DE FLEXIBILITEIT VAN DE PRODUKTIE ALS EEN DETERMINANT VAN HET TIJDSTIP VAN VERGROTEN VAN DE KAPACITEIT VAN DUURZAME PRODUKTIEMIDDELEN[1]) I

door Drs. K. Boskma en Drs. J. R. Pheifer

1 Inleiding

In twee artikelen zal worden nagegaan wat de invloed van het afstemmen van de produktie per periode op de vraag per periode is op het beste tijdstip van vergroten van de kapaciteit van duurzame produktiemiddelen. Er zal een methode worden ontwikkeld, die een onderbouw geeft voor beslissingen tot investeren in een bepaalde kategorie van duurzame produktiemiddelen (nl. machines). De methode kan met name worden toegepast bij produktieprocessen, waarvan de vraag naar de produkten belangrijke veranderingen in de tijd vertoont. Dit kan o.a. optreden door de volgende oorzaken:

- het gevraagde aantal produkten per periode (bv. per jaar) verandert in relatie met de fase uit de levenscyclus van het produkt
- binnen een jaar treden bij vele produkten grote veranderingen in de vraag per periode op, samenhangend met de seizoenen.

In deze gevallen zullen de kosten, die voortvloeien uit de afstemming van de produktie per periode op de vraag per periode, een belangrijke faktor kunnen zijn bij de beslissing tot uitbreiden van de kapaciteit.

De ontwikkelde methode is toegespitst op het beantwoorden van de vraag: op welke wijze kan het *gewenste tijdstip* en *de omvang van een investering* in een specifieke kategorie duurzame produktiemiddelen (i.c. machines) worden bepaald op grond van de daarmee *toegenomen flexibiliteit van het produktie-apparaat.*

De specifikatie van dit keuzeprobleem leidt tot komplexe modellen. Om een betrekkelijk eenvoudige en operationele oplossing te kunnen geven is in de te bespreken aanpak het probleem gesplitst in twee fasen. In de eerste fase wordt een mathematisch programmeringsmodel gebruikt, in de tweede fase wordt simulatie toegepast.

In dit artikel worden de volgende vragen besproken:

1 Wat wordt bedoeld met het begrip „flexibiliteit van het produktie-apparaat" en hoe kan deze worden bepaald?
2 Om welke redenen wordt het tijdstip en de omvang van de investering nadrukkelijk op grond van toegenomen flexibiliteit bepaald?
3 Wat is de hoofdlijn van de aanpak van dit specifieke probleem (liggend op het grensgebied van de produktie- en investeringstheorie)?

[1]) De schrijvers vermelden in dank de waardevolle opmerkingen van verschillende leden van het wetenschappelijk corps van de Ekonomische Fakulteit van de Rijksuniversiteit te Groningen bij een konsept van deze artikelen. De heer M. Zijlstra, student-assistent bij de Interfakulteit der Aktuariële Wetenschappen danken wij voor zijn hulp bij het programmeren van fase 1 van het model.

In een volgende aflevering willen we het model meer in detail bespreken en toelichten aan de hand van een getallenvoorbeeld.

2 De flexibiliteit van het produktie-apparaat

De flexibiliteit van het produktie-apparaat definiëren we als de mate waarin het geproduceerde aantal eenheden produkt in verschillende perioden kan worden afgestemd op de vraag naar die produkten in die perioden. In vele gevallen zal het gevraagde aantal eenheden van een produkt per periode, verder te noemen vraagsnelheid, niet konstant zijn, doch zowel op korte termijn (bv. van maand tot maand) als op wat langere termijn veranderen. Op de langere termijn zal het geproduceerde aantal eenheden produkt uiteraard gelijk dienen te zijn aan het gevraagde aantal eenheden. Om dat te bereiken zal men de aantallen geproduceerde eenheden per periode (verder: de produktiesnelheid) nauwgezet de veranderingen in de vraagsnelheid kunnen laten volgen of slechts in hoofdlijnen over meerdere perioden een gelijkheid kunnen nastreven. In de theorie van de produktie zijn een aantal overwegingen gegeven en zijn modellen ontwikkeld die goede plannen kunnen geven voor een afstemming van de produktiesnelheid op de (verwachte) vraagsnelheid over meerdere perioden.

