

Flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen in de onderdelenfabricage : een logistieke indeling

Citation for published version (APA):

Dirne, C. W. G. M. (1991). Flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen in de onderdelenfabricage : een logistieke indeling. *Bedrijfskunde : Tijdschrift voor Modern Management*, 63(3), 303-312.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

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
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Dr ir C W G M Dirne*

Flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen in de onderdelenfabricage: een logistieke indeling

Samenvatting

Met de introductie van zogenaamde flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen verandert een aantal logistieke karakteristieken van het fabricagesysteem in de onderdelenfabricage. Machines worden meer universeel door gebruik van flexibele produktieautomatisering. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk routings te verkorten. Daarnaast kunnen diverse instelactiviteiten worden verricht zonder dat de machines stilvallen. Ook kan men op korte termijn het produktievolume variëren met behulp van onbemande produktie. Een en ander maakt dat dergelijke machines een aantal flexibele kenmerken vertonen.

Naast flexibele kenmerken vertonen flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen echter ook beperkingen. Deze (veelal nieuwe) beperkingen ontstaan zowel uit economische als uit technische overwegingen. Zo kan men beperkt worden in de hoeveelheid gereedschappen die men tegelijkertijd kan opslaan in het systeem. Ook kan de mix van produkten die men tegelijkertijd geladen heeft op het systeem voor een (belangrijk) deel bepaald worden door deze beperkingen. Tenslotte bestaat door ont koppeling van mancapaciteit en machinecapaciteit de

mogelijkheid dat men met nieuwe (combinaties van) capaciteitsbeperkingen te maken krijgt. Met name deze combinatie van flexibiliteit en beperkingen zorgt ervoor dat flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen vaak een aanpassing van het planning- en beheersingssysteem vragen. Het artikel gaat met name in op de veranderingen in logistieke kenmerken van flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen en het soort veranderingen in het planning- en beheersingssysteem.

1. Inleiding

Met de term fabricagesysteem wordt bedoeld het fysieke voortbrengingssysteem van een produktiebedrijf. Een fabricagesysteem bestaat met andere woorden uit operators, machines, transportmiddelen enzovoort. Als zodanig vormt het fabricagesysteem slechts een (zij het belangrijk) onderdeel van het totale produktiesysteem van een bedrijf. Immers, naast een fabricagesysteem bestaat een produktiesysteem ook uit andere systemen als een planningsysteem, een informatiesysteem en een administratief systeem.

In dit artikel staan de fabricagesystemen die flexibel geautomatiseerd zijn centraal. Dat wil zeggen dat de fabricagesystemen niet alleen geautomatiseerd moeten zijn, en dus dat alle functies van het systeem zonder menselijke interventies uit te voeren zijn, maar ook dat de automatisering herprogrammeerbaar is (bijvoorbeeld voor een ander produkt). Een eenvoudig voorbeeld van een dergelijk systeem is een CNC-machine. Wij zullen ons beperken tot de syste-

Dr ir C. W. G. M. Dirne is werkzaam als universitair docent bij de vakgroep Kwantitatieve Aspecten van Beheersingssystemen aan de faculteit Technische Bedrijfskunde van de Technische Universiteit Eindhoven. Eind 1990 is hij gepromoveerd op het proefschrift *Production Control for Flexible Automated Manufacturing Stations in Low Volume Component Manufacturing*. Zijn promotoren waren prof. dr. J. W. M. Bertrand en prof. ir. P. W. Sanders.

men die met name in de verspanende onderdelenfabricage worden toegepast

We kunnen veel vormen van flexibiliteit onderscheiden (zie bijv. Van Amelsfoort, 1984; en Ashayeri en Gelders, 1989). Bij de zojuist gegeven omschrijving van flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen slaat de flexibiliteit op de vorm van automatisering en niet op het fabricagesysteem zelf. Indien we de flexibiliteit van het fabricagesysteem (of algemener van het produktiesysteem) bedoelen, dan wordt vaak (en ook in dit artikel) met de term flexibiliteit de mogelijkheid aangeduid van het systeem om effectief te reageren op veranderingen in de vraag. In concreto wordt een fabricagesysteem pas flexibel genoemd als het de volgende eigenschappen bezit:

- produktflexibiliteit; flexibiliteit in de productie van verschillende soorten produkten;
- mixflexibiliteit; flexibiliteit in de productie van verschillende combinaties van produktsoorten;
- volumeflexibiliteit; flexibiliteit in de productie van verschillende volumenniveaus

Het herprogrammeerbaar zijn van de automatisering is dus niet noodzakelijkerwijs voldoende om een geautomatiseerd fabricagesysteem ook flexibel te noemen.

