

## Onbemand fabriceren

***Citation for published version (APA):***

Bragt, van, J. M. (1986). Onbemand fabriceren. *MB Produktietechniek*, 52(23), 617-622.

***Document status and date:***

Published: 01/01/1986

***Document Version:***

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

***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](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Onbemand fabriceren

Prof.ir. J.M. van Bragt,

TU Eindhoven, faculteit der Werktuigbouwkunde

**Bij het zien van deze term zal bij sommigen het spookbeeld van een fabriek opdoemen, vol beweging en lawaai, waar de verlichting uit is en het levensgevaarlijk is om in te vertoeven, door allerlei onvoorspelbare bewegingen van machinedelen of materiaal of voortsnellende robots die de mens dreigen te molesteren.**

**Anderen zullen onmiddellijk denken aan het leger werklozen dat ontstaat bij onbemande fabricage en zullen daaraan een gevoel van afkeuring ontleen.**

**"Echte" technici genieten van het idee en de technische oplossingen die zij nog zullen mogen uitvinden om deze droom te verwezenlijken. Dan zijn er ook mensen die onmiddellijk prachtige computernetwerken zien verschijnen, waardoor de materiaal- en produktstromen worden gestuurd en bestellingen, plannings en verrekningen geheel automatisch worden verwerkt.**

**De vakgroep "Produktietechnologie en automatisering" van de faculteit der Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven koos begin 1986 als onderzoekthema "onbemand fabriceren". Waarom?**

## Onderzoekthema TU Eindhoven

De vakgroep "Produktietechnologie en automatisering" van de faculteit der Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven koos begin 1986 als onderzoekthema "onbemand fabriceren". Waarom?

- niet - omdat daarmee werd aangegeven dat het einddoel van de ontwikkeling altijd onbemand fabriceren zou zijn en zeker niet omdat dit zou leiden tot de onbemande fabriek!
  
- wel - omdat het einddoel van dit thema ver genoeg in de toekomst ligt
  - omdat het thema voldoende uitdagingen bevat voor alle door de vakgroep te bestrijken gebieden:
    - plastische en snijdende bewerkingen;
    - meettechnieken;
    - werkplaatstechniek;
    - bedrijfsmechanisatie;
    - technische bedrijfsvoering;
    - daar dwars overheen: machinesturingen en informatica toepassing in de produktie en automatisering.

In dit artikel zal nu voor het eerst gepoogd worden een aantal aspecten, voortvloeiend uit dit thema voor het vakgebied Bedrijfsmechanisatie op een rij te zetten.

## Huidige situatie

De literatuur biedt vrijwel uitsluitend informatie over de toepassing van FMS (Flexible Manufacturing System), het computerbestuurd vervaardigen van onderdelen op bewerkingscentra. Ten aanzien van het vakgebied Bedrijfsmechanisatie is er betreffende het onbemand vervaardigen van massa-artikelen, zoals gloeilampen of TV-toestellen weinig te vinden.

Hoewel het navolgende zich vooral op deze massafabricage zal richten, toch eerst enige gegevens over de toepassing van FMS in de wereld.

In 1967 verscheen "Molins System 24 - a new concept of manufacture" in Machinery and Production Engineering (september 13, 1967).

Dit systeem was bedoeld voor onderdelenfabricage 24 uur per dag. Gedurende de dagdienst werd het systeem gereedgemaakt, waarna het gedurende de rest van de 24 uur zonder toezicht draaide. Men claimde een kostendaling van de onderdelen met een factor vijf tot tien, vergeleken met de conventionele werkwijze, terwijl een aanzienlijke reductie in mankosten en in ruimtegebrek werd bereikt. Toch is het in deze vorm niet doorgezet.

De Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties voltooide dit jaar een rapport "Recent trends in flexible manufacturing". Hieruit werden de volgende gegevens ontleend: In de eerste plaats enige definities:

- Een "Flexible manufacturing unit" (FMU)  
is een systeem "bestaande uit één machine, meestal een frees- of draai-eenheid, met een multi-palletmagazijn en een automatische wisseling van gereedschap. Het systeem kan gedeeltelijk zonder toezicht draaien.
  
- Een "Flexible manufacturing cell" (FMC)  
bevat twee of meer machines, tenminste één frees- of draai-eenheid, multi-palletmagazijnen en automatische gereedschapswisseling voor elke machine. Alle handelingen en ook de bewerkingen zelf worden bestuurd door een DNC-computer.
  
- Een "Flexible manufacturing system" (FMS)  
bestaat uit twee of meer FMC-eenheden, verbonden door een automatisch transportsysteem (automatisch geleide voertuigen, door een computerbestuurde kraan, etc), dat pallets, werkstukken en gereedschappen tussen machines en werkstuk- en gereedschapmagazijn transporteert. Het gehele systeem wordt bestuurd door een DNC-computer, die gewoonlijk verbonden is met een fabrieks-hostcomputer.

