

Z 8

OVERDRUK
NR. 188

Het gebruik van wiskundige modellen bij het in cultuur brengen van de IJsselmeerpolders

door

ir. A. Hagting en ing. B. Fokkens



RIJKSDIENST VOOR DE IJSSELMEERPOLDERS

j 49

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Druk uit: Wiskundige modellen , Utrecht, Teleac, 1981

D. Het gebruik van wiskundige modellen bij het in cultuur brengen van de IJsselmeerpolders

A. Hagting en B. Fokkens

Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad



A. Hagting en B. Fokkens zijn vanaf 1970 werkzaam als hoofd en medewerker bij de afdeling Operationeel Onderzoek van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Deze afdeling heeft zich sinds haar oprichting in 1965 onder andere beziggehouden met het ontwikkelen van Wiskundige Modellen ten behoeve van investeringsbeslissingen en sturing van de cultuurtechnische en landbouwkundige werkzaamheden bij de inpolderingen in het IJsselmeergebied.

1. Het grootlandbouwbedrijf van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP)

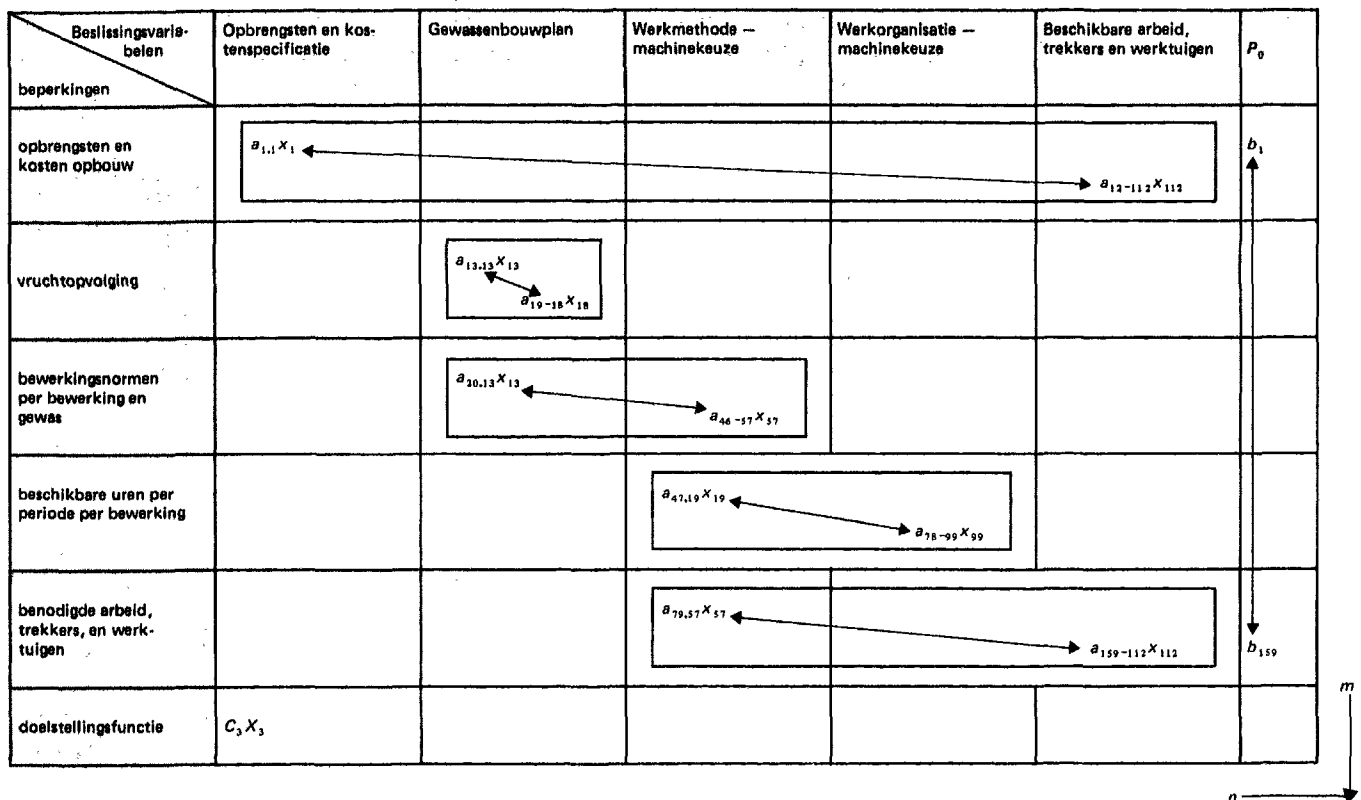
Bij de *inpoldering* in het IJsselmeer is de RIJP onder andere belast met het geschikt maken van de drooggevalle gronden voor allerlei bestemmingsdoeleinden; of anders gezegd het *opleveren* van cultuurrijpe grond. Het is daarbij gebleken dat naast het uitvoeren van velerlei cultuurtechnische werken, een tijdelijk landbouwkundig gebruik van de nieuw gewonnen gronden voor de meeste bestemmingsdoeleinden het snelst leidt tot de vereiste bodemkundige omstandigheden. Het landbouwkundig gebruik van de jonge, nauwelijks gerijpte grond legt *beperkingen* op aan de keuze van de te telen gewassen. Slechts koolzaad en granen, zoals gerst, haver en tarwe, kunnen in de eerste jaren met een redelijke tot goede mate van opbrengstzekerheid worden geteeld. Na ongeveer drie à vier jaar kunnen op voldoende gerijpte gronden ook graszaad, vlas en erwten worden geteeld. Het tijdelijke landbouwkundig gebruik van de ontgonnen grond leidt tot een geografisch mobiel bedrijf. In 1979 heeft dit zogenoemde 'grootlandbouwbedrijf' een omvang van ongeveer 21.000 ha, waarop ongeveer 19.000 ha koolzaad en granen worden geteeld.

Binnen het 'grootlandbouwbedrijf' van de R.I.J.P. wordt ernaar gestreefd een zo gunstig mogelijk financieel resultaat te bereiken. Uit dien hoofde is het van belang dat de relevante factoren van het bedrijfssysteem bekend zijn. Het komt er daarbij op aan te weten:

- a. welke factoren de *opbrengsten* en *kosten* bepalen en
- b. hoe moet bij voldoende kennis van deze factoren worden gehandeld om tot een zo gunstig mogelijk *bedrijfsresultaat* te komen.

Afbeelding 1 geeft in grote lijnen een overzicht van de opbrengsten- en kostenbepalende factoren voor het 'grootlandbouwbedrijf'. De aldaar vermelde indeling komt in grote lijnen overeen met de factoren die behoren tot het biologische subsysteem (*opbrengsten*) en het technische subsysteem (*kosten*) van een landbouwbedrijf.

Met behulp van een doelstellingsfunctie leent het in afbeelding 1 vermelde *relatieschema* zich goed voor een modelmatige aanpak. Hieraan wordt mo-



Afb. 2. Schematische weergave van de matrixopbouw.

den. De oogst- en oogstverwerkingscapaciteit dient dan ook in een juiste verhouding te staan tot de kwantitatieve en kwalitatieve opbrengstverliezen, die ten gevolge van het weer en de lengte van de oogstperiode kunnen worden verwacht.

De kwantitatieve verliezen treden op in de vorm van *korreluitval*, die voornamelijk afhankelijk is van de weersinvloeden tijdens het op het veld staan van de gewassen ná het tijdstip van maaidorsrijp zijn. Bij gelegeerde gewassen kunnen de *snijverliezen*, door het afknippen van aren en pluimen, van betekenis zijn. De kwalitatieve verliezen treden voornamelijk op in de vorm van *schot*, afhankelijk van de lengte van de oogstperiode, het vochtgehalte van het graan in deze periode en de temperatuur.

De bepaling van de uit het oogpunt van kosten gunstige oogstcapaciteit dient dan ook te gebeuren aan de hand van een *kostenminimum*, dat wordt verkregen door afweging van de opbrengstverliezen tegen de kosten van het oogstapparaat. Een probleem hierbij is echter dat ten gevolge van verschillen in omstandigheden voor elk oogstjaar een andere oogstcapaciteit optimaal zal zijn.

Om de totale oogstkosten te kunnen minimaliseren, is een optimalisatie van de totale oogst- en oogstverwerkingscapaciteit en de inzet ervan noodzakelijk. Ten behoeve van het bereiken van deze doelstelling, waarbij er vele (*stochastische*) invloedsfactoren in kwantitatieve zin tegen elkaar moeten worden afgewogen, zijn twee wiskundige modellen ontwikkeld. We beperken ons hier tot het *oogst-simulatiemodel*.

De ontwikkeling van het oogst-simulatiemodel is al in 1965 door Van Kampen [1] begonnen, maar is pas in 1973 afgerond. Met name het gebruik van het model in de praktijk leidde tot het telkens weer verbeteren.

Hoewel dit een lange ontwikkelingsperiode tot gevolg had, had dit tevens een gunstige invloed op de gebruiksmogelijkheden en de kwaliteit van het

model. Dit moge blijken uit het voortgezette gebruik van het in het verleden nauwelijks nog gewijzigde model. De ontwikkeling van het oogst-simulatiemodel is verricht in nauwe samenwerking met het Mathematisch Centrum te Amsterdam [2].

2. Oogst-simulatiemodel

2.1. Algemeen

De werking van het oogst-simulatiemodel berust op het beginsel dat met behulp van wiskundige vergelijkingen van de relaties die samen het oogstproces vormen, het oogstverloop kan worden berekend onder uiteenlopende omstandigheden, aangaande het weer, het gewas, de machinecapaciteit, enz. Als afgeleide van het berekende oogstverloop worden tevens integraal de totale *oogstkosten* bepaald als som van de verlieskosten en de apparaatkosten.

De genoemde omstandigheden aangaande het weer, het gewas, de machinecapaciteit, enz., in verschillende parameterwaarden uitgedrukt, vertonen daarbij deels een *stochastisch* karakter. Met het oogst-simulatiemodel worden voor een gegeven combinatie van parameters, betreffende de capaciteiten, steeds de totale oogstkosten berekend bij een reeks van weerbeelden gedurende de oogstperiode van ruim 40 jaar (1931 t/m heden). Door vergelijking van de resultaten onderling of door rubricering ervan, kan inzicht worden verkregen in zowel de grootte van de capaciteit, die gemiddeld de laagste totale oogstkosten heeft, als in de afwijkingen hierin, wanneer de laagste totale oogstkosten per jaar worden beschouwd.