Een belangrijke maat voor flexibiliteit is de vereiste reactietijd, de tijd die nodig is om effectief te reageren op veranderingen. Indien een fabricagesysteem kan reageren op veranderingen zonder dat de bestaande structuur aangepast hoeft te worden, spreken we van operationele flexibiliteit (zie ook Wortmann, 1989). Een voorbeeld van operationele flexibiliteit is omstelflexibiliteit, het in korte tijd kunnen omstellen van het fabricagesysteem ten behoeve van een ander produkt. Indien de structuur van het systeem moet worden aangepast (bijv. door toevoeging van een machine) dan spreken we van structurele flexibiliteit. In dit artikel noemen wij alleen die fabricagesystemen flexibel die

een vraagflexibiliteit vertonen op de drie genoemde eigenschappen (produkt, mix en volume) met behulp van een vorm van operationele flexibiliteit.

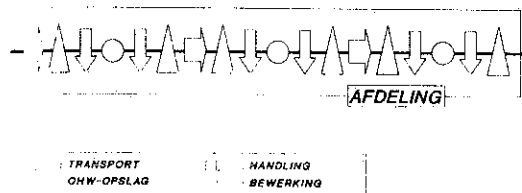
Vanzelfsprekend hangt de flexibiliteit van het produktiesysteem niet alleen af van de flexibiliteit van het fabricagesysteem. Ook andere systemen als het gehanteerde planningsysteem en het informatiesysteem zijn van grote invloed op de uiteindelijke flexibiliteit van het produktiesysteem. In dit artikel zullen we ons echter beperken tot fabricagesystemen en de (logistieke) invloeden van deze systemen op het totale produktiesysteem. Wij zijn met name geïnteresseerd in doorlooptijden, gebruik van capaciteiten en beperkingen in het bepalen van volgorde.

Aan de hand van een typologie van flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen zal in de komende paragrafen een aantal logistieke kenmerken van deze systemen besproken worden. De te gebruiken typologie richt zich dan ook in eerste instantie op de karakteristieken van het fabricagesysteem met betrekking tot de goederenstroom. We onderscheiden drie categorieën transformaties in de goederenstroom, te weten:

- transformatie in fysieke verschijning ('bewerkingen');
- transformatie in positie;
- transformatie in tijd.

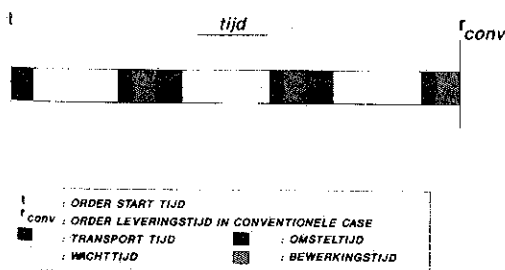
De eerste soort transformatie betreft een werkelijke verandering in fysieke eigenschappen van het produkt (bijv. een verspanende bewerking), of slechts een verandering in de informatie over de fysieke gesteldheid van het produkt (bijv. een controlebewerking). De tweede categorie van transformaties kan onderverdeeld worden in lokatieveranderingen (transport tussen twee lokaties) en positieveranderingen (handling binnen een lokatie, bijv. opspanactiviteiten). De laatste categorie kan eveneens uitgesplitst worden in twee verschillende transformatietypen, afhankelijk van de al dan niet

expliciete beheersing van deze transformatie. In het eerste geval spreken we van beheerste voorraadpunten onder de verantwoordelijkheid van een goederenstroombeheersingsfunctie. Deze voorraadpunten bevinden zich met andere woorden in principe buiten de fabricageafdeling (zie Bertrand e.a., 1990). In het tweede geval spreken we van onderhanden werk, veroorzaakt door een onbalans tussen twee opeenvolgende productiefasen.



Figuur 1. Transformaties in een vereenvoudigde goederenstroom in de onderdelenfabricage

Figuur 1 geeft een vereenvoudigde goederenstroom voor de onderdelenfabricage, gebruikmakend van genoemde concepten. Figuur 2 geeft de typische doorlooptijdopbouw behorend bij een dergelijke goederenstroom. Hierbij kan de wachttijd per werkplek worden uitgedrukt als veelvoud van de vereiste bedieningstijd per werkplek (zie bijv. Bertrand e.a., 1990). De bedieningstijd bestaat meestal uit omsteltijd en bewerkingstijd. Zo gauw een order in bewerking is genomen, wordt in principe de hele order afgewerkt alvorens gestart wordt met een volgende order. We noemen dit *se-*



Figuur 2. Doorlooptijdopbouw bij conventionele machines

quentiële productie. Tevens wordt verondersteld dat elke bewerking evenveel operatorcapaciteit als machinecapaciteit vraagt.