Het is duidelijk dat deze definities een overlappend gebied hebben. Afhankelijk van de omvang van de systemen wordt in het rapport een investering voor een FMS genoemd van \$ 0,1 miljoen tot \$ 50 miljoen. Het is dan ook moeilijk een goed overzicht van de huidige situatie op te stellen.

Tabel 1 laat een schatting zien van de aanwezige systemen in een aantal landen in de Europese Gemeenschap. Daaronder enige schattingen van Oostenrijk, de DDR, Italië, Japan, Rusland en de Verenigde Staten.

In deze tabel slaat Nederland geen slecht figuur: Mogelijk is het definitieprobleem hiervan de oorzaak.

Land	Verspanende bewerkingen		Spanloze bewerkingen		Lassen		Assembleren		Andere		Totaal	
	FMC	FMS	FMC	FMS	FMC	FMS	FMC	FMS	FMC	FMS	FMC	FMS
België	-	-	4	-	-	-	-	-	1	-	5	-
Bulgarije	...	3	...	-	...	1	...	3	...	-	...	7
Canada	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Cyprus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tsjechoslowakije	54	6	43	2	31	1	5	1	19	2	152	12
Frankrijk	15	6	5	2	3	1	12	5	5	3	40	17
Hongarije	14	4	-	1	-	-	-	-	-	2	14	7
Nederland	10	6	12	8	25	6	-	1	25	4	72	25
Noorwegen	6	-	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-
Zweden	50	10	-	-	10	-	10	1	-	-	70	11
Turkije	3	-	2	-	2	-	-	3	-	-	10	-
Verenigd Koninkrijk	...	3(21)	...	(5)	...	-	...	(3)	...	(6)	...	3(35)
Subtotaal	154	38(21)	70	13(5)	73	9	30	11(3)	50	(11)6	377	82(35)
Oostenrijk <sup>1</sup>											4-6	
Bondsrepubliek <sup>2,3</sup>												25-35
Italië <sup>3</sup>											...	25
Japan <sup>4</sup>											...	100
Rusland <sup>5</sup>											...	60
VS <sup>6</sup>											...	47
Totaal												339-349(+35)

Bron: Gegevens verstrekt door de regeringen van de respectievelijke landen; voor nadere gegevens, zie voetnoten.  
Opm.: De cijfers tussen haakjes geven het aantal installaties aan die in opbouw zijn.

#### Voetnoten bij tabel 1

<sup>1</sup> ECE-secretariaat; geschat

<sup>2</sup> Warnecke, H.J., Roth, H.-P. and Schuler, J.: "FMS applications in Germany - objectives and constraints", Proceedings of the 3rd International Conference on Flexible Manufacturing Systems, 11-13 september 1984, Boeblingen, Federal Republic of Germany (36a).

<sup>3</sup> European FMS growth predicted at 40-50 per cent a year. The FMS magazine, January 1985 (original source: Flexible Manufacturing Machining Systems in Europe. Frost & Sullivan, London) (39e).

<sup>4</sup> Furukawa, Y.: Innovations in flexible manufacturing systems aimed at factory automation in Japan. ECE Seminar on Flexible Manufacturing Systems: Design and Applications, Sofia, Bulgaria, 24 to 28 september 1984 (37 R.26).

<sup>5</sup> Vasiliev V.N., Kudinov, V.A. en Vasiliev S.V., ENIMS Machine Tool Research and Production Association, USSR, "FMS in the USSR: case studies", Proceedings of the 3rd International Conference on Flexible Manufacturing Systems, 11-13 september 1984, Boeblingen, Federal Republic of Germany (36b).

<sup>6</sup> A competitive assessment of the US flexible manufacturing systems industry. US Department of Commerce, Washington, D.C., 1985 (254).

Tabel 1 Geïnstalleerde FMC en FMS in de EEG en Japan in 1984/85; verdeling naar toepassingsgebied (eenheden).

Een inzicht ten aanzien van de groei in de toepassingen van FMS geeft nog figuur 1 uit hetzelfde rapport.

#### Massafabricage

In de massafabricage van sommige producten is in sommige gevallen min of meer onbemande productie reeds lang gebruikelijk.

Te denken valt hierbij aan weefgetouwen in de textielindustrie, spiraalwikkelmachines en draadtrekmachines in de gloeilampenindustrie. Hierbij draaien de machines soms door nadat de bedieners naar huis zijn en stoppen automatisch wanneer de toevoer van grondstoffen ophoudt, of een storing optreedt.

Ook vindt men in sommige fabrieken ver gemechaniseerde produktielijnen, zoals drukkerijen, walsen, gloeilampenproductie, waar vrijwel geen directe handenarbeid wordt geleverd en menselijk ingrijpen bestaat uit het opheffen van kleine storingen in toevoerappara-

tuur en het bijregelen van de procescondities.

#### Waarom onbemand fabriceren in de massaproductie?

##### Economische beschouwing

Figuur 2 geeft het kostenplaatje voor een goede doorsnede van producten uit de massafabricage.