De flexibiliteit wordt verkregen doordat meerdere middelen aanwezig zijn om aan de vraagsnelheid van een bepaalde periode te voldoen. Mogelijke middelen zijn o.a.:

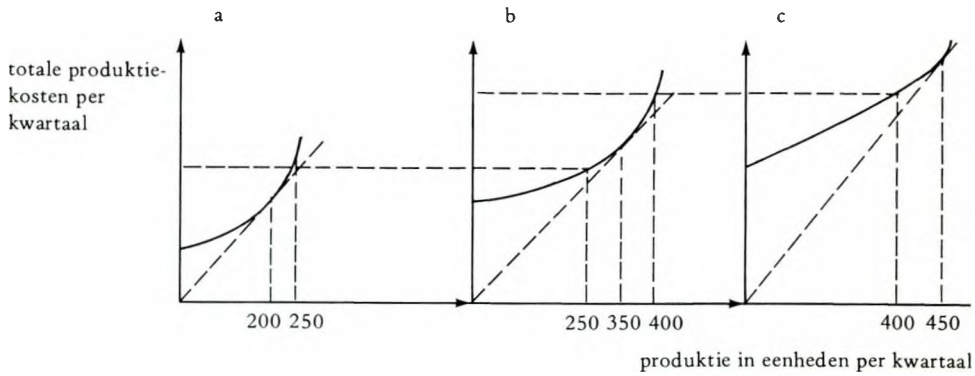
- produktie in normale werktijd
- produktie in overwerk
- levering uit voorraad (die in eerdere perioden is opgebouwd)
- uitbesteding van een deel van de produktie
- het niet voldoen aan een deel van de vraag (neenverkopen)

Indien het wenselijk zou zijn in iedere periode de produktiesnelheid gelijk te doen zijn aan de vraagsnelheid, dan is vooral bij een seizoenmatig vraagpatroon frekwent een verhoging of verlaging van de produktiesnelheid bij de overgang naar een volgende periode nodig. Deze verhoging of verlaging van de produktiesnelheid brengt zg. omstelkosten met zich mee. De flexibiliteit van het produktie-apparaat maakt weliswaar dit omstellen mogelijk, doch naarmate de produktie meer zal uitlopen boven die in normale werktijd, zullen voor het afstemmen middelen met hogere kosten moeten worden benut. Egalisatie van het produktie-niveau wordt mogelijk door bv. in het „stille" seizoen op voorraad te produceren, en hieruit in het piekseizoen te leveren. Evenzo kunnen in een piekperiode uitbesteding, overwerk, en neenverkopen zorg dragen voor het opvangen van de vraagpiek.

Neemt de vraag naar de produkten trendmatig toe, dan kan de flexibiliteit van het produktie-apparaat toestaan, dat zelfs bij een bijna volledige bezetting toch nog aan de vraag naar produkten kan worden voldaan zonder uitbreiding van de produktie-kapaciteit. In dit laatste geval dient echter overwogen te worden of uitbreiding van kapaciteit niet tot lagere totale produktiekosten (totaal der variabele kosten voor een gegeven produktiesnelheid) zou kunnen leiden dan benutting van de flexibiliteit van het pro-

duktie-apparaat. Dit kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van de figuren 1a t/m 1c.

figuur 1 Totale variabele kosten en flexibiliteit



In de figuren 1a t/m 1c staan afgebeeld de totale variabele produktiekosten (som der variabele kosten) als funktie van de produktiesnelheid, beide per kwartaal. De figuren zijn getekend bij produktie met één eenheid duurzaam produktiemiddel (1a), twee eenheden (1b) en drie eenheden (1c). Het progressief toenemende verloop van de kosten treedt op tengevolge van het inschakelen van duurdere middelen. Het optimale produktiepunt ligt bij het raakpunt van de curve met een lijn uit de oorsprong en geeft weer de gemiddeld laagste totale produktiekosten per eenheid produkt. Voorbij dit punt stijgen de totale produktiekosten progressief als gevolg van de noodzaak tot overwerk, inschakelen van extra arbeidsploegen etc. om met dezelfde kapaciteit van de duurzame produktiemiddelen een hogere produktiesnelheid te bereiken.

