

MASTER

Stromen door de stromen

echt stroomsgewijs produceren in parallele stromen die zijn ontworpen op basis van een productiefasering

Hillenga, J.A.H.

Award date:
1999

[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.

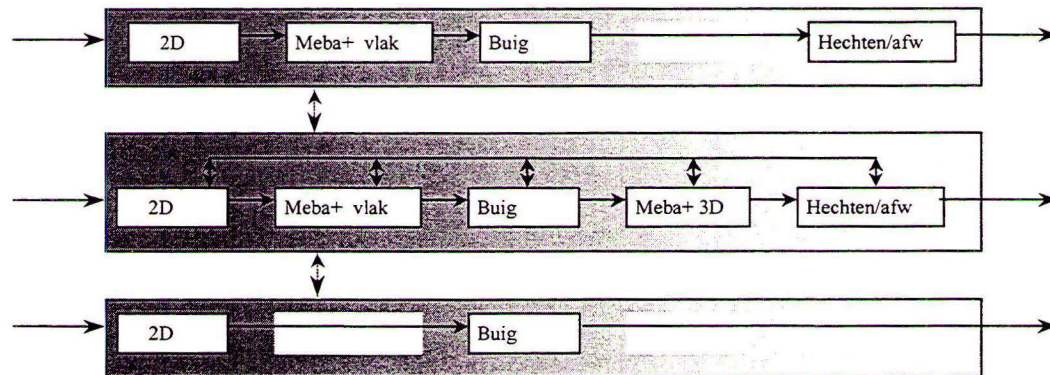
General rights

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

Stromen door de Stromen

écht stroomsgewijs produceren in parallelle stromen
die zijn ontworpen op basis van een productiefasering



NIET UITLEENBAAR

J.A.H. Hillenga
April 1999

Stromen door de Stromen

écht stroomsgewijs produceren in parallelle stromen
die zijn ontworpen op basis van een productiefasering

April 1999

Afstudeerrapport van:

J.A.H. Hillenga

Identiteitsnummer 431137

Opleiding Technische Bedrijfskunde

Faculteit Technologie Management

Technische Universiteit Eindhoven

Project uitgevoerd bij:

Thavo Metaalindustrie BV

De Dieze 29

5680 AC Best

Opdrachtgever: J. Kroon

Begeleiding in bedrijf:

P. van Boven (eerste deel project)

J. Kroon

Universitaire begeleiding:

Dr. Ir. N.P. Dellaert

Dr. F.M. van Eijnatten

Derde beoordelaar:

Ir. A.A.M. Vermeulen

Abstract

Sociotechnical designs of parallel streams were made for a specialist in precision sheet metal working. Phases in the production were used to design streams. In these streams the orders can really flow. This reduces complexity so that in a new structure with semiautonomous task groups shorter lead-times can be realised.

Summary

Introduction

Thavo Metaalindustrie BV is a specialist in precision sheet metal working. Several producers of high technology products select the company as their supplier. Being a supplier, Thavo gets more and more responsibilities from the subcontractors. The terms of delivery are pushing the company to shorten the lead-times.

Designs have been made in this project to streamline the workshop of Thavo. In these designs parallel streams are used to reduce the total of complexity in the workshop. This enables the company to reduce the lead-times of the work orders in the workshop. The design of parallel streams is the first step towards a renewed organisation design. A sociotechnical organisation design can be based on this. Semiautonomous task groups can be set up in the parallel streams. This sets the conditions for continual improvement of for example lead-time performances.

A broad (more than the normal one page size) summary of the report will be given here. The following subjects will be discussed in this summary:

1. Company description.
2. Definition of the assignment in the project.
3. Theory.
4. Methods.
5. Results.
6. Conclusions.
7. Discussion and recommendations.

Company description

Thavo Metaalindustrie BV has been started in the year 1965. Since then the company is grown from two employees to a hundred nowadays.

Production is organised in five departments. Four of these departments are forming the workshop. These are the departments A, B, C and D. The fifth department (department M) is situated in an other building. Department D uses CNC-machines for punching and/or lasering the metal sheets. Departments A to C use the punched/lasered items to complete the production of metal sheet products. Department B and C cover all the disciplines like bending, drilling, stamping, (spot-)welding and fitting. Department A produces the simple products. It only covers the disciplines bending, drilling and stamping. In department M a part of the metal sheet products are used to assemble complete systems for the customers.

Definition of the assignment

The following assignment is defined in the project:

“Design a parallisation of the workshop, that enables Thavo to realise shorter order lead-times at an decreased control demand”

In this section the road leading to this assignment will be described.

Orientation interviews were used in the exploration phase. Important results of the orientation interviews were the following.

- Management attaches great importance to improvement of the order lead-time performance.
- Causes of long order lead times are seen in the pre-production status as well as in the production status.

- The existing production structure has a high control demand. In the growth of the company, problems were mainly solved by bypass-solutions. Another reason for the high control demand is the change in products. Products are getting more complex and are produced and sold in smaller series.
- Department M, the assembly-department, is growing to become an independent customer of the workshop.

A discussion at the end of the exploration phase led to the following definition of the assignment: design of a production and control structure for the co-supplier part of Thavo, so that the control of order lead-time can be improved substantially. Such an integral approach prevents from introducing extra bypass solutions that enlarge the control demand even more.

An analysis phase is started after this discussion to research the possibilities for redesign. *Entities* go through several *process steps* according to a certain *routing*. The redesign of a production system is about the structuring of this whole. The items printed italic above have been distinguished in the analysis. The work orders from the period November 1997 to October 1998 have been used in the analysis.

Work orders are the entities in the production system. Almost a quarter of the work orders belongs to production orders of a compound product (4% of all the production orders). An analysis of the process steps made clear that many of them have long waiting times. These waiting times are longer than the structural factors, as process time distribution and load factors would normally account for.

The routings are complex. But not that complex that it could be called a criss-cross situation. This is also the reason that no groups of work orders could be distinguished with a process combination table. The following production phases were found: 2D, MEBA+vlak, BUIG, MEBA+3D, HECHT/AFW. A share of 85% of the work orders has no backflows when they go through (all of a few of) these phases.

The results of the analysis phase were used in a discussion on the continuation of the project. The final assignment was the result of this discussion. Sociotechnical theory and experiences were also used in the discussion.

The causes of long lead-times are seen on a higher level than the different process steps. In a structure with reasonable complex routings no advantages are gained from the fact that a large share goes through production phases without backflows.

The design of parallel streams can be a good start for an eventual sociotechnical organisation change.

Theory

A point of view from two directions was used in the project: Sociotechnic and Logistic.

Sociotechnic

The Dutch variant of the Sociotechnic is the only one that includes detailed structure principles for designing. The word Sociotechnic is used from now on for the Dutch approach. Fundamentals of Sociotechnic are the following:

- *Integral design:*
The sociotechnical design does not focus on optimisation of the social and technical subsystems. Every relation between the elements of a system (people and machinery) must be seen as a function of the structure of the system. This is why the architecture of this system is central in an integral design.

- *Functional demands:*
The following functional demands have a central place in the Sociotechnic: flexibility, controllability and work quality. Higher demands are nowadays on the flexibility of organisations. Flexibility can only be achieved when the organisation has enough controllability. Quality of work must be set on an acceptable level.
Of paramount importance is not the fact that a system can be controlled now, but that it is controllable in future states. This makes controllability the central design criterion. Controllability can be seen as a balance between control-needs and control-possibilities. An effective and efficient balance is achieved by reducing the control-needs and adapting the control-possibilities to these needs.
Two sources of control-need can be distinguished: demands from the environment and extra control need generated by the architecture of the production structure.

- *Control-capacity:*
The possibility of a system to reduce interference is the control capacity. Control capacity is used in the operational control. The need of using the control capacity can be reduced by reducing the probability of interference. A change of the system structure is needed for this.

- *Aspect-systems:*
The architecture of the system structure is central in an integral design. Two aspect-structures are distinguished: the production structure for the execution and the control structure for the control of the execution. Information is needed for control. A third aspect-structure is the information structure.

- *Structural parameters:*
Sociotechnic is architectural design. Eight structural parameters are used in the Sociotechnic to evaluate the main architectural characteristics. Three of them are used to evaluate the production structure:
 - Functional concentration: the grouping and coupling of operations to functions. More functional concentration makes the organisation think in operations instead of order flows.
 - Specialisation in the execution: the grouping and coupling of the functions preparing, making and supporting in separate sub-systems.
 - Division in execution: the division in separate tasks of the execution.

In the Sociotechnic the following design-sequence rules are being obeyed:

- Design first the production structure and then the control structure. This is in line with the idea that the control-needs must be reduced first.
- Design the production structure top-down. Parallel streams are designed first. Segments are created in these streams. The semiautonomous task group is the internal structure of the segment. Finally the individual tasks in the segments are being designed.
- Design the control structure bottom-up. Things must be controlled as low as possible in an organisation.
- Finally design the information system. The information need is known when the control structure is designed.

Logistic

Logistic theory is used for the specific situation at Thavo: production to order of small-series products.

The most important way to realise short and reliable lead-times is to make sure that the control-problem is simple. A reduction of complexity reduces the need for complicated control-systems.

The lead-time of a work order is the sum of the individual process-step lead-times. Such a lead-time consists mainly of waiting and processing time. The Pollaczek-formula gives a relation between the waiting time and a capacity's structural factors like process-time distribution, load factor, and number of parallel stations.

Sociotechnic and Logistic

Comparing the two theories led to several differences and similarities. Design principles from Sociotechnic can be used for designing a production structure. Logistic theory can be used to evaluate the division of capacities over parallel streams.

Methods

Two methods for designing and evaluating parallel streams are used in the project: The Hoevenaarsmethod and the 'New Method'.

The Hoevenaarsmethod aims on a minimum of flows between the parallel streams. These flows are an important cause of complexity. Parallel streams are designed with the SPS-technique and the parallel streams are evaluated on the flows between the parallel streams. Capacities that are not or limited dividable are used by the SPS-technique to design parallel streams. Work orders using these capacities are grouped in one stream. The remaining work orders are produced in another stream.

The 'New Method' is developed in the project. It consists of the POP-instrument and the 2D3B-method. The POP-instrument is used to design the parallel streams. Production phases are used by this method to form subsets of work orders. A work order goes through production in a combination of phases. For each combination of phases a subset of work orders can be distinguished. Combining these subsets forms parallel streams.

The control need of the alternative designs of parallel streams is evaluated with the 2D3B-method. The evaluation method of Hoevenaars is extended. Not only the flows between streams are used in the evaluation. Also the flows between segments in the streams are used in the evaluation. When large streams are formed, these streams have to be split up in segments to get groups that are small enough to form semiautonomous task groups. The flows between the segments create also extra control need. A factor K is introduced to weigh the flows between streams heavier than the flows between segments.

Forming parallel streams implicates the division of certain capacities over these streams. When this division is not in balance with the capacity needs, this results in overloaded capacities in one stream. This results in long waiting times and long lead-times. This is why the alternative designs are also evaluated on the division of the capacities.

Results

The use of the both methods has resulted in a total of 16 designs. Every design consists of two or more parallel streams. Two of the designs are made with the SPS-technique from Hoevenaars (SPS-alternatives). The other designs are made with the POP-instrument of the 'New Method' (POP-alternatives).

Collecting all the work orders that use the capacities that are not/limited dividable forms parallel streams. These parallel streams form the SPS-alternatives. The capacities that are not/limited dividable are the Grinding Master and the Pemsserter. The sheet-cutter is also a capacity that is not dividable. But the operation that uses this capacity can be avoided. This is

the reason that two designs were made with the SPS-technique. One design for the situation that the sheet-cutter is needed for some operations and one design for the situation that the sheet-cutter is not needed anymore. This change in situation gives two very different designs. The SPS-technique does not deliver designs that are stable. A small change on operational level gives a big change in the designs that are appropriate for the situation.

The POP-instrument results in 14 designs. Every design exists of two kinds of streams:

- One or more flow-streams existing of a selection of the production phases. These streams consist of only the work orders that flow through this selection of production phases without backflows.
- One complex stream existing of all the production phases. Work orders that can not be produced in the flow-streams are made in the complex stream.

Four POP-alternatives are selected based on an evaluation on three aspects:

- The number of streams is three or less. Otherwise not every stream can consist of D-machinery with both the needed functions.
- Extra control-need caused by the flows between streams and segments.
- The load factors resulting from the division of the most critical capacities (the D-machines).

The four alternatives are alternative 1, 6, 11 and 14. One of these four alternatives scores also good on the division of the second critical capacities (the Pemserters). This is alternative 14. The alternative that scores best on control-need and load factors of the D-machines, is alternative 6. This alternative has also the smallest part of the order book in the complex stream.

Conclusions

The following conclusions can be drawn from the analysis of the results:

1. The streams that are created with the POP-instrument have a lower internal complexity than the SPS-streams.

In the SPS-streams almost every machine is required, except the ones that are not/limited dividable. In the POP-alternatives streams are created that require only a part of the machine types.

In the POP-alternatives the products with backflows are all produced in one stream. The other streams have no backflows and can work more like a flowshop.

2. The alternatives from the SPS-technique have the most independent streams. Primary goal of the SPS-technique is to reduce the flows between streams. This is why the SPS-alternatives have the least flows between the streams. This makes the streams the most independent.

3. The designs from the SPS-technique are not stable enough to serve as the base for a sociotechnical reorganisation.

A small (technological) change on operational level can change the SPS-designs dramatically. This makes the alternatives not stable enough to use in a sociotechnical redesign project.

4. Alternatives consisting of four or more streams can not be used.

When four or more streams are created, not every stream can have all the required functions (of the D-machines) in it.

5. Four of the fourteen POP-alternatives score good in the evaluation of the intergroup flows and the capacity division.

POP-alternatives 1, 6, 11, and 14 score good in the combined evaluation of

- the flows between streams and segments;
 - the capacity division of the most critical capacities: the D-machines.
- Alternative 6 scores best in this evaluation. Alternative 14 is the only one that also scores good on the capacity division of the second most critical capacities: the Pemserters.

6. Less difference is seen between the alternatives on the sociotechnical structure parameters.

The three parameters for evaluating the production structure are: functional concentration, specialisation in the execution and division in execution. The alternatives have less difference in respect to these parameters.

7. POP-alternative 6 is the best alternative for the situation with expansion of the Pemsertercapacity. Pop-alternative 14 is the best alternative for the situation without capacity expansion.

The conclusions 1 till 6 until now rise to the conclusion that SPS-alternatives can not be used and that two POP-alternatives can be mentioned as the best alternatives. POP-alternative 6 scores best on the evaluation criteria mentioned, but it requires a expansion of the Pemserters capacity. POP-alternative scores also good. This alternative does not require capacity expansion.

8. Shorter lead-times can be realised with the selected POP-alternatives.

The orders can be produced in the streams without interventions. The waiting times do now only depend on the structural factors of the capacities. The waiting times that can be expected are lower than the ones realised in the old situation.

9. Capacity-flexibility is influenced positively as well negatively by the new designs.

In the semiautonomous groups in the streams, people get better multiskilled. This gives more capacity-flexibility. The division of capacities over streams has a negative influence on the capacity-flexibility.

Discussion and recommendations

A discussion led to the following results:

- The results of the project do also make clear that a large group of work orders have a simple routing. A renewed make-or-buy-decision has been brought up in the discussion. The simple work orders can better be outsourced. This can lead to the outsourcing of a complete stream.
- The designs have negative effects on the capacity-flexibility of the D-machines. These negative effects can be overcome when the first production phase will not be 'parallellised'.
- The idea comes up that the company is reaching her limits of grow. Using the designs to start a sociotechnical renewal programme can break these limits. Outsourcing a whole stream can also help with this. The company gets a more coherent structure by this.

It is important that first decisions will be made on the following subjects:

- Start a sociotechnical renewal programme.
- Make-or-buy.
- Parallellise the first production phase.

Training of the employees is required for starting a sociotechnical renewal programme. The selected POP-designs can be used as the first step in the sociotechnical renewal.

The make-or-buy-decision and the decision on the parallellisation of the first production phase have effects on the designs. A renewed make-or-buy-decision gives a different order

book. The POP-instrument must be used again when the order book is changed dramatically. This can lead to different designs. The fourteen POP-designs can still be used when the decision is made not to parallelise the first production phase. The selection procedure has to be done again. The capacities in the first production phase had an important role in the selection.

INHOUDSOPGAVE

1	<i>Inleiding</i>	2
2	<i>Bedrijfsbeschrijving</i>	3
3	<i>Opdrachtformulering</i>	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Verkenning	5
3.3	Analyse	6
3.3.1	Entiteiten	6
3.3.2	Bewerkingsstappen	7
3.3.3	Routings	8
3.4	Uiteindelijke opdracht	10
4	<i>Theorie</i>	12
4.1	Inleiding	12
4.2	Sociotechniek	12
4.2.1	Inleiding	12
4.2.2	Grondbeginselen	12
4.2.3	Ontwerpvolgorde	16
4.2.4	Ontwerpen van parallelle stromen	18
4.3	Logistiek	19
4.4	Vergelijking Sociotechniek en Logistiek	23
5	<i>Methoden voor ontwerp en beoordeling</i>	25
5.1	Inleiding	25
5.2	Hovenaarsmethode	26
5.2.1	Ontwerp met de 'Semi-Parallele Stromen'-techniek	26
5.2.2	Berekening beheersbehoefte	27
5.3	'Nieuwe Methode'	27
5.3.1	Ontwerp met het POP-instrument	27
5.3.2	Beoordeling op beheersbehoefte met het 2D3B-instrument	29
5.3.3	Beoordeling op capaciteitsverdeling	31
5.3.4	Selectie	32
5.4	Kruisgebruik	32
5.5	Gegevensverzameling	33
6	<i>Resultaten ontwerp en beoordeling</i>	35
6.1	Uitgangspunten	35
6.2	Hovenaarsmethode	36
6.2.1	'Semi-Parallele Stromen'-techniek	36
6.2.2	Berekening beheersbehoefte	37
6.3	'Nieuwe Methode'	38
6.3.1	Ontwerp met het POP-instrument	38
6.3.2	Beoordeling op beheersbehoefte	39
6.3.3	Beoordeling op capaciteitsverdeling	41
6.3.4	Selectie	44
6.4	Kruisgebruik	45
7	<i>Analyse</i>	47
7.1	Ontwerp	47
7.2	Beoordeling	48
8	<i>Conclusies</i>	51
9	<i>Discussie en aanbevelingen</i>	53
9.1	Project	53
9.2	Methodologie	54
9.3	Aanbevelingen	57
	<i>Referenties</i>	59

1 Inleiding

De titel ‘Stromen door de Stromen’ geeft aan dat er in dit afstudeerproject onderzoek is gedaan naar stromen in een bedrijf. Het afstudeerproject geldt als de afsluiting van de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de faculteit Technologie Management van de Technische Universiteit Eindhoven.

Het project is uitgevoerd bij Thavo Metaalindustrie BV in Best. Het bedrijf is een toeleverancier van fijnmechanisch plaatwerk. De uitbesteders zijn producenten van hoogwaardige technologie. Deze uitbesteders geven de toeleveranciers steeds meer verantwoordelijkheden. Daarbij worden ook hogere eisen gesteld aan de leveringsprestaties. Een productie-op-order-bedrijf als Thavo wil daarom zijn doorlooptijden reduceren. Dit moet echter niet tot extra beheersbehoefte leiden.

In het project zijn twee soorten ontwerpen gemaakt: ontwerpen voor de herinrichting van het bedrijf en ontwerpen van nieuwe methoden.

Parallele stromen zijn in het project ontworpen waarin écht stroomsgewijs geproduceerd kan worden. De parallelle stromen zijn hiervoor gebaseerd op een productiefasering die in het productiesysteem werd vastgesteld. In de parallelle stromen wordt de complexiteit van de huidige orderstroom gereduceerd waardoor de weg wordt gebaad om taakgroepen in te richten die kortere doorlooptijden kunnen realiseren. De orders kunnen in de stromen zonder tussenkomst geproduceerd worden. De meeste stromen kunnen meer als een flowshop worden ingericht. Hierdoor kan echt worden gesproken van ‘Stromen door de Stromen’.

In het project is een nieuwe methode opgesteld voor het ontwerpen van alternatieve indelingen in parallelle stromen. De ontwerpmethode biedt de mogelijkheid parallelle stromen te creëren, waarin een (latente) productiefasering wordt gebruikt om flowshop-achtige te krijgen. Een bestaande methode voor het beoordelen van parallelle stromen is uitgebreid.

Centraal zullen in deze rapportage de ontwerpen voor de herinrichting van Thavo staan. De nieuwe methoden spelen slechts een bijrol. De centrale vraag die in deze rapportage beantwoord zal worden is de volgende:

Op welke manier moet het bedrijf zich inrichten zodat het kortere doorlooptijden kan realiseren bij een lagere beheersbehoefte.

Voordat hier op in wordt gegaan, wordt eerst een bedrijfsbeschrijving gegeven. De centrale vraag wordt daarna uitgewerkt door eerst uit te werken hoe de opdrachtformulering tot stand is gekomen (hoofdstuk 3). De theorie die ten grondslag heeft gelegen aan de ontwerpen wordt daarna beschreven in hoofdstuk 4.

De kern in het rapport wordt gevormd door de hoofdstukken over de methoden en de resultaten. Dit zijn respectievelijk hoofdstuk 5 en 6. In het methoden hoofdstuk wordt aangegeven welke methoden zijn toegepast voor het ontwerpen en beoordelen van inrichtingen in parallelle stromen. Hierin komen ook de nieuw ontworpen methoden naar voren.

De analyse van de resultaten wordt in hoofdstuk 7 gegeven. De analyse wordt gebruikt voor het trekken van conclusies die in hoofdstuk 8 worden weergegeven. De rapportage wordt afgesloten met een discussie over hoofdzakelijk de gemaakte ontwerpen in het project en aanbevelingen die gedaan kunnen worden (hoofdstuk 9).

2 Bedrijfsbeschrijving

Het bedrijf Thavo Metaalindustrie BV is een producerend bedrijf. Het produceert fijn mechanische plaatwerkproducten (94% heeft hierbij een plaatdikte van 1 tot en met 3 mm). Het bedrijf produceert volledig op order. De producten van Thavo worden afgenomen door producenten van toepassingen van hoogwaardige technologie. Voorbeelden hiervan zijn: kopieerapparatuur, apparatuur voor de productie van microchips, elektronenmicroscopen, medische scanapparatuur en apparatuur voor professionele keukens. De onderdelen van Thavo hebben in deze producten een constructie- en/of afdekkende functie. Ze worden geleverd als los onderdeel, als samengesteld onderdeel of als geassembleerd subsysteem.

In 1965 is het bedrijf opgericht door F.J.P. Vos. Een personeelbezetting van twee personen is nu uitgegroeid tot ca. honderd personen. Tussen het eind van de jaren zeventig en het begin van de jaren tachtig is het bedrijf sterk gegroeid: van 18 mensen in 1978 tot 40 in 1982. Aan het eind van de jaren tachtig heeft het bedrijf een belangrijke stap gezet. Ze zijn toen als eerste toeleverancier van fijnmechanisch plaatwerk gecertificeerd volgens de ISO-9002-norm. Dit resulteerde in een verdere groei.

Productieproces

Het productieproces van metaalplaatproducten kan in vier fasen worden opgedeeld: twee- en driedimensionaal bewerken, oppervlaktebewerking en assemblage.

De eerste fase is het tweedimensionale bewerkingsproces. In deze fase worden de metaalplaten vlak bewerkt. Bewerkingsmogelijkheden zijn: knippen, lasersnijden en ponsen. In de tweede fase, het driedimensionale bewerkingsproces, wordt het vlakke product -de uitslag- vormgegeven. Daarnaast worden er ook gaten, moeren en andere mogelijkheden voor verbindingen aangebracht. Ook worden er in deze fase onderdelen samengesteld door ze aan elkaar te hechten. Bewerkingsmogelijkheden zijn in deze fase: ponsen, tappen, boren, buigen, lassen en puntlassen.

De derde fase bestaat uit het bewerken van de oppervlak van de producten. De (buiten)oppervlakte van de producten krijgen een behandeling vanwege visuele, hygiënische en/of anticorrosie redenen. Bewerkingsmogelijkheden zijn onder andere: lakken, galvaniseren, schuren, slijpen en polijsten.

De vierde fase bestaat uit assemblage van onderdelen tot subassemblages. Bewerkingen bestaan hierbij vrijwel uitsluitend uit montagebewerkingen.

Organisatie

In het voorgaande is besproken welke producten Thavo produceert. Ook werd uitgelegd in welke fasen het productieproces kan worden opgedeeld. Maar hoe heeft Thavo de productie van de metaalplaatproducten georganiseerd?

De productie vindt plaats in vijf afdelingen. Productie vindt volledig plaats op order. Verkooporders en productieorders hebben hierbij een één-op-één-relatie. De vijf afdelingen zijn: afdeling A, B, C, D en montage.

In afdeling D start de productie. De afdeling treedt op als toeleverancier voor het gehele bedrijf van vlak bewerkte metaalproducten. In de afdeling wordt alleen het tweedimensionale bewerkingsproces uitgevoerd. De afdeling beschikt hiervoor over een aantal CNC-machines: ponsmachines, lasermachines en combimachines (ponsen en lasersnijden). Ook beschikt afdeling D over een knipbank en een zogenaamde Grinding Master. Met de knipbank kunnen platen op maat worden geknipt. De Grinding Master is voor het uitvoeren van een oppervlaktebehandeling van vlakke producten. In afdeling D wordt er in tweeploegendienst gewerkt. In iedere ploeg zijn er vier medewerkers actief. Daarnaast beschikt de afdeling over twee stellers in dagdienst, die gereedschappen en materialen klaarzetten.

Na de bewerkingen in afdeling D krijgen de vlakke producten een driedimensionale bewerking in één van de afdelingen A, B of C. De uitgangssituatie is hierbij dat de producten

volledig worden geproduceerd in één van die afdelingen. In het productenpakket is daarvoor een driedeling gemaakt naar zogenaamde A-, B- en C-producten.

Producten die in afdeling A worden gefabriceerd, zijn eenvoudig van aard en hebben een beperkte bewerkingsinhoud. Er vindt namelijk alleen ponsen, tappen, boren en buigen plaats in deze afdeling. De afdeling is met 8 medewerkers vrij klein.

In de afdelingen B en C wordt wel de gehele range van driedimensionale bewerkingen uitgevoerd. Het productenpakket is bij de inrichting van de afdelingen B en C verdeeld over de afdelingen op basis van de aanwezigheid van een montagebewerking in de bewerkingenlijst van een product. Indien een product een montagebewerking moet ondergaan, dan werd het product ingedeeld als product C. De overige producten werden als product B ingedeeld. Tegenwoordig wordt deze scheiding niet meer zo streng gebruikt. Verschillen tussen producten B en C worden gezien in de complexiteit van de producten. Producten C hebben een hogere complexiteit dan producten B.

Naast alle bewerkingen uit de driedimensionale bewerkingsfase, worden er in de afdelingen B en C ook bewerkingen uitgevoerd uit de fase voor de oppervlaktebewerking. Voorbeelden hiervan zijn schuren, slijpen en polijsten. Andere oppervlaktebehandelingen zoals lakken en galvaniseren worden uitbesteed aan andere bedrijven.

De leiding van de productieafdelingen ligt in de handen van afdelingsleiders. Afdeling B en C hebben ieder een eigen afdelingsleider. Afdeling A en D worden door dezelfde afdelingsleider aangestuurd. Voor de voorbereiding van de productie is aan ieder productenpakket een werkvoorbereider toegewezen.

De afdeling montage is gevestigd in een nieuwe montagehal. In deze vrij nieuwe afdeling worden complete modules geassembleerd. De leiding ligt in de handen van een afdelingsleider, ook wel montageleider genoemd.

De afdelingsleiders leggen direct verantwoording af aan de bedrijfsleider. De bedrijfsleider heeft daarnaast een aantal productie ondersteunende diensten onder zijn verantwoordelijkheid vallen. Dit zijn de afdelingen bedrijfsburo (planner), inkoop, technische dienst, opleiding en de huishoudelijke dienst.

Naast de hoofdafdeling productie, aangestuurd door de bedrijfsleider, heeft Thavo vier andere hoofdafdelingen: ontwikkeling, financiële administratie, commerciële afdeling en kwaliteitsafdeling.

De directie bestaat uit de directeur-eigenaar (tevens oprichter) en de adjunct-directeur. De dagelijkse leiding komt steeds meer in de handen van de adjunct-directeur. De oprichter van het bedrijf trekt zich namelijk langzaam terug uit de dagelijkse leiding van het bedrijf. Het management team bestaat uit de adjunct-directeur, bedrijfsleider, hoofd inkoop en hoofd commerciële afdeling.

Veranderingen

Hiervoor werd een omschrijving gegeven van de organisatie zoals deze werd aangetroffen aan het begin van het traject. Een organisatieschema uit de periode voor de start van het project wordt in bijlage 2-1 (pagina 1). Aangezien het bedrijf in een turbulente omgeving staat, is het bedrijf aan veranderingen onderhevig. Er heeft een ronde van bezinning op de strategie en structuur plaatsgevonden waarin het gehele management en kader heeft geparticipeerd. Het TQM-model van het Nederlandse Instituut voor Kwaliteit is hiervoor als uitgangspunt genomen. Hieruit bleek er in het bedrijf te sterk bewerkingsgericht wordt gewerkt. Om het bedrijf meer procesgericht te laten werken zijn verschillende procesgebieden aangewezen. Verbeteracties worden opgezet in die deelgebieden. Nieuwe taken en verantwoordelijkheden worden duidelijk.

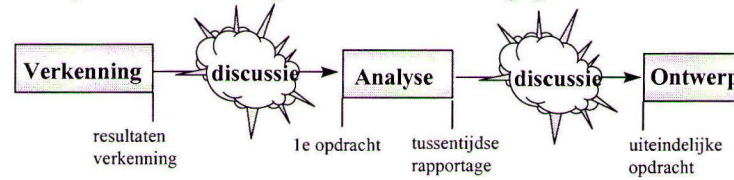
Een andere verandering is de afscheid van de directeur-eigenaar. De oprichter van het bedrijf heeft de 'stuurknuppel' van het bedrijf overgedragen aan de voormalig adjunct-directeur. De oprichter blijft als commissaris van de holding bij het bedrijf betrokken.

Deze veranderingen en het vertrek van de bedrijfsleider heeft geleid tot het organisatieschema zoals deze in bijlage 2-1 (pagina 2) wordt weergegeven.

3 Opmachtformulering

3.1 Inleiding

In een proces van verkenning, analyse en discussie is de uiteindelijke opdracht tot stand gekomen. Dit traject kan als in Figuur 1 worden weergegeven:



Figuur 1: Totstandkoming opdrachtformulering

Dit hoofdstuk behandelt de totstandkoming van de opdrachtformulering. Eerst wordt kort in de volgende paragraaf aangegeven welke resultaten de verkenning heeft opgeleverd en hoe tot de eerste opdrachtformulering is gekomen. In paragraaf 3.3 worden kort de resultaten gegeven van het onderzoek dat in de analysefase heeft plaatsgehad. Voor een meer uitvoerige beschrijving van de resultaten en de methoden die zijn toegepast wordt de geïnteresseerde lezer verwezen naar de tussentijdse rapportage (Hillenga, 1998). Een discussie gebaseerd op de resultaten uit de analysefase heeft geleid tot de formulering van de uiteindelijke opdracht voor ontwerp. In paragraaf 3.4 wordt hierop ingegaan.

3.2 Verkenning

Verschillende deelgroepen binnen Thavo zijn deels dezelfde en deels verschillende vragen voorgelegd tijdens de oriënterende interviews. In bijlage 3-1 wordt weergegeven met welke deelgroepen welke onderwerpen zijn besproken.

De belangrijkste resultaten uit de oriënterende interviews zijn de volgende:

- Het management hecht groot belang aan verbetering van de prestaties door kortere en betere beheersbare doorlooptijden.
- Zowel in het traject voor en tijdens de fabricage worden oorzaken gezien van lange doorlooptijden.
- De huidige productiestructuur kent een hoge besturingslast.
- De afdeling montage gaat meer functioneren als zelfstandige klant van de plaatbewerking.

Door het management wordt het grote belang gezien van logistieke verbeteringen. Er wordt een trend waargenomen dat het moment van aanvoer van producten steeds dichterbij het moment van verbruik door de klant. Het gevolg van deze trend is dat de eisen aan de leveringstijden en -betrouwbaarheid strenger worden. Klanten verschillen weinig ten aanzien van deze eisen. Bij normale bezetting zijn de leveringsprestaties van het bedrijf echter onvoldoende. Naast leveringsprestaties is er ook naar prestaties op het gebied van prijs, kwaliteit en flexibiliteit gevraagd. De prijs wordt door velen als hoog aangemerkt. Deze hoge prijs is voor bestaande klanten niet zo'n groot probleem, omdat zij al zijn overtuigd van de toegevoegde waarde van Thavo. Het is wel belemmerend voor het werven van nieuwe klanten. Prestaties op het gebied van kwaliteit worden niet eenduidig beoordeeld door de verschillende respondenten. Verder wordt de flexibiliteit als onvoldoende gezien in relatie tot de hoge mate van klantgerichtheid die het bedrijf kenmerkt.

De beheerslast van de productiestructuur wordt als te hoog ervaren. Tijdens de sterke groei van het bedrijf in '95 tot en met '97 is er veelal doorgeborduurd op de bestaande organisatie. Voor problemen zijn veelal 'bypass'-oplossingen gevonden. Een belangrijke verandering die tot de hogere beheerslast bijdraagt is de verandering in de producten. Het bedrijf heeft geen

eigen producten. De producten worden veelal door de klanten gespecificeerd. De producten zijn complexer geworden en worden in kleinere series verkocht en geproduceerd. De hoge beheerslast wordt als een bedreiging gezien.

Oorzaken die worden aangegeven van lange orderdoorlooptijden in het traject voor de fabricage vallen uiteen in twee onderwerpen. Als belangrijkste oorzaak worden capaciteitsproblemen in de werkvoorbereiding genoemd. Daarnaast wordt onvoldoende/verkeerde structurering van het voorfabricageproject aangegeven als oorzaak (zie ook bijlage 3-2).

In het traject van de order door de fabricage wordt de organisatie als het belangrijkste probleem voor de doorlooptijd gezien. Verbeteringen van de doorlooptijd wordt daarom door de meeste respondenten niet op bewerkingsniveau gezien. In het verleden is er voor de eenvoudige producten een behoorlijke doorlooptijdverkorting gerealiseerd door ze in een aparte afdeling (afdeling A) te fabriceren. De verdere verdeling van het productenpakket over afdelingen B en C heeft niet tot zo'n sterk resultaat geleid. Het onderscheid voor het verdelen van de producten over de afdelingen B en C is gebaseerd op het wel (C) of niet (B) ondergaan van een montagehandeling. Dit onderscheid is verdwenen doordat de afdeling montage -in een nieuwe hal- zich ontwikkeld tot een meer zelfstandig bedrijfs onderdeel. Een ontwikkeling is ingezet waarbij dit bedrijfs onderdeel gaat functioneren als een main supplier. Het wordt dan een klant van de plaatbewerkingsafdelingen

Een discussie ter afsluiting van de verkennende fase heeft de volgende eerste opdrachtformulering opgeleverd: "Ontwerpen van een productie- en besturingsstructuur voor het co-supplier deel van Thavo waarmee de beheersing van de orderdoorlooptijd substantieel verbeterd kan worden". In deze opdrachtformulering komt een integrale benadering naar voren. Reden hiervoor is dat zo'n benadering voorkomt dat er extra 'bypass'-oplossingen worden aangebracht waarmee de besturingslast nog hoger wordt. Een integrale benadering is ook gekozen omdat in het hele traject van voor en tijdens de fabricage oorzaken worden gezien van lange doorlooptijden. Door te beperken tot het co-supplier deel wordt de montage buiten het project gelaten. Deze afdeling is in ontwikkeling tot een zelfstandige klant van de plaatbewerking. De afdeling wijkt door de kenmerken van een assemblage-omgeving sterk af van de afdelingen voor plaatbewerking. Voor de ontwikkeling van de afdeling is dan ook iemand aangetrokken met ervaring in een assemblage-omgeving.

3.3 *Analyse*

In het algemeen doorlopen *entiteiten* (bijvoorbeeld orders, producten of batches) in een productiesysteem een aantal *bewerkingsstappen* volgens een bepaalde *routing*. Een herontwerp van een productiesysteem gaat in op de structurering van dit geheel. Het ontwerpen wordt vooraf gegaan door een fase van analyse. De mogelijkheden voor ontwerp moeten echter eerst worden bepaald. Van belang voor de analyse zijn de items die hierboven cursief zijn weergegeven.

3.3.1 Entiteiten

De entiteiten die door het systeem stromen moeten worden bepaald. Binnen Thavo is de productie volledig klantorder gestuurd. Verkooporders hebben altijd betrekking op slechts één product. Verkooporders en productieorders hebben een één-op-één-relatie. Een productieorder is dus de opdracht tot productie van een aantal gelijke producten. Een productieorder bestaat uit één of meerdere werkorders. Uit analyse van de productie-orders (zie ook Tabel 1), die in de periode van november 1997 tot en met oktober 1998 in productie zijn geweest, komt naar voren dat daarvan 96% maar uit één werkorder bestaat. De overige 4% van de productieorders bestaat uit meer dan één werkorder. Deze samengestelde productieorders bestaan gemiddeld uit 7 werkorders. Een gemiddelde productieorder levert hierdoor 1,3 werkorders op.

Tabel 1: Orderexplosie

Producten	Productieorders	Werkorders	Verhouding 1 op
Enkelvoudig	3824 (96 %)	3824 (76 %)	1,0
Samengesteld	176 (4 %)	1240 (24 %)	7,0
Totaal	4000 (100 %)	5064 (100 %)	1,3

Binnen een werkorder kan er sprake zijn van een opdracht tot productie van verschillende onderdelen, zogenaamde 'pos'-sen ('pos' is kort voor positie en verwijst naar een positienummer op de producttekening), die op één tekening staan en tot dezelfde samenstelling behoren. De explosiefactor van productieorder naar onderdeelopdracht zal hoger liggen dan 1,3. Hoeveel hoger valt niet goed te bepalen doordat in het productiebeheersingssysteem alleen de explosie plaatsvindt tot en met het werkorderniveau en niet tot en met het onderdelenniveau. In de productie blijven de verschillende 'pos'-en van een werkorder fysiek bij elkaar. De 'pos'-en ondergaan dezelfde bewerkingen. De verdere analyses die worden gedaan in dit project gaan daarom niet dieper dan het niveau van de werkorders.

3.3.2 Bewerkingsstappen

Een bewerkingsstap van een werkorder resulteert in een deel van de doorlooptijd van de werkorder: de microdoorlooptijd. Deze microdoorlooptijd bestaat uit de wachttijd voor de bewerking en de tijd voor de bewerking zelf: instellen en bewerken. De bezettingsgraad van de bewerkingscapaciteit, de verdeling van de bezettingstijden en het aantal parallelle stations, zijn alle drie bepalende factoren voor de wachttijd voor een bewerkingsstation.

Twee soorten gegevens zijn verzameld voor de analyse op het niveau van de bewerkingsstappen. De onderlinge uitwisselbaarheid van de machines van de kernbewerkingen is onderzocht. Daarnaast is van alle werkorders uit de periode november 1997 tot en met oktober 1998 van iedere bewerkingsstap de brutowachttijd en de bezettingstijd bepaald.

Uit een analyse van de onderlinge uitwisselbaarheid van de machines van de kernbewerkingen (buigen en productie van uitslagen) komt een behoorlijke flexibiliteit naar voren. De buigbanken worden door hun uitwisselbaarheid nauwelijks beperkt. De D-machines voor de productie van uitslagen hebben een beperktere uitwisselbaarheid door technische beperking. In bijlage 3-3 wordt de analyse weergegeven van de invloed van de technische beperkingen op de uitwisselbaarheid van de D-machines. De verschillende machines beschikken over een ponsfunctie, een buigfunctie of beide functies. Wanneer een groep machines (of één machine) de beschikking heeft over beide functies kan er een aandeel groter dan 95% van het productpakket worden gefabriceerd.

De som van de brutowachttijd en de bezettingstijd geeft de microdoorlooptijd van een werkorder voor een bewerkingsstap. De brutowachttijd is de tijd die tussen de huidige en de voorgaande bewerking verstrijkt. Bij startbewerkingen kan deze niet worden bepaald. Het moment dat de order beschikbaar komt voor de startbewerkingen kan niet goed worden bepaald. Alleen een gepland moment van aankomst is bekend, deze geeft echter onnauwkeurig de praktijk weer. Met behulp van de Pollaczek-relatie (zie ook theorie) kan een theoretische bezettingsgraad worden bepaald. Op basis van de gegevens over de verdeling van de bezettings- en wachttijden is voor alle niet-startbewerkingen deze theoretische bezettingsgraad bepaald (zie ook bijlage 3-4). In Tabel 2 wordt dit kort weergegeven. De gerealiseerde wachttijden zijn zo hoog dat een groot deel van de theoretisch bijbehorende bezettingsgraden boven de 95%-grens liggen.

Tabel 2: Gerealiseerde bezettings- en wachttijden met theoretisch bijbehorende bezettingsgraad

	Gemiddelde bezettingstijd			Gemiddelde verhouding wachttijd en bezettingstijd			Theoretisch bijbehorende bezettingsgraad		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Afdeling:									
Bankwerken		4,7	2,2		3,7	10,4		92%	90%
Buigen	3,6	4,8	1,9	6,7	4,0	13,9	93%	94%	95%
Lassen		6,7	1,8		3,6	18,4		95%	97%
Mech.bankw.	3,2	2,7	2,1	6,7	11,5	9,5	96%	97%	95%
Pemserter	3,8	4,0		11,9	14,7			97%	
Puntlassen		5,9	0,9		6,7	35,4		97%	99%
Stampen	4,0	3,4	1,2	6,3	12,2	23,8	96%	97%	98%

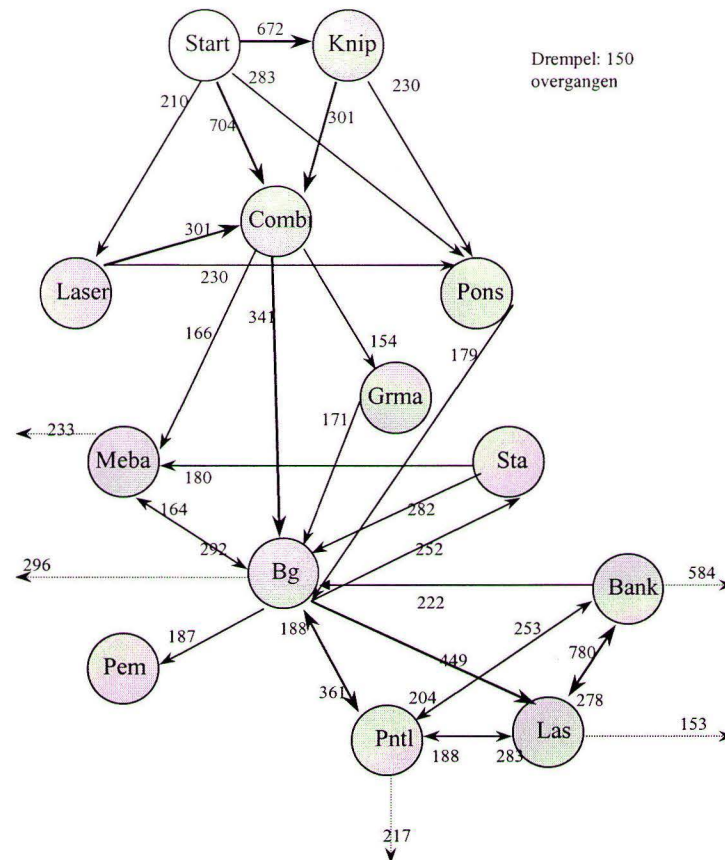
De gerealiseerde bezettingstijden zijn ook gemeten. Doordat de flexibiliteit (van bijvoorbeeld het uitwisselen van mensen tussen afdelingen) niet goed in de urengegevens verwerkt kan worden, geven deze meetgegevens de realiteit niet goed weer. Toch kan wel geconcludeerd worden dat de theoretisch bepaalde bezettingsgraden een stuk hoger liggen dan de gerealiseerde bezettingstijden. Een terugval in het orderpakket heeft er namelijk voor gezorgd dat tijdens een groot deel van de meetperiode een lage werklast in de werkplaats aanwezig was (zie bijlage 3-5). De lange wachttijden kunnen op het niveau van de bewerkingstappen slechts voor een beperkt deel worden verklaard uit de structurele factoren (verdeling bezettingstijden, aantal parallelle stations en bezettingsgraden). Het wordt nu tijd om de routings te analyseren. Mogelijk dat daaruit andere oorzaken voor de lange wachttijden naar voren komen.