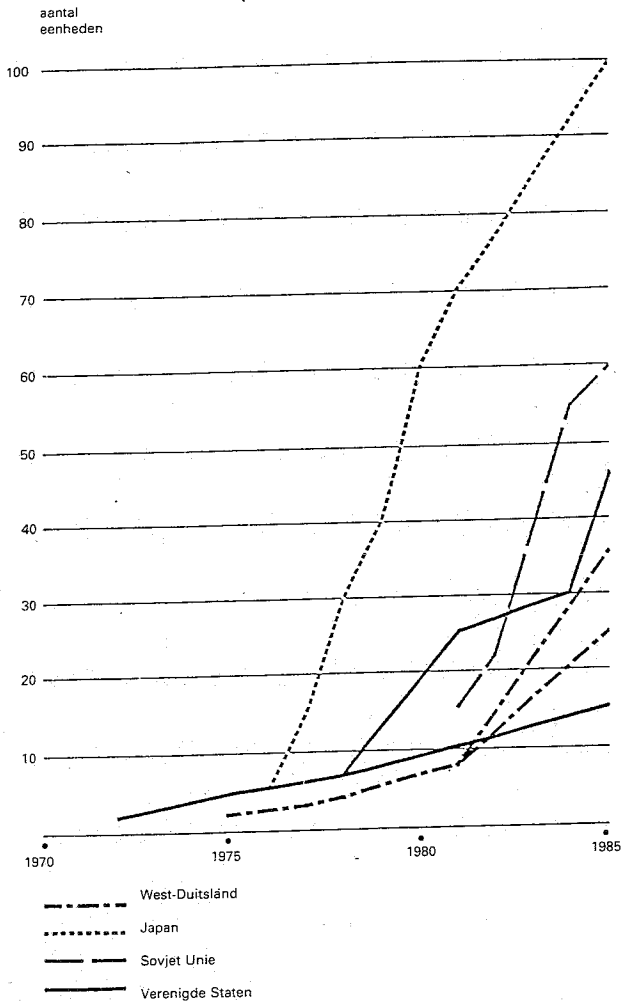
Het streven dient te zijn het resultaat van de onderneming zo groot mogelijk te maken. Dit resultaat wordt bepaald door het verschil tussen de omzet =  $\Sigma$  (produkten  $\times$  verkoopprijs) en de kosten. Verhoging wordt dus bereikt door verhoging van de omzet (hogere verkoop; hogere prijzen) en verlaging van de kosten.

In hoeverre kan nu de Bedrijfsmechanisatie het resultaat beïnvloeden? Daartoe zullen we de belangrijkste aspecten van deze figuur bekijken. Het belangrijkste element hierin is de **omzet**.

Een kleine wijziging van bijvoorbeeld 1% in de omzet bij gelijkblijvende kosten heeft een enorme invloed op het resultaat van de onderneming, dat bijvoorbeeld 2% is!

Voor alle produkten en markten, bestaande en nieuwe, mag gesteld worden, dat de betrouwbaarheid van de specificaties van het geleverde produkt (een aspect van **kwaliteit**) zeer bepalend is voor een goede omzet. Behalve door de produktie-organisatie, wordt de kwaliteit van het produktieproces in sterke mate bepaald door de kwaliteit van het produktiemiddel. Ook bij strenge kwaliteitscontrole zullen bij een slecht produktiemiddel te veel produkten "op het randje" zijn, met als gevolg vroeg-uitvallers bij de klant. Produktiemiddelen zouden altijd goede produkten moeten leveren.

Voor elke produkt/marktcombinatie die nieuw is, is naast de kwaliteit het element **snelheid** van uitzonderlijk belang.



Opm.: De twee curven voor de Verenigde Staten hebben betrekking op respectievelijk een ruimere en beperktere definitie van FMS. Voor West-Duitsland is een tussenschatting gegeven voor het aantal FMS dat eind 1984 is geïnstalleerd.

Figuur 1 Groei van FMS in West-Duitsland, Japan, Rusland en de Verenigde Staten (eenheden)

Snelheid bij het op de markt brengen van een nieuw product.

Snelheid bij aanpassing aan toenemende vraag.

Indien de onderneming het resultaat naar de toekomst wil veilig stellen, vraagt dit een grote mate van flexibiliteit en snelheid in de BM-operatie.