Op grond van deze inzichten kan respectievelijk worden gebaseerd:

- a. een capaciteitsplanning op *lange* en *middellange* termijn, ten behoeve van de bouw van silobedrijven en de aankoop van maaidorsers;
- b. een capaciteitsplanning op *korte* termijn, ten behoeve van de bepaling van een eventuele kortstondige capaciteitsuitbreiding door het aantrekken van loonwerkers.



De drooggemalen polder.

2.2. Modelbeschrijving

De oogst omvat de volgende activiteiten:

- a. het *maaien* en het *dorsen* van de gewassen met maaidorsers;
- b. het *transport* naar en de *ontvangst* op de silobedrijven;
- c. het *drogen* en *opslaan* van vochtig graan in de silobedrijven;
- d. de *afvoer* per schip van het (gedroogde) graan.

Omdat de capaciteit van de afvoer per schip vrijwel ongelimiteerd kan plaatsvinden en de transportcapaciteit wordt gecorreleerd aan de maaidorscapaciteit, zijn de beslissingsvariabelen de volgende:

- het aantal maaidorsers $= x$;
- de droogcapaciteit in ton/uur $= y$;
- opslagcapaciteit in m^3 $= z$.

Bij de simulatie wordt het te oogsten produkt op basis van het korrelvochtgehalte p ingedeeld in vier klassen, verder aangeduid als vochtklasse. Deze klassen worden gescheiden door drie grenzen g_1 , g_2 en g_3 , die per gewas worden vastgesteld. De oogst en de verwerking van de geoogste producten gebeurt voor elke vochtklasse met een verschillende capaciteit.

Vochtklasse 1

Behoeft *niet* te worden gedroogd en kan direct worden afgevoerd: er geldt $g < p \leq g_1$.

Vochtklasse 2

Moet worden gedroogd tot vochtklasse 1, maar is houdbaar bij geventileerde opslag; er geldt $g_1 < p \leq g_2$.

Vochtklasse 3

Moet binnen twee dagen worden gedroogd tot vochtklasse 2 in verband met de beperkte houdbaarheid; er geldt $g_2 < p \leq g_3$.

Vochtklasse 4

Is te vochtig om te worden geoogst; er geldt $p \geq g_3$.

De oogstperiode van een gewas kan nu worden opgevat als een reeks van aaneengesloten *tijdsintervallen* met constante vochtklasse, per tijdsinterval. Deze tijdsintervallen zullen verder *vochtintervallen* worden genoemd. Aangenomen wordt dat het graan bij aankomst in de ontvangstruimte dezelfde vochtklasse heeft als wanneer het wordt geoogst, terwijl bovendien de transporttijd is verwaarloosd. Uit het voornoemde volgt tevens dat alleen graan van de vochtklassen 2 en 3 wordt opgeslagen.

Ten einde de oogst onder invloed van het weer te kunnen simuleren, is het noodzakelijk de invloed van het weer op het korrelvochtgehalte te kennen. Van Kampen [1] heeft hiertoe de invloed van verschillende weerkundige factoren op het korrelvochtgehalte van de gewassen onderzocht.

Gevonden werd dat indien er geen neerslag valt, de droging van de korrel plaatsvindt tussen 7 en 17 uur. De droogsnelheid hangt af van de straling en het uitgangsvochtgehalte; de invloed van de windsnelheid op de droogsnelheid kon niet worden vastgesteld. Naarmate het uitgangsvochtgehalte hoger is, vindt de droging sneller plaats; haver en koolzaad drogen beduidend sneller dan gerst en tarwe. Voor de onderzochte gewassen konden op empirische wijze exponentiële relaties tussen de droogsnelheid en de cumulatieve *circumglobale* straling (gemeten met de bellani-pyranometer) wor-

den vastgesteld. Het korrelvochtgehalte stijgt onder invloed van neerslag en dauw. In het algemeen geldt hierbij dat de stijging van het vochtgehalte geringer is naarmate het uitgangsvochtgehalte geringer is of naarmate het uitgangsvochtgehalte hoger is. Ook deze beide invloeden konden in de vorm van exponentiële relaties worden vastgelegd. Met deze gevonden relatie en met de verzamelde weerkundige gegevens, is het verloop van het korrelvochtgehalte te simuleren.

De simulatie van het korrelvochtgehalte wordt uitgevoerd met de *weerkundige* gegevens van de maanden juli, augustus en september vanaf 1931 tot heden. Per gewas zijn daarvan de vochtintervallen afgeleid.

De weerkundige gegevens bestaan uit tijdstippen, waarop een weeromslag heeft plaatsgevonden en twee grootheden die respectievelijk de aard en de intensiteit van het weer bepalen in de tijdsintervallen tussen twee opeenvolgende omslagtijdstippen. Deze tijdsintervallen zullen in het vervolg *weerintervallen* worden genoemd. De twee grootheden zijn het weertype j , dat weergeeft of er sprake is van *straling* ($j = 1$), *dauw* ($j = 2$) of *regen* ($j = 3$) en de intensiteit van het weerkenmerk.

Stel dat voor een bepaald jaar de omslagtijdstippen worden gegeven door de reeks t_n , $N = 0, 1, 2, \dots, N$. Het tijdstip t_N is het laatste omslagtijdstip voor 1 oktober. Voor elk gewas zijn per jaar gegeven een begintijdstip, een bij dit tijdstip behorend vochtpercentage en een eindtijdstip. Het begintijdstip en het eindtijdstip voor gewas k geven we aan met t_{n_k} en t_{N_k} , $k = 1, 2, 3, 4$ respectievelijk.

Voor haver en tarwe, die het laatst maaidorsrijp zijn, geldt:

$N_3 = N_4 = N$, terwijl voor koolzaad en gerst N_1 resp. N_2 zo gekozen zijn, dat de oogst in elk geval uiterlijk op dat tijdstip gereed is. Per gewas k worden nu op de tijdstippen t_m , $m = n_k + 1, \dots, N_k$ de bijbehorende vochtpercentages $p_m(k)$ berekend met de formule:

$$(1) \quad p_m(k) = b(k, j_{m-1}) - \{b(k, j_{m-1}(k))\} e^{-c(k, j_{m-1}) w_{m-1}}.$$



Rietbranden voor de ontginning.

Hierin zijn $b(k,j)$ en $c(k,j)$ constant voor vaste k en j . Deze berekening wordt per jaar voor elk gewas uitgevoerd. Voor tarwe ($k = 4$) luidt deze formule bijvoorbeeld in het geval van straling ($j = 1$):

$$(2) \quad p_m(4) = p_{m-1}(4) e^{-.0011w_{m-1}};$$

in het geval van dauw ($j = 2$):

$$p_m(4) = 30 - \{30 - p_{m-1}(4)\} e^{-.0223w_{m-1}}$$

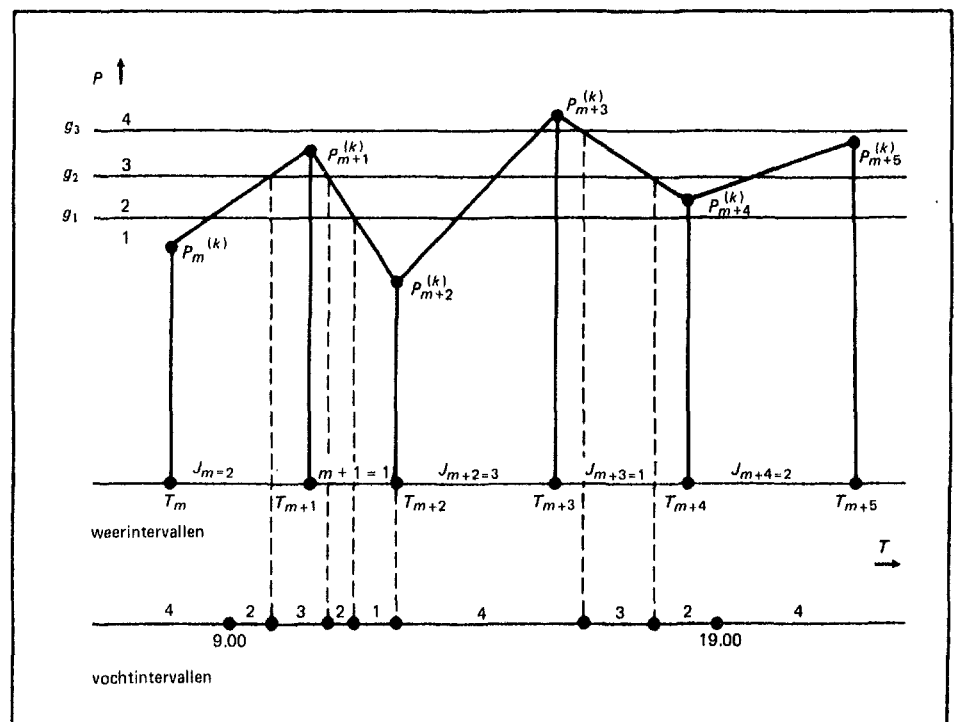
en tenslotte in het geval van regen

$$p_m(4) = 60 - \{60 - p_{m-1}(4)\} e^{-.00605w_{m-1}}.$$

In geval van straling stelt w_{m-1} de straling voor gedurende het weerinterval; in geval van dauw de lengte van het weerinterval; en in het geval van regen de vierkantswortel uit het produkt van neerslagintensiteit en de lengte van het weerinterval.

Verondersteld wordt nu dat het vochtpercentage met voldoende nauwkeurigheid tijdens een weerinterval lineair verloopt. De vochtintervallen worden dan bepaald door de volgende uitgangspunten:

1. De vochtklasse stellen we 4 in de volgende gevallen:
 - a. als $p > g_3$;
 - b. als $j = 3$ (regen);
 - c. gedurende het dagelijks tijdsinterval tussen 19.00 en 09.00 uur dat er geen oogst plaatsvindt.
In de gevallen a, b en c wordt er *niet* gemaaidorst, maar er wordt *wél* gedroogd. Voor de simulatie kan dan ook zonder bezwaar vochtklasse 4 worden gesteld.
2. In de overige tijdsintervallen worden de vochtintervallen bepaald door de snijpunten van de rechte lijnen door $p_m(k)$ en $p_{m+1}(k)$, $m = n_k, \dots, N_k - 1$ met de grenzen g_1, g_2 en g_3 .
De procedure is toegelicht in afbeelding 3.



Afb. 3.
De constructie van de vochtintervallen
uit de weerintervallen.