3.3.3 Routings

De routings zoals deze in de periode van november 1997 tot en met oktober 1998 zijn gerealiseerd, zijn het uitgangspunt van twee analyses. Ten eerste is een analyse uitgevoerd met een bewerkingscombinatietabel. Het blijkt niet goed mogelijk groepen van werkorders te vinden op basis van hun bewerkingscombinatie. De hoofdoorzaak hiervan is de afwezigheid van een uitgangssituatie met echte kriskrasstromen. Veel van werkorders doorlopen de kernbewerkingen. Centraal staan de bewerkingen voor het produceren en vormgeven van een uitslag door deze respectievelijk te ponsen of snijden en te buigen. Daarnaast zijn er verschillende bewerkingen die hieraan worden toegevoegd. Een poging om tot een indeling van de werkorders op alleen deze bewerkingen te komen levert weinig op, doordat er iedere keer overlap blijft voor een groot deel van de bewerkingscombinaties.

De tweede analyse is een werkverkeeranalyse geweest. De stromen tussen de bewerkingen zijn met behulp van een werkverkeermatrix in kaart gebracht. De matrix is omgezet naar een stroomdiagram (zie Figuur 2). De stromen van de werkorders zijn vrij complex (vooral als wordt gekeken naar de meer complete stroomdiagram in bijlage 3-6). Toch is er geen sprake van een uitgangssituatie met uitsluitend kriskrasstromen.

Latente hoofdstromen worden niet in stroomdiagram ontdekt. Wanneer in het diagram delen zijn die parallel en redelijk onafhankelijk van elkaar functioneren, dan is er sprake van latente stromen. Latente parallelle sub-stromen zijn wel te zien. De stromen via de pons- en de combimachines zijn redelijk onafhankelijk van elkaar. Dit is vrij logisch, omdat deze machines alternatieven van elkaar zijn.



Figuur 2: Werkorderstromen

Een fasering van het productieproces komt na een diepere analyse van het werkverkeer naar voren. De knipbewerking is een typische startbewerking, waar nauwelijks werkorders naar terug stromen. De productie van uitslagen met een laser-, pons- of combi-machine gebeurt als startbewerking of na de knipbewerking. De werkorders komen ook nauwelijks terug naar deze bewerking. Bij de huidige inrichting worden de bewerkingen uit de eerste twee fases (knippen en uitslagproductie) uitgevoerd in afdeling D. De bewerkingen die daarna volgen worden voor een werkorder allen in dezelfde afdeling uitgevoerd. Hierbij is er een keuze tussen de afdelingen A, B en C.

Het buigen heeft een centrale plaats in de werkorderstromen. De bewerking is een kernbewerking. Bijna alle werkorders hebben een buigbewerking nodig. Het buigen bepaalt ook sterk welke mogelijkheden er zijn voor het vervolg van de bewerkingsafloop van de werkorder. Voor het buigen zijn veel posities op het product nog eenvoudig te bereiken. Dit wordt door het buigen beperkt. In de werkvoorbereiding wordt dit zoveel mogelijk meegenomen in de bewerkingsvolgorde. Veel bewerkingen kunnen echter alleen worden uitgevoerd nadat het product gebogen is.

Het buigen heeft een centrale positie en is sterk bepalend voor het vervolg van de bewerkingen. Buigen kan daarom als een afzonderlijke fase worden gezien. Andere fasen bevinden zich dan voor en na het buigen. Uit de stroomanalyse valt ook nog de sterke relatie tussen de hechtbewerkingen (puntlassen en lassen) en het bankwerken. Een groot deel van het bankwerken bestaat namelijk uit het afwerken van de gereede producten. Een laatste fase die bestaat uit het hechten en afwerken kan worden onderscheiden.

Een tweede analyse van het werkorderpakket van november 1997 tot en met oktober 1998 is uitgevoerd met het oog op de gevonden productiefasen. Hieruit blijkt dat een aandeel van

85% van het werkorderpakket zonder backflows de fases doorloopt die in Tabel 3 worden weergegeven.

Tabel 3: Fases in het productiesysteem

Fase	Omschrijving	Bewerkingen
2D	Productie van de uitslag	Knippen, ponsen, lasersnijden en grinding.
MEBA ⁺ vlak	Bewerken van de uitslag voor het buigen	Mechanisch bankwerk, stampen van vlakke producten.
BUIG	Buigen	Buigen
MEBA ⁺ 3D	Bewerken van het gebogen product	Mechanisch bankwerk, stampen van gebogen producten.
HECHT/AFW	Hechten en afwerken van het product	(Punt)lassen en bankwerken als afsluitende bewerking.

Een beperking die de besproken resultaten hebben is de beperking in de analyse tot de orderstromen op werkorderniveau. Uit de orderexplosie kwam naar voren dat een aandeel van 4 % van de productieorders samengesteld van aard zijn. Dit betekent dat de productieorders resulteren in meer dan één werkorder. Bijna een kwart van de werkorders (24 %) behoort tot een samengestelde productieorder. Het samenstellen van de productieorders levert extra werkorderstromen op. Deze zijn niet meegenomen in het onderzoek, omdat deze niet voor een groot pakket goed zijn te bepalen uit het productiebeheersingssysteem. De enige mogelijkheid die de leverancier van het systeem hiervoor aangaf (open database communicatie), is uitgesloten door het management na slechte ervaringen hiermee in het verleden. Ook is geprobeerd deze informatie te krijgen van onder andere de afdelingsleiders in de productie. Ook dit leverde onvoldoende op.

3.4 Uiteindelijke opdracht

De resultaten uit de analysefase zijn als basis gebruikt voor een discussie over de voortzetting van het project. Overeenstemming is tijdens de discussie verkregen over wat voor ontwerp er gemaakt moet worden. De opdrachtgever (adjunct-directeur) en twee begeleiders van de Technische Universiteit Eindhoven waren hierbij aanwezig. De bedrijfsbegeleider (bedrijfsleider) was niet aanwezig. Voor de duur van de discussie is hij vervangen door een ander lid van het management team (hoofd verkoop).

Naast de analyseresultaten zijn ook theorieën (in het volgende hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan) over en ervaringen met Sociotechniek in de discussie gebruikt. Een integrale benadering werd ter afsluiting van de verkenningsfase gekozen om aan de voorwaarde te voldoen dat een ontwerp niet tot een verhoging van de besturingslast (beheersbehoefte) moet leiden. Een sociotechnisch ontwerp is gericht op het reduceren van de besturingslast. Een procesfocus in plaats van een focus op de afzonderlijke bewerkingsstappen zorgt hierbij voor de mogelijkheden voor doorlooptijdverkorting.

In het verkennend onderzoek werd al aangegeven dat doorlooptijdverkorting niet op bewerkingsniveau werd gezien, maar door verbetering van de organisatie. Uit de analyse van de bewerkingsstappen kwam naar voren dat de lange microdoorlooptijden slechts voor een beperkt deel verklaard kunnen worden uit de structurele factoren van de afzonderlijke bewerkingsstappen. Oorzaken worden op een hoger niveau gevonden. De werkorders hebben te maken met een structuur waarin redelijk complexe stromen voorkomen. In de structuur wordt het feit, dat 85% van de werkorders een bepaalde productiefasering zonder backflows doorloopt, onvoldoende benut. De mogelijkheden voor een procesfocus worden hierdoor onvoldoende uitgebuit.

Het ontwerpen van parallelle stromen wordt als een goede start gezien voor een eventuele sociotechnische verandering. Zo'n verandering is ingrijpend en langdurig van aard. Hoe ver

men in het bedrijf wil gaan met een sociotechnische verandering kan niet goed worden aangegeven. Daarom wordt eerst beperkt tot het ontwerpen van de parallelle stromen. Dit ontwerp kan dan ook worden gebruikt voor een discussie in het bedrijf of (hoe) men een sociotechnische veranderingsproces wil ingaan. De parallelle stromen moeten het bedrijf in staat stellen zowel een verlaging van de beheersbehoefte als een kortere doorlooptijden te realiseren.

De uiteindelijke opdracht ziet er als volgt uit:

Ontwerp een parallellisatie van de metaalplaatbewerking die Thavo in staat stelt kortere orderdoorlooptijden te realiseren bij een lagere beheersbehoefte.

De opdracht blijft beperkt tot het ontwerpen van parallelle stromen. Het segmenteren van de stromen, om tot taakgroepen te komen, wordt niet meegenomen. Het ontwerp van de parallelle stromen bepaalt in sterke mate de mogelijkheden voor het inrichten van taakgroepen. Het is daarom belangrijk dat het ontwerpen van parallelle stromen voldoende aandacht krijgt. Door te beperken tot het parallellisatieontwerp wordt ook een duidelijk beslismoment gecreëerd voor het besluit over het in te gaan sociotechnisch veranderingsproces.

4 Theorie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal in worden gegaan op de theorie die ten grondslag ligt aan de aanpak. Er is gekozen voor het ontwerpen van parallelisatie van de productiestromen. Randvoorwaarde voor het ontwerp is dat deze als basis moet *kunnen* dienen voor een organisatieverandering op sociotechnische basis.

Een herontwerp gebaseerd op parallelisatie van de productiestromen kan vanuit verschillende invalshoeken worden beschouwd. In hoofdlijnen is er in het project gekozen voor een invalshoek vanuit de volgende twee richtingen:

- Sociotechniek: Integrale Organisatie Vernieuwing.
- Logistiek: beheersing van de bedrijfsinterne goederenstromen door productiebeheersing en material management.

Het ontwerp moet de organisatie in staat stellen kortere doorlooptijden te realiseren bij een lagere beheerslast. Structuurontwerp volgens de Sociotechniek richt zich primair op de verlaging van de besturingslast. Door een procesfocus, in plaats van een focus op de afzonderlijke bewerkingsstappen, biedt een ontwerp op sociotechnische basis verbeterde mogelijkheden voor doorlooptijdbeheersing. Centraal in het project staat het ontwerpcriterium dat de inrichting in parallelle stromen het bedrijf in staat moet stellen kortere doorlooptijden te realiseren. Het logistieke instrumentarium biedt de mogelijkheden een ontwerp op dit criterium te beoordelen.

4.2 Sociotechniek

4.2.1 Inleiding

Er zal in deze paragraaf in worden gegaan op de Nederlandse variant van de Sociotechniek. In deze variant van de moderne Sociotechniek wordt, in tegenstelling tot de Scandinavische, Australische en Amerikaanse varianten, wel gewerkt met gedetailleerde structuurprincipes voor het ontwerpen (Van Eijnatten, 1993, Van Eijnatten e.a., 1998). Wanneer in het vervolg van de rapportage wordt gesproken over de Sociotechniek dan wordt hiermee de moderne Nederlandse variant bedoeld.

De Sociotechniek omvat meer dan alleen het ontwerpen van parallelle stromen. Het is slechts één van de stappen om tot een sociotechnisch ontwerp van de systeemstructuur te komen. Op deze stappen wordt ingegaan, om het theoretisch kader van het project duidelijk te maken. Deze stappen zijn slechts uitwerkingen van grondbeginselen uit de sociotechnische theorie. Daarom wordt er eerst ingegaan op deze grondbeginselen (§ 4.2.2). De uitwerking van deze grondbeginselen in concrete stappen voor het ontwerpen van systeemstructuren wordt vervolgens besproken in de sub-paragraaf over de ontwerpvolgorde (§ 4.2.3). Wanneer het algemene kader bestaande uit de grondbeginselen en de ontwerpvolgorde is neergezet, kan worden ingezoomd op het deel van de sociotechnische theorie dat specifiek gaat over het ontwerpen van parallelle stromen (§ 4.2.4).

4.2.2 Grondbeginselen

In het standaardwerk van de Nederlandse Sociotechniek 'Synergetisch produceren' biedt De Sitter (1994) een koffer met gereedschap voor het vinden van een structuur waarin human resources goed gemobiliseerd kunnen worden. Hierin komen verschillende grondbeginselen van de Sociotechniek aan bod. In het kader van de afstudeeropdracht wordt ingegaan op de volgende grondbeginselen:

- integraal ontwerp;
- functie-eisen;

- regelcapaciteit;
- basisaspectsystemen;
- structuurparameters.

Integraal ontwerp

De Nederlandse Sociotechniek verschilt van de traditionele Sociotechniek. De traditionele Sociotechniek gaat uit van het conceptuele idee dat een organisatie is op te delen in een sociaal en een technische subsysteem (De Sitter e.a. 1990). Het sociaal subsysteem bestaat daarbij uit de mensen en het technisch subsysteem bestaat uit de technische hulpmiddelen die ze gebruiken. De Sitter (1994) beargumenteert echter dat je van het opdelen in sociale en technische subsystemen niets wijzer wordt. Het gehele systeem kan niet worden geoptimaliseerd door het optimaliseren van beide subsystemen (Frei e.a. 1993). Het zijn juist de relaties tussen mensen en middelen waar het om gaat.

De moderne Sociotechniek, zoals deze in de zeventiger en tachtiger jaren in Nederland is ontwikkeld, heeft een integraal uitgangsprincipe. De architectuur van de systeemstructuur is de kern van deze sociotechnische benadering. De relaties tussen alle systeemelementen (zowel mensen als middelen) zijn namelijk per definitie te zien als een functie van de systeemstructuur (De Sitter e.a. 1990). De benadering is integraal. Dit in tegenstelling van de deeloptimalisering van de sociale en technische deelsystemen uit de traditionele Sociotechniek. In de Europese benadering wordt ook al de stap gezet van de traditionele benadering naar een meer integrale benadering. Frei e.a. (pp. 153, 1993) spreken namelijk over: “Soziotechnische Systemgestaltung als Verknüpfte Optimisierung von technischen und sozialem Teilsystem heisst, Strukturen und Funktionsweisen gemeinsam und in ihrer gegenseitigen Bedingtheit, ausgerichtet auf die jeweilige Primäraufgabe, zu gestalten und zu vernetzen”. De integrale benadering komt ook naar voren in de naam van de moderne Nederlandse Sociotechniek: Integrale Organisatievernieuwing (IOV).

Functie-eisen

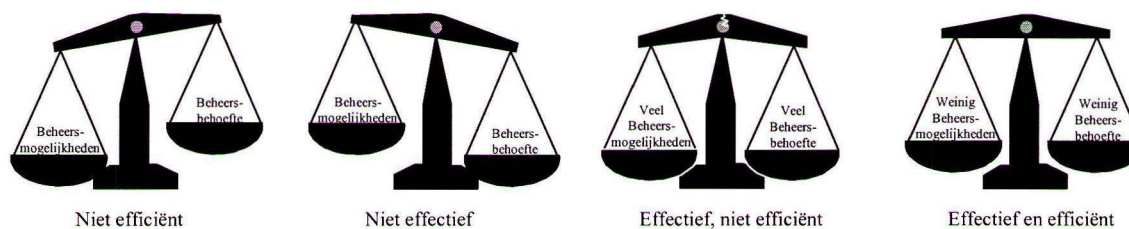
De functie-eisen flexibiliteit, beheersbaarheid en kwaliteit van arbeid nemen een belangrijke plaats in de moderne Sociotechniek in (Groep Sociotechniek, 1987). Hoevenaars (1991) geeft aan dat in een organisatieontwerp wordt gestreefd een organisatie tegelijkertijd aan al deze drie eisen te laten voldoen.

Flexibiliteit wordt door Hoevenaars (1991) gedefinieerd als de eigenschap van de organisatie om -binnen een door de markt geaccepteerde tijdslijm- aan de continu veranderende vraag naar productvarianten, soorten en hoeveelheden te voldoen. Flexibiliteit is in de turbulente omgeving waarin bedrijven tegenwoordig en in de toekomst moeten functioneren een noodzakelijke eigenschap voor overleving. Voor een toeleverancier als Thavo die klantenordergestuurd produceert, geldt dit zeker. De stappen die het bedrijf zet in de richting van comakership versterken dit. Praat (1994) en Boersma (1991) noemen als centrale eis aan toeleveranciers in comakershiprelaties het vermogen van het bedrijf tot coördinatie. Uitbesteders stoten een groot deel van hun complexiteit af aan de toeleveranciers. Doordat uitbesteders kleinere veiligheidsvoorraden aanhouden, worden fluctuaties in hun eigen afzet sneller doorgegeven aan de toeleveranciers. Daarnaast wordt een groot deel van de complexiteit van de ingaande goederenstroom van uitbesteders afgestoten door met de toeleveranciers op module- of systeemverantwoordelijkheid te werken. De toeleverancier krijgt op zijn beurt weer te maken met de complexiteit, die door de uitbesteders wordt afgestoten. Dit vergt nog meer flexibiliteit en coördinatievermogen van de toeleverancier.

De gevraagde flexibiliteit kan slechts gerealiseerd worden, indien de organisatie over voldoende *beheersbaarheid* beschikt (Hoevenaars, 1991, Hoevenaars e.a., 1991). Beheersbaarheid wordt hierbij gezien als de generieke capaciteit van een systeem om te kunnen beheersen. Verbeterde beheersbaarheid wordt door De Sitter e.a. (1990) aangegeven

als het primaire criterium voor een succesvol organisatieontwerp. De reden hiervoor is eenduidig. De specifieke objecten en problemen die in de toekomst beheerst moeten worden zijn onbekend. Het is daarom beter een structuur neer te leggen die de beste mogelijkheden tot beheersing geeft, in plaats van een structuur die ontworpen is op basis van specifieke objecten en problemen die in de huidige situatie beheerst moeten worden.

Binnen de Sociotechniek wil men ook de *kwaliteit van de arbeid* op een acceptabel niveau brengen. Volgens Van Mal (z.j.) is het gebruik van kwaliteit van de arbeid als functie-eis te verklaren uit de ontwikkeling van het sociotechnische vakgebied. De Sociotechniek was van oorsprong een stroming die productiestructuren, waarin mensonwaardige korte cyclustijden voorkomen van repeterende processen met een lage arbeidsinhoud per individu, wilde vervangen door structuren waarin groepen met grotere arbeidsinhoud zelfstandig hun taak uitvoeren.



Figuur 3: Mogelijke verhoudingen tussen beheersmogelijkheden en -behoefte

Alle drie de functie-eisen kunnen als een balans worden gezien tussen behoeften en mogelijkheden (Wisman e.a., 1992):

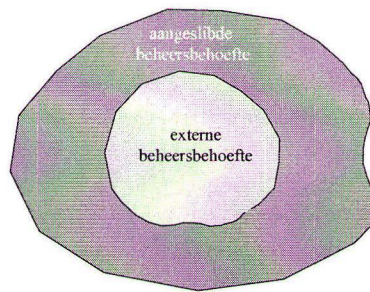
- Flexibiliteit: balans tussen veranderbehoeften en verandermogelijkheden.
- Beheersbaarheid: balans tussen beheersbehoeften en beheersmogelijkheden.
- Kwaliteit van de arbeid: balans tussen regelbehoeften en regelmogelijkheden.

Wanneer de mogelijkheden tekort schieten, is er sprake van ineffectiviteit. Er kan dan niet worden voldaan aan de eisen. Het aanbrenge van extra mogelijkheden in een systeem kost geld. Te veel mogelijkheden resulteert daardoor in inefficiëntie. Voor de beheersbehoeften en -mogelijkheden wordt dit door Hoevenaars (1991) als in Figuur 3 weergegeven.

Welke functie-eis centraal moet worden gesteld in het ontwerp wordt door De Sitter (1994 pp. 207) als volgt aangegeven: “De primaire eigenschap die naar voren komt, is niet alleen de beheersbaarheid van het proces in het hier en nu, maar de beheersbaarheid van het systeem in de tijd”. Het centrale ontwerpcriterium is daarom de beheersbaarheid!

Beheersbaarheid staat centraal. Daarom dient men bij het ontwerpen van organisaties volgens Hoevenaars (1991) te streven naar reductie van de beheersbehoefte, en daarop de beheersmogelijkheden aan te passen. Zij maakt daarbij onderscheid naar externe en aangeslibde beheersbehoefte. De externe beheersbehoefte omvat de variatie die vanuit de omgeving verlangd wordt. Aangeslibde beheersbehoefte ontstaat door de vormgeving van de organisatie. Des te meer uitwisselingsrelaties er zijn tussen groepen, des te groter de aangeslibde beheersbehoefte is. Verlaging van de beheersbehoefte kan op twee manieren:

- Verlagen van de externe beheersbehoefte door ingrijpen in de eisen die gesteld worden vanuit de omgeving.
- Verlagen van de aangeslibde beheersbehoefte door verandering van de structuur van de organisatie. Vereenvoudiging van productiestructuur waardoor verlaging van de omvang van de relaties tot stand wordt gebracht.



Figuur 4: Voorstelling van componenten van beheersbehoefte (Hoevenaars, 1991, pp.21)

De aangeslibde beheersbehoefte wordt door Hoevenaars (1991) in twee categorieën ingedeeld. De X-categorie heeft betrekking op aangeslibde beheersbehoefte die wordt veroorzaakt door de reizen tussen de stromen. De Y-categorie heeft betrekking op aangeslibde beheersbehoefte met andere oorzaken. Drie factoren die invloed kunnen hebben op deze Y-categorie zijn: formele coördinatie, kennisbehoefte en geografische indeling. Een productiesysteem kan in parallelle stromen worden ingedeeld. Wanneer deze stromen te groot zijn om volledig in een taakgroep af te handelen, moeten de stromen in segmenten worden opgedeeld. Dan is er binnen de stroom formele coördinatie vereist tussen de segmenten. De segmentgrenzen zorgen voor extra beheersbehoefte. De factor kennisbehoefte kan voor extra beheersbehoefte zorgen wanneer processen zijn verdeeld over meer stromen, terwijl de behoefte aan proceskennis groter is dan de behoefte aan productkennis. Met betrekking tot de laatste factor, geografische spreiding, wordt aangegeven dat een groepering van processen over een groot oppervlak of verschillende productieruimtes voor extra beheersbehoefte zorgt. Een geografische scheiding zorgt voor een extra schakel in de informatieoverdracht.

Van Mal (z.j.) geeft aan dat op het inrichtingsniveau toetsing moet plaatsvinden op kwaliteit, tijd(igheid) en kosten. Hij mist de vertaling van de functie-eisen uit de Sociotechniek naar dit soort objectief meetbare grootheden. In een paper (Hoevenaars e.a., 1991), waarvan hij mede-auteur is, wordt een combinatie van de functie-eisen en de objectief meetbare grootheden weergegeven. De drie functie-eisen uit de Sociotechniek blijven hierbij centraal staan. De beheersbaarheid wordt echter uitgesplitst naar de beheersing van kwaliteit, tijd en kosten.

Regelcapaciteit

Een organisatie kan worden gezien als een netwerk van systemen waartussen uitwisselingscycli plaatsvinden. Dit netwerk zou in balans zijn wanneer de in- en uitvoeren van de subsystemen netjes volgens voorop gestelde normen zouden verlopen. Veranderingen in bijvoorbeeld omgevings-, gereedschaps- en groepscondities leveren verstoringen (interferentie) op in de in- en uitvoeren.

Regelcapaciteit wordt door De Sitter (1994, pp. 84) gedefinieerd als: “de mogelijkheid die een systeem ter beschikking heeft interferentie te reduceren”. Operationele beheersing richt zich op de reductie van verstoringen in de praktijk. Dit is het gebruik van regelcapaciteit. Reductie van de kansen op verstoringen vergt structurele veranderingen (De Sitter e.a., 1990). Dit betekent dat voor het verlagen van de regelbehoefte, oftewel de behoefte aan het gebruik van regelcapaciteit, de systeemstructuur moet worden aangepast.

Basisaspectsystemen

Eerder werd al aangegeven dat de moderne Sociotechniek een integrale benadering voorstaat. De relaties tussen alle systeemelementen worden daarbij gezien als een functie van de systeemstructuur. De architectuur van deze systeemstructuur wordt daarom centraal gesteld. Twee aspectsystemen worden hierin onderscheiden. Ten eerste de uitvoering: de structuur van de uitvoering wordt de productiestructuur genoemd. Ten tweede de regeling: de structuur van de regeling wordt de besturingsstructuur genoemd (Hoevenaars, 1991). Voor het functioneren

van de besturingsstructuur is informatie nodig. Hiervoor is een informatiestructuur nodig (Sitter, 1994). De volgende definities worden door De Sitter (1994) gegeven van de drie structuren:

- Productiestructuur: de architectuur van de groepering en koppeling van uitvoerende functies ten opzichte van orderstromen.
- Besturingsstructuur: de architectuur van de groepering en koppeling van regelkringen.
- Informatiestructuur: de inhoud en vorm van de te registreren informatie en de manier waarop deze wordt opgeslagen, verwerkt en overgedragen.

Structuurparameters

Sociotechniek is in principe architectuurontwerp. Structuurparameters verwijzen naar de primaire architectuur karakteristieken van de productie- en besturingsstructuur. Acht structuurparameters worden onderscheiden (De Sitter, 1994, De Sitter e.a., 1990):

1. *Functionele concentratie*: verwijst naar de groepering en koppeling van operaties ten opzichte van orderstromen (input-outputcombinaties). Dit is de allerbelangrijkste structuurparameter. Door functionele concentratie gaat men bewerkinggericht in plaats van ordergericht denken.
2. *Specialisatie in de uitvoering*: verwijst naar arbeidsdeling door de groepering van de functies voorbereiden, ondersteunen en maken in afzonderlijke subsystemen. Deze specialisatie is
3. *Splitsing in de uitvoering*: verwijst naar de verdeling van uitvoerende taken in deeltaken.
4. *Scheiding van uitvoerende en regelende functies*: verwijst naar allocatie van deze functies in afzonderlijke subsystemen.
5. *Splitsing van de regeling over procesdelen*: verwijst naar de allocatie van interne en externe regeling procesregeling bij afzonderlijke subsystemen.
6. *Splitsing van de regeling per aspect*: verwijst naar allocatie van aspectregeling bij afzonderlijke aspectregelaars.
7. *Specialisatie van de regeling per niveau*: verwijst naar groepering in afzonderlijke subsystemen van de regeling op strategisch, inrichtings- en operationeel niveau.
8. *Splitsing van de regeling per regelfunctie*: verwijst naar allocatie van de functies waarnemen, beoordelen, en ingreep-kiezen bij afzonderlijke sub-systemen.

De eerste drie structuurparameters hebben betrekking op de productiestructuur, en zijn vooral van belang voor het project. De overige hebben betrekking op de besturingsstructuur.

4.2.3 Ontwerpvolgorde

Bij een structuurontwerp moeten aan een aantal volgorderegels worden gehouden. Uit een combinatie van volgorderegels die in verschillende literatuurbronnen (Van Hooft, 1996, De Sitter e.a., 1990, De Sitter, 1994) worden genoemd, worden hierna de vier belangrijkste genoemd.

De eerste volgorderegels luidt:

“Ontwerp eerst de productiestructuur en daarna pas de besturingsstructuur”.

Het waarom van deze regel volgt uit het grondbeginsel dat de kans op storingen eerst moet worden verlaagd, voordat voor de storingen oplossingen worden gevonden. Een effectieve en efficiënte balans van de beheersbehoefte en beheersmogelijkheden wordt op deze manier nagestreefd. Daarnaast kan natuurlijk niet worden begonnen met de besturingsstructuur, omdat er nog niet bekend is wat bestuurd moet worden.

De tweede volgorderegels luidt:

“Ontwerp de productiestructuur top-down”.

Het ontwerp van de productiestructuur wordt top-down uitgewerkt: van het vormen van stromen op macroniveau via segmenten op mesoniveau naar het microniveau van individuele taken (Van Hooft, 1996). Hoewel de taakgroepen als de basisbouwstenen worden gezien van een integraal ontwerp, wordt niet met het ontwerp van de taakgroepen begonnen. De

ontwerpmogelijkheden van de taakgroep worden namelijk begrensd door de externe structuur van de groep (De Sitter, 1994).

Taakgroepen worden ook wel zelfsturende teams genoemd. Van Amelsvoort e.a. (1994, pp. 11) geven de volgende definitie van een zelfsturend team:

'Een vaste groep van medewerkers die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor het totale proces waarin producten tot stand komen, die aan interne of externe klant geleverd worden. het team plant en bewaakt de procesvoortgang, lost dagelijkse problemen op en verbetert processen en werkmethoden, zonder daarbij voortdurend een beroep te doen op de leiding of ondersteunende diensten.'

In een integraal ontwerp wordt gestreefd naar een vereenvoudiging van het procesbeheersingsvraagstuk door het aantal koppelingen/interfaces tussen werkplekken en afdelingen of segmenten te verminderen. De productiestructuur wordt daarvoor ingericht met onafhankelijke en zoveel mogelijk homogene parallelle stromen. De stromen worden vervolgens zodanig gesegmenteerd dat de operationele procesbeheersing zoveel mogelijk binnen de segmenten autonoom kan plaats vinden (De Sitter, 1994).

De Sitter e.a. (1990) geven aan dat het ontwerp van proces technologie vooraf moet worden gedaan door het ontwerp van de productiestructuur. Het ontwerpprincipe dat hiervoor geldt is dat ontwerp voor flexibele organisatie vooraf gaat aan flexibele automatisering.

De derde volgorderegels luidt:

“Ontwerp de besturingsstructuur bottom-up”

Bij het ontwerpen van de besturingsstructuur wordt uitgegaan van het gegeven dat de regelcapaciteit zo laag mogelijk in de organisatie moet komen te liggen, om slagvaardig te kunnen reageren op klantenwensen en allerlei storingen in het proces (Van Hooft, 1996). Allocatie van de regelkringen vindt plaats door het uitvoeren van stapsgewijze eliminatie. Dit kan als volgt worden weergegeven. Eerst worden alle zaken die geregeld moeten worden op een hoop geveegd. Begonnen wordt er op micro-niveau, op taakgroepniveau. Eliminatie vindt plaats van die zaken, die daar geregeld kunnen worden. Hetzelfde wordt daarna gedaan op meso en macroniveau. Op deze manier worden de regelkringen zo toegedeeld dat zo laag mogelijk de zaken worden geregeld.

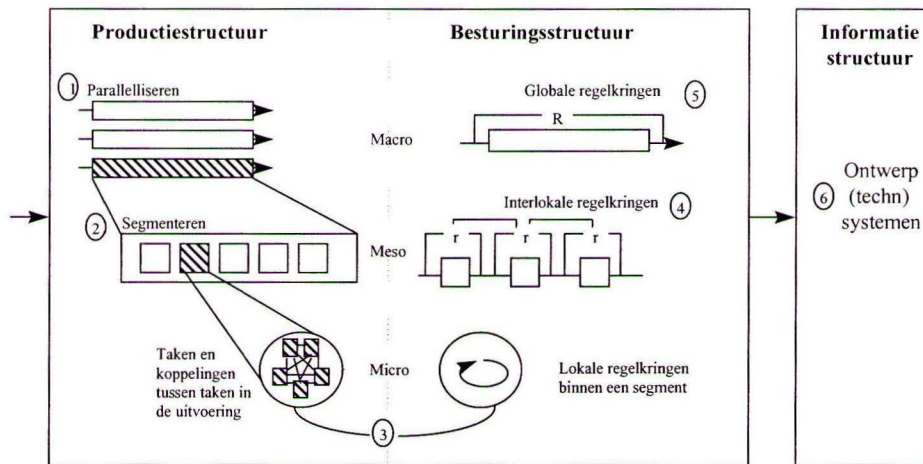
Leidend bij de allocatie van de regelkringen is het principe van eenheid van tijd, plaats en actie. Iedere scheiding in de regeling tussen tijd, plaats en actie tast de betrouwbaarheid, actualiteit, volledigheid en relevantie van de besturingsinformatie aan (De Sitter e.a., 1990).

De vierde volgorderegels luidt:

“Ontwerp de (technische) systemen als laatste”

Het ontwerp van logistieke besturingssystemen, beoordelings- en beloningssystemen, kwaliteitsbeheersingssystemen, financiële systemen e.d. dient volgens Van Hooft (1996) te volgen op het ontwerp van de structuur van de productie- en de besturingsstructuur. De Sitter (1994) plaatst deze systemen onder de noemer informatiestructuur. Ook hij geeft aan dat deze structuur pas kan worden ontworpen wanneer de informatiebehoefte bekend is. Dit is wanneer de besturingsstructuur bekend is.

Uit de vier volgorderegels volgt de fasering van het ontwerpproces van de productie-, besturings- en informatiestructuur, zoals deze in Figuur 5 wordt weergegeven.



Figuur 5: Ontwerpproces productie-, besturings- en informatiestructuur (Aanpassing van De Sitter [pp.214, 1994] en Van Hooft [pp. 20, 1996])

4.2.4 Ontwerpen van parallelle stromen

Nu de grondslagen bekend zijn wordt de stap gemaakt naar de opdracht. Het ontwerpen van parallelle stromen is een onderdeel die volgens de ontwerpfasering uit de IOV als eerste moet plaatsvinden. Instrumenten uit een deelgebied van de Groepentechnologie worden hiervoor gebruikt. Van Mal (z.j.) vraagt zich hierbij af of dit misplaatst is, omdat de uitgangspunten verschillend zijn. Als mede-auteur geeft hij echter ook aan dat toepassing van Groepentechnologie voor een positief effect op de beheersbaarheid zorgt (Hoevenaars e.a., 1991). Een werkgroep van het KIVI geeft de volgende definitie (In 't Veld, pp. 247, 1993): "Groepentechnologie is het ordenen van de binnen een bedrijf of bedrijfstak voorkomende productontwerpen en producten volgens technologische gezichtspunten".

In 't Veld (1993) deelt de methoden uit de Groepentechnologie in op basis van het doel waarvoor ze zijn ontwikkeld. Groepentechnologie voor de tekenkamer en Groepentechnologie voor de werkplaats worden op deze manier onderscheiden. Methoden uit de Groepentechnologie voor de tekenkamer worden toegepast om bij een nieuw productontwerp zoveel mogelijk gebruik te kunnen maken van bestaande ontwerpen. Toepassing van de methoden zorgen er dan voor dat tekeningen van nagenoeg gelijke producten eenvoudig terug te vinden zijn. Methoden uit de Groepentechnologie voor de werkplaats worden vooral gebruikt voor het ontdekken van families producten die ongeveer dezelfde bewerkingen moeten ondergaan. In 't Veld (1993) maakt de volgende indeling van methoden van de Groepentechnologie voor de werkplaats: op het oog, vormclassificatiesystemen, bewerkingsclassificatiesystemen en productierouteanalyse. Het vinden van productfamilies op het oog, wanneer deze voor de hand liggen. Vormclassificatiesystemen worden gebruikt om producten in families in te delen op basis van hun vorm. Bewerkingsclassificatiesystemen combineren vorm en bewerkingen om tot standaardisatie te komen tot standaardisatie van onderdelen, gereedschappen, en bewerkingsplannen en het vormen van schijnseries van grotere omvang. Analyse van de productierouting wordt gebruikt om bewerkingsfamilies te ontdekken. Producten worden op basis van hun productiecombinatie, of -volgorde, gesorteerd.

Tabel 4: Deelgebieden Groepentechnologie

Groepentechnologie (GT)	
GT voor de tekenkamer:	GT voor de werkplaats:
<ul style="list-style-type: none"> • op vorm • op functie 	<ul style="list-style-type: none"> • op het oog • vormclassificatie • bewerkingsclassificatie • analyse van productieroute

Zoals genoemd, worden er in de Sociotechniek alleen methoden uit een deelgebied van de Groepentechnologie gebruikt. Dit deelgebied bestaat uit de methoden voor de werkplaats, die op het oog en op een analyse van de productierouting, families vinden (De Sitter, 1994). In Tabel 4 is dit deelgebied vet weergegeven. De classificatiesystemen zijn minder geschikt omdat deze eerst moeten worden ingevoerd in een bedrijf, voordat ze gebruikt kunnen worden. Dit invoeren is echter een zeer omvangrijke karwei. Daarnaast zijn de systemen vooral ontworpen voor het type producten dat machinefabrieken plegen te fabriceren. Heeft het bedrijf een ander assortiment, dan schieten veel systemen al snel te kort (In 't Veld, 1993).

De Group Analysis uit de Production Flow Analysis van Burbidge (1968) kan als de basis worden gezien voor de Groepentechnologie, zoals deze binnen de Sociotechniek wordt toegepast. Deze methode kan worden geplaatst onder Groepentechnologie voor de werkplaats op basis van analyse van de productierouting. Met Group Analysis worden families onderscheiden in het orderpakket op basis van de combinatie van de bewerkingen die de orders ondergaan. Een familie wordt volledig geproduceerd in een groep. Een groep wordt door Burbidge (1968) gedefinieerd als een lijst van machines die nodig zijn voor de volledige productie van een gegeven familie van onderdelen.

Sinds de Production Flow Analysis is de Groepentechnologie voor de werkplaats op basis van analyse van de productierouting (in het vervolg van het rapport wordt onder Groepentechnologie alleen dit deelgebied bedoeld) verder ontwikkeld (McAuley, 1972, Rajagopalan e.a., 1975, De Beer e.a., 1978, Witte, 1980, Hoevenaars, 1991). De rol van Groepentechnologie binnen de Sociotechniek blijft beperkt tot het leveren van instrumenten voor het vinden van families van producten. Parallele stromen worden dan gevormd door mensen en machines te groeperen rond deze families.

In de Sociotechniek worden parallelle stromen gevormd. De reden hiervoor is dat hierdoor de omvang van de aangeslibde beheersbehoefte teruggebracht kan worden. Zoals eerder werd genoemd is de aangeslibde beheersbehoefte afhankelijk van de inrichting van de structuur. Door het vormen van parallelle stromen kan een grote reductie van de input- en routingvariëteit worden bereikt. De Sitter (1994) geeft het volgende voorbeeld van de routingvariëteit. Een situatie met vier functionele afdelingen met ieder vier parallelle stations geeft $4 \times 4 \times 4 \times 4 = 256$ mogelijke routings. Wanneer deze situatie echter wordt geparallelliseerd door twee parallelle stromen te vormen, dan wordt een reductie van het aantal mogelijke routings gerealiseerd van 94%. Het aantal mogelijke routings is dan $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$.

4.3 Logistiek

De Logistiek is een omvangrijk vakgebied. In deze paragraaf zal worden ingezoomd op dat deel van de theorie dat voor de bedrijfssituatie bij Thavo van belang wordt geacht.

Binnen de Logistiek wordt in het kader van dit project gefocust op de theorie over productiebeheersing en material management. Bertrand e.a. (1996, pp. 1) plaatsen deze begrippen als volgt in een groter kader: "Productiebeheersing en material management zijn onderdelen van het productiemanagement. Productiemanagement heeft betrekking op het geheel van beheersingsprocessen die nodig zijn om producten op efficiënte wijze te kunnen voortbrengen, en met de juiste kwaliteit en op het juiste tijdstip ter beschikking te stellen aan de afnemers..... Productiebeheersing en material management hebben primair betrekking op de beheersing van de hoeveelheid productie als functie van de tijd."

Productiebeheersing en material management vormen samen een aspectbenadering van de coördinatie van de activiteiten in het primaire proces. Er is sprake van een aspectbenadering omdat er alleen wordt gekeken naar logistieke aspecten. Coördinatie van activiteiten vindt bij

deze benadering allereerst plaats op het tijdsaspect: snel en betrouwbaar leveren. Efficiency van benutting van resources komt op de tweede plaats.

Bertrand e.a. (1996) geven aan dat productiebeheersing en material management onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Productiebeheersing heeft betrekking op de bepaling van het moment waarop productiebewerkingen worden uitgevoerd, in welke combinaties en door welke capaciteiten. Material management heeft zowel betrekking op de verwerving van inkoopdelen als de besturing van de goederenstroom via het vrijgeven van werkorders aan productieafdelingen.

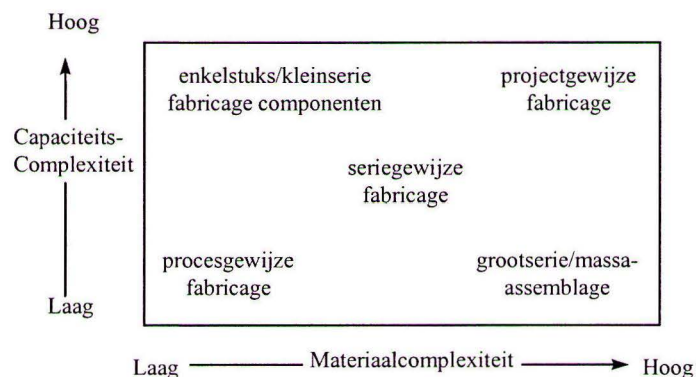
Twee niveaus worden er in de productiebeheersing en material management onderscheiden (Bertrand e.a., 1996): fabrieksniveau en afdelingsniveau. Op fabrieksniveau worden werkorders uitgegeven aan de productieafdelingen. Op afdelingsniveau moeten deze worden uitgevoerd. Op fabrieksniveau moet voor een zekere stabiliteit in de belading van een productieafdeling worden gezorgd. De productieafdeling moet dan zelf zorgen voor de realisatie van bepaalde doorlooptijden. Verder in dit hoofdstuk wordt ingegaan op beheersing op afdelingsniveau. Dit deel levert de meeste theorie die van toepassing is op het inrichten van parallelle stromen.

Beheersing op afdelingsniveau

Er zijn twee kenmerken die grote invloed hebben op de toepasbaarheid van concepten uit de afdelingsbeheersing: de plaats van het klantorderontkoppelpunt en het type afdeling.

De plaats van het klantorderontkoppelpunt bepaald welke activiteiten er klantgericht plaatsvinden. Productie vindt bij Thavo volledig plaats op klantorder en het inkopen voor een behoorlijk deel. Een deel van de nieuwe producten vindt zelfs plaats op basis van engineer to order. Concepten die specifiek bedoeld zijn voor productie op voorraad vallen hierdoor uit.