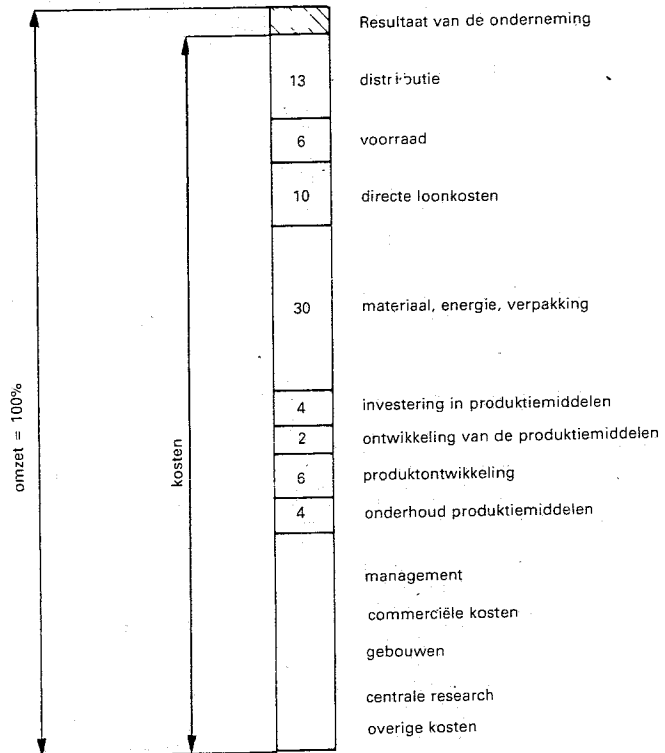
Als het goed gaat met het product zal, om de marktpositie te behouden of zelfs te verbeteren niet alleen nu de kwaliteit beheerst moeten worden, maar zullen ook de kosten zo laag mogelijk moeten zijn.

De BM-activiteit is van oudsher vooral hierop gericht geweest. De normale gang van zaken was vrijwel altijd als volgt: een eenmaal ontwikkeld en getest product wordt op min of meer provisorische wijze in kleine aantallen geproduceerd. Pas als het product goed blijkt te verkopen, beginnen de echte mechanisatieprojecten. Het belangrijkste doel was altijd verlagings van de **loonkosten**, waarbij de jaarlijkse meerkosten van het produktiemiddel de besparing aan loonkosten uiteraard niet te

boven mochten gaan. In het algemeen ontstonden hierdoor steeds snellere machines en een neiging tot produktieconcentratie.

Deze benadering heeft een arsenaal opgeleverd aan goed overdraagbare methoden om het beste produktiemiddel in de gegeven omstandigheden te construeren.

Een ander belangrijk element in de kostenkolom wordt gevormd door de **distributiekosten**. Deze kosten kunnen worden beïnvloed door de produktie daar in de wereld te laten geschieden, waar, gegeven de infrastructuur en wettelijke eisen een optimum wordt verkregen met een hieraan aangepaste produktie-eenheid. Daar de loonkosten in de wereld, zoals bekend, niet overal gelijk zijn, leidt dit tot de vraag naar meerdere vormen van produktiemiddelen voor hetzelfde product: grootschalig en kleinschalig; hoge graad van mechanisatie en eenvoudige mechanisatie.



Figuur 2 Het kostenplaatje voor een goede doorsnede van produkten uit de massafabricage

De **voorraadkosten** blijken vaak in dezelfde orde van grootte te zijn als die van de gehele BM-activiteit. Flexibiliteit van de machines t.a.v. type-variantie van de produkten en eventueel enige overcapaciteit kan helpen deze kosten te drukken. Hier ligt, gezien de hoogte van de voorraadkosten, nog een zeer groot potentieel werkterrein voor de BM.

In het resultaat van de onderneming = omzet minus kosten, blijken de kosten t.b.v. het ontwikkelen en maken, resp. kopen van de produktiemiddelen een beperkte rol te spelen.

Druk op het omlaag brengen van deze kostenpost door produktiemiddelen goedkoper te maken, levert relatief weinig resultaatverbetering op en is gevaarlijk vanwege de negatieve effecten die kunnen ontstaan op vele aspecten van het ondernemen en produceren.

**Voorbeelden:**

1. De machines worden minder flexibel gemaakt dan had gekund. Gevolg: hogere voorraadkosten, of slechtere leverbetrouwbaarheid. Door de hogere voorraad ontstaat slechtere terugkoppeling van de kwaliteit vanuit de markt.
2. Goedkopere, lichtere constructies nemen. Gevolg: lagere betrouwbaarheid, waardoor behalve meer bedrijfsstoringen ook meer kans op spreiding in de produktkwaliteit, met als gevolg meer klachten in de markt.

3. Ontwikkelkosten lager maken.  
 Gevolg: slechter doordachte constructies. Meer kans op een lang aanlooptraject door fouten, waardoor mogelijk te laat voldoende productiecapaciteit ter beschikking komt.  
 Mogelijk voor altijd een slechter functionerend produktiemiddel met hogere onderhoudskosten en met een slechtere produktiekwaliteit, hetgeen nadelige effecten in de markt veroorzaakt.

Dewinst bij goed gebruik van de mechanisatiemogelijkheden kan hoog zijn. Mislukkingen kunnen echter tot gevoelige verliezen leiden. De BM-kosten zijn vaak groter dan het ondernemingsresultaat. Bij mislukking wordt dan ook het resultaat voor het betreffende produkt negatief en de te verwachten voordelen worden niet gehaald. Bij nieuwe, of vernieuwde produkten zal door de vertraging in het ter beschikking komen van de productiecapaciteit, die bij mislukkingen optreedt, het hele produkt in gevaar komen.

