

**MASTER**

**Theoretische aspecten van het Wiendahl-model**

Drummen, D.F.W.J.

*Award date:*  
1988

[Link to publication](#)

**Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

**General rights**

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

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

BB 443749

TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN  
FACULTEIT DER WERKTUIGBOUWKUNDE  
VAKGROEP PRODUCTIETECHNOLOGIE EN -AUTOMATISERING (WPA)

THEORETISCHE ASPECTEN VAN HET  
WIENDAHL-MODEL

door: D.F.W.J.Drummen.

WPA-rapportnummer: WPA-0648

Een verslag van een afstudeeropdracht in  
opdracht van:

Prof.ir. F.Doorschot  
Ing. F.L.Langenmeijer

## Samenvatting.

Dit rapport geeft een overzicht van het productiesturingsmodel volgens Wiendahl. Alvorens het systeem te beschouwen, wordt een omschrijving gegeven van de gangbare planningssystemen. Hierbij wordt met name ingegaan op de mogelijkheid om de productie als proces te beheersen.

Vervolgens wordt de analyse van productieresultaten volgens Wiendahl, op z'n statistische juistheid getoetst. Hierna volgt een omschrijving van het door Wiendahl ontwikkelde planningssysteem. Om de toepasbaarheid te kunnen overzien, wordt dit systeem vervolgens gemodelleerd en wordt het systeem als regelcircuit beschouwd. Tenslotte volgt er een aanbeveling tot een mogelijke uitbreiding van het systeem.

## Inleiding.

De opdracht voor dit onderzoek luidde:

Ga na wat de invloed van het gebruik van statistische grootheden is op planningssystemen, in het bijzonder het planningssysteem volgens Wiendahl. Verder moest gecontroleerd worden of de verwerking van productiegegevens volgens Wiendahl statistisch juist gebeurde. Daarnaast moest bekeken worden in hoever het mogelijk is om doorlooptijden op een statistisch verantwoorde manier te voorspellen (plannen terug in de tijd).

Het onderzoek diende te gebeuren middels een literatuurstudie.

## Inhoudsopgave.

### Voorwoord.

### Samenvatting.

### Inhoudsopgave.

### Inleiding.

## Hoofdstuk 1 Inleiding produktieplanning- en sturing. 1

### Hoofdstuk 2 Planningssystemen.

2.1 Inleiding.	4
2.2 Het klassieke capaciteitsplanningssysteem.	4
2.3 Het klassieke capaciteitsplanningssysteem geschematiseerd bekeken.	9
2.4 Toepasbaarheid van het klassieke capaciteitsplanningssysteem.	10
2.6 Plannen naar bewerkingsvolgorde.	12
2.7 Volgorde planning met capaciteitsafstemming.	14

### Hoofdstuk 3 Planningssysteem volgens Wiendahl.

3.1 Kenmerken van het belastings-afhankelijke capaciteitsplanningssysteem.	16
3.2 Analyse van produktieresultaten.	18
3.3 Uitwerking van de analysestappen in het systeem van Wiendahl.	20
3.4 Planningssysteem volgens Wiendahl.	28
3.5 De invloed van de belastingsgrens.	32
3.6 De invloed van de belastingshorizon.	32
3.7 Capaciteitsplanningssysteem volgens Wiendahl in vergelijking met de volgordeplanning met capaciteitsafstemming.	33
3.8 Toepasbaarheid van het planningssysteem volgens Wiendahl.	34
3.9 Het planningssysteem volgens Wiendahl als regelcircuit.	35

3.10 Reactie op storingen.	36
<u>Hoofdstuk 4 Belastingafhankelijke opdrachtvrijgave met gebruik van directe terugkoppeling.</u>	
4.1 Systeemomschrijving.	39
4.2 Korte terugkoppeling in de praktijk.	40
<u>Hoofdstuk 5 Slotconclusie.</u>	41
<u>Bijlage 1 Invloed van het gebruik van statistische data in de planning.</u>	
1.1 Bepalen van de ideale aaneenschakeling van bewerkingen.	1
1.2 Het afschatten van de benodigde doorlooptijd.	2
<u>Bijlage 2 Figuren.</u>	

## H1 Inleiding productieplanning- en sturing.

Het hoofddoel van de productieplanning- en sturing is het economisch combineren van de productiefactoren arbeid en machines, waarbij de uiteindelijke producten in toereikende hoeveelheid, op het juiste tijdstip en op de juiste plaats ter beschikking moeten staan.

Deze economische doelstelling kan ook vertaald worden in: het produceren van een gegeven productenpakket tegen minimale kosten binnen een gestelde productietijd, met een gegeven productieapparaat. De totale kosten zijn echter moeilijk uit te drukken in de voor de productie bekende grootheden als doorlooptijd, bezettingsgraad, bestand en leverbetrouwbaarheid, doordat de directe relatie met de kosten moeilijk exact aan te geven is. Zo zijn bijvoorbeeld de kosten van de gevolgen van levertermijnoverschrijding, in de vorm van boetes, wel af te schatten, maar de indirecte kosten, het verlies aan goodwill, zijn dat niet. Bovendien zijn de productiegrootheden onderling afhankelijk, waardoor het opstellen van een totale kostenfunctie, uitgedrukt in productiegrootheden onmogelijk is.

Vandaar dat in het algemeen getracht wordt één (liefst meerdere) productiegrootheden te optimaliseren. Deze optima zijn :

- maximale bezettingsgraad
- minimale doorlooptijd (gemiddeld en maximaal)
- minimaal bestand (hoeveelheid onder handen werk)
- minimale overschrijding van de levertijd .

Maximale bezettingsgraad.

De reden voor het streven naar een maximale bezettingsgraad, ligt hem in het feit dat een productiesysteem streeft naar een vermindering van de kostprijs van een product. Een deel van deze kosten bestaat uit vaste kosten zoals afschrijving van machines, gebouwen enz.. Deze vaste kosten worden afgeschreven door ze om te rekenen naar een machine-uurtarief. Dit machine-uurtarief dient te worden opgebracht door de producten die in een uur worden geproduceerd. Deze prestatie is weer afhankelijk van de efficiëntie waarmee de machine benut wordt; de bezettingsgraad. De bezettingsgraad geeft dus weer hoeveel procent van de beschikbare productietijd door de productie wordt benut.

Het aandeel van deze kosten in de totale kosten hangt sterk af van de afschrijvingskosten en de prestatie van het productieapparaat. Dure machines met een relatief geringe prestatie, zoals bijvoorbeeld NC machines, hebben hoge kosten per product, terwijl massafabricage met conventionele machines relatief lage kosten per product hebben.

#### Minimale doorlooptijd.

Het verminderen van de doorlooptijd heeft tot gevolg dat de doorloopsnelheid van producten, dus van geïnvesteerd kapitaal toeneemt. Hierdoor kan geïnvesteerd kapitaal eerder in andere projecten worden geïnvesteerd.

Een ander voordeel van kortere doorlooptijden is dat men sneller in staat is op veranderingen van de markt in te spelen, respectievelijk de klant in staat stelt nog tot in een later stadium wijzigingen in de opdracht aan te brengen. Dit brengt voor de producent en voor de klant een verminderd ondernemingsrisico met zich mee.

Men dient echter wel te bezien dat een verkorting van de gemiddelde doorlooptijd niet automatisch een beter resultaat oplevert. Te lange doorlooptijden leiden tot overschijdingen, hetgeen boetes en verlies aan goodwill, dus extra kosten, met zich mee brengt. Indien een order een te korte doorlooptijd heeft staan daar geen baten tegenover. Vandaar dat een grote spreiding op de doorlooptijd eveneens ongewenst is.

De invloed van de doorlooptijd op de te maken kosten neemt toe naarmate de markt gevoeliger is voor levertijden, naarmate de waarde van het product toeneemt en naarmate het bedrijf meer vreemd vermogen nodig heeft (de liquiditeit van een bedrijf).

#### Minimale bestanden.

Grote voorraden werk in productie geven lange wachttijden voor de bewerkingsstations. Dit leidt wederom tot lange doorlooptijden. Daarnaast vertegenwoordigen voorraden een hoeveelheid geïnvesteerd kapitaal, waarover dus geen rente wordt uitgekeerd, of waarover rente dient te worden betaald.

Bovendien leiden grote voorraden tot een verhoogd ondernemingsrisico, omdat deze voorraden bij veranderingen in het productenpakket onbruikbaar, incurant kunnen worden. De



bestanden worden aan de andere kant begrensd door de bezettingsgraad van de machines; indien het bestand te laag wordt, kan de machine zonder werk komen te zitten, hetgeen tot een verlaging van de productiviteit kan leiden, dus verhoogde kosten per product.

Minimalisering van de levertijdoverschrijding.

Levertijdoverschrijding betekend een negatieve afwijking van de behaalde leverdatum ten opzichte van de geplande leverdatum. Een vermindering van de levertijdoverschrijding (een kwaliteitsaspect) betekent dus een betere in acht name van de geplande leverdatum, dus een betere sturing, of een realis-tischere planningsdatum, dus een betere planning. Beide factoren hangen nauw samen daar de planningsdatum aan de hand van productiegegevens over deelbewerkingen wordt opgesteld, terwijl de productiesturing vaak de leverdatum als richtlijn gebruikt voor de prioriteiten van de opdrachten.

Deze grootheid is met name van belang indien de markt erg gevoelig is voor stipte levering, bijvoorbeeld indien te late levering leidt tot hoge boetes.

Zoals bovenstaand reeds vermeld zijn de productiegrootheden erg afhankelijk van elkaar. Daarbij komt dat de prioriteiten ten opzichte van de doelstelling in de tijd sterk kunnen veranderen. Indien de markt een grote behoefte heeft aan bepaalde produkten, zal de prijs van het produkt relatief onbelangrijk zijn, de productie moet dan volledig zijn ingesteld op minimale levertijden. Indien er een groot aanbod is van producten, zal de prijs en dus een optimale benutting van de machines, wel van belang zijn. Doordat korte levertijden en stipte levering steeds belangrijker wordende verkoop-argumenten zijn (meer klantgerichte benadering), neemt in het algemeen de belangrijkheid van deze productiegrootheden toe (figuur 1).

Om hieraan zoveel mogelijk tegemoet te komen, zijn verschillende planningssystemen ontwikkeld.

## H2 Planningssystemen.

### 2.1 Inleiding.

In de loop van de tijd zijn er verschillende systemen ontwikkeld om de subdoelstellingen van de productie te beheersen. We kunnen in het geval van de kleinserie en enkelstuksfabrikage globaal een onderscheid maken tussen systemen welke uitgaan van een ideale benutting van de capaciteit (capaciteitsgroep gericht) en systemen welke trachten een ideale bewerkingsvolgorde te bepalen (doorlooptijd gericht).

### 2.2 Het klassieke capaciteits-planningssysteem.

In het verleden werd veelvuldig gebruik gemaakt van deze eenvoudige planningsmethode. Bij deze methode staat een effectieve afstemming van de beschikbare capaciteiten voorop.

Figuur 2 geeft een overzicht van de drie opvolgende fasen van deze planning.

In de eerste fase, de grove planning, worden voor een langere termijn de verwachte hoeveelheid te produceren producten met de aanwezige productiecapaciteit vergeleken. Deze vergelijking is erg grof en wordt meestal uitgedrukt in eenheden ongespecificeerd product, daar definitieve opdrachten meestal nog niet bekend zijn. Indien noodzakelijk dient de capaciteit voor deze periode te worden aangepast bijvoorbeeld middels het aanschaffen van extra machines of het aantrekken van nieuwe arbeidskrachten. In de tweede fase, de middellange termijn planning, wordt de materiaalbehoefte bepaald en worden klantenorders omgezet in werkorders (interne orders). Hiertoe wordt aan de hand van de levertermijn, de stuklijst en de werktekeningen, voor elke periode de brutobehoeftte aan onderdelen en halffabrikaten bepaald. Deze behoefte wordt per periode vergeleken met de voorraad onderdelen die nog aanwezig is. Hieruit volgt de nettobehoeftte. Deze nettobehoeftte wordt vervolgens samengevoegd of opgedeeld tot economische series. Hierna wordt aan de hand van werkschrijvingen, de doorlooptijden van de serieorders en de orders voor speciale producten bepaald. Hiertoe wordt het zogenaamde kritische pad van de order bepaald. Dit kritische pad geeft de langste spelingsvrije aaneenschakeling van deelbewerkingen weer. De doorlooptijd wordt dan bepaald door het

aantal bewerkingen te vermenigvuldigen met de lengte van een periode. Vervolgens worden deze doorlooptijden van de leverdatum afgetrokken. Hierdoor vindt men de laatst mogelijke startdatum voor de productie van de order. Indien deze in het verleden zou liggen, wordt de order als spoedorder uitgegeven.

Vervolgens vindt de capaciteitstoekenning plaats. Op deze capaciteitstoekenning wordt in de volgende paragrafen ingegaan.

Uiteindelijk komen de orders in de laatste fase, de fijnplanningsfase, op de werkvloer terecht. Daar worden ze door de bewerkingsstations gerangschikt en worden de verschillende bewerkingen uitgevoerd. Deze rangschikking kan eventueel ook nog door een onderdeel van het planningssysteem worden uitgevoerd.

#### Capaciteits-toekenningsprocedures.

Tijdens de capaciteitstoekenning wordt de vraag en het aanbod naar capaciteit op elkaar afgestemd.

Men onderscheidt twee verschillende afstemmingsprocedures: de vooruitplanning of progressieve planning en de achterwaartse of retrograde planning (figuur 3).

#### Vooruitplanning of progressieve planning.

Alvorens met de planning te beginnen moeten de afzonderlijk beschikbare capaciteiten van de vol te plannen capaciteitsgroepen bekend zijn. Deze capaciteit wordt bepaald door de gemiddelde prestatie van de capaciteitsgroep te vermenigvuldigen met de lengte van de beschouwde planningsperiode. Hiervan wordt vervolgens ongeveer 90% genomen als toelaatbare maximumbelasting. Deze veiligheidsmarge is noodzakelijk om eventuele storingen op te vangen en om plaats te bieden aan spoedorders.

De planningsperiode is in het algemeen een historisch bepaalde periode (een dag of een week) waarin de order een bewerking ondergaat; bijvoorbeeld één bewerking per week. Deze periode is in het algemeen ook afhankelijk van de frequentie van de behoefte aan informatie en transport.

Aan de hand van de orderlijst wordt gekeken welke orders dienen te worden ingepland. Hiertoe wordt een zekere planningshorizon aangegeven. Alle orders die binnen deze horizon gereedgemeld moeten worden, worden ingepland. De planningshorizon bedraagt tenminste twee maal de maximale doorlooptijd.

Vervolgens wordt gekeken of de planningsdata niet reeds in een voorgaande periode ingepland hadden dienen te worden. Indien dat het geval is wordt getracht de orders als spoedopdracht in te plannen. De overige orders worden normaal ingepland. Dit gebeurt door de belasting (de bewerkingstijd + de omsteltijd) van de eerste bewerking toe te voegen aan de totale belasting van de bijbehorende capaciteitsgroep, voor de komende periode (zie figuur 3a). In het algemeen zal deze capaciteitsgroep reeds gedeeltelijk gevuld zijn met ingeplande orders uit voorgaande planningsperiodes. Vervolgens wordt de belasting van de tweede bewerking, bij een tweede belastingsgroep, in een tweede periode bijgeschreven enz.. Dit gaat zo door totdat alle bewerkingen van de order zijn ingepland.

Indien de order een periode aantreft welke reeds tot aan het maximum is gevuld, wordt de order in een volgende periode ingepland. Hierbij moet er wel op worden gelet dat de totale doorlooptijd binnen de levertermijn van de order blijft liggen. Indien men de levertermijn dreigt te overschrijden bestaan er twee mogelijkheden: men accepteert een overschrijding dus een te late levering, of men plant de order alsnog op de maximaal gevulde periode in. Men zal dan op andere manieren de belastingsspieken moeten trachten te egaliseren. Alle orders welke binnen de vooropgestelde horizon liggen komen aldus aan bod.

Vervolgens worden voor de komende periode alle voor die periode ingeplande orders aan de capaciteitsgroepen uitgedeeld, alwaar de fijnplanning plaatsvindt.

#### Achteruitplanning of retrograadplanning.

Het principe is het zelfde als bij de vooruitplanning, alleen wordt nu vanuit de einddatum naar het heden toe gepland. Hierdoor laat men meer openingen voor eventueel nog in te plannen spoedorders. Indien een order een volgeplande periode tegenkomt, wordt de belasting een periode eerder toegekend. Hierdoor kan het voorkomen dat een onderdeel eigenlijk reeds in het verleden bewerkt had dienen te worden. Ook dan bestaan er twee mogelijkheden: of men schuift de hele order een periode naar achteren, waardoor er levertijdsoverschrijding optreedt, of men plant de order alsnog in een volgeplande periode in. Ook hier dient dan de belastingsspiek op een andere wijze op de aanwezige capaciteit te

worden afgestemd.

De uiteindelijke afwijkingen van de belasting ten opzichte van de capaciteit kunnen bijvoorbeeld nog worden weggewerkt door:

- het opsplitsen van orders
- het verkleinen van de order in geval van voorraad-orders
- het inplannen op gelijksoortige capaciteitsgroepen
- het tijdelijk uitbreiden van de capaciteit.

Het opsplitsen van orders.

Door orders op te splitsen in kleinere deelorders, is het vaak mogelijk alsnog een order in te plannen. Deze deelorders kunnen dan over meerdere bewerkingsstations verdeeld worden. De onderdelen hoeven nu niet meer te wachten op het laatste exemplaar, waardoor reeds eerder met een volgende bewerking kan worden begonnen. Door deze opsplitsing in deelorders wordt de orderadministratie een stuk moeilijker, aangezien men er steeds voor moet zorgen dat de order aan het einde weer samengevoegd wordt. Ook voor de aansturing van de benodigde onderdelen, is het opsplitsen van de order een extra moeilijkheid.

Het verkleinen van de seriegrootte bij voorraad-orders.

De seriegrootte van voorraad onderdelen wordt in het algemeen bepaald volgens de formule van Camp. Deze zorgt voor een optimale verhouding tussen voorraadkosten en overige kosten (b.v. omstelkosten). In het algemeen is dit optimum echter erg ruim te nemen; een verkleining van de serie geeft slechts weinig extra kosten. Alvorens de serie en dus de belasting te verkleinen, dient eerst te worden gecontroleerd in hoeverre de serie voor voorraad bestemd was. De serie mag natuurlijk nooit kleiner worden als de netto behoefte voor het betreffende onderdeel. Bovendien kan het voorkomen dat er reeds deelbewerkingen van deze order hebben plaatsgevonden. Hiermee is ook al het probleem van deze belastingegalitatie beschreven: men dient de hele voorraadadministratie en de hele planning in de gaten te houden om niet zonder onderdelen te komen zitten.

Het inplannen op soortgelijke capaciteitsgroepen.

Vaak bestaat er de mogelijkheid een bewerking op andere machines, welke nog niet zijn volgepland, te plaatsen. Meestal vergt dit extra omstellingen of extra aanpassingen van deze capaciteitsgroep; vaker is de prestatie op deze capaciteitsgroepen ook minder. We moeten hierbij denken aan het inplannen van orders welke voor NC machines bestemd zijn, op conventionele machines. In het algemeen zijn de bewerkingen op deze machines ook duurder.

Tijdelijke uitbreiding van de capaciteit.

Hierbij moeten we denken aan mogelijkheden als het uitbesteden van werk of het inschakelen van uitzendkrachten. Ook eenmalig overwerk behoort tot de mogelijkheden om capaciteit uit te breiden. Deze mogelijkheden zijn echter altijd duurder dan het ideaal benutten van de aanwezige capaciteit.

### 2.3 Het klassieke capaciteitsplanningssysteem, geschematiseerd bekeken.

Figuur 4 geeft het klassieke planningssysteem nog eens schematisch weer. We onderscheiden:

- de planning
- het databestand
- de capaciteitsgroep
- eventueel een dataverwerkingssysteem.

De planning maakt gebruik van gemeten data over doorvoertijden om de capaciteitsbelastingen per order vast te stellen. Het databestand kent hiertoe de bewerkingstijden per product en de omsteltijden per order per machine. Bovendien staan in het databestand gegevens over de beschikbare capaciteiten van de belastingsgroepen. De planning plant de orders op de in paragraaf omschreven manier in.

Een capaciteitsgroep (een bewerking of een groep van verwante bewerkingen) wordt in figuur 4 weergegeven door middel van twee trechters. In de eerste trechter bevinden zich alle orders welke op bewerking liggen te wachten of in bewerking zijn. De bewerking wordt weergegeven door middel van een regelklep. Naarmate de klep verder openstaat, is de prestatie groter.

De tweede trechter wordt afgesloten door een tijdgerregelde afsluiter. Deze afsluiter houdt alle orders na bewerking tegen. Aan het einde van een planingsperiode gaat de klep open en kunnen de orders na bewerking doorstromen naar volgende belastingsgroepen.

In de capaciteitsgroep wordt eventueel het direktbestand gemeten door een dataverwerkingssysteem (weergegeven door een vlotter in de trechter). Deze kan dan eventueel worden gebruikt bij de planning van een volgende periode.

Naast dit "formele circuit" bestaat veelal nog een "informeel circuit" voor spoedorders. Deze orders worden niet in de planning opgenomen, maar door speciaal daarvoor aangestelde chasseurs begeleid. Spoedorders hebben altijd voorrang boven niet spoedorders en hebben ook een direkt transport naar een volgende bewerking. Hierdoor hebben zij extreem korte doorlooptijden. Zij

verstoren echter de sturing van "normale " orders omdat ze capaciteit bezetten.

