

LP IETS VOOR OP? ONDERNEMINGSPLANNING EN LINEAIR PROGRAMMEREN¹⁾

door Drs. C. J. M. Koks en Ir. A. H. Meijer

0 Samenvatting

Bij de ondernemingsplanning kan lineair programmeren (LP) goed toegepast worden om het planningsproces te verbeteren en te versnellen. Dit artikel bevat een volledige beschrijving van een LP model voor de ondernemingsplanning van een fictieve onderneming. Uitgaande van commerciële, technische en financiële relaties, beperkingen en doelstellingen wordt dit model opgebouwd, de financieel-economische berekening toegelicht en de oplossing weergegeven. De praktische hanteerbaarheid van LP modellen wordt toegelicht.

1 Inleiding

In een bepaalde fase van ondernemingsplanning kan lineair programmeren soms een bruikbaar hulpmiddel zijn om het planningsproces te verbeteren en te versnellen. A. I. Ansoff [1] heeft het proces van ondernemingsplanning in een kringloopschema weergegeven:

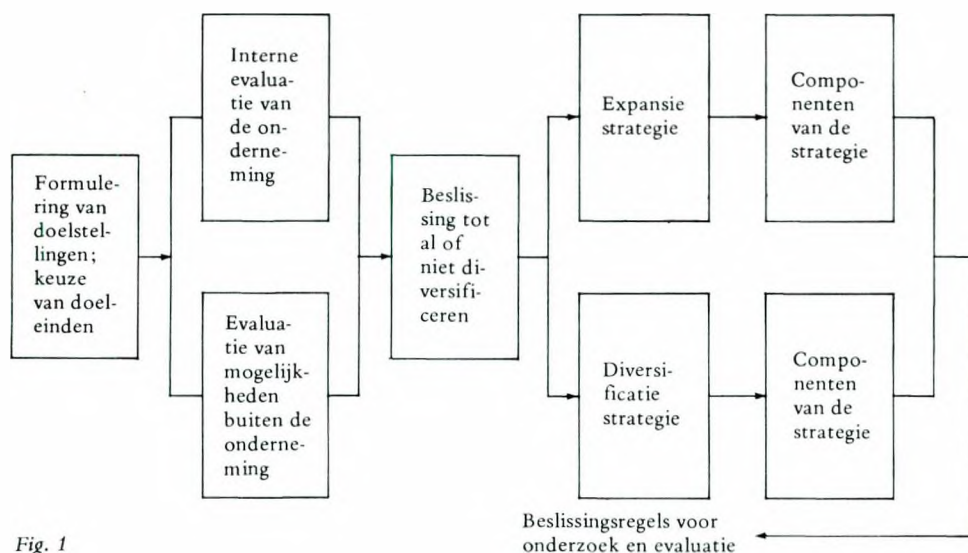


Fig. 1

Dit kringloopschema bestaat uit een aantal fasen, die ieder op zich ook weer als een kringloopproces beschreven kunnen worden. We beperken ons tot de fase „expansie-strategie”, waarvan door I. van der Zijpp [6] het kringloopkarakter duidelijk is weergegeven.

¹⁾ Drs. J. F. van Haastrecht, „de eerste” bouwer van het model heeft dit artikel van kritische kanttekeningen voorzien.

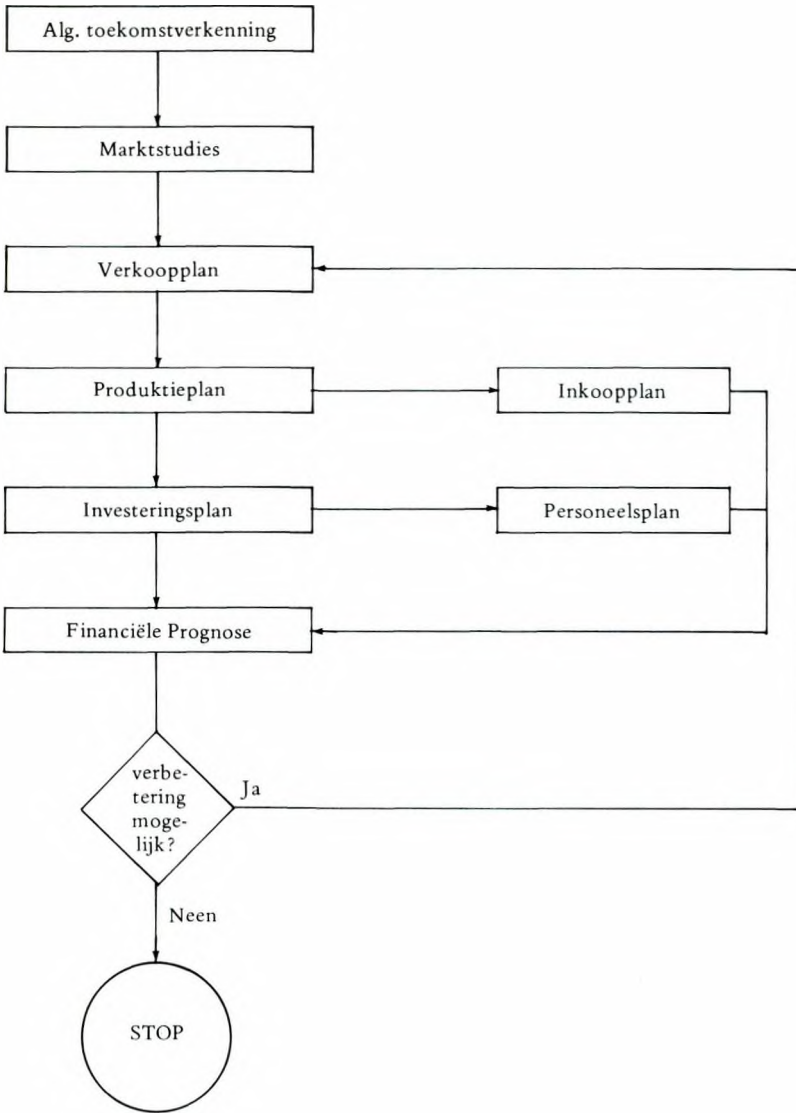


Fig. 2

In de laatste „ronde” van de planningcyclus wordt het „stop”-teken bereikt; dat is tevens het „go”-teken voor de realisatie van de plannen. De managers die voor de realisatie van de plannen verantwoordelijk zijn, zullen bij het opstellen van het plan van hun afdeling nauw betrokken zijn en omdat de plannen van de verschillende afdelingen nauw samenhangen vraagt dit veel tijd voor overleg met de managers van de andere afdelingen.

Het is daarbij doelmatig om als basis voor dit overleg een „indicatief” plan te hebben waarmee de plannen van de verschillende afdelingen verder uitgewerkt kunnen worden tot een plan waarmee de ondernemingsdoelstellingen gerealiseerd worden. Tot slot van de planningcyclus worden deze

uitgewerkte plannen, waarvoor de managers verantwoordelijk zijn, verwerkt in een financiële prognose en geeft de ondernemingsleiding voor de realisering het „go”-sein . . . of niet.

Bij het opstellen van een „indicatief” plan kan een „trial and error” methode gevolgd worden door volgens schema 2 na elkaar een aantal plannen op te stellen, door te rekenen en te toetsen aan de doelstellingen van de onderneming tot een aanvaardbaar plan gevonden is. Dit plan kan vervolgens eventueel nog verbeterd worden. Een nadeel van deze methode is dat het zeer goed denkbaar is dat gestopt wordt terwijl nog een beter plan mogelijk is. Bovendien is deze werkwijze duur en tijdrovend.