Bertrand e.a. (1996) typeren afdelingen op basis van hun materiaalcomplexiteit en hun complexiteit van de capaciteit en variëteit in de bewerkingsvolgorde. In Figuur 6 wordt dit weergegeven. De materiaalcomplexiteit is in de metaalplaatbewerking laag. De capaciteitscomplexiteit is hoger. De capaciteiten zijn ook niet gespecialiseerd naar bepaalde producten. Een afdelingstypering die daaruit naar voren komt is de volgende: enkelstuks/kleinserie fabricage. Twee soorten concepten zijn van toepassing: concepten die van algemene aard zijn en concepten die specifiek zijn voor de situaties waarbij op order wordt geproduceerd (en ingekocht) en/of de situaties waar sprake is van een afdelingssituatie die is te typeren als enkelstuks/kleinserie fabricage.



Figuur 6: Afdelingskarakterisering (aanpassing van Bertrand e.a.[pp. 130, 1996])

De factoren die de doorlooptijd in een afdeling bepalen, hebben enerzijds betrekking op de complexiteit van de afdeling en anderzijds op de besturingstechnieken. De belangrijkste

manier om korte en betrouwbare doorlooptijden te realiseren, is ervoor te zorgen dat het beheersingsprobleem eenvoudig is (Bertrand e.a., pp.147, 1996). Een reductie van de complexiteit in een afdeling voorkomt het moeten toepassen van verschillende ingewikkelde besturingstechnieken.

Een afdeling met enkelstuks/kleinserie fabricage kent een lage herhalingsgraad van de vraag naar individuele producten en heeft een grote productdiversiteit. Hierdoor komen er in zo'n afdeling veel verschillende routings voor. Dit schept op de afdelingsvloer een grote onzekerheid op korte termijn over de behoefte aan capaciteit en de prioriteit van de orders. Zwaartepunten voor de beheersing van een afdeling met enkelstuks/kleinserie fabricage liggen op levertijdafgifte, capaciteitsbenutting en doorlooptijdbeheersing (Bertrand e.a. 1996).

De doorlooptijd van een order door een afdeling bestaat uit de som van de doorlooptijden per bewerkingsstap. In het decompositietheorema van Jackson (1957) wordt dit gebruikt. Onder bepaalde voorwaarden (negatief exponentieel verdeelde interaankomst- en bezettingstijden; identieke machines per werkplek; bewerkingstijdafhankelijke verwerkingsvolgorde; variabele routings) kan het probleem van de bepaling van de doorlooptijd door een afdeling worden gereduceerd tot het sommeren van de doorlooptijden per werkplek. De doorlooptijden per werkplek kunnen met wachtrijformules worden bepaald. Bertrand e.a. (1996) geven aan dat het decompositietheorema een goede basis biedt voor het schatten van een bovengrens aan de te verwachten orderdoorlooptijd. De doorlooptijd per bewerkingsstap kan worden uiteengehaald in een bewerkingstijd, wachttijd, transporttijd, administratietijd en omsteltijd. Voor het gebruik in het decompositietheorema van Jackson (1957) wordt beperkt tot de hoofdbestanddelen: bezettingstijd en wachttijd.

De wachttijd per bewerkingsstap worden sterk bepaald door structurele factoren als: het aankomstproces van de orders bij het bewerkingsstation; de verdeling van de bewerkingstijden; het aantal aanwezige identieke, uitwisselbare machines en de bezettingsgraad van de betreffende machines (Durlinger, 1985). In de aangepaste Pollaczek-formule (Bertrand e.a., 1996) wordt de relatie tussen deze structurele factoren aangegeven:

$$\frac{\bar{w}}{\bar{p}} = \frac{\rho}{2c(1-\rho)}(1+y^2)$$

- \bar{w} : gemiddelde wachttijd van de orders bij de bewerkingsstap;
- \bar{p} : gemiddelde bezettingstijd van de bewerkingsstation(s) door de orders;
- ρ : bezettingsgraad bewerkingsstation(s);
- y : variatiecoëfficiënt van de bezettingstijden;
- c : aantal parallelle identieke bewerkingsstations.

Analyses van verschillende structuurveranderingen kunnen met deze relatie worden geanalyseerd. Er kan bijvoorbeeld het effect worden bepaald van het verlagen van de bezettingsgraden door capaciteitsuitbreiding. Durlinger (1985) gebruikt dit principe in zijn Trade-Off-Module. Het Trade-Off-Module geeft inzicht in welke logistieke parameters op welke manier een invloed uitoefenen op de wachttijd.

Naast de structurele factoren bezettingstijdverdeling, aankomstproces en het aantal parallelle capaciteiten hebben ook besturingsregels invloed op de doorlooptijd in een enkelstuks/kleinserie fabricageomgeving. In het project wordt beperkt tot de productiestructuur. Er wordt hier kort op besturingsregels ingegaan omdat het ontwerp van de productiestructuur de mogelijkheden voor het inzetten van besturingsregels beïnvloedt. Besturingsmaatregelen die door Bertrand e.a. (1996) worden genoemd voor gebruik op afdelingsniveau zijn:

- de verwerkingsvolgorde bij de machines;
- de inzet van flexibele capaciteit.

Prioriteitsregels voor de verwerkingsvolgorde geven de manier weer waarop bij een capaciteit wordt bepaald welk product aan de beurt is voor verwerking (Durlinger, 1985). Verschillende prioriteitsregels zijn er voorhanden. Prioriteitsregels verschillen in het resultaat dat ze optimaliseren. Een onderscheid wordt daarbij gemaakt in prioriteitsregels die wel of niet leverdatumgericht zijn. De leverdatumgerichte prioriteitsregels hebben een grote invloed op de leverbetrouwbaarheid, door een reductie van de spreiding op de levertijdafwijking. In het algemeen hebben deze regels geen effect op de gemiddelde doorlooptijd. Dit in tegenstelling tot doorlooptijdgerichte prioriteitsregels.

De inzet van flexibele capaciteit wordt door Bechte (1982) niet genoemd als besturingsmaatregel omdat capaciteiten gewoonlijk beperkt zijn over korter termijn. Bertrand e.a. (1996) geeft echter aan dat er in veel productiesituaties in een zekere mate van capacitatieve flexibiliteit voorhanden is of kan worden gecreëerd. Genoemd worden het verplaatsen van mensen en het gebruik van alternatieve machines. Het inzetten van flexibel inzetbare medewerkers kan sterk doorlooptijdverlagend werken, mits een medewerker die vrijkomt op zijn werkplek snel ergens anders aan het werk kan. Het inzetten van een alternatieve machine kan ook sterk doorlooptijd verlagend werken. Een halvering van de doorlooptijd wordt al gezien wanneer ongeveer 40% van de bewerkingen op een alternatieve machine kan worden uitgevoerd. Ook wordt er aangegeven dat de beschikbare tijd per dag van machines op redelijk korte termijn kan worden uitgebreid. Mogelijkheden die hierbij worden gegeven zijn: overwerk, overgang naar meer ploegen per dag, 's nachts onbemand draaien en uitstellen van onderhoud (Bertrand e.a., 1996).

Beheersing op fabrieksniveau

Beheersing op fabrieksniveau betreft de afstemming van de verschillende productiefasen op elkaar. De belangrijkste oorzaken van een gebrekkige afstemming (ineffectiviteit) worden door Bertrand (1996) genoemd:

- gebrekkige volumeflexibiliteit;
- gebrekkig zicht op klantenorders;
- gebrekkige mixflexibiliteit.

Het vormen van parallelle stromen heeft vooral invloed op de volume flexibiliteit. Zicht op klantenorders en problemen opleveren wanneer op voorraad wordt geproduceerd. Dit is niet het geval bij Thavo. Mixflexibiliteit kan problematisch zijn wanneer er sprake is van lange omsteltijden. Dit vergt veelal serievorming. Hierop wordt verder niet ingegaan.

Onbeperkte volumeflexibiliteit is onbetaalbaar. Vanwege efficiency-normen wordt er in bedrijven gestreefd naar hoge bezettingsgraden van vooral dure capaciteiten. Dit leidt echter tot wachttijden en een hoog niveau van het onderhandenwerk. Fry e.a. (1993) geven echter aan dat in een service-georiënteerde productiestrategie acceptatie nodig is van geplande vrije capaciteit. De service-oriëntatie heeft hierbij betrekking op het leveren van een product, dat goed scoort op al de volgende aspecten: kwaliteit, leveringsbetrouwbaarheid, levertijd en prijs. Het toepassen van geplande vrije capaciteit als buffer in plaats van voorraden levert een grotere flexibiliteit op. Voorraad kan worden gezien als een allocatie van capaciteit naar een specifieke component of product. De capaciteit kan dan niet meer voor een andere component of product worden gebruikt. Het toepassen van geplande vrije capaciteit zorgt voor verkorting van de doorlooptijd, doordat de wachttijden worden verkort. De klanten kunnen dan niet alleen in een kortere levertijd worden bediend, maar ook met een grotere leverbetrouwbaarheid. De variatie in de doorlooptijden daalt namelijk naarmate de doorlooptijd korter wordt. De vrije capaciteit van de werknemers dient goed ingevuld te worden om er voor te zorgen dat deze niet alleen als een kostenpost geldt. Trainingen en het oplossen van problemen worden genoemd om deze vrije capaciteit in te zetten om tot een hoger kwaliteitsniveau te komen. Reductie van kosten wordt op een langer termijn gezien.

Kwaliteitskosten en kosten van de voorraden en onderhandenwerk worden verlaagd door de genoemde effecten.

Werklastbeheersing wordt toegepast om de gemiddelde doorlooptijd in een afdeling te beheersen. De doorlooptijd en het niveau van het onderhandenwerk zijn namelijk lineair aan elkaar gerelateerd. Naast het toepassen van geplande vrije capaciteit en/of capaciteitsvariëaties wordt er vanuit de theorie over werklastbeheersing een andere methode aangegeven: De beheersing van de orderstroom naar de afdeling.

4.4 *Vergelijking Sociotechniek en Logistiek*

Hiervoor is de theorie, voor zover deze van toepassing werd geacht voor de opdracht, van de twee benaderingen Sociotechniek en Logistiek gepresenteerd. Een vergelijking wordt nu tussen de twee benaderingen gemaakt. Allereerst worden de verschillen en overeenkomsten tussen de benaderingen aangegeven. De invloeden die uit de theorie zijn te verwachten van de toepassing van structuurveranderingen volgens de Sociotechniek op de Logistiek, worden daarna weergegeven. Er wordt afgesloten met de mogelijkheden voor het gezamenlijk toepassen van de beide benaderingen.

Verschillen

Belangrijk is dat Sociotechniek en Logistiek wel als twee elkaar aanvullende benaderingen moeten worden gezien. De Sociotechniek pakt problemen in hun samenhang aan. Het is daarom geen aspectbenadering maar een integrale benadering. Dit in tegenstelling tot de logistieke benadering, die wel als aspectbenadering moet worden gezien.

Een ander verschil tussen de twee benaderingen is welke uitgangspunten ze hebben. Voor de logistieke aspectbenadering geldt de productiestructuur van het bedrijf als uitgangspunt. Consequenties van een productiestructuur op de beheersbaarheid van de productie kunnen met de logistieke benadering worden bepaald. Op basis van deze consequenties kan bijvoorbeeld worden besloten om de structuur te wijzigen. Dat is echter een beslissingsproces waar ook andere dan overwegingen met betrekking tot productiebeheersing een rol spelen, en moet daarom gebeuren op basis van een integrale beschouwing (Bertrand, 1996). Bij de Sociotechniek geldt de productiestructuur niet als vast gegeven. Het is juist het object dat bij de Sociotechniek wordt (her)ontworpen. In 't Veld (1993) geeft de verstrekkende gevolgen aan van het beschouwen van de productiestructuur als een vast gegeven in de Logistiek. Door structuurwijzigingen kunnen volgens hem grotere doorlooptijdverkortingen en betere beheersbaarheid gerealiseerd worden dan ooit haalbaar is met de toepassing van Logistieke concepten in een bestaande structuur.

Overeenkomsten

Een overeenkomst tussen de twee benaderingen komt uit het voorgaande naar voren. Vanuit beide benaderingen wordt voor structuurveranderingen een integrale beschouwing nodig geacht.

Een andere overeenkomst tussen de twee benaderingen is de focus op het primaire proces. Beide benaderingen hebben daarin hun aangrijpingspunt.

Zowel vanuit de Sociotechniek en de Logistiek wordt gezien dat het reduceren van complexiteit, en daardoor vereenvoudiging van het beheersingsprobleem, de beste manier is om korte en betrouwbare doorlooptijden te realiseren. De Sociotechniek richt zich op deze vereenvoudiging.

Onderlinge invloeden

Beheersbaarheid is het centrale ontwerpcriterium van de Sociotechniek. Dit omvat ook logistieke beheersbaarheid. Het vormen van parallelle stromen zorgt voor een grote reductie

van de input- en routingvariëteit. De logistieke besturing die hiervoor nodig is, wordt daardoor sterk vereenvoudigd.

Het ontwerpen van parallelle stromen is een belangrijke stap om te komen tot een sociotechnisch structuurontwerp. Het vormen van parallelle stromen zal vaak voor bepaalde capaciteiten betekenen dat deze verdeeld moeten worden over meerdere stromen. Gevolgen hiervan op de gemiddelde doorlooptijd van de bijbehorende bewerkingsstap(pen) kunnen worden aangegeven door een analyse van de structurele factoren die deze doorlooptijd bepalen.

Een verdeling van capaciteit van dezelfde bewerkingssoort over de stromen zal in de praktijk nooit exact dezelfde verdeling opleveren als de behoefte aan capaciteit in die stromen. Dit komt door de ondeelbaarheid van de capaciteiten. De bezettingsgraden van dezelfde bewerkingsstations zullen daardoor in de verschillende stromen vaak van elkaar verschillen. Wanneer bewerkingscapaciteiten met een hoge bezettingsgraad worden verdeeld over parallelle stromen

Gezamenlijke toepassingsmogelijkheden

De Sociotechniek kan gebruikt worden voor het ontwerpen van een nieuwe productiestructuur. Het biedt daarnaast ook instrumenten voor de beoordeling van een ontwerp. Een uitbreiding van de beoordeling van een ontwerp kan met instrumenten uit de Logistiek plaatsvinden. Hierbij moet in oogschouw worden genomen dat deze uitbreiding alleen betrekking heeft op het logistieke aspect. Andere aspecten als kwaliteit en kosten worden dan niet met dezelfde diepgang in de beoordeling meegenomen.

De eerste ontwerpstep van de Sociotechniek is het creëren van parallelle stromen. Dit impliceert dat er een verdeling van capaciteiten over deze stromen moet plaatsvinden. Wanneer deze verdeling echter niet goed in balans is met de capaciteitsbehoefte, kan er de situatie ontstaan van overbezette capaciteiten in de ene stroom en onderbezette capaciteiten in de andere stroom. Met de Pollaczek-relatie kunnen de gevolgen van de capaciteitsverdeling worden geanalyseerd. Wanneer bijvoorbeeld in een stroom een capaciteit zwaar bezet wordt, terwijl deze geen uitwijkmogelijkheden kent, dan volgt uit de Pollaczek-relatie dat er voor deze capaciteit lange wachttijden te verwachten zijn.

Het ontwerp van de besturingsstructuur valt buiten de opdracht. Besturingstechnieken uit de Logistiek kunnen hierbij worden gebruikt voor gebruik in de logistieke aspectbesturing. Door een reductie van de beheersbehoefte in het ontwerp van de productiestructuur kan met eenvoudigere besturingsmiddelen worden volstaan. De ontwerpvolgorde uit de Sociotechniek (van micro naar macro) moet hierbij in acht worden genomen.

Binnen de Logistiek is er weinig literatuur over het ontwerp van logistieke besturingssystemen. Dit in tegenstelling tot literatuur over methoden en procedures. Bertrand e.a. (1990) geven dit ook aan als reden voor het schrijven van het boek "Production control; a structural and design oriented approach". In dit boek wordt wel ingegaan op het ontwerp van logistieke besturingsstructuren. Het gaat te ver om hier in te gaan op de vraag of de benaderingen samen toegepast kunnen worden.

5 Methoden voor ontwerp en beoordeling

5.1 Inleiding

Een onderzoek naar parallellisatie van de werkorderstromen werd in het voorgaande deel als de juiste keuze gezien voor het vervolg van het project. Hierover is overeenstemming gekregen met de opdrachtgever. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de methoden die voor productieparallellisatie bij Thavo zijn toegepast.

Voor het parallelliseren van productiestromen worden in de literatuur verschillende methoden behandeld:

- McAuley (1972): De Single Linkage Cluster Analysis groepeerde machineparen, die een hoge relatiecoëfficiënt hebben. De relatiecoëfficiënten worden bepaald uit een product-machine matrix.
- De Beer e.a. (1978): De 'Productstroomsynthese' biedt geen systematische aanpak om tot een indeling te komen. De techniek bestaat uit een serie van evaluaties om patronen in de productstroom te herkennen. Het is daardoor meer een middel om overzicht te krijgen.
- Burbidge (1968): Group Analysis is een onderdeel van Factory Flow Analysis en deelt producten in groepen in op basis van een visuele sortering. Door het schuiven met rijen en kolommen in een product-machine matrix wordt gezocht naar productfamilies.
- Hoevenaars (1991): Bewerkingsvolgorden worden als basis genomen voor de 'Semi-Parallele Stromen'-techniek. Producten worden gegroepeerd wanneer ze gebruik maken van een ondeelbare capaciteit. Analyse van een parallellisatie vindt plaats door de omvang van de reizen tussen de stromen te bepalen.
- King (1980): In het 'rang-order-cluster-algoritme' is het sorteren in de product-machine matrix, zoals deze door Burbidge wordt toegepast, geautomatiseerd door rijen en kolommen te lezen als binaire getallen.
- Rajagopalan en Batra (1975): Evenals bij McAuley (1972) worden machineparen gegroepeerd, die een hoge relatiecoëfficiënt hebben. Deze relatiecoëfficiënten worden indirect uit de product-machine matrix bepaald. Rajagopalan en Batra nemen echter de frequentieverschillen in de productie van de producten mee.
- De Sitter (1994): De procedure gaat uit van de product-machine matrix. Hoofdstromen worden gezocht door de langste route te kiezen en de routes die daar een deelverzameling van zijn bij te groeperen. Vervolgens wordt van de overgebleven routes weer de langste route bepaald en zo wordt de procedure voortgezet.
- De Witte (1980): Bewerkingscombinaties worden gebruikt voor een gedifferentieerde methode van groepsvorming. Er wordt rekening meegehouden dat sommige machines in meerdere cellen kunnen voorkomen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in ondeelbare, beperkt deelbare en onbeperkt deelbare capaciteiten. Relatiecoëfficiënten worden gebruikt voor de groepsvorming.

Uit een analyse van de werkorderstromen in de vorige fase van het project kwam naar voren dat er geen sprake is van een kriskras-situatie, waarbij een order-machine-matrix voldoende mogelijkheden biedt voor ontwerp. Daarnaast werden er in de werkverkeeranalyse geen latente stromen ontdekt, die als basis voor het ontwerp kunnen dienen. Uit de analysefase bleek wel dat het productieproces uit latente fases bestaat. Parallele stromen waarin gebruik wordt gemaakt van deze productiefasering kunnen worden gevormd. Routingcomplexiteit kan hierdoor sterk worden gereduceerd. De bewerkingsvolgorde speelt daardoor een belangrijke rol bij het ontwerp.

De methoden die voor de parallellisatie van de werkorderstromen bij Thavo zijn toegepast, zijn beperkt tot de methoden waarin de bewerkingsvolgorde wordt meegenomen. Methodes die uitgaan van een order-machine-matrix vallen hierdoor uit. De methode van Hoevenaars is

daardoor de enige methode die overblijft voor ontwerp en analyse van een of meerdere productieparallellisaties. In een evaluatie (Van Eijnatten, 1996) van de verschillende methoden bleek dat de methode van Hoevenaars de voorkeur verdiende boven de bovengenoemde methoden. De methode van Hoevenaars gaat uit van het optimalisatiecriterium beheersbehoefte. Daarbij hoeft echter niet volledig worden geparallelliseerd. Ook biedt het een kwantitatieve beoordelingsmogelijkheid en de mogelijkheid om capaciteiten in meerdere stromen te plaatsen. Al deze punten werden als positief gezien. Negatief werd over slechts één aspect gesproken. De methode wordt door de aanwezigheid van keuzemomenten minder geschikt bevonden voor participatief gebruik.

Naast de methode van Hoevenaars is er ook een andere methode toegepast voor het ontwerpen en analyseren van parallellisatiealternatieven. Deze methode is tijdens het project ontworpen en toegepast.

In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op de inhoud van de Hoevenaarsmethode. In paragraaf 5.3 wordt op de methode ingegaan, die tijdens het project is ontworpen. Voor het overzicht wordt deze methode de 'Nieuwe Methode' genoemd.

5.2 *Hoevenaarsmethode*

De Hoevenaarsmethode (Hoevenaars, 1991, Hoevenaars e.a., 1993) bestaat uit twee delen:

- Een instrument voor het ontwerpen van een productieparallellisatie: 'Semi-Parallele Stromen'-techniek.
- Een instrument voor de beoordeling van een parallellisatie-ontwerp: berekening beheersbehoefte.

5.2.1 Ontwerp met de 'Semi-Parallele Stromen'-techniek

De 'Semi-Parallele Stromen'-techniek (SPS-techniek) van Hoevenaars (1991) biedt een eenvoudig instrument voor het ontwerpen van parallele stromen. Uitgangspunt van deze techniek zijn gegevens over de bewerkingsvolgorden van producten en het aantal beschikbare capaciteiten per bewerking. Ook zijn gegevens nodig over de hoeveelheden waarin deze producten geproduceerd worden. De eerste stap is dan ook het verkrijgen van deze gegevens (vergelijk bijlage 5-1: stap 1 en 6).

De tweede stap (vergelijk bijlage 5-1: stap 7) voor het ontwerpen van een productieparallellisatie is het sorteren van bewerkingsroutes op de minst deelbare bewerking. Van iedere bewerking kan het aantal ondeelbare capaciteiten worden bepaald. Alle bewerkingsvolgorden, waarin een bewerking voorkomt met slechts één ondeelbare capaciteit, worden bijeengevoegd tot een cluster. Het instrument biedt ook nog de mogelijkheid een tweede sortering uit te voeren op bewerkingen waarvoor maar twee capaciteiten beschikbaar zijn.

In de derde stap (vergelijk bijlage 5-1: stap 8) worden aan de gegroepeerde bewerkingsvolgorden capaciteiten toegewezen. Per cluster van bewerkingsvolgorden wordt het aantal bezoeken per bewerking bepaald. De capaciteiten van een bewerking worden verdeeld over de clusters op basis van de verhouding van het aantal bezoeken aan die bewerking. Dit impliceert de aanname dat elk bezoek evenveel beslag legt op de capaciteit van de bewerking.

Een illustratie van de werkwijze van de SPS-techniek als instrument om te parallelliseren wordt in bijlage 5-1 gegeven.

5.2.2 Berekening beheersbehoefte

Hoevenaars (1991) beoordeelt een ontwerp voor productieparallellisatie op de aangeslibde beheersbehoefte, door de omvang van de reizen tussen de parallelle stromen vast te stellen. Reizen tussen segmenten worden bij de analyse genegeerd omdat de segmenten een onderdeel vormen van één dezelfde stroom. De aangeslibde beheersbehoefte, die kan worden veroorzaakt door de aanwezigheid van segmentgrenzen, blijft dus buiten de analyse.

Reizen tussen parallelle stromen komen voor wanneer in een stroom behoefte is aan een capaciteit, die niet voorhanden is in de stroom. De ontwerpmethodiek probeert dit zoveel mogelijk te voorkomen.

Er worden drie verschillende maten genoemd voor het uitdrukken van de reizen tussen de stromen: 'het aantal verschillende producten uit het totale assortiment', 'het aandeel van het totale jaarvolume' en 'het aandeel van het financiële belang'. Voor de toepassing in het project is gekozen de omvang van de reizen uit te drukken in aantallen werkkorders. Dit levert een combinatie van de eerste twee maten op. De werkkorder is de entiteit, die van logistiek belang is. Een werkkorder bestaat uit de opdracht voor productie van een aantal onderdelen. Een werkkorder doorloopt daarvoor verschillende bewerkingsstappen. De omvang van de reizen uitgedrukt in het financiële belang geeft niet goed de complexiteit weer. Het gebruiken van dure in plaats van goedkope machinecapaciteiten zorgt voor een lager financieel belang van het product. Het betekent in principe niet een verlaging van de complexiteit.

Een illustratie van het berekenen van de aangeslibde beheersbehoefte volgens de methode van Hoevenaars wordt in bijlage 5-1 gegeven.

5.3 'Nieuwe Methode'

Als bij de Hoevenaarsmethode, bestaat de 'Nieuwe Methode' uit instrumenten voor het ontwerpen en het beoordelen van productieparallellisaties. Het ontwerpinstrument van de 'Nieuwe Methode' resulteert niet (zoals bij de SPS-techniek van Hoevenaars) in slechts één ontwerp, maar in verschillende alternatieven. Daarom omvat de 'Nieuwe Methode' ook nog een selectieinstrument, voor het selecteren van het beste alternatief of de beste alternatieven. In paragraaf 5.3.1 zal eerst worden ingegaan op het ontwerpinstrument, waarna in de paragrafen 5.3.2 en 5.3.3 twee beoordelingsmethoden worden geïntroduceerd. Op het selectieinstrument wordt in paragraaf 5.3.4 ingegaan.

5.3.1 Ontwerp met het POP-instrument

Waarom een nieuw ontwerpinstrument?

Het ontwerpen van een nieuw instrument voor het parallelliseren tijdens het afstudeerproject heeft een aantal redenen. De bestaande methoden bieden onvoldoende mogelijkheden om te parallelliseren op basis van een bestaande (latente) productiefasering. Op de voordelen die hiermee zijn verbonden, wordt hierna ingegaan.

Uit de analyse van het bestaande productieproces kwam een productiefasering naar voren. Parallelliseren op basis van een bestaande (latente) productiefasering biedt de mogelijkheid stromen te creëren waarin productiefases zonder backflows worden doorlopen. Geen van de ontwerpmethoden, die in de literatuur werden gevonden, biedt de mogelijkheid de productie te parallelliseren op basis van een productiefasering. Het creëren van stromen zonder backflows levert een bestuurlijke vereenvoudiging van een situatie die is te vergelijken met een jobshop naar een situatie die is te vergelijken met een flowshop. Door een groot aandeel van het orderpakket in zulke flowshop-achtige stromen te produceren, blijft er slechts een beperkt pakket over dat in een stroom wordt geproduceerd waarin wel backflows plaatsvinden. De aandacht in de beheersing van werkkorderstromen kan dan worden gefocust op dit pakket, terwijl er in de flowshop-achtige stromen meer uit kan worden gegaan van zelfsturendheid.

De bestaande methoden hebben een sterke focus op de machines/capaciteiten die in de bestaande situatie worden gebruikt. Hoevenaars deelt bijvoorbeeld de stromen in op basis van de deelbaarheid van de capaciteiten. Een kleine verandering in het machinepark kan dan grote gevolgen hebben voor het ontwerp.

In een productiesituatie kunnen verschillende veranderingen (bijvoorbeeld het wegvallen, vervangen of uitbreiden van machines) optreden op het niveau van de afzonderlijke bewerkingen en machines. Doordat bij de bestaande ontwerpmethoden uit wordt gegaan van het niveau van de afzonderlijke bewerkingen en machines, zijn de oplossingen gevoelig voor deze veranderingen. Wanneer echter op het niveau van de productiefases wordt gekeken, zullen slechts weinig veranderingen op het niveau van de afzonderlijke bewerkingen en machines leiden tot een andere productiefasering. Een indeling van parallelle stromen op basis van een productiefasering is daardoor minder gevoelig voor genoemde veranderingen.

Kortom, parallelliseren op productiefasering levert een ontwerp dat:

- Met de flowshop-stromen voor een betere uitgangssituatie zorgt om echt stroomsgewijs te produceren.
- Minder gevoelig is voor veranderingen in machinepark en bewerkingen, doordat indeling plaatsvindt op een hoger niveau: het niveau van productiefases.

Een vereiste is wel dat er in de bestaande situatie sprake moet zijn van een (latente) productiefasering die door een groot deel van het werkorderpakket wordt doorlopen.

Voor het Parallelliseren Op Productiefasering is het POP-instrument ontworpen.

Waaruit bestaat het POP-instrument?

In hoofdlijnen bestaat het nieuwe ontwerpinstrument uit drie delen. Eerst moet worden bepaald of er een (latente) fasering in het productieproces aanwezig is. Indien dit niet het geval is, biedt de methode geen mogelijkheden voor ontwerp. De tweede stap is het bepalen van de fasecombinaties. Dit zijn alle combinaties van fases die door orders doorlopen kunnen worden. Bijvoorbeeld een zeer eenvoudige productiefasering is gevonden bestaande uit drie fases voorbewerking (1), hoofdbewerking (2) en nabewerking (3), waarbij de middelste altijd wordt uitgevoerd. Mogelijke fasecombinaties zijn dan 1-2-3, 1-2, 2-3 en 2.

Van alle orders wordt bepaald welke fases ze doorlopen. Orders worden toegewezen aan een fasecombinatie, indien ze al de fases van een fasecombinatie in de juiste volgorde doorlopen. Orders die niet kunnen worden ingedeeld hebben een afwijkende productievolgorde, en worden verder als een afzonderlijke deelverzameling beschouwd. Het totale orderpakket wordt op deze manier in deelverzamelingen opgedeeld: een deelverzameling per fasecombinatie en een deelverzameling met de orders met een afwijkende productievolgorde.

Veel van de deelverzamelingen zullen veelal te klein zijn om parallelle stromen te creëren voor iedere deelverzameling. De deelverzamelingen moeten dan gecombineerd worden, waardoor voldoende grote ordergroepen ontstaan. Parallelle stromen worden gecreëerd door aan deze ordergroepen bewerkingscapaciteiten toe te wijzen. Vaak zullen er veel verschillende manieren zijn voor het combineren van de deelverzamelingen. Een methode is ontworpen om structuur aan te brengen in het combineren van de deelverzamelingen. Een boomstructuur moet daarvoor worden opgezet. Uit deze boomstructuur kunnen dan verschillende alternatieve indelingen van het orderpakket worden afgelezen. Voor ieder alternatieve indeling worden de bewerkingscapaciteiten toegewezen aan de ordergroepen, zodat parallelle stromen worden gecreëerd.

In hoofdlijnen bestaat het POP-instrument dus uit de volgende delen:

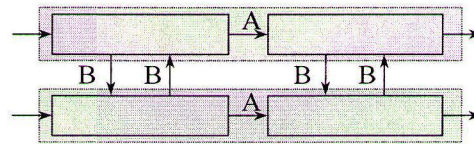
1. bepalen productiefasering;
2. bepalen fasecombinaties;
3. bepalen parallellisatie-alternatieven.

In bijlage 5-2 wordt het nieuwe ontwerpinstrument in groter detail uitgewerkt. Er wordt ook een voorbeeld gegeven van de toepassing van het instrument.

5.3.2 Beoordeling op beheersbehoefte met het 2D3B-instrument

Waarom een aanpassing van de beoordeling op beheersbehoefte volgens Hoevenaars?

Het bepalen van beheersbehoefte, zoals dit gebeurt met de techniek van Hoevenaars, zou ook bij andere technieken kunnen worden toegepast (Van Eijnatten 1996). Evenals bij de analysemethode van Hoevenaars worden bij de 'Nieuwe Methode' ontwerp-alternatieven beoordeeld op de extra beheersbehoefte die ze met zich meebrengen. Bij de berekening van de extra beheersbehoefte worden in de Hoevenaarsmethode alleen de interstroomreizen meegenomen (zie Figuur 7). De extra beheersbehoefte die wordt veroorzaakt door overgangen tussen segmenten wordt in de Hoevenaarsmethode bewust genegeerd. Bij de 'Nieuwe Methode' is dit niet het geval. Het 2D3B-instrument (instrument voor tweedimensionale



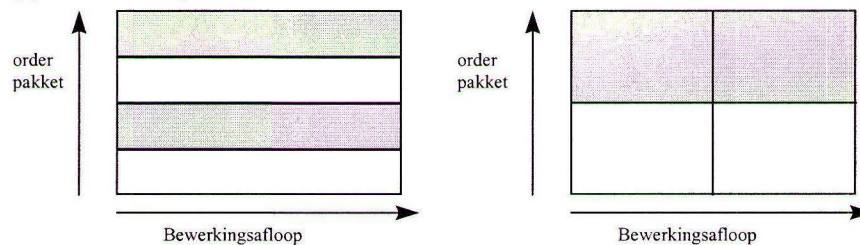
A: intersegment reizen

B: interstroom reizen

beheersbehoeftebepaling), dat onderdeel uitmaakt van de 'Nieuwe methode', neemt zowel de intersegment- als interstroomreizen mee.

Figuur 7: Intergroepsreizen

Bij het paralleliseren trek je als het ware een scheidslijn in het orderpakket. In een parallelle stroom wordt dan een deelverzameling van het orderpakket geproduceerd. In Figuur 8 wordt dit met de horizontale lijnen aangegeven. Bij het segmenteren trek je juist een scheidslijn tussen bewerkingsschappen: de verticale lijnen. Segmenteren moet plaatsvinden wanneer een stroom te groot is. De benodigde groep mensen zou dan te groot worden, waardoor de interne afstemming problemen oplevert.



Figuur 8: Scheidslijnen bij paralleliseren en segmenteren

Wanneer verschillende parallelisatie-alternatieven worden bepaald voor één en hetzelfde productiesysteem, dan kunnen daar alternatieven bijzitten met veel en met weinig parallelle stromen. De alternatieven met weinig stromen zullen relatief weinig interstroomreizen hebben. De verdeling van capaciteiten over de stromen zal namelijk minder moeilijk zijn dan bij alternatieven met veel stromen. Het zal daardoor minder snel voorkomen dat er reizen moeten plaatsvinden tussen stromen doordat een benodigde capaciteit niet in een stroom voorkomt. Wanneer een alternatief uit weinig parallelle stromen bestaat, dan zullen de stromen vaak zo groot zijn dat ze in segmenten moeten worden opgedeeld. De alternatieven met weinig stromen hebben dan wel relatief weinig interstroomreizen, maar worden wel weer gekenmerkt door relatief veel intersegmentreizen.

Bij de beoordeling van parallelisatie-alternatieven met de Hoevenaarsmethode hebben alternatieven met weinig, en dus grote, stromen een voorsprong. Voor een evenwichtige beoordeling dient daarom ook de aangeslibde beheersbehoefte, die wordt veroorzaakt door intersegmentreizen, mee te worden genomen. Segmentgrenzen zorgen namelijk voor extra beheersbehoefte omdat er formele coördinatie nodig is tussen de segmenten in een stroom.

Hoe vindt de beoordeling met het 2D3B-instrument plaats?

Hiervoor werd aangegeven waarom ook de intersegmentreizen, naast de interstroomreizen, worden meegenomen in de beoordeling. Het zou daarbij niet juist zijn de interstroom- en intersegmentreizen even zwaar te wegen. De intersegmentreizen geven minder aangeslibde beheersbehoefte dan de interstroomreizen. Bij intersegmentreizen wordt niet buiten de stroom getreden. Het is alleen het doorgeven van werkorders aan een opvolgende groep in de stroom. Groepen hebben hierbij altijd hetzelfde input- en outputadres.

De interstroomreizen moeten zwaarder worden gewogen dan de intersegmentreizen in de bepaling van de totale aangeslibde beheersbehoefte. Hiervoor wordt een weegfactor geïntroduceerd. Deze factor geeft aan hoeveel keer zwaarder de interstroomreizen worden gewogen ten opzichte van intersegmentreizen. De volgende vergelijking geeft de gewogen aangeslibde beheersbehoefte van een ontwerpalternatief waarbij het aantal interstroomreizen K maal zo zwaar worden gewogen dan de intersegmentreizen:

$$B_i(K) = X_i + Y_i/K$$

met:

$B_i(K)$: Gewogen aangeslibde beheersbehoefte van alternatief i door intergroepsreizen, als variabele van de K -waarde.

K : Interstroomreizen worden K maal zo zwaar gewogen in het aanbrengen van beheersbehoefte ten opzichte van intersegmentreizen.

X_i : Aantal interstroomreizen.

Y_i : Aantal intersegmentreizen.

$K \geq 1$

Twee mogelijkheden zijn er voor het inrichten van deze vergelijking. De eerste mogelijkheid is het vermenigvuldigen van de omvang van de interstroomreizen met de K -waarde. Gekozen is er voor de tweede mogelijkheid: de omvang van de intersegmentreizen door de K -waarde. Voor de uiterste waarden van K heeft de waarde van de gewogen aangeslibde beheersbehoefte een duidelijke betekenis. Bij een K -waarde van één wordt het totaal aantal intergroepsreizen weergegeven. De beheersbehoefteberekening van Hoevenaars kan worden verkregen door een oneindig grote waarde van K te kiezen. De intersegmentreizen worden dan niet meer meegerekend. De berekende waarde geeft dan het aantal interstroomreizen weer.

Voor iedere waarde van de weegfactor kunnen de alternatieven worden vergeleken op de aangeslibde beheersbehoefte die ze aanbrengen. Des te lager de gewogen beheersbehoefte, des te beter het alternatief scoort. Het vaststellen van een exacte waarde voor K zal moeilijk zijn. Het is beter een range aan te geven waarbinnen de waarde zich zal bevinden.

Voordat de reizen tussen de segmenten geschat kunnen worden, moet eerst worden bepaald uit hoeveel segmenten een stroom moet bestaan om niet tot te grote groepen te komen. Voor een goede vergelijking is belangrijk dat voor de verschillende alternatieven dezelfde drempelgrens wordt gehanteerd voor het indelen van een stroom in meerdere segmenten. De vereiste groeps grootte kan niet goed worden bepaald uit de aantallen werkorders die in een stroom voorkomen. Het totaal aantal uren geeft een veel beter inzicht. Het aantal mensen is namelijk sterk verbonden aan het aantal bewerkingsuren. Bediening van meerdere machines tegelijkertijd door dezelfde persoon komt weinig voor. Dit komt doordat alle bewerkingen, op de uitslagproductie na, met een machine of gereedschap door de medewerker zelf worden uitgevoerd.

Op basis van een maximum voor het aantal uren in een groep wordt het aantal segmenten bepaald waarin een stroom moet worden opgedeeld. Dit maximum moet zich verhouden met een groeps grootte van zo'n 17 mensen. Wanneer er een grotere groep nodig is, zal de

onderlinge afstemming te moeilijk worden. Het opsplitsen van zo'n groep levert nieuwe groepen van 9 of meer mensen. Op deze manier wordt de groepsgrootte ongeveer tussen de 9 en 18 mensen gehouden. Meerdere literatuurbronnen (De Sitter, 1994, Van Amelsfoort e.a., 1994) geven aan dat de groepen niet te klein en niet te groot moeten zijn. Waar exact de grenzen moeten liggen tussen de verschillende segmenten wordt hierbij niet aangegeven. Het bepalen van de segmentgrenzen valt buiten de ontwerpstep waarin de parallelle stappen worden ontworpen.

De omvang van de intersegmentstromen wordt bepaald door het aantal werkorders in een stroom te vermenigvuldigen met het aantal segmentgrenzen in die stroom. Hierdoor is vrij eenvoudig een inschatting te maken van het aantal intersegmentreizen. Hierbij wordt aangenomen dat een werkorder alle segmenten van een stroom doorloopt. Deze aanname moet worden gedaan omdat de exacte plaats van de segmentgrenzen niet bekend is. Een stroom is verantwoordelijk voor de volledige productie van een toegewezen werkorder. De aanname is hiermee in lijn. De extra intersegmentreizen die worden veroorzaakt door orders die de fases in een afwijkende volgorde doorlopen worden hier niet meegenomen. Deze backflows worden afzonderlijk bekeken in de beoordeling op het aandeel dat in een flowshop-achtige stromen wordt geproduceerd.

Voor de bepaling van de intersegmentstromen op de beschreven wijze is het niet vereist dat er bekend is waar zich de segmentgrenzen bevinden. Het bepalen van de exacte plaats van deze grenzen valt buiten de parallellisatieprocedure. Onder andere de relatieanalyse van Van Amelsfoort e.a. (1994) biedt hiervoor goede mogelijkheden. De indeling in fases kan hiervoor echter een goed uitgangspunt zijn. Wanneer een segmentgrens op dezelfde plaats wordt gelegd als een grens tussen twee opeenvolgende fases in het proces, dan worden retourstromen vermeden. Een relatieanalyse kan aangeven welke fasegrenzen de voorkeur hebben voor het leggen van een segmentgrens. Wanneer bepaalde bewerkingen een relatief sterke afstemmingsrelatie hebben op het gebied van logistiek en/of kwaliteit, dan heeft het de voorkeur dat deze bewerkingen in hetzelfde segment worden uitgevoerd en niet worden gescheiden door een segmentgrens.

5.3.3 Beoordeling op capaciteitsverdeling

De beoordeling van de alternatieven vindt bij de 'Nieuwe Methode' op twee onderdelen plaats. De alternatieven worden niet alleen beoordeeld op de extra beheersbehoefte (met het 2D3B-instrument) die ze aanbrengen. Ze worden ook beoordeeld op de capaciteitsverdeling die tot stand wordt gebracht bij zo'n parallellisatie.

De robuustheid van de ontwerpen moet ook worden beoordeeld. Er wordt hiervoor gekeken naar de capaciteitsverdeling over de stromen in de alternatieven. Alternatieven waarin capaciteiten in een stroom te zwaar worden bezet, in vergelijking met dezelfde capaciteiten in andere stromen, zijn minder robuust. Bij deze alternatieven zal snel worden uitgeweken naar capaciteiten in andere stromen, wat een grotere omvang van de reizen tussen de stromen inhoudt. Dit betekent extra aangeslibde beheersbehoefte. Daarnaast geeft de hoge bezetting lange wachttijden voor de capaciteiten.

Het verdient de voorkeur de capaciteiten van dezelfde capaciteitsoort, die over verschillende stromen zijn verdeeld, zo gelijk mogelijk te bezetten. Vooral bij hogere bezettingsgraden is dit belangrijk, omdat dan eerder wordt uitgeweken naar een andere stroom.

Door van iedere capaciteitsgroep in de stromen van de alternatieven een verwachte waarde te bepalen van de bezettingsgraad, kan een uitspraak worden gedaan hoe robuust de capaciteitsverdeling is van zo'n alternatief.

Een verwachting van de bezettingsgraad van een capaciteitsgroep in een stroom wordt bepaald door eerst de beschikbare uren te bepalen en daarna de benutting daarvan. Op basis

van historische gegevens worden de beschikbare uren over een bepaalde periode per capaciteitsgroep bepaald door de normale bedrijfstijd en de overuren in die periode te sommeren. De benutting van deze uren valt uiteen in directe uren en indirecte uren. De directe uren worden bepaald door de volgende stappen uit te voeren:

1. Keuze van periode waarover de bezettingsanalyse wordt uitgevoerd.
2. Gegevensverzameling: bezettingstijden van werkorders uit historische gegevens bepalen voor de verschillende capaciteitssoorten.
3. Per alternatief de werkorders met de bijbehorende uren toewijzen aan een stroom op basis van de fasevolgorde van de werkorder.
4. Sommeren van de bezettingstijden per capaciteitsoort in iedere stroom.