Afhankelijk van het aantal transformaties dat geïntegreerd is in het fabricagesysteem, kunnen we nu vijf typen flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen onderscheiden, te weten:

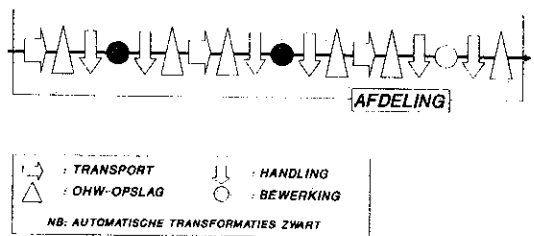
- (Computer) Numeriek bestuurd machine ((C)NC);
- Bewerkingscentrum (BC);
- Bewerkingscentrum met automatische productwisselaar (BC met APW);
- Flexibel automatische fabricagestation (FAF-station);
- Flexibele automatische fabricageshop (FAF-shop)

De volgende paragrafen gaan op deze typen systemen in.

2. (C)NC-machine

Computerbestuurde machines zijn de basis voor flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen. Een CNC-machine kan in principe verschillende doch gelijksoortige bewerkingen uitvoeren zonder tussenkomst van een operator (zie figuur 3 waarin verondersteld wordt dat de eerste twee bewerkingen op CNC-machines worden uitgevoerd).

Indien diverse gereedschappen nodig zijn, dan is een automatisch gereedschapwisselsysteem

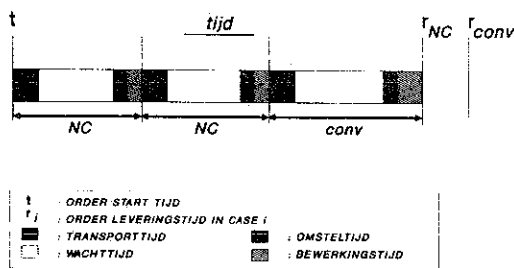


Figuur 3. Geautomatiseerde transformatie bij twee opeenvolgende CNC-machines

toegevoegd, bestaande uit een (lokaal) gereedschapmagazijn dat bevestigd is aan de machine en een gereedschapwisselaar.

De voorbereiding voor een bewerking op een CNC-machine is in het algemeen meeromvattend dan voor een bewerking op een conventionele machine. Men dient immers eerst een gedetailleerd NC-programma te schrijven (en vaak ook te testen) voordat de bewerking gestart kan worden. In het geval van een conventionele machine is het veelal de operator die ter plekke de algemeen omschreven bewerking in detailstappen uitwerkt.

Tegenwoordig zijn de meeste CNC-machines sneller en nauwkeuriger (met name in het herhalen van bewerkingen) dan conventionele machines. Aangezien de wachttijd bij een machine kan worden uitgedrukt als een veelvoud van de bedieningstijd, zal deze tijd bijna proportioneel afnemen met de reductie in bewerkingstijd. Orders worden evenwel nog steeds sequentieel afgewerkt, waardoor weliswaar de waarde van de doorlooptijd verandert, maar het model van de doorlooptijd onveranderd blijft (zie figuur 4).



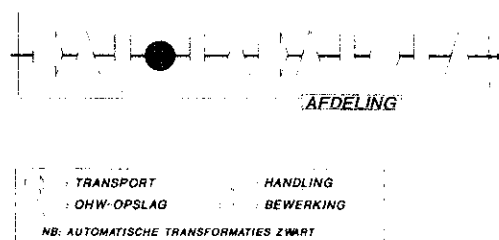
Figuur 4. Doorlooptijdopbouw bij gebruik van twee opeenvolgende CNC-machines

Het belangrijkste verschil voor de productiebeheersing tussen een CNC-machine en een conventionele machine is het feit dat gedurende een bewerking in theorie de aanwezigheid van een operator niet meer noodzakelijk is. Dat zou betekenen dat voor elke bewerking de gevraagde operatorcapaciteit afwijkt van de ge-

vraagde machinecapaciteit. In de praktijk is echter wegens procesbeheersingsoverwegingen de aanwezigheid van een operator gedurende de bewerking meestal nog steeds vereist.

3. Bewerkingscentrum

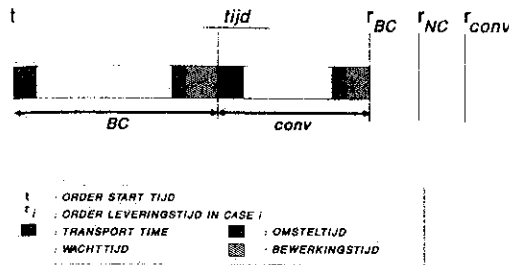
Een bewerkingscentrum (BC) kan gedefinieerd worden als een computerbestuurde machine die in staat is meerdere soorten bewerkingen uit te voeren. Een BC maakt het mogelijk het aantal te onderscheiden bewerkingen in een bewerkingsplan (of routing) te verlagen. In figuur 5 is dit geïllustreerd door aan te nemen dat de twee CNC-bewerkingen uit figuur 4 gecombineerd kunnen worden tot één BC-bewerking.