Een andere werkwijze is mogelijk:

- I De samenhang tussen de plannen en de doelstellingen van de onderneming zo te stileren dat met lineair programmeren (LP) simultaan een verkoop-, produktie-, investerings-, personeels- en inkoopplan opgesteld wordt, dat „in de buurt” ligt van een plan dat aan de ondernemingsdoelstellingen beantwoordt.
- II Op basis van het plan uit I, hetzij enkele doelstellingen te herzien, hetzij dit plan verder uit te werken volgens schema 2.

Dit lijkt dus veel op de benadering die volgens S. Kramer [4] voor produktieplanning effectief blijkt te zijn.

Bij Hoogovens is in 1968 begonnen met het ontwikkelen van een LP model voor ondernemingsplanning. Als „pilot-plant” wordt daartoe een eenvoudig LP model gemaakt van de fictieve chocolade-onderneming N.V. „De Zoete Inval” teneinde de betrokkenen vertrouwd te maken met de mogelijkheden en onmogelijkheden van dit instrument voor ondernemingsplanning.

In dit artikel zal het LP model van „De Zoete Inval” beschreven worden.

2 Uitgangspunten voor ondernemingsplanning bij „De Zoete Inval”

De Zoete Inval heeft een chocoladefabriek en produceert twee produkten: repen van melk- en van pure chocolade.

De fabriek bestaat uit een mengerij, een tempereerafdeling, een gieterij en een pakkerij. De produkten puur- en melkchocolade moeten die afdelingen achtereenvolgens doorlopen. De mogelijkheid bestaat om melk- en puurrepen in te kopen, deze moeten dan alleen nog ingepakt worden. De fabriek verkoopt haar produkten in Engeland en in de Benelux.

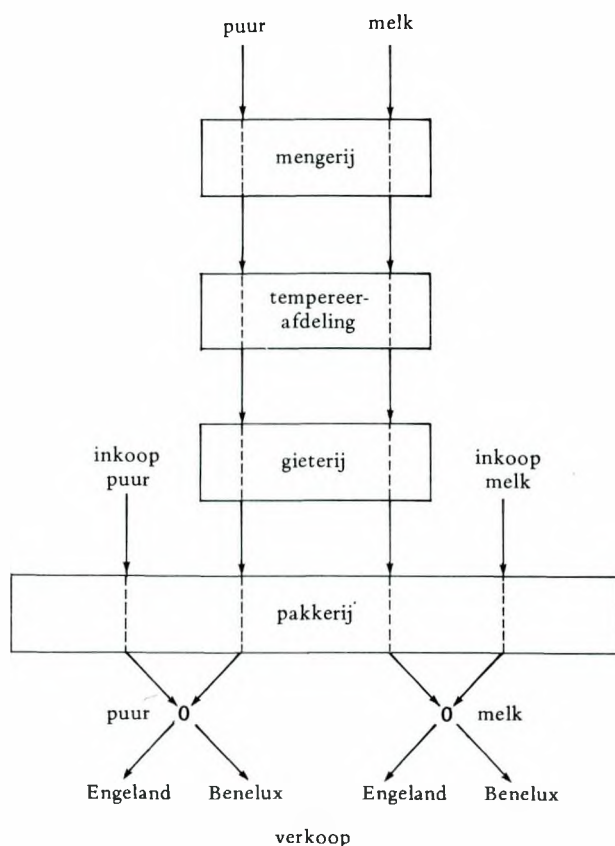


Fig. 3 - De materiaalstroom

De planning van De Zoete Inval omvat een periode van 10 jaar van 1968 - 1977.

Verkoop

De komende 10 jaar worden de opbrengstprijzen „af fabriek” constant verondersteld.

Verkoopprijs per reep	puur	melk
Benelux	f 1,40	f 1,40
Engeland	f 1,00	f 1,05

De verkoopleiding verwacht dat Engeland tot de EEG zal toetreden en acht het nodig om deze markt te behouden, dat jaarlijks minstens 1.000.000 repen puur en minstens 1.000.000 repen melk in Engeland verkocht worden. Na toetreding van Engeland verwacht de verkoopleiding dat de opbrengstprijzen „af fabriek” ongeveer op het peil van de Benelux komen te liggen.

Bij de gegeven prijzen kan uitgegaan worden van de volgende maximale verkoopmogelijkheden (weergegeven in 1.000.000 repen) in de Benelux voor de komende 10 jaar.

Maximale verkoopmogelijkheden in de Benelux

jaar	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
puur	8	9	11	14	16	18	20	22	24	26
melk	13	16	20	27	32	35	38	41	44	47

Inkoop

De leiding van de inkoopafdeling verwacht dat de prijzen van grond- en hulpstoffen - cacaopoeder en cacaoboter, melk, zilverpapier e.d. - de komende jaren op een constant niveau zullen liggen. Per reep puur bedragen deze f 0,71 en per reep melk f 0,59.

Het is ook mogelijk om chocolade in bulkverpakking te kopen. Per reep kosten deze onverpakte repen, inclusief het materiaalverbruik in de pakkerij, f 1,20 voor de pure chocolade en f 1,25 voor de melkchocolade.

Teneinde niet te afhankelijk van derden te worden mag de totale inkoop van onverpakte repen nooit groter zijn dan 10% van de eigen produktie.

Personeel

De huidige personeelsbezetting is 840 man. Geraamd wordt dat personeelskosten per man/vrouw constant zullen blijven (het is maar een eenvoudig voorbeeld!) op f 14.000,— per man/vrouw. Hoeveel personeel nodig is als de produktie wordt uitgebreid komt aan de orde bij de uitbreidingen.

Produktie en Produktieplanning

De pure chocolade moet tweemaal zo lang als de melkchocolade in de mengerij behandeld worden. In de tempereerafdeling moet de melkchocolade tweemaal zo lang behandeld worden als de pure chocolade. Voor de gieterij en de pakkerij maakt melk of puur geen verschil. In de mengerij en de tempereerafdeling wordt de produktiecapaciteit dus bepaald door de verhouding waarin melk en puur wordt geproduceerd. De capaciteit wordt uitgedrukt in produktie van repen puur. De voorraden worden gedurende de gehele planperiode constant verondersteld.

	mengerij	temp. afd.	gieterij	pakkerij
bestaande capaciteit in 1.000.000 repen puur	20	40	40	25

Uitbreidingen en investeringen

Door investeren kan de capaciteit van de afdelingen worden uitgebreid. Er wordt met een zekere aanloop rekening gehouden: in het jaar dat de uitbreiding gerealiseerd wordt, kan slechts maximaal 50% van de bijgebouwde capaciteit benut worden. Reeds is besloten om in het eerste jaar geen uitbreiding te doen.

Hieronder worden de investering en het benodigde extra personeel weergegeven voor elke installatie als deze wordt uitgebreid voor de produktie van 1.000.000 repen puur.

<i>Uitbreiden van de productiecapaciteit met 1.000.000 repen puur</i>	<i>Investering in f mln</i>	<i>Personeelstoename in personen</i>
in mengerij	0,4	1
in tempererafdeling	0,8	6
in gieterij	0,2	0,2
in pakkerij	0,3	5

De capaciteit van de pakkerij kan tegen halve investeringskosten per reep nog worden „opgerekt” tot 25.000.000 repen extra. De personeelstoename blijft dan hetzelfde als bij een normale uitbreiding.

De bovengenoemde investeringsbedragen hebben betrekking op 1968; elk jaar wordt het prijspeil van de investeringen 1% hoger. Het is mogelijk om capaciteit in elke gewenste mate uit te breiden. Bij het bouwen van een installatie is men dus niet aan een bepaalde grootte gebonden.