De indirecte uren worden niet op een werkorder geboekt en kunnen op die manier niet worden toegedeeld aan een stroom. Wel kan per bewerking worden bepaald wat de verhouding is tussen directe en indirecte uren. Deze verhouding wordt gebruikt voor het schatten van de indirecte uren in de ontworpen stromen. De directe uren per capaciteitsgroep in de stromen worden hiervoor vermenigvuldigd met het verhoudingsgetal van de bijbehorende capaciteitsoort.

De bezetting wordt van een capaciteitsoort in een stroom bepaald door de som van de directe en indirecte uren te delen op de beschikbare tijd. De bepaling van de bezettingsgraad wordt over vier verschillende perioden uitgevoerd. De robuustheid van de alternatieven wordt dan ook getoetst op variaties in productmix en werklast die in verschillende perioden aanwezig zijn.

Voor de bepaling van de robuustheid van de capaciteitsverdeling zijn de bewerkingen in drie categorieën ingedeeld. Bewerkingen waarvoor alleen de machinecapaciteit als beperkende factor geldt vormen de eerste categorie. De tweede categorie bestaat uit de bewerkingen waarvoor slechts de menscapaciteit als beperkend geldt. Voor de bewerkingen uit de derde categorie kan zowel de machine als de menscapaciteit beperkend zijn.

5.3.4 Selectie

Met het ontwerp-instrument kunnen verschillende parallellisatie-alternatieven worden bepaald op basis van een gevonden productiefasering. Het analyse-instrument biedt de mogelijkheid de gewogen beheersbehoefte weer te geven van iedere alternatief voor een bepaalde waarde van de weefactor.

De selectie van het alternatief, dat als het meest geschikt wordt gevonden voor implementatie vindt plaats in twee ronden. In de eerste ronde wordt het aantal alternatieven uitgedund tot zo'n drie á vier alternatieven. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de beoordeling op zowel de beheersbehoefte als de capaciteitsverdeling over de stromen. Bij de beoordeling op de capaciteitsverdeling wordt beperkt tot de kritische capaciteiten: kapitaalintensieve machines, met redelijk hoge bezettingsgraden.

In de tweede ronde wordt dieper ingegaan op de overgebleven alternatieven. Een analyse van de alternatieven moet leiden tot de uiteindelijke keuze. De beoordeling op de beheersbehoefte en de capaciteitsverdeling blijft hiervoor de basis. Daarnaast wordt ook meegenomen het aandeel van het orderpakket dat bij een bepaald alternatief wordt geproduceerd in een zogenaamde 'schone stroom'. In de 'schone stromen' komen geen backflows voor. Een besturingseenvoud vergelijkbaar met flowshop-fabricage wordt in deze afdelingen gecreëerd.

5.4 *Kruisgebruik*

Kruisgebruik tussen de Hoevenaarsmethode en de 'Nieuwe Methode' kan door de ontwerpen van de ene methode te beoordelen met de beoordelingsmethode van de andere methode. Wel moet eerst worden vastgesteld of dit een geoorloofde optie is. Ook moet daarbij worden

vastgesteld of het geoorloofd is de ontwerpen van beide methoden onderling te vergelijken met ieder van de beide beoordelingsmethoden.

Beoordeling van de ontwerpen volgens de 'Nieuwe Methode' is een uitbreiding en aanpassing van de beoordeling volgens de Hoevenaarsmethode. Wanneer de ontwerpen met de Hoevenaarsmethode worden beoordeeld, dan worden de stromen tussen de segmenten niet meegenomen. De extra beheersbehoefte die deze intergroepsverplaatsingen met zich meebrengen worden dan niet meegenomen. Hierdoor hebben alternatieven met weinig parallelle stromen, die door hun grootte wel uit meerdere segmenten moeten bestaan, een oneigenlijke voorsprong op de alternatieven met veel stromen. Hiermee moet rekening worden gehouden wanneer er alternatieven, uit verschillende methoden, worden vergeleken op basis van hun beoordeling met de Hoevenaarsmethode.

Beoordelen van ontwerpen, die zijn bepaald met de SPS-techniek van Hoevenaars, met de 'Nieuwe Methode' geeft een completer beeld. Dit komt doordat nu ook wordt gekeken naar de extra beheersbehoefte door intersegmentreizen en de verdeling van capaciteiten over de stromen. De intersegmentreizen kunnen weer worden voorspeld door eerst te bepalen uit hoeveel segmenten een stroom moet bestaan. Daarna moet het aantal werkorders in een stroom worden vermenigvuldigd met het resulterend aantal segmentgrenzen. De veronderstelling die hieraan ten grondslag ligt is dat alle werkorders alle segmenten doorlopen. Een stroom ontworpen met de SPS-techniek bevat alle productiefases, terwijl een groot deel van de werkorders niet alle fases doorloopt. De veronderstelling dat alle werkorders alle segmenten doorlopen, doet hierdoor meer kwaad aan de werkelijkheid.

De intersegmentreizen die worden veroorzaakt door backflows tussen segmenten, worden nu ook niet meegenomen in de bepaling van de beheersbehoefte. Deze kunnen echter niet zo goed als bij de 'Nieuwe Methode' apart worden beoordeeld. De Hoevenaarsmethode gaat niet uit van een fasering van de productie, waardoor niet bekend is welke verplaatsingen tussen bewerkingen als backflows aangeduid moeten worden. Wanneer wel de productiefasering uit de 'Nieuwe Methode' wordt aangehouden, dan kan wel worden aangegeven wat de backflows zijn in de ontwerpen volgens Hoevenaars. De backflows kunnen in alle stromen voorkomen, terwijl dit bij de ontwerpen volgens de 'Nieuwe Methode' slechts in één stroom voorkomt.

De beoordeling van de alternatieven met de 2D3B-methode uit de 'Nieuwe Methode' levert dus problemen op. Wel kan de verdeling van de capaciteiten goed worden beoordeeld.

5.5 Gegevensverzameling

Voor beide methoden zijn er gegevens nodig voor de analyse van de productiestroom. De bewerkingsvolgorde is van essentieel belang in beide methoden. Om een gefundeerde uitspraak te doen over een nieuwe indeling moet van een voldoende groot orderpakket de bewerkingsvolgorden worden bepaald.

Beperkt door de uitvoermogelijkheden van het productiebesturingssysteem is besloten de bewerkingsvolgorden te bepalen uit de productieregistratie. De productie wordt geregistreerd door het inboeken van gewerkte uren op een werkorder. Door alle urenboekingen per werkorder te verzamelen kan worden bepaald welke bewerkingen wanneer zijn uitgevoerd. De bewerkingsvolgorde van een werkorder is hiermee bekend.

Een bijkomend voordeel is dat uit de urenboekingen ook informatie over de bezettings- en microdoorlooptijden van de bewerkingen te halen is. De informatie over de bezettingstijden is van essentieel belang voor de beoordeling van de alternatieven op de capaciteitsverdeling.

De gegevens zijn echter niet in een zodanige vorm dat ermee kan worden bepaald waar verschillende werkorders samenkomen en worden samengesteld tot een productieorder. Dit

kan of bij een hecht- of bij een montagebewerking zijn. De hechtbewerking valt binnen de scope van het project en de montagebewerking niet. De enige manier waarop de gegevens wel van een voldoende groot orderpakket zijn te bepalen is met behulp van 'open database communicatie'(ODBC). Hiermee zijn in het verleden vergeefs pogingen gedaan gegevens uit de databases van het productiebeheersingspakket te halen. De slechte ervaringen hiermee zijn voor het management voldoende reden geweest de toepassing van ODBC op de databases van het huidige productiebeheersingssysteem uit te sluiten.

Gekozen is om de gegevens te verzamelen van een heel jaar. Het orderpakket over een heel jaar moet voldoende inzicht geven in de productstroom. Eventuele seizoenseffecten worden vermeden, en het pakket is voldoende groot.

6 Resultaten ontwerp en beoordeling

In het vorige hoofdstuk zijn twee methoden gepresenteerd waarmee productieparallellisaties ontworpen en beoordeeld kunnen worden: de Hoevenaarsmethode en de 'Nieuwe methode'. De resultaten van de toepassing van deze methoden in de praktijksituatie van Thavo worden in dit hoofdstuk behandeld. Eerst wordt er ingegaan op de uitgangspunten die als basis zijn genomen voor beide methoden (paragraaf 6.1). Daarna worden in de paragrafen 6.2 en 6.3 de resultaten gegeven van de toepassing van respectievelijk de Hoevenaarsmethode en de 'Nieuwe methode'. Paragraaf 6.4 gaat tenslotte in op de resultaten van het kruisgebruik tussen de twee methoden.

6.1 Uitgangspunten

Wanneer er verschillende uitgangspunten voor de twee methoden worden gehanteerd, dan is een onderlinge vergelijking niet goed meer mogelijk. Daarom is het belangrijk dat de uitgangspunten voor de beide methoden zoveel mogelijk gelijk worden gesteld. Indien er verschillen zijn, moeten die duidelijk worden aangegeven.

Bij het ontwerp en beoordeling van parallellisatie-alternatieven volgens de Hoevenaars- en 'Nieuwe Methode' wordt uitgegaan van dezelfde routinggegevens: de gerealiseerde werkorderrouting in de periode tussen 1 november 1997 en 31 oktober 1998.

Ook wordt er van dezelfde gegevens uitgegaan met betrekking tot de capaciteiten die ter beschikking staan voor de verschillende bewerkingen. Uit de analyse in het vorig deel van het onderzoek (Paragraaf 3.3.2) kwam naar voren dat alleen bij de machines voor het produceren van uitslagen (D-machines) beperkingen zijn met de uitwisselbaarheid. Voor een deel van het werkorderpakket gelden de machines als volledig uitwisselbaar. Voor een ander deel gelden de machines als gedeeltelijk uitwisselbaar. Ook is er een deel van het werkorderpakket dat slechts door één van de machines verwerkt kan worden. Het bleek niet mogelijk de werkorders hierop in te delen, omdat deze informatie niet bij de productgegevens is opgeslagen.

Drie veronderstellingen van de uitgangssituatie kunnen worden onderscheiden ten aanzien van de uitwisselbaarheid van de D-machines:

1. Alle machines zijn volledig uitwisselbaar.
2. De machines die volgens hetzelfde principe werken worden als gelijken gezien. De ponsmachines zijn onderling uitwisselbaar. Hetzelfde geldt dan voor de lasermachines en voor de combinatiemachines.
3. De machines zijn niet uitwisselbaar.

Deze laatste veronderstelling gaat erg ver, gezien het feit dat de verschillende machines een redelijk overlap in hun productenpakket hebben. Een analyse van de impact van de technische beperkingen op de uitwisselbaarheid van de D-machines is in de vorige fase van het project uitgevoerd (zie ook bijlage 3-3). Hieruit kwam naar voren dat een groot deel (95-98%) van het orderpakket geproduceerd kan worden indien zowel de pons- en de laserfunctie aanwezig is in de stroom. Hiervan is sprake als er in een stroom een pons-laser-combimachine beschikbaar is óf als er in een stroom naast een ponsmachine ook een lasermachine beschikbaar is.

Bij het ontwerpen wordt uitgegaan van volledige uitwisselbaarheid van de machines. Indien er stromen worden ontworpen, waarin zowel een pons- als een laserfunctie aanwezig is levert dit geen problemen op. Indien beide functies niet aanwezig zijn in alle stromen van een alternatief, dan moet het ontwerp worden afgewezen. Door het missen van één van beide functies beschikt een stroom over de technische mogelijkheden om slechts een beperkt deel van het orderpakket te produceren.

De eerste bewerking van een deel van het werkorderpakket bestaat uit een knipbewerking. Met een knipbank worden platen in kleinere formaten geknipt, voor verdere verwerking. De omvang van het knipwerk was in het verleden veel groter. Het is tegenwoordig voldoende om één knipbank in slechts één shift in te zetten. In het verleden waren dit twee knipbanken in twee shifts. Een aantal redenen kunnen worden aangegeven voor de afname van het knipwerk. Platen worden steeds meer op maat gekocht. Slechts een beperkt deel van de machines, voor het produceren van uitslagen, legt zulke restricties op aan de plaatformaat dat deze geknipt moet worden.

De knipbewerking kan steeds meer vermeden worden als extra bewerkingsstap. Dit is de reden dat naast de bestaande situatie ook met beide methoden is gewerkt vanuit de aanname dat het knippen volledig geparallelliseerd kan worden. Dit betekent dat voor de knipbewerking geen gebruik hoeft worden gemaakt van de ondeelbare knipcapaciteit.

6.2 *Hovenaarsmethode*

6.2.1 ‘Semi-Parallele Stromen’-techniek

Voor het ontwerpen van een productieparallellisatie volgens de SPS-techniek moeten eerst de deelbaarheidsfactoren van de verschillende bewerkingscapaciteiten worden bepaald. In Tabel 5 worden deze weergegeven. Tussen haakjes staan de ondeelbare capaciteiten die slechts sporadisch worden gebruikt.

Tabel 5: Deelbaarheidsgetallen van bewerkingscapaciteiten

Bewerkings-Capaciteit	Buigen	Mech bank-werken	Pemsserter	Stampen	Bank werken	Jorg
Deelbaarheid	8	9	2	9	-	(1)
Bewerkings-Capaciteit	Lassen	Punt-lassen	Zagen	D-machines	Grinding master	Knip bank
Deelbaarheid	-	9	(1)	5	1	1

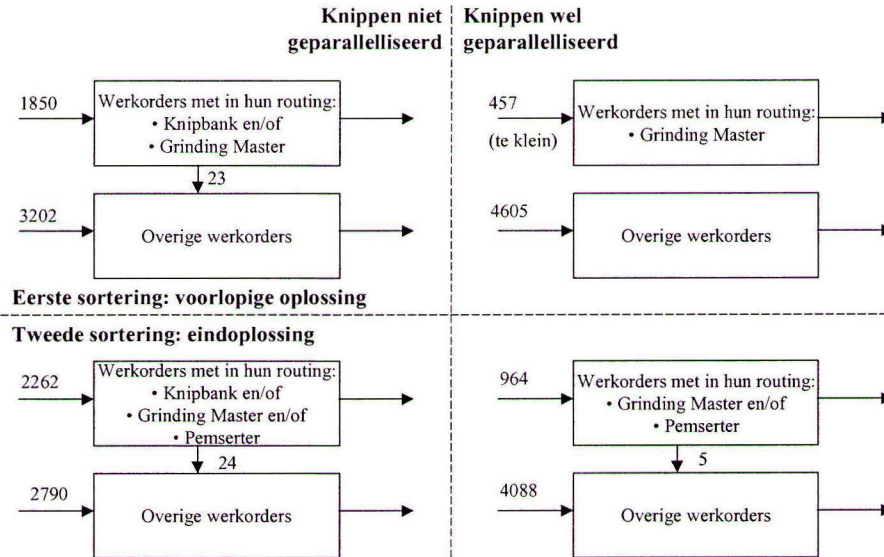
De deelbaarheidsfactoren staan centraal in de ontwerpmethodologie. Orderfamilies zijn onderscheiden op het feit of een order gebruik maakt van een beperkt ondeelbare capaciteit. Stromen zijn gevormd door aan deze orderfamilies bewerkingscapaciteiten toe te wijzen. Door stromen te vormen rond ondeelbare capaciteiten wordt voorkomen dat er reizen tussen stromen nodig zijn, omdat zo'n capaciteit niet aanwezig kan zijn in verschillende stromen.

De knipbank en de grinding master zijn bewerkingscapaciteiten, die regelmatig worden gebruikt en een deelbaarheidsfactor gelijk aan één hebben. Wanneer wordt uitgegaan van volledige parallellisatie van de knipbewerking, blijft alleen de grinding master over als bewerkingscapaciteit met deelbaarheidsfactor één.

De eerste sorteerslag vindt plaats op ondeelbare bewerkingscapaciteiten. De werkorders die van een capaciteit met deelbaarheidsfactor één gebruik maken, zijn uit het gehele werkorderpakket gesorteerd. Dit is gedaan voor zowel de uitgangssituatie waar de knipbewerking volledig te parallelliseren valt, als voor de uitgangssituatie waarbij dit niet geldt. Voor de uitgangssituatie waarbij de knipbewerking volledig te parallelliseren valt, is alleen gesorteerd op de bewerkingscapaciteit Grinding Master. Dit levert echter een te kleine stroom op bestaande uit slechts 457 werkorders. Bij de andere uitgangssituatie is gesorteerd op zowel de bewerkingscapaciteit knipbank als de bewerkingscapaciteit ‘Grinding Master’. In de bovenste helft van Figuur 9 worden de parallele stromen weergegeven voor beide uitgangssituaties: wel of niet de knipbewerking parallelliseren.

In een tweede ronde is gesorteerd op de capaciteit met deelbaarheidsfactor twee: Pemsserter. Dit is gedaan voor beide uitgangssituaties (knippen wel of niet parallelliseren). Het vormen

van een aparte stroom rond de Pemserters blijkt niet mogelijk. De stroom rond de werkorders die een bewerking ondergaan op de Pemserters, is te klein. Daarnaast zijn die werkorders verdeeld over de twee andere stromen die eerder zijn gevormd. Een deel van deze werkorders ondergaat dus ook een bewerking op een ondeelbare capaciteit. De werkorders die een bewerking ondergaan op de Pemserters worden toegevoegd aan de stroom die eerst was gecreëerd door te sorteren op de ondeelbare capaciteiten.



Figuur 9: Parallele stromen bepaald met SPS-techniek

De interstroomreizen die in Figuur 9 worden weergegeven, zijn zeer klein van omvang. Ze worden veroorzaakt door het missen van ondeelbare capaciteiten in één van de stromen. Dit zijn echter ondeelbare capaciteiten waarvan slechts sporadisch gebruik wordt gemaakt.

In Tabel 6 wordt weergegeven uit welke machinecapaciteiten de stromen bestaan die zijn bepaald voor de twee uitgangssituaties.

Tabel 6: Verdeling machines over stromen

Knippen parallel	Stroom	Buigen	Mech bank-werken	Pemsarter	Stampen	Punt-lassen	D-machines	Grinding master	Knip-bank
Ja	1	2	2	2	2	2	1	1	-
	2	6	7	0	7	7	4	0	-
Nee	1	4	4	2	5	5	3	1	1
	2	4	5	0	4	4	2	0	0

6.2.2 Berekening beheersbehoefte

Van iedere parallelisatie die is bepaald met de SPS-techniek kan de extra beheersbehoefte worden bepaald die deze met zich meebrengt. De interstroomreizen die in Figuur 9 worden weergegeven, zijn zeer klein van omvang: 24 werkorders (0,5%) bij de uitgangssituatie zonder parallelisatie van de knipbewerking en 5 werkorders (0,1%) bij de uitgangssituatie met parallelisatie van de knipbewerking. De interstroomreizen worden veroorzaakt door het missen van ondeelbare capaciteiten in één van de stromen. Dit zijn echter ondeelbare capaciteiten waarvan slechts sporadisch gebruik wordt gemaakt. Slechts enkele bewegingen tussen de stromen, worden veroorzaakt doordat van een weinig voorkomende bewerking geen capaciteit aanwezig is in beide stromen.

6.3 'Nieuwe Methode'

Na het ontwerpen van verschillende alternatieven met het POP-instrument zijn deze met het 2D3B-instrument beoordeeld op de extra beheersbehoefte die ze met zich meebrengen. Ook zijn ze beoordeeld op de consequenties van de bijbehorende capaciteitsverdeling.

6.3.1 Ontwerp met het POP-instrument

Bij de presentatie van de 'Nieuwe Methode' in het vorige hoofdstuk werd al aangegeven dat het POP-instrument bestaat uit drie delen: het bepalen van achtereenvolgens de productiefasering, de fasecombinaties en de parallellisatie-alternatieven.

Bepalen productiefasering

Uit een analyse van het werkorderpakket in de vorige fase van het project bleek dat een groot deel van dit pakket zonder backflows de volgende productiefases doorloopt:

Tabel 7: Fases in het productieproces

Fase	Omschrijving	Bewerkingen
2D	Productie van de uitslag	Knippen, ponsen, lasersnijden en grinding.
MEBA ⁺ vlak	Bewerken van de uitslag voor het buigen	Mechanisch bankwerk, stampen van vlakke producten.
BUIG	Buigen	Buigen
MEBA ⁺ 3D	Bewerken van het gebogen product	Mechanisch bankwerk, stampen van gebogen producten.
HECHT/AFW	Hechten en afwerken van het product	(Punt)lassen en bankwerken als afsluitende bewerking.

Het bankwerken dat eventueel tussen bepaalde bewerkingen wordt uitgevoerd voor het bijwerken van producten, wordt hierbij toegewezen aan de fase waarna deze wordt uitgevoerd. Bij het bankwerken wordt niet gebruik gemaakt van dure machinecapaciteiten. Het bankwerken is daardoor niet beperkend voor het indelen van de fases.

De keuze tussen de twee uitgangssituaties (knippen kan wel of niet geparallelliseerd worden) heeft geen impact op de indeling in productiefases. Het onderscheid heeft daarom ook geen invloed op de ontwerpen die zijn gemaakt.

Bepalen fasecombinaties

De twee kernbewerkingen uitslagproductie door ponsen en/of lasersnijden en het buigen, responderen met de twee fases '2D' en 'Buigen'. Deze twee kernbewerkingen worden door zo'n groot deel van het werkorderpakket (85%) doorlopen dat de fases waarin deze voorkomen als vast gegeven worden gezien. Stroomlijnen zonder deze fases worden niet meegenomen in het verdere vervolg. De mogelijke fasecombinaties worden in Tabel 8 gegeven. Hierbij wordt ook hoeveel werkorders een fasecombinatie verloopt.

Tabel 8: Fasecombinaties

Naam	Fasecombinatie	Werkorders
a	2D-MEBAvlak-BG-MEBA3D-HECHT/AFW	63
b	2D-MEBAvlak-BG-MEBA3D-	190
c	2D-MEBAvlak-BG- -HECHT/AFW	253
d	2D-MEBAvlak-BG- -	949
e	2D- -BG-MEBA3D-HECHT/AFW	123
f	2D- -BG-MEBA3D-	451
g	2D- -BG- -HECHT/AFW	730
h	2D- -BG- -	1528
Afwijkend	Overige fasevolgorden	765
Totaal		5052

Een groot deel van de werkorders uit de periode van 1 november 1997 tot en met 31 oktober 1998 kan aan deze fasecombinaties worden toegewezen (zie Tabel 8). Een aandeel van 15% kent een afwijkende volgorde in het doorlopen van de fases en wordt verder als een aparte deelverzameling beschouwd.

Bepalen parallellisatie-alternatieven

Het algoritme voor het opstellen van parallellisatie-alternatieven is vervolgens uitgevoerd. Dit algoritme resulteerde in een boomstructuur-schema waaruit verschillende parallellisatie-alternatieven kunnen worden afgelezen (zie bijlage 6-1). Veertien parallellisatie-alternatieven zijn hiermee bepaald.

De deelverzamelingen werkorders behorende bij een fasecombinatie, zijn gecombineerd om stromen te vormen. In Tabel 9 wordt weergegeven uit welke productiefaseringen de stromen zijn samengesteld. In de stromen komen alleen de fases voor die responderen met de fases van de eerstgenoemde fasecombinaties. Wanneer bijvoorbeeld stroom 3 van alternatief 3 als voorbeeld wordt genomen: in de tabel worden de fasecombinaties e, f en g genoemd. Dit betekent dat de stroom uit dezelfde fases bestaat als fasecombinatie e: 2D-BG-MEBA3D-HECHT/AFW. De deelverzamelingen e, f en g bestaande uit respectievelijk 123, 451 en 730 werkorders vormen samen een stroom met 1304 werkorders.

Tabel 9: Alternatieve stroomindelingen bepaald met de POP-methode

Alternatief	Stroom 1	Stroom 2	Stroom 3	Stroom 4
1	h	d	overige	-
2	h	d	c en g	overige
3	h	d	e, f en g	overige
4	h	b, d en f	c en g	overige
5	h	b, d en f	overige	-
6	h	c, d en g	overige	-
7	h	e, f, en g	b en d	overige
8	h	e, f en g	overige	-
9	h	e, f en g	c en d	overige
10	h	overige	-	-
11	d en h	overige	-	-
12	f en h	overige	-	-
13	f en h	c, d en g	overige	-
14	g en h	overige	-	-

Voor een meer uitgebreide presentatie van de alternatieven wordt verwezen naar bijlage 6-2. Een eerste verdeling van de machinecapaciteiten is voor ieder alternatief bepaald aan de hand van de frequentieverdeling van de bezoeken aan de bijbehorende bewerkingen. Op basis van de beoordeling van deze verdeling in het licht van de capaciteitsbehoefte zijn enkele aanpassingen gedaan in de verdeling van capaciteiten. De verdeling van de capaciteiten over de stromen wordt daar ook gegeven.

6.3.2 Beoordeling op beheersbehoefte

De extra beheersbehoefte kan worden opgesplitst naar de beheersbehoefte die reizen tussen stromen opleveren en de extra beheersbehoefte die voortkomt uit de overgangen tussen segmenten binnen de stromen.

Werkorders reizen naar een andere stroom wanneer ze een bewerking moeten ondergaan waarvoor geen machine aanwezig is in hun eigen stroom. De afwezigheid van de machine wordt veroorzaakt door de ondeelbaarheid van de machine. De omvang van de stromen is afhankelijk van welke uitgangspositie wordt uitgegaan: wel of niet de knipbewerking als

volledig te paralleliseren zien. Wanneer uit wordt gegaan van een volledig te paralleliseren knipbewerking, dan wordt de ondeelbaarheid van de knipbank niet meer meegenomen. Daardoor worden ook de tussenstroomreizen veroorzaakt door het ontbreken van een knipbank in een stroom niet meegerekend. Hierna worden alleen de resultaten gegeven die horen bij een uitgangssituatie met een geparalleliseerde knipbewerking. Eerder werd al aangegeven dat de mogelijkheden voor het voorkomen van deze bewerking voldoende zijn om de ondeelbaarheid van de bijbehorende capaciteit niet mee te nemen.

Als stromen te groot worden dan moeten deze in segmenten worden opgedeeld, zodat de interne groepscoördinatie goed kan functioneren. Deze segmenten bestaan uit één fase of meerdere achtereenvolgende fases in een stroom. De omvang van de intersegmentreizen wordt bepaald door het aantal werkorders te vermenigvuldigen met het aantal segmentgrenzen in de stroom.

De overgangen tussen de segmenten zijn bepaald door van iedere stroom te bepalen uit hoeveel segmenten die moet bestaan om niet te grote groepen te krijgen. Voor alle alternatieven is dezelfde regel gebruikt voor de beslissing of er in meerdere segmenten moet worden opgedeeld. Een drempelgrens van de directe uren in het werkorderpakket, is toegepast voor het opdelen van een stroom in meerdere delen. Wanneer in een stroom meer dan zo'n 22000 directe uren in de werkplaats worden geboekt, zal een groep nodig zijn groter dan 17 personen. Om de interne afstemming niet te belemmeren is het beter een opdeling in twee groepen van negen personen te realiseren.

Een drempelgrens is bepaald door het gemiddeld aantal directe uren per productiemedewerker te bepalen in de periode van november 1997 tot en met oktober 1998 en deze te vermenigvuldigen met 17. Een drempelgrens van 21768 is toegepast om een stroom in meerdere segmenten te delen.

De omvang van de intersegmentreizen is bepaald door het aantal werkorders in de stroom te vermenigvuldigen met het aantal segmentgrenzen in de stroom.

De reizen tussen de stromen en de reizen tussen segmenten zijn verschillend gewogen bij de bepaling van een gewogen aangeslibde beheersbehoefte. Hiervoor is de vergelijking:

$$B_i(K) = X_i + Y_i / K$$

toegepast. Hierin wordt de gewogen aangeslibde beheersbehoefte ($B_i(K)$) van alternatief i bepaald door de intergroepsreizen te sommeren waarbij het aantal interstroomreizen (X_i) een factor K zwaarder wordt gewogen dan het aantal intersegmentreizen (Y_i). In Tabel 10 wordt van alle alternatieven de omvang van de reizen tussen stromen en tussen segmenten weergegeven. De gewogen beheersbehoefte bij een K -waarde van 4 wordt ook weergegeven.

Tabel 10: Omvang van intergroepsreizen en gewogen beheersbehoefte

Alternatief	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
tussen stromen	190	338	458	396	248	326	487	656	517	743	190	172	477	201
tussen segmenten	5150	2575	1271	1934	3868	3524	1081	4440	1018	10572	5150	9219	3073	5588
Bij $K = 4$	1478	982	776	880	1215	1207	757	1766	772	3386	1478	2477	1245	1598

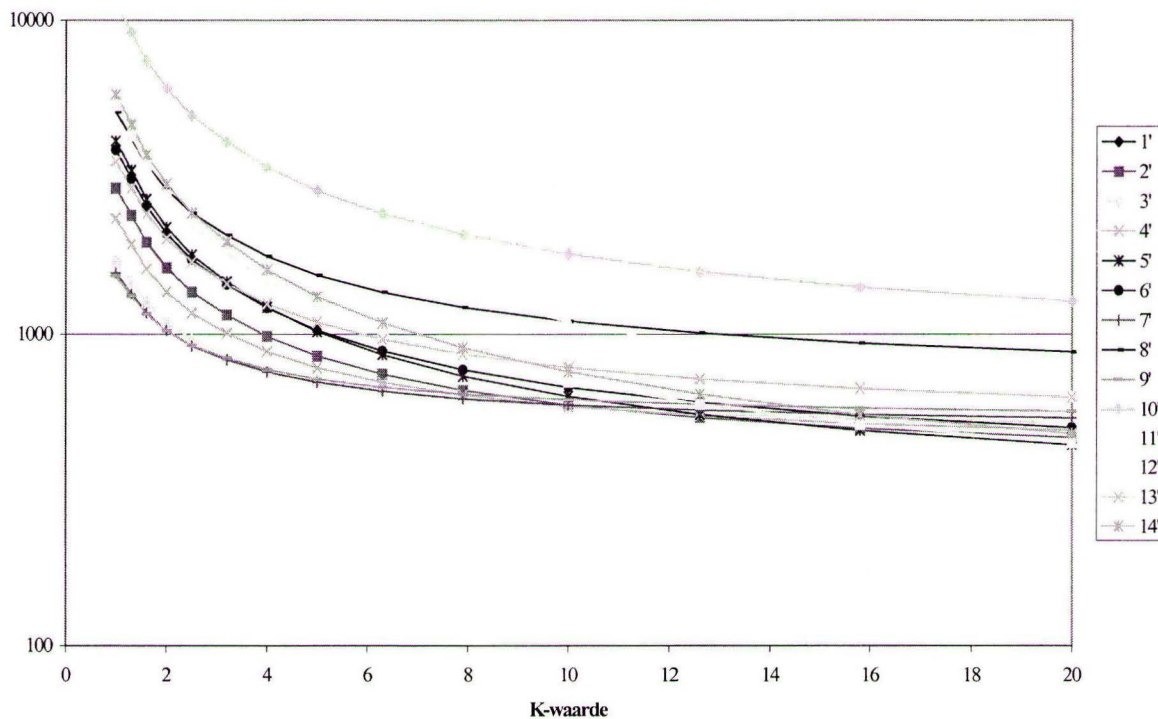
Voor verschillende waarden van K , zijn de gewogen beheersbehoeftes bepaald van alle alternatieven. Bij lage K -waarden scoren de alternatieven goed die relatief weinig intersegmentreizen hebben ten opzichte van de interstroomreizen. Bij hoge K -waarden scoren de alternatieven met weinig interstroomreizen juist goed.

Een exacte waarde van K kan niet goed worden bepaald. Het is namelijk moeilijk te voorspellen hoeveel meer beheersbehoefte een interstroomreis met zich mee brengt ten opzichte van een intersegmentreis. De intersegmentreizen hebben het karakter van een logische overgang tussen twee opvolgende groepen binnen dezelfde stroom. Er is geen

keuzemogelijkheid waar de order heen moet. De overgangsrelatie is een vaste relatie tussen de twee groepen. De twee groepen hebben dan een vaste klant-leverancierrelatie met elkaar. De reizen tussen de stromen hebben echter een ander karakter. Er is geen sprake van het doorgeven tussen twee opvolgende groepen in een stroom. Met meerdere groepen kan een relatie worden gelegd. Doordat buiten de stroom wordt gestapt valt het overzicht over het gehele proces weg. Overleg over het inzetten van capaciteit van de ene stroom voor een product van een andere stroom moet plaatsvinden. De verschillen tussen de stromen leiden nog niet tot de bepaling van een exacte waarde van K. Er wordt wel duidelijk dat een overgang tussen stromen een extra beheersbehoefte veroorzaakt die meerdere malen groter is dan een overgang tussen segmenten.

Omdat een exacte K-waarde niet goed bepaald kan worden is besloten, de alternatieven te beoordelen met een K-waarde die varieert tussen de één en twintig. Deze range wordt als voldoende ruim gezien. Duidelijk was al geworden dat een overgang tussen stromen een extra beheersbehoefte veroorzaakt die meerdere malen groter is dan een overgang tussen segmenten. De K-waarde moet dus ruim boven de één liggen. De maximale waarde van twintig is erg hoog. Zeer onwaarschijnlijk lijkt het dat een overgang tussen twee stromen meer dan twintig keer zoveel beheersbehoefte vragen dan een overgang tussen twee segmenten.

In Figuur 10 wordt voor de hele range van K-waardes de gewogen beheersbehoefte weergegeven.



Figuur 10: Grafiek van gewogen beheersbehoefte

Uit Figuur 10 wordt duidelijk dat een deel van de alternatieven op de hele range slechter scoren dan de overige alternatieven. Aangezien er geen alternatief is die zowel het laagste aantal intersegmentreizen als het laagste aantal interstroomreizen heeft, varieert het over de range van de K-waarde welk alternatief als beste scoort.

6.3.3 Beoordeling op capaciteitsverdeling

Een indeling in stromen met het ontwerpinstrument uit de 'Nieuwe Methode' resulteert in een verdeling van de bewerkingscapaciteiten over de stromen. Indien deze verdeling niet goed in

balans is met de benodigde capaciteit in de stromen, zorgt dit voor problemen. De bezettingsgraad van dezelfde bewerkingscapaciteiten verschillen dan sterk tussen de stromen. Hierdoor kan het gebeuren dat er in een bepaalde stroom onvoldoende capaciteit aanwezig is, terwijl in een andere stroom voor dezelfde bewerkingssoort meer dan voldoende capaciteit aanwezig is. Een verdeling van capaciteiten die niet in balans is met de behoefte kan twee negatieve gevolgen hebben. De wachttijd voor de bewerking met onvoldoende capaciteit kan zeer lang worden en er kunnen extra interstroomreizen optreden doordat er wordt uitgeweken naar de vrije capaciteit in een andere stroom.

Door verandering van de ordermix kan de mate variëren waarin de capaciteitsverdeling in balans is met de capaciteitsbehoefte. Dit is de reden dat de balans van de capaciteitsverdeling en -behoefte voor vier perioden is onderzocht. De periode van november 1997 tot en met oktober 1998 is daarvoor verdeeld in vier periodes van drie maanden. De bewerkingen zijn ingedeeld in categorieën op basis van het soort capaciteit dat voor de bewerkingen van belang is. In Tabel 11 worden deze categorieën weergegeven.

Tabel 11: Capaciteitscategoriën

Categorie	Capaciteit	Bewerkingen
I	Machinecapaciteit	Bewerkingen op de ponsmachines, lasersnijmachine(s) en de combimachines (pons/laser)
II	Menscapaciteit	Lassen en bankwerken
III	Combinatie van mens- en machinecapaciteit	Mechanisch bankwerken, bewerking met de pemsserter, stampen en puntlassen

Bewerkingen waarbij er geen verdeling van capaciteiten over stromen plaats vindt, zijn niet meegenomen. Bijvoorbeeld wanneer er maar één machine voorhanden is voor de bewerking. Deze bewerkingen leveren, doordat er geen capaciteitsverdeling heeft plaatsgehad, geen informatie hoe robuust de alternatieven zijn.

De beschikbare en benodigde capaciteit uit de vier periodes november 1997 tot en met januari 1998, februari tot en met april 1998, mei tot en met juli 1998 en augustus tot en met oktober 1998, is gebruikt voor het bepalen van bezettingsgraden. Deze bezettingsgraden horen bij de capaciteitsverdelingen zoals deze bij de verschillende ontwerpalternatieven zijn gemaakt. De bezettingsgraden van de machinecapaciteiten zijn bepaald voor de bewerkingen uit categorie I en III. Het zelfde is gedaan voor de menscapaciteit van de bewerkingen uit categorie II en III.

Doordat er een redelijke flexibiliteit is in het inzetten van medewerkers op verschillende bewerkingen, kunnen de bezettingsgraden van mensen worden bepaald over meerdere bewerkingen. De bewerkingen uit categorie III zijn als één groep gezien voor het bepalen van de bezettingsgraden van de mensen. Daarnaast moeten de bewerkingen lassen en bankwerken afzonderlijk worden bekeken.

De inzetbaarheidsmatrices geven aan dat tussen de bewerkingen in categorie III de mensen nu al vrij flexibel ingezet kunnen worden. Het lassen en bankwerken wordt hierbij apart genomen. De inzetbaarheid van medewerkers van bijvoorbeeld de bankbewerking op de lasbewerking is minder goed mogelijk. De bezettingsgraden van de lassers moeten daarom ook mee worden genomen in de analyse van de robuustheid. Het benodigde vaardigheidsniveau verschilt sterk tussen het lassen en het bankwerken. Lassers kunnen echter wel allemaal worden ingezet op de bankbewerking. Ook van andere bewerkingen zijn er voldoende mogelijkheden voor inzetten van mensen op de bankbewerking. De bezettingsgraden van de bankwerkers worden niet meegenomen bij de bepaling van de robuustheid van de oplossingen, omdat mogelijkheden tot inzetten van medewerkers van andere bewerkingen op de bankbewerking groot zijn.

Voor de beoordeling van de robuustheid van de ontwerpalternatieven zijn de bezettingsgraden in vier periodes van de capaciteiten bepaald zoals deze in Tabel 12 worden genoemd. Daarbij wordt ook aangegeven of de resulterende bezettingsgraden van de capaciteiten bij één of meerdere ontwerpalternatieven de robuustheid van de oplossing aantasten. In bijlage 6-3 worden de resulterende bezettingsgraden weergegeven.

Tabel 12: Overzicht capaciteiten

Capaciteiten	Aantal	Capaciteits soort	Beperkend voor robuustheid oplossingen
Mechanisch bankwerken, pemserten, stampen, puntlassen en zagen	14	mensen	ja/nee
Lassen	9	mensen	nee
Buigbanken	8	machines	nee
Kolomboormachines voor het mechanisch bankwerk	9	machines	nee
Pemserters	2	machines	ja
Excenterpersen voor het stampen	9	machines	nee
Puntlasmachines	9	machines	nee
Pons-, lasersnij- en combinatiemachines: D-machines	5	machines	ja

Van de bewerkingen waarvan de bezetting van de machinecapaciteiten is bepaald, leveren de bewerkingen buigen, puntlassen, stampen en mechanisch bankwerk weinig problemen op. De machines hebben lage bezettingsgraden, die weinig verschillen per stroom. Doordat deze bewerkingen over relatief veel machines (ieder 8 of 9 machines) beschikken, kan er eenvoudig een uitgebalanceerde capaciteitsverdeling gerealiseerd worden. Door de lage bezettingsgraden van de machines, geldt de beschikbare menscapaciteit voor deze bewerkingen als beperkende factor. De machinecapaciteit wordt daarom bij de verdere beoordeling niet meegenomen.

Machinecapaciteiten die wel een sterke invloed hebben op de robuustheid qua capaciteitsverdeling van de oplossingen, zijn de pemserters en de pons-, lasersnij- en combinatiemachines (D-machines). Twee oorzaken zijn aan te geven waarom deze capaciteiten wel een sterke invloed hebben. Ten eerste zijn er van deze capaciteiten een kleiner aantal machines beschikbaar (2 pemserters en 5 D-machines). Door een kleinere deelbaarheid van deze capaciteiten is het minder eenvoudig een uitgebalanceerde capaciteitsverdeling over de stromen in een ontwerpalternatief te krijgen. Ten tweede ligt de werklust van deze capaciteiten hoger.

De verschillende alternatieven hebben de D-machines en de pemserters verschillend verdeeld over de stromen. De robuustheid van de alternatieven is verschillend door de verdeling van deze capaciteiten. Voor iedere periode kan per alternatief worden bepaald in welke stroom de hoogste bezettingsgraad voorkomt van een capaciteit. Des te lager dit maximum is, des te beter is de verdeling van de capaciteiten. In Tabel 13 worden de maximale waarden van de bezettingsgraden weergegeven per jaar en van het kwartaal waarin het bezettingsmaximum van het alternatief het hoogst is.

Voor het overzicht worden eerst ingegaan op de termen die in Tabel 13 worden gebruikt:

- *Bezettingsmaximum heel jaar*: De capaciteiten worden verdeeld over stromen. Gekeken over een jaar zal er steeds één stroom zijn waarin de capaciteiten het zwaarst bezet worden. Het bezettingsmaximum geeft van deze stroom de gemiddelde bezetting aan van de capaciteit.
- *Kwartaalmaximum bezettingsmaximum*: Het bezettingsmaximum zoals hierboven gepresenteerd, kan ook per kwartaal worden bepaald. Doordat er drukke perioden en minder drukke perioden in het jaar zijn geweest, verschillen de bezettingsmaxima per

periode. Het kwartaalmaximum geeft het bezettingsmaximum van het kwartaal waarin de capaciteit het zwaarst bezet werd.

Tabel 13: Bezettingsmaxima van POP-alternatieven op kritieke capaciteiten

Capaciteit Alternatief	Bezettingsmaxima			
	D-machines		Pemserters	
	Heel jaar	Kwartaal- maximum	Heel jaar	Kwartaal- maximum
1	72%	96%	107%	149%
2	77%	108%	105%	147%
3	87%	130%	71%	98%
4	90%	121%	103%	133%
5	80%	114%	103%	133%
6	73%	90%	105%	147%
7	87%	130%	70%	93%
8	84%	113%	85%	113%
9	94%	115%	76%	101%
10	68%	89%	66%	89%
11	70%	96%	107%	149%
12	74%	105%	90%	120%
13	91%	120%	71%	92%
14	71%	97%	66%	89%

6.3.4 Selectie

De ‘Nieuwe Methode’ voor ontwerp van productieparallellisatie levert, in tegenstelling tot de SPS-methode van Hoevenaars, meerdere alternatieven op. Uit deze alternatieven moet een selectie worden gemaakt. De beoordeling op beheersbehoefte en capaciteitsverdeling is hiervoor gebruikt. Naast deze twee criteria is een extra criterium toegepast.

Het extra criterium heeft betrekking op de D-machines. Uit een analyse van de technische beperkingen van deze machines was eerder al gebleken dat in een stroom zowel een laser- als een ponsfunctie aanwezig moet zijn. Anders is de oplossing vanwege technische beperkingen niet toepasbaar. In de alternatieven met vier parallelle stromen kunnen –met het huidige machinepark- niet alle stromen over beide functies beschikken. Er zal altijd een stroom zijn waarin alleen een ponsfunctie is opgenomen. Dit is echter onvoldoende. De alternatieven met vier parallelle stromen vallen daarom als eerste af. Dit zijn alternatieven 2, 3, 4 en 7.