Figuur 5. Geautomatiseerde transformaties in een BC

Een belangrijk gevolg van de reductie in het aantal bewerkingen in een omgeving met veel verschillende en lange routings is dat meer orders eenzelfde routing gaan volgen en het aantal loops in de routing zal afnemen. Dit maakt dat het productiebeheersingsprobleem aanzienlijk vereenvoudigd kan worden. Bovendien zou de totale hoeveelheid omsteltijd kunnen afnemen (zeker in geval van een meerassig bewerkingscentrum), resulterend in een reductie van de totale bedieningstijd. Daardoor neemt het maximale aantal productieve uren per machine toe. Tevens leidt, zoals we hebben gezien, een reductie in de bedieningstijd tot een reductie in de wachttijd (zie ook figuur 6). Merk op dat

orders nog steeds in een sequentiële volgorde worden geproduceerd

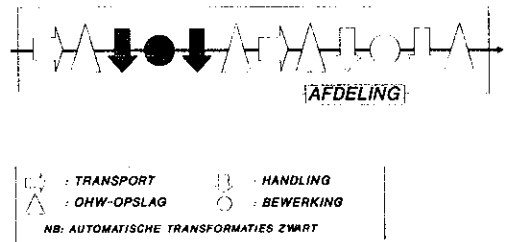


Figuur 6. Doorlooptijdopbouw in geval van een BC

Omdat de machines universeler zijn, zal men bij voldoende capaciteitsbehoefte eerder geneigd zijn een tweede identieke machine aan te schaffen. Uit de wachttijdtheorie weten we dat het paralleliseren van loketten de doorlooptijden aanzienlijk kan reduceren. Bij inpassing in een bestaande lijn is parallelisering vaak gewenst vanwege de gegeven tactijd van de lijn. In een dergelijk geval zal parallelisering tevens leiden tot een mindere gevoeligheid van de lijn voor de beschikbaarheid per machine.

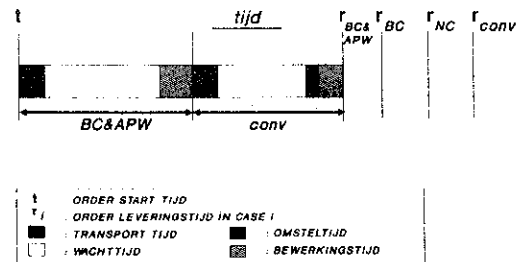
4. Bewerkingscentrum met automatische produktwisselaar

Door een BC uit te breiden met een automatische produktwisselaar (APW) ontstaat de mogelijkheid om producten reeds te prepareren voor bewerking (bijv. opspannen in een mal op een pallet) terwijl de machine een voorgaand product nog aan het bewerken is. Na afronding van de bewerking worden de twee producten automatisch gewisseld, waarbij de machine het juist geprepareerde product gaat bewerken. De operator kan het bewerkte product van de APW halen en een eventueel volgend product prepareren. Met andere woorden, in geval van een BC met APW is een deel van de handling ook geautomatiseerd (zie figuur 7).



Figuur 7. Geautomatiseerde transformaties in een BC met APW

Doordat (een deel van) de omstelactiviteiten van de machine zijn gehaald, zal de machinewisseltijd (ook wel interne omstel Tijd genoemd) afnemen. Wederom is hierdoor een doorlooptijdreductie realiseerbaar. Orders worden alleen nog sequentieel afgewerkt indien men ofwel twee identieke opspanningen kan maken (waardoor men een tweede product reeds kan opspannen terwijl het eerste product nog in bewerking is) ofwel te maken heeft met een tweede achtereenvolgende bewerking voor hetzelfde product in een andere opspanning. Voor dat geval is in figuur 8 aangegeven wat een dergelijke omstel tijdreductie kan betekenen voor de doorlooptijd.



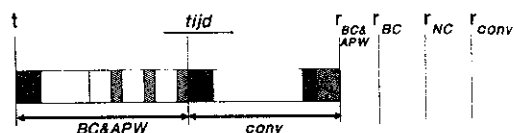
Figuur 8. Doorlooptijdopbouw in geval van een BC met APW bij sequentiële orderverwerking

Bovendien zouden de seriegroottes van de orders aangepast kunnen worden, hetgeen in dergelijke afdelingen een verdere doorlooptijdreductie mogelijk maakt. In ieder geval zal een afname in seriegroottevoorraad waarneembaar

zijn De mogelijkheid tot seriegrootteverlaging wordt overigens ook bepaald door de overige machines in het fabricageproces.