Financiën

De onderneming heeft een lening van f 5.000.000 uitstaan tegen 8½% rente; deze lening moet in het 5e jaar ineens afgelost worden.

Aan het begin van de planperiode beschikt de onderneming over f 3 mln liquide middelen. Alle liquide middelen brengen 7% interest per jaar op.

In verband met andere plannen moet er van uitgegaan worden dat ten behoeve van de expansie van de chocoladefabriek geen liquide middelen van derden aangetrokken kunnen worden (m.a.w. er wordt niet geleend, geen nieuwe aandelen uitgegeven, enz.).

Binnen de onderneming worden de projecten met een discounted cash flow (dcf-) methode geëvalueerd [5 en 6]; de daarbij gehanteerde „cost of capital” is 8% ná belasting. In deze „cost of capital” of kapitaalkosten is de financiering van de onderneming op lange termijn geïncorporeerd²⁾.

Van het investeringsbedrag dat voor een uitbreiding nodig is wordt 30% in het jaar van ingebruikname betaald en 70% een jaar daarvoor. Van de (fiscale) winst moet 46% vennootschapsbelasting betaald worden.

Doelstellingen

Enkele doelstellingen zijn reeds genoemd:

- niet afhankelijk worden van de leveranciers van onverpakte chocolade
- toegang houden tot de Engelse markt
- geen extra geld aantrekken van derden.

Deze doelstellingen zijn in de vorm van randvoorwaarden (restricties) geformuleerd.

Binnen het raam van deze randvoorwaarden en de overige uitgangspunten is als doelstelling van de onderneming geformuleerd: winstmaximalisatie op lange termijn. Hoe deze winst op lange termijn in het LP model wordt geformuleerd komt aan de orde in de volgende paragraaf.

²⁾ In de kapitaalkosten is naast de rente op vreemd vermogen onder meer ook een gewenst rendement op het eigen vermogen verwerkt [3].

3 Financieel-economische berekeningen

De financieel-economische berekeningen betreffen de doelstellingsfunctie en de liquiditeitsrestrictie.

3.1 DOELSTELLINGSFUNCTIE

We gaan er van uit dat winstmaximalisatie op lange termijn gerealiseerd wordt, indien de netto contante waarde van de cash flow³⁾ van de onderneming gemaximaliseerd wordt⁴⁾. De cash flow wordt contant gemaakt met de kapitaalkosten (r).

In het model wordt de netto contante waarde, ook wel goodwill genoemd, gemaximaliseerd *binnen de planperiode*. Zouden de investeringen die voor uitbreidingen nodig zijn voor het volle pond ten laste van de netto contante waarde van de planperiode komen, terwijl dit voor de baten uit de toename van de exploitatiesaldi ten gevolge van diezelfde uitbreidingen slechts gedeeltelijk (voorzover de baten binnen de planperiode vallen) het geval is, dan zouden op het einde van de planperiode of zelfs in de gehele planperiode geen uitbreidingen plaats vinden. De eindige planhorizon zou dus, indien op deze wijze gerekend zou worden, tot irreële plannen leiden.

Indien de investeringen slechts ten dele, minder naarmate de investering later in de planperiode plaats vindt, ten laste van de netto constante waarde worden gebracht, dan zal vaak gedurende de gehele planperiode geïnvesteerd worden.

In het model wordt de netto constante waarde berekend op basis van de annuïteiten van de investeringen. Op deze wijze worden de investeringen ten dele ten laste van de netto contante waarde van de planperiode gebracht. Hierna volgt een toelichting op de berekening van de netto contante waarde in het model.

Investeren ten behoeve van een uitbreiding kan beschouwd worden als het kopen van een voorraad werkeenheden. Naarmate een installatie produceert worden werkeenheden verbruikt. Wordt tijdens de planperiode gebouwd of uitgebreid dan wordt een gedeelte van de voorraad werkeenheden vóór het einde en het overige gedeelte ná het einde van de planperiode verbruikt. Op grond van de continuïteit van de onderneming wordt verondersteld dat de baten na de planperiode voldoende hoog zullen zijn om de kosten van de werkeenheden te dragen. M.a.w.: er wordt van uit gegaan dat De Zoete Inval na 1977 nog chocolade produceert en tegen een redelijke prijs verkoopt.

De netto contante waarde binnen de planperiode wordt berekend op basis van de omzet, produktiekosten, personeelskosten en verbruikte werkeenheden binnen de planperiode.

De aldus berekende goodwill is het resultaat van de reeds vroeger genomen beslissingen en het „optimale” plan dat door het model berekend is. Het resultaat van de vaststaande vroegere beslissingen is daarin een constante. Het beste plan is het plan met de hoogste goodwill. De absolute hoogte van die goodwill wordt mede bepaald door bovengenoemde constante en is dus voor

³⁾ De cash flow is hier gedefinieerd: omzet - kosten exclusief rente en afschrijvingen - betaalde vennootschapsbelasting - investeringen.

⁴⁾ De in dit model gehanteerde begrippen netto contante waarde, cash flow en annuïteit worden hierna uitgelegd [5 en 6].

de bepaling van het beste plan van geen belang. De hoogte van deze netto contante waarde geeft om deze reden weinig informatie over de winstgevendheid van de onderneming als geheel.

Hiervoor is reeds gesteld, dat in de kapitaalkosten de gehele financiering geïncorporeerd is, om deze reden worden de rentebaten uit liquiditeitsoverschotten (en de rentelasten uit liquiditeitstekorten die aangenomen worden door leningen gedekt te worden⁵⁾) en dividendbetalingen niet in de berekening van de goodwill betrokken.

De kosten per werkeenheid - de annuïteit - annuïteitsfactor

Een uitbreiding heeft tijdens de bouwtijd investeringsuitgaven tot gevolg. De investeringsuitgaven mogen later, als de uitbreiding in bedrijf is, fiscaal worden afgeschreven en op deze wijze ten laste van de fiscale winst worden gebracht. De investeringsuitgave nu heeft dus⁶⁾ later een vermindering van de uitgaven voor belasting tot gevolg.

De kosten per werkeenheid zijn gedefinieerd op drie uitgangspunten:

- de werkeenheden worden verbruikt naarmate productiecapaciteit benut kan worden
- de kosten per werkeenheid zijn tijdens de levensduur van een project constant
- de netto contante waarde van de investering is gelijk aan de contante waarde van de kosten van de werkeenheden.

Een investering, met een betaalschema zoals hiervoor werd aangegeven, heeft op het tijdstip dat de uitbreiding in bedrijf wordt genomen, een contante waarde waarvoor geldt:

$$cwI = -0,7I(1+r) - 0,3I \quad (1)$$

waarin: I = de investering

r = de kapitaalkosten, die in dit voorbeeld op 8% zijn gesteld.

Voor de contante waarde, op het tijdstip dat de uitbreiding in bedrijf wordt genomen, van de belastingvermindering ten gevolge van de investering geldt:

$$cwB = 0,46 \sum_{j=1}^{15} FA_j (1+r)^{-j} \quad (2)$$

waarin: FA_j = de fiscale afschrijving in het productiejaar j

0,46 = het tarief van de vennootschapsbelasting

15 = de levensduur van het project.

De Zoete Inval mag de uitbreidingen in 15 gelijke delen fiscaal afschrijven. In het voorbeeld geldt dus:

$$FA_j = \frac{1}{15}I \text{ voor } j = 1, \dots, 15 \quad (3)$$

⁵⁾ In dit voorbeeld zijn geen liquiditeitstekorten toegestaan.

⁶⁾ Er wordt verondersteld dat De Zoete Inval fiscaal winst blijft maken.