De volgende selectie vindt plaats op basis van de beoordeling op de aangeslibde beheersbehoefte en op de verdeling van de capaciteiten. De volgende grenzen zijn gehanteerd:

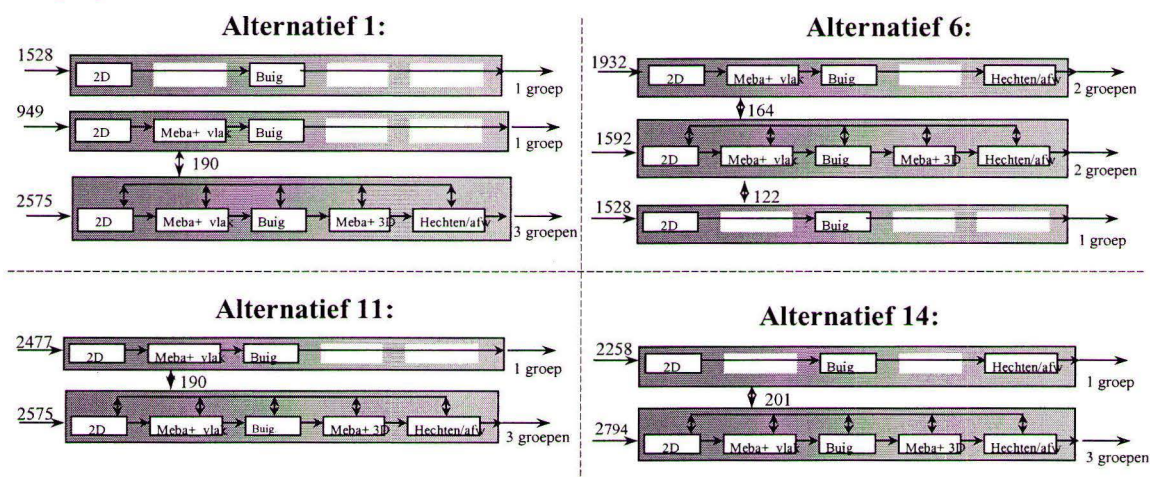
- Het alternatief moet een gewogen extra beheersbehoefte lager dan het gemiddelde.
- Het alternatief moet een jaargemiddelde van de bezettingsmaxima van de capaciteiten hebben lager dan het gemiddelde.
- Het alternatief moet een kwartaalmaximum van de bezettingsmaxima hebben lager dan 100%.

Alleen alternatief 14 voldoet aan alle eisen. De beoordeling op de verdeling van de capaciteiten van de Pemserters geeft bij dit alternatief goede resultaten, dit in tegenstelling tot de meeste alternatieven. Dit is ook niet verwonderlijk, aangezien er bij alternatief geen verdeling van de Pemsertercapaciteit plaatsvindt. De Pemserters zijn in slechts één stroom nodig.

Op basis van de kapitaalintensiteit van de capaciteiten kan een onderscheid worden gemaakt tussen de D-machines (tonnen) en de Pemserters (tienduizenden guldens). De D-machines draaien dan ook in 2-ploegendienst en de Pemserters in dagdienst. Een eventuele uitbreiding

van de capaciteit van de Pemserters is vanwege de genoemde verschillen eenvoudiger te realiseren dan bij de D-machines. Dit geeft aanleiding om ook een selectie te bekijken waarbij de verdeling van de Pemsertercapaciteit niet wordt meegenomen.

Alternatieven 1, 6, 11, en 14 blijken bij de nieuwe selectie wel te voldoen aan alle eisen. In Figuur 11 worden de ontwerpen weergegeven. De aangeslibde beheersbehoefte is van deze alternatieven beneden gemiddeld en de verdeling van de capaciteiten van de D-machines levert niet te hoge bezettingsgraden op. Alleen de bezettingsmaxima van de Pemserters zijn te hoog bij alternatieven 1, 6, en 14.



Figuur 11: Geselecteerde POP-alternatieven

6.4 Kruisgebruik

Het kruisgebruik van de methoden bestaat uit het beoordelen van de alternatieven uit de ene ontwerp-methode met de beoordelingsmethode van de andere methode.

De ontwerpen die met de ‘Nieuwe Methode’ zijn bepaald, kunnen eenvoudig worden beoordeeld volgens de Hoevenaarsmethode. De reizen tussen de segmentgrenzen worden dan buiten de beoordeling gehouden. Duidelijke verschillen komen naar voren tussen de alternatieven die met de beide methoden zijn ontworpen. De alternatieven die met de SPS-techniek van Hoevenaars zijn bepaald leveren verwaarloosbaar weinig interstroomreizen op: 24 en 5 (resp. 0,5 en 0,1%). Het aantal interstroomreizen van de alternatieven die met het POP-instrument zijn opgesteld varieert tussen de 190 en 743 stuks (3,8 en 15%).

Bij de interstroomreizen van de alternatieven van het POP-instrument zijn de bewegingen naar de ondeelbare knipbank niet meegenomen. De aanname dat de knipbewerking te paralleliseren valt is hiervan de reden. (Voorkomen knipbewerking door op maat in te kopen of uitvoeren tijdens bewerking op D-machine). Onder de tegenovergestelde aanname levert het ontwerpinstrument dezelfde ontwerpen, maar echter met veel meer interstroomreizen. Veel werkorders moeten dan eerst naar de stroom waarin de enige knipbank is geplaatst. Met de SPS-techniek van Hoevenaars zijn twee alternatieven opgesteld: één voor de beide aannames over de knipbewerking.

De ontwerpen die met de SPS-techniek zijn bepaald, kunnen ook worden beoordeeld met de beoordelingsmethoden uit de ‘Nieuwe Methode’. Beoordeling met de 2D3B-methode levert echter, zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven, problemen op. De capaciteitsverdeling kan echter wel goed worden vergeleken. Uitgebreid worden deze resultaten gegeven in bijlage 6-3.

In de 'Nieuwe methode' wordt de capaciteitsverdeling over de stromen ook beoordeeld. Selectie vindt plaats op de beoordeling van de capaciteitsverdeling van de kritieke capaciteiten. Ook bij de SPS-alternatieven zijn de capaciteiten van de D-machines verdeeld. Dit in tegenstelling tot de capaciteiten van de Pemserters. In Tabel 14 worden de bezettingsmaxima gegeven van de D-machines. Op de gebruikte termen werd hiervoor al ingegaan. Wanneer de SPS-alternatieven in de selectie van de POP-alternatieven waren meegenomen, dan waren beide alternatieven in ieder geval afgewezen op basis van hun kwartaalmaximum.

Tabel 14: Bezettingsmaxima van SPS-alternatieven op kritieke capaciteiten

Alternatief:	Bezettingsmaxima D-machines	
	Heel jaar	Kwartaal-maximum
Hoef (knippen parallel)	81%	110%
Hoef (knippen niet parallel)	85%	105%

7 Analyse

De resultaten uit de toepassing van de instrumenten uit de Hoevenaarsmethode en de 'Nieuwe methode' zijn in het vorige hoofdstuk gepresenteerd. In dit hoofdstuk wordt een analyse weergegeven van deze resultaten. Hierbij wordt de theorie uit Hoofdstuk 4 als basis genomen. Eerst zal alleen naar de ontwerpen op zich zelf worden gekeken (§ 7.1). Daarna zal een verdere analyse plaatsvinden van de resultaten uit de beoordeling van de alternatieve ontwerpen (§ 7.2).

7.1 *Ontwerp*

Wanneer wordt gekeken naar de ontwerpen *sec*, dan vallen een aantal verschillen op tussen de resultaten van de toepassing van de beide ontwerpmethoden.

Uit de theorie over de Logistiek werd al duidelijk dat complexiteit in een afdeling de belangrijkste veroorzaker is van lange doorlooptijden. Complexiteit wordt onder andere veroorzaakt door veel verschillende bewerkingsmogelijkheden en routings. Alle parallele stromen, van de ontwerpen die met de SPS-techniek zijn bepaald, bestaan uit bijna alle bewerkingsmogelijkheden. Alleen de bewerkingen die gebruik maken van de Grinding Master de Pemsarter (knipbank, wanneer de knipbewerking als niet te paralleliseren wordt gezien) worden in slechts één stroom uitgevoerd. Met het POP-instrument uit de 'Nieuwe methode' zijn ontwerpen gemaakt waarbij steeds maar één stroom uit alle productiefases bestaat. Andere stromen in een ontwerp bestaan slechts uit een deel van de productiefases. Die stromen hebben door een sterke reductie van de verschillende bewerkingsmogelijkheden en routings een sterk verlaagde interne complexiteit.

Een ontwerp, bepaald met de SPS-techniek, wordt volledig gebaseerd op de bewerkingen die de werkorders ondergaan op ondeelbare of beperkt deelbare capaciteiten. Hierdoor zijn er sterke verschillen tussen de ontwerpen die zijn gemaakt voor de beide veronderstellingen over de knipbank. Een andere veronderstelling op bewerkingsniveau heeft een sterke invloed op de uitkomsten van het instrument. Naast de knipbank zijn de andere twee ondeelbare / beperkt deelbare capaciteiten de Pemsarter en de Grinding Master. Parallele stromen worden ingedeeld op basis van deze capaciteiten. Het indelen van de stromen op deze manier maakt de indeling gevoelig voor veranderingen. Wanneer er, door bijvoorbeeld een technologische wijziging, het gebruik van één van de capaciteiten overbodig wordt, moet de stroomindeling opnieuw worden herzien. Dit is niet ondenkbaar, gezien het karakter van bewerkingen die met de capaciteiten worden uitgevoerd. Het zijn geen kernbewerkingen.

De indeling in parallele stromen is de eerste stap om te komen tot een sociotechnische organisatievernieuwing. Een vereiste is wel dat die indeling stabiel van aard is. De ontwerpen die bepaald zijn met de SPS-techniek zijn echter gevoelig voor veranderingen op bewerkingsniveau. Dit in tegenstelling tot de ontwerpen die zijn gemaakt met het POP-instrument. Deze indeling is niet gemaakt op het niveau van de afzonderlijke bewerkingen, maar op het niveau van productiefases. De indeling is daardoor minder gevoelig voor veranderingen op bewerkingsniveau.

Het is vereist dat in een stroom zowel een pons- als een laserfunctie aanwezig is. Dit kan echter niet worden gerealiseerd met de huidige machines wanneer er meer dan drie parallele stromen worden gecreëerd. De alternatieven met vier parallele stromen hebben altijd één stroom waarin alleen een ponsfunctie aanwezig kan zijn. Dit levert problemen op, doordat er voor een groot deel van het werkorderpakket een laserfunctie vereist is.

De ontwerpen zijn gemaakt op basis van een stroomanalyse op werkorderniveau. Stromen zijn gevormd door aan deelverzamelingen van de werkorders capaciteiten toe te wijzen. Binnen een stroom kan een deelverzameling van de werkorders volledig worden gefabriceerd. Convergerende stromen treden op wanneer werkorders samen worden gesteld tot een

productieorder. Deze convergerende stromen kunnen zowel binnen de plaatbewerking (samenstellen door te lassen/puntlassen) als buiten de plaatbewerking (samenstellen door montage) plaatsvinden. Er kon niet goed worden bepaald hoe groot de convergerende stromen zijn binnen de plaatbewerking. Een bovengrens is wel aan te geven vanuit de orderexplosie: 4% van de productieorders waren in de periode van november 1997 tot en met oktober 1998 samengesteld van aard. Een aandeel van 24% van de werkorders hoort toe aan samengestelde productieorders. Een deel hiervan zorgt voor convergerende stromen binnen de werkplaats. Doordat de omvang van dit deel niet bepaald kon worden, is dit niet meegenomen in de ontwerp en beoordeling.

In de Sociotechniek worden acht structuurparameters gebruikt voor het beschrijven van de productie- en besturingsstructuur. In het project zijn parallelle stromen ontworpen als eerste stap tot een herontwerp van de productiestructuur van de plaatbewerking. Drie structuurparameter hebben betrekking op de productiestructuur.

De eerste en belangrijkste structuurparameter is de functionele concentratie. Deze verwijst naar de groepering en koppeling van operaties ten opzichte van orderstromen. Door het vormen van parallelle stromen in de alternatieven worden alle productieoperaties toegewezen aan een orderstroom. Hierdoor kan beter ordergericht worden gewerkt. Er worden echter ook parallelle stromen ontworpen die te groot zijn om deze volledig in één groep te plaatsen. Segmenteren van de stromen is dan vereist waardoor er een geringe functionele concentratie overblijft. De SPS-alternatieven bestaan beide uit slechts twee stromen, evenals twee van de geselecteerde POP-alternatieven (11 en 14). De andere twee geselecteerde POP-alternatieven (1 en 6) bestaan uit drie stromen. In deze alternatieven worden er maximaal 2 groepen binnen de stroom gevormd. De functionele concentratie wordt in deze alternatieven het verst teruggedrongen.

De tweede structuurparameter is de specialisatie in de uitvoering. Deze verwijst naar de groepering van de functies voorbereiden, ondersteunen en maken in afzonderlijke subsystemen. Beide ontwerpmethoden delen de werkorders in op basis van de bewerkingsvolgorde. Hierdoor is het vereist dat de functie werkvoorbereiding gegroepeerd wordt als een afzonderlijk subsysteem. Vooraf aan de werkvoorbereiding is nog niet bekend welke bewerkingsvolgorde de werkorder doorloopt. Daardoor is het ook niet bekend in welke stroom de werkorder wordt geproduceerd. Hierdoor kan de werkvoorbereiding niet in de stroom plaatsvinden. Alle ontwerpen leiden tot een specialisatie in de uitvoering, doordat de voorbereidingsfunctie wordt afgescheiden. Ondersteuning kan echter wel binnen de stromen plaatsvinden. Tussen de alternatieven zijn geen verschillen te zien ten aanzien van de tweede structuurparameter.

De derde structuurparameter is de splitsing in de uitvoering. Deze verwijst naar de verdeling van uitvoerende taken in deeltaken. Vanuit het macro-ontwerp van de productiestructuur -de parallelle stromen- kunnen hierover weinig uitspraken worden gedaan. De mogelijkheden om de splitsing in de uitvoering te reduceren worden gegeven door alle alternatieven. De reductie wordt pas in het taakgroepontwerp duidelijk.

7.2 Beoordeling

Het POP-instrument van de 'Nieuwe methode' neemt de ondeelbaarheid van capaciteiten niet mee. Hierdoor hebben deze ontwerpen veel meer reizen tussen de parallelle stromen dan de ontwerpen die met de SPS-techniek zijn bepaald. De SPS-alternatieven hebben een verwaarloosbaar aantal interstroomreizen, terwijl bij de POP-alternatieven 4 tot 15% van de werkorders een interstroomreis maken. Deze verschillen worden veroorzaakt door het uitgangsprincipe van de methoden. De SPS-techniek van Hoevenaars is gericht op het reduceren van de reizen tussen de stromen. Het POP-instrument is echter gericht op het creëren van stromen waarin een bestaande productiefasering wordt benut voor het inrichten van flowshop-achtige stromen.

In de 'Nieuwe methode' is de beoordeling uitgebreid ten opzichte van de beoordeling van de Hoevenaarsmethode. Beoordeling vindt niet alleen plaats op het aantal verplaatsingen van werkorders tussen de ontworpen parallelle stromen, maar ook op het te verwachten aantal verplaatsingen tussen de segmenten binnen de stromen (2D3B-methode). In de theorie werd al aangegeven dat ook de verplaatsingen tussen de segmenten voor extra beheersbehoefte zorgen.

De 2D3B-methode is alleen toegepast op de alternatieven die met het POP-instrument zijn bepaald. Toepassing van de 2D3B-methode op de SPS-alternatieven levert problemen waardoor de onderlinge vergelijkbaarheid van de resultaten niet goed mogelijk is (zie ook paragraaf 5.4). De POP-alternatieven zijn daarnaast ook beoordeeld op de capaciteitsverdeling. Ook zijn er verschillen tussen de alternatieven in de fractie die in flowshop-achtige stromen worden geproduceerd. In Tabel 15 wordt een overzicht gegeven van de beoordelingsresultaten van de geselecteerde POP-alternatieven. In de tabel wordt per kolom aangegeven welk alternatief het beste scoort, door een vette weergave van het resultaat. De omvang van de intergroepsreizen worden tussen haakjes genormaliseerd weergegeven. Hiervoor zijn de waarden gedeeld door het totaal aantal werkorders.

Tabel 15: Beoordelingsresultaten geselecteerde POP-alternatieven

alternatief	Beheersbehoefte:			Flow: fractie in flow- afdeling	Bezettingsmaxima:			
	reizen tussen stromen	reizen tussen segmenten	gewogen: 2D3B bij K= 4		D-machines		Pemserters	
					heel jaar	kwartaal- maximum	heel jaar	kwartaal- maximum
1	190 (3,8%)	5150 (101,9%)	1478	49%	72%	96%	107%	149%
6	326 (6,5%)	3524 (69,8%)	1207	68%	73%	90%	105%	147%
11	190 (3,8%)	5150 (101,9%)	1478	49%	70%	96%	107%	149%
14	201 (4,0%)	5588 (110,6%)	1598	45%	71%	97%	66%	89%

Tussen de geselecteerde POP-alternatieven kan duidelijk onderscheid worden gemaakt. Alternatief 14 heeft als enige alternatief voldoende capaciteit bij de Pemserters. Dit is te verklaren uit het feit dat bij alternatief 14 geen verdeling van de twee machines heeft plaatsgevonden. Ze worden beide in dezelfde stroom gebruikt. De overige alternatieven kunnen alleen worden toegepast indien er een uitbreiding van de Pemsertercapaciteit plaatsvindt. Wanneer de Pemsarterbezetting als niet belemmerend wordt gezien, kan er een verdere analyse van de vier geselecteerde alternatieven plaatsvinden.

Het alternatief met het laagste totaal aantal intergroepsreizen is alternatief 6. Het alternatief levert voor een brede range van de K-waarde de minste gewogen beheersbehoefte op volgens de 2D3B-methode. Alleen bij K-waarden boven de 12, leveren de alternatieven 1 en 11 de minste gewogen beheersbehoefte. Alternatief 14 levert bij geen enkele K-waarde de laagste gewogen beheersbehoefte.

Het alternatief waarvan veruit het grootste deel van het werkorderpakket in zogenaamde schone stromen geproduceerd kan worden is alternatief 6. Een stroom wordt als een schone stroom gekenmerkt indien er geen backflows in de stroom plaatsvinden. Een schone stroom kent hierdoor een versterkte reductie van de besturingslast.

De geselecteerde POP-alternatieven kennen weinig verschillen in de waarde van het bezettingsmaximum van de D-machines over het hele jaar. Tussen de kwartaalmaxima zijn wel duidelijke verschillen. Alternatief 6 heeft, in het kwartaal met de zwaarste bezetting van de D-machines in de stroom met de hoogste bezetting, een bezettingsgraad van 90 %. De andere alternatieven hebben allen een bezetting van boven de 95%. Wanneer deze bezettingsgraden in de aangepaste formule van Pollaczek worden gebruikt dan levert dit een groot verschil op in de wachttijdfactoren (verhouding van wachttijd en bezettingstijd) van de

D-machines. De wachttijdfactor van alternatief 6 is dan 4,3. De wachttijdfactoren van de andere alternatieven liggen tussen de 7,2 en de 10,5 (Het betreft hier steeds de stroom waarin de D-machines het zwaarst bezet worden in de kwartaal die de hoogste werklast kent voor die machines). In bijlage 7-1 wordt ingegaan op de wachttijdfactoren.

Uit de analyse vooraf aan de uiteindelijke opdrachtformulering kwam naar voren dat er in de huidige situatie lange wachttijden worden gerealiseerd. Deze bleken echter niet volledig toe te wijzen aan structurele factoren als hoge bezettingsgraden. Bezettingsgraden die theoretisch gezien voor zulke lange wachttijden zouden zorgen, liggen veelal boven de 95%. Door een terugval in het orderpakket zijn er niet van deze hoge bezettingsgraden geweest. Uit een orderstroomanalyse bleek later dat deze vrij complex van aard was, waardoor de overzicht bemoelijk wordt. Een indeling in flowshop-achtige stromen moet deze complexiteit verlagen. De werkorders kunnen in deze stromen zonder tussenkomst volledig worden afgemaakt. De werkorders kunnen dan 'stromen door de stromen'. Wachttijden ontstaan daardoor alleen vanwege de structurele factoren van de capaciteiten als bezettingsgraden, aantal parallelle stations en bezettingstijdverdeling. De te verwachten wachttijdfactoren liggen daardoor voor de meeste bewerkingen beneden de gerealiseerde wachttijdfactoren uit het verleden.

Doordat alleen de structurele factoren van de capaciteiten de wachttijden bepalen, wordt de doorlooptijd van de werkorders teruggebracht. Een verdere reductie van de doorlooptijden (of levertijdoverschrijding) kan worden gerealiseerd door in het ontwerp van de besturingsstructuur logistieke besturingsmethoden (prioriteitsregels) mee te nemen.

Capaciteitsflexibiliteit is een belangrijke factor voor het realiseren van de voldoende korte doorlooptijden in drukke perioden. Het indelen in parallelle stromen heeft verschillende invloeden op de capaciteitsflexibiliteit. In de parallelle stromen worden taakgroepen gevormd. Een taakgroep is verantwoordelijk voor een totaal proces waarin producten tot stand komen, die aan een interne of externe klant geleverd worden. Door de groepsverantwoordelijkheid voor het totale proces, wordt de multi-inzetbaarheid van de groepsleden bevorderd. Multi-inzetbaarheid van de taakgroepleden zorgt voor capacitatieve mixflexibiliteit wanneer de machines in enige overmaat aanwezig zijn. Dit geldt vooral voor de bewerkingen in de fases meba2D, buigen, meba3D en hechten/afwerken.

Over de stromen worden voor bepaalde bewerkingen de capaciteiten verdeeld. Hierdoor is het minder eenvoudig uit te wijken naar een alternatieve machine. Deze capaciteitsflexibiliteit is vooral van belang voor de kritische machinecapaciteiten: de D-machines.

8 Conclusies

Uit de analyse van de resultaten komen een aantal conclusies naar voren. Bij de interpretatie van deze conclusies moet in acht worden genomen dat de basis voor het geheel een analyse op werkorderniveau is. Impact van convergerende werkorderstromen op de (beoordeling van de) ontwerpen kon daarbij niet worden vastgesteld.

1. De stromen die met het POP-instrument worden gecreëerd, hebben een lagere interne complexiteit dan de stromen uit de SPS-techniek.

Alle parallelle stromen van de alternatieven die met de SPS-techniek zijn bepaald bestaan uit bijna alle bewerkingsmogelijkheden. De alternatieven die met het POP-instrument zijn bepaald hebben steeds maar één stroom waarin alle bewerkingsmogelijkheden zich bevinden. Een groot aantal verschillende bewerkingsmogelijkheden zorgt namelijk voor extra complexiteit.

Backflows komen bij de SPS-alternatieven in alle stromen voor. De POP-alternatieven hebben steeds maar één stroom waarin backflows voorkomen. De andere stromen kunnen daardoor meer als een flowshop worden gezien. De routingcomplexiteit wordt op deze manier sterk teruggedrongen.

2. De alternatieven uit de SPS-techniek zijn het meest onafhankelijk van elkaar.

In de alternatieven die zijn bepaald met de SPS-techniek, wordt de omvang van de reizen tussen stromen het sterkst gereduceerd. Deze alternatieven komen er bij de beoordeling volgens de Hoevenaarsmethode het beste af. Bij de POP-alternatieven maken namelijk minimaal 4% van de werkorders een interstroomreis. Bij de SPS-alternatieven is deze fractie verwaarloosbaar klein.

3. De SPS-ontwerpen zijn onvoldoende stabiel om als basis te dienen voor een inrichting van de werkplaats in parallelle stromen als onderdeel van een sociotechnische organisatievernieuwing.

De ontwerpen die met de SPS-techniek zijn gemaakt voor de werkplaats van Thavo zijn onvoldoende stabiel. Ze zijn te gevoelig voor veranderingen op bewerkingsniveau. Stromen zijn ingedeeld op basis van bewerkingen op ondeelbare capaciteiten. Veranderingen in deze bewerkingen hebben daardoor grote invloed op de indeling. Dit geldt niet voor de ontwerpen die met het POP-instrument zijn bepaald. Doordat de POP-ontwerpen hun basis hebben op productiefaseniveau hebben veranderingen op bewerkingsniveau minder snel invloed op de indeling.

De toepassing van de stroomindeling als onderdeel van een sociotechnische organisatievernieuwing vergt dat deze voldoende stabiel is. Een meerjarig traject kan alleen worden ingegaan met een indeling die over dat traject van toepassing blijft.

4. Alternatieven uit vier of meer parallelle stromen kunnen niet goed worden toegepast.

Bij volledige parallelisatie worden de 2D-machines verdeeld over de stromen. Wanneer er echter meer dan drie stromen worden gevormd, is er altijd één stroom waarin men geen laserfunctie ter beschikking heeft. Er kan dan slechts een beperkt deel van het werkorderpakket worden verwerkt.

5. Vier van de veertien POP-alternatieven scoren zowel goed op de aangeslibde beheersbehoefte als op de verdeling van de D-machines.

Van de alternatieven die met het POP-instrument zijn ontworpen, scoren de alternatieven 1, 6, 11 en 14 zowel goed op:

- De aangeslibde beheersbehoefte (reizen tussen stromen en segmenten), als op
- De verdeling van de capaciteiten van de D-machines.

Alleen bij alternatief 14 levert de verdeling van de Pemsertercapaciteit geen problemen op.

Alternatief 6 is de enige waarbij er meer dan de helft van het werkorderpakket in een 'schone

stroom' wordt geproduceerd. In een 'schone stroom vinden geen backflows plaats. Bij dit alternatief wordt 68% van het werkorderpakket in schone stromen geproduceerd. De schone stromen hebben een sterk gereduceerde besturingslast en kunnen meer als een flowshop ingericht worden.

6. *Weinig onderscheid wordt er tussen de alternatieven gezien op basis van de structuurparameters uit de Sociotechniek.*

Op basis van de drie structuurparameters die van belang zijn voor het ontwerp van de productiestructuur, wordt weinig onderscheid tussen de verschillende alternatieven gezien. Enig onderscheid wordt gemaakt tussen alternatieven met meer of minder stromen. Alternatieven met drie stromen (1 en 6) leveren een grotere reductie van de functionele concentratie dan alternatieven met twee stromen. Segmentatie leidt bij de alternatieven met drie stromen tot maximaal twee groepen per stroom. In een stroom die in drie segmenten moet worden opgedeeld is de functionele concentratie sterker dan wanneer er slechts twee segmenten nodig zijn.

7. *Uit de alternatieven uit beide methoden komen de POP-alternatieven 6 en 14 als beste uit de bus voor de situatie dat er respectievelijk wel of geen uitbreiding van de Pemsertercapaciteit plaatsvindt.*

Uit de voorgaande conclusies kan het beste alternatief worden afgeleid. De SPS-alternatieven vallen uit vanwege de instabiliteit van de oplossingen. Uit de POP-alternatieven zijn vier alternatieven geselecteerd op basis van de beheersbehoefte en de verdeling van de capaciteitsverdeling van de meest kritische capaciteiten, de D-machines. Geselecteerd zijn alternatieven 1, 6, 11 en 14. Hiervan is alternatief 14 de enige waarbij de verdeling van de Pemsertercapaciteit geen problemen oplevert.

Wanneer de Pemsertercapaciteit niet wordt uitgebreid, heeft alternatief 14 de voorkeur. Wanneer de Pemsertercapaciteit wel wordt uitgebreid, biedt alternatief 6 de beste perspectieven. Slechts 6,5% van de werkorders maakt hierbij een interstroomreis. Doordat het ook weinig intersegmentreizen kent heeft het alternatief het laagste totaal aantal intergroepsreizen. De gewogen beheersbehoefte is daardoor laag (laagste van alle bij een K-waarde tussen 1 en 12). Alternatief 6 onderscheidt zich ook door het grote aandeel dat er in schone stromen wordt geproduceerd. Doordat het alternatief uit drie stromen bestaat, wordt de functionele concentratie sterker gereduceerd dan bij de alternatieven 11 en 14.

8. *De geselecteerde POP-ontwerpen bieden de mogelijkheid kortere wachttijden te realiseren, waardoor de doorlooptijden van de werkorders worden verkort.*

De werkorders kunnen namelijk zonder tussenkomst door de productie stromen. De enige beperkingen voor de doorlooptijd zijn dan de structurele factoren van de bewerkingsstations. De verwachte wachttijdfactoren van de meeste bewerkingsstations liggen daarbij lager dan de gerealiseerde wachttijdfactoren uit het verleden. De doorlooptijden van de werkorders kunnen daardoor worden teruggebracht.

9. *De indeling in parallelle stromen beïnvloedt de capaciteitsflexibiliteit zowel positief als negatief.*

Capaciteitsflexibiliteit wordt beïnvloed door de indeling in parallelle stromen. In de 2D-fase wordt de capaciteitsflexibiliteit verminderd doordat de kritische machinecapaciteiten over de stromen worden verdeeld. Doordat de multi-inzetbaarheid in taakgroepen wordt bevorderd, wordt de capacitatieve mixflexibiliteit in de overige productiefases vergroot.

9 Discussie en aanbevelingen

Ter afsluiting van het afstudeerrapport wordt er in een discussie ingegaan op twee onderdelen: het project en de methodologie. Bij beide onderdelen wordt er gekeken naar het verleden en de toekomst.

Aanbevelingen voor de opdrachtgever over het vervolg na dit project worden aansluitend gedaan. Hiervoor worden de conclusies uit het project en de discussie

9.1 Project

Het project heeft geleid tot het ontwerpen van parallelle stromen voor de plaatbewerking van Thavo. Bijkomstig is duidelijk geworden dat er een vrij groot deel van het werkorderpakket een eenvoudige bewerkingsvolgorde kent. Dit kan worden meegenomen in een herontwerp van de make-or-buy-structuur. De organisatie ziet voordelen in het uitbesteden van de werkorders met een eenvoudige bewerkingsvolgorde. Men kan zich dan beter richten op de activiteiten waarin men goed is: productie van de meer complexere, kennisintensieve plaatwerkproducten.

Wanneer een nieuwe make-or-buy-structuur wordt ingesteld kan dit gevolgen hebben op de gemaakte ontwerpen. Het werkorderpakket wordt door een gewijzigde make-or-buy-beslissing anders. Wanneer er grote verschuivingen plaatsvinden is het aan te bevelen opnieuw te kijken of er met dit werkorderpakket een andere indeling nodig is. Het POP-instrument biedt hiervoor de mogelijkheden.

Zoals in de conclusies al werd aangegeven beïnvloedt de indeling in stromen de capaciteitsflexibiliteit van de D-machines. In een discussie met de productieleiding wordt dit als een belangrijk minpunt ondervonden van het volledig paralleliseren van de productie in de werkplaats. Naast capaciteitsflexibiliteit worden ook andere redenen gegeven voor het niet paralleliseren van de D-machines:

- Kennisoverdracht in de D-afdeling.
- Gereedschappen worden gedeeld door verschillende machines. Parallelisatie betekent onderling afstemming over het gezamenlijk gebruik van gereedschappen of een grote investering in het aanschaffen van meer gereedschapsets.

Goede verwachtingen zijn er wel van het toepassen van POP-alternatieven, met de aanpassing dat de parallelisatie pas na de 2D-fase plaatsvindt. Dezelfde alternatieven blijven dan bestaan. De 2D-fase is namelijk niet gebruikt voor het indelen van werkorder aan een stroom. De D-machines hebben bij de selectie een belangrijke rol gespeeld. Daarom moet de selectie uit de veertien alternatieven wel opnieuw gebeuren, wanneer wordt uitgegaan van het niet paralleliseren van de D-machines.

In het project is gebruik gemaakt van kennis van verschillende medewerkers. Door het gebrek aan kennis en inzicht in het sociotechnisch ontwerpen is de participatie beperkt gebleven. Zoals Van Eijnatten e.a. (1989) aangeven is er in de moderne Sociotechniek sprake van een gecombineerde participatieve en expertbenadering. Op macroniveau is er vooral sprake van een expertbenadering. Naarmate de productiestructuur meer wordt ingevuld en de kennisoverdracht verder vordert, neemt de expert-aanpak verder af en neemt de participatie toe.

Een aanpassing van het POP-instrument is nodig om het participatief te gebruiken. Het opstellen van de verschillende alternatieven met het boomstructuurschema is hiervoor te complex. Een meer participatieve methode voor het opstellen van de alternatieven moet hiervoor worden uitgewerkt. In een ontwerpgroep kan bijvoorbeeld de productiefasering worden vastgesteld. Daarna kunnen de alternatieven worden bepaald door de fasen visueel weer te geven met blokken en hiermee te gaan schuiven. Van iedere fase mogen meerdere blokken worden gebruikt. Men ontwerpt eerst de flow-stromen of flow-stroom. Daarnaast komt er altijd een complexe stroom waarin alle productiefasen voorkomen. Dit kan men eerst individueel doen, waarna in een groepsessie de gemaakte ontwerpen worden besproken. In

de groepsessie kunnen dan de uiteindelijke alternatieven worden opgesteld door nu in groepsverband te gaan schuiven met de blokken.

Toepassing van de ontworpen parallelle stromen voor het ingaan van een sociotechnische organisatievernieuwing vergt een uitbreiding van de kennis over Sociotechniek in de organisatie. Scholing van de mensen die in de opvolgende fasen betrokken worden, is hiervoor nodig.

De leeftijd van het bedrijf is 34 jaar. Een sterke groei heeft het bedrijf gehad in de periode 1995-1997. Oplossingen voor problemen zijn veelal gevonden in bypass-oplossingen. Men gaat zich steeds meer richten op de 'moeilijkere' producten (dit wordt nog eens versterkt door een herinrichting van de make-or-buy-structuur). Als toeleverancier voelt het steeds sterker dat uitbesteders met de producten ook een stuk complexiteit en risico uitbesteden. Door de rol van een toeleverancier maakt het deel uit van een groter geheel, die onder de noemer van toeleveringsstructuur kan worden gebracht. Procesgericht denken wordt binnen deze structuur als een belangrijke kenmerk gezien. Een zelfanalyse van de organisatie bracht echter naar voren dat men onvoldoende procesgericht denkt. Problemen hiervan ziet men vooral in het voorfabricage-traject.

Zoals hiervoor genoemd, wil ik hier ook een blik op de toekomst werpen. Een vrij nieuwe denkwijze die in de bedrijfskunde voet aan wal begint te krijgen komt voort uit de chaostheorie. De denkwijze die (nog) niet is opgenomen in het model van de Nederlandse Sociotechniek heb ik niet gebruikt in het verkrijgen van resultaten en conclusies. Het komt echter hier goed van pas om een blik op de toekomst te werpen.

De denkwijze die wordt aangeduid met de term chaordisch systeemdenken (Van Eijnatten & Fitzgerald, 1997; Fitzgerald & Van Eijnatten, 1998) is afgeleid vanuit het chaosdenken (Van Eijnatten, 1998). Het biedt mogelijkheden om een beter begrip te krijgen van de ontwikkeling van complexe, dynamische non-lineaire systemen.

Het idee kan worden gevormd dat de organisatie zich beweegt richting een toestand die vanuit het chaordisch systeemdenken wordt omschreven als ver-van-evenwicht. De systeemcomplexiteit is sterk toegenomen in de afgelopen jaren. Hierdoor raakt de organisatie steeds verder verwijderd van een evenwichtstoestand. Wanneer het bedrijf in een ver-van-evenwichtstoestand terechtkomt bevindt het zich op een splitsingspunt. Het kan enerzijds naar een hoger niveau van complexiteit springen, of anderzijds aan zichzelf ten onder gaan in een toestand van totale chaos.

Op het splitsingspunt kan het bedrijf doorgroeien wanneer het een andere vorm aanneemt. Een integrale organisatievernieuwing volgens de principes van de sociotechniek kan worden gebruikt om de vereiste sprong te nemen. Een indeling in parallelle stromen is hiervoor een belangrijke stap. De organisatie kan door de sprong wel goed omgaan met de complexiteit die uit de omgeving op de organisatie afkomt. Een gewijzigde make-or-buy-beslissing kan betekenen dat een gehele parallelle stroom wordt uitbesteed. Het deel dat overblijft past beter bij de kerncompetenties van het bedrijf. Daarnaast wordt er een grotere coherentie bereikt. Het voorgaande betekent een uiteenvallen en opnieuw bundelen van de organisatie door respectievelijk het uitbesteden van een stroom en het vormen van een taakgroepenstructuur. Door een meer coherent productenpakket en een organisatie die beter met complexiteit uit de omgeving kan omgaan, worden de grenzen van de groei doorbroken. Beide veranderingen vergen een behoorlijke doorlooptijd. Meer dan een jaar moet worden gerekend voor het volledig buiten het bedrijf kunnen produceren van één van de parallelle stromen. Een sociotechnische organisatieverandering vergt meerdere jaren.

9.2 Methodologie

Binnen het ontwerp van de productiestructuur volgens de Sociotechniek speelt het ontwerp van de parallelle stromen een belangrijke rol. In het verleden zijn voor het vormen van parallelle stromen in de Sociotechniek technieken uit de Groepentechnologie gebruikt. Vanuit de Sociotechniek is een eigen parallelisatietechniek ontwikkeld door Hoevenaars. In deze

methode wordt ook, in tegenstelling tot overige technieken, de bewerkingsvolgorden van de orders meegenomen. De parallelisatietechniek die in het project is ontwikkeld baseert zich nog sterker op deze bewerkingsvolgorden.

De Hoevenaarsmethode heeft het uitgangspunt dat de omvang van de reizen tussen stromen minimaal moet zijn. Centraal in deze ontwerpmethode staan de capaciteiten die ondeelbaar of zeer beperkt deelbaar zijn. Orderfamilies worden onderscheiden op het feit of een order wel of niet gebruik maakt van zo'n ondeelbare capaciteit.

De 'Nieuwe Methode' heeft het uitgangspunt dat de stromen worden ontworpen op basis van een productiefasering. Hierdoor kunnen de mogelijkheden voor stroomsgewijze productie beter benut worden. Beoordeling vindt niet alleen plaats op de omvang van de reizen tussen stromen, maar ook op de omvang van de reizen tussen segmenten. Een methode voor tweedimensionale beheersbehoeftebepaling (2D3B-methode) wordt hierbij toegepast. Met de Hoevenaarsmethode wordt de omvang van de interstroomreizen sterker gereduceerd dan met de 'Nieuwe Methode'. De 'Nieuwe Methode' let echter ook op de complexiteit die ontstaat doordat grote stromen opgedeeld moeten worden in segmenten.

Een voordeel van het POP-instrument van de 'Nieuwe Methode' ten opzichte van de SPS-techniek van Hoevenaars is dat de indeling niet wordt gebaseerd op de orderstroom op bewerkingsniveau. Door de indeling te baseren op het niveau van productiefases is deze minder gevoelig voor (technologische) veranderingen op bewerkingsniveau.

Een ander voordeel van het POP-instrument ten opzichte van de SPS-techniek is dat er een lagere interne complexiteit in de stromen wordt gecreëerd. Het POP-instrument creëert stromen waarin slechts een beperkt deel van de productiefases wordt uitgevoerd, naast een stroom waarin alle productiefases worden uitgevoerd. De SPS-techniek deelt de stromen in op basis van de ondeelbare capaciteiten. In alle stromen zijn dan alle overige capaciteiten nodig. De SPS-stromen hebben daardoor meestal een groter scala aan bewerkingsmogelijkheden, dan de POP-stromen. Veel bewerkingsmogelijkheden is, naast veel producten en routings, een complexiteitsverhogende factor.

Doordat een deel van de POP-stromen flowshop-achtige inrichting krijgen, vindt er ook een extra reductie plaats van de complexiteit. Backflows vinden in slechts één stroom plaats. De besturing kan daardoor beter gefocust worden.

Toepassing van het POP-instrument is echter aan meer voorwaarden gebonden dan de SPS-techniek. Voor het POP-instrument is namelijk vereist dat er een productiefasering in het productieproces (latent) aanwezig is. Daarbij moet het mogelijk zijn deelverzamelingen te onderscheiden op basis welke fases wel of niet worden doorlopen. Toepassing in een situatie met een duidelijke productiefasering waarbij alle orders alle fases doorlopen, is daardoor niet goed mogelijk.

Een ander nadeel van het POP-instrument is dat de verdeling van minder deelbare capaciteiten grotere problemen oplevert dan bij de SPS-techniek. Bij het vormen van stromen moeten bepaalde capaciteiten worden verdeeld over deze stromen. Vooral bij bewerkingen met een beperkte deelbaarheid is het moeilijk om de verdeling in balans te krijgen met de capaciteitsbehoefte. De bewerkingen met een sterk beperkte deelbaarheid van de capaciteiten worden bij de SPS-techniek in één stroom uitgevoerd. Hierdoor hoeft er geen verdeling van dit soort capaciteiten plaats te vinden. De verdeling van de minder deelbare capaciteiten levert daardoor met de SPS-techniek geen problemen op.

Door de grotere eenvoud van het algoritme in de SPS-techniek kan deze ook beter worden toegepast in een participatief ontwikkelproces. In het POP-instrument wordt een minder eenvoudige algoritme gebruikt voor het opzetten van de boomstructuur waaruit de alternatieve indelingen afgelezen kunnen worden.

Beide methoden kennen hun voor en nadelen. De Hoevenaarsmethode levert een goede startbasis. Is er echter sprake van een productiefasering, waarbij niet alle orders alle fases

doorlopen, dan kan de 'Nieuwe Methode' voor goede ontwerpmethoden bieden. Het POP-instrument kan dan worden gebruikt voor het creëren van flowshop-stromen. De 2D3B-methode biedt een uitbreiding van de beoordeling op beheersbehoefte van Hoevenaars. Wanneer het belang wordt ingezien van de beheersbehoefte die wordt aangebracht door intersegmentreizen, naast de interstroomreizen, kan de 2D3B-methode worden toegepast. Het is hierbij niet vereist dat de parallelle stromen zijn bepaald met het POP-instrument. Interstroomreizen worden K maal zwaarder gewogen dan intersegmentreizen in de 2D3B-methode. Een vraag die mogelijk in de toekomst beantwoord kan worden is hoe de K-waarde beter geschat kan worden. Oftwel hoeveel meer beheersbehoefte brengt een interstroomreis mee ten opzichte van een intersegmentreis.

Het POP-instrument biedt een goed alternatief voor het ontwerpen van parallelle stromen. Het instrument kan door de beperkende voorwaarden niet als een volledige vervanger van de SPS-techniek worden gezien. De 2D3B-techniek kan wel als een vervanger worden gebruikt van de beoordelingsmethode van Hoevenaars. Door een uitbreiding van de Hoevenaarsmethode levert het een completer beeld van de aangeslibde beheersbehoefte, doordat alle intergroepsreizen worden meegenomen. In Tabel 16 wordt de vergelijking tussen de beide methoden in tabelvorm gegeven.