Een interessant verschijnsel is dat met de introductie van dit type fabricagesysteem tevens extra beperkingen geïntroduceerd kunnen worden. In veel gevallen zal met name het opspangereedschap een beperking vormen. Daar dergelijk gereedschap vaak erg duur en produktspecifiek is, is met name in de kleinseriefabricage meestal slechts een beperkt aantal aanwezig (vaak zelfs slechts één). Ook indien men de beschikking heeft over universeel gereedschap is vaak het aantal opspanningen beperkt, enerzijds door de noodzakelijke tijd voor de opbouw en controle van een opspanning, anderzijds vanwege de soms zeer nauwe toleranties. Indien deze beperking zo sterk is dat per produkttype slechts één opspanning tegelijkertijd mogelijk is, en bovendien een tweede bewerking in een andere opspanning niet nodig is, zal men om toch de geschetste voordelen van een APW te benutten, twee orders van verschillende produkttypes door elkaar gaan afwerken. We noemen dit verschijnsel het *simultaan* afwerken van orders. In dat geval zal elk produkt dat geladen is op een pallet, moeten wachten totdat de bewerking van het produkt op de andere pallet (en van een andere order) gereed is. Naast een zogenaamde externe wachttijd (de tijd dat een order moet wachten totdat het eerste produkt van die order op een pallet geladen kan worden) ontstaat er dus per produkt ook een zogenaamde interne wachttijd (zie figuur 9).

In Dirne (1990a) en Dirne (1990b) is aangetoond dat het simultaan afwerken van orders in plaats van sequentieel een aanzienlijke (vaak negatieve) invloed kan hebben op de doorlooptijd. De reden daarvoor is dat de totale wachttijd van een order niet alleen afhangt van de externe wachttijd van de order, maar ook van de interne wachttijd per produkt. Daardoor wordt de totale wachttijd van een order voor



Figuur 9. Doorlooptijdopbouw in geval van een BC met APW bij simultane orderverwerking

een deel afhankelijk van de seriegrootte van een order (zie figuur 9)

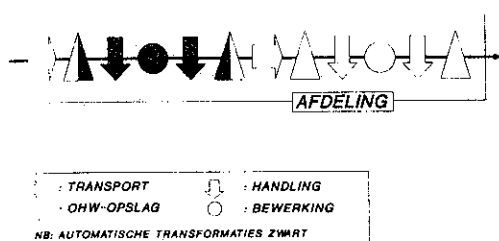
Door dit simultaan afwerken van orders kunnen tevens andere nieuwe beperkingen ontstaan. Een bekende beperking is het aantal beschikbare gereedschapplaatsen in het gereedschapmagazijn van het BC. Deze beperking heeft met name gevolgen voor:

- het productenpakket dat geschikt is om bewerkt te worden op het BC (namelijk alleen die producten die niet te veel (speciale) gereedschappen gebruiken);
- de bepaling van de volgorde van orders over het BC (volgordeafhankelijke omsteltijden in verband met gereedschapwisseling);
- de mix van orders die tegelijkertijd in bewerking zijn

5. Het Flexibele automatische fabricagestation

Indien een of meer onderling verbonden BC's niet alleen uitgebreid zijn met een APW, maar tevens met opslagfaciliteiten ten behoeve van het onderhanden werk, spreken we van een flexibel automatisch fabricagestation (FAF-station), ook wel bekend als een flexibele fabricagecel (FFC) of flexibele produktiemodule (FPM). Een enkelvoudig FAF-station bevat één BC, een meervoudig FAF-station meer. Een meervoudig FAF-station kan naast de lokale gereedschapsmagazijnen bij de machines ook een centraal gereedschapsmagazijn bezitten

van waaruit de lokale magazijnen automatisch worden voorzien. In veel gevallen zijn de extra kosten van een geautomatiseerde produktopslag met alle daarbij behorende extra's (zoals een extra groot snijgereedschapmagazijn, eventueel extra gereedschap, aanpassingen van en uitbreidingen op de besturingssoftware) overigens bijna even hoog als de aanschafkosten van een tweede bewerkingscentrum.



Figuur 10 Geautomatiseerde transformaties in een FAF-station

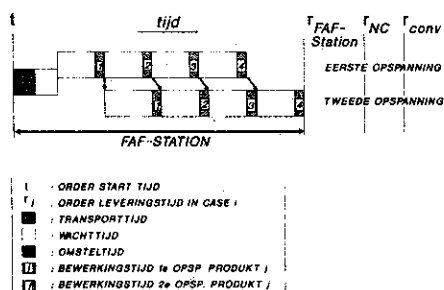
Een belangrijk kenmerk van een FAF-station is dat het een eefasesysteem is, dat wil zeggen dat omdat er geen automatische transporttransformaties plaatsvinden (zie figuur 10), elk opgespannen produkt slechts één BC bezoekt, waarna het produkt weer van de pallet wordt gehaald. Eventueel is het wel mogelijk dat een produkt in een andere (tweede) opspanning een ander BC bezoekt, doch dan is een handmatige handeling nodig (namelijk het lossen van het produkt uit de eerste opspanning en het laden in een tweede opspanning). In Dirne (1990b) wordt uitgebreid ingegaan op dit type fabricagesysteem.