Voor de netto contante waarde van de investering geldt, na substitutie van (3) in (2):

$$ncwI = -0,7I(1+r) - 0,3I + \frac{0,46}{15} I \sum_{j=1}^{15} (1+r)^{-j} \quad (4)$$

In dit voorbeeld kan van een uitbreiding het eerste produktiejaar maximaal 50% van de capaciteit benut worden. Voor de contante waarde, op het tijdstip dat de uitbreiding in bedrijf wordt genomen, van de werkeenheden geldt:

$$cwW = \frac{0,5A}{1+r} + \frac{A}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A}{(1+r)^{15}} \quad (5)$$

Per definitie geldt:

$$ncwI + cwW = 0 \quad (6)$$

Bij gegeven I en kapitaalkosten (r) kan A uit (4), (5) en (6) opgelost worden.

In het model zijn de veronderstellingen omtrent levensduur, betaalschema en produktiecapaciteit voor alle uitbreidingen gelijk en kan een annuïteitsfactor (a) per f 1,— investering berekend worden, waarvoor geldt:

$$a = \frac{A}{I} \quad (7)$$

Bij kapitaalkosten van 8% na belasting is de annuïteitsfactor 0,098. Deze annuïteitsfactor is gelijk aan de kosten, na belasting, per werkeenheden per f 1,— investering of anders gezegd: de annuïteitsfactor „dekt” afschrijvingen en kapitaalkosten na belasting⁷⁾.

De waarde per jaar en de doelstellingsfunctie in het model

Voor ieder jaar binnen de planperiode worden berekend:

omzet: de som van de verkochte hoeveelheden vermenigvuldigd met hun respectieve opbrengstprijzen.

produktiekosten: de som van de gekochte hoeveelheden onverpakte chocolade vermenigvuldigd met hun respectieve materiaalkosten, vermeerderd met de som van de geheel zelf geproduceerde repen vermenigvuldigd met hun respectieve kosten voor grond- en hulpstoffenverbruik.

personeelskosten: het personeelsaantal vermenigvuldigd met de personeelskosten per man/vrouw.

exploitatiesaldo: de omzet verminderd met de produktiekosten en de personeelskosten.

investeringen: de som van de uitbreidingen vermenigvuldigd met respectieve investeringsbedragen. De uitbreidingen in het eerste jaar staan vast en worden niet in het investeringsbedrag opgenomen.

7) Vóór vennootschapsbelasting zou de annuïteitsfactor 18% zijn ($0,098/(1-0,46) = 0,1814$). Deze annuïteitsfactor is samengesteld uit 7% (1/14,5) voor afschrijvingen en 11% (18 - 7) voor kapitaalkosten. Omdat in dit voorbeeld de netto contante waarde na vennootschapsbelasting wordt berekend, wordt met de annuïteitsfactor na belasting gerekend.

Op basis van de investeringen in jaar j en de voorgaande jaren in de planperiode kunnen de kosten (na belasting) voor de verbruikte werkeenheden in jaar j (VW_j) berekend worden:

$$VW_j = 0,5aI_j - a \sum_{k=2}^{j-1} I_k \quad (8)$$

De waarde in jaar j (na belasting) (W_j) is bepaald door het exploitatiesaldo in jaar j en de verbruikte werkeenheden in jaar j .

$$W_j = 0,54E_j - VW_j \quad (9)$$

waarbij: $0,54 = 1 - \text{vennootschapsbelastingtarief}$

$E_j = \text{het exploitatiesaldo in jaar } j.$

Voor de doelstellingsfunctie in het model geldt:

$$\text{netto contante waarde} = \sum_{j=1}^{10} W_j (1+r)^{-j} \quad (10)$$

waarbij: $10 = \text{het aantal jaren in de planperiode.}$

Hiervoor is reeds toegelicht waarom de hoogte van de met formule (10) berekende netto contante waarde weinig informatie geeft over de winstgevendheid van de onderneming.⁸⁾

⁸⁾ Voor een project levert de met (10) berekende netto contante waarde echter dezelfde uitkomst als een „conventionele” berekening van de netto contante waarde op basis van de cash flow. Bij de evaluatie van een investeringsproject wordt veelal voor ieder jaar de cash flow (C_j) berekend. Voor de cash flow wordt daarbij veelal de volgende definitie gehanteerd: de cash flow in een jaar is het exploitatiesaldo verminderd met de vennootschapsbelasting.

Voor de cash flow geldt dan:

$$C_j = E_j - 0,46(E_j - FA_j) = 0,54E_j + 0,46FA_j \quad (11)$$

Hierin is $0,46(E_j - FA_j)$ de verschuldigde vennootschapsbelasting over de fiscale winst van het project in jaar j ; daarbij wordt met de rente over vreemd vermogen geen rekening gehouden, omdat deze is verwerkt in de kapitaalkosten.

Voor de netto contante waarde, contant gemaakt op het tijdstip van in bedrijfname, van een project met een betaalschema, zoals in dit voorbeeld wordt gehanteerd, geldt per definitie:

$$ncw = -0,7I(1+r) - 0,3I + \sum_{j=1}^{15} C_j (1+r)^{-j} \quad (12)$$

waarbij $15 = \text{de levensduur van het project in jaren.}$

Substitutie (11) in (12) levert:

$$ncw = \sum_{j=1}^{15} (0,54E_j + 0,46FA_j) (1+r)^{-j} - 0,7I(1+r) - 0,3I \quad (13)$$

Na substitutie van (3), (4), (5), (6) en (7) in (13) geldt:

$$ncw = \sum_{j=1}^{15} W_j (1+r)^{-j} \quad (14)$$

waarbij $W_j = 0,54 E_j - 0,5aI$ als $j = 1$

$W_j = 0,54 E_j - aI$ als $j = 2, \dots, 15.$

3.2 LIQUIDITEITSRESTRICTIE

Bij investeren worden ontvangsten voorafgegaan door uitgaven. De hoeveelheid geld - de liquide middelen - kan de mogelijkheden om rendabele investeringen in het ondernemingsplan op te nemen beperken.

De liquide middelen op het einde van jaar j zijn gelijk aan:

liquide middelen aan het begin van jaar j

- + cash flow in jaar j , deze wordt berekend met (11)
- + $(-)$ rentebaten $(-)$ lasten) na vennootschapsbelasting⁹⁾
- betalingen in jaar j van investeringen voor uitbreidingen in jaar j (30%) en jaar $j + 1$ (70%)¹⁰⁾
- aflossingen in jaar j op reeds bestaande leningen
- dividendbetalingen
- + stortingen op nieuwe leningen en toename van de liquide middelen uit aandelenemissies.

In dit voorbeeld is er van uitgegaan dat geen nieuwe leningen worden afgesloten, geen aandelen worden geëmitteerd en alle winst wordt ingehouden.

4 Resultaat

De oplossing van het LP model geeft het volgende plan voor 1968-1977 voor de NV „De Zoete Inval”.