Indien een dataverwerkingssysteem afwezig is, kunnen we spreken van een regelsysteem met een op ervaring berustende vooruitkoppeling. Doordat er geen terugkoppeling plaatsvindt, kan het voorkomen dat zich in een bewerkingstrechter een zeker bestand opbouwt. Dit bestand kan veroorzaakt worden doordat er een achterstand is opgelopen door een storing of een spoedorder. Met de aanwezigheid van dit bestand wordt geen rekening gehouden in de planning, waardoor dit bestand ook niet wordt afgebouwd. Dit kan leiden tot het ontbreken van onderdelen bij volgende bewerkingen, vooral indien het transport ook periodiek geschied. In het algemeen wordt dit bestand pas afgebouwd door middel van kortstondig overwerk, als er op de werkvloer te veel klachten over ontbrekende orders binnen komen. De opdracht voor deze afbouw is echter meestal niet afkomstig van de planning. Indien er wel een terugmelding is naar de planning, is het voor de planning meestal moeilijk deze extra belasting nog te verwerken. De eerst volgende planningsperioden zijn in het algemeen immers reeds volgepland.

#### 2.4 Toepasbaarheid van het klassieke capaciteits-planningssysteem.

Het klassieke planningssysteem heeft een aantal nadelen welke er toe kunnen leiden dat de resultaten, met name de doorlooptijd, tegenvallen.

Zoals reeds in de vorige paragraaf vermeld, bestaat er, in het geval er geen terugmelding plaatsvindt de mogelijkheid dat de orders een achterstand oplopen, zonder dat de planning dit bemerkt.

Het planningssysteem discrimineert grote orders. Zij zijn namelijk moeilijker in te plannen en worden daardoor steeds naar achteren geschoven. Daar meestal slechts de gewone gemiddelde doorlooptijd wordt bepaald (zie 3.3 ), lijkt dit niet zo erg. De gewogen gemiddelde doorlooptijd geeft echter een duidelijk



ongunstigere ontwikkeling aan.

Een ander nadeel van het systeem is dat de doorlooptijd van een order bepaald wordt door de frequentie van plannen. Het aandeel van de doorvoertijd in de totale doorlooptijd is in het algemeen dan ook klein omdat per planningsperiode slechts één bewerking mogelijk is (spoedorders buiten beschouwing gelaten). De doorlooptijd kan verkort worden door de planningsfrequentie te verhogen. Dit zou de volgende effecten hebben:

- Door de kortere planningsperiode kunnen orders in dezelfde tijdspanne meer bewerkingen ondergaan en krijgen dus een kortere doorlooptijd.
  - Doordat de capaciteitsgroep minder keuze mogelijkheden heeft om de orders te rangschikken, zullen er ongunstigere ordercombinaties gemaakt moeten worden, waardoor er langere omsteltijden ontstaan.
  - Kortere periodes geven kleinere vol te plannen capaciteitseenheden. Veel kleine capaciteitseenheden zijn minder effectief vol te plannen dan een grote capaciteitseenheid. Hierdoor kan de bezettingsgraad iets afnemen. Bovendien neemt de bovengenoemde discriminatie van grote orders verder toe.
  - Het inplannen van achterstallige orders wordt moeilijker omdat een achterstallige order in een  $a \times$  kleinere capaciteit, een  $a \times$  groter aandeel heeft. Het planningssysteem wordt hierdoor moeilijker te actualiseren.
  - Meer planningen betekenen meer communicatie tussen planning en productie. Hierop moet het informatiesysteem ingesteld zijn.
- De bovengenoemde effecten stellen dus zekere grenzen aan de planningsfrequentie. Figuur 5 geeft de verschillende effecten nog eens weer.

Het planningssysteem is meestal erg onoverzichtelijk omdat met  $a$  capaciteitsgroepen en een planningshorizon van  $b$  perioden, reeds meer dan  $a \times b$  capaciteitsrekeningen moeten worden overzien. Vooral wanneer we belastingspieken willen wegwerken geeft dit een erg gecompliceerde situatie.

## 2.5 Plannen naar bewerkingsvolgorde.

Het plannen naar een ideale bewerkingsvolgorde tracht door middel van een zeer gedetailleerde planning van orders , machines maximaal te benutten en doorlooptijden te minimaliseren (bijvoorbeeld MRP-achtige pakketten). De computer maakt hierbij gebruik van gegevens over de bewerkingsduur van de afzonderlijke deelbewerkingen. De planningsbeslissingen (voorrang van bepaalde orders) worden hierbij door de computer, aan de hand van prioriteitsregels, gedaan. Hieruit volgt welke order, op welk tijdstip, door welke machine, welke bewerking moet ondergaan en hoelang deze bewerking zal duren. De orders worden dus zeer nauwkeurig aan elkaar geregen (zie figuur 6).

Mede door de daling van de kosten voor rekentijd, wordt door veel mensen grote verwachtingen gekoesterd over de effectiviteit van deze scheduling programma's. Tot noch toe leiden echter veel programma's niet tot het gewenste resultaat. Enkele mogelijke oorzaken zijn:

- Het mathematisch bepalen van optimalisatie formules blijkt zeer complex te zijn. Een combinatie van een kleine hoeveelheid orders en een klein aantal machines blijkt al een zeer groot aantal mogelijke oplossingen te geven. Binnen deze mogelijke oplossingen blijkt het veelal niet mogelijk om een convergentie te vinden naar een optimum. Door de lange rekentijd kan men slechts een aantal mogelijke oplossingen laten uitrekenen, waaruit men dan de minst slechte moet kiezen. Om het resultaat toch enigzins doelgericht te kunnen sturen, wordt vaak gebruik gemaakt van heuristische prioriteitsregels. Deze hebben in het algemeen slechts een verbeterend effect op één van de productieparameters.
- Voor de planning worden in de praktijk gemeten gemiddelde waarden voor bewerkings- en doorlooptijden gebruikt. Deze stochastische grootheden worden vervolgens deterministisch gebruikt (zie bijlage 1). Hierdoor wordt geen rekening gehouden met de onbepaaldheid van de grootheden ten gevolge van spreidingen. Daardoor blijken de voorberekende tijden al na korte tijd niet meer met de werkelijkheid overeen te stemmen. In het geval van kritisch geplande bewerkingen (bewerkingen welke van elkaar afhankelijk zijn), kan dit leiden tot

storingen doordat bijvoorbeeld onderdelen nog niet aanwezig zijn, waardoor de werkelijkheid steeds meer van de planning gaat afwijken.

- De planningssystemen zijn in het algemeen erg moeilijk te actualiseren. Hierdoor is het moeilijk de kwaliteit van de plandata te herstellen zodat eenmaal ingeslopen afwijkingen, in de planning blijven zitten.

We zien dan ook dat zulk soort optimalisaties slechts goed werken in bedrijven die vanuit hun productie-aard te doen hebben met vrij constante tijden, bijvoorbeeld doordat een bepaald proces een exacte inwerkingstijd nodig heeft. Ook in ver gemechaniseerde bedrijven vinden we dit soort systemen omdat deze machines in het algemeen met vrij constante taktijden werken.

Voor bedrijven die werken met conventionele machines, bijvoorbeeld machine fabrieken, met veel verschillende bewerkingen, zijn zulk soort planningssystemen niet geschikt. Hierdoor wordt bij dit soort bedrijven meestal gebruik gemaakt van planningssystemen welke de nadruk leggen op een optimaal gebruik van de productiemiddelen.

## 2.6 Volgorde planning met capaciteitafstemming.

Door de in paragraaf 5 beschreven problemen met de gedetailleerde productieplanningen, wordt er veelal gebruik gemaakt van een planningssysteem dat van beide voorgaande systemen gebruik maakt.

Ook in dit systeem vindt analoog aan het klassieke deterministische planningssysteem een gefaseerde planning plaats. De eerste fase is weer de grove planning voor de in de toekomst benodigde capaciteit.

In de tweede fasen worden weer de nettobehoeften aan onderdelen bepaald. De doorlooptijd-bepaling gebeurt echter anders (figuur 7). Aan de hand van productiedata worden de gemiddelde doorlooptijden van de bewerkingen bepaald. Deze gemiddelde doorlooptijd wordt samengesteld uit de gemiddelde transporttijd, de gemiddelde wachttijd, de gemiddelde omsteltijd en de gemiddelde bewerkingstijd. De gemiddelde transporttijd haalt men uit tabellen welke de transporttijd tussen twee opvolgende bewerkingen weergeven. De gemiddelde wachttijd vindt men uit gegevens uit de productie (bijvoorbeeld afkomstig van een dataverwerkingssysteem). De gemiddelde bewerkingstijd vindt men door het aantal producten te vermenigvuldigen met de gemiddelde bewerkingstijd per product. Alle aldus gevonden doorlooptijden worden gesommeerd en van de leverdatum afgetrokken, respectievelijk bij het heden opgeteld (vergelijk progressieve en retrograde planning). Vervolgens wordt er gecontroleerd of de order wel binnen de gestelde termijn "past". Indien dit niet het geval is zal men de wachttijden middels overlapping of splitsing trachten te verkorten.

Hierna wordt de gestelde planningshorizon in gelijke delen opgesplitst, waarna voor elke capaciteitsgroep de doorvoertijden per deeltijd worden opgeteld. Aldus verkrijgt men het belastingsprofiel voor een bewerking voor een bepaalde periode. Vervolgens zal men proberen de pieken en dalen van dit profiel te egaliseren door de orders onderling te verschuiven. Ook zijn de overige in paragraaf 2 genoemde belasting afstemmingsprocedures mogelijk.

Het aldus beschreven systeem heeft als voordeel dat de planning

van de administratie enigszins wordt gescheiden. Hierdoor vindt er een constante doorloop van orders plaats en zijn kortere doorlooptijden mogelijk als bij het in paragraaf 2 beschreven systeem. De planning kan ook hier moeilijk veranderd worden en zodoende hebben we ook hier slechts een vooruitgestuurd systeem. Doordat geen bewerkingstijden maar doorlooptijden worden aaneengepland, is het systeem in het algemeen minder gevoelig voor statistische afwijkingen van de bewerkingstijden. Men hoopt dat de afwijkingen zich binnen een capaciteitsgroep enigszins uitmiddelen.

Toch treden er bij dit systeem vaak afwijkingen, overschrijdingen op. De oorzaak hiervan ligt hem in het feit dat gebruik wordt gemaakt van geschatte doorlooptijden van orders. Bij deze schattingen wordt gebruik gemaakt van een gemiddelde wachttijd, dus van een gemiddelde lengte van een wachtrij. Deze gemiddelde wachtrijlengte is weer gelijk aan het gemiddelde bestand. Het werkelijke bestand is echter meestal niet zo constant. Dit komt omdat het systeem geen terugkoppeling kent. Hierdoor kan een bestand alleen gemiddeld constant zijn indien de gemiddelde toestroom van orders kleiner is dan de gemiddelde mogelijke prestatie. Is de toestroom groter, dan zal er gemiddeld een bestand worden opgebouwd. Zijn beide gelijk, dan kan het bestand elke willekeurige waarde aannemen aangezien bij elke hoeveelheid de kans op een afname net zo groot is als de kans op een toename. In het algemeen leidt een kleinere gemiddelde toevoer, dan mogelijke prestatie, tot onderbezetting, hetgeen meestal niet gewenst is.

Bovenstaande heeft tot gevolg dat de nauwkeurigheid waarmee de wachttijd en dus de doorlooptijd wordt afgeschat, in het algemeen te wensen overlaat, hetgeen leidt tot grote afwijkingen tussen planning en werkelijkheid.

### H3 Planningssysteem volgens Wiendahl.

#### 3.1 Kenmerken van het belastings-afhankelijke capaciteits-planningssysteem.

In het algemeen kunnen we stellen dat de problemen van de voorgaand behandelde planningssystemen voortvloeiden uit:

- het gebrek aan mogelijkheden om de resultaten van het systeem terug te koppelen
- order gerichte optimalisatie van het productiesysteem.
- ondoorzichtigheid van de planning.

De terugkoppeling van resultaten is in het algemeen niet mogelijk omdat deze resultaten, indien zij gemeten worden, meestal op de afzonderlijke orders betrekking hebben en niet op het systeem. Bovendien is de verwerking van deze resultaten in de opvolgende planningen meestal erg moeilijk.

In het algemeen kunnen we ook stellen dat het ontbreekt aan lange termijn visie. De optimalisaties vinden plaats naar het huidige opdrachten bestand en naar de huidige situatie in de productie (momentane over of onderbezetting bijvoorbeeld).

Meestal zijn de planningen dermate gecompliceerd dat de planner geen overzicht heeft over wat er gebeurt, wat er gebeurd is, en wat er gaat gebeuren.

In tegenstelling tot de overige planningssystemen, tracht de belastings-afhankelijke opdracht vrijgave van prof. Wiendahl, het productiesysteem in zijn geheel als een te optimaliseren continu proces te beschouwen. Kenmerkend voor het systeem is dan ook het trechterdiagram (figuur 8).

Men tracht in dit systeem niet de orders te besturen, maar het productiesysteem. Men reguleert dus niet bewerkingsvolgorden, maar systeembestanden enz..

De gedachtengang hierbij is samengevat de volgende:

Indien ik constante (minimale) bestanden heb, kan ik een betere schatting geven van de benodigde doorlooptijden. Hierdoor kan ik een order tijdig inplannen, waardoor ik een goede leverbetrouwbaarheid verkrijg. Door de bestanden te verlagen kan ik vervolgens doelgericht de totale doorlooptijd van het systeem verkorten. Ook

hierbij optimaliseren we dus het systeem en niet de afzonderlijke orders.

Om te kunnen sturen vanuit het systeem, moeten we goed op de hoogte zijn van de toestand van het systeem. Een duidelijke visualisatie van de systeemtoestand is dan ook noodzakelijk.

Dit gebeurt middels een productieanalyse, welke tevens de basis vormt voor het voorgestelde planningssysteem.

### 3.2 Analyse van productieresultaten.

Uit voorgaande blijkt dat het kennen van de momentane toestand van het productiesysteem voor de planning van groot belang is. We moeten hierbij onderscheid maken tussen de momentane toestand (het momentane bestand, de momentane prestatie) en de toestand van het systeem gedurende een periode.

Het beschrijven van de momentane toestand is noodzakelijk om direkt te kunnen ingrijpen. We moeten hierbij denken aan de momentane achterstand van orders, het momentane bestand enz..

Doorlooptijden van orders worden echter niet veroorzaakt door de momentane toestand. Daarom is het noodzakelijk de toestand over een bepaalde periode te kennen. Bovendien kunnen we dan de toestand van het systeem vergelijken met de toestand in andere perioden. De analyse van productieresultaten kan worden voorgesteld als in figuur 9. Het productiesysteem bezit een aantal kenmerkende stochastische parameters, die de toestand van het systeem over een bepaalde periode beschrijven en die invloed hebben op de orders die gedurende deze periode het systeem doorlopen. De parameters bezitten een statistische verdeling welke wordt gekenmerkt door het werkelijke gemiddelde  $\mu$  en werkelijke standaard deviatie  $\sigma$ . Deze parameters zijn niet te meten en zijn uniek voor het systeem gedurende een bepaalde tijd (aangenomen dat ze over de beschouwde periode constant zijn).

Het resultaat van deze parameters zijn bepaalde productiedata die gemeten kunnen worden. We moeten hierbij denken aan tijdstip van order toegang en van gereedmelding enz.. Deze productiedata geven de momentane toestanden van het product en de productie en vragen indien noodzakelijk om een direkte ingreep.

Om een schatting te krijgen van de systeempparameters dienen de productiedata statistisch verwerkt te worden. Hieruit moeten dan schatters volgen voor de werkelijke systeempparameters  $\mu$  en  $\sigma$ . Aan de hand van deze schattingen voor de systeempparameters kunnen we dan uitspraken doen over de toestand van het productiesysteem gedurende de beschouwde periode. Welke uitspraken we kunnen doen hangt met name af van de nauwkeurigheid waarmee we de systeempparameters kunnen afschatten.

Aan de hand van deze kwalitatieve uitspraken over het productiesysteem kunnen we dan eventuele voorstellen doen om het productiesys-



teem te verbeteren. Ook kan het mogelijk zijn om bepaalde voorspel-  
lingen te doen over het gedrag van orders in het systeem. Deze  
laatste twee stappen vergen natuurlijk wel inzicht in het systeem.  
Bovenstaande zal kort worden toegelicht aan de hand van een voor-  
beeld.

Een van de parameters van een productiesysteem is het bestand aan  
orders dat ligt te wachten op bewerking. We nemen aan dat het  
systeem gedurende de beschouwde periode constant is; d.w.z. er  
doen zich geen wezenlijke veranderingen voor als bijvoorbeeld  
veranderingen in het productenpakket etc.. Het bestand gedurende  
deze periode is dan stochastisch bepaald en wordt gekenmerkt door  
een continue verdeling met een gemiddelde  $\mu$  en een standaard  
deviatie  $\sigma$  (figuur 10a). Door dit bestand krijgen de toegevoerde  
orders een bepaalde doorlooptijd. We kunnen in de beschouwde  
periode het bestand een aantal malen meten, door bijvoorbeeld het  
aantal orders voor de bewerking te tellen en deze te  
vermenigvuldigen met hun arbeidsinhoud (bewerkings- + omsteltijd).  
Indien noodzakelijk kunnen we dan bijvoorbeeld direkt besluiten  
het te grote bestand te verminderen middels overwerk.  
Vervolgens kunnen we deze gemeten resultaten weergeven en het  
rekenkundig gemiddelde en de spreiding van de discontinuë verdeling  
uitrekenen (figuur 10b). Dit gemiddelde en deze spreiding zijn dan  
schatteurs voor het echte gemiddelde en de standaard deviatie. De  
nauwkeurigheid waarmee het rekenkundige gemiddelde het werkelijke  
gemiddelde benadert, is afhankelijk van het aantal metingen en de  
manier waarop het bestand gemeten en berekend wordt.  
Afhankelijk van deze nauwkeurigheid, kunnen we dan uitspraken  
doen over het bestand. We kunnen, afhankelijk van de nauwkeurig-  
heid, bijvoorbeeld zeggen dat het actuele bestand groter, ongeveer  
 $a \times$  zo groot of precies  $a \times$  zo groot is als het bestand van een  
voorgaande periode.  
Aan de hand van de gemiddelde bestanden over een aantal perioden,  
kunnen we bijvoorbeeld concluderen dat het bestand hoogstwaar-  
schijnlijk ook de volgende periode een zekere waarde zal bedragen,  
waardoor we weer een uitspraak kunnen doen over de gemiddelde  
wachtrij en dus over de gemiddelde wachttijd van een toekomstige  
order.  
Indien het gemiddelde bestand gedurende een aantal perioden een

stijgende tendens vertoont, kunnen we bijvoorbeeld besluiten de capaciteit van het systeem, zoals die in de planning wordt gebruikt, te verlagen of bijvoorbeeld besluiten de daadwerkelijke capaciteit uit te breiden.

### 3.3 Uitwerking van analysestappen in het systeem van Wiendahl.

De productieparameters.

De toestand waarin een productiesysteem zich bevindt wordt gekenmerkt door het bestand, de doorlooptijd en de prestatie.

Het bestand gedurende een bepaalde periode, alsmede de prestatie gedurende deze periode en de doorlooptijd van voorgaande orders, bepalen de doorlooptijd van een order die door het systeem loopt. Hierdoor wordt aan elke aankomstdatum van een order een zekere afmeldingsdatum toegevoegd.

Uitvoer van productiedata.

De productiedata worden hetzij per order, hetzij per bewerkingstation (capaciteitsgroep) gemeten. Het komt hierbij vaak voor dat de data afwijken van de werkelijke data omdat de benodigde formulieren pas op een later tijdstip worden ingevuld. De hierbij gemaakte fout is echter gering omdat alle data hierdoor gewoon in de tijd verschuiven (zie [1] pag.83 ). Meestal worden alle data van een periode pas aan het einde van een periode verwerkt. Aan deze gemeten data, worden meestal nog de geplande data gekoppeld, zoals verwachte datum van binnenkomst en verwachte datum van afmelding. Naast deze gemeten en geplande data, zijn er nog gegevens over bijvoorbeeld de arbeidsinhoud van een order, afkomstig van een databestand. Meestal betreft het hier schattingen gebaseerd op in het verleden gedane metingen.

Momentane verwerking.

Door de data te vergelijken met de van de planning afkomstige geplande data, kan men eventuele overschrijdingen van de levertermijn constateren en de order bijvoorbeeld versneld aan een volgende bewerking doorgeven. Ook kan bijvoorbeeld het momentane bestand bepaald worden, waaruit de mogelijk vol te plannen capaciteitsruimte voor de volgende periode volgt.

## Analyse 1.

De analyse van de productiegegevens volgens het systeem van Wiendahl heeft tot doel de productie parameters juist af te schatten en de gebeurtenissen duidelijk en overzichtelijk weer te geven.

Uit de analyse moeten de volgende grootheden bepaald worden:

- de momentane en de gemiddelde prestatie
- het momentane en gemiddelde direct bestand
- de gemiddelde doorlooptijd en de gemiddelde gewogen doorlooptijd.

Ook kunnen nog afgeleide grootheden als de gemiddelde reikwijdte en de gemiddelde bezettingsgraad bepaald worden. Deze kentallen zullen nog eens nader worden toegelicht.