Beschouwd wordt in dit hoofdstuk het verloop van de opgeslagen hoeveelheden van de vochtklassen 2 en 3 als functie van de tijd gedurende een vochtinterval (r,s) . Voor dit onderdeel van de simulatie is in het programma een aparte procedure ontwikkeld. Deze procedure wordt bij de simulatie over 40 jaar ongeveer 9000 maal aangeroepen.

Aan het begin van een vochtinterval wordt eerst de aanvoer van geoogst graan naar de ontvangstruimte in tonnen per uur berekend, die gedurende het beschouwde vochtinterval geldt. Hiertoe wordt het aantal maaidorsers x vermenigvuldigd met de maaidorscapaciteit, die geldt voor het gewas en de geldende vochtklasse en daarna met een factor die het percentage van de tijd aangeeft dat een maaidorser daadwerkelijk met maaidorsen bezig is (*effectieve tijd*). De aanvoer van graan in vochtklasse i , $i = 1, 2, 3$, geven we aan met a_i . Omdat vochtklasse 1 niet wordt opgeslagen is a_1 voor het simuleren van de opgeslagen hoeveelheden niet van belang; maar natuurlijk wel voor het verloop van de oogst zelf. Voor de wiskundige beschrijving van dit onderdeel van de simulatie voeren we de volgende notatie in:

$v_i(t)$ = hoeveelheid graan van vochtklasse i , $i = 2, 3$, aanwezig in de opslagruimte op tijdstip $t \in (r,s)$; $v(t) \stackrel{\text{def}}{=} v_2(t) + v_3(t)$; b_i = hoeveelheid graan van vochtklasse i die per uur wordt gedroogd tot vochtklasse $i - 1$, $i > 1$ en $b_4 \stackrel{\text{def}}{=} 0$; h_i = helling van het lineaire verloop van de aanwezige hoeveelheid graan van vochtklasse i , $i = 2, 3$; $h \stackrel{\text{def}}{=} h_2 + h_3$.

Op tijdstip $t = r$ aan het begin van het vochtinterval (r,s) zijn onder andere bekend $v_2(r)$, $v_3(r)$, a_2 en a_3 . Van a_2 en a_3 is hoogstens één positief. Indien de vochtklasse 1 of 4 is, zijn beide nul. Vochtklasse 3 heeft bij het drogen voorrang, hetgeen betekent dat vochtklasse 3 eerst geheel moet worden gedroogd tot vochtklasse 2 voordat aan het drogen van vochtklasse 2 kan worden begonnen.

Vochtklasse 3 wordt gedroogd met een snelheid van y ton per uur, terwijl vochtklasse 2 wordt ingedroogd tot vochtklasse 1 met een snelheid van $2y$ ton per uur. De factor 2 is het gevolg van het feit dat $g_3 - g_2 = g_2 - g_1 = 4\%$, zodat vochtklasse 3 gemiddeld 4% moet worden ingedroogd tot het gemiddelde vochtpercentage van vochtklasse 2 en vochtklasse 2 gemiddeld 2% om de grens g_1 van vochtklasse 1 te bereiken.

De maximale opslagcapaciteit bedraagt z ton. De aanwezige hoeveelheid $v_3(t)$ van vochtklasse 3 mag met het oog op bederf niet meer dan $44y$ bedragen. Dit is de hoeveelheid die in twee dagen kan worden gedroogd, rekening houdend met het feit dat er 22 uur per etmaal effectief wordt gedroogd.

Indien $v(t)$ de waarde z bereikt gaat een fractie μ , $0 \leq \mu \leq 1$ van de oorspronkelijke aanvoer door. De helling van de totaal aanwezige hoeveelheid wordt dan gegeven door $h(\mu)$, μ is het grootste getal ≥ 0 en ≤ 1 , waarvoor $h(\mu) = 0$.

Indien $v_3(t)$ de waarde van $44y$ bereikt, dan gaat een fractie μ_3 van de aanvoer a_3 door, zodanig dat $h_3(\mu_3) = 0$.

In principe gelden de volgende algemene formules voor het verloop van de opgeslagen hoeveelheden gedurende een vochtinterval (r,s) :

$$(3) \quad v_i(t) = v_i(r) + h_i(t - r), \quad \text{voor } i = 2, 3$$

$$(4) \quad h_i = a_1 + b_{i+1} - b_i \quad \text{voor } i = 2, 3$$

$$(5) \quad v(t) = v(r) + h(t - r)$$

$$(6) \quad h = a_2 + a_3 - b_2.$$

In deze formules hangen de hellingen h_2 en h_3 beide af van $v_2(t)$ en $v_3(t)$.

Bij de oogstverwerking kunnen zich de volgende zes toestanden voordoen:

Toestand S_1

De droger wordt geheel ingezet voor het drogen van vochtklasse 3; de opslagruimte is *niet* vol en er is minder dan $44y$ van vochtklasse 3 aanwezig. Er geldt:

$$\begin{aligned} v_3(t) \text{ en } h_3 &\text{ niet beide nul,} \\ v_2(t) &\geq 0 \\ v_3(t) &< 44y \\ v(t) &< z. \end{aligned}$$

Voor b_i geldt dat $b_3 = y$ en $b_2 = 0$.

Voor h_i geldt volgens (4) dat $h_3 = a_3 - y$ en $h_2 = a_2 + y$.

Uit (6) volgt $h = a_2 + a_3$.

Toestand S_2

De droger wordt geheel ingezet in één van beide vochtklassen 2 en 3 en de opslagruimte is *niet* vol. Er geldt:

$$\begin{aligned} v_3(t) &= 0 \text{ en } h_3 = 0 \\ v_2(t) \text{ en } h_2 &\text{ niet beide nul} \\ v(t) &< z. \end{aligned}$$

Voor b_i geldt dat $b_3 = a_3$ en $b_2 = 2(y - a_3)$.

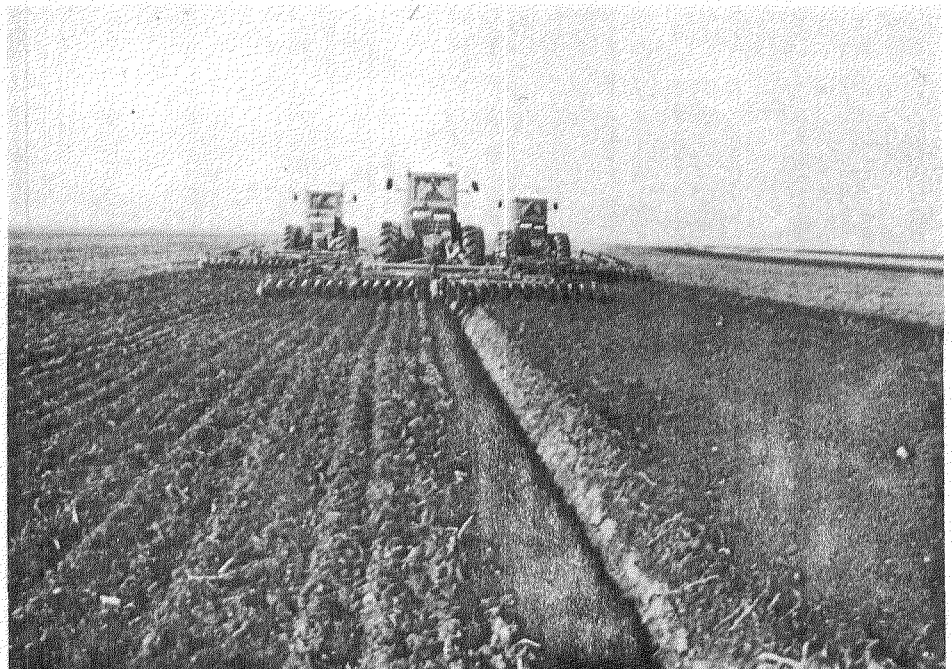
Voor h_i geldt volgens (4) dat $h_3 = 0$ en $h_2 = a_2 + a_3 - 2(y - a_3)$.

Voor h volgt uit (6) dat $h = a_2 + a_3 - 2(y - a_3)$.

Toestand S_3

De droger wordt uitsluitend benut voor het drogen van de aanvoer en de opslagruimte is *leeg*. Er geldt:

$$\begin{aligned} v_3(t) &= 0 \text{ en } h_3 = 0 \\ v_2(t) &= 0 \text{ en } h_2 = 0. \end{aligned}$$



Zaaibedbewerking met schijfeg en 80 kW kniktrekker.

Toestand V_1

Is identiek met S_1 , maar nu met een volle opslagruimte, dus $v(t) = z$.

De aanvoer bedraagt μa_i voor vochtklasse i , $i = 2, 3$.

Omdat $h(\mu) = \mu a_2 + \mu a_3$ volgt uit de definitie van μ :

$$(7) \quad \mu = 0.$$

Het gevolg van (7) is dat $h_3 = -y$ en $h_2 = y$.

Toestand V_2

Is identiek met S_2 , maar nu met een volle opslagruimte, dus $v(t) = z$.

De aanvoer bedraagt μa_i voor vochtklasse i , $i = 2, 3$.

Omdat $h(\mu) = \mu a_2 + \mu a_3 - 2(y - \mu a_3)$ volgt uit de definitie van μ :

$$(8) \quad \mu = \frac{2y}{a_2 + 3a_3}.$$

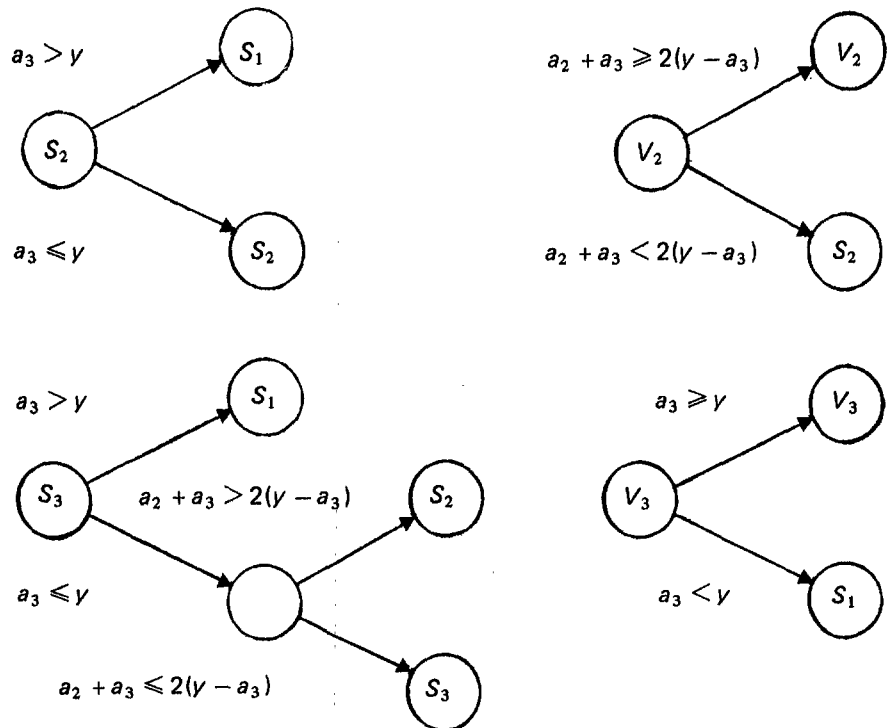
Toestand V_3

Is identiek met S_1 behalve dat $v_3(t) = 44y$ in plaats van $v_3(t) < 44y$.