Tabel 16: Vergelijking Hoevenaars en 'Nieuwe Methode'

	Hoevenaarsmethode	'Nieuwe methode'
Ontwerpmethode	SPS-techniek	POP-instrument
Uitgangspunt	Minimaliseren interstroomreizen	Vormen van flowshop-like stromen
Basis voor het indelen in stromen	Bewerking op ondeelbare capaciteit	Productiefases
Geschikt voor participatief gebruik	Ja, vanwege grote eenvoud	Aanpassing van het instrument nodig: opzetten boomstructuur niet geschikt
Voorwaarde		Deelverzamelingen te onderscheiden op basis van een productiefasering
Capaciteitsverdeling	Capaciteiten met beperkte deelbaarheid kunnen in één stroom worden geplaatst.	Capaciteiten
Beoordelingsmethode	Berekening beheersbehoefte	2D3B-methode
Meetwaardes	Alleen interstroomreizen	Interstroom- en intersegment-reizen

In Hoofdstuk 4 werd ingegaan op de theorie uit de sociotechnische en de logistieke benadering. Bij de vergelijking tussen de twee benaderingen werd er niet verder ingegaan op het ontwerpen van logistieke besturingsstructuren. Bertrand e.a. (1990) geven een ontwerpgerichte benadering vanuit de Logistiek voor het ontwerpen van logistieke besturingsstructuren. De Sociotechniek levert hiervoor ook een ontwerpgerichte benadering. Deze is van algemene aard: niet speciaal gericht op de logistieke besturing. Een vraag die mogelijk in de toekomst beantwoord kan worden is de volgende:

'Zijn de logistieke en de sociotechnische benaderingen van het ontwerpen van een logistieke besturingsstructuur tegenstrijdig?'

Indien dit niet het geval is, komt de volgende vraag naar voren:

'Kan er een integratie van de twee benaderingen plaatsvinden, waarbij synergetische effecten optreden?'

Indien dit het geval is, kan er mogelijk in de toekomst een vernieuwd model worden opgesteld voor integrale organisatievernieuwing. In dit model kan het deel dat betrekking heeft op het ontwerpen van besturingsstructuren een modulaire opbouw hebben. Eén van de modules levert dan de ontwerpmethodologie voor de logistieke besturingsstructuur. Andere modules kunnen dan betrekking hebben op personeel, kwaliteit en kosten.

De ontwikkeling van de Nederlandse Sociotechniek tot een koepeltheorie binnen de bedrijfskunde, werd door Van Eijnatten (1998) aangegeven als een mogelijkheid voor de toekomst. De grotere bandbreedte van het chaordisch systeemdenken geeft daarbij betere mogelijkheden tot integratie van de verschillende kennisgebieden. Het chaordisch denken kan ook worden toegepast op de Sociotechniek zelf. Wanneer de Sociotechniek aan de grenzen van de groei komt is een sprong vereist naar een hogere waarde van orde-complexiteit. De ontwikkeling naar koepeltheorie met modulaire opbouw kan als zo'n sprong worden gezien. Synergieën uit de integratie van de verschillende deelgebieden kunnen voor de bedrijfskunde een belangrijke sprong vooruit betekenen.

9.3 *Aanbevelingen*

De aanbevelingen die hier worden gedaan, zijn gebaseerd op de conclusies uit het project en de discussie. Een aantal aanbevelingen kan aan de opdrachtgever worden gedaan over het vervolg na dit project.

Belangrijk is dat er eerst besluitvorming plaatsvindt over een drietal punten:

1. Het ingaan van een sociotechnische veranderingsproces.
2. Make-or-buy-beslissing.
3. Parallellisatie van de 2D-fase.

Het ingaan van een sociotechnische veranderingsproces vereist een volledig betrokken en geïnformeerd management. Opleiding op het gebied van de toepassing van taakgroepen wordt daarom aanbevolen.

Wanneer wordt gestart met een sociotechnische veranderingsproces, dan kunnen de geselecteerde POP-alternatieven daarvoor het beste worden gebruikt. POP-alternatief 6 biedt de beste uitgangspositie. Bij dit alternatief is wel een uitbreiding van de Pemsertercapaciteit nodig. POP-alternatief 14 geeft ook goede resultaten, terwijl deze geen uitbreiding van de Pemsertercapaciteit vergt. Alternatieven uit de SPS-techniek moeten echter niet worden gebruikt. De oplossingen zijn te gevoelig voor veranderingen op bewerkingsniveau.

Een gewijzigde make-or-buy-beslissing geeft een ander productiepakket. Het is daarom nodig te onderzoeken of de geselecteerde ontwerpen nog steeds voldoen. Een gewijzigde make-or-buy-beslissing kan bijvoorbeeld betekenen dat de productie van bijna alle producten uit een parallelle stroom worden uitbesteed. Hierdoor komt er capaciteit vrij waardoor beter een andere indeling kan worden gekozen.

In de discussie werden bezwaren aangegeven van parallellisatie van de 2D-fase. Een nadeel hiervan dat ook al in de conclusies naar voren kwam, was de beperking van de capaciteitsflexibiliteit. Een voordeel is een lagere beheersbehoefte doordat er geen intergroepsreizen tussen de 2D-fase en de stromen hoeft plaatsvinden. Er kunnen dan minder afstemmingsproblemen verwacht worden. Het besluit, om de 2D-fase wel of niet te parallelliseren, moet worden vooraf gegaan door een afweging tussen de voordelen en nadelen.

Als de 2D-fase niet wordt geparallelliseerd kunnen de POP-alternatieven nog steeds worden gebruikt. De selectieprocedure dient dan wel opnieuw te worden doorlopen. De capaciteiten uit de 2D-fase speelden namelijk een belangrijke rol bij de selectie. Bij niet-parallellisatie van de 2D-fase hoeven deze capaciteiten niet meer in de selectie worden betrokken.

Wanneer besluitvorming over de drie genoemde punten heeft plaatsgehad en (opnieuw) een keuze uit de parallelle stromen is gemaakt, kan de volgende stap worden gezet. In een sociotechnische verandering is dit het ontwerpen van de segmenten: de externe structuur van de taakgroepen (zie ook Figuur 5 op pagina 18). Voordat er echter tot deze stap overgegaan wordt is er eerst een uitbreiding nodig van de sociotechnische kennis in het bedrijf.

Trainingen op dit gebied dienen daarom eerst worden gevolgd door medewerkers die betrokken worden bij het ontwerp.
Externe ondersteuning bij het ontwerpproces wordt aanbevolen. Hierdoor wordt voorkomen dat men teveel in bestaande structuren denkt.

REFERENTIES

- AMELSFOORT, P. VAN & G. SCHOLTES (1994). *Zelfsturende teams. Ontwerpen, invoeren en begeleiden*. Oss: ST-GROEP.
- McAULEY, J. (1972). Machinegrouping for efficient production. *The Production Engineer*, 51, 2, 53-57.
- BEER, C. DE & J. DE WITTE (1978). Production Flow Synthesis. *Annals of the CIRP*, 27, 389-392.
- BECHTE, W. (1982). Controlling manufacturing lead time and work-in-process inventory by means of load-oriented order release. *Twenty-fifth Annual International Conference Proceedings, APICS*, 67-72.
- BERTRAND, J.W.M., J.C. WORTMANN & J. WIJNGAARD (1990). Production Control; a structural and design oriented approach. *Manufacturing research and technology*, 11. Amsterdam: Elsevier science publishers.
- BERTRAND, J.W.M., J.C. WORTMANN & J. WIJNGAARD (1996). *Productiebeheersing en material management*. Houten: Stenfert Kroese.
- BURBIDGE, J.L. (1968). *The introduction of Group Technology*. London: Heinemann.
- DURLINGER, P.(1985). De selectie van logistieke parameters. *Technische bedrijfsvoering*, 6, november/december 1985, 180-186.
- EIJNATTEN, F.M. VAN (1993). *The Paradigm that changed the Work Place*. Stockholm: Arbetslivcentrum; Assen: Van Gorcum.
- EIJNATTEN, F.M. VAN (red.) (1996). *Sociotechnisch ontwerpen*. Utrecht: Lemma.
- EIJNATTEN, F.M. VAN (1998). The Dutch IOR Approach to Organizational Design: An Alternative to Business Process Re-engineering? *Human relations*, 51, 3, 289-318.
- EIJNATTEN, F.M. VAN (1998b). *Sociotechniek en Chaosdenken: leren omgaan met begrensde groei en begrensde instabiliteit*. Kopij bestemd voor Themanummer Bedrijfskunde.
- EIJNATTEN, F.M. VAN & L.A. FITZGERALD (1997). *Integral Organizational Renewal: Between structure and uncertainty*. In: Lefebvre, E. & Cooper (ed.), *Proceedings Hasselt Conference on uncertainty, Knowledge and Skill*, vol.II. Diepenbeek: Limburg University/Keele University, 7-8 November.
- EIJNATTEN, F.M. VAN & A.M. HOEVENAARS (1989). Moderne Sociotechniek in Nederland: Recente ontwikkelingen in aanpak en methode ten behoeve van integraal organisatie(her)ontwerp. *Gedrag en organisatie*, 2, 4/5, 289-304.
- FITZGERALD, L.A. & F.M. VAN EIJNATTEN (1998). Letting go for control: The art of managing in the chaordic enterprise. *International Journal of Industrial Democracy*, 17, 327-357.
- FREI, F. et al (1993). *Die kompetente Organisation: Qualifizierende Arbeitsgestaltung - die europäische Alternative*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag; Zürich: Verlag der Fachvereine.
- FRY, T.D., D.C. STEELE & B.A. SALADIN (1993). A Service-oriented Manufacturing Strategy. *International Journal of operations & production management*, 14, 10, 17-29.
- GROEP SOCIOTECHNIEK (1987). *Het flexibele bedrijf: integrale aanpak van flexibiliteit, beheersbaarheid, kwaliteit van arbeid en produktie-automatisering*. Deventer: Kluwer, tweede editie.
- HOEVENAARS, A.M. (1991). *Productiestructuur en organisatievernieuwing: de mogelijkheid tot paralleliseren nader onderzocht*. Rotterdam: Febo Enschede.

- HOEVENAARS, A.M. & F.M. VAN EIJNATTEN (1993). Een ontwerptechniek voor het Stroomsgewijs Organiseren van de productiestructuur, in Hertog, J.F. den & Ramondt J.J. (Eds). *Competente vernieuwers: een proeve van het TAO-programma*. Maastricht: MERIT.
- HOEVENAARS, A.M., F.M. VAN EIJNATTEN & H.H. VAN MAL, (1991). *Het stroomlijnen van de productiestructuur, mogelijkheden en beperkingen van Groepen-Technologie als hulpmiddel bij Integrale Organisatie-Vernieuwing*. Concept-artikel voor NOBO-conferentie 28-11-1991.
- HOOFT, M.C.G. (1996). *Synergetisch produceren in de praktijk. Toepassingen van structuurbouw in industrie en dienstverlening*. Assen: Van Gorcum.
- JACKSON, J.R. (1957). Networks of Waiting Lines. *International Journal of Production Research*, 26, 3.
- KING, J.R. (1980). Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, 18, 2, 213-232.
- MAL, H.H. VAN (z.j.). *Groepentechnologie en classificatie*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Technologie Management, Vakgroep Operationele Research en Statistiek.
- PRAAT, J.I.C.M., N. VAN DISHOECK, & A.J. VAN WEELE (red.), (1994), *De winst van uitbesteden. Samenwerking vanuit ketenperspectief*. TNO Beleidsstudies/Holland Consulting Group/Nederlandse Vereniging Algemene Toelevering (NEVAT).
- RAJAGOPALAN, R. & J. BATRA(1975). Design of cellular production systems - A graph theoretical approach. *International Journal of Production Research*, 13, 6, 56-68.
- SITTER, L.U. DE, J.F. DEN HERTOEG & F.M. VAN EIJNATTEN (1990). *Simple organisations, complex jobs: the Dutch sociotechnical approach*. Maastricht: University of Limburg, MERIT, paper presented at the annual conference of the American Academy of Management, San Francisco, August 12-15.
- SITTER, L.U. DE (1994). *Synergetisch produceren, Human Resources Mobilisation in de productie: een inleiding in de structuurbouw*. Assen: Van Gorcum.
- VELD, J. IN 'T (1993). *Organisatiestructuur en arbeidsplaats: de organisatie van mensen en middelen: theorie en praktijk*. Houten: Educatieve Partners Nederland.
- WISMAN, P.J.G. & F.M. VAN EIJNATTEN (1992). *Metten van flexibiliteit, beheersbaarheid en kwaliteit van arbeid: een verkennende studie*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Technische Bedrijfskunde, Vakgroep Technologie en Arbeid.
- WITTE, J. DE (1980). The use of similarity coefficients in production flow analysis. *International Journal of Production Research*, 18, 4, 503-514.

Bijlagen

Aantal pagina's:

Hoofdstuk 1:

geen

Hoofdstuk 2:

2-1 Organisatieschema 1

Hoofdstuk 3:

3-1 Onderwerpen in oriënterende interviews 1

3-2 Structuur voorfabricage-traject 4

3-3 Invloed van technische beperkingen op uitwisselbaarheid van de D-machines 4

3-4 Gerealiseerde bezettings- en wachttijden 1

3-5 Werklast 1

3-6 Stroomdiagram met drempel 50 1

Hoofdstuk 4:

geen

Hoofdstuk 5:

5-1 Hoevenaarsmethode 5

5-2 POP-instrument 4

Hoofdstuk 6:

6-1 Uitgewerkt boomstructuur-schema uit het POP-instrument 9

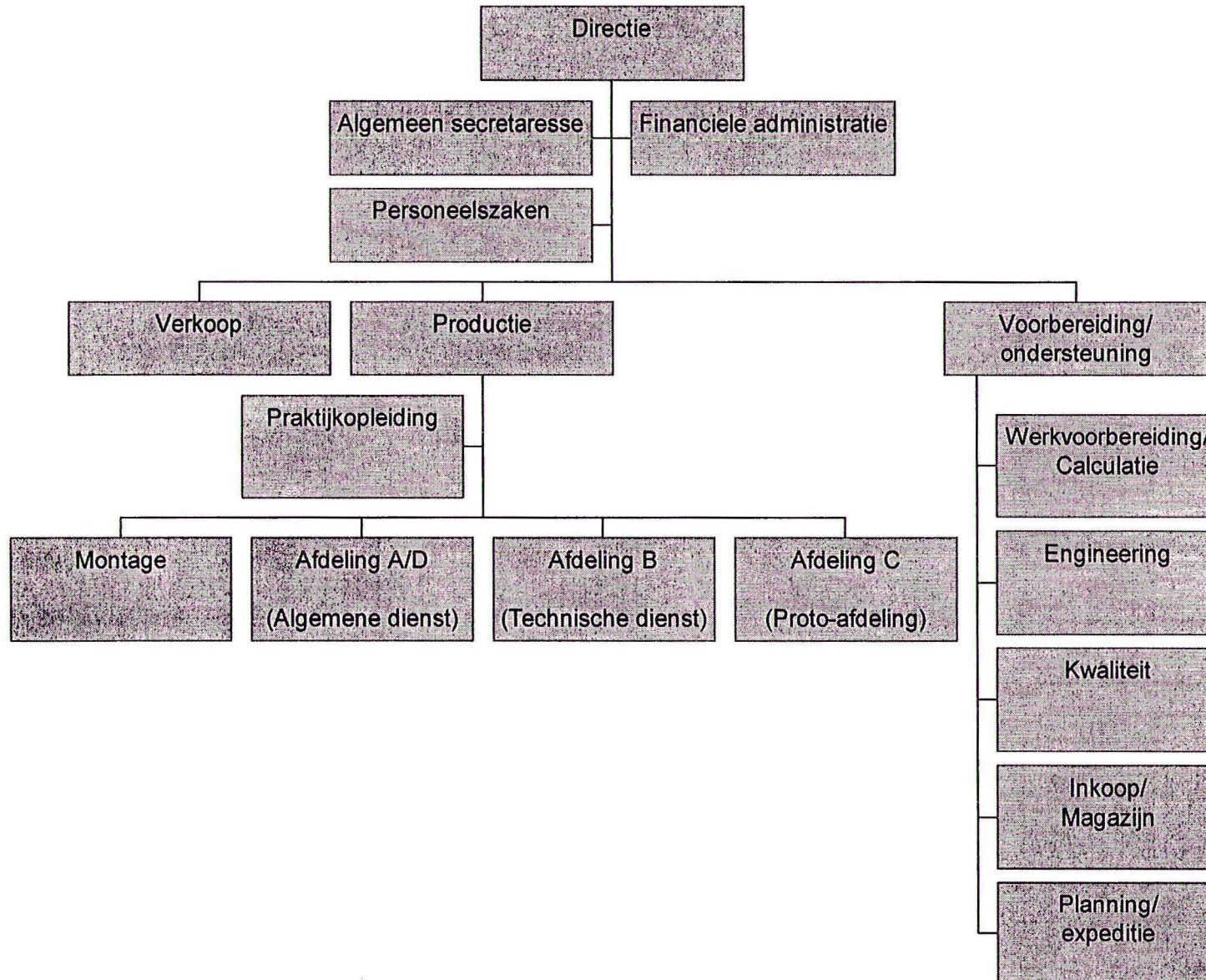
6-2 Presentatie van de veertien POP-alternatieven 2

6-3 Bezettingsgraden van de alternatieven in vier kwartalen 4

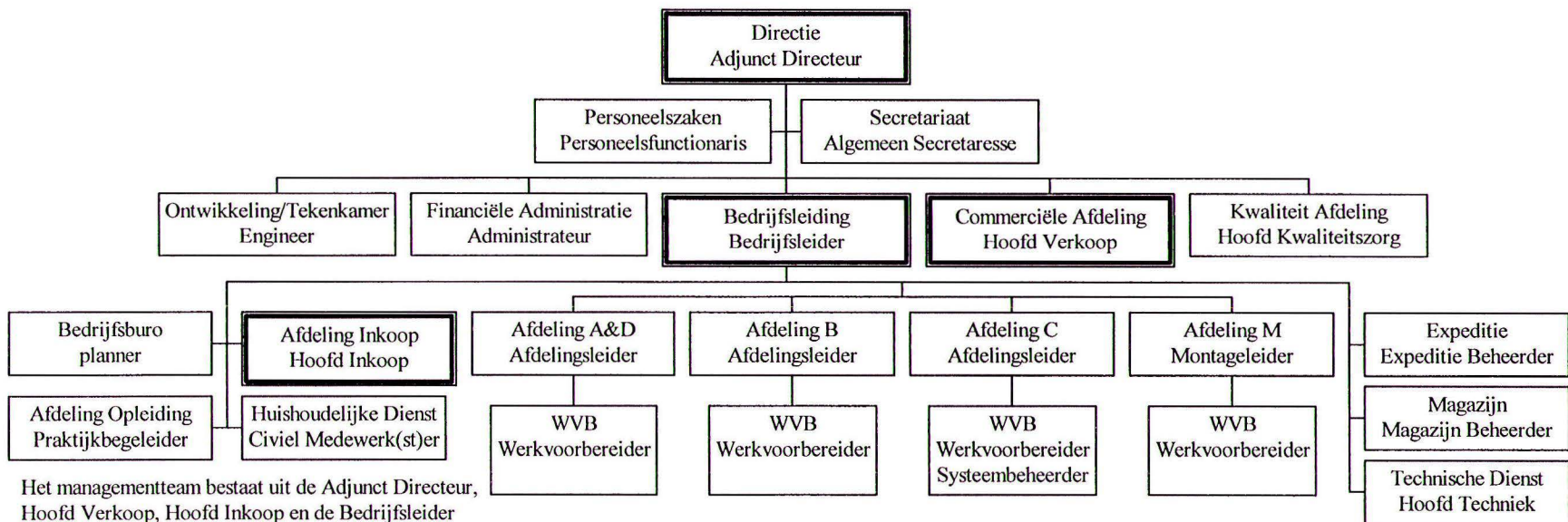
Hoofdstuk 7:

7-1 Wachttijdfactoren van geselecteerde alternatieven 2

Organisatieschema Thavo Metaalindustrie BV
januari 1999



Organisatieschema Thavo Metaalindustrie BV mei 1998



Oriënterende interviews

In Tabel 1 wordt weergegeven welke onderwerpen in het algemene deel van het oriënterend interview zitten.

Tabel 1: onderwerpen algemene deel oriënterende interviews

Onderwerpen	
Positie en carrière respondent	Bedrijfsproces
Kerncompetenties	Eerdere acties
Veranderingen in het verleden	IT-structuur
Toekomstverwachtingen	Overlegstructuur
Prestaties	Onderzoeksrichting

In Tabel 2 wordt kort weergegeven welke onderwerpen in het specifieke deel van het oriënterend interview voorkomen.

Tabel 2: Onderwerpen specifieke deel oriënterende interviews

Deelgroep	Onderwerpen
Management team	concurrentiepositie belang onderzoek
Productieleiding	menscapaciteit machinecapaciteit detailplanning karakter afdeling
Productieplanning	klantcontact
Inkoop	toeleveranciers uitvoerders uitbesteding
Verkoop	brancheontwikkeling concurrentiepositie klantcontact klanteisen

Voorfabricagetraject

Op de volgende pagina's worden de process maps gegeven van het voorfabricagetraject van de productieorders.

Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in de volgende ordersoorten:

1. *Herhaalorder zonder aanpassingen:*

Het product is al eerder geproduceerd. De huidige order vergt geen wijzigingen in de werkvoorbereiding van dit product.

2. *Herhaalorder met aanpassingen:*

Het product is al eerder geproduceerd. De huidige order vergt echter wel wijzigingen in de werkvoorbereiding van dit product.

3. *Nieuwe order:*

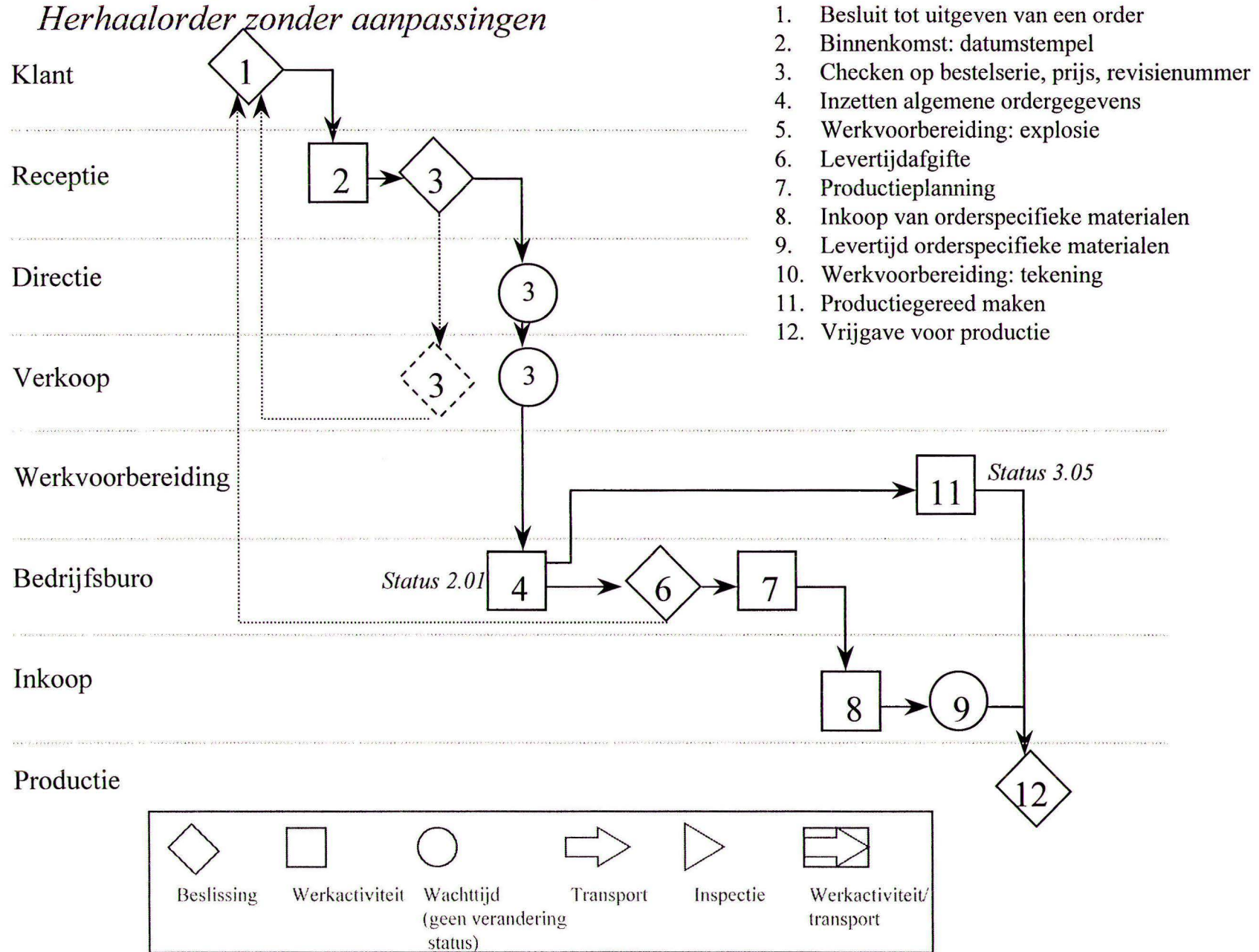
Het product is niet eerder geproduceerd door het bedrijf. De werkvoorbereiding moet daarom nog volledig gebeuren.

Een paar opmerkingen hierbij:

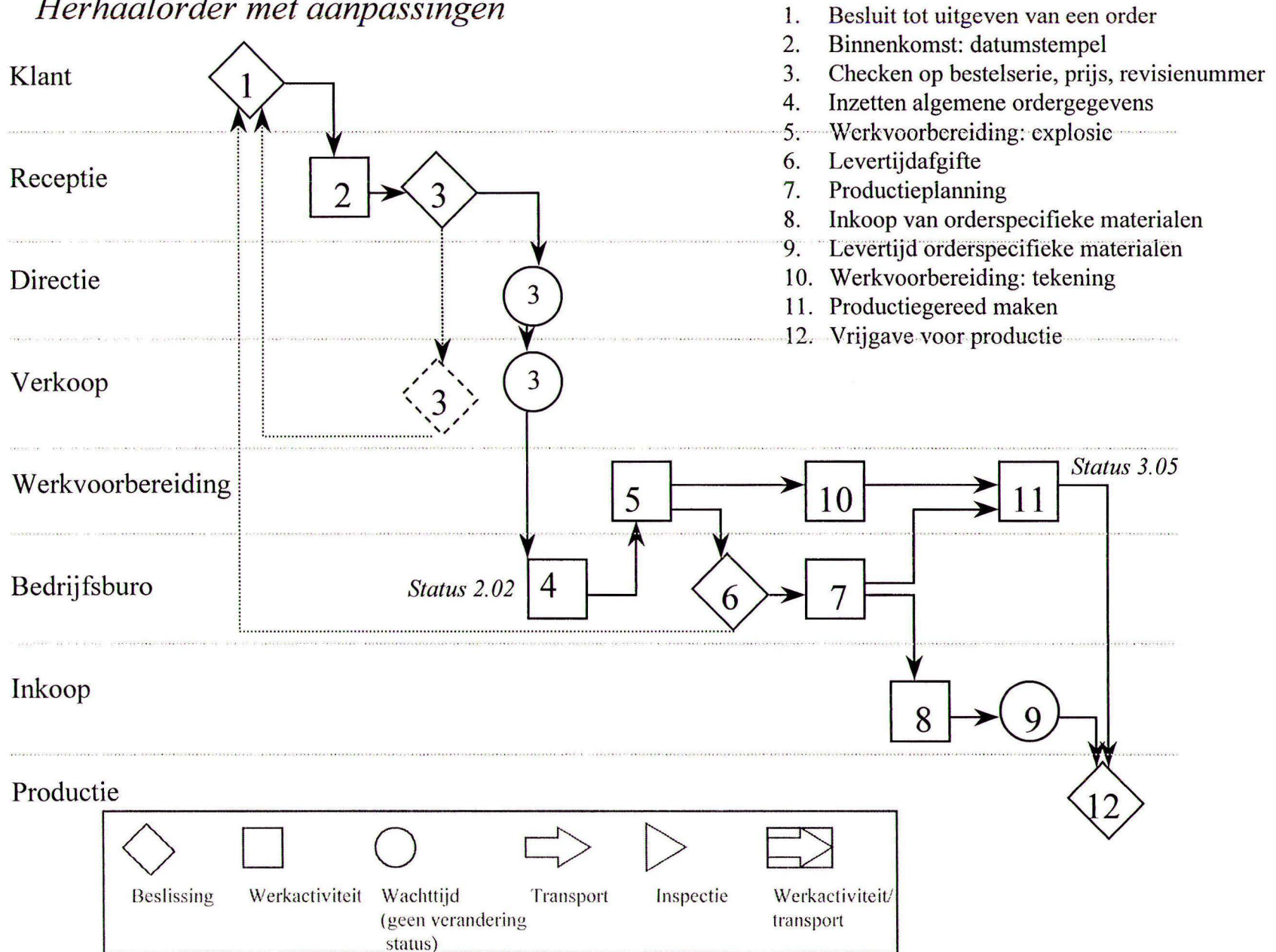
- Productieorder en Verkooporder hebben een één-op-één-relatie.
- Meetpunten voor het meten van de doorlooptijden van de processtappen missen.

Process Map Productievoorbereiding:

Herhaalorder zonder aanpassingen

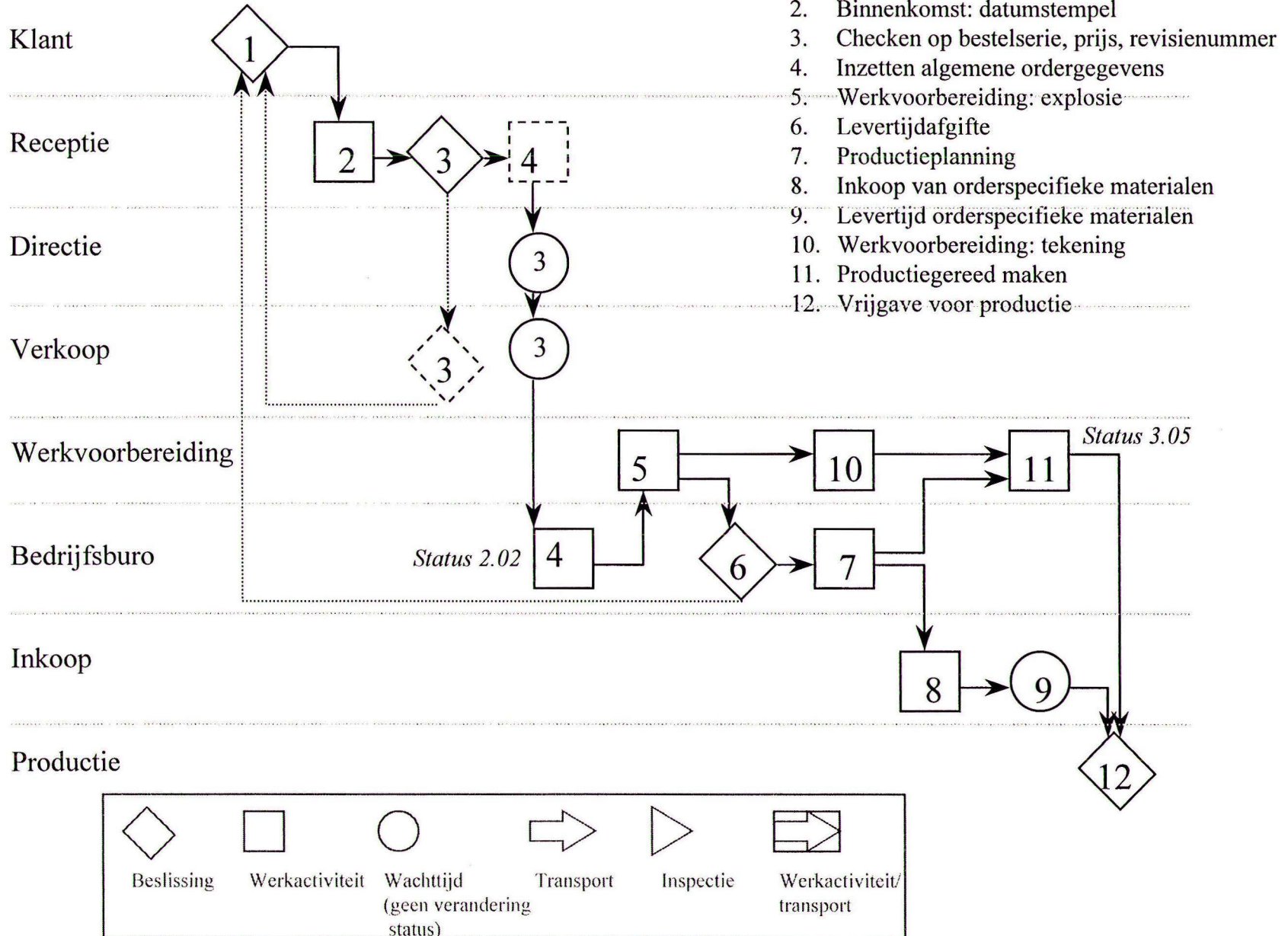


Process Map Productievoorbereiding: Herhaalorder met aanpassingen



Process Map Productievoorbereiding:

Nieuwe order



Uitwisselbaarheid D-machines

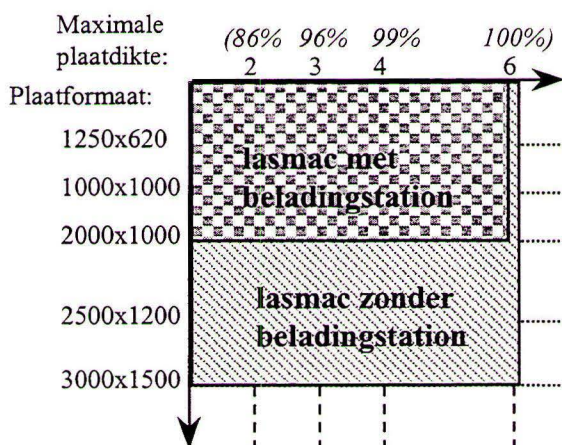
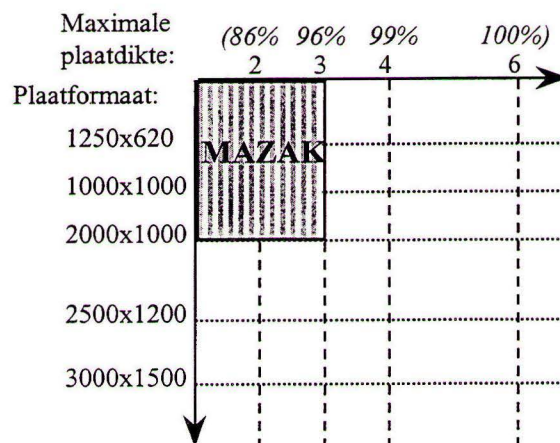
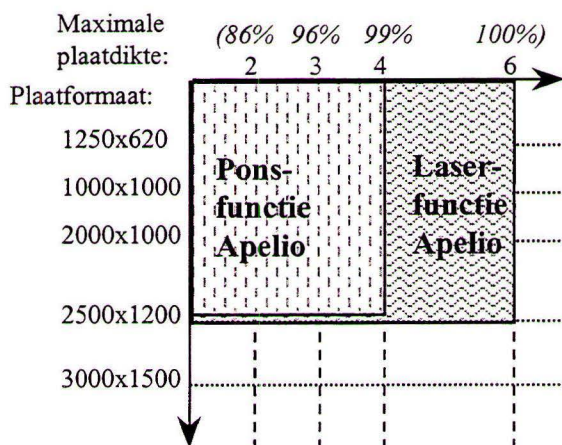
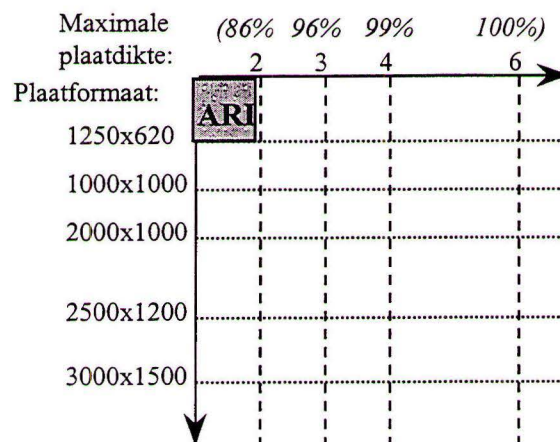
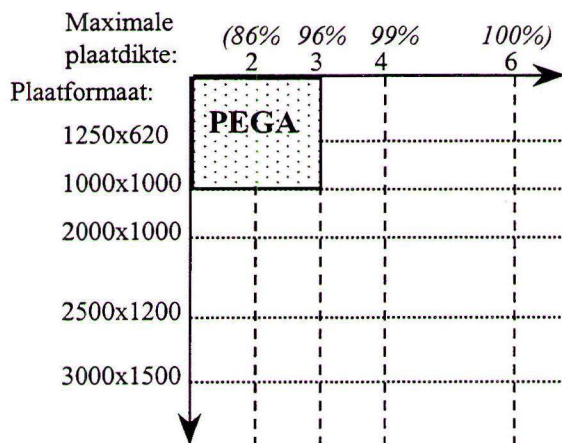
De D-machines zijn door technische beperkingen niet volledig onderling uitwisselbaar. In Tabel 1 worden de beperkende factoren genoemd.

Tabel 1: Beperkende factoren voor inzetbaarheid van machines afdeling D

Naam	Amada Pega	Aries	Apelio Vipros	Apelio II 357	Lasmac	Mazak
Type	ponsmachine	ponsmachine	combimachine	combimachine.	lasersnijder	lasersnijder
Plaatformaat	max. 1x1 m (vanwege opstelling)	max. 1,25x0,62 m (vanwege opstelling)	max. 2,5x1,2 m	max. 2,5x1,2 m	laser: max. 3x1,5 m Belading: max. 2x1 m	max. 2x1 m
Plaatdikte	vanaf 0,5 tot 3 mm	vanaf 0,5 tot 2 mm	stampen tussen 0,5 en 4 mm; daarboven laser	stampen tussen 0,5 en 4 mm; daarboven laser	vanaf 0,5 tot 6 mm	vanaf 0,5 tot 3 mm
Tolerantie gatgrootte	vanaf 0,05 mm	vanaf 0,05 mm	vanaf 0,05 mm	vanaf 0,05 mm	vanaf 0,05 mm	vanaf 0,10 mm
Tolerantie as afstand	vanaf 0,15 mm	vanaf 0,15 mm	vanaf 0,15 mm	vanaf 0,15 mm	vanaf 0,10 mm	vanaf 0,15 mm
Materiaal-soort			thermisch verzinkt staal niet lasersnijden	thermisch verzinkt staal niet lasersnijden	geen thermisch verzinkt staal	geen thermisch verzinkt staal
Grootte gat (n = 10 á 11)	niet kleiner dan n/10* plaatdikte	niet kleiner dan n/10* plaatdikte	niet kleiner dan n/10* plaatdikte	niet kleiner dan n/10* plaatdikte		

In de volgende twee pagina's wordt in kaart gebracht welke invloeden deze beperkingen hebben op het orderpakket dat de machines kunnen verwerken. Op pagina 4 wordt ingegaan op het orderpakket dat door combinaties van machines verwerkt kunnen worden.

Uitwisselbaarheid D-machines op basis van plaatformaat en -dikte



Uitwisselbaarheid D-machines

Combinaties	Beperkingen*				Aandeel werkorder pakket
	Plaatdikte (mm)	Formaat (m)	Gatdiameter	Overig	
PEGA	<=3 (1,5rvs)	<= 1 x 1	> plaatdikte	geen speciale contouren	>= A
ARIES	<=2 (1,5rvs)	<= 1,25 x 0,62 v <= 1 x 1	> plaatdikte	geen speciale contouren	>= B
APELIO-V		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
APELIO		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
MAZAK	<=3	<= 2 x 1		geen therm verzinkt staal	>= C
LASMAC				geen therm verzinkt staal	95 %
PEGA+ARIES	<=3 (1,5rvs)	<= 1 x 1	> plaatdikte	geen speciale contouren	>= D
PEGA+APELIO-V		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
PEGA+APELIO		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
PEGA+MAZAK		<= 2 x 1		therm verz staal: zie PEGA	>= E
PEGA+LASMAC				therm verz staal: zie PEGA	>= 95 %
ARIES+APELIO-V		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
ARIES+APELIO		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
ARIES+MAZAK		<= 2 x 1		therm verz staal: zie ARIES	>= f
ARIES+LASMAC				therm verz staal: zie ARIES	>= 95 %
APELIO-V+APELIO		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
APELIO-V+MAZAK		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
APELIO-V+LASMAC				therm verz staal: zie APELIO-V	>= 98 %
APELIO+MAZAK		<= 2,5 x 1,2			>= 98 %
APELIO+LASMAC				therm verz staal: zie APELIO	>= 98 %
MAZAK+LASMAC				geen therm verzinkt staal	95 %

* Alleen die beperkingen die van onderscheidend belang zijn, worden hier meegenomen.