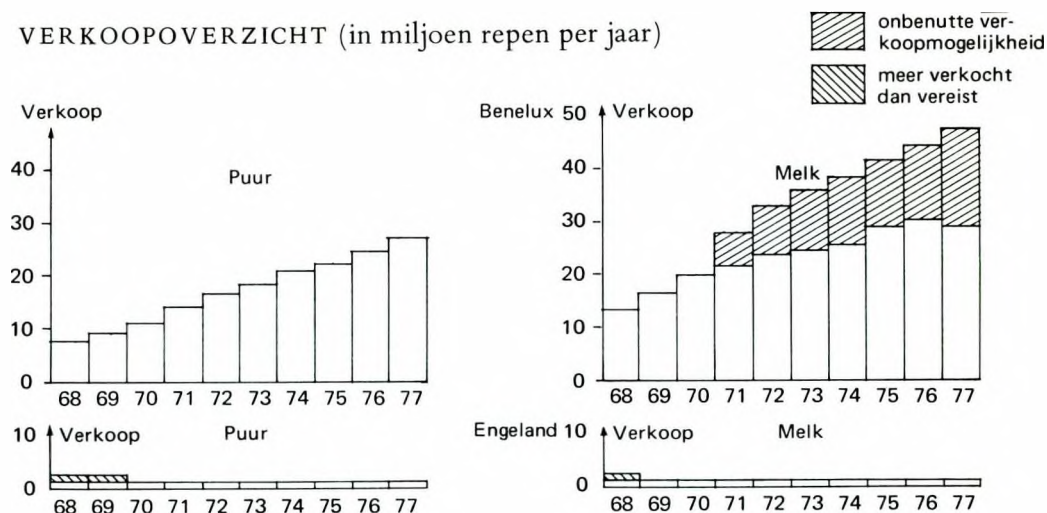
⁹⁾ Indien f 100,— rente betaald moet worden mag f 46,— minder vennootschapsbelasting betaald worden; het liquiditeitseffect is dus f 54,—.

¹⁰⁾ De 30% en 70% hebben betrekking op het betaalschema.

	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Productie in mln repen										
- puur	10,0	10,6	12,0	15,0	17,0	19,1	21,0	23,0	25,0	27,0
- melk	15,0	17,0	18,6	18,5	20,1	20,4	21,7	24,5	27,7	29,3
Inkoop in mln repen										
- puur	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
- melk	—	—	2,1	3,3	3,7	3,9	4,3	4,8	2,4	—
Verkoop Benelux in mln repen										
- puur	8,0	9,0	11,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0
- melk	13,0	16,0	19,7	20,8	22,8	23,3	25,0	28,3	29,1	28,3
Verkoop Engeland in mln repen										
- puur	2,0	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
- melk	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Uitbreidingen in mln repen puur										
- mengerij	—	—	2,6	3,3	2,3	1,9	3,4	3,4	3,7	1,9
- tempereraafd.	—	9,1	—	5,6	5,0	—	9,5	6,0	10,5	—
- gieterij	—	—	—	—	—	—	5,4	4,3	5,9	1,3
- pakkerij	—	—	—	—	—	—	0,7	3,3	2,3	—
- oprekken pakkerij	—	5,1	5,1	3,1	4,9	—	6,7	—	—	—
x f mln										
- Investeringsen	—	8,2	1,8	6,5	5,9	0,8	11,9	8,6	12,7	1,1
- Liquide middelen (ultimo) 3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	23,9
- Exploitatiesaldo	5,8	7,2	9,6	11,0	13,0	14,6	15,8	18,7	21,2	23,5
Personeelsaantal	840	920	949	1001	1058	1060	1158	1215	1294	1296

In figuur 4 is het resultaat in een aantal grafieken samengevat. Het verkoop-overzicht laat zien hoe de verkoopmogelijkheden worden benut. Het capaciteitsoverzicht laat zien hoe de capaciteit door de produktie wordt benut. Hierbij wordt de capaciteit uitgedrukt in miljoenen repen puur produktie (puur equivalenten). De uitbreidingen worden weergegeven met schuine lijnen om aan te geven dat in het jaar van uitbreiding slechts de halve capaciteit beschikbaar is.

VERKOOPOVERZICHT (in miljoen repen per jaar)



CAPACITEITSOVERZICHT (in miljoen repen puur per jaar)

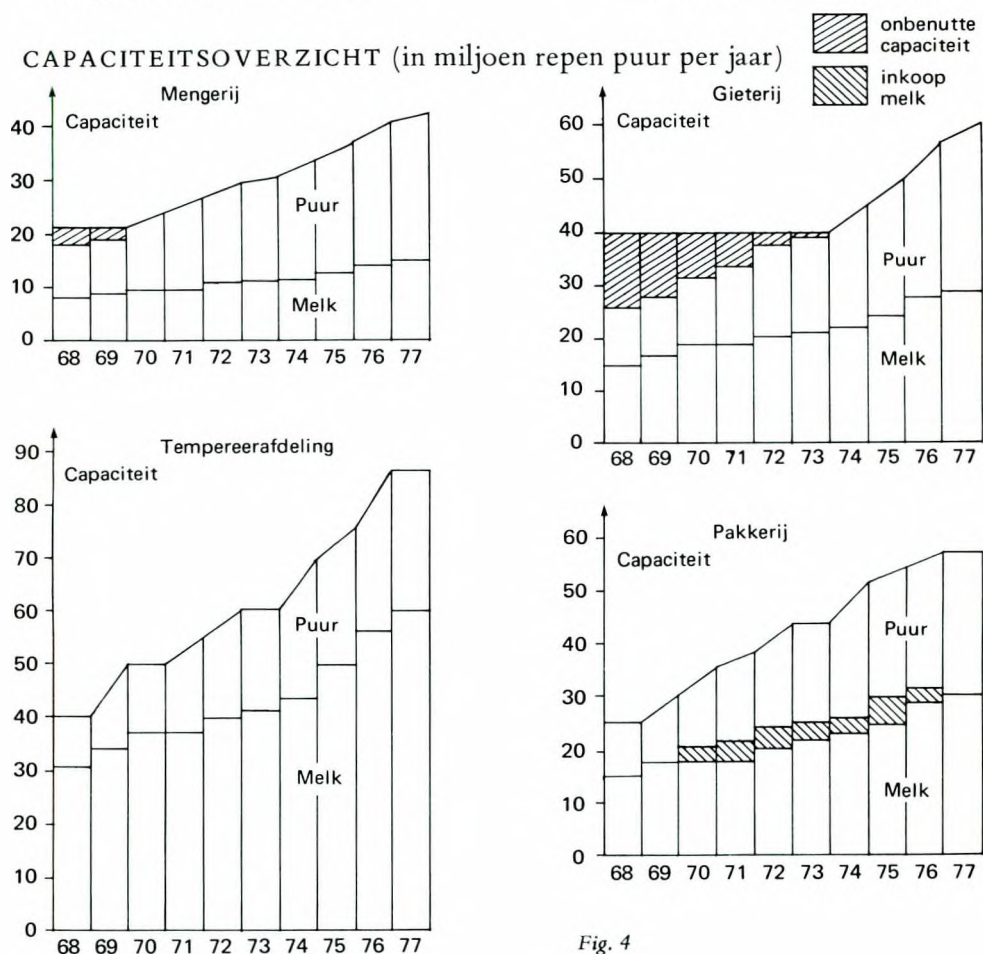


Fig. 4

Bespreking van de oplossing

- Uit de verkoopcijfers blijkt dat puur aantrekkelijker is dan melk, want de verkoopmogelijkheid in de Benelux van puur wordt geheel benut.
- De verkoop naar Engeland is zo klein mogelijk, behalve in de eerste 2 jaar, dan wordt er wat overcapaciteit benut voor extra afzet in Engeland.
- Vanaf 1971 wordt de verkoopmarkt van melk in de Benelux niet meer geheel benut. Daar de liquiditeit de investeringen beperkt, wordt van het minst aantrekkelijke produkt (melk) minder gefabriceerd. Bij melk zijn de extra opbrengsten per geïnvesteerde gulden kleiner dan bij puur. Deze opbrengsten zijn wel positief. Daardoor wordt in het tweede deel van de planperiode ook voor melkproduktie geïnvesteerd.
- In 1977 (het laatste planjaar) wordt bijna niet meer geïnvesteerd. Er is hier sprake van een „randeffect”. Bij een uitbreiding worden de investeringskosten via de annuïteit over $14\frac{1}{2}$ gebruiksjaar verdeeld. Van een uitbreiding is in het eerste jaar de halve capaciteit beschikbaar en wordt een halve annuïteit berekend. Het personeel voor de uitbreiding is in het eerste jaar in zijn geheel nodig. Een uitbreiding in 1977 geeft dus halve capaciteit tegen een halve annuïteit en volledige personeelskosten. Per extra produktie is in 1977 dus tweemaal zoveel personeel nodig, als bij produktie op 100% van de capaciteit.