Het momentane en het gemiddelde direkt bestand.

Het momentane direkt bestand is gelijk aan de hoeveelheid werk (orders), uitgedrukt in bewerkingsuren, welke direkt voor een capaciteitsgroep ligt te wachten op bewerking, of welke in bewerking zijn. Het indirecte bestand, is de hoeveelheid werk (orders), welke reeds zijn vrijgegeven, maar nog niet bij het productiesysteem zijn aanbeland.

Het bestand wordt gemeten door de arbeidsinhoud van alle wachtende orders bij elkaar op te tellen. De arbeidsinhoud (AI) bestaat uit de bewerkingstijd van de order plus de omsteltijd van de machine.

Het gemiddelde direktbestand is gedefinieerd als

$$\text{gem.B.} = \frac{\int_0^T B(t) dt}{T} \quad \begin{array}{l} \text{waarbij gem.B.} = \text{het gemiddelde bestand} \\ B(t) = \text{het bestand op tijdstip } t \\ T = \text{de tijdsduur van een periode} \end{array}$$

De momentane en gemiddelde prestatie.

De momentane prestatie geeft de hoeveelheid werk (uitgedrukt in bewerkingsuren) die de capaciteitsgroep op het tijdstip  $t$  gedurende een infinitesimaal kleine tijdsduur  $t$  gereedmeldt. In formule:

$$P(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad \begin{array}{l} U = \text{de verandering in de hoeveelheid afgemeld} \\ \text{werk.} \\ t = \text{de tijdsduur.} \end{array}$$

De gemiddelde prestatie is gelijk aan :

$$\text{gem. } P(T) = \frac{\int_0^T du}{T} = \frac{U(T) - U(0)}{T}$$

$U(0)$  = afgemeld werk op tijdstip 0  
 $U(T)$  = afgemeld werk op tijdstip T  
 $T$  = lengte van de periode  
 gem. P. = gemiddelde prestatie

Uit voorgaande blijkt dat de gemiddelde prestatie gelijk is aan de hoeveelheid werk die gedurende een bepaalde periode is afgemeld, gedeeld door de tijdsduur van de periode.

Naast deze prestatie kunnen we ook nog de bezettingsgraad definiëren. We kunnen de bezettingsgraad  $\beta$  gedurende een bepaalde periode T definiëren als:

De gereedgemaakte hoeveelheid werk gedurende een bepaalde periode gedeeld door de technisch maximale mogelijke af te melden hoeveelheid werk, uitgedrukt in bewerkingsuren. De momentane bezettingsgraad is dan gelijk aan

$$\lim_{t \rightarrow 0} \beta(t) \text{ op tijdstip } t.$$

Indien we de momentane prestatie zouden definiëren als zijnde de momentane prestatie gedeeld door de momentaan mogelijke prestatie, zou de gemiddelde prestatie gelijk zijn aan

$$\text{gem. } \beta(T) = \frac{\int_0^T P_b(t) dt}{T \cdot P_m} = \frac{\text{gem. } P_b}{\text{gem. } P_m}$$

$\text{gem. } \beta$  = gemiddelde bezettingsgraad  
 $\text{gem. } P_b$  = behaalde prestatie  
 $\text{gem. } P_m$  = te behalen prestatie  
 $T$  = lengte van de beschouwde periode.

De gemiddelde bezettingsgraad is alleen dan gelijk aan de gemiddelde behaalde prestatie gedeeld door de gemiddelde te behalen prestatie indien de gemiddelde te behalen prestatie constant is (zie reikwijdte).

Ook de momentane en gemiddelde reikwijdte is afgeleid van de momentane prestatie en het momentane bestand. De momentane reikwijdte is gedefinieerd als de tijdsduur die het systeem er over zou doen om met de momentane prestatie, het momentane bestand te

verwerken.

In formule:  $R(t) = \frac{B(t)}{P(t)}$       $R(t)$  = reikwijdte op tijdstip  $t$   
                                  $P(t)$       $P(t)$  = prestatie op tijdstip  $t$   
    $B(t)$  = het bestand op tijdstip  $t$

De gemiddelde reikwijdte is dan gelijk aan :

gem.R. =  $\frac{\int_0^T B(t) dt}{\int_0^T P(t) dt}$      gem.R. = gemiddelde reikwijdte  
                                  $B(t)$  = bestand op tijdstip  $t$   
                                  $P(t)$  = de prestatie op tijdstip  $t$   
                                  $T$  = tijdsduur van de periode

Ook hierbij geldt dat dit slechts gelijk is aan het gemiddelde bestand gedeeld door de gemiddelde prestatie, indien de prestatie constant is (in tegenstelling tot wat in [1] beweerd wordt).

De gemiddelde doorlooptijd en de gemiddelde gewogen doorlooptijd. De doorlooptijd van een order is gedefinieerd als de tijd die een order in een productiesysteem verblijft (het verschil tussen de datum van aanmelding en de datum van afmelding van een order). Deze tijd is dus orderafhankelijk.

De gemiddelde doorlooptijd over een bepaalde periode is dan de tijd die een order er gemiddeld over doet om door het productiesysteem te lopen. Ook dit getal is dus order afhankelijk in plaats van systeem afhankelijk. In formulevorm:

gem.Dlt. =  $\frac{\sum_{i=1}^n Dlt(i)}{n}$       $Dlt(i)$  = de doorlooptijd van order  $i$   
    $n$  = het aantal afgemelde orders in periode  $T$ .

Om de afhankelijkheid van de ordergrootte te elimineren, zouden we de doorlooptijd per onderdeel kunnen bekijken. Dan krijgen echter weer een zelfde probleem omdat de doorlooptijd dan afhankelijk was van het soort onderdeel.

Daarom wordt er voor elk onderdeel een systeem afhankelijk equivalent gekozen: de tijd die het onderdeel de capaciteitsgroep bezet. Dit is gelijk aan de bewerkingstijd per onderdeel plus het aandeel in de omsteltijd. In formule:

equivalent ( $Q$ ) =  $\frac{\text{totale bewerkingstijd per order} + \text{omsteltijd}}{\text{aantal onderdelen}}$

De totale bewerkingstijd plus de omsteltijd wordt de arbeidsinhoud

van een order genoemd (AI).

Alle onderdelen in een order hebben een gelijke doorlooptijd, namelijk de doorlooptijd van de order.

Zodoende is de gemiddelde gewogen doorlooptijd gelijk aan:

$$\text{gem.gew.Dlt.} = \frac{\sum_{l=0}^M Q(l) * \text{Dlt}(l)}{\sum Q(l)} = \frac{\sum_{i=0}^h \sum_{l=0}^M (Q(l)) * \text{Dlt}(i)}{\sum_{l=0}^M Q(l)}$$

$$\frac{\sum_{i=0}^h (\text{AI}(i) * \text{Dlt}(i))}{\sum_{i=0}^h \text{AI}(i)}$$

waarbij k = het aantal onderdelen in een order

m = het totaal aantal geproduceerde producten

n = het totaal aantal orders

l = het l-de product

i = de i-de order

Dit laatste kunnen we ook schrijven als

$$\text{gem.gew.Dlt.} = \frac{\sum_{i=0}^h (\text{AI}(i) * \text{Dlt}(i))}{n} * \frac{n}{\sum \text{AI}(i)} = \frac{\text{gem.}(\text{AI} * \text{Dlt})}{\text{gem.}(\text{AI})}$$

$$\frac{\text{gem.}(\text{AI}) * \text{gem}(\text{Dlt.}) + \text{cov.}(\text{AI}, \text{Dlt})}{\text{gem.}(\text{AI})}$$

$$\text{gem.}(\text{Dlt}) + \frac{r * \text{var}(\text{AI}) * \text{var}(\text{Dlt})}{\text{gem.}(\text{AI})}$$

waarbij cov.(AI, Dlt) = covariantie tussen AI en Dlt

r = lineaire correlatie-coëfficiënt tussen AI en Dlt.

var.(AI) = de variantie van de arbeidsinhoud

var.(Dlt.) = de variantie van de doorlooptijd.

Hieruit volgt dus de relatie tussen de gewogen gemiddelde doorlooptijd en de gewone gemiddelde doorlooptijd.

We zien dat de gewogen gemiddelde doorlooptijd groter is indien er een positieve lineaire correlatie bestaat tussen de arbeidsinhoud en de doorlooptijd. Dit is bijvoorbeeld het geval indien er de prioriteitsregel, kleine orders eerst, wordt gehanteerd. Een negatieve correlatie-coëfficiënt ontstaat indien we grote orders voorrang geven. De beide gemiddelden zijn aan elkaar gelijk indien:

- er geen lineaire correlatie bestaat tussen arbeidsinhoud en doorlooptijd. Bijvoorbeeld door een ideale first-in, first-out

prioriteit.

- de variantie op de doorlooptijd 0 is; hetgeen dus inhoudt dat alle orders een gelijke doorlooptijd hebben. Dit is bijvoorbeeld mogelijk in het gebruikelijke capaciteitsplanningssysteem, waarbij de doorlooptijd uitsluiten afhangt van planningsfrequentie.
- de variantie op de arbeidsinhoud 0 is; dus evenveel bewerkingstijd voor elke order. Dit kan bijvoorbeeld indien de orders een warmte behandeling moeten ondergaan die onafhankelijk is van aard van de order.

Eigenlijk is de aldus bepaalde gemiddelde gewogen doorlooptijd nog steeds niet juist, omdat het de doorlooptijd betreft van orders welke in de afgelopen periode zijn afgemeld. We moeten echter de doorlooptijd hebben van orders welke zich op dit moment in het systeem bevinden. Hierdoor is de verderop genoemde gemiddelde voorloop van de afmelding beter.

## Analyse 2.

Bij de analyse wordt uitgegaan van het trechtermodel. Hierbij is de inhoud van de trechter gelijk aan het bestand, de doorvoer door de trechter gelijk aan de prestatie en de totale tijd die nodig is om door de trechter te geraken, gelijk aan de doorlooptijd. Dit kan in de tijd grafisch worden weergegeven (figuur 11). Hiertoe wordt op de verticale as de hoeveelheid werk in uren uitgezet, terwijl de horizontale as de tijd weergeeft. Allereerst wordt het bestand op tijdstip nul gemeten. Dit kan door de arbeidsinhoud van alle wachtende orders bij elkaar op te tellen. Vervolgens wordt vanuit dit beginbestand, alle toegevoerde orders in de tijd cumulatief opgeteld. Hierna wordt vanuit het nulpunt de gereedgemaakte orders cumulatief uitgezet. Hierdoor krijgen we twee oplopende lijnen, waarbij de verticale afstand steeds gelijk is aan het momentane bestand. Het bestand aan het einde van de beschouwde periode noemen we het eindbestand. De prestatie van het systeem is, conform de definitie, gelijk aan de totale hoeveelheid gereedgemaakte orders, gedeeld door de beschouwde periode; dus de richtingscoëfficiënt van de rechte lijn die door het nulpunt en het einde van de onderste lijn loopt. Ook door de bovenste

lijn kan een rechte lijn tussen het begin en eindpunt getrokken worden. De richtings-coëfficiënt van deze lijn geeft de gemiddelde toevoer van orders weer.

Het gemiddelde bestand is geheel volgens definitie gelijk aan het oppervlak tussen beide lijnen gedeeld door de beschouwde periode. De doorlooptijden zijn niet uit deze grafiek te halen. Eigenlijk beschrijven zij ook niet de toestand van het systeem gedurende deze periode omdat de startdatum van de orders veelal voor het nulpunt ligt. In [1] is aangetoond dat door het vergelijken van oppervlakken, de gemiddelde gewogen doorlooptijd bij een constant systeem, gelijk is aan de gemiddelde reikwijdte, welke weer ongeveer gelijk is aan de gemiddelde verticale afstand tussen de toe- en afvoerlijn. Dit wordt het gemiddelde "voorlopen" (Vorlauf) genoemd. Hieruit volgt verder dat voor een constant systeem de gemiddelde gewogen doorlooptijd ongeveer gelijk is aan het gemiddelde bestand gedeeld door de gemiddelde prestatie.

De kentallen gemiddelde gewogen doorlooptijd, gemiddeld bestand en de gemiddelde prestatie kunnen nu per periode, per capaciteitsgroep worden weergegeven.

Kwaliteit van de gegevens.

De aldus bepaalde waarden zijn, met uitzondering van de gemiddelde reikwijdte en de gemiddelde bezettingsgraad, statistisch juist bepaald. Op de juistheid van de gemiddelde gewogen doorlooptijd, werd reeds ingegaan.

De grote fout die echter gemaakt wordt ligt hem in het feit dat de gebruikte arbeidsinhoud niet de daadwerkelijke arbeidsinhoud is. De gebruikte arbeidsinhoud is een schatting van de werkelijke arbeidsinhoud aan de hand van gegevens uit het databestand. De werkelijke arbeidsinhoud zal hier telkens van afwijken. Dit leidt tot fouten in de berekeningen. Zo zal de werkelijke prestatie gelijk zijn aan de som van de geschatte arbeidsinhoud, min de gemaakte fout, gedeeld door de periodeduur. Wanneer we hieruit de bezettingsgraad berekenen, kan deze hoger of lager uitvallen uitsluitend omdat de gebruikte arbeidsinhouden van de orders niet klopten. Zo zijn ook bezettingsgraden van meer dan 100 % mogelijk. Ook bij het bepalen van het gemiddelde bestand en de gemiddelde gewogen doorlooptijd wordt deze fout gemaakt.



De kwaliteit van de schattingen is dus sterk afhankelijk van de kwaliteit van de gebruikte productiegegevens.

De conclusie hiervan is dat de afwijking tussen de berekende gemiddelden en de werkelijke gemiddelden ( $\mu$ ) erg groot zal zijn. De gevonden kentallen mogen dan ook niet in absolute zin gebruikt worden, d.w.z. uitspraken als het gemiddelde bestand is  $a \times$  zo groot geworden, zijn niet toegestaan. Het vergelijken van grootheden uit verschillende perioden, is bij grote verschillen wel toegestaan.

Mogelijkheden tot systeemverbetering aan de hand van de analyse. De bovenstaande analyse kan op verschillende agregatieniveaus in de productie worden gedaan. Hierdoor kunnen de knelpunten (de bottlenecks) in de productie worden opgespoord.

De analyse levert ook redelijke indicaties over de belastingstoelstanden van de systemen. Indien de toe- en afvoerlijn constant uit elkaar lopen, geeft dit duidelijk aan dat de bestaande productiecapaciteit en het aanbod aan orders niet op elkaar zijn afgestemd.

Ook kan inzicht verkregen worden in de verdeling van de toevoer en afvoer van orders in de tijd. Zo kan het voorkomen dat een groot deel van de orders pas laat wordt afgemeld, waardoor de toe en afvoerlijnen sterk afwijken van de "ideale rechte". Het gevolg hiervan is dat het bestand een grotere spreiding krijgt en het gemiddelde bestand groter is dan eigenlijk noodzakelijk is. Verder blijkt dat we het gemiddelde noodzakelijke bestand kunnen verkleinen door de seriegrootte van de orders te verkleinen. Ook hierdoor neemt het oppervlak tussen de toe- en afvoerlijn af. Het grote voordeel is echter dat we nu daadwerkelijk de invloeden van verschillende productieverbeterende maatregelen kunnen meten en overzien.

Mogelijkheid tot het voorspellen van grootheden.

Indien het bestand van een systeem lange tijd constant is (of wordt gehouden), kunnen we redelijke voorspellingen doen over bijvoorbeeld de doorlooptijd van een order door het systeem. Dit wordt o.a. gebruikt in het planningssysteem van de belastingafhankelijke opdracht vrijgave.

### 3.4 Planningsysteem volgens Wiendahl.

Uit het doorloopdiagram volgt de relatie dat voor een constant systeem de gemiddelde gewogen doorlooptijd gelijk is aan het gemiddelde bestand gedeeld door de gemiddelde prestatie. In het algemeen is de prestatie van een systeem over een bepaalde periode vrij constant. Om de gemiddelde doorlooptijd van een systeem te beïnvloeden, moeten we dus het gemiddelde bestand besturen. Figuur 12 geeft de relatie tussen de drie grootheden nogmaals weer. Indien we het bestand verkleinen, zal de prestatie in eerste instantie slechts weinig afnemen. Deze geringe afname wordt veroorzaakt doordat de bewerkingsplaatsen minder orders hebben om de omsteltijden te minimaliseren. Bij verdere afname van het bestand neemt de afname van de prestatie sterk toe. Dit komt omdat het bewerkingsstation nu vaker leegloop krijgt.

De doorlooptijd zal rechtevenredig met de daling van het bestand afnemen. Na een zekere waarde neemt het aandeel van de wachttijd in de doorlooptijd echter sterk af. Een binnenkomende order wordt vrijwel direct bewerkt. De doorlooptijd bestaat dan nog slechts uit de bewerkingstijd plus de omstel- en transporttijd. Uit figuur 12 kunnen we dus een bestand bepalen dat een voor ons ideale combinatie van doorlooptijd en prestatie geeft. Meestal zal dit iets verder liggen dan het punt waar de prestatie in elkaar zakt. Wanneer we nu in staat zouden zijn voor elke capaciteitsgroep zo'n ideaalbestand te definiëren, zouden we een ideale minimale doorlooptijd door het systeem kunnen verkrijgen. Voorwaarde hierbij is echter dat deze bestanden ook constant gehouden worden. Indien het bestand slechts gemiddeld (dus met een grote spreiding) constant zou zijn, zouden de doorlooptijden van de afzonderlijke orders sterk verschillen en zou een totale doorlooptijd van de order en dus de uiterste startdatum moeilijk te bepalen zijn (zie volgorde planning met capaciteitsafstemming).

Het constant houden van dit ideale bestand kent echter een aantal problemen.

- De aan- en afmelding van orders gebeurt niet continue en constant. De frequentie waarmee de orders worden toe- en afgevoerd, alsmede de arbeidsinhoud van de orders, verschillen behoorlijk.
- De orders hebben wisselende volgorden van bewerking. Hierdoor wordt het moeilijk om te voorspellen welke order zich op welk

tijdstip op welke plaats bevint.

- Het komt vaak voor dat een bepaalde bewerking bestaat uit het samenvoegen van onderdelen die van tevoren zijn aangemaakt. Het tijdstip waarop de bewerking mogelijk kan plaatsvinden, wordt dan bepaald door de aanmelding van het laatste onderdeel.

Van deze randvoorwaarden is de tweede verreweg de belangrijkste. Het te ontwikkelen planningssysteem dient hiermee rekening te houden.

Opbouw van het systeem.

In figuur 13 is de ideale doorloopgrafiek weergegeven. Het gemiddelde geplande bestand is gelijk aan het ideale bestand zoals dat uit figuur 12 volgde.

Aan het begin van de vol te plannen periode is nog een restbestand ter grootte RB aanwezig. Voor de beschouwde periode mag slechts een totaalbestand ter grootte GT worden toegevoerd. Dit is precies de hoeveelheid die verwacht wordt afgeleverd te worden (GA). Uit het diagram blijkt dat de werkelijke hoeveelheid nog toe te voeren werk (vrijgave) gelijk is aan het verschil tussen het mogelijk in te plannen bestand plus het ideaalbestand, min het restbestand. In plaats van elke planningsperiode precies in te plannen, gaan we nu per periode een belastingsconto opstellen (figuur 13b). Het conto geeft dus een balans van de actuele situatie. Het geeft aan hoeveel werk nog direct op bewerking ligt te wachten en hoeveel werk nog ingepland kan worden. Voor elke capaciteitsgroep wordt nu zo'n conto opgesteld en elke periode geactualiseerd. Uit het verloop van het conto laat zich direct het doorloopdiagram opstellen.

Om de grootte van het conto bij wisselende prestaties van de capaciteitsgroepen niet voortdurend te hoeven aanpassen, wordt de grootte (de maximum inhoud) uitgedrukt in een procentuele belasting. Deze procentuele belasting is gelijk aan:

$EPS = (1 + MZ/T)$  waarbij MZ de geplande gemiddelde doorlooptijd en T de lengte van de te plannen periode is, beiden uitgedrukt in werkdagen.

De vraag is nu: hoe kunnen we de toegang van orders inplannen, die door hun doorlooptijd op andere bewerkingen, niet in deze periode, maar in een volgende of daarop volgende periode pas deze bewerking zullen bereiken. En hoe kunnen we er voor zorgen dat er

bij aankomst van een order toereikende capaciteit ter beschikking staat, alhoewel de desbetreffende periode nog helemaal niet gepland is?

De eerste stappen van de planning zijn gelijk aan de planning met in acht name van beschikbare capaciteit. Ook nu wordt er voor lange termijn een grove planning opgesteld. Vervolgens worden de opdrachten weer opgesplitst tot economische series en interne orders. Het bepalen van de uiterste startdatum gebeurt echter nu door het aaneenrijgen van de geplande doorlooptijden per bewerking ( figuur 14). De zo gevonden startdata worden op volgorde gerangschikt. Van deze lijst nemen we een bepaalde periode; een bepaalde horizon, bijvoorbeeld de komende drie planningsperioden. Alle orders welke binnen deze periode liggen worden met dringend aangeduid. Bij het vaststellen van de lengte van deze periode moeten we in acht nemen dat de komende periode waarschijnlijk te weinig orders zal bevatten om het conto volledig vol te plannen. Daarom worden een aantal opvolgende perioden ook in de planning betrokken.

Met het te vroeg inplannen van deze orders wordt later rekening gehouden. Zij zullen namelijk uitsluitend de resterende capaciteiten bezetten.