Het moge duidelijk zijn dat de scheiding tussen operator- en machinecapaciteit steeds belangrijker wordt. Met name dienen we bewaakte bewerkingen (bewerkingen waarbij de aanwezigheid van een operator bij de bewerking vereist is) te onderscheiden van onbewaakte bewerkingen (bewerkingen die zonder de aanwezigheid van de operator kunnen worden uitge-

voerd). Immers onbewaakte bewerkingen vragen alleen operatorcapaciteit voor omstelhandelingen (bijv. laden en lossen van produkten), terwijl bij bewaakte bewerkingen operatorcapaciteit gewenst is, niet alleen voor omstelhandelingen maar ook tijdens de bewerking zelf. Met de introductie van een FAF-station is een verdere doorlooptijdreductie mogelijk. Allereerst zal de machine nog minder stilvallen in verband met niet-machinegebonden omsteltijd, omdat meestal minimaal één onbewerkt produkt klaarstaat voor bewerking. Bovendien is door de opslag van meerdere onbewerkte produkten het systeem minder afhankelijk van de continue aanwezigheid van een operator. Door de opslag van pallets op het systeem wordt het mogelijk om een soort onbemande ploeg te draaien, waarbij laad- en losactiviteiten resp. voor en na de onbemande ploeg plaatsvinden. Door deze 'extra' capaciteit kan de kalenderdoorlooptijd aanzienlijk gereduceerd worden. Tijdens de bemande ploegen worden dan in ieder geval die bewerkingen uitgevoerd die de aanwezigheid van een operator vereisen. Bewerkingen kunnen alleen in de onbemande (nacht)ploeg worden uitgevoerd indien het bewerkingsproces voldoende beheerst is (de onbewaakte bewerkingen). In de praktijk blijkt dat zonder extra maatregelen slechts een zeer beperkt deel van het bestaande produktenpakket onbewaakt kan worden geproduceerd. De mogelijkheid om op korte termijn een 'extra' (onbemande) ploeg in te zetten maakt dat deze type fabricagesystemen in principe naast produkt- en mixflexibiliteit ook volumeflexibiliteit bezitten. Vandaar dat een FAF-station ook wel genoemd wordt een (speciaal type) flexibel fabricagesysteem (FFS).

De bij een BC met APW genoemde beperkingen gelden bij een FAF-station in veel sterkere mate, daar het maximale aantal orders dat tegelijkertijd in bewerking is, veel groter kan zijn. In figuur 11 wordt de doorlooptijdopbouw in

AFSTEMMEN VAN PRODUKTIEAANBOD EN MARKTVRAAG



Figuur 11 Doorlooptijdopbouw bij een FAF-station met simultane orderverwerking in de bemande ploeg en twee vereiste verschillende opspanningen

de bemande ploeg geschetst, aannemende dat per produkt twee bewerkingen in verschillende typen opspanningen nodig zijn (hetgeen in de praktijk regelmatig voorkomt); en per type opspanning slechts één fysieke opspanning beschikbaar is

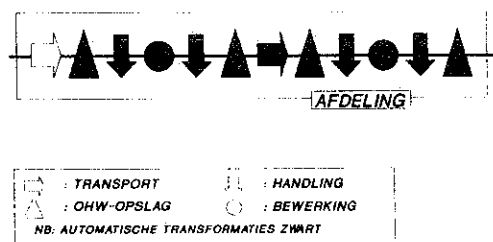
Voor de onbemande ploeg geldt een soortgelijke doorlooptijdopbouw. Per onbemande ploeg zal men x produkten per order kunnen afwerken, waarbij x met name afhangt van het aantal beschikbare opspangereedschappen (Dirne, 1990b)

Ten slotte kan men wederom met volgordeafhankelijke omsteltijden te maken krijgen (zie bijv. Aanen, 1988), zeker indien we te maken hebben met een meervoudig FAF-station waarbij ook het wisselen van gereedschap uit het gereedschapmagazijn geautomatiseerd is. Een dergelijke wisseling geschiedt vaak per stuk en kan daardoor enige tijd kosten (zie bijv. Gaalman, 1986)