Deze berekening is voor 1976 direct al veel gunstiger. Dan is voor $1\frac{1}{2}$ jaar produktie 2 jaar personeel nodig, dus gemiddeld $2/1\frac{1}{2} = 1,33$ maal zoveel personeel. Voor vroegere jaren neemt dit extra personeel sterk af. Door dit „randeffect” zijn de uitkomsten van de latere jaren minder betrouwbaar. Bovendien wordt de betrouwbaarheid van de latere jaren negatief beïnvloed door de onbetrouwbaarheid van de gegevens. Daartegenover staat dat de resultaten van de latere jaren door disconteren en relatief geringe invloed op de contante waarde van de hele planperiode hebben. Tevens behoeft nu (1968) nog niet definitief beslist te worden over investeringen in 1975 en daarna.

- In 1973 moet de lening van f 5 mln afgelost worden; er wordt in dat jaar nauwelijks geïnvesteerd.
- De hoge investeringsbedragen corresponderen met grote uitbreidingen in de tempereerafdeling. Dit maakt aannemelijk dat melk een relatief onaantrekkelijk produkt is, immers in de tempereerafdeling gebruikt melk tweemaal zoveel capaciteit als puur.
- Vanaf 1971 t/m 1975 wordt de inkoopmogelijkheid (maximaal 10% van de produktie) volledig benut.

5 Computer technische formulering van het probleem

Sinds enige tijd heeft Hoogovens de beschikking over de matrixgenerator van Anthonisse [2]. Deze generator maakt het mogelijk om de tijd, die besteed wordt om een LP probleem zodanig te formuleren dat de computer het kan oplossen, sterk te reduceren. Vroeger werd bij modelbouw $\pm 50\%$ van de tijd besteed aan dit gedeelte, aan het aanbrengen van wijzigingen en aan het verbeteren van fouten. Thans is dit teruggebracht tot $\pm 20\%$. Een

bijkomend voordeel is dat de input voor deze generator voor iemand die gewend is aan wiskundige formuleringen makkelijk leesbaar is. Ter illustratie is hierna het programma (input) van de chocolade LP afgedrukt. Deze input zal nu worden besproken.

```

4
PROGRAMMA:
*OPEN'
  LANGE TERMIJN PLANNING VAN DE NV DE ZOETE INVAL ;
*INDEX'
  I, N;
*INTEGER'
  P ;
*REAL'

  RENTE, NVBEL, ANUI, TOEKOSU, STARTLIQ, STARTPER,
  PRKOSM, PRKOSP, INKOSM, INKOSP, PERKO,
  OPPUB, OPPUE, OPMEB, OPMEE,
  KOSUMEN, KOSUTEM, KOSUGIE, KOSUPAK, KOSOPAK,
  PERUMEN, PERUTEM, PERUGIE, PERUPAK,
  CAPMEI, CAPTEM, CAPGIE, CAPPAK, COPPAK,
  FIAF[N](1:N:15), BESCH[N](1:N:2),
  VASTLIQ[N](1:N:P), MABPU[N](1:N:P), MABME[N](1:N:P);

*CONTINUOUS'

  NEWA[N](0:N:P), BRWIE[N](0:N:P), LIQ [N](0:N:P), PERS[N](0:N:P),
  PRPU[N](0:N:P), PRME[N](0:N:P), INPU[N](0:N:P), INME[N](0:N:P),
  VBPU[N](0:N:P), VBME[N](0:N:P), VEPU[N](0:N:P), VEME[N](0:N:P),
  UME[N](0:N:P), UTEM[N](0:N:P), UGIE[N](0:N:P), UPAK[N](0:N:P),
  OPAK[N](0:N:P), INV [N](0:N:P);

SOMNCW : SIGMA(I,1,P,RENTE*(1-I)*NEWA[I]) $ ;
BNWA : NEWA[N] = (1-NVBEL) * BRWIE[N] + SIGMA(I,1,N-1,ANUI * INV[I])
      + .5*ANUI * INVLN ;
BRWIE : BRWIE[N] + PRKOSP * PRPU[N] + PRKOSM * PRME[N] + INKOSP * INPU[N]
      + INKOSM * INME[N] + PERKO * PERS[N] - OPPUB * VBPU[N]
      - OPMEB * VBME[N] - OPPUE * VEPU[N] - OPMEE * VEME[N] = 0(1:N:P);
BPER : PERS[N] - PERS[N-1] - PERUMEN * UME[N] - PERUTEM * UTEM[N]
      - PERUGIE * UGIE[N] - PERUPAK * UPAK[N] - PERUPAK * OPAK[N] = 0(2:N:P);
BPER1 : PERS[1] = STARTPER ;
HUIT : TOEKOSU*(1-N) * INV[N] - KOSUMEN * UME[N] - KOSUTEM * UTEM[N]
      - KOSUPAK * UPAK[N] - KOSUGIE * UGIE[N] - KOSOPAK * OPAK[N] = 0(1:N:P);
HUITO : INV[1] = 0 ;
HLIQ : LIQ[N] - LIQ[N-1] - (1-NVBEL) * BRWIE[N] - .07 * (1-NVBEL) * LIQ[N]
      + NVBEL * SIGMA(I,1,N-1,FIAF[I] * INV[N-I+1])
      + SIGMA(I,1,2,BESCH[I] * INV[N-I+2]) = -VASTLIQ[N] (1:N:P);
BLIQO : LIQ[0] = STARTLIQ ;
BAPU : PRPU[N] + INPU[N] - VBPU[N] - VEPU[N] = 0(1:N:P);
BAME : PRME[N] + INME[N] - VBME[N] - VEME[N] = 0(1:N:P);
CMEN : PRPU[N] + .5 * PRME[N] = .5 * UME[N]
      - SIGMA(I,1,N-1,UME[I]) < CAPMEN (1:N:P);
CTEM : PRPU[N] + 2. * PRME[N] = .5 * UTEM[N]
      - SIGMA(I,1,N-1,UTEM[I]) < CAPTEM (1:N:P);
CGIE : PRPU[N] + PRME[N] = .5 * UGIE[N]
      - SIGMA(I,1,N-1,UGIE[I]) < CAPGIE (1:N:P);
CPAK : PRPU[N] + PRME[N] + INPU[N] + INME[N] = .5 * UPAK[N] - .5 * OPAK[N]
      - SIGMA(I,1,N-1,UPAK[I]) - SIGMA(I,1,N-1,OPAK[I]) < CAPPAK (1:N:P);
ROPAK : SIGMA(I,1,P,OPAK[I]) < COPPAK ;
RINK : INPU[N] + INME[N] - .1 * PRPU[N] - .1 * PRME[N] < 0 (1:N:P);
RSPU : VBPU[N] < MABPU[N] (1:N:P);
RMBE : VBME[N] < MABME[N] (1:N:P);
REPU : VEPU[N] > 1 (1:N:P);
REME : VEME[N] > 1 (1:N:P);

*INIT'CHOCPL
  STARTLIQ +3 P +10
  RENTE +1.08 NVBEL +.46 ANUI +.098 TOEKOSU +1.01
  PRKOSM +.59 PRKOSP +.71 INKOSM +1.25 INKOSP +1.2 PERKO +.014
  OPPUB +1.40 OPPUE +1. OPPMEB +1.40 OPMEE +1.05 KOSUPAK +.3 KOSOPAK +.15
  KOSUMEN +.4 KOSUTEM +.8 KOSUGIF +.2 KOSUPAK +.3 KOSOPAK +.15
  PERUMEN +1. PERUTEM +6. PERUGIE +.2 PERUPAK +3.
  CAPMEN +20. CAPTEM +40. CAPGIE +40. CAPPAK +25. COPPAK +25.
  FIAF[N] +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067 +.067
      +.067 +.067 +.067
  BESCH[N] +.7 +.3
  VASTLIQ[N] +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125 +.4125
  MABPU[N] +8. +9. +11 +14 +16 +18 +20 +22 +24 +26
  MABME[N] +13. +16. +20 +27 +32 +35 +38 +41 +44 +47
*CLOSE'