Stel nu dat bij produktie met één eenheid duurzaam produktiemiddel (fig. 1a) als gevolg van een toenemende vraag, de produktiesnelheid zou worden verhoogd tot boven 200 eenheden, het produktieniveau met de laagste gemiddelde totale produktiekosten. Dan is het mogelijk dat bij een bepaalde produktiesnelheid de totale produktiekosten met gebruikmaking van de flexibiliteit van het bestaande produktie-apparaat hoger worden dan de totale produktiekosten bij produktie met twee eenheden duurzaam produktiemiddel. Dit is in figuur 1a bij een produktiesnelheid van meer dan 250 eenheden het geval. Bij deze produktiesnelheid dient te worden overwogen of aanschaf van een nieuwe eenheid duurzaam produktiemiddel, op grond van lagere totale produktiekosten niet de voorkeur verdient. Bij twee eenheden (figuur 1b) geldt dit voor een produktiesnelheid van 400 eenheden produkt.

Op grond van vraagverwachtingen voor een aantal perioden kan door vergelijking van de totale produktiekosten bij gebruikmaking van de flexibiliteit van het produktie-apparaat, en de totale produktiekosten bij een vergrote kapaciteit, worden bepaald welke extra kosten of besparingen een uitbreiding van de kapaciteit op de totale produktiekosten oplevert.

In een plan voor de optimale produktie (produktie tegen minimale variabele kosten) voor een aantal perioden zal de flexibiliteit van het produktieapparaat moeten worden benut. Dit houdt in dat in het planning-model de middelen voor het afstemmen van de produktiesnelheid op de vraagsnelheid zullen moeten worden gespecificeerd. Een geschikte specifikatie is een model voor meerdere perioden dat met behulp van de techniek der Lineaire Programmering (verder L.P.) kan worden opgelost.

Met het volgende getallenvoorbeeld, dat ook gebruikt zal worden bij de meer gedetailleerde beschrijving van ons model in een volgend artikel, zullen wij de specifikatie van het model in L.P. vorm voor de planning van de produktie met gebruikmaking van flexibiliteit toelichten.

VOORBEELD

Een (fiktieve) onderneming fabriceert twee duurzame gebruiksgoederen, X1 en X2 in massaproduktie. Voor het bedrijf gelden de volgende gegevens:

- vraag: beide produkten vertonen een seizoenmatig vraagpatroon. De seizoenfluktuaties, uitgedrukt als afwijking in eenheden produkt t.o.v. de gemiddelde vraag per kwartaal, zijn konstant. Men verwacht een trendmatige toename van de vraag per jaar.

	seizoenafwijking vraag kwartaal				*gemiddelde vraag per kwartaal voor het eerste jaar*	*gemiddelde trendmatige toename voor de eerstvolgende jaren, eenheden per kwartaal*
	1	*2*	*3*	*4*		
X1	0	+20	0	−20	50	20
X2	−10	+20	+10	−20	40	10

tabel 1

- produktie: de produkten X1 en X2 worden geproduceerd m.b.v. twee groepen machines, waarvoor het volgende geldt:

	machinegroep 1	*machinegroep 2*
- technische koëfficiënten X1	5 prest. eenh./prod.	2 prest. eenh./prod.
- technische koëfficiënten X2	4 prest. eenh./prod.	2 prest. eenh./prod.
- kapaciteit per machine in normale werktijd	175 prest. eenh. per kwartaal	400 prest. eenh. per kwartaal
- kapaciteit per machine in overwerk	30 prest. eenh./kw.	100 prest. eenh./kw.
- aantal aanwezige machines	2 eenheden	1 eenheid
- aanschafwaarde van een machine	2.000 geldeenheden	3.000 geldeenheden
- technische levensduur van een machine in prestatie-eenheden	8.200	16.000
- maximaal aantal prestatie-eenheden, dat een machine per jaar kan leveren	820	1.600
- kosten van het gebruik per jaar per machine (in geldeenheden)	500 voor het 1e jaar ieder volgend jaar oplopend met 250	–[2])

tabel 2

[2]) In het voorbeeld wordt alleen van machinegroep 1 een uitbreiding van de kapaciteit in beschouwing genomen.