De aanvoer van vochtklasse 3 bedraagt $\mu_3 a_3$. Daar $h_3(\mu_3) = \mu_3 a_3 - y$ volgt uit de definitie van μ_3 :

$$(9) \quad \mu_3 = \frac{y}{a_3}.$$

De toestand aan het begin van het vochtinterval (r, s) wordt bepaald op grond van de oude toestand en de nieuwe aanvoeren a_2 en a_3 . Omdat bij een oude toestand S_1 of V_1 geldt dat $v_3(r) = 0$ en deze hoeveelheid altijd eerst moet worden gedroogd, blijft de toestand ongewijzigd. In de overige toestanden kan wel een wijziging optreden. Afbeelding 4 geeft hierover uitsluitel.



Afb. 4.
Bepaling van de oogst-verwerkingstoestand op $t = 2$ uit de oude toestand ($t = 1$), ten gevolge van wijzigingen in de aanvoer.

Gedurende het vochtinterval (r,s) kunnen nul, een of meer toestandveranderingen optreden. Stel dat op tijdstip t , $r < t < s$ de toestand bekend is. Door de volgende gebeurtenissen kan een toestandverandering optreden in het tijdsinterval (t,s) :

- a. de opgeslagen hoeveelheid graan in vochtklasse 3 wordt $44y$ (tijdstip t_0), t_0 volgt uit:

$$(10) \quad t_0 = t + \frac{44y - v_3(t)}{h_3};$$

- b. de opslagruimte loopt vol (tijdstip t_1), t_1 volgt uit:

$$(11) \quad t_1 = t + \frac{z - v(t)}{h};$$

- c. de opgeslagen voorraad van vochtklasse i , $i = 2, 3$ raakt uitgeput (tijdstip t_i), t_i volgt uit:

$$(12) \quad t_i = t - \frac{v_i(t)}{h}.$$

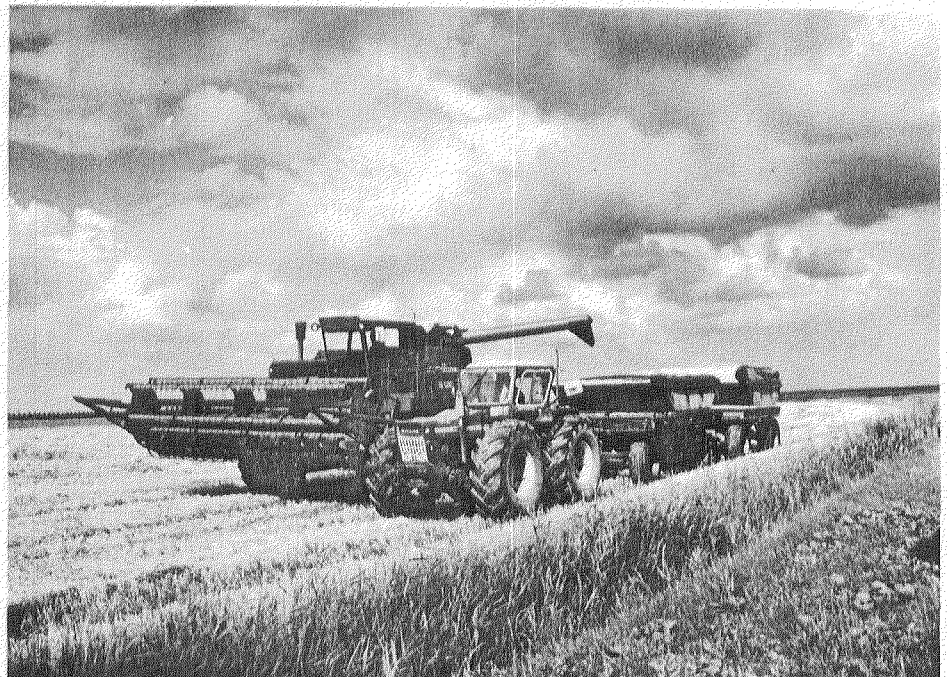
Als we definiëren:

$$(13) \quad \bar{t}_k = \begin{cases} t_k & \text{als } t < t_k < s \\ s & \text{anders} \end{cases}$$

dan volgt het tijdstip t_{\min} , waarop de eerstvolgende toestandverandering na t plaatsvindt, uit:

$$(14) \quad t_{\min} = \min_{k=0, 1, 2, 3} \bar{t}_k.$$

Er vindt geen toestandverandering in (t,s) plaats als $t_{\min} = 2$. Een overzicht van de toestandveranderingen die kunnen optreden, wordt aangetroffen in Tabel 1. Een streepje correspondeert met $\bar{t}_k = s$.



Zaadlossen en transporteren.

Tabel 1

De mogelijke toestandveranderingen bij de oogstverwerking ten gevolge van beperkingen in de opslagcapaciteit

$t_{\min} =$	\bar{t}_0	\bar{t}_1	\bar{t}_2	\bar{t}_3
$S_1 \rightarrow$	V_3	V_1	—	S_2
$S_2 \rightarrow$	—	V_2	S_3	—
$S_3 \rightarrow$	—	—	—	—
$V_1 \rightarrow$	—	—	—	S_2 of V_2
$V_2 \rightarrow$	—	—	—	—
$V_3 \rightarrow$	—	—	—	—

Indien $t_{\min} = \bar{t}_3$ in toestand V_1 , dan wordt weer van de oorspronkelijke aanvoer uitgegaan. Vervolgens wordt μ opnieuw bepaald uit (8).

Indien $\mu \geq 1$, wordt de nieuwe toestand S_2 , anders V_2 .

Per toestandverandering moeten de volgende grootheden worden bijgehouden:

1. de op die dag *geoogste* hoeveelheid;
2. de *aanwezige* hoeveelheden in de opslagruimte;
3. het equivalent aantal uren dat er op *volle* capaciteit is gedorst;
4. de *niet-gebruikte* maaidorscapaciteit;
5. de *niet-gebruikte* droogcapaciteit.

Hierin spreken 1 en 2 voor zichzelf. Met behulp van 1 wordt de te velde aanwezige hoeveelheid van het gewas bijgehouden. Het equivalent aantal uren dat er op volle capaciteit is gedorst, moet per gewas worden bijgehouden voor de berekening van de variabele kosten van maaidorsers, wieltrekkers en personeel. De niet-gebruikte droogcapaciteit en maaidorscapaciteit worden bijgehouden om informatie te verkrijgen over de bezettingsgraad van deze capaciteiten.

De vier gewassen worden in de volgorde koolzaad, gerst en haver/tarwe geoogst. Haver en tarwe worden gedeeltelijk tegelijk geoogst. In de simulatieprogramma's echter wordt slechts één gewas tegelijk geoogst. Dit is mogelijk door de opslagruimte, de droogcapaciteit en de maaidorscapaciteit in twee gelijke delen over de gewassen haver en tarwe te verdelen.

Een gewas mag worden geoogst zodra het rijp is. De *rijpingsdata* van de vier gewassen zijn per oogstjaar gegeven. Bij het gereedkomen van een gewas kan pas de volgende dag met het volgende gewas worden begonnen.

De rijpingsdata worden aangegeven met r_k , de tijdstippen van het einde van de oogst met h_k en de begindata van de oogst met c_k van de gewassen $k = 1, 2, 3, 4$. Met koolzaad ($k = 1$), wordt de rijpingsdatum begonnen. Met gerst ($k = 2$) kan slechts worden begonnen als de koolzaadoogst gereed is en met haver ($k = 3$) en tarwe ($k = 4$) slechts als de gerstoogst gereed is. De begindata c_k , $k = 1, 2, 3, 4$ volgen uit:

$$\begin{aligned}
 (17) \quad & c_1 = r_1 \\
 & c_2 = \max(h_1 + 1, r_2) \\
 & c_3 = \max(h_2 + 1, r_3) \\
 & c_4 = \max(h_2 + 1, r_4) :
 \end{aligned}$$

De tijdstippen van het einde van de oogst, h_k , $k = 1, 2, 3, 4$ worden door simulatie bepaald, terwijl de begindata c_k uit de h_k en de gegeven r_k volgen met (17). Haver en tarwe worden tegelijk geoogst in de dagen d , waarvoor geldt:

$$(18) \quad \max(c_3, c_4) \leq d \leq \min(h_3, h_4),$$

zodat in deze periode de splitsing van de maaidorscapaciteit wordt doorgevoerd. Meteen na het einde van de gerstoogst worden de droog- en opslagcapaciteit en de opgeslagen hoeveelheden per vochtklasse in tweeën gedeeld, zodat er in feite twee aparte eenheden ontstaan. Vanaf de dag dat één van de gewassen tarwe of haver gereed is, wordt weer met één droger en één opslagruimte gewerkt en worden de aanwezige hoeveelheden in de opslagruimte per vochtklasse bij elkaar opgeteld. Gescheiden droging en opslag vindt dus plaats in de dagen d , waarvoor geldt:

$$(19) \quad h_2 + 1 \leq d \leq \min(h_3, h_4).$$

Als een gewas voor de rijpingsdata van het volgende gewas gereed is, vindt geen oogst plaats. Er kan dan nog een hoeveelheid vochtig graan aanwezig zijn, waarvan nog droging kan plaatsvinden. Dit tijdsinterval is weer te beschouwen als een vochtinterval met vochtklasse 4, zodat de procedure beschreven in sectie 4 kan worden gebruikt. In het simulatiemodel is ook de mogelijkheid opgenomen met twee tarwerassen te kunnen werken, ras 1 en ras 2. Voor deze rassen gelden verschillende verliesformules, maaidorscapaciteiten, rijpingsdata en schotdata.