```

De input (free format) bestaat uit drie gedeelten:

- a. declaraties
- b. restricties
- c. initialisering

a. Bij de declaraties volgt achter „INDEX” een lijst van de gebruikte indices. Achter „INTEGER” en „REAL” volgen de gebruikte geheeltallige en niet geheeltallige constanten.

Achter „CONTINUOUS” volgen de namen van de variabelen.

De variabelen en de constanten kunnen met een index gedeclareerd worden b.v. NEWA [N] (0:N:P). N is nu de index, en deze index kan in het model alle waarden tussen 0 en P aannemen.

b. Elke restrictie begint met een naam gevolgd door een dubbele punt (:).

Daarachter staat de restrictie waarbij alle variabelen links van het <-teken gebracht zijn. Elke restrictie wordt besloten door een puntkomma (;). Als voorbeeld volgt de beschrijving van 3 restricties.

1. RBME : VBME[N] < MABME[N] (1:N:P)

Dit is de restrictie voor de maximale verkoop in de Benelux van melk-chocolade (de naam van deze restrictie is RBME). Deze zorgt dat de verkoop in de Benelux van melk-chocolade in het N-de jaar (VBME[N]) kleiner of gelijk is aan de maximale afzet in dat jaar (MABME[N]).

De tekst (1:N:P) betekent hier hetzelfde als een Do-loop bij FORTRAN. Er staan dus eigenlijk P vergelijkingen, n.l.:

RBME[1] : VBME[1] ≤ MABME[1];

RBME[2] : VBME[2] ≤ MABME[2];

enz. t/m:

RBME[P] : VBME[P] ≤ MABME[P].

Alle waarden van MABME[N] worden aan het eind van het programma ingelezen. Evenals de waarde van P.

2. CTEM : PRPU[N] + 2. * PRME[N] - .5 * UTEM[N]
- SIGMA (1,1,N-1, UTEM[1]) ≤ CAPTEM (1:N:P);

Dit is de restrictie voor de capaciteit van de tempereerafdeling (CTEM).

Hier staat dat de produktie pure chocolade (PRPU[N]) plus tweemaal de produktie melkchocolade (PRME[N]) kleiner of gelijk moet zijn aan de capaciteit.

De capaciteit van elk jaar bestaat uit de begincapaciteit (CAPTEM) plus de helft van de uitbreiding in dat jaar (UTEM[N]) plus de som van alle uitbreidingen van de voorgaande jaren. (Deze uitbreidingen zijn naar de andere kant van het <-teken gebracht, omdat variabelen links van het <-teken moeten staan).

Deze laatste uitbreidingen worden opgeteld door SIGMA (I,1,N-1, UTEM[I] dit is een verkorte schrijfwijze voor $UTEM[1] + UTEM[2] + \dots + UTEM[N-2] + UTEM[N-1]$).

Door deze schrijfwijze worden voor elk jaar de juiste uitbreidingen opgeteld. Bijvoorbeeld voor de eerste twee jaar is deze som „leeg” en werden er dus geen termen van deze som bij de capaciteit opgeteld.

3. BUIT : $TOEKOSU\Delta(1-N) * INV[N] - KOSUMEN * UMEN[N] - KOSUTEM * UTEM[N] - KOSUPAK * UPAK[N] - KOSUGIE * UGIE[N] - KOSOPAK * OPAK[N] = 0 (1:N:P)$;

Met deze balansvergelijking (restrictie) wordt het investeringsbedrag berekend.

Anders geschreven luidt deze restrictie:

$INV[N] = (\text{som uitbreidingskosten})^{11}) * TOEKOSU\Delta(N-1)$

De som van de uitbreidingskosten wordt gevormd door de kosten van alle installaties op te tellen. De kosten voor uitbreiding van een installatie (b.v. tempererafdeling) is het produkt van de kosten per eenheid uitbreiding (KOSUTEM) en de grootte van de uitbreiding in dat jaar (UTEM[N]).

Het investeringsbedrag in het N-de jaar wordt berekend door de som van de uitbreidingskosten te vermenigvuldigen met de factor waarmee de investeringen jaarlijks duurder worden (TOEKOSU tot de macht (N-1)). Δ is het symbool voor machtsverheffen.

c. Achter „INIT” krijgen alle gebruikte constanten een waarde. De constanten met een index krijgen nu meerdere waarden. Het programma wordt afgesloten met „CLOSE”.

De input generator van Anthonisse is in Algol geschreven en gecompileerd door de NU ALGOL compiler van Univac. Voor deze berekeningen werd gebruik gemaakt van een terminal bij Hoogovens van de Univac 1108-computer van CCN te Heerlen.

De LP is opgelost door Ilona, de LP-routine van Univac. De rekentijd voor het maken van de LP-input was ± 15 seconden en voor het oplossen van de LP ± 12 seconden.

6 Toepassingsmogelijkheden en beperkingen

De kracht van lineair programmeren is dat een groot aantal alternatieve activiteiten tegelijk met elkaar kan worden vergeleken. De berekende oplossing is dan de beste (volgens het opgegeven doel) combinatie van activiteiten, binnen de gestelde beperkingen. In de chocolade LP wordt die combinatie van produktie, inkoop en verkoop (activiteiten) berekend waarvan de netto contante waarde (doel) het hoogste is, binnen de grenzen van verkoop, produktie-capaciteit, enz. (beperkingen).

Een met LP berekend lange termijn plan is geen plan dat alleen nog een kapt nodig heeft om te worden uitgegeven: het moet precies als elk ander

¹¹⁾ Uitbreidingskosten en investeringen zijn identieke begrippen.

plan eerst nog goed bekeken worden. Het is bijv. mogelijk dat de afmeting van een uitgerekende uitbreiding niet realiseerbaar is, of dat een bepaalde combinatie van activiteiten voor het produktieproces erg ongunstig is. Lineair programmeren is slechts een hulpmiddel dat gebruikt kan worden bij het maken van plannen.

