goede capaciteitsverdeling, waarbij rekening is gehouden met alle beperkingen (het rekenwerk), wordt overgenomen door het model. Hierdoor krijgt

de oogstleiding meer tijd voor niet routinematige zaken, zoals:

- de bespreking van de invloeden, die de oogstvoortgang bepalen
- de gevolgen van beslissingen op langere termijn.

In de testfase in 1978 vormde de modeluitkomst nog niet de basis van de verdeling van de capaciteiten, waartoe de oogstleiding besloot. Hierdoor was het mogelijk na te gaan hoever modeluitkomst en beslissing uit elkaar lagen. Uit de gevoerde discussies tijdens de oogst en analyses achteraf is gebleken, dat de voorkomende verschillen tussen het model en de praktijk werden veroorzaakt door:

- fouten in het model met betrekking tot de daarin vastgelegde relaties en gehanteerde invoergegevens. Deze fouten zijn in het model zo goed mogelijk gecorrigeerd;
- een meer absolute interpretatie van de met het model verkregen uitkomsten. Bij de berekening met het model worden technische, economische en organisatorische factoren als absolute waarden gehanteerd. Hierbij wordt niet geanticipeerd op mogelijke afwijkingen in deze grootheden noch in positieve noch in negatieve zin. Dit gebeurt wel door de oogstleiding bij de bepaling van de capaciteitsverdeling, al dan niet bewust, al dan niet terecht. Toepassing van gevoeligheidsanalyses op de modeluitkomsten kunnen een minder absolute interpretatie bewerkstelligen. Met gevoeligheidsanalyses worden ten aanzien van de verkregen optimale modeloplossing de marginale kosten bepaald voor een sub-optimale oplossing;
- fundamentele verschillen in de gehanteerde afwegingsmethoden en/of de interpretatie van de resultaten daarvan. De in het model gehanteerde afwegingsmethode is zuiver kwantitatief. De berekende optimale oplossing heeft niet alleen betrekking op de situatie van dat moment en de beslissing voor de komende twee of drie dagen, maar wordt

ook bepaald door de verwachte ontwikkelingen gedurende de rest van de oogst en geeft ook een capaciteitsverdeling voor de rest van de oogst. De door de oogstleiding gebruikte afwegingen zijn deels kwantitatief en deels kwalitatief en soms zelfs gevoelsmatig. De basis in dit laatste geval is echter wel de ervaring, waardoor in de loop van de tijd bepaalde gedragsregels ten opzichte van de te nemen beslissing zijn ontstaan. Indien de omstandigheden zich voordoen volgens het 'normale' verwachtingspatroon, dan zal de toepassing van deze gedragsregels doorgaans leiden tot een redelijk optimale oplossing. Indien de omstandigheden zich niet ontwikkelen volgens dit verwachtingspatroon, dan is de kans op een optimale oplossing volgens deze methode veel kleiner;

- er is een principiële verschil in benaderingswijze met betrekking tot de capaciteitsverdeling tussen de methode volgens het model en de praktijk. In de praktijk vormt de oppervlakte van het gewas per bedrijf primair de basis. De filosofie die hieraan ten grondslag ligt is een evenredige verdeling van maaidorsers over de bedrijven, zodat de oogst op alle bedrijven gelijktijdig klaar zal zijn. De aldus verkregen toewijzing wordt zo goed mogelijk beoordeeld op organisatorische, technische en economische consequenties. Bij de capaciteitsverdeling volgens het model vormt echter de (verwachte) toestand van de gewassen per kavel gespecificeerd, de basis. Door de optimalisatie van de oogstvolgorde van de kavels, onder voorwaarde van enige organisatorische beperkingen, wordt de toewijzing van de maaidorscapaciteit bepaald.

### Evaluatie

Uit de discussies rond de resultaten van het model tijdens de oogstbesprekingen is gebleken, dat er met het model een extra dimensie

is toe te voegen aan de inhoud van deze besprekingen, die de kwaliteit van de te nemen beslissingen kan verhogen. Bij een voortgezet gebruik van dat model in de komende jaren verdienen een aantal aspecten enige aandacht. Zo is er zowel in 1978 als in 1979 met vrij grote tussenpozen (10-14 dagen) en op die momenten dat er duidelijk een beslissing moest worden genomen over een gewijzigde inzet van de oogstcapaciteit gebruik gemaakt van het model. Hoewel het duidelijk is dat een frequenter gebruik zinvol is, is op dit moment nog niet duidelijk wat de frequentie zal (moeten) zijn. Wel is duidelijk gebleken, dat reeds ver voor de oogst met behulp van het model inzicht is te verkrijgen in de te verwachten moeilijkheden bij de dagelijkse organisatie van de oogst. Ten behoeve van een goed mogelijk gebruik van de resultaten is het van belang dat de discussie met betrekking tot de waarden van bepaalde invoergegevens vroegtijdig wordt gevoerd. Hierdoor moet het mogelijk zijn, dat er op het moment van het gebruik voldoende inzicht bestaat ten behoeve van een juiste interpretatie.