#### Conclusie

In de steeds sneller veranderende wereld gaat ons de tijd steeds meer ontbreken om stap na stap verder te mechaniseren, om zo de groeiende markt te volgen.

Van de BM-operatie wordt desondanks gevraagd, dat zij produktiemiddelen levert voor productie van zeer betrouwbare kwaliteit, zeer snel reageert op nieuwe produkten en markten, dat zij, met behoud van de kwaliteit overal in de wereld het kostenoptimum kan helpen realiseren en bovendien zorgt voor voldoende flexibiliteit in de produktiemiddelen, zodat gereageerd kan worden op een zich voortdurend wijzigende markt-vraag, bij lage voorraadkosten.

#### Onbemande fabricage

"Onbemande fabricage" wijst naar het terugdringen van bij het fabricageproces direct in te zetten personeel.

Als we het hebben over het onbemand maken van de fabricage, dan gaat het blijkaar over fabricage die al sterk is gemechaniseerd. In het algemeen zal die mechanisatiegraad gekozen zijn, die een kostenminimum vertegenwoordigt: nog meer mechaniseren kost meer dan de extra besparing in directe loonkosten.

Deze fabricage man-loos maken kan dus moeilijk op de gebruikelijk manier door het berekenen van de rentabiliteit van de meer-investering worden verdeeld.

Wat zou dan wel de reden kunnen zijn

om in de fabricage te streven naar onbemande fabricage?

Het geheim zit aan de kant van opbrengsten. Hoe meer men er in slaagt de productieprocessen onbemand te laten verlopen, hoe beter deze processen gekend en beheerst zijn, waardoor er een grote zekerheid t.a.v. de kwaliteit van de produkten is verkregen. Hierdoor is er grotere kans op succes in de markt. De eventuele hogere investering kan worden goedge maakt door uitbreiding van de bedrijfstijd.

Aangezien uitbreiding van de bedrijfstijd de productiecapaciteit per produktie-eenheid aanzienlijk vergroot, zal onbemand fabriceren nog meer leiden tot behoefte aan een flexibel productieproces t.a.v. produkt-typevariatie.

Onbemand fabriceren leidt hierdoor tot onbemand omstellen!

Gezien de kostenopbouw van de massa-artikelen zal onbemand fabriceren niet, of misschien juist niet, leiden tot hogere werkloosheid. De directe loonkosten zullen afnemen, doch groten-deels worden vervangen door die welke het onbemand draaiende productieproces mogelijk maken: de logistiek van de produktiestromen, het onderhoud, de wisselgereedschappen.

De meerinvesteringen vertegenwoordigen eveneens loonkosten. Indien het over inkoopmachines gaat worden deze echter buiten het bedrijf gelegd. Aan de ontwikkeling van het produkt zal méér onderzoek ten grondslag moeten liggen om het onbemand fabriceren te kunnen realiseren.

#### Samenvattend

- Onbemand fabriceren van massaprodukten geeft voornamelijk verschuiving in de kostenopbouw van het produkt, doch in de eerste plaats geen verlaging van kosten. Onbemand fabriceren veroorzaakt dan ook op zichzelf in principe geen werkloosheid.
- Onbemand fabriceren geeft een tendens tot verhoging van het niveau van de te verrichten menselijke arbeid. Ondanks uitbreiding van bedrijfstijd kan minder gewenste nacht-arbeid grotendeels worden vermeden.
- De kwaliteit van het fabricageproces moet zeer hoog zijn. Uitbreiding van bedrijfstijd bij onbemand fabriceren leidt tot de behoefte aan onbemand omstellen. De positieve effecten van onbemand fabriceren moeten gezocht worden in de hogere kwaliteit van het productieproces, waardoor de klant uiteindelijk een betrouwbaarder produkt krijgt.

#### Aspecten

Er zal nu worden overgegaan tot het aanduiden (niet uitputtend) van een aantal aspecten waarmee rekening moet worden gehouden en die voor een deel nog onderwerp van onderzoek zullen zijn.

##### 1. De kwaliteit van bestaande productieprocessen

Productieprocessen, waarbij uitvalcijfers worden genoteerd in procenten van de productie zijn geen goede basis voor de weg naar onbemande fabricage. Het is nodig deze processen eerst te verbeteren, zodat zij uitval in de orde van parts per million vertonen. Het is de moeite waard te bestuderen, hoe Juran, Demming en Crosby daarbij adviseren te werk te gaan.

Shingo heeft aangegeven hoe binnen deze situatie de omsteltijden naar andere produktvarianten kunnen worden verkort. Vanuit de dan verkregen situatie zou kunnen worden bekeken of delen van het productieproces volledig onbemand kunnen worden gemaakt. Vermoedelijk echter zal dit einddoel vanuit dit uitgangspunt moeilijk kunnen worden bereikt.

Het is de moeite waard te bezien wat kan worden gedaan om voor de fabricage van nieuwe produkten direct de onbemande situatie te creëren en daarmee de mogelijke economische voordelen ervan te realiseren.