Verder is t.a.v. de kosten gegeven:

	geldeenheden per eenheid produkt
- variabele kosten X1 in normale werktijd	62
- variabele kosten X2 in normale werktijd	60
- variabele kosten X1 in overwerk	84
- variabele kosten X2 in overwerk	80
- kosten voorraad houden X1	10
- kosten voorraad houden X2	20
- kosten neenverkopen X1	140
- omstelkosten bij verhoging produktiesnelheid X1	3
- omstelkosten bij verhoging produktiesnelheid X2	4
- omstelkosten bij verlaging produktiesnelheid X1	7
- omstelkosten bij verlaging produktiesnelheid X2	8

tabel 3

De specifikatie voor de produktieplanning van het eerste kwartaal van het eerste jaar ziet er in wiskundige vergelijkingen nu als volgt uit (tijdindex weggelaten).

Minimaliseer de doelstellingsfunktie:

$62X1^n + 60X2^n + 84X1^o + 80X2^o + 10VX1 + 20VX2 + 3UX1^+ + 7UX1^- + 4UX2^+ + 8UX2^- + 140NX1$

onder de beperkingen en gelijkheden

$5X1^n + 2X2^n \leqslant 350$	Machinegroep 1 in normale werktijd
$4X1^n + 2X2^n \leqslant 400$	Machinegroep 2 in normale werktijd
$5X1^o + 2X2^o \leqslant 60$	Machinegroep 1 in overwerk
$4X1^o + 2X2^o \leqslant 100$	Machinegroep 2 in overwerk
$X1^n - X1^n_{(t-1)} - UX1^+ + UX1^- = 0$	Omstellen machines voor produkt X1 (hier is t=1)
$X2^n - X2^n_{(t-1)} - UX2^+ + UX2^- = 0$	Omstellen machines voor produkt X2
$X1^n + X1^o - VX1 + VX1_{(t-1)} + NX1 = 50$	Vraagvergelijking voor produkt X1
$X2^n + X2^o - VX2 + VX2_{(t-1)} = 30$	Vraagvergelijking voor produkt X2

Verklaring gebruikte symbolen

$X1^n$	aantal per kwartaal te produceren eenheden X1 in normale werktijd
$X2^n$	idem voor produkt X2
$X1^o$	aantal per kwartaal te produceren eenheden X1 in overwerk
$X2^o$	idem voor produkt X2
VX1	aantal eenheden produkt X1 in eindvoorraad per kwartaal
VX2	idem voor produkt X2
$UX1^+$	verhoging van de produktiesnelheid van X1 in vergelijking met het vorige kwartaal
$UX2^+$	idem voor produkt X2
$UX1^-$	verlaging van de produktiesnelheid van X1 in vergelijking met het vorige kwartaal
$UX2^-$	idem voor produkt X2
$VX1_{(t-1)}$	aantal eenheden produkt X1 in eindvoorraad van het vorige kwartaal (in vergelijkingen boven is t= 1)
$VX2_{(t-1)}$	idem produkt X2
NX1	aantal eenheden neenverkopen voor produkt X1

Voor de planning voor een bepaald jaar kunnen de vier kwartalen worden gekombineerd in een vier perioden L.P. model. De oplossing van dit model, dat een plan levert waarin de beste afstemming van de produktiesnelheid op de verwachte vraagsnelheid in hoofdlijnen wordt aangegeven, wordt het *aggregaatplan* of het *globale plan* genoemd.

De oplossing van het L.P. model levert de grootte van de produktie van X1 en X2, zowel in normale werktijd als in overwerk, de hoogte van de eindvoorraden per kwartaal, de grootte van de omstelling en het aantal neenverkopen. Dit alles gespecificeerd per kwartaal. En natuurlijk de waarde van de doelstellingsfunktie, die hier aangeeft wat de minimale totale produktiekosten zijn.