6. De flexibele automatische fabricage-shop

Als laatste vorm van flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen onderscheiden we de FAF-shop. Per definitie bevat dit fabricagesysteem meer dan één machine. Tevens is een trans-

portsysteem toegevoegd, opdat produkten diverse machines kunnen bezoeken in één opspanning (een zgn. meerfasensysteem; zie figuur 12). Vaak kent een FAF-shop naast de lokale gereedschapmagazijnen bij de machines ook een centraal gereedschapmagazijn. In de meeste gevallen wordt een dergelijke FAF-shop bedoeld als men het heeft over een flexibel fabricagesysteem (FFS)



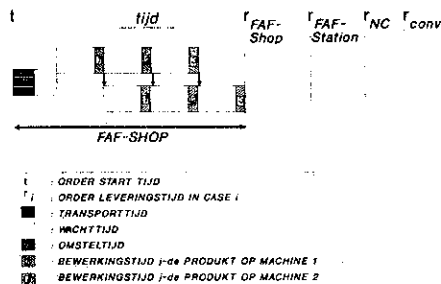
Figuur 12 Geautomatiseerde transformaties in een FAF-shop

Indien het transportsysteem zodanig flexibel is dat willekeurige routings mogelijk zijn, spreken we van een random FAF-shop. In geval het aantal routings beperkt is tot een eenrichtingsflow, spreken we van een flow FAF-shop. Indien de routing vastligt, spreken we van een flexibele automatische transferlijn (FATL)

FAF-shops worden toegepast in omgevingen met een redelijke tot hoge herhalingsgraad. Elke bewerking uitgevoerd op een FAF-shop kan worden gezien als een onbewaakte bewerking. Daardoor moet de operatorcapaciteit volledig los van de machinecapaciteit beschouwd worden.

Indien een order uit meer dan één produkt bestaat en men bovendien voldoende spanmidde-len heeft om meer dan één identieke opspanning te kunnen maken, kunnen de doorlooptijden verkort worden door 'hand-over-hand' werken. Immers na de eerste bewerking op de eerste machine van het eerste produkt van een order kan (vrijwel) onmiddellijk begonnen

worden met de tweede bewerking van het eerste produkt (op de tweede machine), terwijl parallel de eerste bewerking van het tweede produkt kan plaatsvinden op de eerste machine (zie figuur 13). Vaak zal men echter streven naar een zodanige reductie in de seriegrootte dat de hele order tegelijkertijd als een eenheid door het systeem kan bewegen (d.w.z. alle produkten van een order tegelijkertijd op één pallet)



Figuur 13. Doorlooptijdopbouw in geval van een FAF-shop

Een groot probleem bij FAF-shops vormen de mix-beperkingen. Allereerst is een bepaalde mix van interne routings vereist om een redelijke bezetting van alle machines in een random FAF-shop mogelijk te maken (het zgn. balanceringsprobleem, zie bijv. Stecke, 1983). Meestal betekent dat dat dergelijke systemen in omgevingen met een stabielere vraag toegepast worden. Daarnaast dient met name rekening te worden gehouden met beperkingen in de opslagcapaciteit van de gereedschapmagazijnen van de BC's, zeker indien een automatische wisseling tussen magazijnen onmogelijk is (zie o.a. Stecke, 1983). Naast genoemde gereedschapplaatsbeperking kan tevens een beperking in het aantal opslagplaatsen per machine een rol gaan spelen, met name in verband met al dan niet tijdelijke blokkeringverschijnselen (zie bijv. Tempelmeier e.a., 1988).

7 Epiloog

In de inleiding hebben we aangegeven dat flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen niet per definitie ook flexibele fabricagesystemen zijn. In dat verband kan men met het oog op de potentiële volumeflexibiliteit door onbemande productie met name de laatste twee in de bovenstaande typologie onderscheiden fabricagesystemen bestempelen als flexibele fabricagesystemen. Deze twee typen worden dan ook wel aangeduid met flexibele (automatische) fabricagesystemen.

We hebben in de voorgaande paragrafen gezien dat een hogere flexibiliteit van het technische fabricagesysteem logistiek gezien vaak leidt tot extra beperkingen. Daarbij is het feit dat dergelijke systemen vaak hoge investeringen vragen (een enkelvoudig FAF-station kost o.a. afhankelijk van de afmetingen al gauw zo'n f 800 000,-) en dus hoge bezettingsgraden vereisen, nog niet eens expliciet in beschouwing genomen. Evenmin is de storingsgevoeligheid van de systemen niet in beschouwing genomen. We mogen bijvoorbeeld aannemen dat FAF-shops een hogere storingsgraad zullen hebben dan FAF-stations. Een zorgvuldige afweging bij de aanschaf van dergelijke systemen blijkt daarom alleen al uit logistiek oogpunt gewenst. In die afweging moet onder andere meegenomen worden de plaats van het systeem in het totale produktietraject, het toekomstig gebruik van het systeem (werkplekorganisatie) en het met het systeem voort te brengen produktenpakket.