Op grond van wat in voorgaande onderdelen is beschreven met betrekking tot het gebruik van een wiskundig beslissingsmodel als hulpmiddel bij de dagelijkse oogstorganisatie kan direct dan wel indirect het volgende worden geconcludeerd:

- het model leent zich goed voor het bepalen van de economische optimale volgorde van oogsten van de kavels op basis van de ver-

wachte oogstverliezen en de voornaamste organisatorische en technische beperkingen;

- het model leent zich goed voor het signaleren van te verwachte knelpunten in de ontvangst- en transportcapaciteit, die zich op korte of lange termijn kunnen voordoen;
- het model leent zich goed voor een theoretische capaciteitsverdeling uitgedrukt in maaidorseenheden per bedrijf op basis van de bepaalde optimale oogstvolgorde;
- het model leent zich goed voor het verstrekken van die kwantitatieve informatie (kostengegevens), die als aanvulling op de theoretische capaciteitsverdeling en de in de praktijk gehanteerde technische en organisatorische uitgangspunten nodig is om tot de praktische optimale verdeling van de maaidorsers over de bedrijven te komen;
- de gegevensverzameling in het veld hiervoor is eenvoudig en vraagt weinig tijd;
- de gegevensverwerking is minder eenvoudig, maar vraagt met behulp van nieuwe programmatuur eveneens weinig tijd en weinig geld (f 5000,- per oogst);
- de presentatie van de resultaten is met behulp van de nieuwe programmatuur eenvoudig en de interpretatie mede daardoor gemakkelijk;
- de kwaliteit van de resultaten kan nog worden verbeterd door het gebruik van betere invoergegevens, met name de opbrengstverliesverwachting;
- de interpretatie van de resultaten kan nog worden verbeterd door het gebruik van gevoeligheidsanalyses;



## Bijlage

Invoergegevens van het voorbeeld (tabel 2 t/m 5)

/Comment/ invoergegevens;

//Init/

Oogstdata;

//Aantal gewassen//

M

+2;

//Aantal perioden//

N

+5;

//Aantal bedrijven//

R

+11;

//Aantal silobedrijven waar graan naar gebracht kan worden//

Q

+4;

//Aantal eigen silobedrijven//

Q1

+3;

//Aantal perioden waarover integer programmering wordt toegepast//

N1

+1;

//Aantal volgnummers in de verschillende gewassen//

GE(G)

+1 +2;

//Aantal volgnummers behorende tot een ontvangstgroep//

TB(G)

+1 +2;

//Aantal ontvangstgroepen//

BO

+2;

//Aantal gewassen dat tegelijkertijd bij derden kan worden ontvangen//

Putder

+2;

//Aantal uren dat een maaidorser over een hectare doet//

AG(G,I)

+1.60

+1.50 +1.50;

//Faktor uit de transportformule per gewas//

FAC(G)

+0.1125 +0.0953;

//Constante uit de transportformule per gewas//

CON(G)

+1.79 +1.50;

//Aantal werkbare uren//

Werku(K)

+18 +18 +18 +36 +36;

//Ontvangstcapaciteit per put in kg-uur voor de silobedrijven//

Putcap (G,J)

+40000 +52500 +52500 +100000

+60000 +80000 +80000 +100000;

//De verwachte opbrengst per gewas per bedrijf//

Opbrengst (G,H)

+6000 +6000 +6000 +6000 +6000 +6000 +6000 +6000

+6000 +6000 +6000

+7000 +7000 +7000 +7000 +7000 +7000 +7000 +7000

+7000 +7000 +7000;

//De totale te oogsten oppervlakte van een groep//

Cumha (G,H,I)

+58 +0 +0 +195 +86 +306 +0 +449 +186 +0 +0 +54 +184

+274 +331 +23 +364 +63

+72 +0 +84 +0 +134 +208 +108 +40 +228 +236 +305

+249 +134 +64 +81;

//Aantal beschikbare maaidorsersuren//

Mdcap (K)

+1584 +1584 +1584 +3168 +3168;

//Aantal beschikbare transporturen//

Wtcap (K)

+3600 +3600 +3600 +7200 +7200;

//Tijdverlies door een verplaatsing tussen twee bedrijven//

Bedrfvpl

+1.5;

//Tijdverlies door een verplaatsing tussen twee gewassen//

Gewasvpl

+0.5;

//Aantal maaidorsers bij het begin op een bedrijf//

Rama (H)

+16 +2 +6 +12 +13 +6 +5 +11 +3 +8 +5;

//Aantal maaidorsers bij het begin per gewas per bedrijf//

Gram (G,H)

+0 +0 +0 +0 +0 +0 +0 +0 +0 +0 +0

+16 +2 +6 +12 +13 +6 +5 +11 +3 +8 +5;

//Periode waarin een groep rijp wordt//

Rijp (G,I)

+1

+1 +1;

//Periode waarin een groep moet zijn geoogst//

Dorst (G,I)

+3

+5 +5;

//Transportafstand van bedrijf naar silo//

Trans (H,J)

+ 3 +21 +43 +1000

+16 + 7 +27 +1000

+14 + 5 +24 +1000

+47 +27 + 9 +1000

+39 +19 + 6 +1000

+30 +11 +11 +1000

+47 +32 + 7 +1000

+25 + 7 +16 +1000

+25 + 5 +25 +1000

+24 + 4 +29 +1000

+30 +11 +11 +1000;

//Bedrijfsverplaatsingskosten//

Bvk (K)

+200 +150 +100 +50 +0;

//Gewasverplaatsingskosten//

Gvk (K)

+50 +40 +30 +20 +10;

//Oogstverliezen//

Kost (G,I,K)

+100 +125 +175 +250 +375

+0 +23 +50 +110 +250

+0 +20 +40 +80 +160;