De opdrachten wier startdatum buiten de horizon liggen worden naar de planning teruggevoerd en in een latere planning in beschouwing genomen. Op deze wijze is dus een lijst van dringende opdrachten ontstaan.

Bij het inplannen zal er nu voor gezorgd moeten worden dat in de toekomst de belastingsgrens niet wordt overschreden. Deze stap wordt aangeduid met de vrijgave van orders.

De inplanning begint met order nr.1 van de lijst van dringende orders in te plannen op het conto van de eerst noodzakelijke bewerking A, met de daarbij behorende arbeidsinhoud. In de regel zal het conto hiermee nog niet gevuld zijn.

Vervolgens zal geprobeerd worden de tweede bewerking op het conto van de tweede bewerking C in te plannen. In het algemeen zal deze order deze capaciteitsgroep, in deze periode echter nog niet bereiken. Er bestaat echter een waarschijnlijkheid dat dit wel gebeurt. Indien we deze waarschijnlijkheid zouden kennen, zouden we de order met deze waarschijnlijkheid kunnen inplannen op het belastingsconto van bewerking C. Indien we alle orders aldus

verdisconteren, zal gemiddeld precies de ingeplande hoeveelheid werk ook daadwerkelijk de bewerkingsplaats bereiken.

Dit verdisconteren van de arbeidsinhoud met de waarschijnlijkheid van aankomst vormt de tweede stap van de planning. De order heeft ook nog een zekere waarschijnlijkheid om tot de derde of vierde bewerking te geraken. De arbeidsinhoud van deze bewerkingen wordt dan ook verdisconteerd.

Voor opdracht nr.1 wordt vervolgens de verdisconteerde waarde ingepland op bewerking C. Zo ook bewerking 3 op conto B. Zo komen alle orders van de lijst aan de orde. Indien de belastingsgrens overschreden wordt door een order, wordt het conto gesloten. Indien een order een gesloten conto tegenkomt, wordt de hele order niet ingepland. Al deze niet maakbare orders worden teruggevoerd naar de lijst met niet dringende orders en komen zodoende in een volgende planning weer aan de beurt.

De conto's worden vervolgens doorgegeven aan de productie waar de opdrachtvrijgave plaatsvindt. De afzonderlijke capaciteitsgroepen krijgen nu een lijst met orders die op bewerking liggen te wachten en orders die in de komende periode mogelijk aan zullen komen. Deze lijst wordt bijvoorbeeld op volgorde van binnenkomst van orders afgewerkt. Aan het einde van de periode meldt de capaciteitsgroep alle gereede orders af bij de planning. Een dataverwerkingssysteem zorgt er dan voor dat de conto's worden bijgewerkt. Afgemelde orders worden van het conto verwijderd en orders welke op andere capaciteitsgroepen zijn afgemeld worden op het conto opnieuw verdisconteerd (opgewaardeerd) (figuur 15 a+b). Op deze manier krijgt men nieuwe ruimte voor nieuw in te plannen orders.

Verdiscontering van orders.

Zoals reeds vermeld moet de verdiscontering gebeuren aan de hand van de waarschijnlijkheid waarmee een order de komende periode de betreffende capaciteitsgroep zal bereiken.

Hiertoe moeten we terug naar het doorloopdiagram. Wanneer we de maximale totale hoeveelheid ingeplande orders van een capaciteitsgroep beschouwen, zal deze maximaal de grootte van het conto bedragen. In deze periode wordt echter verwacht dat slechts een beperkt gedeelte wordt afgemeld. De waarschijnlijkheid dat een op het conto ingeplande order wordt afgemeld is dus gelijk aan de totale inhoud van het conto gedeeld door de af te melden hoeveelheid

werk. In het doorloopdiagram is dit:

$W_p = AB/BS$        $W_p =$  waarschijnlijkheid dat een order deze periode  
door de capaciteitsgroep  $p$  wordt afgemeld.

Dit is gelijk aan  $100/EPS$ .

Voor twee bewerkingen geldt een waarschijnlijkheid :

$$W_{ptot} = W(p-1) * W_p$$

Voor  $n$  bewerkingen is dit gelijk aan

$$W_{ptot} = W_0 * W_1 * \dots * W_p$$

$$W_{ptot} = 100/EPS_1 * 100/EPS_2 * \dots * 100/EPS_p$$

De in te plannen belasting is gelijk aan :

$$BEL_n = W_{ntot} * AI$$

Indien we bijvoorbeeld aannemen dat de EPS van alle capaciteitsgroepen 200 % bedraagt, geeft dit een waarschijnlijkheid voor de eerste bewerking van 100%, voor de tweede bewerking van 50%, voor de derde bewerking van 25% enz..

### 3.5 De invloed van de belastingsgrens.

In figuur 16 is het effect van de werking van de belastingsgrens weergegeven. De gevonden gegevens zijn bepaald middels een simulatie van een productie.

We kunnen uit de figuur afleiden dat een belastingsgrens tussen de 250% en 300% een redelijk compromis geeft tussen prestatie en doorlooptijd. Bij een lagere EPS krijgen we een te geringe prestatie, bij een te hoge EPS, wordt de doorlooptijd te lang. Uit simulaties blijkt dat een hogere belastingsgrens ook iets gunstigere leverbetrouwbaarheid geeft.

### 3.6 De invloed van de belastingshorizon.

Een verlenging van de belastingshorizon, betekent dat er meer orders voor inplanning in aanmerking komen. Uit simulatie blijkt dat dit een toename van het bestand en dus van de doorlooptijd geeft. Daartegenover geeft het echter ook een verhoging van de prestatie. We moeten echter niet vergeten dat een verlenging van de horizon betekend dat orders eerder definitief moeten zijn, hetgeen voor de klant en de onderneming als minder gunstig ervaren wordt.

### 3.7 Capaciteitsplanningssysteem volgens Wiendahl in vergelijking met de volgorde planning met capaciteitsafstemming.

In een onderzoek van Brehm [2] werd middels een bedrijfssimulatie de beide systemen met elkaar vergeleken. Deze bedrijfssimulatie was van tevoren getoetst aan de situatie in een bestaand bedrijf. Er werden drie verschillende belastingsituaties getoetst. De eerste belastingstoestand was gelijk aan de toestand zoals die in het bedrijf werd aangetroffen. Bij de tweede belastingstoestand werden middels een toevalsgenerator extra orders toegevoegd. Bij de derde situatie werden de planningsdata van de orders vervroegd.

Uit deze simulatie bleek:

- 1 Geen van beide systemen geeft een eenduidig beter resultaat in alle belastingstoestanden. In het algemeen kan gesteld worden dat bij een geringe belasting de belastingsafhankelijke opdracht-vrijgave (systeem Wiendahl) een beter resultaat geeft.
- 2 De vergroting van de planningshorizon heeft weinig invloed op het resultaat bij de belastingsafhankelijke opdracht vrijgave. Bij het systeem van volgorde planning met capaciteitsafstemming, stelt een vergroting van de planningshorizon grotere eisen aan de orders, daar de eenmaal opgestelde planning niet meer te veranderen valt.
- 3 De manier waarop de doorlooptijden van de orders van te voren wordt bepaald heeft grote invloed op de bereikte resultaten. De doorlooptijden vertonen een bij benadering exponentiële verdeling, waarbij het gemiddelde sterk wordt beïnvloed door toeval-lige grote doorlooptijden.
- 4 Het volgorde planningssysteem stelde hoge eisen aan de exactheid van de gebruikte gegevens daar de kwaliteit van het systeem erg afhangt van de manier waarop de geplande capaciteitsbezettingen ook daadwerkelijk worden ingevuld. Het belastingsafhankelijke capaciteitsplanningssysteem daarentegen is minder kritisch aangezien de planning uitsluitend gebruik maakt van het laatst mogelijke planningsdatum (de uiterste plandatum heeft dus slechts een relatieve betekenis).

5 Het belastingsafhankelijke planningssysteem heeft als groot voordeel dat het erg eenvoudig is. De voor de capaciteitsafstemming benodigde rekentijden voor beide systemen lagen in de verhouding 2,5:1 tot 4:1.

Bij deze simulatie werd met gewone gemiddelde doorlooptijden gerekend. Indien echter van de gewogen gemiddelde doorlooptijd gebruik gemaakt zou zijn, zou de volgorde planning slechter uit de bus zijn gekomen, daar dit systeem grote orders moeilijker inplant waardoor deze dus lange doorlooptijden krijgen. Hierdoor neemt de lineaire correlatiecoëfficiënt toe. De gewogen gemiddelde doorlooptijd zal hierdoor groter zijn dan de gewone gemiddelde doorlooptijd.

Opmerking 3 stelt dat de gebruikte schattingen voor de doorlooptijden erg beïnvloed worden door grote doorlooptijden. Indien deze gegevens afkomstig zouden zijn van een productie waar het belastingsafhankelijke capaciteits-plannings-systeem reeds langer is ingevoerd, zouden deze doorlooptijden een kleinere spreiding per bewerking vertonen, daar het systeem naar een constant bestand streeft.

Bij de simulaties hebben de systemen geen last van storingsgedrag of spoedorders. Vandaar dat over de gevoeligheid voor storingen geen uitspraak gedaan wordt. In het algemeen kan gesteld worden dat deze door het belastingsafhankelijke capaciteits-plannings-systeem makkelijker verwerkt kunnen worden en dat dit systeem dus minder gevoelig is voor storingen.

### 3.8 Toepasbaarheid van het planningssysteem volgens Wiendahl.

De vraag is nu; waar zal het voorgesteld systeem wel goed werken en waar juist niet?

Hiertoe moeten we de grondgedachte van het systeem nogmaals onder de loep nemen. Een van de doelstellingen is namelijk het constant houden van de doorlooptijden en dus het constant houden van de bestanden. Om dit te bereiken introduceert men een soort van regelcircuit. Vandaar dat we nog eens gaan kijken hoe dit regelcircuit werkt.



### 3.9 Het planningssysteem volgens Wiendahl als regelcircuit.

Het in figuur 17 weergegeven regelcircuit bestaat uit:

- De capaciteitsgroepen (bewerkingsstations)
- Een dataverwerkingssysteem
- Een centrale planning.

Een capaciteitsgroep wordt geschematiseerd door een trechter. Deze trechter bevat alle orders die direkt liggen te wachten (direkt bestand). De grootte van het direktbestand wordt constant teruggemeld aan het dataverwerkingssysteem. Onder de trechter bevindt zich een regelklep welke de prestatie van het systeem voorstelt. Deze klep is slechts over lange termijn te verstellen (de grove lange termijn planning). Verder wordt deze klep in zijn functioneren enigermate gestoord. Soms kan het voorkomen dat de klep plotseling dichtslaat, waarna reparatie noodzakelijk is (uitval en reparatie van machines).

Orders worden toegevoerd uit de planning of vanuit overige trechters.

Het dataverwerkingssysteem verwerkt alle toegevoerde data (in- en uitgangdata van orders) en bepaalt hieruit de belasting. Dit is geschematiseerd weergegeven middels vlotters in de trechters. Verder houdt dit systeem de belastingsconto's bij en informeert de planning regelmatig over de toestand van het productiesysteem.

De planning zorgt ervoor dat de belastingsconto's periodiek worden bijgevuld met dringende orders. Deze bijvulling stopt indien de maximum grens van een conto overschreden wordt. Binnen deze belastingsconto's neemt het direktbestand meestal het grootste gedeelte in beslag. Het overige gedeelte bestaat uit orders welke zich een of meerdere bewerkingen vandaan bevinden. De uitgifte van orders wordt weergegeven middels pijlen.

### 3.10 Reactie op storingen.

Indien in het schema trechter (A) een storing vertoont zal de afvoer van orders stagneren. Hierdoor neemt het bestand toe. Deze toename kan zover doorgaan totdat de vlotter het maximale bestand aangeeft. Het systeem geeft dan aan de planning door dat er geen nieuwe orders meer gewenst zijn. De planning reageert hier dus op door minder of geen orders meer naar de bewerking toe te sturen. De overige trechters blijven echter, de voor trechter (A) bestemde orders, uit hun bestand doorvoeren. Hierdoor zal het bestand in trechter (A) ook bij herstelde regelklep niet afnemen. Trechter (A) blijft aan de planning doorgeven dat geen orders meer gewenst zijn, totdat het effect van de verminderde inplanning, de trechter heeft bereikt. De overige trechters zitten op dat moment vrijwel zonder voor (a) bestemde orders. Hierdoor zal het bestand blijven dalen. Indien het bestand een minimum heeft bereikt, wordt aan de planning doorgegeven dat extra orders nodig zijn. Door de bovenbeschreven traagheid van het systeem zal ook deze maatregel enige tijd nodig hebben om trechter (A) te bereiken. Aldus ontstaat er een periodieke schommeling in het bestand.

Voor het werkelijke systeem vertaalt zich dit in de volgende situatie:

Indien het systeem stabiel is (figuur 18a) zal er elke periode een zekere hoeveelheid van het direct bestand worden afgemeld. Dit betekend dus dat een gedeelte van het directbestand van het conto wordt afgeschreven. Dit gedeelte wordt gedeeltelijk of geheel aangevuld door orders van het indirectbestand welke zijn aangemeld en welke dus worden opgewaardeerd en tot het directbestand gaan behoren. Binnen het indirectbestand worden ook orders opgewaardeerd. Hierdoor ontstaat een min of meer constante ruimte voor nieuw in te plannen orders. Deze orders kunnen als direct of als indirect bestand worden ingepland, afhankelijk van de positie die de bewerking in het productieproces inneemt.

Indien er een storing van de machine (A) optreedt (uitvallen van de machine) of indien de bewerking een spoedorder moet verwerken (welke niet in de reguliere planning is opgenomen) zal de afmelding van orders lager zijn dan normaal (figuur 18b). De toevoer en de doorvoer op andere bewerkingsstations, gaat echter gewoon

door. Het gevolg hiervan is dat er op het conto van deze bewerking minder ruimte ontstaat voor nieuw in te plannen orders. In het ergste geval kan zelfs de belastinggrens overschreden worden. Hierdoor zullen er in de komende periode minder of geen orders meer op dit conto worden ingepland (figuur 18c).

De bewerkingsstations die na bewerking (A) komen, krijgen door deze storing meer ruimte voor nieuwe orders. Hier kan dus meer worden ingepland, zolang de ingeplande orders het bewuste bewerkingsstation (A) maar niet hoeven te passeren.

Indien de prestatie constant blijft, zal het "extra" directbestand de komende periode niet worden afgebouwd omdat de toevoer van orders vanuit overige bewerkingsstations gewoon doorgaat. Het totale bestand zal echter weinig afnemen omdat de indirectbestanden, door hun verdiscontering, slechts een gering deel uitmaken van het totale bestand. Dus zal er in de opvolgende perioden weer weinig of geen orders aan het conto worden toegevoegd. Dit gaat zolang door totdat het effect van de verminderde inplanning bewerkingsstation (A) heeft bereikt (figuur 18 d). Daar er nu echter gedurende enige tijd een verminderde inplanning heeft plaatsgevonden, zal het bestand in volgende perioden verder verminderen (figuur 18 e). Dit verminderd bestand geeft weer meer ruimte om orders in te plannen, waardoor er weer meer orders per periode worden ingepland dan in de stabiele toestand het geval was. Deze extra inplanning gedurende enige perioden geeft weer een verminderde inplanning in volgende perioden enz. (figuur 18 f+g). Zodoende krijgt men een periodieke schommeling in de grootte van het bestand.

De frequentie van deze schommeling is afhankelijk van de positie die het bewerkingsstation in de productie van het product inneemt en van de totale doorlooptijd van de order. Een bewerkingsstation welke uitsluitend de eerste bewerkingen van orders verricht, welk dus uitsluitend een directbestand heeft, zal hier geen last van hebben, terwijl bewerkingen aan het einde van een productielijn hier juist wel last van zullen ondervinden.

De amplitude van de periodieke bestandsschommeling is ook afhankelijk van de plaats die het bewerkingsstation in de totale productie inneemt. Indien er normaal gesproken uitsluitend indirectbestanden worden ingepland, zal een vergroting van het directbestand door een storing, het niet inplannen van meerdere orders tot gevolg

hebben (veroorzaakt door de verdiscontering van de waarschijnlijkheid van doorvoer). Bewerkingsstations die "vooraan" in de bewerking van het product staan, worden volgepland met orders welke minder zijn "afgeprijsd". Hier heeft een vergroting van het directbestand slechts het niet inplannen van enkele orders tot gevolg. Verder is de amplitude nog afhankelijk van de lengte van de storing. Een lange storing geeft een grote verhoging van het directbestand en dus een grote amplitude.

De schommeling zal na verloop van tijd langzaam uitdempen omdat er meestal orders worden ingepland wier eerste bewerking zich op verschillende afstand van dit bewerkingsstation bevinden. Bovendien zijn er vaker meerdere bewerkingsstations, waardoor overbelastingen kunnen "uitwijken".

Zoals boven reeds is uitgelegd zal dit verschijnsel met name optreden in een zuivere lijnproductie met veel bewerkingen en met storingen in de laatste bewerkingen.

Indien we dit mogelijke probleem zouden willen oplossen, dan zouden we de lijnproductie in een aantal deelplanningen moeten opdelen. Hierdoor zou de afstand tot de ordertoevoer (de planning) verkleind worden. Hierbij doet zich dan weer het probleem voor dat we de afzonderlijke deelplanningen weer op elkaar moeten afstemmen.

Eigenlijk zouden we de terugkoppeling sneller willen maken. Aan de hand van het trechtermodel wordt hiertoe in het volgende hoofdstuk een voorstel gedaan.

## H4 Belastingafhankelijke opdrachtvrijgave met gebruik van directe terugkoppeling.

### 4.1 Systeembeschrijving.

In figuur 19 is dit uitgebreide systeem schematisch weergegeven.

Ook hier bevat het systeem weer:

- bewerkingsstations voorgesteld door uitgebreide trechters
- dataverwerkingssysteem
- planning

Ook hier wordt de bewerking voorgesteld door een trechter. De trechter (figuur 20) is in dit geval echter uitgebreid met een sorteerinrichting voor orders (a). Deze sorteerinrichting sorteert de orders naar de opvolgende bewerking. Elke sorteerbak wordt afgesloten door een regelklep (b) welke verbonden is met de opvolgende bewerking (c). De kleppen regelen aldus de doorstroom van orders naar de uiteindelijke trechter. Daar ondergaan de orders weer hun bewerking en verlaten via de klep (d) onderaan de trechter weer het bewerkingsstation.

Het totale systeem wordt "gewogen" doordat de trechter is verbonden met een veerbalans (e). De stand van deze veerbalans (f) stuurt de regelkleppen van de andere bewerkingen aan, welke corresponderen met dit systeem (g). De stand van deze veerbalans wordt eveneens teruggemeld aan het dataverwerkingssysteem.

Dit dataverwerkingssysteem (figuur 19) zorgt weer voor een overzicht van prestatie (een resultaten analyse) en zorgt tevens voor de terugmelding van de actuele toestand naar de planning.

De planning geeft de orders weer vrij (doorstroom van producten d.m.v. pijlen).

Indien er nu een storing optreedt heeft dit tot gevolg dat de trechter verder volloopt en dat de veerbalans doorslaat. Ook nu wordt dit verhoogde bestand via het dataverwerkingssysteem doorgegeven aan de planning, welke reageert met een verminderde inplanning van orders.

Daarnaast leidt dit verhoogde bestand tot het geheel of gedeeltelijk afsluiten van de desbetreffende kleppen in de sorteerbakken. Hierdoor komen orders welke voor het in onbalans zijnde systeem bestemd zijn, langzamer door deze bewerking. De toevoer naar het

systeem met een verhoogd bestand wordt hierdoor minder. Indien de trechter weer normaal presteert, betekent dit dat het verhoogde bestand weer snel wordt afgebouwd door de verminderde toevoer. De trechter geeft dan ook al snel weer door, dat de toestand normaal is, zodat de sorteerkleppen de orders weer doorlaten. Intussen is de eenmalige verminderde inplanning weer snel gemengd met de nog achtergebleven orders. Zij zullen de bewuste trechter dan ook als normale toevoer bereiken.

We hebben nu voor een korte tijdelijke terugkoppeling gezorgd welke de gevolgen van een storing direct afbouwt. De grote terugkoppeling zoals bij het Wiendahl model blijft nodig omdat de korte terugkoppeling de orders slechts achterhoudt. Slechts door een eenmalig verminderde inplanning kan het totaalbestand weer naar het oude niveau worden teruggebracht.

#### 4.2 Korte terugkoppeling in de praktijk.

De korte terugkoppeling kan plaatsvinden door bij de werkuitgifte in de orderslijst prioriteiten aan te geven. Deze prioriteiten dienen afhankelijk te zijn van de belastingstoestand van opvolgende bewerkingen (regelkleppen in de sorteerbak). Indien het directbestand van een bewerking erg groot is, krijgen de daarvoor bestemde orders een lage prioriteit. Indien het directbestand van de bewerking klein is, krijgen de orders een hoge prioriteit. Op deze manier worden korte bestandsstijgingen en dalingen geëgaliseerd.

In het doorloopdiagram (figuur 21) ziet dit als volgt uit: Uitgaande van een stabiele situatie veroorzaakt een storing een verminderde uitstoot van orders (figuur 21a). Dit leidt tot verhoogd bestand (figuur 21b). Dit te hoge bestand leidt niet alleen tot een verminderde inplanning, maar ook tot een verminderde toevoer naar het directbestand (figuur 21c). Het directbestand wordt hierdoor weer normaal (figuur 21d). Na verloop van tijd zal het indirectbestand, door de verminderde inplanning, weer het normale niveau aannemen.