6.1 EEN TOEPASSING VAN LP ZOALS HIER OMSCHREVEN HEEFT ALS VOORDELEN:

- *Uniforme rekenwijze.* Doordat alle plannen op gelijke manier worden doorerekend kunnen de uitkomsten goed met elkaar vergeleken worden.
- *Uniforme gegevens.* Van elke afdeling zijn gelijksoortige gegevens nodig, zodat de interne informatie duidelijker en eenvoudiger wordt.
- *Snel een gewijzigde situatie doorrekenen.* Nieuwe gegevens zijn met een bestaand LP model eenvoudig te evalueren. Hiertoe behoeven meestal slechts een aantal getallen gewijzigd te worden.
- *Hanteerbaarheid.* Door de huidige computerprogramma's is een snel en eenvoudig gebruik van LP mogelijk (zie paragraaf 5). De uitkomsten kunnen verder verwerkt worden door afzonderlijke programma's - eventueel gekoppeld aan het LP programma - die bijv. voorgerecalculeerde winst- en verliesrekeningen, balansen etc. kunnen berekenen.
- *Flexibel voor aanpassingen.* Op eenvoudige wijze kan een LP model worden aangepast aan een nieuwe situatie, b.v.
 - het inbrengen van meer markten en nieuwe produkten
 - extra beperking voor personeel of verkoop
 - produktiviteitsstijging
 - mogelijkheid van geld lenen
 - het vastleggen van inmiddels besliste activiteiten.

Vooral dit laatste punt is van belang. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om elke beslissing te evalueren. Door steeds meer beslissingen vast te leggen wordt de keuzemogelijkheid (de keuze tussen de verschillende activiteiten) van het LP model kleiner en de plannen worden daarbij steeds concreter. Zo kan het LP model uiteindelijk worden gebruikt om concrete plannen met elkaar te vergelijken, door van elk plan de netto contante waarde uit te rekenen. Daarbij wordt gecontroleerd of de vastgelegde beslissingen niet met elkaar in strijd zijn (infeasible) bijv. als een capaciteit te klein is voor de opgegeven produktie.

- *Gevoeligheidsanalyse.* Voor alle beperkingen die geheel benut worden (bijv. een installatie die geen overcapaciteit meer heeft) berekent een LP model hoeveel het doel - in dit geval de netto contante waarde - verbetert als de beperking iets ruimer gemaakt zou worden. Evenzo wordt berekend hoeveel het doel achteruitgaat als van een niet gekozen activiteit toch iets gedaan zou worden.

6.2 DE MOEILIKHEDEN BIJ DEZE LP TOEPASSING ZIJN:

- *Gegevens verzamelen.* Vele afdelingen zullen de gegevens op andere wijze moeten gaan verwerken. Ook zullen gegevens die tot dusverre impliciet gehanteerd werden nu expliciet moeten worden verstrekt. Bovendien

moeten er geheel nieuwe gegevens verzameld worden, bijv. het gedeelte van het personeel dat variabel is met de produktie.

- *Betrouwbaarheid van gegevens.* Geen enkel model geeft betere uitkomsten dan de gegevens die er in gaan. Maar berekeningen met onnauwkeurige gegevens zijn in ieder geval beter dan schattingen met behulp van diezelfde gegevens.
- *Lineariteit.* De beperkingen en het doel van een LP moeten een lineaire functie zijn van de activiteiten. In een lineaire functie kunnen de activiteiten elkaar volgens een vaste verhouding vervangen. In de praktijk blijkt het grootste gedeelte van de beperkingen lineair te zijn, of goed lineair benaderd te kunnen worden in het normale werkgebied.
- *Geheeltalligheid.* In een LP kunnen de activiteiten alle waarden krijgen, terwijl er soms behoefte is aan een activiteit die bijv. alleen maar 0 of 500 kan zijn (de capaciteit van een machine die al dan niet aangeschaft wordt). Met behulp van een speciale techniek (mixed integer programmeren) kunnen deze activiteiten ingebracht worden, maar uit de literatuur blijkt dat de rekentijd hiervoor zeer veel groter is dan die voor LP.

7 Conclusie

De eindfase van een ondernemingsplanningscyclus moet resulteren in een investerings-, personeels-, verkoop-, produktie-, inkoop- en financieringsplan dat aan de ondernemingsdoelstellingen beantwoordt en dat door de managers realiseerbaar wordt geacht.

Min of meer dezelfde stilering van de werkelijkheid die aan ondernemingsplanning ten grondslag ligt kan verwerkt worden in een LP model. Met een LP model van (een deel van) de onderneming kan simultaan en onderling afgestemd een verkoopplan, investeringsplan enz. opgesteld worden. Een op deze wijze opgesteld plan vormt een goede basis voor het overleg tussen de managers. Als de managers kunnen uitgaan van een plan dat een indicatie is van een goed plan dan gaat weinig tijd verloren met het op elkaar afstemmen van plannen die bij verdere uitwerking niet realiseerbaar blijken of niet tot een gewenste ontwikkeling leiden en komt er meer tijd voor beleidsbepaling beschikbaar.

Naast het simultaan opstellen van een indicatief verkoopplan, een indicatief investeringsplan enz. als basis voor het overleg der managers kan het LP model nog op andere wijzen een bruikbaar „tool of management” zijn, zoals bij:

- doelstellingen herformuleren en concretiseren
- overige plannen simultaan opstellen indien een of meer van de plannen - bijv. het investeringsplan - gegeven is
- verschillende indicatieve of meer definitieve plannen doorrekenen en vergelijken.

Het praktische gebruik van een dergelijk model wordt bevorderd door een aantal factoren; de rekentijd van grote LP's neemt door de snellere computers en de efficiency van algoritmen af, de prijs van de rekentijd daalt voortdurend, de invoer van een LP in de computer is aanmerkelijk vereen-

voudigd door het beschikbaar komen van algemene inputgenerators zoals die van Anthonisse.

Een rekentechnisch probleem blijft de geëiste geheeltalligheid van bepaalde variabelen; dit betreft met name de uitbreidingen. Aan de eis van de lineariteit van de vergelijkingen en de doelstellingsfunctie zal in vele gevallen voor een model waarmee een indicatief plan wordt opgesteld voldaan kunnen worden.

De vergelijkingen en doelstellingsfunctie van een LP model geven de technisch-economische structuur van de onderneming weer. Hoe globaler deze structuur in het model verwerkt is, hoe minder realistisch het model is en hoe meer het uiteindelijke plan van het indicatieve plan afwijkt. Naarmate de structuur realistischer in het model verwerkt is zal de omvang van het model toenemen en zullen meer gegevens verzameld en up to date gehouden moeten worden. Tegenover de tijd die dit vergt staat het grotere inzicht dat hierdoor binnen de onderneming over de samenhang der activiteiten ontstaat. *Hier moet dus een keuze gemaakt worden.* Een LP model levert de optimale oplossing op basis van de gegevens die erin verwerkt zijn. Zo komt bijvoorbeeld een nieuw produkt dat profijtelijk geproduceerd zou kunnen worden, maar dat niet als potentiële activiteit in het model is opgenomen nooit in de „optimale” oplossing. Een LP model is dus niet meer dan een instrument - van uitstekende kwaliteit - voor ondernemingsplanning.

LITERATUUR:

1. H. I. Ansoff, *Corporate Strategy*. London, Penguin Books, 1968.
2. Jac. M. Anthonisse, *An input-system for linear programming problems*. Statistica Neerlandica (1970) nr. 3, blz. 143-153.
3. C. J. M. Koks, *Externe rentabiliteit, kapitaalkosten en ondernemingsgroei*. Maandblad voor accountancy en bedrijfshuishoudkunde, juni 1971, blz. 226-240.
4. S. A. Kramer, *Samenspel tussen mensen, modellen en machines bij de automatisering van complexe beheersingssystemen voor produktieplanning en regeling*. Informatie juli/augustus 1971, blz. 334-338.
5. L. Traas, *Het investerings- en financieringsplan van de onderneming*. Alphen a/d Rijn, N. Samsom N.V., 1968.
6. I. van der Zijpp, *Opbrengsten, kosten en winsten*. Leiden, H. E. Stenfert Kroese N.V., 1971.