##### 2. Nieuwe productieprocessen

Van belang is dat het produkt en het productieproces zodanig worden ontwikkeld dat de vereiste hoge produktiekwaliteit en betrouwbaarheid kan ontstaan.

In feite is dit slechts mogelijk als het produkt in zijn definitieve vormgeving tegelijkertijd wordt ontwikkeld met zijn maakprocessen en met de essentiële mechanismen en gereedschappen die in de massafabricage de kwaliteit van het produkt bepalen.

Daarnaast kan met vrucht gebruik worden gemaakt van de studies van Boothroyd cs, die vooral ten behoeve van automatische assemblage richtlijnen voor de produktconstructie heeft geformuleerd.

De snelheid, waarmee tegenwoordig nieuwe produkten en de massaproductie ervan tot stand dienen te komen, het grote aantal mensen die tegelijkertijd bij deze ontwikkeling dienen samen te werken, de juist tijdens een op deze wijze aangepakte ontwikkeling aanwezige onzekerheden, vereisen de toepassing van een goede projectstrategie. Aan ieder dient duidelijk te zijn, dat het écht gaat om een produkt dat straks

onbemand zal dienen te worden gefabriceerd. Ervaring met vroegere drempeoverschrijdende acties (bijvoorbeeld gericht op nog kortere omsteltijden) leert, dat het duidelijk stellen van dit doel ook nodig is om psychologische barrières weg te nemen, zodat ieder de moeite neemt echt zóver door te denken. Vaak blijken dan de middelen om dit doel te bereiken eenvoudiger uit te vallen dan men had vermoed.

De ontwikkeling van de massafabricage van een nieuw produkt zal moeten geschieden via een proeffabricage op kleine schaal, waarin alle essentiële processen worden getest op zover mogelijk "uitgeklede" apparatuur, die echter, voorzover kwaliteitsbepalend voor produkt en proces, reeds is geconstrueerd voor de toekomstige massafabricage. Dit betekent, dat het voorontwerp van de onbemande produktielijn reeds in het vroegste stadium moet worden gemaakt.

Er dient een procesbeheersingsanalyse te worden uitgevoerd om na te gaan hoe de processen moeten worden beheerd. In de proeffabricage zal de procesbeheersing in essentie op deze wijze moeten worden uitgevoerd.

Alle essentiële processen dienen op de toekomstige snelheid te verlopen. Dit betekent, dat in de proeffabricage vaak telkens één produkt wordt gemaakt, waarna het apparaat weer stopt.

Indien men beschikt over een machinebouwsysteem, waarbij de interface van het produkt-in-wording met de doorvoer-inrichting (molen, lijn) en de interface van de bewerkingsstations met de basismachine voor alle machines en voor elke snelheid gelijk is, kan men betrekkelijk eenvoudig deze tussenfase van de proeffabricage realiseren met grote zekerheid, dat de uit deze proeffabricage verkregen gegevens 1:1 vertaalbaar zijn naar de massafabricage. Voorbeelden van dergelijke bouwsystemen zijn het Bosch-modulaire bouwsysteem, het variabel transportsysteem van Philips Alkmaar, het Baukastensysteem van Osram en het bouwsysteem dat de Produkt Divisie Licht van Philips hanteert.

Van belang is, dat zowel het voorontwerp van de toekomstige produktielijn als de apparatuur voor de proefproductie vanaf het begin worden ontworpen voor onbemand omstellen!

Bij het bouwen van de produktiestraat kan men de processen voorlopig ontkoppelen door buffers, waardoor storingen kunnen worden opgevangen en geleidelijk de onbemande fabricage kan worden verwezenlijkt, waarna vervolgens de buffers kunnen worden vervangen door direct transport tussen de machines.

Een andere weg die kan worden gevolgd, als de processen dit tenminste toelaten, is de direct gekoppelde lijn op lage snelheid te laten aanlopen en telkens als het stadium "onbemand" is bereikt, de snelheid weer wat verhogen totdat de ontwerp-snelheid is verkregen.

## Toe te passen, resp. te ontwikkelen methoden en technieken

### 1. Projectstrategie

Zoals gezegd, het ontwikkelen van een nieuw op te zetten onbemande produktielijn binnen de tijd die daarvoor tegenwoordig ter beschikking staat, vereist het toepassen van een goede projectstrategie. Zonder een dergelijke goede strategie lukt het niet verder te komen in een project, waarin tegelijkertijd onderling samenhangende besluiten moeten worden genomen over de produktconstructie, de maakprocessen, de produktiemiddelen, met de zware eisen t.a.v. de kwaliteit van het te realiseren produktieproces en het onbemand omstellen. Dit wordt nog aanzienlijk bemoeilijkt, doordat een zeer groot aantal mensen uit meerdere disciplines, geografisch vaak verspreid, inbreng moeten leveren in de besluitvorming vanuit hun eigen kennis en verantwoordelijkheid. De systematiek om deze ontwikkelprocessen in de hand te houden is enigszins ontwikkeld; geëxperimenteerd moet worden om de beste methode voor opdelen in deelprojecten te vinden. Misschien zal het mogelijk zijn methoden binnen deze systematiek te integreren die in de ruimtevaart zijn ontstaan ter beheersing van de specificaties en interfaces van de deelprojecten (configuration control).