Ras 1 heeft *prioriteit* bij de oogst. Laat r_{4j} de rijpingsdatum, h_{4j} de gereeddatum en c_{4j} de begindatum zijn voor ras $j = 1, 2$. De begindata volgen uit:

$$(20) \quad \begin{aligned} c_{41} &= \max(h_2 + 1, r_{41}) \\ c_{42} &= \begin{cases} \max(h_2 + 1, r_{42}) & \text{als } r_{42} < r_{41} \\ h_{41} + 1 & \text{als } r_{42} \geq r_{41} \end{cases} \end{aligned} \quad ^1$$

Als $r_{42} < r_{41}$ kan ook $h_{42} > r_{41}$ zijn. De oogst ligt dan stil gedurende de dagen d waarvoor $h_{42} < d < r_{41}$.

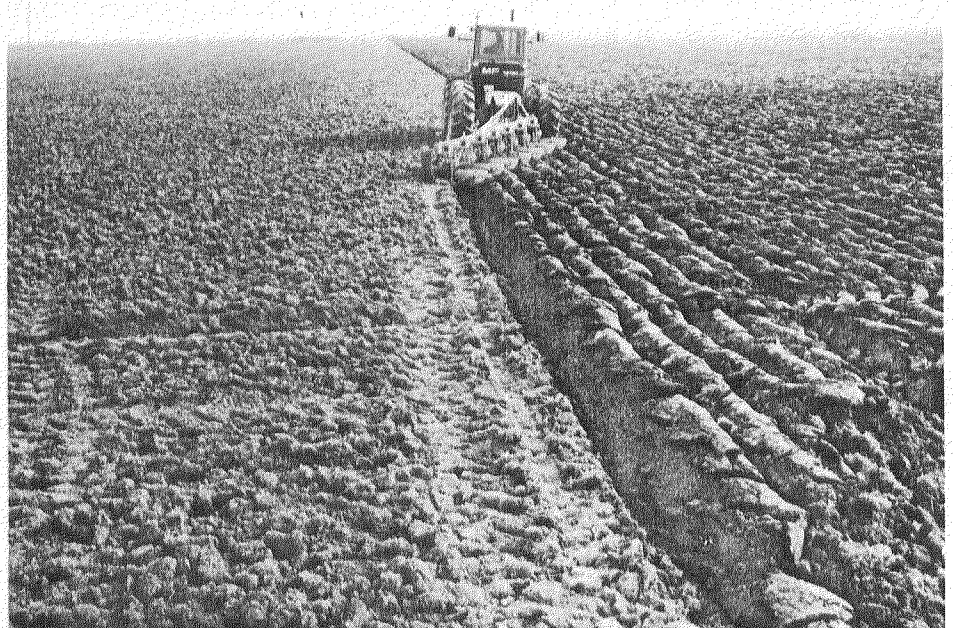
Loonwerkers kunnen slechts in de gewassen gerst en tarwe worden ingezet, als ze niet in deze gewassen werkzaam zijn bij de boeren elders in Flevoland. De oogstperiode bij de boeren wordt met een aparte simulatie bepaald, vanaf de rijpingsdatum van het gewas. Gedurende de overblijvende perioden kunnen de loonwerkers bij de RIJP worden ingezet. In het simulatiemodel wordt per jaar eerst de oogst afgewerkt zonder loonwerkers en vervolgens wordt de optimale inzetperiode voor dat jaar bepaald. Het optimaliseringscriterium hierbij is het *minimum* van de som van de kosten van het oogstapparaat en de *verlieskosten* voor het desbetreffende jaar. De kosten van de inzet van loonwerkers bedragen een vast bedrag per gedorste ton, onafhankelijk van het tijdstip. De verliezen zijn een stijgende functie van de tijd ná de rijpingsdatum van het gewas. Het is dus voordelig per gewas zo vroeg mogelijk loonwerkers in te zetten.

¹ Zodra echter het tijdstip c_{41} is bereikt, wordt begonnen met ras 1; met ras 2 wordt daarna weer begonnen op het tijdstip $h_{41} + 1$.

Ter bepaling van de optimale duur van de inzetperiode wordt een aantal verschillende inzetperioden gesimuleerd. Omdat het verdere verloop van de oogst door de inzet wordt beïnvloed, is het noodzakelijk per inzetperiode de simulatie tot en met de laatste oogstdag van het jaar door te zetten. Aan gezien het voldoende is de optimale inzetperiode op twee dagen nauwkeurig te bepalen, worden slechts inzetperioden uitgetest met lengten die een veelvoud van twee dagen zijn. Stel dat de oogst bij de boeren gereed is op de dag f_k van gewas $k = 2, 4$. Dan kunnen de loonwerkers worden ingezet op de dagen d waarvoor $f_2 + 1 \leq d \leq \min(h_2, r_4)$ voor gerst en $f_4 + 1 \leq d \leq h_4$ voor tarwe. Eerst worden ze ingezet op de dagen $f_2 + 1$ en $f_2 + 2$ in gerst, waarna de resterende oogstperiode opnieuw wordt doorgerekend. Vervolgens worden ze ingezet op de dagen $f_2 + 3$ en $f_2 + 4$, enz. Hierbij worden de inzetdagen van de voorgaande run niet opnieuw gesimuleerd. Hiervoor is het noodzakelijk dat alle relevante grootheden op de dag waarop een run begint, oproepbaar zijn. Dit zijn onder andere de grootheden 1 t/m 5 opgesomd aan het eind van sectie 5 en een *Bool'se* variabele die aangeeft of de oogstcapaciteit gesplitst is over haver en tarwe of niet.

Er kan bij de simulatie zowel van de situatie worden uitgegaan dat het door loonwerkers geoogste graan op het eigen bedrijf wordt gedroogd, als wel bij derden. In het eerste geval betekent dit dat het door loonwerkers gedoorste graan bij de aanvoer a_i , $i = 2, 3$ moet worden opgeteld en verder volgens de besproken methode per vochtinterval moet worden verwerkt. Het heeft dan geen zin loonwerkers in te zetten op dagen waarop de ruimte zonder inzet van loonwerkers al volloopt. Ten einde hiermee rekening te houden, wordt in het programma voor elke run ook per dag onthouden of inzet kan plaatsvinden. Bij het bepalen van het volgende toe te voegen tweetal inzetdagen kan hiermee dan rekening worden gehouden.

Het drogen van het door loonwerkers gedoorste graan op het eigen bedrijf heeft verder, gezien de opzet van de simulatie, tot gevolg dat de eigen droog- en opslagcapaciteit moet worden gesplitst over koolzaad en gerst, gedurende de dagen d waarvoor $f_2 + 1 \leq d \leq h_1$. Dit laatste treedt op als $h_1 \geq f_2 + 1$,



Ploegen met zeven scharen en 80 kW kniktrekker.

dus als koolzaad nog niet gereed is als inzet van loonwerkers in gerst al mogelijk is.

In het tweede geval, waarbij het door loonwerkers geoogste graan bij derden wordt gedroogd, hoeft het door de loonwerkers geoogste aandeel niet in de berekeningen tijdens een vochtinterval te worden opgenomen. Wel strekt de invloed van de inzet zich ook hier over de resterende oogstperiode uit. Het eerder gereedkomen van een gewas beïnvloedt niet alleen de oogstdatum van het volgende gewas, maar ook de aanwezige hoeveelheden in de opslagruimte op die datum.

Een volledige kostenberekening voor enerzijds de verliezen en anderzijds het gehele oogstapparaat, is in het model opgenomen, evenals een systeem tot verwerking van de uitkomsten. De kosten voor de verschillende delen van het oogstapparaat zijn voornamelijk afhankelijk van de capaciteitsgrootte van deze onderdelen. De kosten voor het oogstapparaat zijn globaal te splitsen naar de volgende onderdelen:

- *maaidorsers, transportmateriaal en personeel;*
- *silobedrijven.*

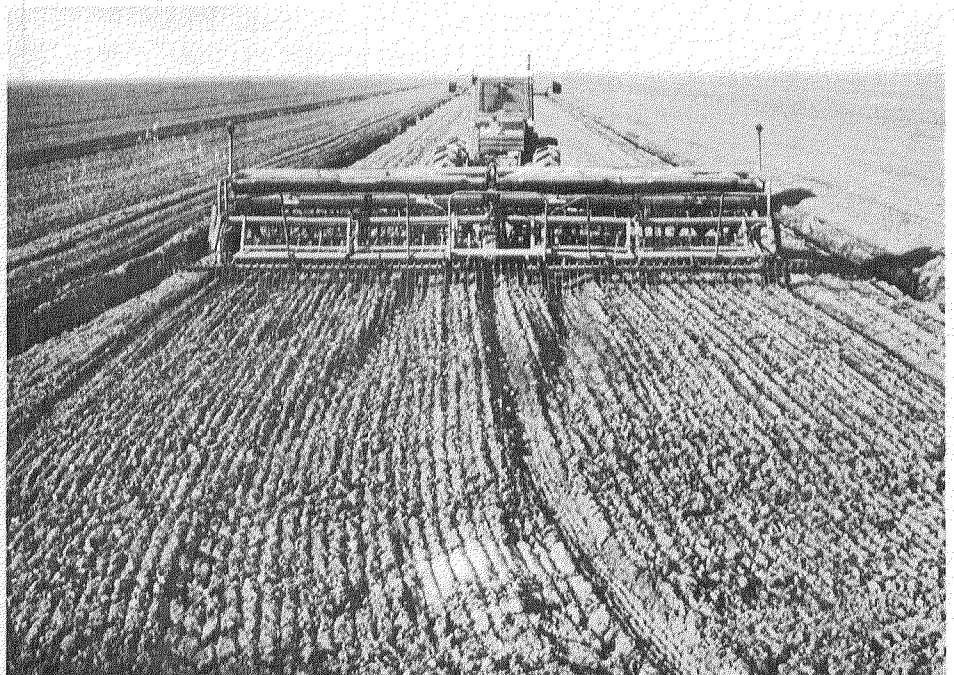
De personeelskosten zijn bij grotere aantallen progressief stijgend door het stijgende toe te rekenen deel van de jaarlijkse kosten aan de oogst. De kosten voor de silobedrijven zijn bepaald op basis van de vervangingswaarde.

De kwantitatieve verliezen voor de verschillende gewassen kunnen volgens Smook [3] worden weergegeven met de volgende regressievergelijking:

$$V = an^2 + bn + cw^2 + dw + c ,$$

waarbij:

V = % verlies van de oorspronkelijke opbrengst; N = het aantal mm neerslag, dat is gevallen sinds het tijdstip waarop het gewas maaidorsrijp werd; w = cumulatief het aantal meters per seconde wind als gemiddelde per dag boven 5 meter per seconde sinds het tijdstip waarop het gewas maaidorsrijp werd; a, b, c, d, e = parameters.