A = minimaal 20 %; schatting 40 %*

D = minimaal 38 %; schatting 40 %*

B = minimaal 18 %; schatting 25 %*

E = minimaal 34 %; schatting 70 %*

C = minimaal 11 %; schatting 30 %*

F = minimaal 32 %; schatting 40 %*

* Bron: Afdelingsleider afdeling D

Gerealiseerde bezettings- en wachttijden en theoretisch bijbehorende bezettingsgraden

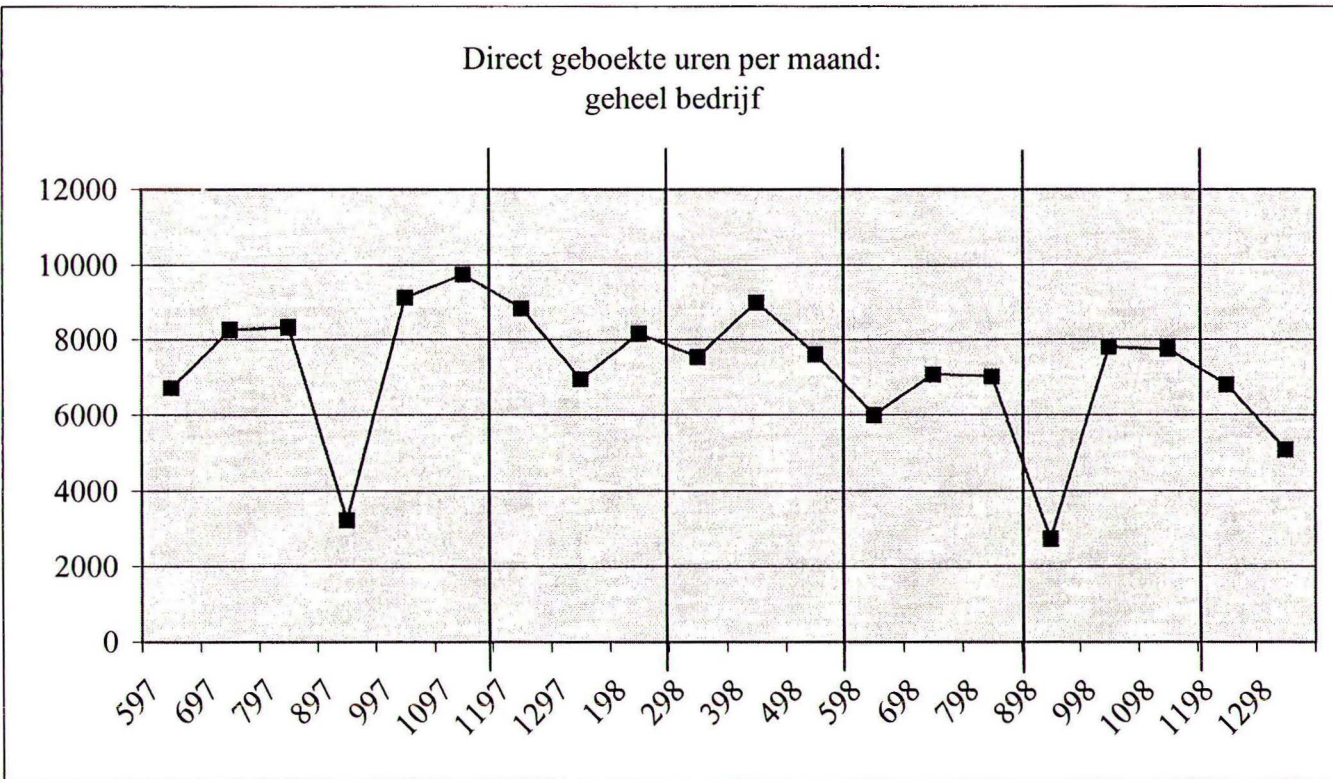
Capgroep	# paral stations	bezettingd(hr)	varcoef bezettd	dlt(wdg)	wachttijd(wdg)	wachttijdfactor	bijhorende bezetgraad(theor)
ABG	2	3,6	1,01	3,5	3,1	6,7	93%
AMEBA	4	3,2	1,01	3,1	2,7	6,7	96%
APEM		3,8	0,72	6,2	5,7	11,9	
ASTA	4	3,8	1,07	3,5	3,0	6,3	96%
BBANK	4	4,7	1,22	2,8	2,2	3,7	92%
BBG	4	4,8	1,06	3,0	2,4	4,0	94%
BJORG	1	10,3	0,79	7,4	6,1	4,7	85%
BLAS	6	6,7	1,17	3,9	3,0	3,6	95%
BMEBA	3	2,7	1,06	4,3	3,9	11,5	97%
BPEM	2	4,0	0,84	7,8	7,3	14,7	97%
BPNTL	6	5,9	1,18	5,7	4,9	6,7	97%
BSTA	3	3,4	0,99	5,7	5,2	12,2	97%
BZAG	1	2,4	0,92	3,2	2,9	9,8	91%
CBANK	2	2,2	1,88	3,1	2,8	10,4	90%
CBG	2	1,9	1,44	3,6	3,4	13,9	95%
CLAS	2	1,8	1,04	4,4	4,2	18,4	97%
CMEBA	2	2,1	0,94	2,8	2,5	9,5	95%
CPNTL	2	0,9	0,65	4,0	3,9	35,4	99%
CPROT		1,7	0,78	4,8	4,6	21,7	
CSTA	2	1,2	0,75	3,6	3,5	23,8	98%
CZAG		2,0	1,04	3,7	3,5	13,8	
DAMAD	1	3,2	0,92	1,8	1,4	3,5	79% *
DAPEL-V	1	3,2	1,63	1,9	1,5	3,7	67% *
DAPELIO	1	3,7	1,23	1,8	1,4	3,0	70% *
DARIES	1	2,8	0,85	1,0	0,6	1,8	68% *
DGRMA	1	1,3	1,04	3,6	3,4	21,8	95%
DKNIP	1	0,9	1,14	0,5	0,4	3,7	76% *
DLSMC	1	5,6	1,14	0,7	0,0	0,0	0% *
DLSRI	1	4,6	1,28	1,6	1,0	1,8	57% *

* Doordat het moment van arriveren van de order bij de startbewerkingen niet bepaald kan worden, is aan de startbewerkingen geen wachttijd toegekend.

De capaciteiten met de gearceerde gebieden voeren veel startbewerkingen uit.

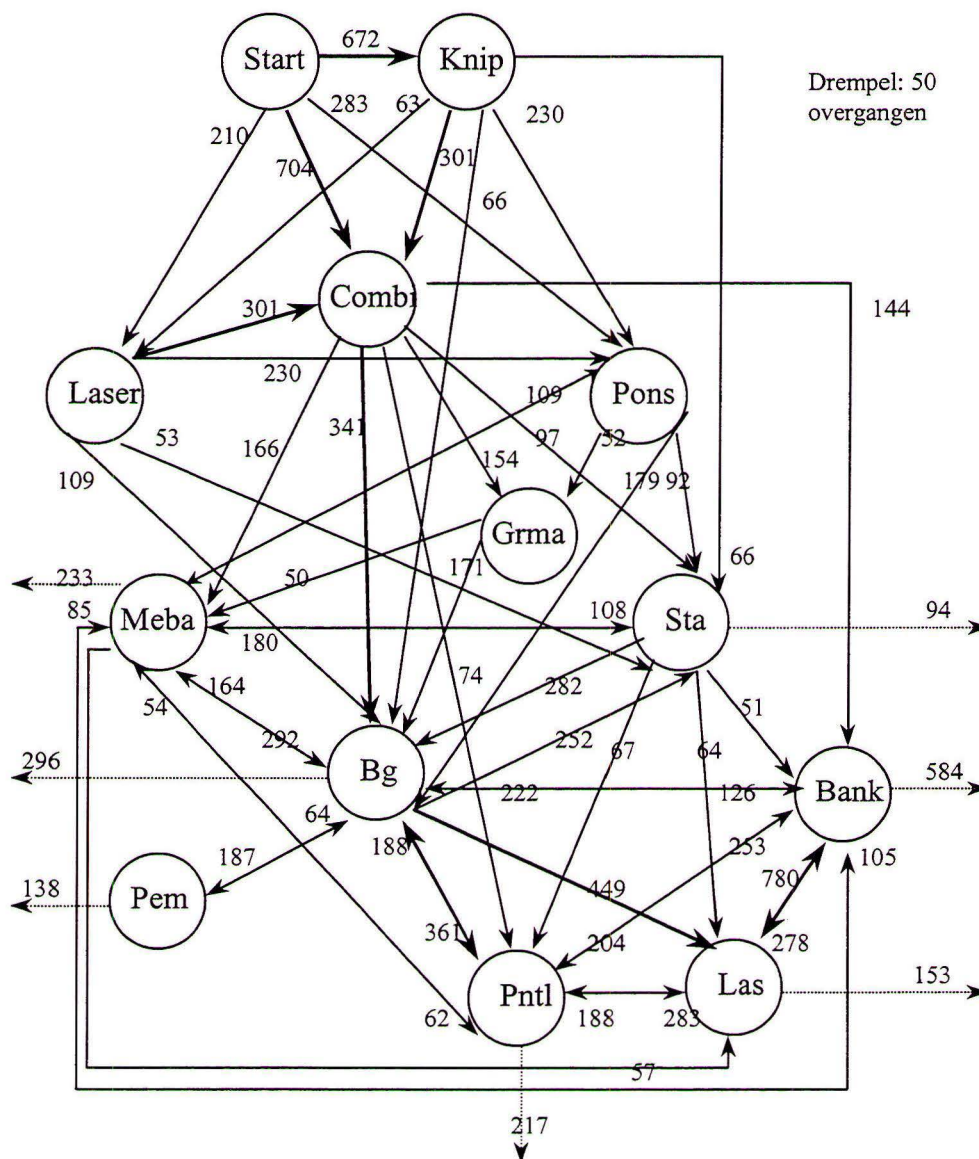
Daardoor zijn de waarden in het gearceerde gebied lager dan ze in de praktijk zullen zijn.

Direct geboekte uren per maand:
geheel bedrijf



Orderstroomdiagram

Een uitgebreide orderstroomdiagram wordt verkregen wanneer alle overgangen worden weergegeven die meer dan 50 maal zijn voorgekomen in de periode oktober 1997 tot en met november 1998. Deze orderstroomdiagram wordt hieronder weergegeven.



Een Ontwerptechniek voor het Stroomsgewijs Organiseren van de Productiestructuur

Dr. Annelies M. Hoevenaars & Dr. Frans M. van Eijnatten
Technische Universiteit Eindhoven

© September 1993

SPS-techniek

Het feitelijke parallelisatieproces wordt opgedeeld in twee fasen en veertien stappen (zie blok 1 en 2).

Blok 1: Een illustratie van de werkwijze bij het berekenen van de hoeveelheid totale en aangeslibde beheersbehoefte.

(A)

gegeven informatie:

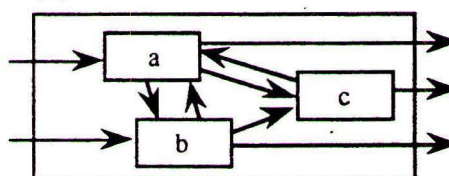
<u>produktnr.</u>	<u>volume</u>	<u>financieel belang</u>	<u>bewerkingsvolgorde</u>	<u>verdeling van bewerkingen over clusters</u>
1	20	300	3 - 6 - 1 - 4	cluster a: 1 - 3 - 6
2	50	100	2 - 3 - 5 - 7	cluster b: 2 - 4
3	30	250	1 - 3 - 7	cluster c: 5 - 7
4	40	350	2 - 4 - 6 - 7	
<u>5</u>	<u>10</u>	<u>400</u>	1 - 2 - 5 - 6	
totaal: 5	150	1400		

Indien deze gegevens worden getransformeerd naar clusterroutes, ontstaat het volgende beeld:

(B)

<u>produktnr.</u>	<u>clustervolgorde</u>
1	a - b
2	b - a - c
3	a - c
4	b - a - c
5	a - b - c - a

(C)



(D)

Berekening van de *aangeslibde* beheersbehoefte:

De omvang van de reizen tussen clusters is nu:

van	naar	aantal produkten	volume	fin. belang
a	b	2	30	700
a	c	3	120	700
b	a	2	90	450
b	c	1	10	400
<u>c</u>	<u>a</u>	<u>1</u>	<u>10</u>	<u>400</u>
totaal		9 (180%)	260 (173%)	2650 (189%)

(E)

Berekening van de *totale* beheersbehoefte:

De omvang binnen de clusters is nu:

cluster	aantal produkten	volume	fin. belang
a	6	160	1800
b	4	120	1150
<u>c</u>	<u>4</u>	<u>130</u>	<u>1100</u>
totaal	14 (280%)	410 (273%)	4050 (289%)

**Fase 1: Analyseren van de bestaande produktiestructuur (verge-
lijk blok 1):**

Stap 1: Vaststellen van de structurele karakteristieken van de bestaande produktiesituatie, vergelijk (A) in blok 1.

Allereerst worden alle produkten met hun produktievolumes en hun financiële belang in kaart gebracht en getotaliseerd. Vervolgens wordt voor elk produkt uit het assortiment de specifieke bewerkingsvolgorde geïnventariseerd. Ten slotte worden de bestaande produktieclusters (organisatorische eenheden) opgesomd, inclusief de daarin ondergebrachte bewerkingen.

Stap 2: Diagnostiseren van de bestaande produktiestructuur, vergelijk (B) en (C) in blok 1.

De gegevens uit stap 1 worden nu omgezet en samengevat in een schema (B) waarin wordt aangegeven welke clusters elk product in welke volgorde bezoekt. Grafisch weergegeven ontstaat een stroomschema (C).

Stap 3: Berekenen van de aangeslibde beheersbehoefte, vergelijk (D) in blok 1.

Op basis van schema (B) uit stap 2 worden de produktstromen die *tussen* de clusters op en neer gaan, in kaart gebracht en gekwantificeerd in termen van het aantal verschillende produkten dat van de ene naar de andere cluster gaat, het produktievolume dat daarmee gemoeid is, en het financiële belang dat dit representeert. De aldus verkregen gegevens worden getotaliseerd en vergeleken met het totaal van (A). De verhouding wordt weergegeven in een percentage.

Stap 4: Berekenen van de totale beheersbehoefte, vergelijk (E) in blok 1.

Op basis van schema (B) uit stap 2 worden de produktstromen *binnen* de clusters in kaart gebracht en gekwantificeerd in termen van het aantal verschillende produkten dat om een bewerking vraagt, het produktievolume dat daarmee gemoeid is, en het financiële belang dat dit representeert. Eenzelfde produkt kan tijdens het maakproces in principe verschillende malen een cluster bezoeken. Voor de berekening van de totale beheersbehoefte wordt elke keer dat een produkt om een(zelfde) bewerking vraagt, dit als een 'nieuw produkt' aangemerkt. De aldus verkregen gegevens worden getotaliseerd en vergeleken met het totaal van (A). De verhouding wordt weergegeven in een percentage.

**Stap 5: Controleren van de juistheid van de uitgevoerde berekeningen. ver-
gelijk (D) en (E) in blok 1.**

Het verschil van de percentages totale beheersbehoefte (E) en aangeslibde

Blok 2: Een illustratie van de werkwijze van SPS als instrument om te paralleliseren

(A)

gegeven informatie:

<u>aantal deelbare capaciteiten per bewerking:</u>								<u>bewerkingsvolgorde per produkt:</u>	
<u>bewerkingsnummer:</u>	1	2	3	4	5	6	7	<u>produktnr.</u>	<u>bewerkingsvolgorde</u>
deelbare capaciteiten:	6	3	3	2	1	2	2	1	3-6-1-4
								2	2-3-5-7
								3	1-3-7
								4	2-4-6-7
								5	1-2-5-6

(B)

sortering op ondeelbare capaciteit (bewerking 5):

produkten die bewerking 5 aandoen

2, 5

produkten die bewerking 5 niet aandoen

1, 3, 4

(C)

resultaat:

benodigde bewerkings-
capaciteiten per cluster:

cluster 1: 1-2-3-5-6-7

cluster 2: 1-2-3-4-6-7

(D)

analyse van de verdeling van het aantal bezoeken per bewerking

<u>bewerking</u>	<u>cluster 1 aantal bezoeken per bewerking door produkten 2 en 5</u>	<u>cluster 2 aantal bezoeken per bewerking door produkten 1, 3 en 4</u>	<u>totaal aantal bezoeken per bewerking</u>	<u>gekozen verdeling van capaciteiten over cluster 1 / 2</u>
1	1	2	3	2/4
2	2	1	3	2/1
3	1	2	3	1/2
4	0	2	2	0/2
5	2	0	2	1/0
6	1	2	3	0/2
7	1	2	3	0/2

(E)

toegewezen bewerkingen

per cluster:

cluster 1: 1-2-3-5

cluster 2: 1-2-3-4-6-7

(F)

produktnr.

1

2

3

4

5

clustervolgorde

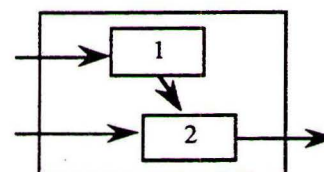
2

1-2

2

2

1-2



(G)

Berekening van de *aangeslibde* beheersbehoefte:

De omvang van de reizen tussen clusters is nu:

van naar aantal produkten volume fin. belang

1 2 2 60 500

totaal 2 (40%) 60 (40%) 500 (36%)

(G)

Berekening van de *totale* beheersbehoefte:

De omvang binnen de clusters is nu:

cluster aantal produkten volume fin. belang

1 2 60 500

2 5 150 1400

totaal 7 (140%) 210 (140%) 1900 (136%)

beheersbehoefte (D) dient steeds 100% te zijn. Deze 100% weerspiegelt namelijk de ideale produktiesituatie van volledig parallelle stromen, waarin elk produkt eenmaal één, en slechts één, cluster bezoekt (totale beheersbehoefte 100%, aangeslibde beheersbehoefte 0%).

Fase 2: Stroomlijnen van de produktiestructuur (vergelijk blok 2)

Stap 6: Het vaststellen van het aantal 'deelbare' capaciteiten per bewerking, vergelijk (A) in blok 2.

Voor elke bewerking moet worden vastgesteld hoeveel capaciteiten er tegelijkertijd gebruikt kunnen worden voor het parallel uitvoeren ervan.

Stap 7: Het sorteren van produkten op basis van ondeelbare capaciteiten, vergelijk (B) in blok 2.

Alle produkten die die bewerking(en) aandoen, waarvoor slechts één machine beschikbaar is (ondeelbare capaciteit), worden gescheiden van de produkten die deze bewerking(en) niet aandoen. De aldus verkregen classificatie vormt de basis voor het formeren van nieuwe clusters (organisatorische eenheden).

Stap 8: Vaststellen van de benodigde bewerkingscapaciteiten per nieuwe cluster, vergelijk (C) in blok 2.

Uitgaande van de nieuwe clusterindeling, die gemaakt is in stap 7, worden nu de benodigde bewerkingen per cluster vastgesteld.

Stap 9: Bepalen van de verdeling van machine-capaciteit over de nieuwe clusters, vergelijk (D) in blok 2.

Binnen de nieuwe clusters wordt voor het totaal van de desbetreffende produkten geïnventariseerd hoe vaak een beroep wordt gedaan op een bepaalde bewerking. De deelbare machine-capaciteiten worden naar rato toegewezen aan de nieuwe clusters.

Stap 10: Vaststellen van de toegewezen bewerkingen per nieuw cluster, vergelijk (E) in blok 2.

Per nieuw cluster worden de benodigde bewerkingen gespecificeerd aan de hand van de capaciteitsverdeling uit stap 9.

Stap 11: Diagnosticeren van de gestroomlijnde produktiestructuur, vergelijk (F) in blok 2.

De gegevens uit stap 10 worden nu omgezet en samengevat in een schema (F)

waarin wordt aangegeven welke nieuwe clusters elk produkt in welke volgorde bezoekt. Grafisch weergegeven ontstaat een stroomschema.

Stap 12: Berekenen van de aangeslibde beheersbehoefte, vergelijk (G) in blok 2.

Op basis van schema (F) uit stap 12 worden de produktstromen die *tussen* de clusters op en neer gaan, in kaart gebracht en gekwantificeerd in termen van het aantal verschillende produkten dat van de ene naar de andere cluster gaat, het produktievolume dat daarmee gemoeid is, en het financieel belang dat dit representeert. De aldus verkregen gegevens worden getotaliseerd en vergeleken met het totaal van (A). De verhouding wordt weergegeven in een percentage.

Stap 13: Berekenen van de totale beheersbehoefte, vergelijk (G) in blok 2.

Op basis van schema (F) uit stap 12 worden de produktstromen *binnen* de clusters in kaart gebracht en gekwantificeerd in termen van het aantal verschillende produkten dat om een bewerking vraagt, het produktievolume dat daarmee gemoeid is, en het financiële belang dat dit representeert. Eenzelfde produkt kan tijdens het maakproces in principe verschillende malen een cluster bezoeken. Voor de berekening van de totale beheersbehoefte wordt elke keer dat een produkt om een(zelfde) bewerking vraagt, dit als een 'nieuw produkt' aangemerkt. De aldus verkregen gegevens worden getotaliseerd en vergeleken met het totaal van (A). De verhouding wordt weergegeven in een percentage.

Stap 14: Controleren van de juistheid van de uitgevoerde berekeningen, vergelijk (G) in blok 2.

Het verschil van de percentages totale beheersbehoefte (G) en aangeslibde beheersbehoefte (G) dient steeds 100% te zijn. Deze 100% weerspiegelt namelijk de ideale produktiesituatie van volledig parallelle stromen, waarin elk produkt eenmaal één, en slechts één, cluster bezoekt (totale beheersbehoefte 100%, aangeslibde beheersbehoefte 0%).

Referentie

Hoevenaars, A.M. (1991). "*Produktiestructuur en organisatievernieuwing: de mogelijkheid van paralleliseren nader onderzocht.*" Eindhoven: Technische Universiteit, proefschrift.

POP-instrument

In deze bijlage wordt dieper ingegaan op het instrument voor het paralleliseren op productiefasering: het POP-instrument.

In hoofdlijnen bestaat de nieuwe ontwerp-methode uit drie delen:

1. bepalen productiefasering;
2. bepalen fasecombinaties;
3. bepalen parallellisatie-alternatieven.

De drie delen worden hierna verder uitgewerkt. Aansluitend wordt ter illustratie van de werking van de ontwerp-methode een fictief voorbeeld met de methode uitgewerkt.

Bepalen productiefasering

Het bestaan van een (latente) productiefasering in een productiesysteem moet worden ontdekt om de methode toe te kunnen passen. Indien deze niet wordt gevonden, moet teruggegaan worden op de keuze van de ontwerp-methode.

Verschillende methoden kunnen worden gebruikt om te bepalen of er in een productiesysteem één (of meerdere) productiefasering(en) aanwezig is (zijn):

- “Op het oog”. In verschillende situaties zal van begin af aan duidelijk zijn dat er sprake is van een productiefasering.
- Met behulp van een werkverkeermatrix. Uit deze matrix kan blijken dat tussen bepaalde bewerkingen de ‘heenstromen’ groter van omvang zijn dan de ‘terugstromen’. Op basis hiervan kan worden bepaald of de bewerkingen tot twee verschillende fases behoren.
- Bepalen van de bewerkingen die het sterkst van invloed zijn op de bewerkingsmogelijkheden. Een bewerkingsstap die sterk bepaald welke bewerkingsmogelijkheden er voor en na deze stap zijn, zorgt voor een scheiding in productiefases.

Per productiefasering moet worden vastgesteld uit welke fases deze bestaat. Per fase moet daarbij worden bepaald welke bewerkingen ertoe behoren.

Bepalen fasecombinaties

De volgende stap is het bepalen van de mogelijke combinaties van fasevolgorden. Een onderscheid in vaste en variabele fases moet hierbij worden gemaakt. De vaste fases worden door zo’n groot deel van het werkorderpakket bezocht dat fasecombinaties zonder deze fases niet beschouwd hoeven worden. Door alle combinaties van variabele fases aan te vullen met de vaste fases, worden de fasecombinaties bepaald.

Op basis van de bewerkingsvolgorde van de werkorders, worden deze toegewezen aan een fasecombinatie. Wanneer werkorders niet ingedeeld kunnen worden in een fasecombinatie, omdat ze de fases niet in de juiste volgorde doorlopen, worden ze apart ‘fasecombinatie’ gezet.

Bepalen parallellisatie-alternatieven

Parallellisatie-alternatieven worden gevormd door het samenvoegen van fasecombinaties tot stromen van voldoende omvang. Een parallellisatie-alternatief bestaat uit een aantal parallelle stromen. Voor de duidelijkheid worden de verschillende niveaus nog op een rij gezet:

- *Werkorder*: een werkorder kent een bewerkingsvolgorde, die is te vertalen naar een fasevolgorde.
- *Fasecombinatie*: Dit is de deelverzameling van alle werkorders die in de juiste volgorde de fases, die tot dezelfde fasecombinatie behoren, doorlopen.
- *Stroom*: een deelverzameling van het totale werkorderpakket vormt samen een stroom. De deelverzameling bestaat uit de producten van een of meerdere fasecombinaties.
- *Parallellisatie-alternatief*: een mogelijke indeling van het productiesysteem in parallelle stromen.

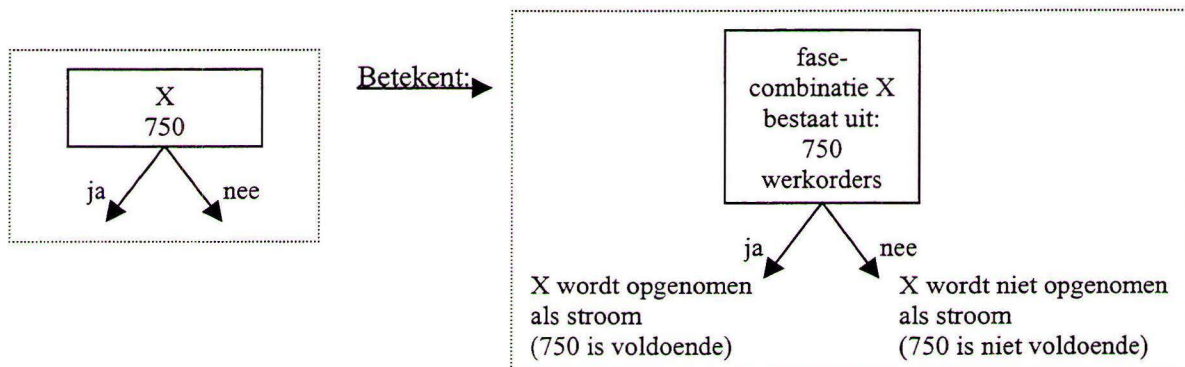
Al bij een gering aantal fasecombinaties zijn er al snel veel verschillende stromen mogelijk. Het proces van samenstellen van deze stromen dient gestructureerd te gebeuren. Een structurering van dit proces voorkomt dat er bijvoorbeeld minder voor de hand liggende alternatieven over het hoofd worden gezien. Een algoritme is ontworpen, om te zorgen dat het proces van samenstellen van stromen gestructureerd gebeurt.

Het algoritme voor bepaling van parallelisatie-alternatieven op basis van een productiefasering bestaat uit de volgende stappen:

- Rangordenen van fasecombinaties.
- Boomstructuur-schema opstellen.
- Parallelisatie-alternatieven uitfilteren.

Begonnen wordt met het opstellen van een lijst van fasecombinaties, die zijn geordend op het aantal fases waaruit ze bestaan. In de lijst is er sprake van niveaus. Fasecombinaties met gelijke aantallen fases bevinden zich op hetzelfde niveau. Fasecombinaties met een lager aantal fases bevinden zich op een hoger niveau dan diegene met meer fases. Met de *rangordelijst* wordt een boomstructuur-schema opgesteld, bestaande uit blokken die verbonden zijn met pijlen.

De fasecombinaties met het laagste aantal fases worden het eerst in het *boomstructuur-schema* geplaatst. Ze worden ieder in een eigen blok geplaatst, waarin ook het aantal werkorders wordt genoemd dat tot de fasecombinatie behoort. Ieder blok heeft in principe twee uitgaande pijlen: ja en nee. De 'ja'-pijl geeft aan dat de fasecombinatie uit voldoende werkorders bestaat om op te worden genomen als stroom. De 'nee'-pijl geeft het tegendeel weer. De pijlen staan dus voor een positieve of negatieve beslissing over het opnemen van de fasecombinatie (in het blok waaruit de pijl komt) als een stroom in een parallelisatie-alternatief. In Figuur 1 wordt een aan de linkerzijde een voorbeeld gegeven van een blok met pijlen. Aan de rechterzijde wordt de betekenis hiervan weergegeven.



Figuur 1: Voorbeeld blok met betekenis

Na een 'ja'-pijl is de fasecombinatie in het voorgaande blok opgenomen in een stroom. Hierdoor zijn er voor de opvolgende stappen minder fasecombinaties over. De overige fasecombinaties, die zich op hetzelfde niveau bevinden als de fasecombinatie in het voorgaande blok, worden na een 'ja'-pijl ieder in een blok geplaatst. Van ieder wordt weer aangegeven uit hoeveel werkorders deze bestaat. Ook krijgen ze weer twee uitgaande pijlen voor de keuze de fasecombinatie wel of niet als stroom in een parallelisatie-alternatief op te nemen.

De 'nee'-pijl geeft, zoals eerder genoemd, aan dat de fasecombinatie in het voorgaande blok niet is opgenomen in een stroom. De procedure wordt nu vervolgd met alle fasecombinaties die op één niveau lager liggen dan de fasecombinatie in het voorgaande blok. Dit om te voorkomen dat er in het schema fasecombinaties dubbel worden uitgewerkt.

Het uitwerken van fasecombinaties, die niet op het hoogste niveau liggen, gebeurt steeds op de volgende manier. Eerst wordt bepaald welke van de overgebleven fasecombinaties er binnen de fasecombinatie passen. In het blok worden ook deze fasecombinaties geplaatst. Een totaal van het aantal werkorders van alle fasecombinaties in het blok wordt aansluitend bepaald. Het blok krijgt in

principe twee uitgaande pijlen voor het wel of niet opnemen van de fasecombinaties als stroom in een parallellisatie-alternatief. De uitzonderingen hierop zijn:

- Wanneer in het schema wordt gekeken naar eerdere stappen en een 'nee'-pijl wordt gevonden bij een stroom bestaande uit meer werkorders dan degene die nu wordt bekeken, dan is er maar één mogelijkheid: een 'nee'-pijl. Eerder is dan al een stroom afgewezen omdat het uit te weinig werkorder bestond, terwijl de stroom die nu wordt bekeken uit nog minder werkorders bestaat.
- Wanneer er een 'ja'-pijl wordt aangetroffen in eerdere stappen bij een stroom bestaande uit minder werkorders dan degene die nu wordt bekeken, dan is er ook maar één mogelijkheid: een 'ja'-pijl. Eerder is dan al een stroom met een lager aantal werkorders toegelaten tot het parallellisatie-alternatief.

De volgende procedure voor het opstellen van het boomstructuur-schema moet voor iedere pijl in het schema worden doorlopen. Allereerst moet er een pijl worden getekend om de procedure te starten.

Start de procedure met X en Y nog onbepaald en $n = 1$.

1. Bepalen van de volgende gegevens:

- *De fasecombinaties die nog niet zijn ingedeeld. Indien geen: procedure stoppen.*
- *Het te beschouwen niveau: n .*
- *Bij eerdere stappen:*
- *hoogste aantal werkorders waarbij een 'nee'-pijl voorkomt: X .*
- *laagste aantal werkorders waarbij een 'ja'-pijl voorkomt: Y .*
- *2. Zijn er nog fasecombinaties op niveau n , die nog niet zijn ingedeeld?*
- *Ja: ga naar de volgende stap.*
- *Nee: verhoog n met 1 en herhaal stap 2.*

3. Teken aparte blokken voor alle fasecombinaties op niveau n die nog niet ingedeeld zijn.

Voor iedere blok:

- 4. Geef aan welke nog niet ingedeelde fasecombinaties er binnen de fasecombinatie passen waarvoor het blok is gecreëerd.*
- 5. Bepaal het totaal aantal werkorders van alle fasecombinaties in het blok en stel Z hieraan gelijk.*
- 6. Als $Z \leq X$ dan alleen een 'nee'-pijl tekenen. Als $Z \geq Y$ dan alleen een 'ja'-pijl tekenen. In andere gevallen moeten beide pijlen worden getekend. Bij een 'ja'-pijl wordt n met 1 verhoogd.*

Uit de procedure komen nieuw pijlen, waarvoor dezelfde procedure weer moet worden doorlopen.

Het *uitfilteren* van *parallellisatie-alternatieven* gebeurt door het 'lezen' van het boomstructuur-schema. Vanaf de eerste tot en met de laatst toegevoegde stromen, kunnen de verschillende parallellisatie-alternatieven uit het schema worden afgelezen. De parallellisatie-alternatieven moeten dan nog worden ontdaan van identieke alternatieven.

De eerste capaciteitstoewijzing gebeurt op de zelfde manier als bij de Hoevenaarsmethode. Van iedere alternatief wordt van iedere bewerking de frequentie bepaald dat deze wordt bezocht door een werkorder.

Voorbeeld

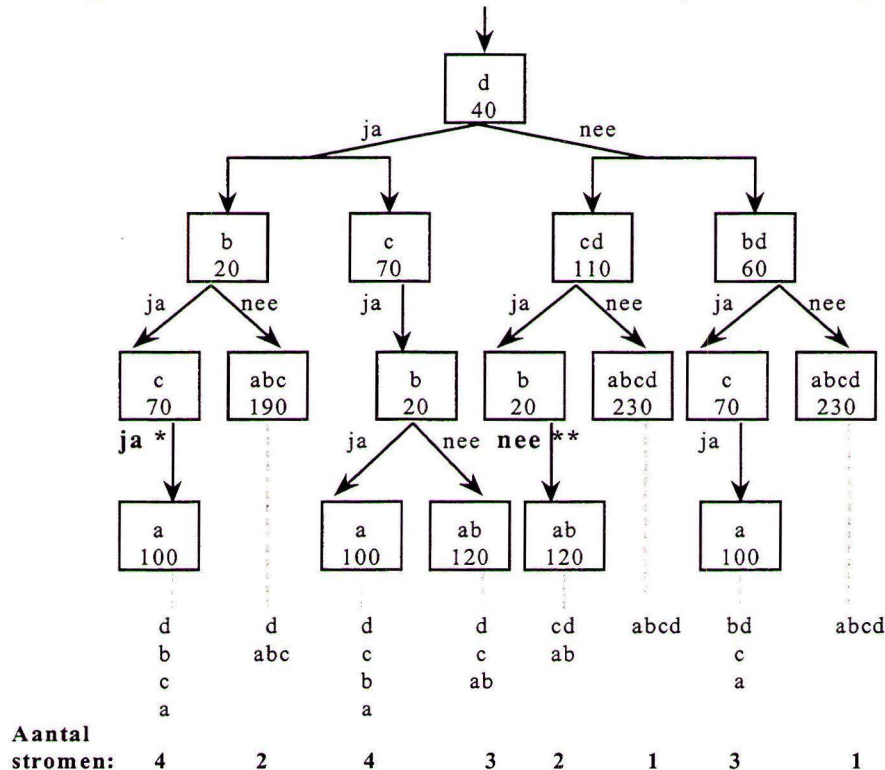
Stel dat er een productiefasering is gevonden, bestaande uit de drie fases 1, 2 en 3. Van deze drie fases wordt fase 3 door alle werkorders doorlopen.

Eerst worden de verschillende fasecombinaties bepaald. Van deze fasecombinaties wordt de rangorde en het aantal werkorders bepaald. Ook wordt bepaald welke andere fasecombinaties er binnen de fasecombinatie passen.

Tabel 1: Gegevens van voorbeeld-fasecombinaties

Codering	Fasecombinatie			Aantal fases	Rangorde	Aantal werkorders	Hierbinnen passen
A	1	2	3	3	3	100	b, c, en d
B	1	2	3	2	2	20	d
C	1	2	3	2	2	70	d
D	1	2	3	1	1	40	-

Het volgende boomstructuur-schema resulteert uit het toepassen van het parallelisatie-algoritme:



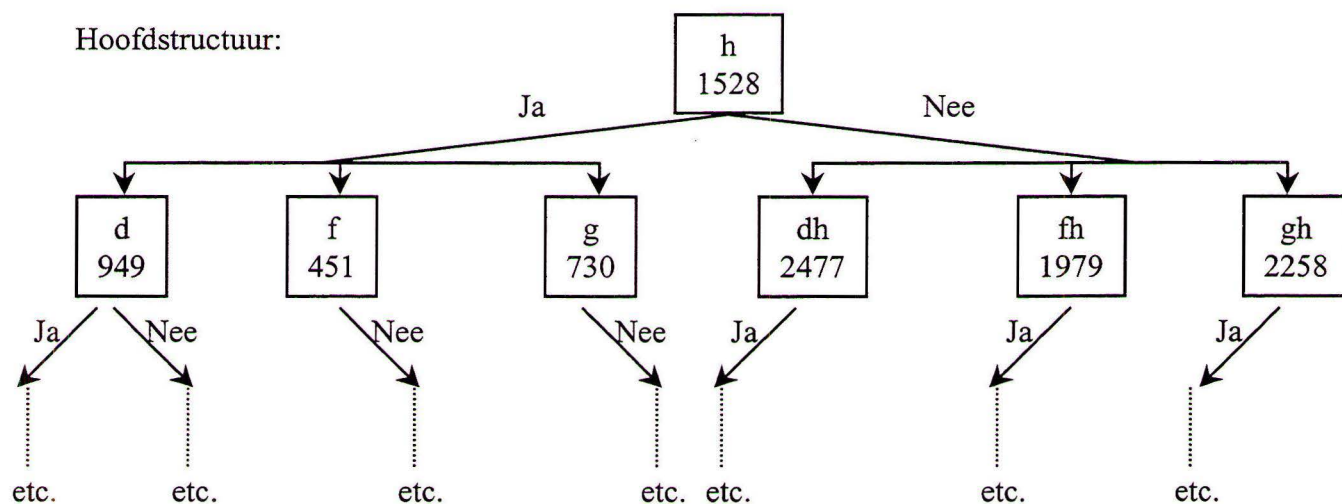
Figuur 2: Voorbeeld boomstructuur-schema

In het voorbeeld komen de drie mogelijke uitgangen van de blokken in het schema voor: een 'ja'-pijl, een 'nee'-pijl en beide pijlen. Na de 'ja'-pijl helemaal bovenaan in het schema, is er slechts één mogelijkheid voor de fasecombinatie 'c': een 'ja'-pijl (zie *). Bij de fasecombinatie 'd' was het namelijk al voldoende om uit veertig werkorders te bestaan om een stroom te vormen, terwijl de fasecombinatie 'c' uit zeventig werkorders bestaat.

Het omgekeerde (alleen een 'nee'-pijl bij **) krijgt men in het geval dat veertig werkorders niet genoeg zijn om een stroom te vormen. Fasecombinatie 'd' wordt dan niet toegelaten ('nee'-pijl). Het groeperen van de fasecombinaties 'c' en 'd' levert een stroom op bestaande uit 110 werkorders. In het geval dat dit voldoende is om een stroom samen te stellen, wordt de fasecombinatie 'b' niet geaccepteerd als stroom. Fasecombinatie 'b' bestaat uit slechts twintig werkorders, terwijl er nu van uit werd gegaan dat veertig werkorders niet genoeg zijn om een stroom te vormen.

Uit het boomstructuur-schema van het voorbeeld volgen acht parallelisatie-alternatieven. Na het wegstrepen van de identieke alternatieven blijven er zes over, waarvan eentje eigenlijk geen parallelisatie oplevert doordat alle fasecombinaties zijn gecombineerd tot één stroom.

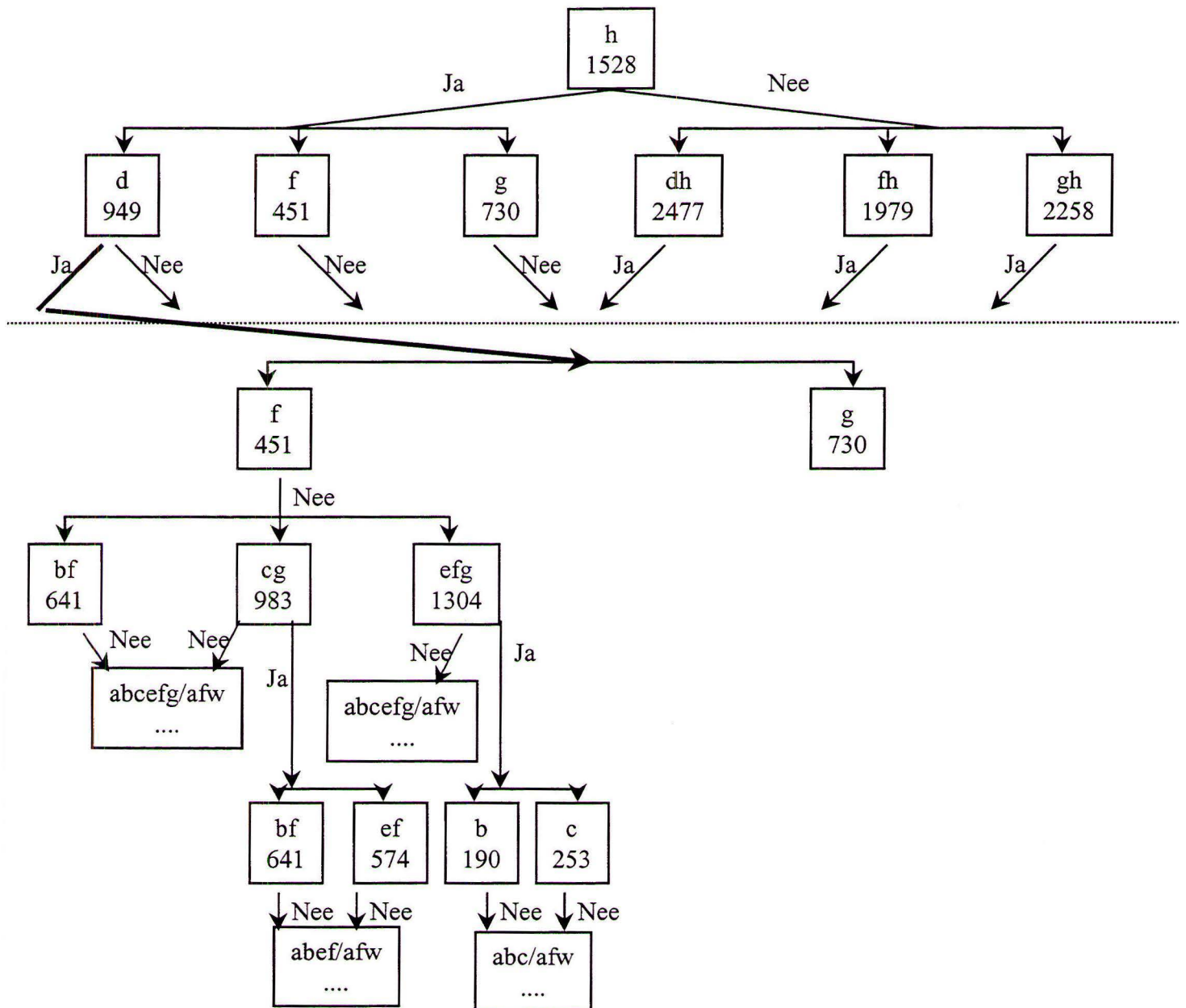
Boomstructuur uit POP-instrument



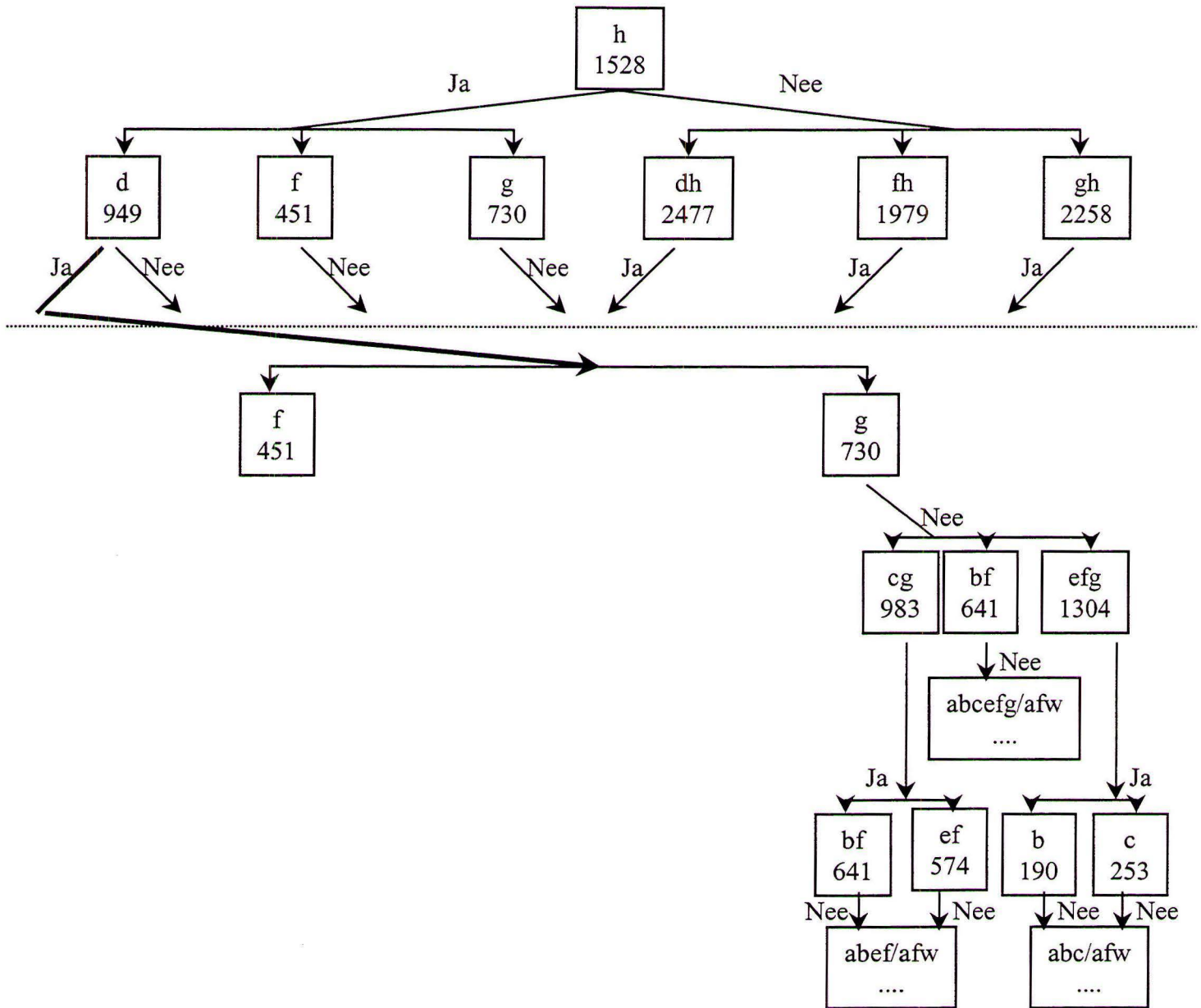
In ieder blokje wordt aangegeven welke ordersoorten (ingedeeld naar productiefasen) samen een stroom vormen. Daarbij wordt ook het aantal werkorders weergegeven.