### 2. Procesbeheersing

Bij de ontwikkeling van een nieuwe produktiestraat dient vooraf een procesbeheersingsanalyse te worden gedaan. Daartoe kan men het gehele produktieproces splitsen in hanteerbare deelprocessen, zodanig dat deze geïsoleerd van hun omgeving zijn te beschouwen.

Deze schematische isolatie van een deelproces t.o.v. de omgeving wordt verkregen als van dit deelproces

- alle relevante procesparameters kunnen worden gedefinieerd;
- alle relevante procesparameters zouden kunnen worden gemeten.

Onder procesparameters worden bijvoorbeeld hier verstaan:

- ingangparameters:
  - afmetingen en eigenschappen van ingangsmaterialen;
  - eigenschappen van toegevoerde media en energie.
- instelparameters:
  - de door knoppen of anderszins te realiseren verstellingen of omstellingen van de processen.
- machine-parameters:
  - slijtagetoestand, spelingen, trillingen, aanloopverschijnselen (temperatuur van bepalende delen; uitzettingen).
- omgevingsparameters:
  - omgevingstemperatuur, vochtigheid, luchtverontreiniging, tocht.
- uitgangparameters:
  - de specificaties van het door het deelproces geleverde produkt;
  - uitval.

Vervolgens wordt van elk deelproces aangegeven

- welke transformatie wordt verricht;
- hoe de uitgangparameters samenhangen met de andere parameters en met name welke parameters een sterke invloed hebben op de uitgangparameters.

Tenslotte wordt een overzicht opgesteld van de te verwachten interactie van al deze parameters door alle deelprocessen heen tot aan het eindresultaat van de produktiestraat.

Deze actie lijkt veel werk, doch geeft een duidelijk inzicht welke parameters bijzondere aandacht vragen bij de opzet van de produktiestraat en ook, welke alternatieve keuzen kunnen worden gemaakt.

Men kan bijvoorbeeld in dit stadium reeds een beter inzicht verkrijgen in de keuze tussen aan de ene kant het vragen van nauwe toleranties in de specificatie van de toegeleverde materialen en aan de andere kant het treffen van maatregelen om een grotere tolerantie op de machines te kunnen verwerken. Beide keuzemogelijkheden brengen hun eigen merites qua kosten, technische specificatie van de te bouwen machines en de betrouwbaarheid.

Het wordt hiermee reeds in het vroegste stadium mogelijk een procesbeheersingsplan voor de produktiestraat op te stellen en doelgerichte maatregelen in de richting van toeleveranciers te starten.

Het (verder) ontwikkelen en/of binnenhalen in het vak Bedrijfsmechanisatie van goede methodieken om deze analyse te plegen is één van de taken van mijn werkeenheden van de Technische Universiteit Eindhoven.

Er zijn nog enkele eenvoudige maatregelen te noemen bij het ontwerp van machines om tot een betrouwbare basis te komen:

- maak zoveel mogelijk parameters "quasi-constant":
  - vermijd spelingen;
  - zorg voor weinig trillingen (gebruik de benaderende rekenmethode van prof. v.d. Hoek/prof. Koster);
  - breng door verwarming of koeling de machine op belangrijke plaatsen vanaf het begin in bedrijfsconditie. Zorg dat deze bedrijfsconditie bij produktwisseling dezelfde blijft (ontwerp zo mogelijk de processen zo, dat bijvoorbeeld de temperatuur bij een thermische behandeling voor elk produkttype gelijk is);
  - zorg bij omstellingen of instellingen, indien deze bijvoorbeeld in dagdienst manueel worden gedaan, dat deze ofwel via zorgvuldig gecontroleerde aanslagen geschieden, ofwel tot afleesbare instellingen leiden;
  - voer preventief onderhoud in; controleer altijd of de eigenschap van de machine, die door de preventieve actie wordt beïnvloed, zich opnieuw binnen de gestelde grenzen bevindt.
- bouw onderhoudsarme machines:
  - spelingsvrij, kruisveerconstructies voor draaipunten;
  - levensduursmering;
  - overgedimensioneerd;
  - scherm af tegen onopzettelijke beschadiging.