Zaaien met 6 m brede machine en 80 kW kniktrekker.

Er wordt van uitgegaan dat er kwalitatieve verliezen in tarwe optreden na schotvorming in het te velde staande graan. Het schottijdstip is afhankelijk van de omstandigheden in het jaar waarvoor de oogst wordt gesimuleerd. De kwaliteitsverliezen worden berekend door per ton geoogst produkt na het schottijdstip een vast bedrag in rekening te brengen. Bovendien worden na het schottijdstip extra-korrelverliezen in rekening gebracht, die 50% van de normale korrelverliezen bedragen. De per 1 oktober nog te dorsen hoeveelheid graan wordt voor 50% als verloren beschouwd. Deze verlieskosten worden gerekend te zijn het totaal van de korrelverliezen, de schotverliezen en de variabele oogstkosten die door het gewas na 1 oktober te oogsten zouden optreden.

2.3. Voorcalculatie oogst 1979

Voor de berekening van de totale in 1979 benodigde oogstcapaciteit is van het volgende zaaiplan uitgegaan:

koolzaad	4.560 ha
wintergerst	485 ha
zomergerst	4.625 ha
haver	2.120 ha
tarwe	7.000 ha
zomerkoolzaad	330 ha
	<hr/>
	19.120 ha

Van de in 1979 aanwezige eigen dorscapaciteit kan worden gesteld dat deze is afgestemd op (c.q. beperkt door) de aanwezige ontvangstcapaciteit van de eigen silobedrijven in samenhang met een beperkte eigen transportcapaciteit. In 1979 is echter de oppervlakte koolzaad en granen in totaal en de verdeling ervan per gewas van dien aard, dat op voorhand moet worden overwogen een bepaalde oppervlakte door loonwerkers te laten oogsten. Daartoe zijn de volgende alternatieven beschouwd:

1. totale oppervlakte in principe *zelf* oogsten; dus alleen loonwerkers inzetten, indien de omstandigheden daar aanleiding toe geven (te bepalen met behulp van het simulatiemodel). De produkten zoveel mogelijk *zelf* afvoeren naar eigen silobedrijven; naar behoefte transport- en ontvangstcapaciteit van derden inschakelen;
2. 1.500 ha zomergerst in elk geval door *loonwerkers* laten oogsten; de overige oppervlakte in principe *zelf* oogsten; de afvoer van de produkten gaat als bij alternatief 1, met uitzondering van de 1.500 ha gerst die door loonwerkers wordt geoogst en ook door loonwerkers wordt afgevoerd naar derden;
3. 1.000 ha haver in elk geval door *loonwerkers* laten oogsten en afvoeren naar derden;
4. 750 ha zomergerst en 750 ha haver in elk geval door *loonwerkers* laten oogsten en afvoeren;
5. 1.500 ha zomergerst en 1.500 ha haver in elk geval door *loonwerkers* laten oogsten en afvoeren;
6. gedurende de graanoogst naast de *eigen* maaidorsers continu 10 maaidorsers van *loonwerkers* inzetten; alleen als de omstandigheden daar aanleiding toe geven meer loonwerkershulp (door simulatie te bepalen). De afvoer van de geoogste produkten gaat als bij alternatief 2;
7. vergroting eigen capaciteit met 5 grote maaidorsers; de totale oppervlakte in principe *zelf* oogsten en alleen *loonwerkers* inzetten, indien

de omstandigheden daartoe aanleiding geven (te bepalen met behulp van het simulatiemodel). De afvoer van de geoogste produkten als bij alternatief 1.

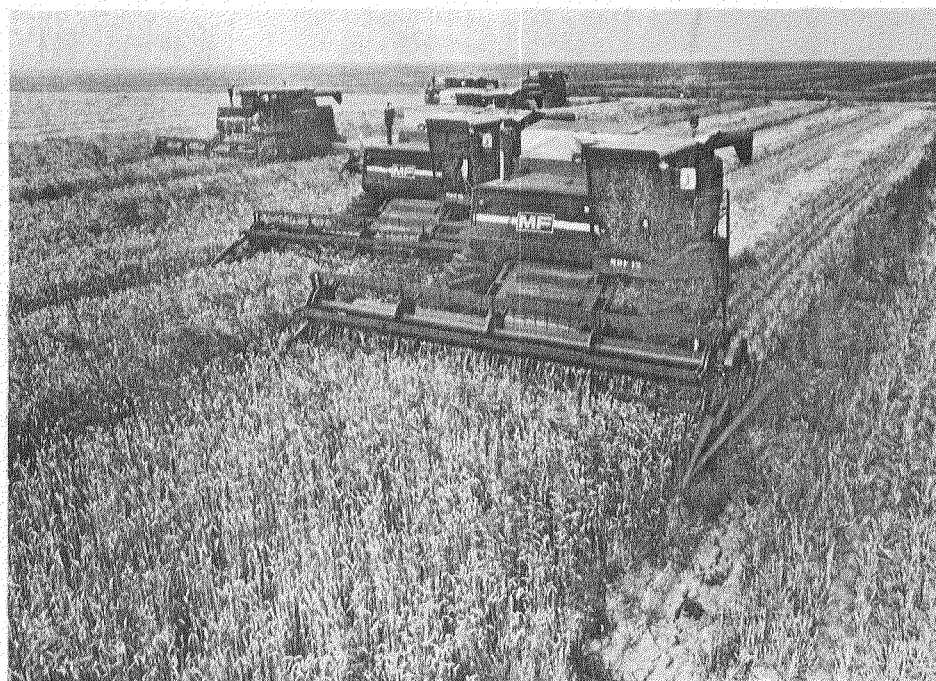
In Tabel 2 zijn op basis van een simulatie met gegevens van het weersverloop van 45 jaar tijdens de oogst de verwachtingswaarden van de totale oogstkosten vermeld.

Tabel 2

Verwachtingswaarde van de totale oogstkosten (apparaat- + verlieskosten) bij zeven alternatieven (kosten \times 1.000 gld.)

	Totale kosten	
	Zonder extra loonwerk aan het eind	Met extra loonwerk aan het eind
Alternatief 1	15.404	14.541
Alternatief 2	15.015	14.449
Alternatief 3	12.016	14.348
Alternatief 4	14.894	14.356
Alternatief 5	14.805	14.490
Alternatief 6	15.356	14.809
Alternatief 7	15.308	14.569

Uit de uitkomsten blijkt dat alternatief 4 (750 ha zomergerst en 750 ha haver door loonwerkers laten oogsten aangevuld met extra-loonwerk afhankelijk van de vorderingen) tot de laagste oogstkosten als verwachtingswaarde leidt.



Maaidorsen met machines uitgerust met airconditioning cabine.

In Tabel 3 is weergegeven wat de verwachtingen op basis van diverse oogstcapaciteiten kunnen zijn ten aanzien van het eindtijdstip van de oogst.

Tabel 3
Kans dat de oogst gereed is voor een bepaalde datum

	10 september	20 september	1 oktober
Alternatief 1	33%	62%	84%
Alternatief 2	49%	78%	89%
Alternatief 3	44%	71%	89%
Alternatief 4	49%	78%	87%
Alternatief 5	62%	80%	96%
Alternatief 6	56%	78%	91%
Alternatief 7	47%	67%	78%

De kansen op een beëindiging van de oogst vóór bepaalde tijdstippen mogen voor alternatief 4 (het alternatief met naar verwachting de laagste oogstkosten) als redelijk worden beschouwd. Echter in het kader van een gewenste verkorting van de oogstperiode biedt alternatief 5 perspectieven. De totale oogstkosten zijn bij dit alternatief weinig hoger, maar de kansen qua beëindigingstijdstip van de oogst liggen nogal wat gunstiger.

De hiervoor genoemde getallen zijn echter niet geheel bepalend voor de te hanteren oogstcapaciteit. Als aanvulling hierop zijn in Tabel 4 de kansen weergegeven waarbij met het inzetten van loonwerkers een bepaalde besparing kan worden verwezenlijkt.

Tabel 4
Kans op een besparing door inzet van loonwerkers (voor alternatief 2 t/m 5 dus extra-loonwerk boven 1.000–3.000 ha loonwerk in gerst en/of haver).

Besparing in gld.	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	Alt. 7
≤ 0	24%	38%	38%	38%	47%	33%	29%
0.0-0.5 miljoen	27%	22%	27%	27%	29%	31%	22%
0.5-1.0 miljoen	16%	16%	11%	13%	18%	11%	18%
1.0-1.5 miljoen	7%	13%	7%	7%	4%	11%	13%
1.5-2.0 miljoen	13%	7%	4%	9%	0%	7%	7%
2.0-2.5 miljoen	2%	2%	9%	4%	0%	4%	2%
2.5-3.0 miljoen	9%	2%	2%	2%	2%	2%	9%
3.0- > miljoen	2%	0%	2%	0%	0%	0%	0%

Uit de uitkomsten blijkt dat bij het inzetten van loonwerkers (c.q. extra-loonwerk) er een vrij grote kans is dat dit besparingen oplevert. Voor alternatief 4 is bij extra-loonwerk de kans op besparingen ruim 60%. Deze besparingen kunnen vrij aanzienlijk zijn. Te weten 22% kans op een besparing van meer dan f 1.000.000,—. Bij alternatief 5 neemt de kans op besparingen af bij extra-loonwerk, namelijk nog een kans van 53% op besparingen. Vooral de kans op grote besparingen daalt nogal, te weten nog slechts 6% kans op een besparing van meer dan f 1.000.000,—.

Een indruk welke oppervlakte uiteindelijk door loonwerkers moet worden geoogst kan worden verkregen aan de hand van Tabel 5.