Vergelijking van deze kosten met die welke resulteren uit een plan waarin een grotere kapaciteit (bv. uitbreiding met één machine) is gespecificeerd, kan een basis leveren voor een beslissing tot aanschaf van een nieuwe machine op een bepaald tijdstip.

3 De flexibiliteit van het produktie-apparaat als basis voor de bepaling van tijdstip en omvang van uitbreiding der kapaciteit

Aan het vraagstuk van het bepalen van het tijdstip waarop en de omvang waarmee de kapaciteit van duurzame produktiemiddelen zou moeten worden vergroot bij een bepaalde verwachte ontwikkeling van de vraagsnelheid, is zowel in de produktietheorie als in de investeringstheorie nog weinig aandacht geschonken.

In de investeringstheorie wordt er als regel van uitgegaan, dat de gewenste aanwendingssnelheden van een duurzaam produktiemiddel voor de te beschouwen perioden bekend zijn. Meestal wordt aangenomen dat voor een rij van jaren ter lengte van de levensduur van het produktiemiddel de cashflows bekend zijn. Deze cashflows zouden uit het totaal der cashflows van de onderneming, specifiek toegerekend kunnen worden aan het desbetreffende produktiemiddel.

Bij die werkwijze wordt echter, afgezien van de realiteit der vooronderstellingen, een zeer wezenlijk stuk van de keuzeproblematiek t.a.v. het investeringsprojekt weggewerkt. De cashflows en de daarachter liggende aanwendingssnelheden van de prestaties der duurzame produktiemiddelen zullen grotendeels uit beslissingen met betrekking tot de produktie moeten worden verklaard.

De aanwendingssnelheden van de prestatie-eenheden der duurzame produktiemiddelen zullen uit het aggregaatplan voor de produktie moeten worden afgeleid. De jaarlijkse kosten van het duurzame produktiemiddel zelf kunnen pas worden bepaald als een schatting van de gebruiksduur, o.a. afgeleid uit de aanwendingssnelheid der prestatie-eenheden, beschikbaar is. In de investeringstheorie worden de aanwendingssnelheden als gegeven beschouwd. Deze vormen echter een essentieel deel van het keuzeprobleem. In het hierna te bespreken model wordt de gebruiksduur door middel van simulatie bepaald. De kosten verbonden aan het optimaal benutten van de flexibiliteit van de produktie zullen worden afgewogen tegen de kosten van een extra

eenheid van een duurzaam produktiemiddel. De aanwendingssnelheden van de prestatie-eenheden zullen moeten worden bepaald uit de vergelijking van de optimale benutting van de flexibiliteit met en zonder inschakeling van een extra eenheid, terwijl de kostentoerekening verbonden aan het gebruik van het produktiemiddel in een periode, o.a. via de gebruiksduur, weer afhankelijk is van de aanwendingssnelheid. Er bestaat dus een tweezijdige relatie.

De bijdragen, die men over het door ons gestelde probleem in de literatuur aantreft, gaan meestal uit van bedrijfsekonomisch gezien onaanvaardbare vooronderstellingen (bv. gegeven aanwendingssnelheden, volledige deelbaarheid) en/of komen tot modellen die niet of zeer moeilijk met analytische en programmerings-procedures oplosbaar zijn. Bovendien ontbreekt de expliciete relatie met de veranderende vraagsnelheid van een produkt.

4 De hoofdlijnen van het model

Aan een model voor het bepalen van het tijdstip en de omvang van uitbreiding van de kapaciteit van een kategorie van duurzame produktiemiddelen zullen wij de volgende eisen stellen.

a. In het model moet er rekening mee worden gehouden, dat in de komende 10 à 15 jaar[3]) veranderingen van de vraagsnelheid naar het eindprodukt vallen te verwachten en dat binnen elk jaar de vraagsnelheid verandert met de seizoenen.

b. Binnen een jaar dienen er meerdere mogelijkheden m.b.t. het gebruiken van het produktiemiddel te zijn om aan de vraag te voldoen; in ieder geval dienen produktie op voorraad, produktie in overwerk en neenverkopen mogelijk te zijn.

c. Er dient rekening mee gehouden te worden dat

- er door het duurzame produktiemiddel een beperkt aantal prestatie-eenheden per periode kan worden geleverd;
- de technische levensduur beperkt is en slijtage het aantal te leveren prestatie-eenheden per periode kan doen afnemen;
- er ekonomische veroudering van het duurzame produktiemiddel kan optreden.