## Slotconclusie.

Het is moeilijk om een algemeen oordeel over het planningssysteem volgens Wiendahl te geven. Het systeem biedt als enige een volledig inzicht in de totstandkoming van de produktiegrootheden en hun onderlinge relaties. Daarnaast is planningssysteem erg eenvoudig en makkelijk te overzien. Voor het eerst tracht men ook de productie in z'n geheel te beheersen en te optimaliseren.

Daar staat echter tegenover dat de afzonderlijke orders verwaarloosd worden. Het systeem geeft in de planning niet aan of de orders tijdig gereed komen. In de gangbare systemen is men genoodzaakt op vertragingen van orders tijdig in te springen. Dit gebeurt meestal middels overwerk etc.. In het systeem volgens Wiendahl heeft men hier tussentijds geen kijk op. Men hoopt dat men de order tijdig heeft ingepland en tracht vervolgens, middels het beheersen van de bestanden, de order ook weer op tijd uit de produktie te krijgen. Tussentijds ingrijpen kan slechts geïnitieerd worden indien men een analyse van de ordervoortgang maakt, hetgeen niet tijdens het plannen gebeurt. We kunnen dus stellen dat het plannen van een order en het plannen van het productieapparaat gescheiden plaatsvindt. Het gevolg hiervan kan bijvoorbeeld de voorheen genoemde schommeling in het bestand van een bewerkingsstation zijn. In de gangbare planningssystemen had de storing opgelost dienen te worden middels overwerk, daar een aanpassing van de planning veelal niet mogelijk is.

We kunnen dan ook samenvattend stellen dat het systeem goed kan werken in bedrijven met:

- weinig bewerkingen per order
- een gelijkmatige ordersamenstelling
- lage belasting van het productieapparaat
- geen zuivere lijnproductie

### Literatuurlijst.

- [1] Wiendahl H.P. Belastungsorientierte Fertigungssteuerung
- [2] Brehm Z.W. Vergleich eines deterministischen und statistischen Kapazitaets-abstimmungsverfahren mit Hilfe der Simulation und realer Betriebsdaten. Institut fuer Fabrikanlagen der Universitaet Hannover.
- [3] Bobenhausen F. Analyse der arbeitsvorgangsbezogenen Durchlaufzeitstruktur in Betrieben der Einzel- und Kleinserien-fertigung. Universitaet Dortmund
- [4] Papendieck A.J. Reihenfolgen und Losgroesen in der Serienfertigung untersucht an einem praxis bezogenen Simulationsmodell. T.U. Braunschweig
- [5] Kosten L. Stochastic theory of service systems. T.U. Delft
- [6] Devore J. Probability and statistics for engineering and sciences.
- [7] Chatfield C. Statistics for technology.
- [8] Herhauer An empirically dirived simulation to explore sequecing decisions.
- [9] Guenter H. Das Dilemma der Arbeitsablaufplanung zielvertraegichkeit bei der zeitlichen Strukturierung.
- [10] Gaalman J.C. Middellange termijnplanningsprobleem opgevat als stochastisch regelprobleem.
- [11] Goldratt E.M. Het doel.



# **Bijlage 1**

## Invloed van het gebruik van statistische data in de planning.

In planningssystemen leidt het deterministisch gebruik van statistische waarden vaak tot grote afwijkingen. In dit hoofdstuk worden hiervan enkele behandeld.

### 1 Bepalen van de ideale aaneenschakeling van bewerkingen.

Bij sommige planningssystemen wordt getracht een bewerkingsstation volledig te bezetten door orders ideaal aan elkaar te rijgen (zie 2.5). Men vergeet hierbij dat we met gemiddelde waarden te doen hebben, welke afkomstig zijn van een statistische verdeling. Het produceren van een serie van  $n$  stuks betekent niet alleen dat we een gemiddelde doorlooptijd hebben van  $n \times$  de gemiddelde bewerkingstijd per product, maar ook dat we een spreiding op dit gemiddelde krijgen welke  $\sqrt{n} \times$  de spreiding van een bewerking bedraagt. Het aaneenrijgen van bewerkingen geeft echter nog een ander probleem. Indien een order te vroeg is, zal hij tijdelijk als voorraad worden opgeslagen. Indien hij echter te laat komt, moet de bewerking wachten. Hierdoor middelen te vroege en te late orders zich niet uit. De som van de gemiddelde bewerkingstijden zal dan ook niet de gemiddelde totale bewerkingstijd bedragen. Hierdoor ontstaat er altijd een achterstand ten opzichte van de geplande tijden. De mate waarin dit gebeurt hangt af van de verdeling van de bewerkingstijden.

Wanneer we in de planning voor een bewerkingsstation de mogelijkheden bieden uit meerdere orders te kiezen, zal leegloop om deze reden natuurlijk nooit voorkomen en zal er wel een redelijke uitmiddeling plaatsvinden.

### 2 Het afschatten van de benodigde doorlooptijd.

Om de uiterste startdatum van een order vast te stellen, is het noodzakelijk de doorlooptijd van een order af te schatten. In het algemeen gebeurt dit door de gemiddelde bewerkings-, transport-, omstel en wachttijden, bij elkaar op te tellen en hierbij een zekere veiligheidsmarge op te tellen. Deze tijden blijken niet erg betrouwbaar. Vandaar dat de mogelijkheid werd bekeken om deze tijden op een statistisch meer verantwoorde manier bij elkaar op te tellen.

Indien we de statistische verdeling van de totale doorlooptijd zouden kennen, zouden we een doorlooptijd kunnen aangeven, waarbij  $x\%$  van alle gevonden doorlooptijden gereed zijn. Deze tijd zou dan als statistisch gefundeerde schatter van de doorlooptijd, kunnen optreden. Er treden echter een aantal problemen op:

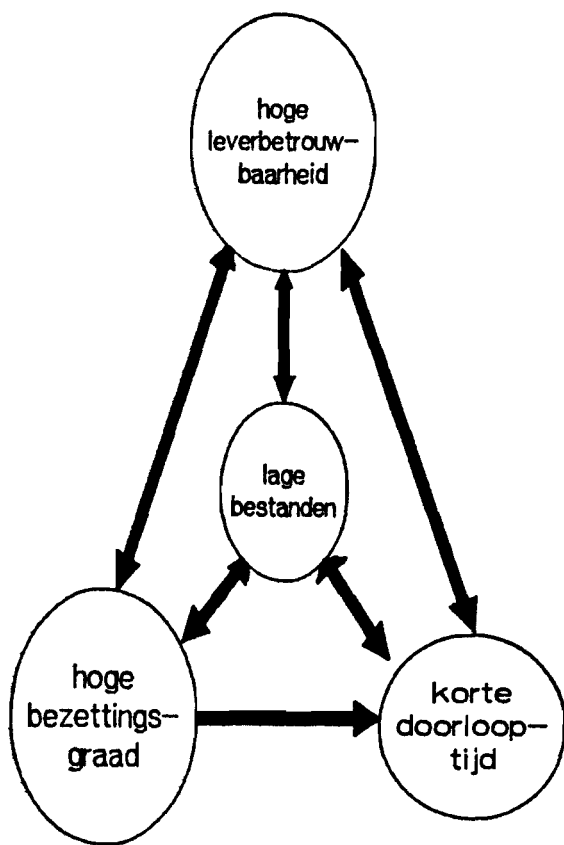
- 1 Indien de verdeling een grote spreiding vertoont (hetgeen te verwachten is), zullen we ver van het gemiddelde moeten gaan zitten. Dit zal leiden tot een te vroege inplanning voor de meeste orders, hetgeen tot een "verstopping van de productie" leidt. Het zal dan ook moeilijk aan te geven zijn, waar we een goede afschatting van de doorlooptijd hebben.
- 2 De doorlooptijd die bekend is, is altijd een in het verleden gemeten doorlooptijd. De vraag is of deze verdeling representatief is. De doorlooptijd ontstaat namelijk bij een zekere (unieke) toestand van het productiesysteem. De actuele toestand kan hier sterk van afwijken waardoor de doorlooptijdverdeling welke verkregen zal worden hier sterk afwijkt van de werkelijkheid. De enige oplossing voor dit probleem is het constant houden van mijn productie, dus het bestand, omdat de wachttijd verreweg het grootste aandeel heeft in de totale doorlooptijd.
- 3 Het bijhouden van alle doorlooptijden van alle mogelijke producten is een ondoenlijke zaak, daarom zou men kunnen proberen, de doorlooptijd verdeling te kunnen bepalen aan de hand van gegevens over deelbewerkingen.  
Hiertoe zou men eerst de gemeten verdelingen welke discontinu zijn eerst moeten omzetten in een passende continue verdelingen, bijvoorbeeld een Weibull-verdelingen. Deze zou men dan statistisch bij elkaar willen optellen (convolueren). Hieruit zou dan de uiteindelijke verdeling moeten volgen.  
Bij het omzetten van een discontinuë functie in een continue functie ontstaat altijd een zekere fout. Hoe groot deze fout bij de totale sommatie zal zijn, zal moeilijk af te schatten zijn. Verder is het de vraag of we de afzonderlijke deeltijden wel statistisch kunnen sommeren, daar de afzonderlijke deeltijden niet onafhankelijk zijn. De order beïnvloed met zijn aanwezigheid namelijk de overige tijden. Zo zal een wachtrij korter zijn

indien een order te laat bij deze wachtrij aankomt. Daar komt nog bij dat er veelal met prioriteitsregels wordt gewerkt, welke in direkte relatie staan met de geplande levertermijn, b.v. meest dringende order eerst.

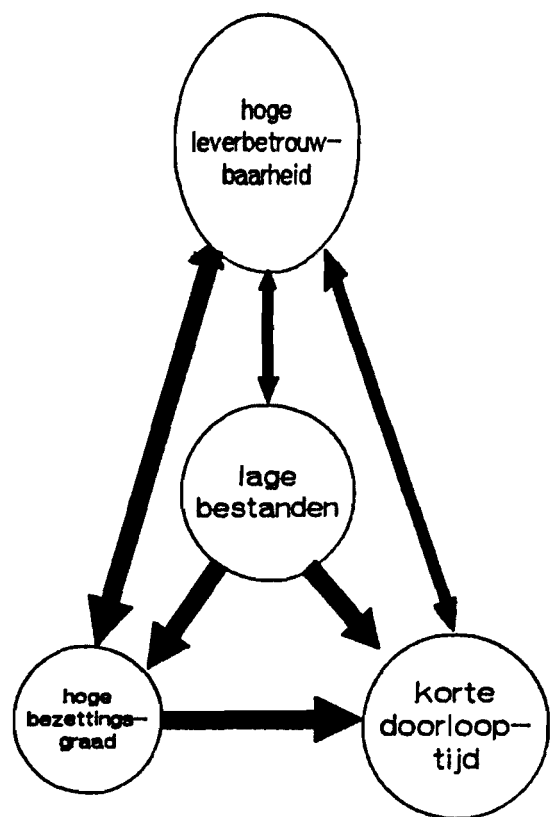
We kunnen, mijns inziens, dus de doorlooptijden niet beter afschatten door statische manipulaties. De enige mogelijkheid die we hebben om de voorspelling van doorlooptijden beter te maken, is het constanter houden van het productiesysteem. Indien onze wachtrijen in lengte weinig veranderen, zullen ook de wachttijden weinig veranderen, waardoor we constantere tijden krijgen. De afwijkingen van de werkelijke situatie ten opzichte van de planning zal hierdoor een stuk minder worden.