Tabel 5

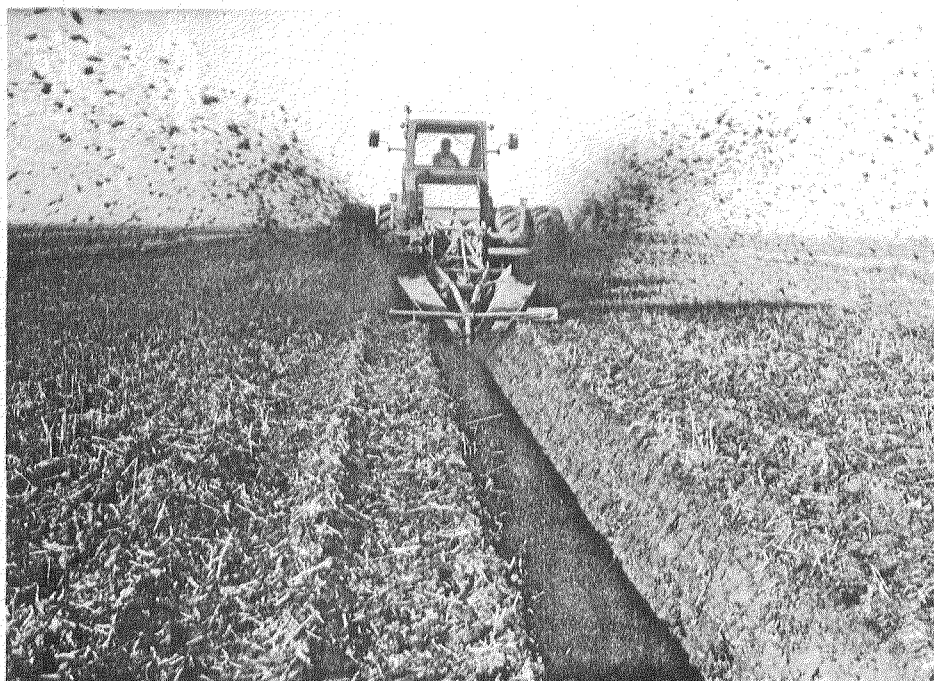
Kans op een oppervlakte door loonwerkers te oogsten (voor alternatieven 2 t/m 5, dus extra loonwerk boven 1.000–3.000 ha loonwerk in gerst en/of haver)

ha loonwerk	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	Alt. 7
0	24%	38%	38%	38%	47%	33%	29%
0- 500	4%	9%	4%	4%	11%	7%	11%
500-1000	11%	9%	7%	13%	11%	11%	9%
1000-1500	16%	20%	13%	18%	9%	11%	13%
1500-2000	9%	2%	9%	4%	4%	4%	4%
2000- >	36%	22%	29%	22%	18%	33%	33%

Naast de al veronderstelde 1.500 ha loonwerk voor alternatief 4 is er een reële kans dat nog aanvullend loonwerk nodig is, te weten een kans van ruim 60%. De kans dat de door loonwerkers te oogsten aanvullende oppervlakte nog meer dan 1.000 ha is, is ca. 45%.

Uit de berekende benodigde *dorscapaciteit* voor de oogst van 1979 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- een *eigen* dorscapaciteit van 450 ton/uur in tarwe met een vochtgehalte < 19% leidt tot de minimale verwachtingswaarde van de totale oogstkosten van ca. f 14.900.000,— als er bovendien ca. 750 ha zomergerst en 750 ha haver door loonwerkers wordt geoogst;
- bij deze capaciteit is er een kans van ca. 60% dat daarnaast nog *extra-loonwerk* moet worden verricht;
- de kans dat dit een *besparing* op de totale oogstkosten oplevert van meer dan f 1.000.000,— bedraagt ca. 22%;
- de kans dat de *extra* door loonwerkers te oogsten oppervlakte meer is dan 1.000 ha is ca. 45%.



Greppels opschonen met kniktrekkers van 150 kW.

2.4. Oogstsimulaties tijdens de oogst

Tijdens de oogstperiode werd met behulp van het oogstsimulatiemodel nagegaan of het inzetten van loonwerkers bij de oogst lagere totale oogstkosten tot gevolg zou kunnen hebben. Het verloop van de verwachtingen tijdens de daarvoor belangrijkste periode van de oogst is weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6

Verloop van de kansen op besparingen op de totale oogstkosten bij verdere loonwerkershulp

Besparingen	Kansen in %			
	7 aug.	27 aug.	10 sept.	17 sept.
0	16	31	53	58
0-0,5 miljoen	18	27	40	42
0,5-1,0 miljoen	27	22	5	0
1,0-1,5 miljoen	11	7	2	0
1,5-2,0 miljoen	13	11	0	0
2,0-2,5 miljoen	13	2	0	0
2,5-3,0 miljoen	2	0	0	0
3,0-				
met verdere loonwerkers- hulp kans op oogst gereed vóór:				
10/9	2	0	0	0
20/9	27	33	20	20
1/10	64	73	67	64

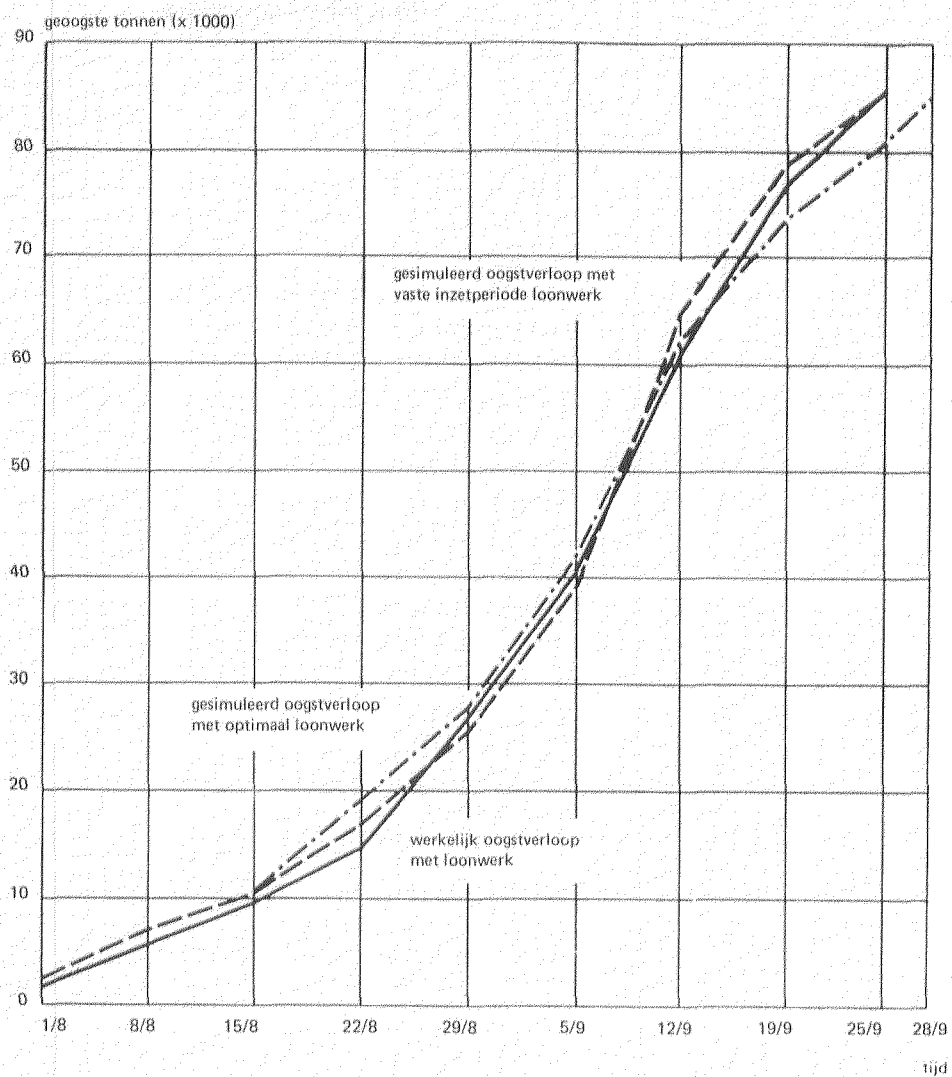
De uitkomsten in Tabel 6 gelden voor de overweging van extra-loonwerk buiten de gecontracteerde oppervlakte. Behalve bij de boeren (tarwe- en haver-oogst) hadden de loonwerkers in 1979 ook een verplichting bij de RIJP om een gecontracteerde oppervlakte van 1500 ha zomergerst op tijd te oogsten.

Op 7 augustus was de kans zeer groot (ca. 85%) dat verdere loonwerkershulp — extra naast de al gecontracteerde oppervlakte — tot *besparingen* op de totale oogstkosten zou leiden. Bovendien was er een kans van ca. 40% dat de besparingen meer dan f 1.000.000,— zouden zijn.

Als gevolg van wisselvallig weer en trage afrijping van de gewassen waren de oogstvorderingen in augustus vrij gering. Bij de simulatie van 27 augustus werd er dan ook van uitgegaan dat de loonwerkers zonder meer 2500 ha zouden oogsten. Bij verdere loonwerkershulp, naast de 2500 ha dus, was de kans op besparingen op de totale oogstkosten vrij groot, te weten ca. 70%. De kans om zonder verder loonwerk de oogst voor een aanvaardbaar tijdstip — om en nabij 20 september — gereed te hebben, was erg klein, nl. slechts 18%. Continueren van loonwerkershulp deed dit percentage stijgen tot 33%.

Door gunstig weer in september vorderde de oogst voorspoedig. Op 17 september was er door de loonwerkers ca. 2500 ha geoogst en moest er nog ruim 2500 ha worden gemaaidorst. Bij verder loonwerk was er een kans van bijna 60% dat dit geen besparingen meer zou opleveren.

Voortzetting van het loonwerk gaf een kans op besparingen van ruim 40%. De hoogte van de besparingen lag beneden f 500.000,—. De kans op gereedkomen van de oogst vóór 1 oktober lag met en zonder verder loonwerk niet ver uiteen, te weten 64 en 60% kans. Geadviseerd werd dan ook terdege te overwegen om het inzetten van loonwerkers te stoppen.



Afb. 5.
Werkelijk en gesimuleerd oogstverloop
1979.



Draineren na drie jaar landbouwkundig gebruik.