De aanpak is nu als volgt:

1 Bereken voor een aantal jaren de totale variabele produktiekosten, bij afstemming van de produktiesnelheid per periode (kwartaal) op de vraagsnelheid per periode met de *aanwezige* middelen tot afstemming; dit is de waarde van de doelstellingsfunctie uit het model voor het aggregaatplan;
2 Bereken voor diezelfde jaren de totale variabele produktiekosten bij een afstemming waarbij de kapaciteit der duurzame produktiemiddelen is uitgebreid;
3 Bereken voor ieder jaar de extra kosten, respektievelijk besparingen als gevolg van het uitbreiden der kapaciteit bij optimale benutting van de

[3]) Gegeven de onzekerheid van schattingen over tien jaar, ontstaan additionele problemen, die echter op de beslissing tot uitbreiding thans weinig invloed hebben. In de paragraaf „gebruik en uitbreidingen van het model" in de volgende aflevering wordt hierop nader ingegaan.

flexibiliteit. Door vergelijking van de doelstellingsfunkties van de modellen genoemd onder 1 en 2 wordt deze informatie verkregen.

4 Bereken voor de nieuwe eenheid/eenheden duurzame produktiemiddelen de kosten per prestatie-eenheid gebaseerd op de aanschafwaarde en de kosten van het gebruik, gegeven de aanwendingssnelheid van de prestatie-eenheden bij optimale benutting van de flexibiliteit. Deze berekening geschiedt voor de gebruiksduur van de nieuwe eenheid. De gebruiksduur wordt via simulatie gevonden, gegeven de veronderstelde aanschaf in een bepaald jaar.

5 De besparingen bij optimale benutting van de flexibiliteit, als bepaald onder 3, worden vergeleken met de toegerekende kosten van het gebruik van de extra eenheden duurzame produktiemiddelen in elk jaar (de uitkomsten onder 4). Voor elk jaar vanaf het gesimuleerde tijdstip van aanschaf worden de mogelijke kumulatieve besparingen tengevolge van de inzet van extra duurzame produktiemiddelen gesteld tegenover de kumulatieve kosten ervan. Het eerste gesimuleerde jaar van aanschaf waarin geldt dat deze gekumuleerde besparingen groter zijn dan deze gekumuleerde kosten gedurende de totale gebruiksduur is het gewenste jaar van aanschaf.

5 Samenvatting

In dit artikel is besproken, dat bij veranderende vraagsnelheid naar de eindprodukten de mate van flexibiliteit van de produktie een belangrijke faktor kan zijn voor het tijdstip en de omvang van uitbreiding van de kapaciteit van duurzame produktiemiddelen. De relatie tussen flexibiliteit van de produktie en het tijdstip van uitbreiding van de kapaciteit is echter komplex. De optimale aanwendingssnelheid van extra eenheden duurzame produktiemiddelen zal nl. bepaald worden uit het globale produktieplan (aggregaatplan), waarin de optimale afstemming van de produktiesnelheid op de vraagsnelheid is gevonden. De gebruiksduur, en daarmee de extra kosten verbonden aan het gebruik van de extra eenheid (eenheden) duurzaam produktiemiddel, is afhankelijk van de aanwendingssnelheid der prestatie-eenheden van die nieuwe eenheid. Deze laatste is echter bij langere termijn veranderingen in vraagsnelheid verschillend al naar het jaar waarin de extra eenheid (eenheden) wordt (worden) aangeschaft en/of beschikbaar komt (komen). De toerekening van de gebruikskosten is echter toch noodzakelijk om de besparingen op de afstemmingskosten mee te kunnen vergelijken.

In een volgend artikel zullen we het door ons ontwikkelde model gedetailleerd beschrijven en nader ingaan op het gebruik en de mogelijkheid tot uitbreiding van het model.