Na ieder blokje wordt de mogelijkheid aangegeven dat de stroom wel of niet aan het parallellisatiealternatief wordt toegevoegd. Het criterium hiervoor is het aantal werkorders in de stroom. Hiervoor kan een drempelwaarde worden aangegeven. Gesteld is dat deze kan variëren tussen 750 en 1750. Dit is respectievelijk 15 en 35% van het werkorderpakket.

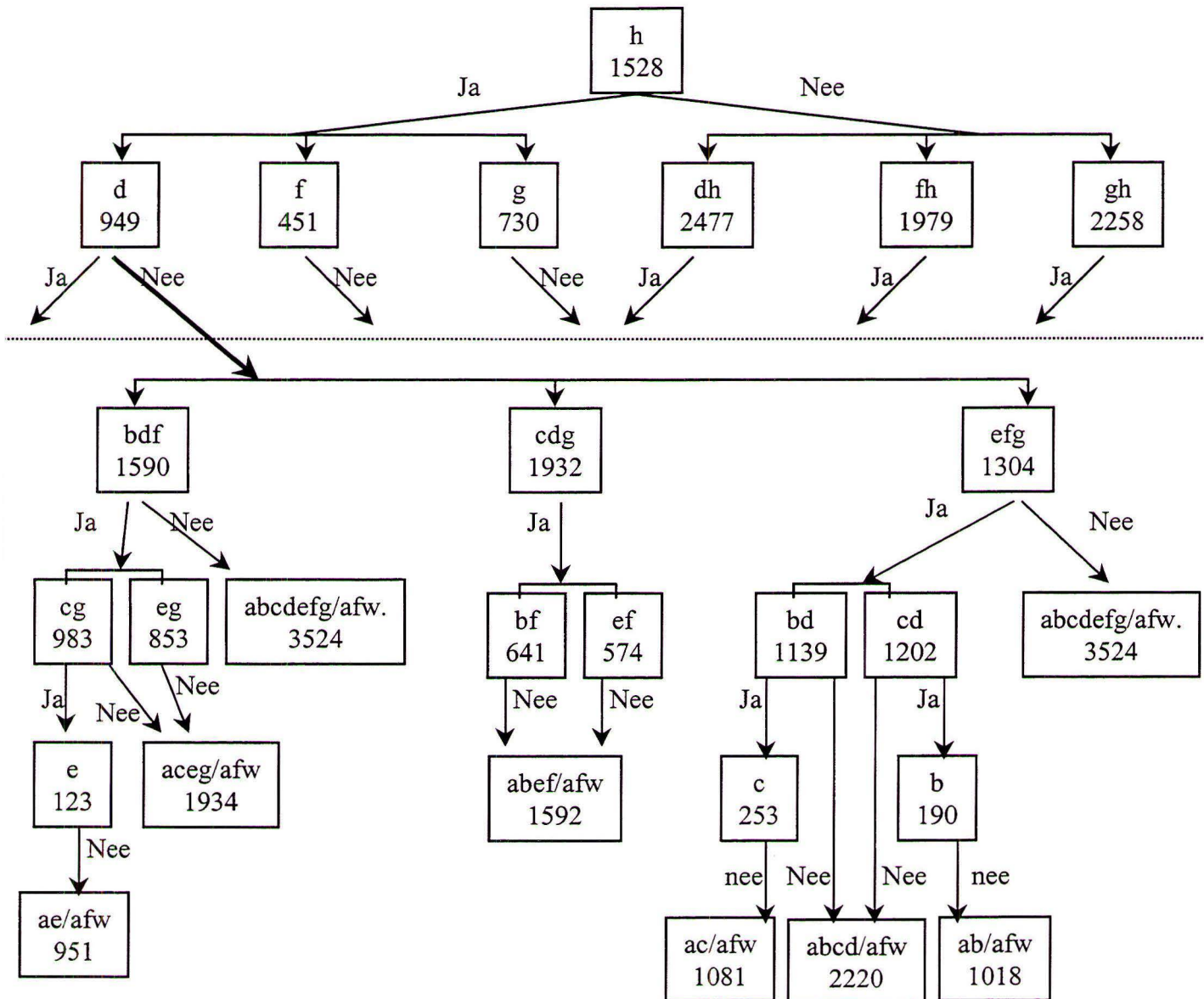
Bijlage 6-1

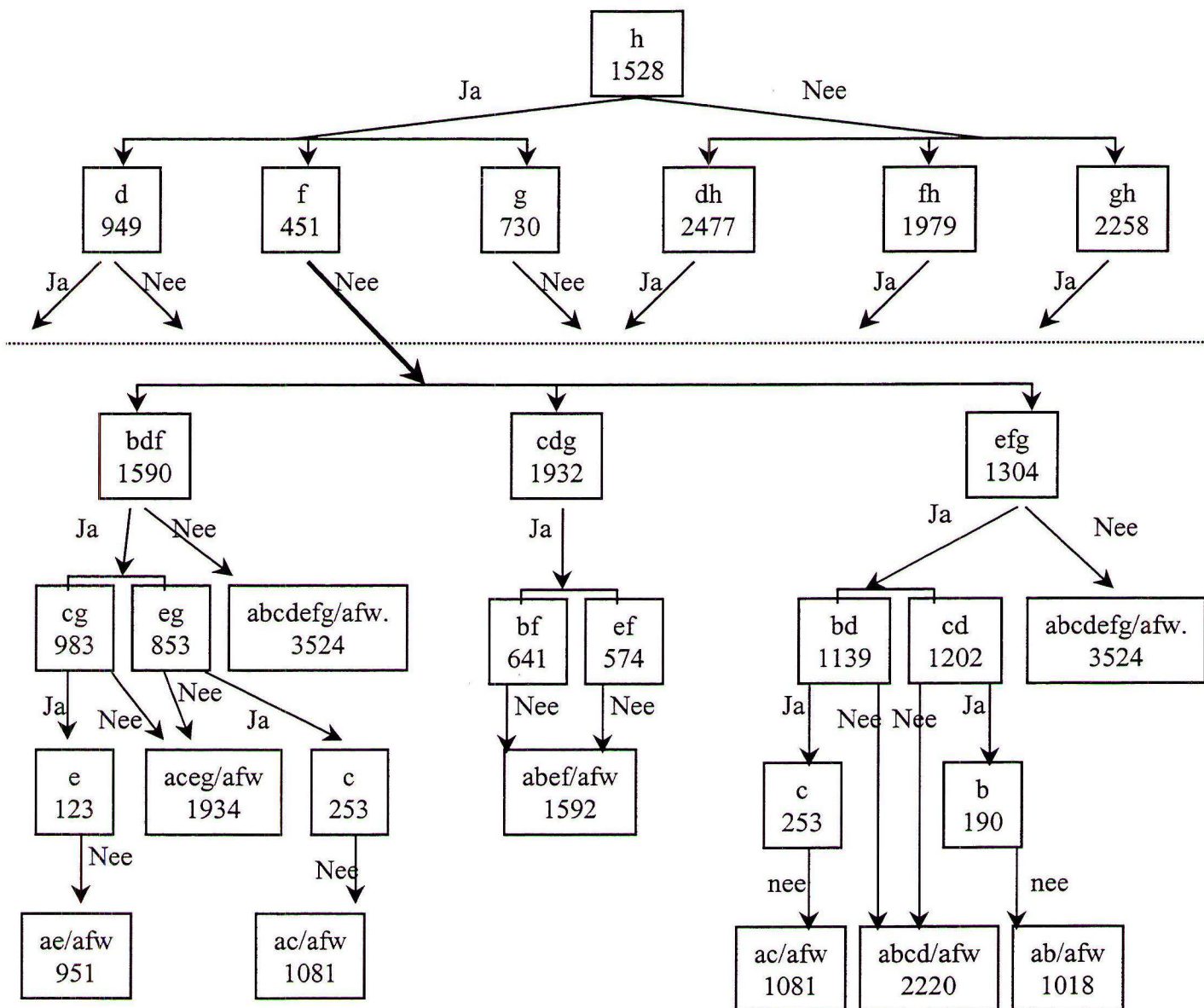


Bijlage 6-1

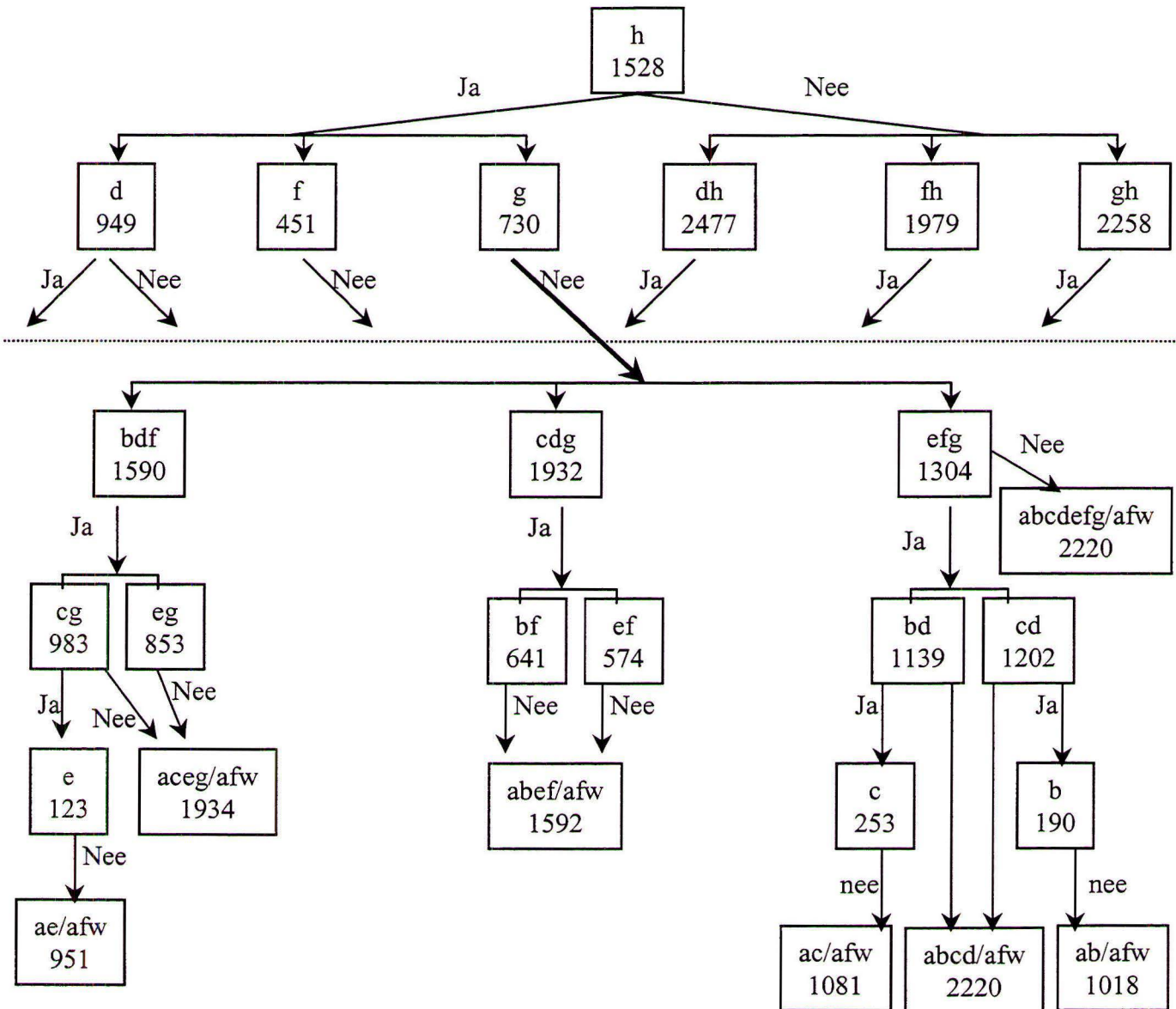


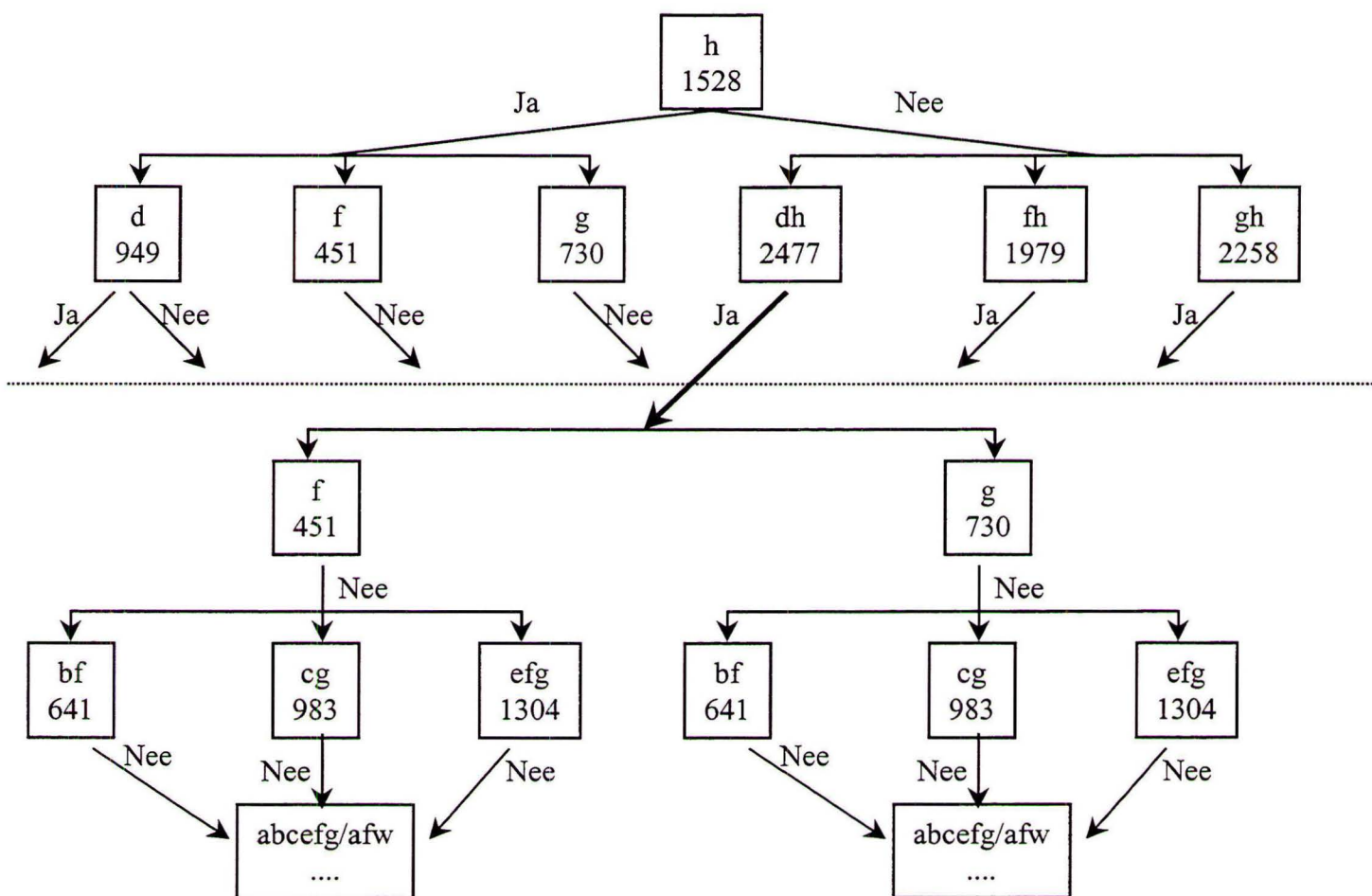
Bijlage 6-1



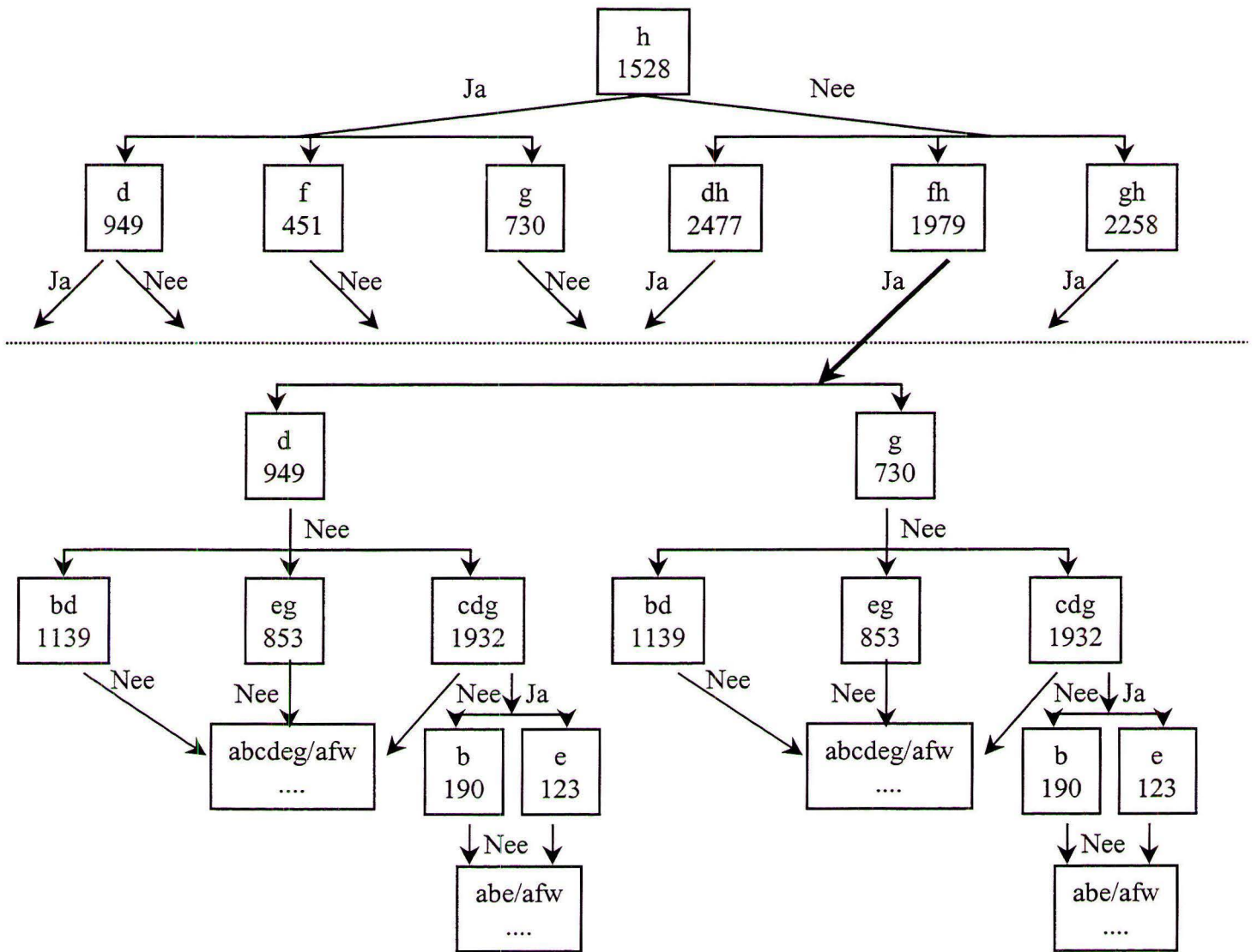


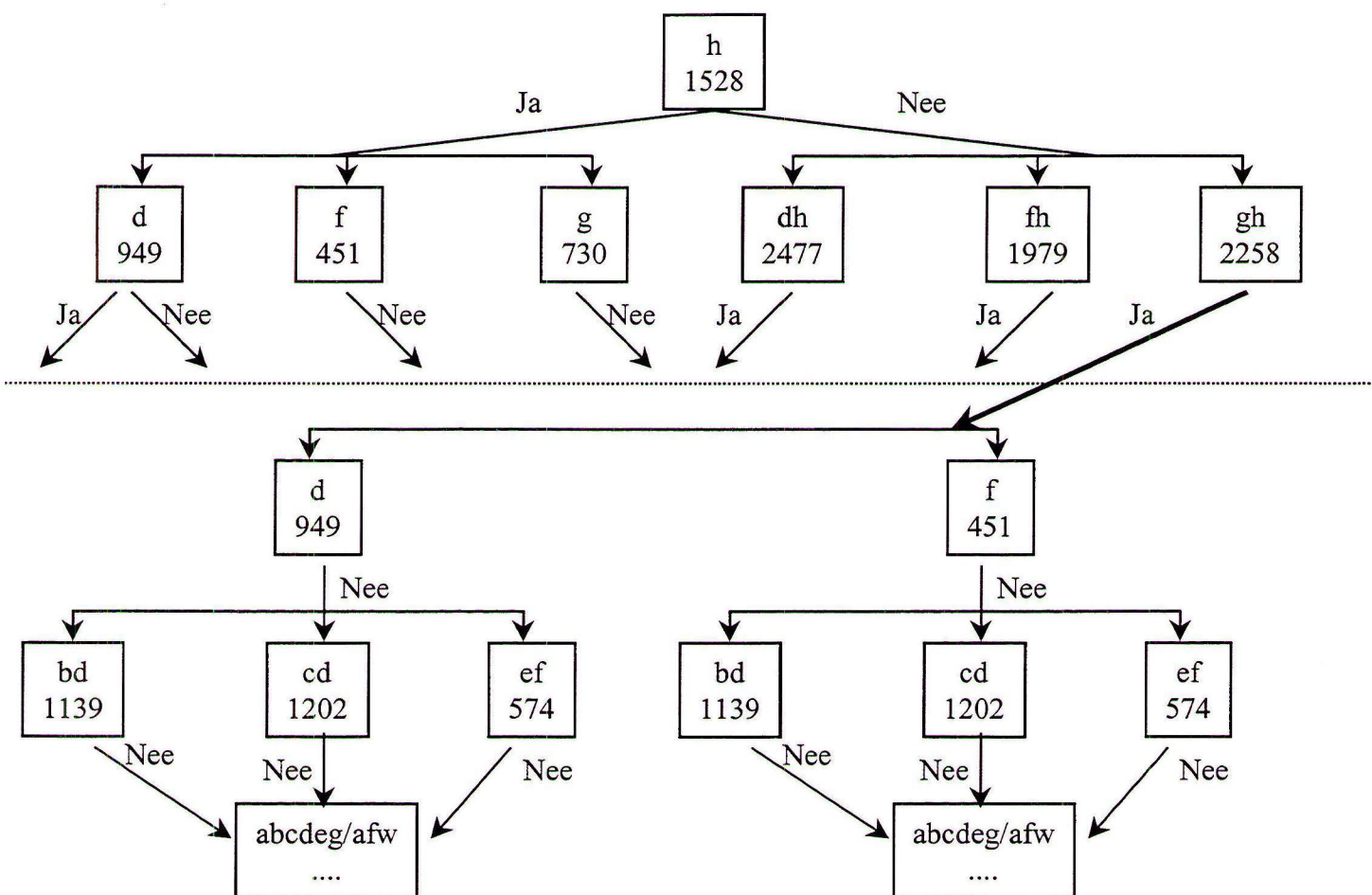
Bijlage 6-1





Bijlage 6-1





Presentatie alternatieve indelingen uit POP-instrument

Alternatief	Stroom	aantal wo	Fases in de stromen:	tot. uren	fractie	
		5052		76827		
1	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	D	d	949 2D	MEBA2D BUIG	8996	12%
	A	abcefg/afw	2575 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	61400	80%
2	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	D	d	949 2D	MEBA2D BUIG	8996	12%
	C	cg	983 2D	MEBA2D BUIG HECHT/AFW	21973	29%
	A	abef/afw	1592 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	39427	51%
3	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	D	d	949 2D	MEBA2D BUIG	8996	12%
	E	efg	1304 2D	BUIG MEBA3D HECHT/AFW	21208	28%
	A	abc/afw	1271 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	40192	52%
4	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	B	bdf	1590 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D	17721	23%
	C	cg	983 2D	MEBA2D BUIG HECHT/AFW	21973	29%
	A	ae/afw	951 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	30701	40%
5	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	B	bdf	1590 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D	17721	23%
	A	aceg/afw	1934 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	52675	69%
6	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	C	cdg	1932 2D	MEBA2D BUIG HECHT/AFW	30969	40%
	A	abef/afw	1592 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	39427	51%
7	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	E	efg	1304 2D	BUIG MEBA3D HECHT/AFW	21208	28%
	B	bd	1139 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D	12785	17%
	A	ac/afw	1081 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	36403	47%
8	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	E	efg	1304 2D	BUIG MEBA3D HECHT/AFW	21208	28%
	A	abcd/afw	2220 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	49188	64%
9	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	E	efg	1304 2D	BUIG MEBA3D HECHT/AFW	21208	28%
	C	cd	1202 2D	MEBA2D BUIG HECHT/AFW	17773	23%
	A	ab/afw	1018 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	31415	41%
10	H	h	1528 2D	BUIG	6431	8%
	A	abcdefg/afw	3524 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	70396	92%
11	D	dh	2477 2D	MEBA2D BUIG	15427	20%
	A	abcefg/afw	2575 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	61400	80%
12	F	fh	1979 2D	BUIG MEBA3D	11367	15%
	A	abcdeg/afw	3073 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	65460	85%
13	F	fh	1979 2D	BUIG MEBA3D	11367	15%
	C	cdg	1932 2D	MEBA2D BUIG HECHT/AFW	30969	40%
	A	abe/afw	1141 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	34491	45%
14	G	gh	2258 2D	BUIG HECHT/AFW	19628	26%
	A	abcdef/afw	2794 2D	MEBA2D BUIG MEBA3D HECHT/AFW	57199	74%

Bijlage 6-2

Presentatie altern Verdeling capaciteiten:

Alternatief	Stroom	bg	mensen (zie *)	meba*	pem*	sta*	bank	las	pntl*	zag*	D-mach:	pons	combi	lsmc	grma	knip
		<i>mach</i>	<i>mensch</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mensch</i>	<i>mensch</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>	<i>mach</i>
1		8	14	9	2	9	7	9	9	1	5	2	2	1	1	1
		2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
1	H	1	0				1	0			1		1			0
	D	1	3	3	1	3	1	0			1		1			0
	A	6	11	6	1	6	5	9	9	1	3	2		1	1	1
2	H	1	0				1	0			1	1				
	D	1	3	3	1	3	1	0			1		1			
	C	2	3	1	0	1	2	5	4		1		1			
	A	4	8	5	1	5	3	4	5	1	2	1		1	1	1
3	H	1		0							1		1			
	D	1	3	3	0	3					1	1				
	E	2	4	2	1	1		4	3		1		1			
	A	4	7	4	1	5		5	6	1	2	1		1	1	1
4	H	1	0				1	0			1		1			1
	B	2	6	6	1	5	1	0			2	1		1		0
	C	2	3	1		1	2	5	4		1		1			0
	A	3	5	2	1	3	3	4	5	1	1	1			1	0
5	H	1	0				1	0			1		1			0
	B	2	6	6	1	5	1	0			2	1		1		0
	A	5	8	3	1	4	5	9	9	1	2	1	1		1	1
6	H	1									1		1			
	C	3	6	4	1	4		5	4		2	1	1			
	A	4	8	5	1	5		4	5	1	2	1		1	1	1
7	H	1	0				1	0			1		1			0
	E	2	4	2	1	1	2	4	3		1	1				0
	B	2	5	4	1	4	1	0			1		1			0
	A	3	5	3	0	4	3	5	6	1	2	1		1	1	1
8	H	1									1		1			
	E	2	4	2	1	1		4	3		2	1	1			
	A	5	10	7	1	8		5	6	1	2	1		1	1	1
9	H	1		0							1		1			1
	E	2	4	2	1	1		4	3		2	1		1	1	
	C	2	5	4		4		2	2		1	1				
	A	3	5	3	1	4		3	4	1	1		1			
10	H	1									1		1			
	A	7	14	9	2	9		9	9	1	4	2	1	1	1	1
11	D	2	3	3	1	3	1	0			2	1	1			0
	A	6	11	6	1	6	6	9	9	1	3	1	1	1	1	1
12	F	2	1	1	1	1					2	1	1			
	A	6	13	8	1	8		9	9	1	3	1	1	1	1	1
13	F	2	1	1	1	1					1		1		1	1
	C	3	6	4	0	4		5	4		2	1	1			
	A	3	7	4	1	4		4	5	1	2	1		1		
14	G	3	2				2	3	3		2	1	1			0
	A	5	12	9	2	9	5	6	6	1	3	1	1	1	1	1

Bezettingsgraden van de alternatieven in de vier kwartalen

	Kwartaal	bg				medewerkers (zie*)				meba*				pem*				sta*							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	d	45%	35%	39%	37%	87%	73%	59%	61%	47%	39%	31%	30%	42%	30%	17%	8%	27%	24%	23%	26%				
	abcefg/afw	58%	57%	42%	48%	92%	80%	70%	37%	27%	23%	28%	9%	109%	149%	95%	74%	27%	24%	21%	14%				
2																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	d	45%	35%	39%	37%	88%	74%	60%	62%	47%	39%	31%	30%	45%	32%	18%	11%	27%	24%	23%	26%				
	cg	59%	53%	36%	48%	118%	82%	54%	61%	16%	14%	13%	9%					28%	18%	13%	19%				
	abef/afw	57%	59%	45%	49%	82%	81%	77%	28%	29%	25%	31%	9%	106%	147%	95%	71%	27%	25%	23%	13%				
3																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	d	45%	35%	39%	37%	87%	73%	59%	61%	47%	39%	31%	30%					27%	24%	23%	26%				
	efg	63%	59%	42%	46%	95%	76%	56%	47%	28%	24%	27%	12%	71%	81%	57%	35%	24%	24%	18%	23%				
	abc-afw	55%	56%	42%	49%	95%	87%	81%	33%	27%	23%	29%	8%	80%	98%	55%	47%	28%	24%	22%	13%				
4																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	bdf	54%	54%	48%	38%	79%	76%	64%	56%	38%	32%	30%	21%	117%	133%	89%	74%	26%	26%	22%	26%				
	cg	59%	53%	36%	48%	118%	82%	54%	61%	16%	14%	13%	9%					28%	18%	13%	19%				
	ae/afw	55%	55%	41%	52%	90%	82%	82%	15%	28%	24%	33%	5%	34%	46%	24%	9%	28%	21%	24%	6%				
5																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	bdf	54%	54%	48%	38%	79%	76%	64%	56%	38%	32%	30%	21%	117%	133%	89%	74%	26%	26%	22%	26%				
	aceg/afw	57%	54%	39%	50%	99%	80%	71%	32%	24%	21%	27%	7%	34%	46%	24%	9%	28%	21%	21%	9%				
6																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	cdg	54%	47%	37%	44%	103%	78%	57%	61%	39%	32%	26%	25%	45%	32%	18%	11%	27%	22%	20%	25%				
	abef-afw	57%	59%	45%	49%	82%	81%	77%	28%	29%	25%	31%	9%	106%	147%	95%	71%	27%	25%	23%	13%				
7																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	efg	63%	59%	42%	46%	96%	77%	55%	47%	28%	24%	27%	12%	76%	86%	50%	34%	24%	24%	18%	23%				
	bd	34%	32%	33%	27%	73%	71%	58%	55%	45%	37%	32%	26%	75%	93%	62%	48%	28%	28%	25%	29%				
	ac/afw	66%	65%	47%	60%	109%	96%	92%	28%	23%	19%	26%	5%					27%	19%	20%	7%				
8																									
	h	62%	66%	42%	51%																				
	efg	63%	59%	42%	46%	90%	72%	52%	45%	28%	24%	27%	12%	50%	66%	40%	27%	24%	24%	18%	23%				
	abcd-afw	53%	52%	42%	47%	91%	81%	74%	41%	35%	30%	30%	17%	101%	113%	72%	55%	27%	24%	22%	18%				

Bezettingsgraden van de alternatieven in de vier kwartalen

Kwartaal	bg medewerkers (zie*)				meba*				pem*				sta*							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
9																				
h	62%	66%	42%	51%																
efg	63%	59%	42%	46%	95%	76%	54%	48%	28%	24%	27%	12%	72%	82%	49%	38%	24%	24%	18%	23%
cd	48%	40%	35%	37%	83%	71%	54%	58%	39%	32%	26%	25%					27%	22%	20%	25%
ab-afw	56%	59%	46%	54%	108%	97%	97%	25%	30%	26%	34%	7%	101%	97%	63%	44%	28%	25%	24%	11%
10																				
h	62%	66%	42%	51%																
abcdefg-afw	56%	54%	42%	47%	91%	78%	68%	42%	34%	28%	29%	16%	75%	89%	56%	41%	27%	24%	22%	18%
11																				
dh	54%	50%	41%	44%	87%	73%	59%	61%	47%	39%	31%	30%	42%	30%	17%	8%	27%	24%	23%	26%
abcefg/afw	58%	57%	42%	48%	92%	80%	70%	37%	27%	23%	28%	9%	109%	149%	95%	74%	27%	24%	21%	14%
12																				
fh	51%	55%	36%	36%	108%	122%	101%	61%	50%	44%	51%	20%	42%	59%	37%	25%	18%	18%	14%	16%
abcdeg-afw	58%	56%	44%	51%	89%	75%	65%	40%	32%	26%	26%	16%	109%	120%	76%	57%	28%	24%	23%	19%
13																				
fh	51%	55%	36%	36%	130%	154%	118%	72%	50%	44%	51%	20%	65%	92%	54%	36%	18%	18%	14%	16%
cdg	54%	47%	37%	44%	103%	78%	57%	61%	39%	32%	26%	25%					27%	22%	20%	25%
abe-afw	63%	65%	50%	58%	81%	75%	73%	23%	24%	20%	26%	6%	86%	87%	58%	46%	29%	26%	25%	13%
14																				
gh	43%	42%	28%	37%	0%	0%	0%	0%												
abcdef/afw	65%	64%	50%	54%	89%	82%	73%	42%	34%	28%	29%	16%	75%	89%	56%	41%	27%	24%	22%	18%
hoev																				
1	58%	70%	46%	54%	83%	94%	74%	41%	34%	32%	32%	81%	75%	84%	56%	57%	27%	29%	24%	25%
2	57%	43%	39%	41%	101%	75%	62%	33%	33%	30%	28%	44%					27%	22%	20%	21%
hoev'																				
(knip 1'	49%	68%	45%	43%	84%	99%	74%	48%	30%	30%	27%	51%	75%	84%	56%	57%	21%	28%	19%	22%
paral) 2'	60%	52%	41%	49%	94%	80%	67%	33%	35%	31%	30%	63%					29%	25%	23%	24%

Bezettingsgraad		las				pntl*				D-mach:				functies			
Kwartaal	1	2	3	4	1	2	3	4	pons	combi	lsmc	lsr1	1		2	3	4
1																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	d										1		70%	53%	35%	60%	beide
	abcefg/afw	73%	59%	67%	34%	62%	47%	41%	21%	2		1	96%	68%	52%	49%	beide
2																	
	h									1			77%	55%	41%	72%	alleen pons
	d										1		70%	53%	35%	60%	beide
	cg	75%	54%	50%	55%	74%	50%	33%	38%		1		108%	52%	49%	58%	beide
	abef/afw	69%	65%	88%	7%	52%	45%	46%	7%	1		1	90%	76%	54%	45%	beide
3																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	d									1			70%	53%	35%	60%	alleen pons
	efg	79%	51%	45%	46%	77%	49%	32%	35%		1		130%	76%	71%	60%	beide
	abc-afw	67%	65%	84%	23%	54%	46%	45%	13%	1		1	79%	64%	43%	44%	beide
4																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	bdf									1		1	64%	51%	38%	43%	beide
	cg	75%	54%	50%	55%	74%	50%	33%	38%		1		108%	52%	49%	58%	beide
	ae/afw	69%	65%	88%	7%	52%	45%	46%	7%	1			121%	102%	67%	63%	alleen pons
5																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	bdf									1		1	64%	51%	38%	43%	beide
	aceg/afw	73%	59%	67%	34%	62%	47%	41%	21%	1	1		114%	77%	58%	61%	beide
6																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	cdg	75%	54%	50%	55%	74%	50%	33%	38%	1	1		89%	52%	42%	59%	beide
	abef-afw	69%	65%	88%	7%	52%	45%	46%	7%	1		1	90%	76%	54%	45%	beide
7																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	efg	79%	51%	45%	46%	77%	49%	32%	35%	1			130%	76%	71%	60%	alleen pons
	bd										1		85%	72%	47%	68%	beide
	ac/afw	67%	65%	84%	23%	54%	46%	45%	13%	1		1	71%	54%	37%	39%	beide
8																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	efg	79%	51%	45%	46%	77%	49%	32%	35%	1	1		65%	38%	36%	30%	beide
	abcd-afw	67%	65%	84%	23%	54%	46%	45%	13%	1		1	113%	90%	61%	73%	beide

Bezettingsgrad		las				pntl*				D-mach:				functies			
Kwartaal	1	2	3	4	1	2	3	4	pons	combi	lsmc	lsr1	1		2	3	4
9																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	efg	79%	51%	45%	46%	77%	49%	32%	35%	1		1	65%	38%	36%	30%	beide
	cd	45%	48%	44%	50%	49%	46%	31%	37%	1			112%	73%	54%	85%	alleen pons
	ab-afw	82%	77%	110%	6%	56%	47%	51%	2%		1		115%	107%	68%	62%	beide
10																	
	h										1		77%	55%	41%	72%	beide
	abcdefg-afw	73%	59%	67%	34%	62%	47%	41%	21%	2	1	1	89%	64%	48%	52%	beide
11																	
	dh									1	1		73%	54%	38%	66%	beide
	abcefg/afw	73%	59%	67%	34%	62%	47%	41%	21%	1	1	1	96%	68%	52%	49%	beide
12																	
	fh									1	1		60%	43%	35%	45%	beide
	abcdeg-afw	73%	59%	67%	34%	62%	47%	41%	21%	1	1	1	105%	75%	55%	63%	beide
13																	
	fh										1		120%	85%	70%	89%	beide
	cdg	75%	54%	50%	55%	74%	50%	33%	38%	1	1		89%	52%	42%	59%	beide
	abe-afw	69%	65%	88%	7%	52%	45%	46%	7%	1		1	68%	61%	40%	36%	beide
14																	
	gh	95%	58%	53%	58%	66%	36%	24%	26%	1	1		71%	43%	36%	52%	beide
	abcdef/afw	61%	59%	73%	22%	59%	53%	49%	18%	1	1	1	97%	75%	54%	58%	beide
hoev																	
	1	49%	75%	62%	76%	49%	62%	47%	48%	1	1	1	72%	56%	42%	47%	beide
	2	95%	70%	80%	59%	78%	47%	35%	29%	1	1		110%	75%	55%	83%	beide
hoev'																	
(knip	1'	41%	69%	67%	77%	44%	56%	46%	34%		1		105%	95%	73%	66%	beide
paral)	2'	84%	73%	74%	63%	67%	55%	40%	41%	2	1	1	83%	56%	41%	60%	beide

Kwartaal	bg				medewerkers (zie*)				meba*				pem*				sta*			
	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach	1 mens	2 mens	3 mens	4 mens	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach
1																				
h	1,7	1,9	0,7	1,0																
d	0,8	0,5	0,7	0,6	2,3	0,9	0,5	0,5	0,9	0,6	0,4	0,4	0,7	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4
abcefg/afw	0,2	0,2	0,1	0,2	1,0	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,1	-12,4	-3,0	20,7	2,9	0,4	0,3	0,3	0,2
6																				
h	1,7	1,9	0,7	1,0																
cdg	0,4	0,3	0,2	0,3	-6,7	0,6	0,2	0,3	0,6	0,5	0,4	0,3	0,8	0,5	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3
abef-afw	0,3	0,4	0,2	0,2	0,6	0,5	0,4	0,0	0,4	0,3	0,5	0,1	-16,8	-3,1	18,1	2,5	0,4	0,3	0,3	0,2
11																				
dh	0,6	0,5	0,3	0,4	2,3	0,9	0,5	0,5	0,9	0,6	0,4	0,4	0,7	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4
abcefg/afw	0,2	0,2	0,1	0,2	1,0	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,1	-12,4	-3,0	20,7	2,9	0,4	0,3	0,3	0,2
14																				
gh	0,3	0,2	0,1	0,2																
abcdef/afw	0,4	0,3	0,2	0,2	0,7	0,4	0,2	0,1	0,5	0,4	0,4	0,2	3,1	8,5	1,3	0,7	0,4	0,3	0,3	0,2

Kwartaal	las				pntl*				D-mach: niet uitwisselbaar in stroom				D-mach: uitwisselbaar			
	1 mens	2 mens	3 mens	4 mens	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach	1 mach	2 mach	3 mach	4 mach
1																
h									3,3	1,2	0,7	2,5	3,3	1,2	0,7	2,5
d									2,3	1,1	0,5	1,5	2,3	1,1	0,5	1,5
abcefg/afw	0,3	0,2	0,2	0,1	1,6	0,9	0,7	0,3	21,5	2,1	1,1	1,0	7,2	0,7	0,4	0,3
6																
h									3,3	1,2	0,7	2,5	3,3	1,2	0,7	2,5
cdg	0,6	0,2	0,2	0,2	2,9	1,0	0,5	0,6	7,9	1,1	0,7	1,4	3,9	0,6	0,4	0,7
abef-afw	0,6	0,5	1,8	0,0	1,1	0,8	0,9	0,1	8,5	3,2	1,2	0,8	4,3	1,6	0,6	0,4
11																
dh									2,8	1,2	0,6	1,9	1,4	0,6	0,3	1,0
abcefg/afw	0,3	0,2	0,2	0,1	1,6	0,9	0,7	0,3	21,5	2,1	1,1	1,0	7,2	0,7	0,4	0,3
14																
gh	7,1	0,5	0,4	0,5	2,0	0,6	0,3	0,4	2,5	0,8	0,6	1,1	1,2	0,4	0,3	0,5
abcdef/afw	0,3	0,2	0,5	0,0	1,5	1,1	1,0	0,2	31,6	3,0	1,2	1,4	10,5	1,0	0,4	0,5