# **Bijlage 2**

## **Figuren**

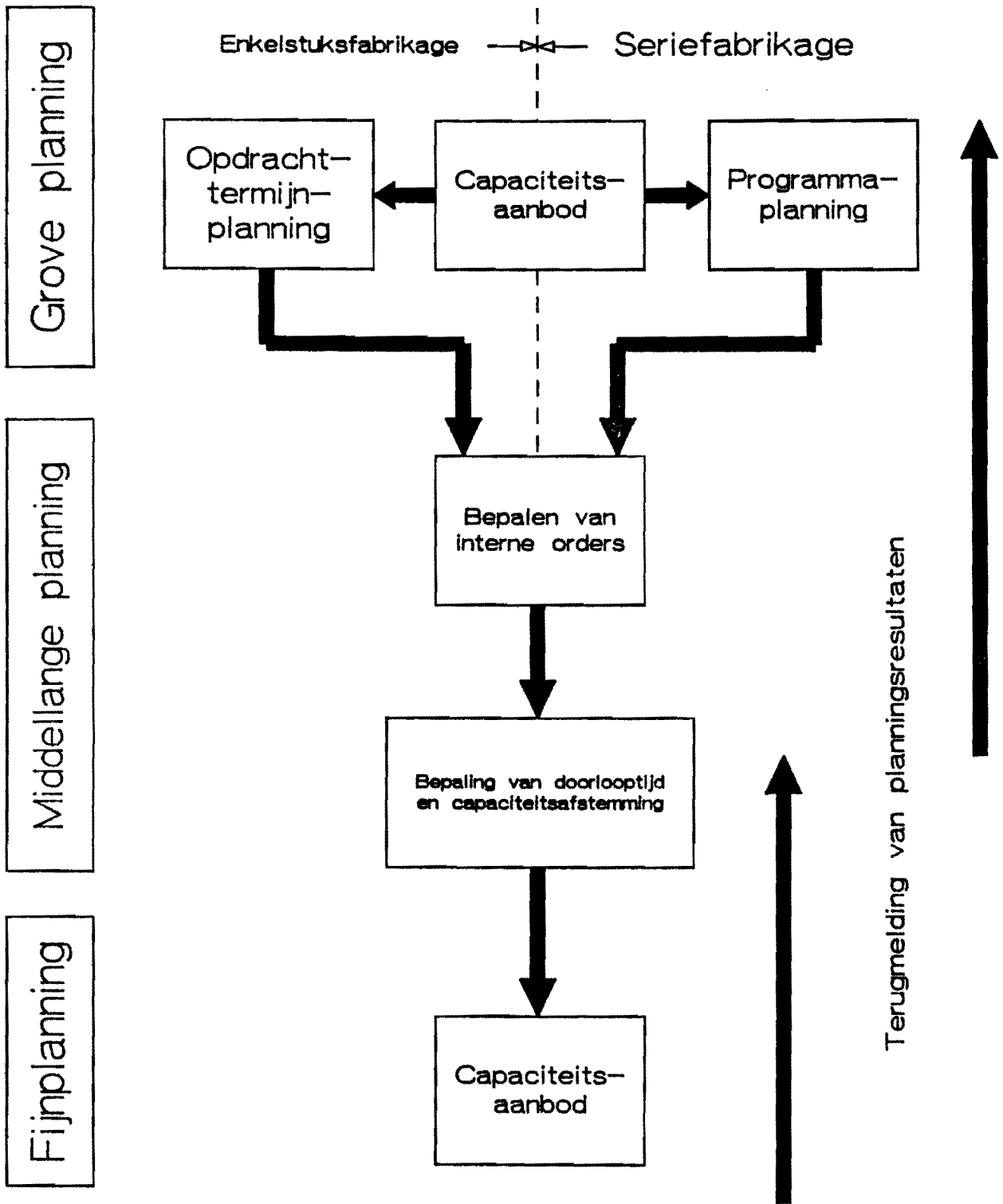


vroeger

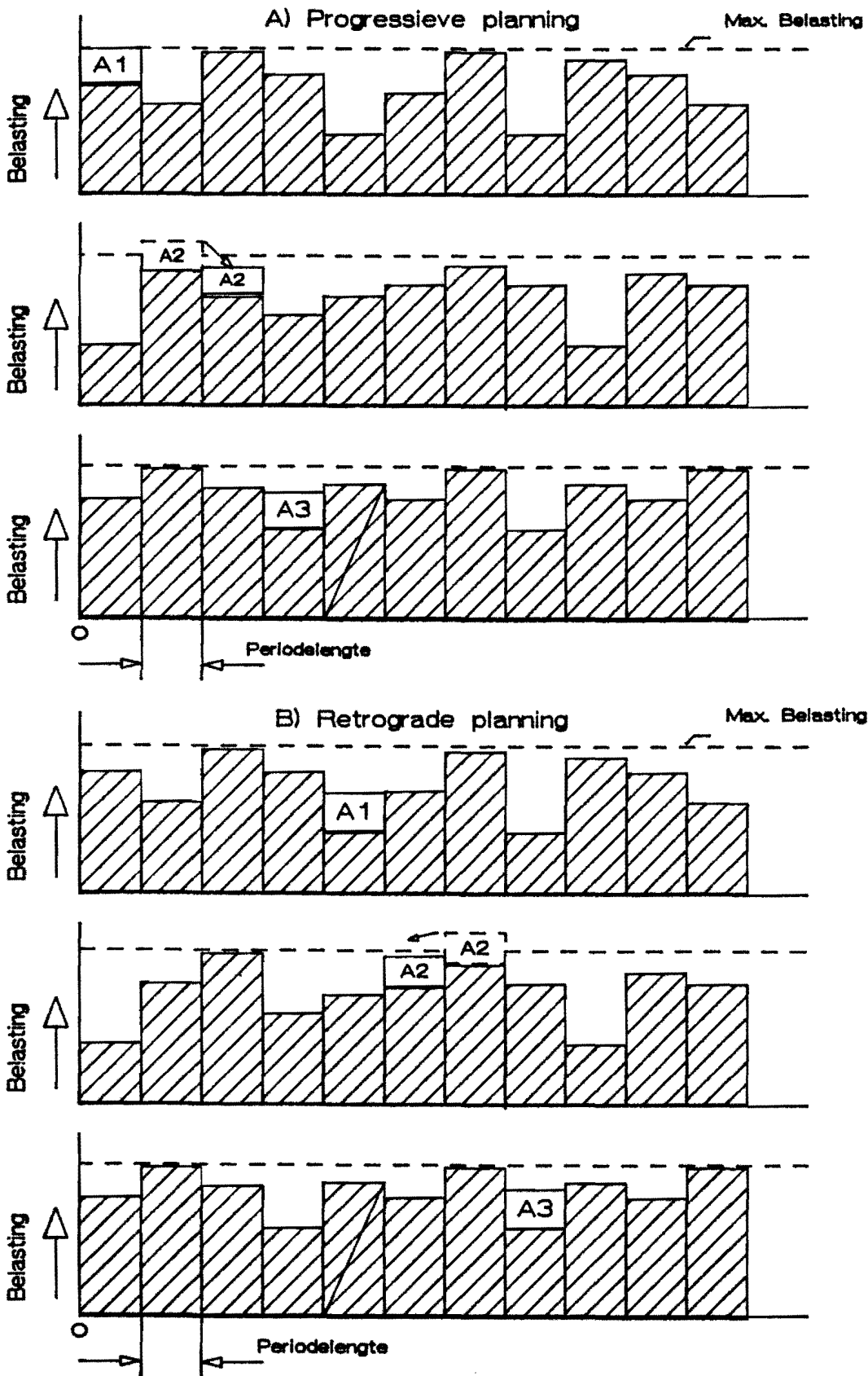


nu

Figuur 1

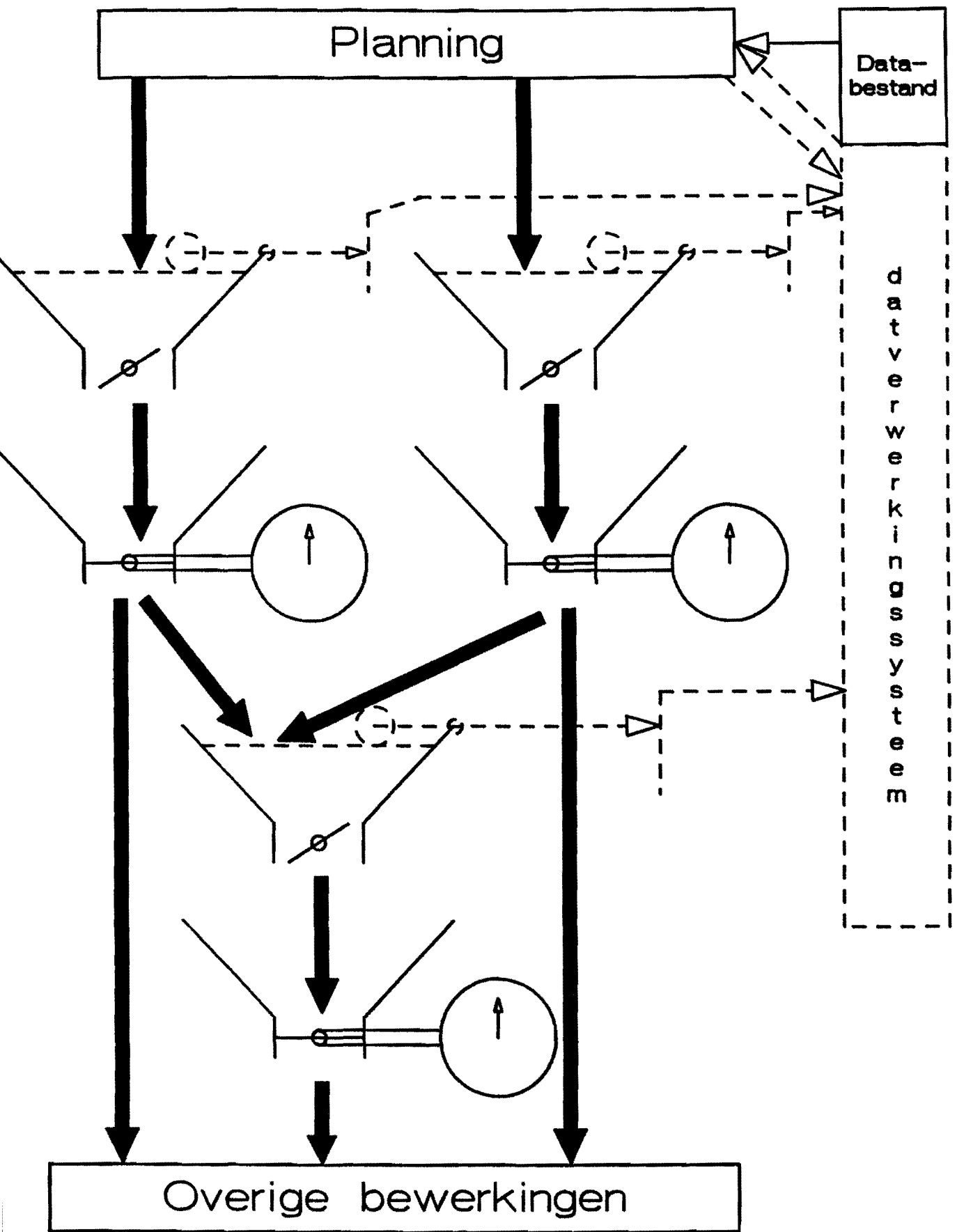


Figuur 2

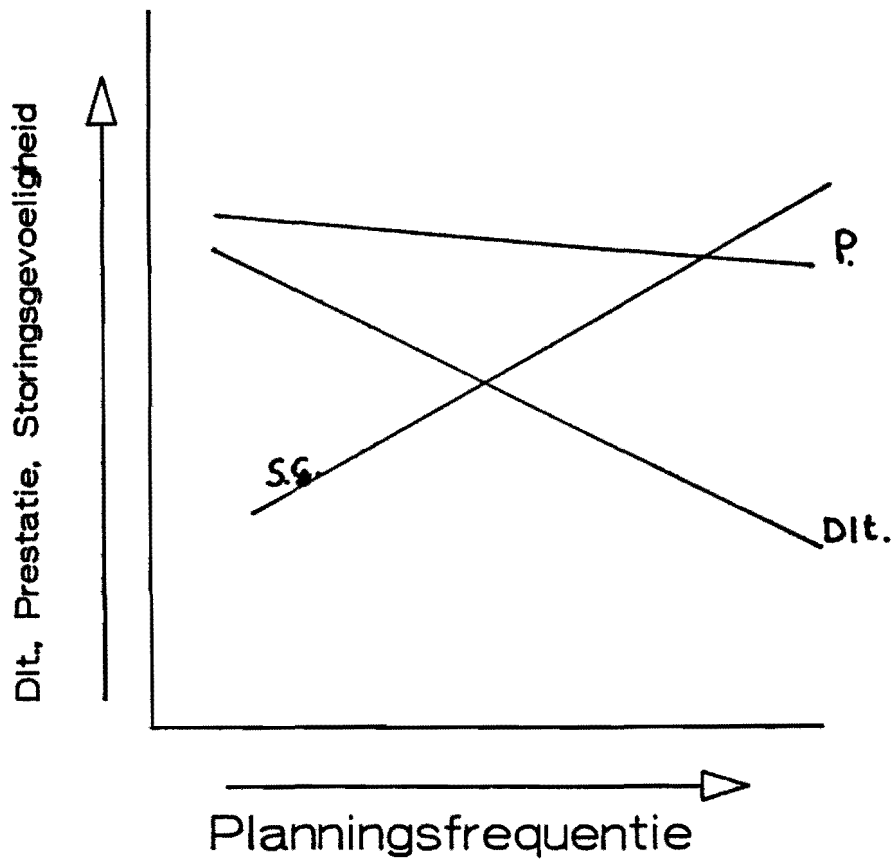


Figuur 3

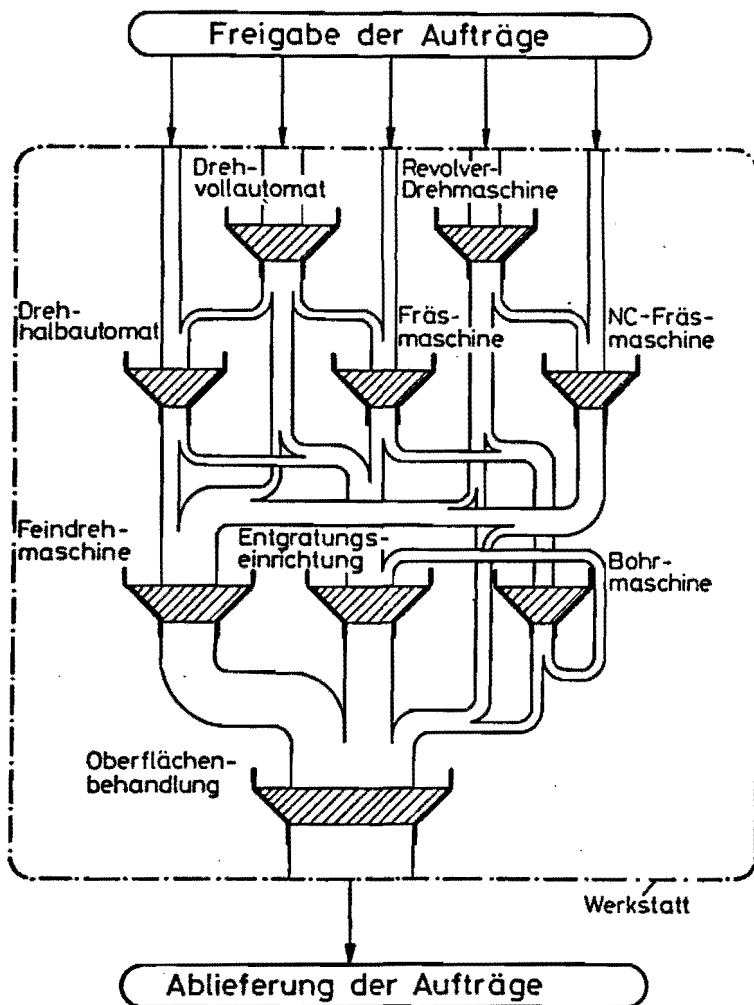




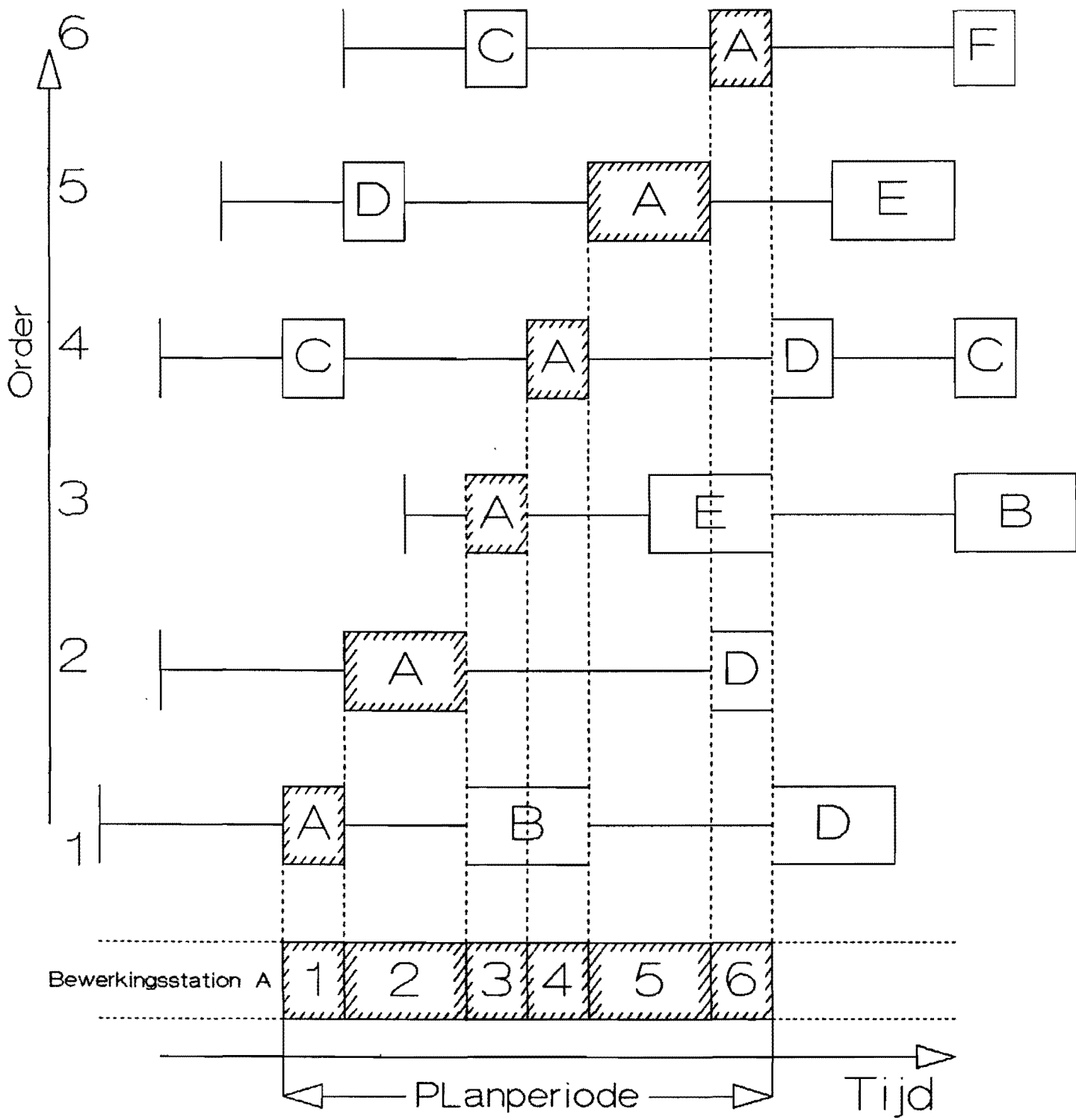
Figuur 4



Figur 5

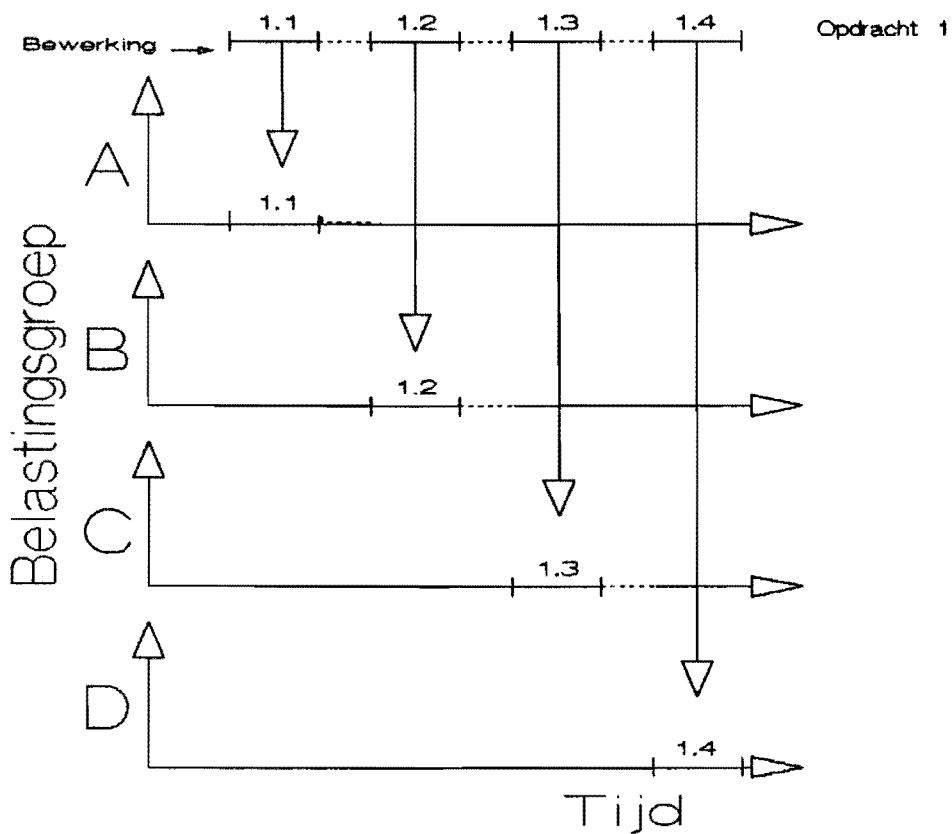


Figur 8

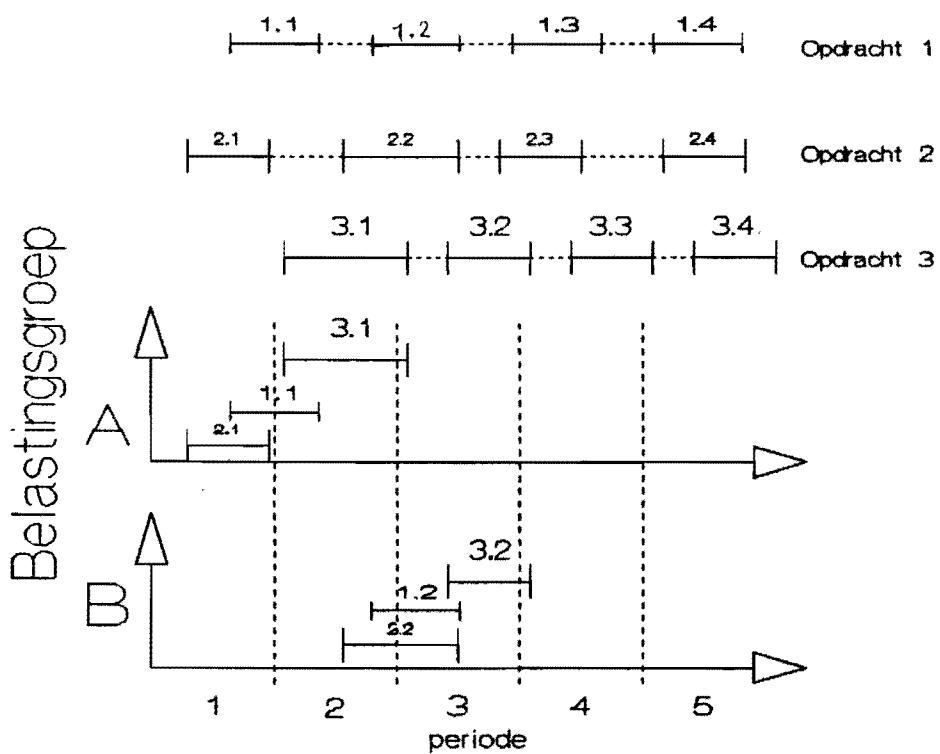


Figuur 6

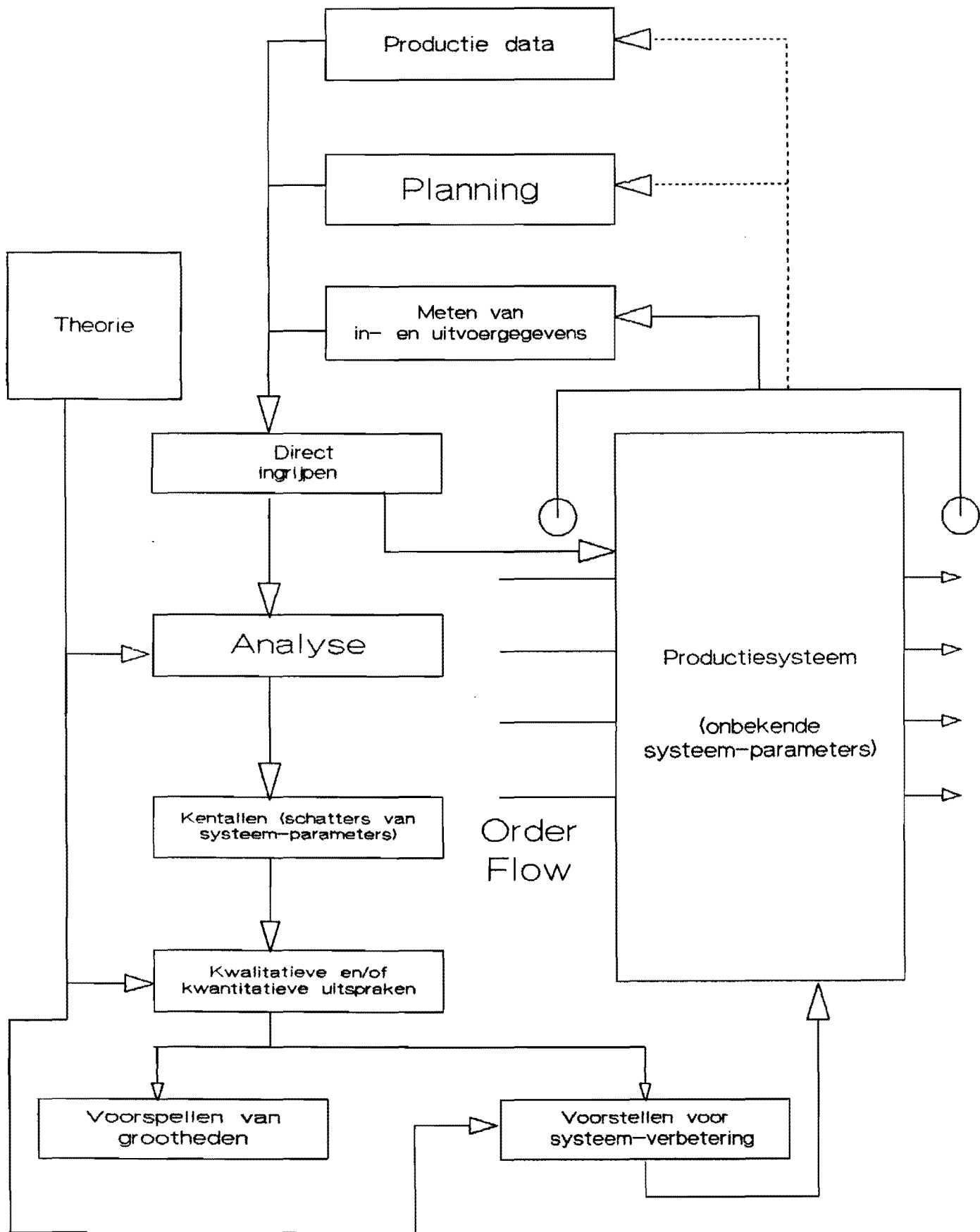
# Opdracht planning



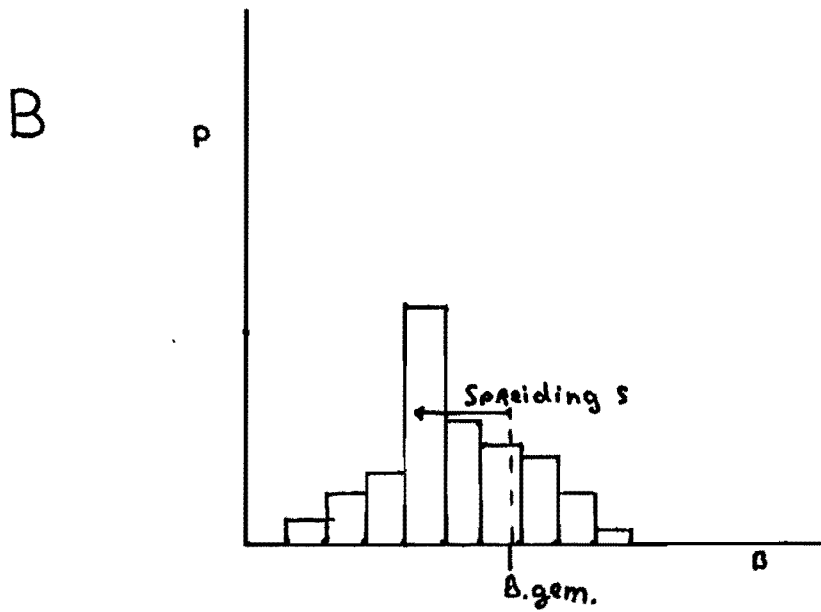
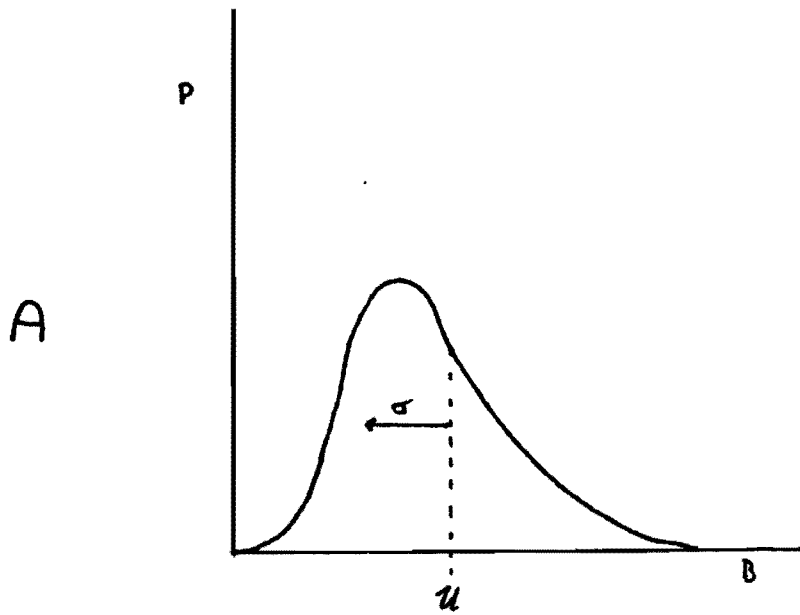
# Capaciteitsplanning