### Metten ten behoeve van regelacties

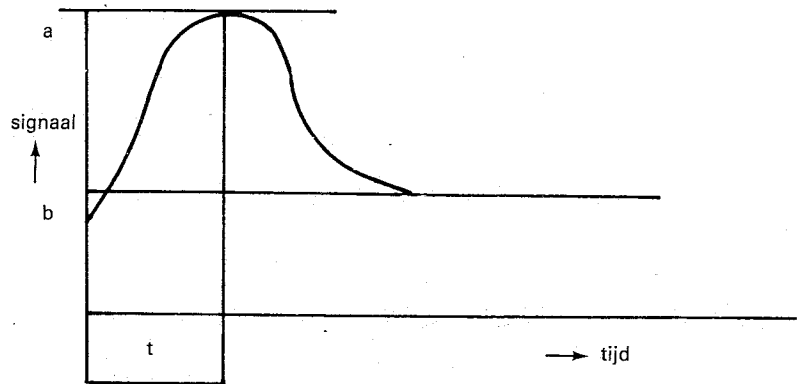
Behalve eenduidige grootheden, zoals een lengtemaat, een aantal, een temperatuur, is het heel goed mogelijk een regeling te baseren op een eenvoudige te genereren signaal, waarvan echter de fysische betekenis eventueel niet zo duidelijk is.

Een voorbeeld: het aanbrengen van een gasontlading in een lamp in wording die zich ergens halverwege een evacueerproces bevindt kan een signaal opleveren, waarin enige markante punten voorkomen.

Hoewel de betekenis van de waarden a, b en t in figuur 3 wellicht niet goed kan worden verklaard, kan toch het binnen zekere grenzen houden van deze waarden leiden tot een "constant" proces! In werkelijkheid zullen immers operators óók hun proces vaak voortdurend blijven bijregelen op signalen van deze soort, zoals bijvoorbeeld de kleur van een vlam, of een bepaald geluid, dat van toonhoogte verandert.

### Onderzoek

- Ik stel mij voor in het kader van procesbeheersing naast het ontwikkelen of aanpassen van de reeds



Figuur 3

genoemde analyse-technieken werk te maken van de ook reeds genoemde configuration control, gericht op de beheersing van het ontwerpproces (essentieel voor het ontstaan van de betrouwbare productieprocessen).

- Verder van het toepassen van optimaliserings-technieken, zoals reeds ontwikkeld zijn in de chemische technologie, waar het proces als "black box" wordt beschouwd en het procesoptimum automatisch via heuvelklimtechnieken wordt gezocht als functie van de stand van meerdere "regelknoppen".

Een complicatie hierbij is het gedeeltelijk stochastische karakter van de uitkomst van de processen.

Gedacht wordt hierbij deze regeltechniek geleidelijk uit te breiden tot verzamelingen van samenhangende deelprocessen, waardoor méér geprofiteerd zou kunnen worden van het regelbereik van de deelprocessen afzonderlijk om via hun interacties beter te reageren op zich langzaam of plotseling wijzigende omstandigheden.

Vermoedelijk is het ontwikkelen van deze technieken voor vele processen zelfs noodzakelijk om de sprong naar uitvalresultaten in de orde van parts per million te kunnen realiseren. Het inpassen van reeds genoemde fysisch niet verklaarde, doch relevante signalen uit de processen zou het optimaliseren belangrijk kunnen versnellen.

- De bedoeling is zoveel mogelijk elke constructieve onderzoeksopdracht of eindstudie-opdracht in mijn bereik te "verzwaren" met de eis onbemande fabricage en onbemand omstellen te realiseren. Daardoor zullen voortdurend praktijkgevallen het algemene onderzoek helpen sturen en mogelijkheden tot toetsing van theorieën opleveren.

In het kader van SPIN start binnenkort op de Technische Universiteit Eindhoven de ontwikkeling van een flexibele assemblage en/of lascel(len).

Daarop wordt eveneens door onze vakgroep naast andere doelstellingen ook het thema onbemand fabriceren en onbemand omstellen losgelaten.

### Concluderend:

"Onbemande fabricage" is een uitdaging, leidt niet tot negatieve maatschappelijke gevolgen, integendeel, er zijn positieve kanten aan te ontdekken. Zij levert een betere kwaliteit van het productieproces.

Het onderwerp bevat vele elementen, die ons dwingen ons op vele aspecten van ons vak opnieuw te bezinnen en waarin nog heel wat vruchtbaar onderzoek kan worden gedaan.

Het leidt tot de noodzaak binnen de opleiding van ingenieurs (WO en HBO) in de richting Bedrijfsmechanisatie betere projectstrategiemethoden in te voeren en procesbeheersingstechnieken te introduceren.

De mogelijkheden die de informatica steeds meer biedt om zeer veel discrete gegevens snel te bewerken, brengen optimaliseringsmethoden die in de chemische technologie reeds worden toegepast, ook binnen het bereik van de massafabricage van discrete producten.

Deze mogelijkheden moeten we gaan benutten.

Onbemand omstellen zal een nieuwe impuls geven aan de toepassing van servo-gestuurde elementen, soms samengesteld tot robots.

Voor de langzame acties binnen het fabricageproces, zoals het bijvullen van magazijnen, het afvoeren van badges, zullen in de onbemande situatie ongetwijfeld meer robots in aanmerking komen.

### Literatuur

"Recent trends in flexible manufacturing"  
Economic Commission for Europe  
United Nations Publication Sales No. E 85 II  
E35