Tenslotte dient vermeld te worden dat één van de belangrijkste indirecte voordelen van het introduceren van flexibel geautomatiseerde fabricagesystemen kan zijn een herinrichting van het totale produktiesysteem. Door de aanwezige omstelflexibiliteit worden in sommige productieomgevingen (met name daar waar sprake is van enige herhalingsgraad) volgens groe- en sociotechnologische beginselen ingerichte productie-eenheden een reële optie.

AFSTEMMEN VAN PRODUKTIEAANBOD EN MARKTVRAAG

Literatuur

- Aanen, E., *Planning and Scheduling in a Flexible Manufacturing System*. Proefschrift Universiteit Twente, september 1988.
- Amelsfoort, P. van, 'Flexibiliteit: een weids begrip' *Bedrijf en Techniek*, 38, mei 1984.
- Ashayeri, J. en L. F. Gelders, *Manufacturing systems flexibility* Working paper, Katholieke Universiteit Leuven 1989.
- Bertrand, J. W. M., J. Wijngaard en J. C. Wortmann, *Productiebeheersing en material management*. Stenfert Kroese, Leiden, 1990
- Dirne, C. W. G. M., 'The quasi simultaneous finishing of work orders on a flexible automated manufacturing cell in a job shop', *International Journal of Production Research*, 28, no. 9, 1990a, p. 1635-1655.
- Dirne, C. W. G. M., *Production Control for Flexible Automated Manufacturing Stations in low volume component manufacturing*. Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven, 1990b.
- Gaalman, G. J., e.a. 'Tool Sharing in FMS - a feasibility study', *4th Int. Working Seminar on Production Economics (Ipls)*, febr. 1986.
- Stecke, K. E., 'Formulation and Solution of Non-Linear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems', *Management Science*, 29, no. 3 maart 1983
- Tempelmeier, H. e.a., *Performance evaluation of Flexible Manufacturing Systems with blocking* Working paper Technische Hochschule Darmstadt Institut für Betriebswirtschaftslehre, 1988.
- Wortmann, J. C. (1989), 'Flexibiliteit en logistieke informatiesystemen', in *Flexibiliteit en Logistiek*, Samsom, Alphen aan den Rijn, 1989

Memo's

D. Freemantle, *Het heft in handen, leiding geven van A t/m Z*, De Management Bibliotheek, Amsterdam / Brussel, 1991, 286 blz., f 109,50

In dit boek wordt een poging gedaan om een handleiding op te stellen van noodzakelijke technieken om met succes aan anderen leiding te geven. Een handleiding van wat een manager in de praktijk moet doen om een perfecte manager te worden

J. S. Oakland, *Kwaliteitsmanagement*, De Management Bibliotheek, Amsterdam / Brussel, 1991, 338 blz., f 109,50

Dit boek gaat over managementmethodes volgens de principes van het integraal kwaliteitsmanagement en is gecentreerd rond de volgende twaalf woorden: inzicht, inzet/management, organisatie, metingen, planning, ontwerp, systeem, kwaliteitsvermogen, beheersing, teamwork, training en doorvoering/implementatie

R. van den Berg (red.), *Bouwstenen voor evaluatie Voor de praktijk van onderwijs en begeleiding*, Bohn Stafleu, Van Loghum, Houten / Antwerpen, 1990, 222 blz., f 45,-

In dit boek wordt de stelling onderbouwd dat evaluatie een activiteit is die onlosmakelijk verbonden is

met professionele ondersteuning bij veranderingen en verbeteringen in organisaties. Elk hoofdstuk is zo opgezet dat de inhoud ervan de lezer kan aanzetten tot nadere gedachtenwisseling en tot het ontwikkelen van verantwoorde evaluatie-activiteiten, aldus de auteurs

J. L. Noomen, *Integraal personeelsmanagement, Een praktijkgerichte leerroute*, H. Nelissen, Baarn, 1990, 440 blz., f 75,-

Dit boek maakt volgens de auteur het verband duidelijk dat personele problemen pas goed oplosbaar zijn als ze worden gezien in hun samenhang met de organisatiecontext. Personeelsmanagement zou vragen naar een nieuwe, integrale benadering die verband legt tussen het uitvoerend personeel, het sociaal beleid en de organisatiecontext

R. A. P. Annink, *Verzelfstandiging, Over strategische en organisatorische overwegingen voor het zelfstandig maken van concerndochters*, Van Gorcum, Assen / Maastricht, 1990, 156 blz., f 35,-

In dit boek komen strategische, organisatorische en managerial overwegingen voor verzelfstandiging aan de orde. Tevens zijn door middel van vier cases succesfactoren onderzocht