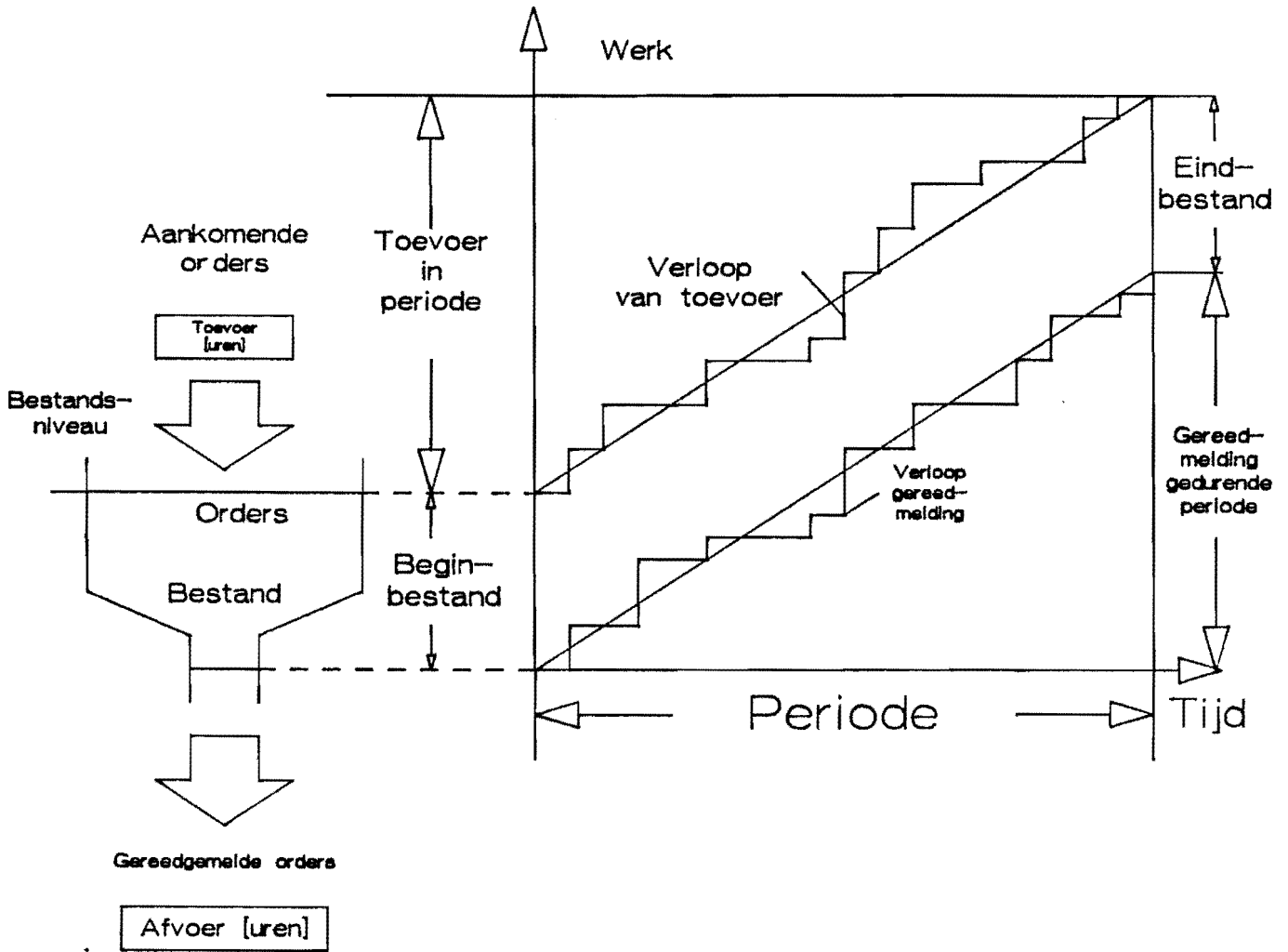
Figuur 7



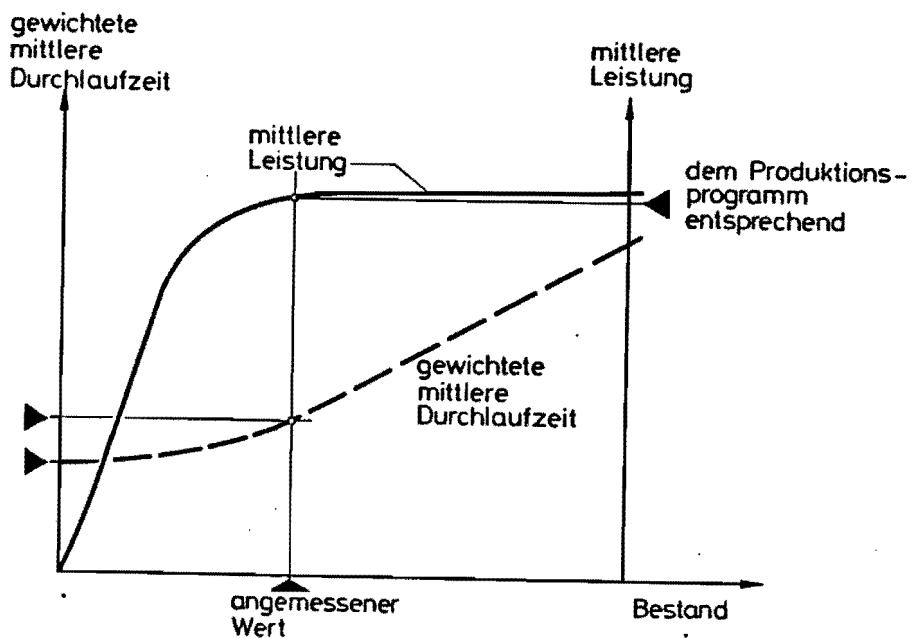
Figuur 9



Figuur 10



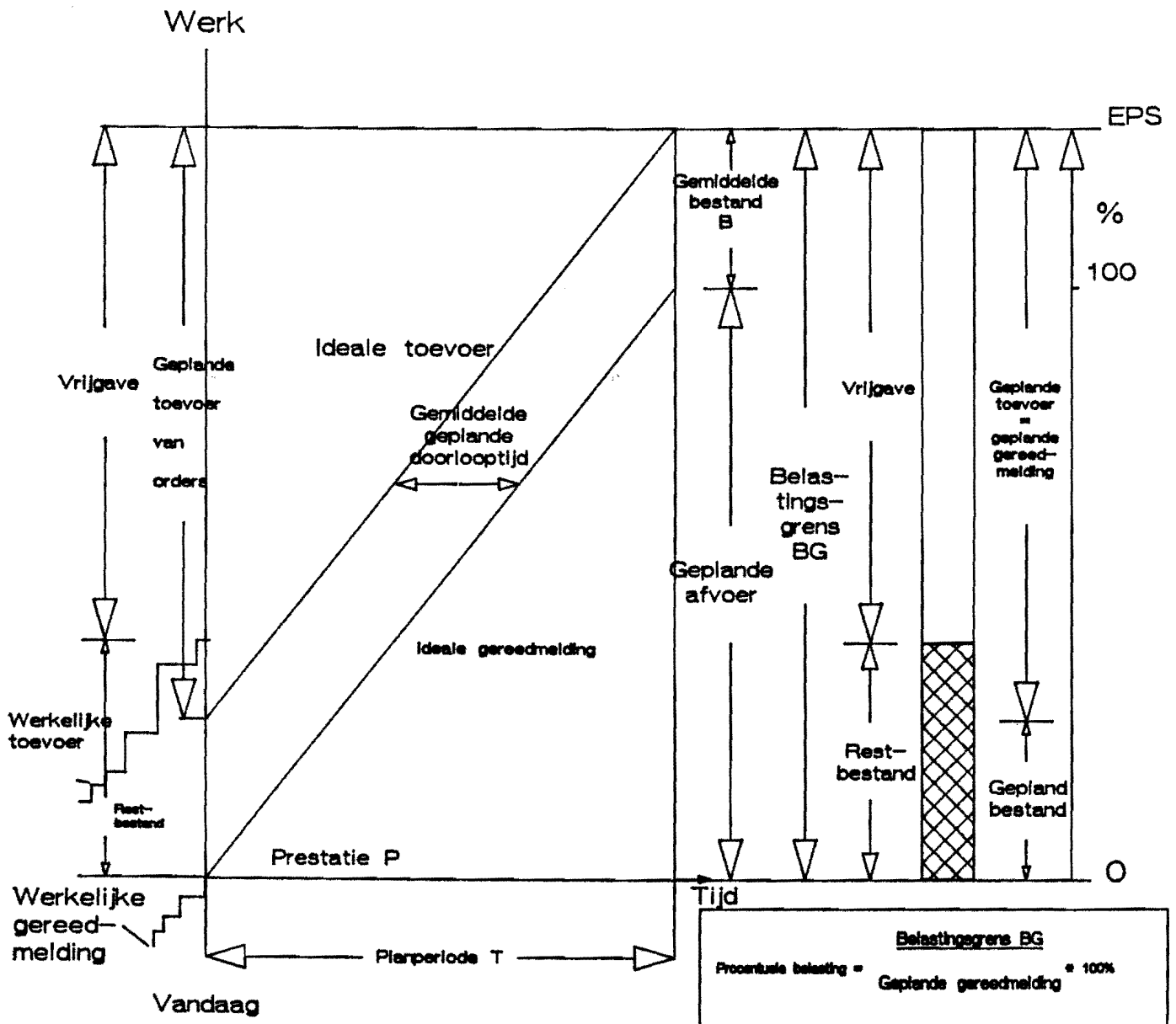
Figuur 11



Figuur 12

A) Doorloopdiagram

B) Belastingconto

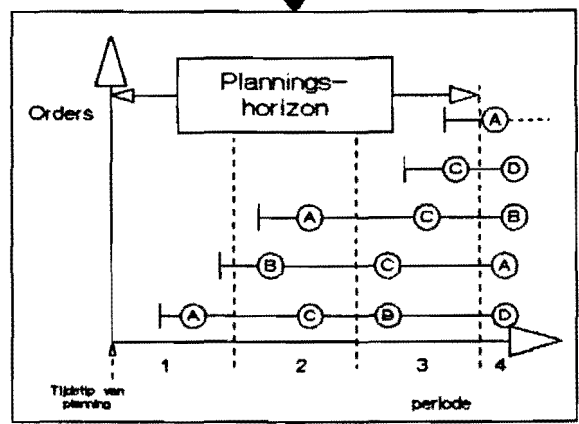


Figuur 13



Stap 1  
Termijnbepaling

Orders

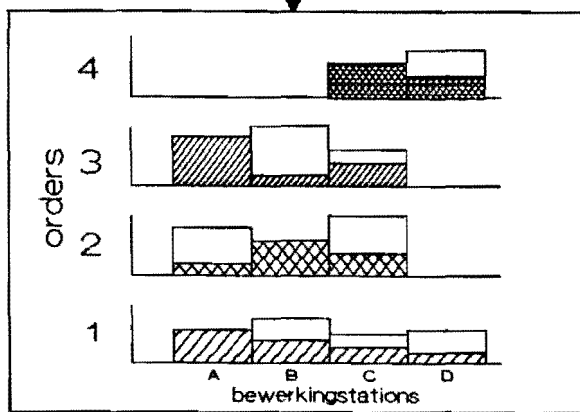


niet-  
dringende  
opdrachten

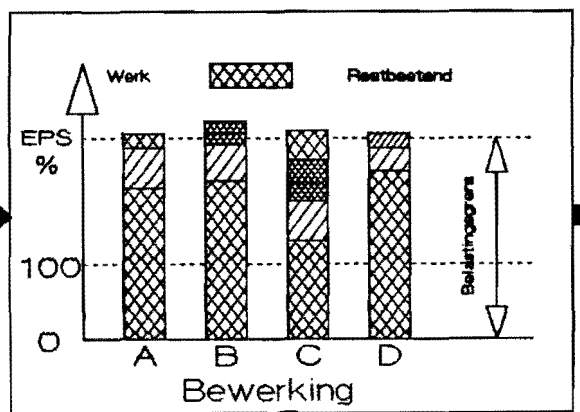
niet maakbare  
orders

Dringende  
opdrachten

Stap 2  
Verdiscontering



Stap 3  
Vrijgave



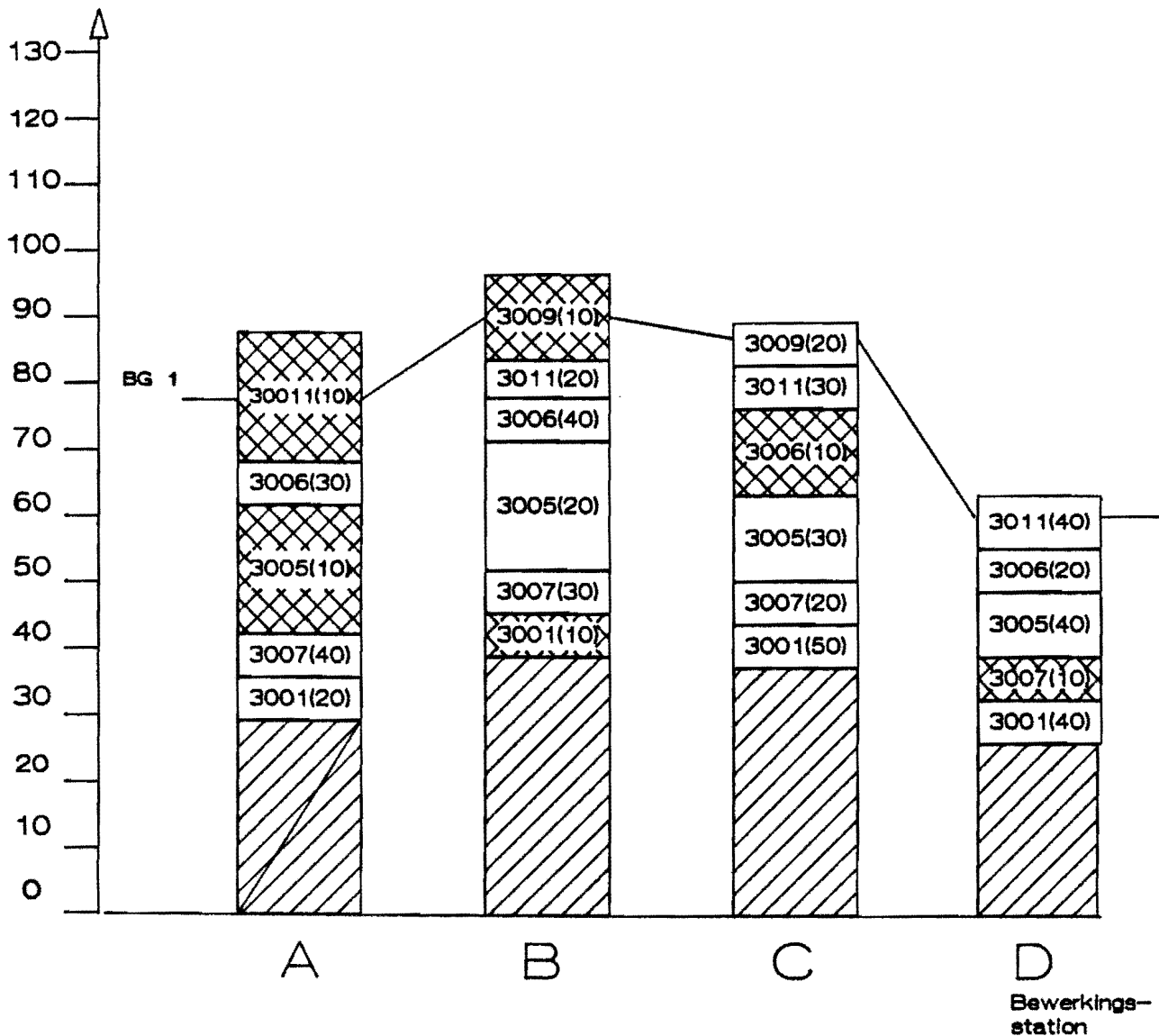
verdiscon-  
teerde orders