2.5. Oogstsimulaties ná de oogst

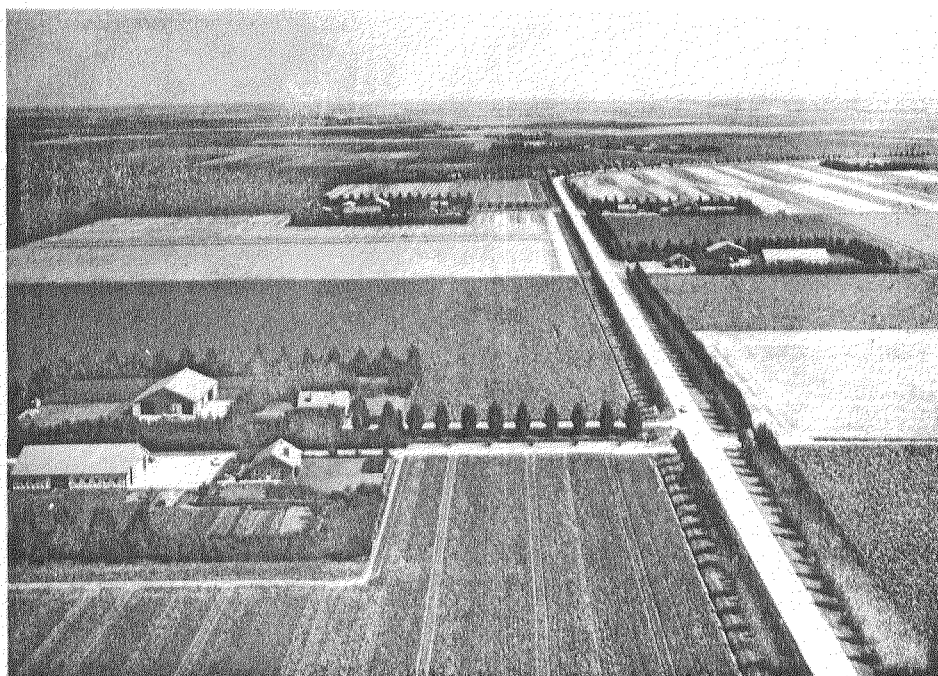
Gebaseerd op de werkelijke weergegevens, zoals neerslag, wind, straling en de behaalde produkties per machine per gewas, is na de oogst een aantal simulaties uitgevoerd. Om te kunnen toetsen aan de werkelijkheid is in de simulatie de hulp van de loonwerkers in de gerst, de tarwe- en de haver oogst aanvankelijk als vast opgenomen. Op deze wijze kan worden nagegaan of de ingebrachte parameters voor het weer en de produktie juist zijn. Uit afbeelding 5, waar de produktie in tonnen per dag cumulatief is weergegeven, blijkt dat het werkelijke en het gesimuleerde oogstverloop weinig van elkaar verschillen. Hieruit mag de juistheid van de parameters worden afgeleid. Op basis van de weergegevens, zoals ze zijn geweest tot eind september, is een berekening uitgevoerd met de mogelijkheid dat door simulatie wordt bepaald of ter verlaging van de totale oogstkosten loonwerk moet worden uitgevoerd.

De uitkomst is dat op basis van de doelstelling, namelijk minimalisering van de oogstkosten, tot 8 september loonwerk wordt uitgevoerd. Het tijdstip van beëindiging van de oogst ligt dan 3 dagen later (zie afbeelding 5). In totaal zou er dan 2140 ha door loonwerkers zijn geoogst. Het effect op de totale oogstkosten zou een verlaging van ruim f 360.000,— zijn geweest (Tabel 7).

Tabel 7

Totale oogstkosten in guldens bij een vaste inzetperiode van loonwerken, bij een door simulatie te bepalen inzet van loonwerk

	Bedrag in gld.
Vaste inzetperiode van loonwerk	16.765.219
Door simulatie te bepalen loonwerk	16.643.809
Verschil	121.410



Gezicht op ingerichte polder.

Gesteld kan worden dat het inzetten van loonwerkers bij de gerst-, tarwe- en haver oogst juist is geweest. Door het bijzonder gunstige weer in september is er achteraf gezien ca. 1000 ha door loonwerkers geoogst die uit het oogpunt van kosten beter door eigen mensen en machines had kunnen worden geoogst. De oogst was dan wel drie dagen later gereedgekomen. Het is echter de vraag of op zo'n laat tijdstip een verlating van de oogst met drie dagen f 120.000,— waard is.

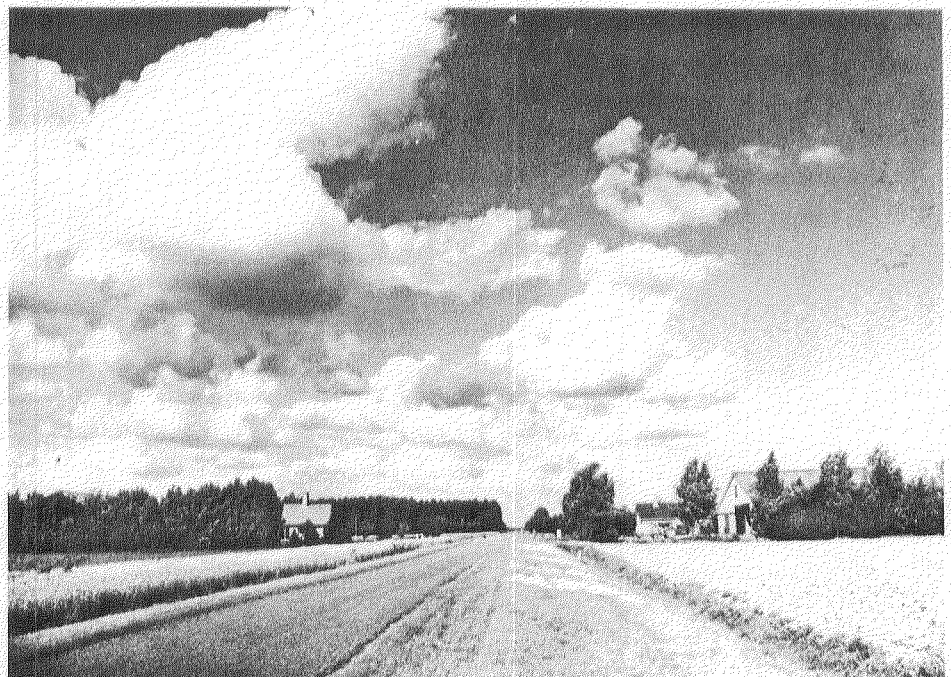
3. Samenvatting

De Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders heeft onder andere als taak de drooggevalen gronden in het IJsselmeergebied geschikt te maken voor alle bestemmingen, dit door direct na het droogvallen met riet in te zaaien. Na enige jaren wordt dit riet *verdelgd* en worden op de inmiddels aangelegde kavels *greppels* gegraven ten behoeve van de detailontwatering. Op de dan al ontstane *akkers* worden gedurende minimaal vijf jaar landbouwgewassen geteeld, terwijl in dezelfde tijd de greppels worden vervangen door een ondergronds *drainage-systeem*. Door het tijdelijk landbouwkundig gebruik, waarbij hoofdzakelijk koolzaad en granen worden geteeld, komt de grond in een toestand waarbij alle bestemmingsdoeleinden zijn te verwezenlijken.

De tijdelijke landbouwkundige activiteit vindt plaats in een eenheid van 21.000 ha (het grootlandbouwbedrijf).

Geografisch schuift het bedrijf telkenjare over enige afstand op. De doelstelling van deze landbouwkundige activiteit is de grond op een zo efficiënt mogelijke wijze geschikt te maken. Deze doelstelling leent zich goed voor een *modelmatige* aanpak. Een lineair programmeringsmodel is hiervoor opgezet. Dit model bevindt zich in de testfase.

Vanwege de schaal van de activiteiten zijn onderdelen van de landbouwkundige exploitatie van een zodanige omvang, dat hiervoor afzonderlijke modelbenaderingen mogelijk zijn als onderdeel van de totale aanpak. Als



Landbouwkundig ingericht deel van de polder.

zodanig is reeds vanaf 1971 een submodel operationeel, voor planning en sturing van de oogst van ongeveer 20.000 ha koolzaad en granen.

De grootte van de oogstcapaciteit en de oogstverwerkingscapaciteit en de inzet ervan dient bij het grootlandbedrijf zodanig te zijn dat de totale oogstkosten als som van de apparaatkosten en de verlieskosten minimaal zijn. Een moeilijkheid bij het bepalen van de grootte van deze capaciteiten is vooral het *stochastische* karakter van het weer tijdens de oogst en hiermee samenhangend van de verliezen. Ten behoeve van de bepaling van de oogstcapaciteit en de toewijzing ervan zijn twee wiskundige modellen ontwikkeld, namelijk een *simulatiemodel* en een *lineair programmeringsmodel*. Met het simulatiemodel kan een capaciteitsplanning op lange en middellange termijn ten behoeve van de bouw van *silobedrijven* en de aankoop van *maaidorsers* worden uitgevoerd. Bovendien kan er een capaciteitsplanning op korte termijn ten behoeve van de bepaling van een eventuele kortstondige capaciteitsuitbreiding door middel van het aantrekken van *loonwerkers* worden opgesteld.

Bij een analyse van het oogstproces worden ten behoeve van het simulatiemodel drie beslissingsvariabelen onderscheiden:

- het aantal *maaidorsers*;
- de *droogcapaciteit* in ton/uur;
- de *opslagcapaciteit* in m³.

Op basis van deze variabelen worden in het simulatiemodel, afhankelijk van het korrelvochtgehalte van het graan, bepaald door de weersomstandigheden, zes toestanden ten aanzien van de oogst en de oogstverwerking onderscheiden. Overgang van de ene toestand naar een andere wordt hierbij primair veroorzaakt door de weersomstandigheden, maar in samenhang met de beschikbare capaciteiten en de te oogsten gewassen. Een integrale berekening van de kosten vindt eveneens in het model plaats.

Door simulatie van de oogst bij diverse combinaties van capaciteitsgrootten onder invloed van de weersomstandigheden, zoals die zich de afgelopen 45 jaar tijdens de oogst hebben voorgedaan, is de verwachtingswaarde van de gemiddelde minimale totale oogstkosten te bepalen.

Op basis van dit gemiddelde en de spreiding van de afzonderlijke jaaruitkomsten valt op passende wijze te adviseren over de optimale capaciteitsgrootte, zowel ten aanzien van de *eigen* capaciteit als de (tijdelijke) capaciteiten van *derden*. Dit is geïllustreerd met een voorcalculatie en een nacalculatie van de optimale oogstcapaciteit in 1979.

4. Literatuur

- [1] Kampen, J.H. van, 'Optimizing Harvesting Operations on a Large Scale Grain Farm', *Van Zee tot Land* 46, Zwolle, 1969.
- [2] Weeda, P.J., 'Praktijktoeepassing van Simulatie: Capaciteitsplanning bij de Graanoogst', *Syllabus bij de leergang Mathematische Besliskunde*, Mathematisch Centrum, afdeling Mathematische Besliskunde BC 8/73, december 1973.
- [3] Smook, A.H.H., 'De Invloed van Uitstel van de Oogst op Opbrengst en Kwaliteit van Granen en Koolzaad', *Flevobericht* 105, RIJP Lelystad, 1975.



19 NOV. 1981