vrijgegeven opdrachten

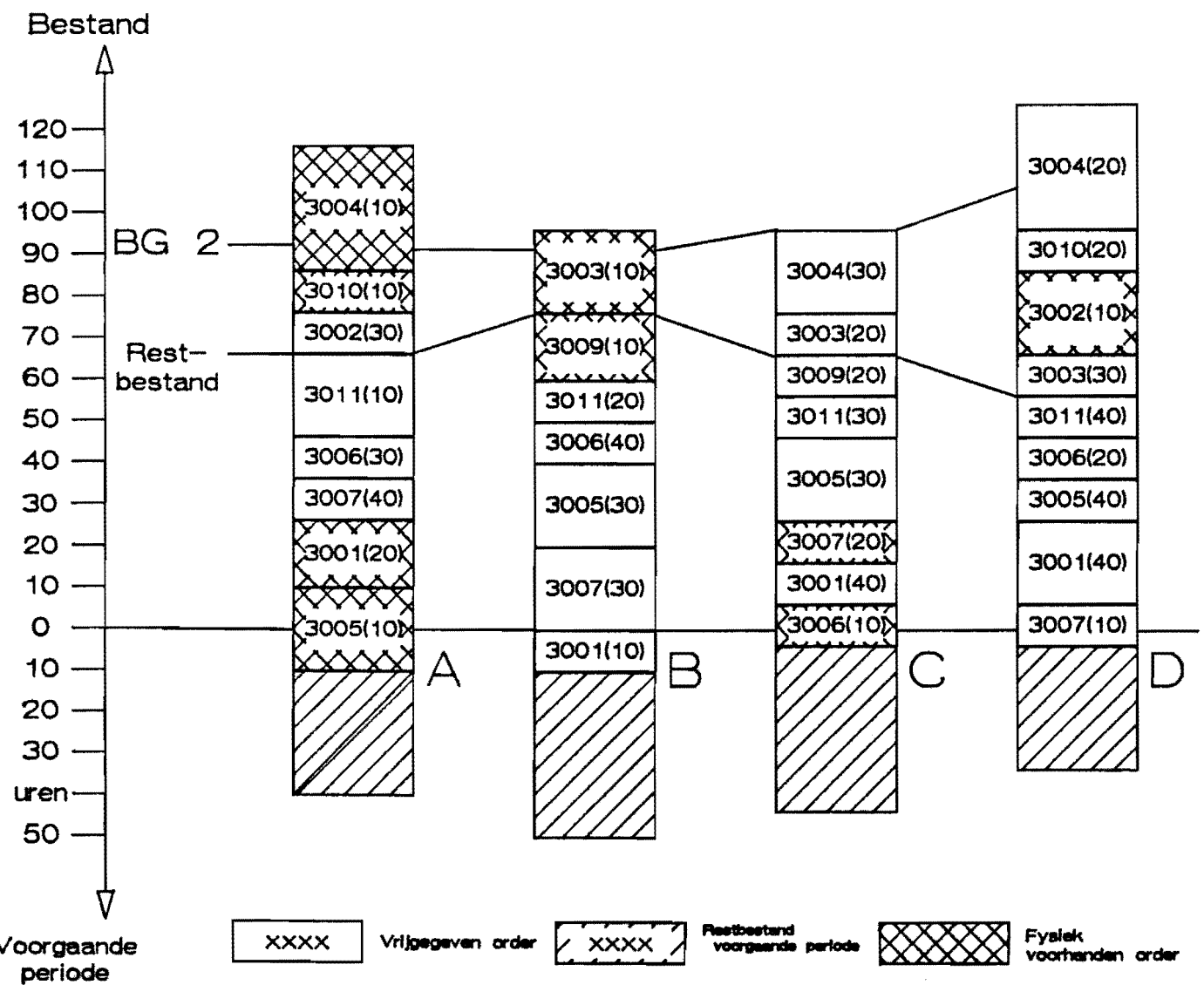
Verdisconteerde orders

Figuur 14

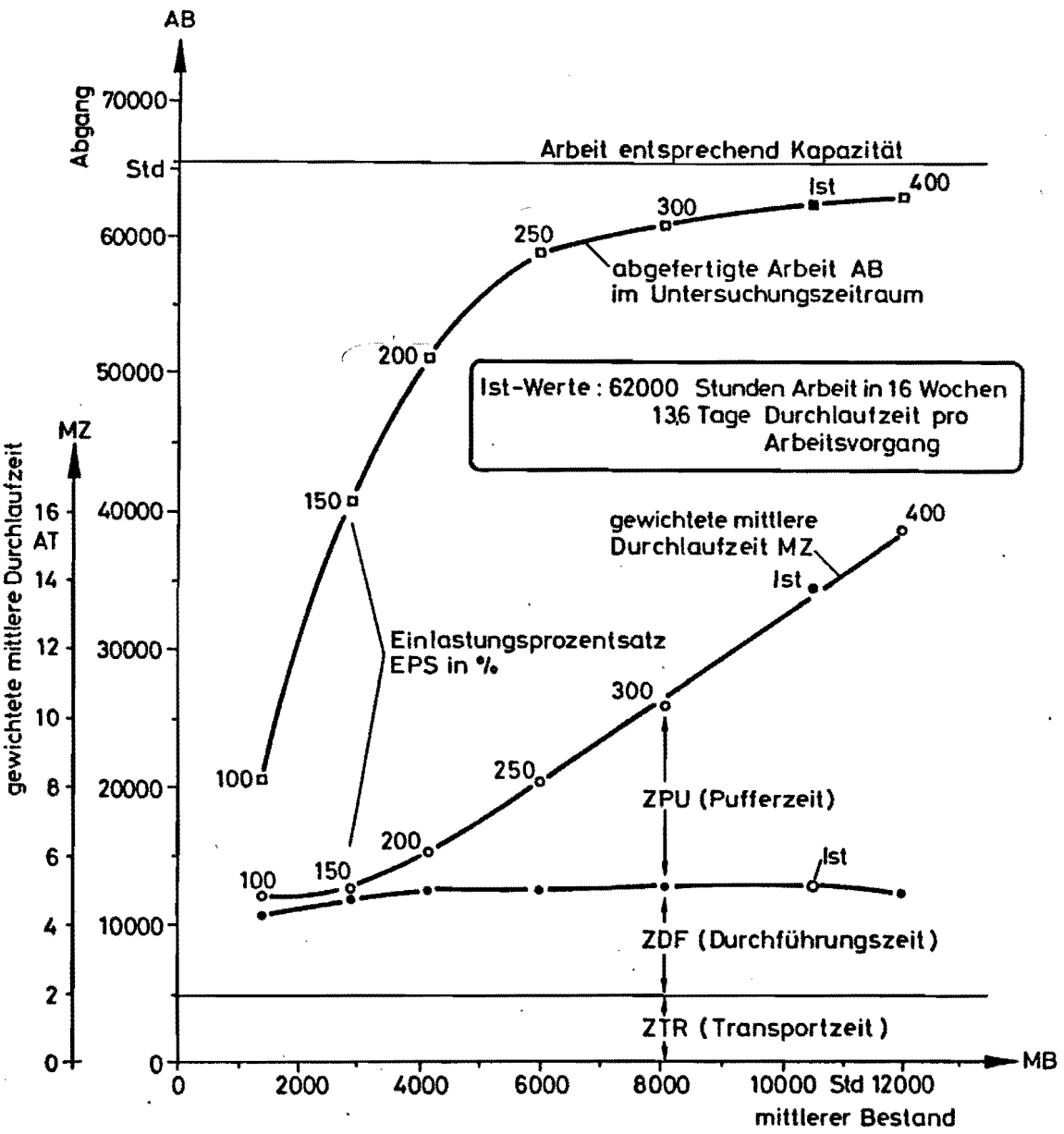
# Bestand



Figuur 15 A

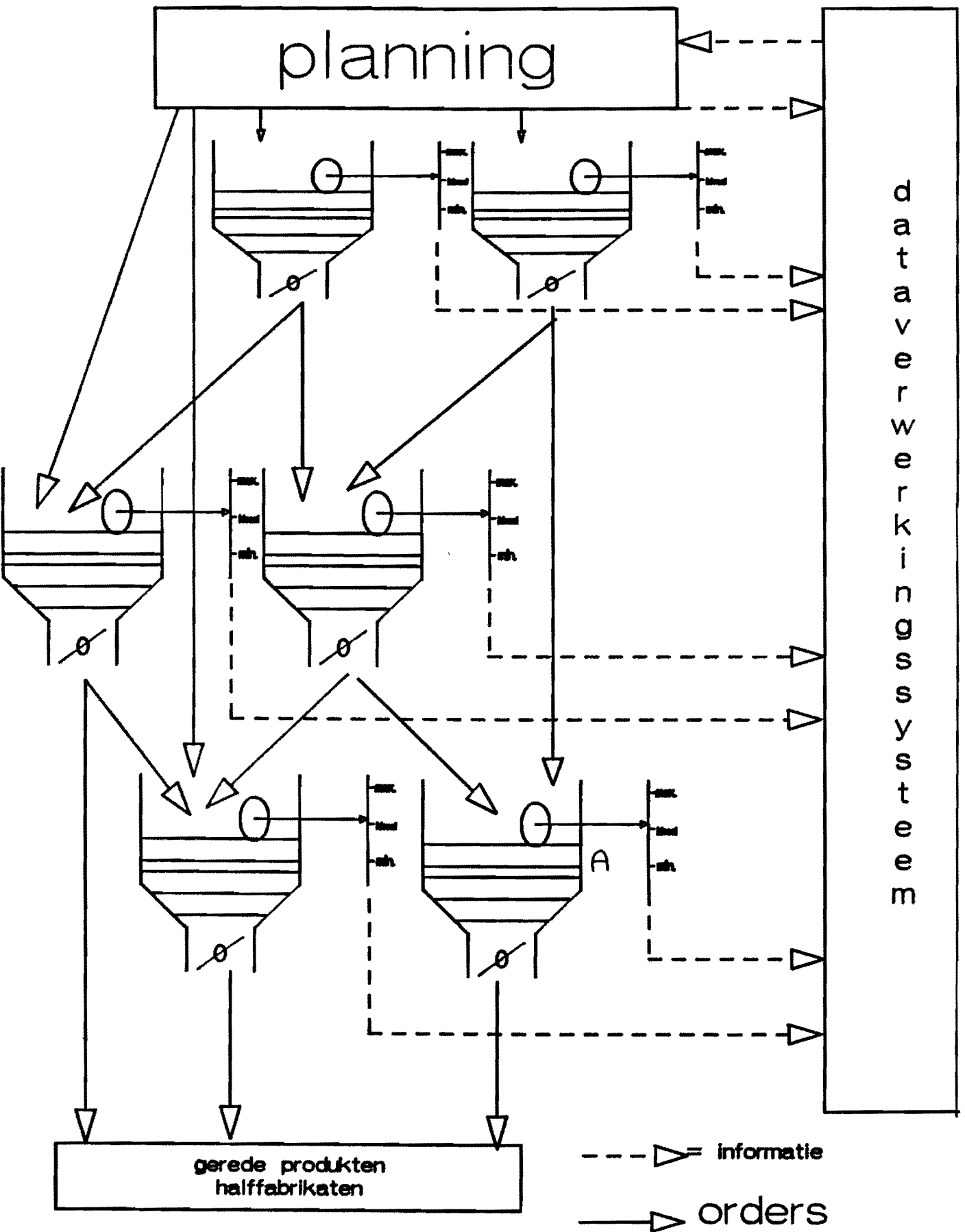


Figuur 15 B

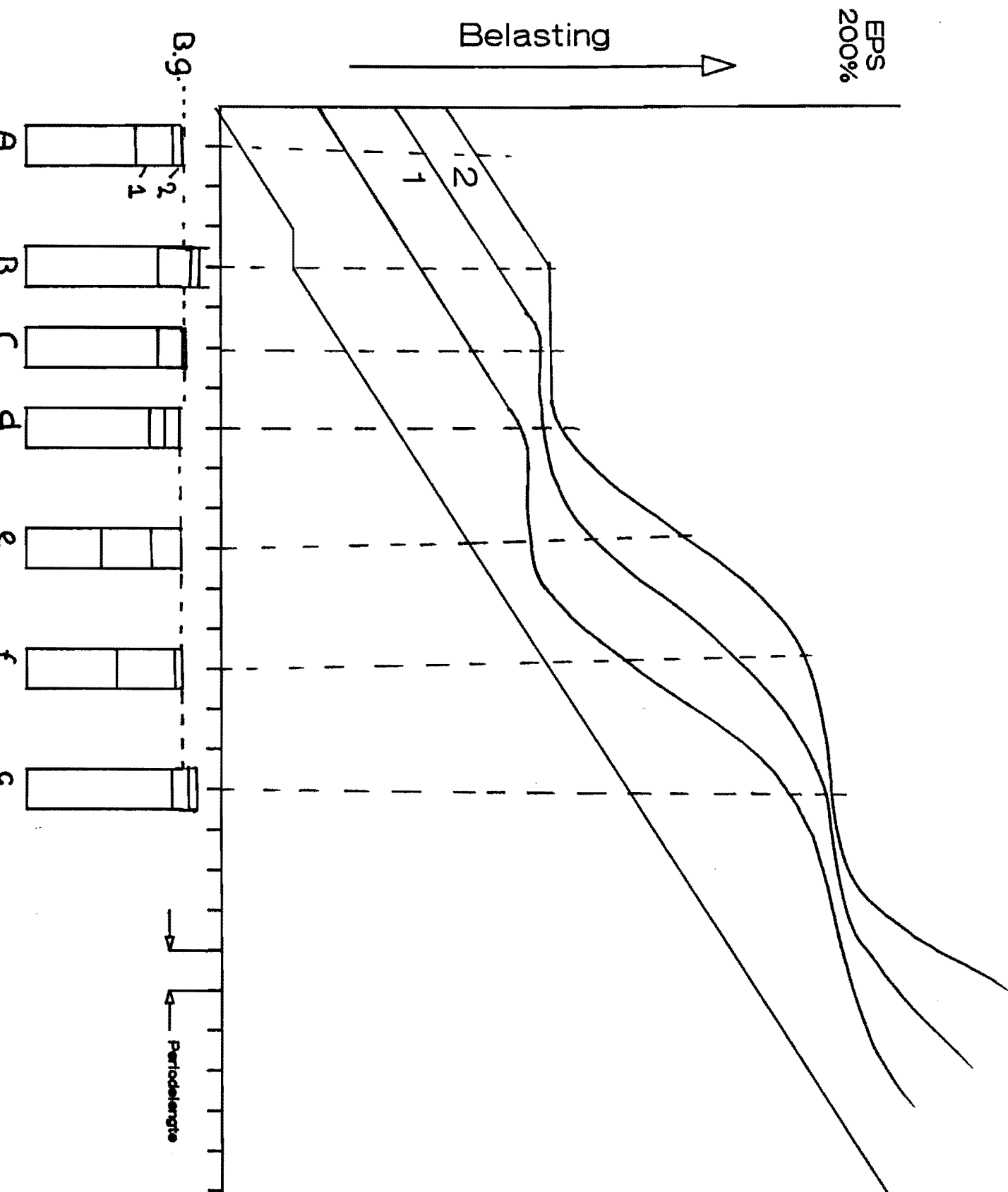


Untersuchungsbasis: 3000 Aufträge, 16 Wochen Simulationszeitraum, 50 Maschinengruppen, 90 Arbeitsplätze

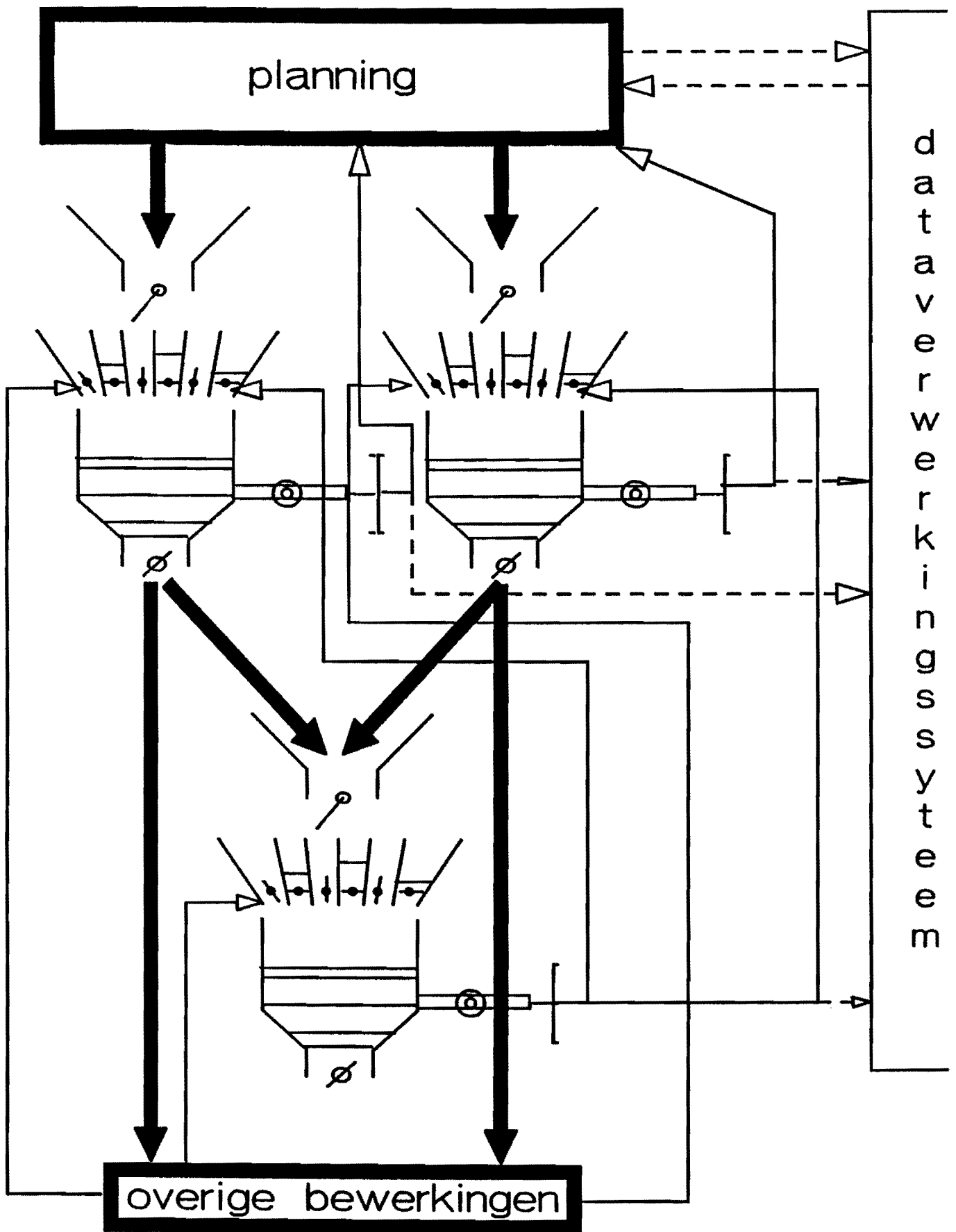
Figur 16



Figuur 17

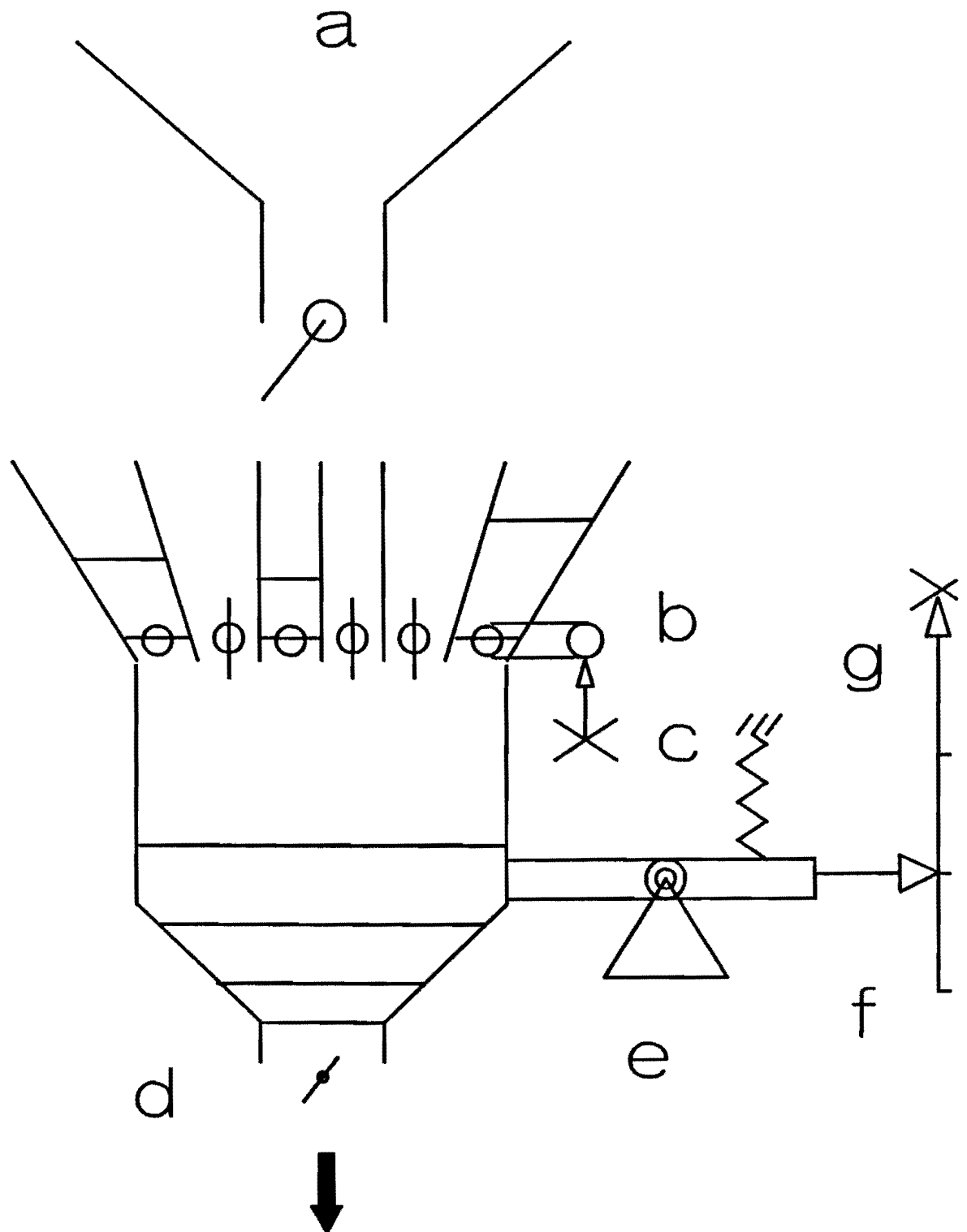


Figuur 18



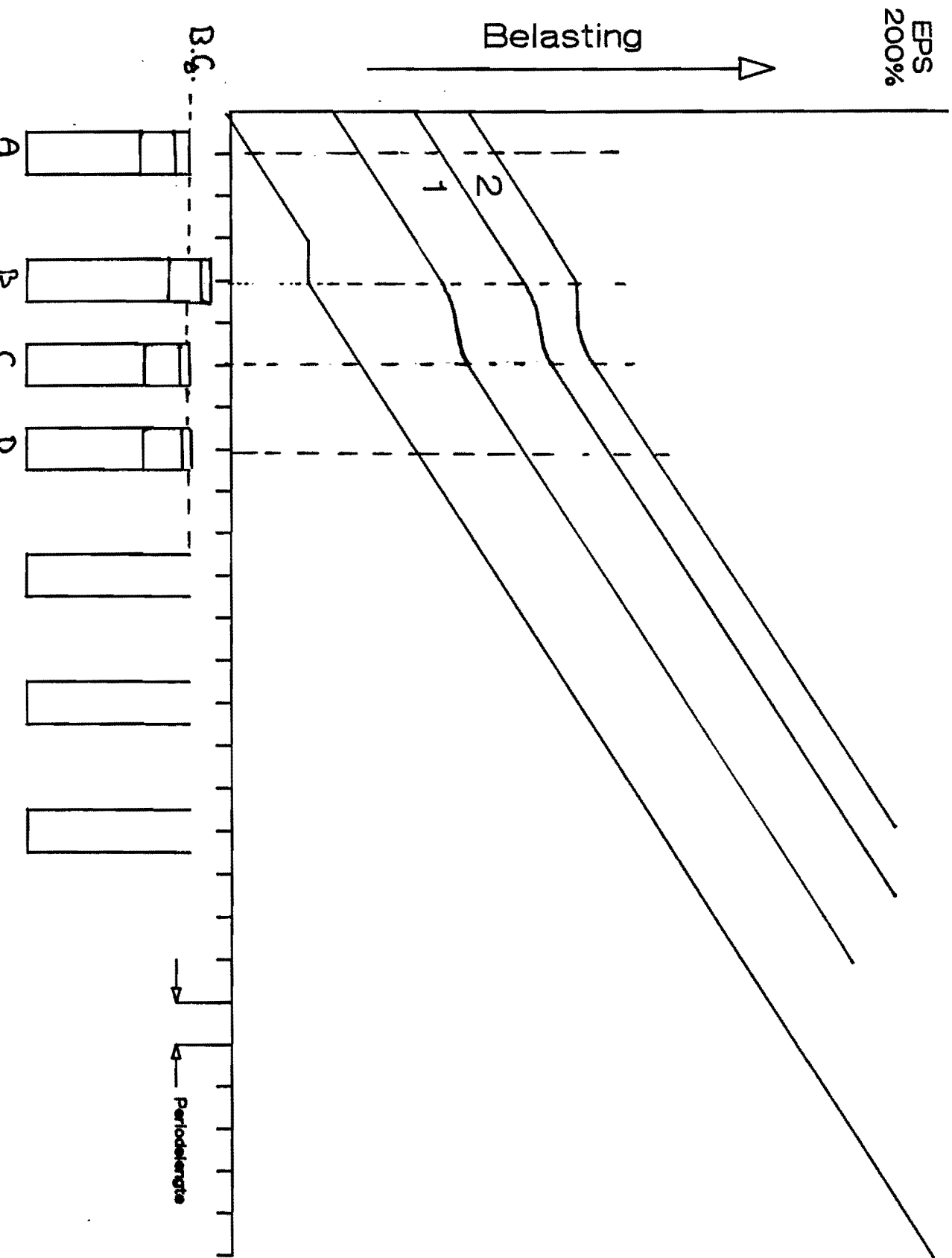
Figuur 19

Uitgebreid doorloopelement.



Figuur 20





Figuur 21