

Rob Bilderbeek/Paul Kalff*

Programmeerbare automatisering

Nieuwe wegen of betreden paden?

Sinds enige tijd kan de ontwikkeling op het gebied van de produktietechnologie zich verheugen in een welhaast ongekend brede belangstelling, vooral ingegeven door de ingrijpende veranderingen die ervan worden verwacht. Veranderingen die van groot belang zullen zijn voor de toekomstige ontwikkeling van de industriële produktiestructuur evenals van de industriële werkgelegenheid. Onder de vlag van 'robotisering', 'cad/cam' of 'flexibele produktie-automatisering' — om er slechts enkele te noemen — doet zich een ware stortvloed voor van beschouwingen hierover. Dikwijls wordt gesproken van 'flexibele automatisering'. De nadruk ligt daarbij op flexibiliteit. Strikt genomen is een dergelijk accent (nog) niet gerechtvaardigd: het suggereert flexibiliteit waar deze in vooralsnog slechts geringe mate wordt geïntroduceerd. Naar ons oordeel heeft een van de meest wezenlijke kenmerken van deze ontwikkeling betrekking op de mogelijkheid van (her)programmering van produktieapparatuur door middel van computertechnologie. We geven daarom, in navolging van het Amerikaanse Office of Technology Assessment, hier de voorkeur aan de term 'programmeerbare automatisering'.¹

Over de richting en de aard van de ontwikkeling van programmeerbare automatisering bestaat alom grote onzekerheid. Onzekerheid onder meer op het gebied van het ontwikkelingspotentieel, de diffusie, de toepassings- en introductieproblematiek en de implicaties voor arbeid en organisatie. Gegeven deze onzekerheid bestaat er grote behoefte aan structurering van het probleemgebied en vooral aan identificatie van die segmenten waarop keuzemogelijkheden aanwezig zijn.

68

* Beiden wetenschappelijk medewerker bij het Studiecentrum voor Technologie en Beleid TNO. Dit artikel is gebaseerd op een terreinverkenning uitgevoerd in het kader van het onderzoeksprogramma Programmeerbare automatisering. Voor een uitgebreide weergave wordt verwezen naar: R.H. Bilderbeek, P.J. Kalff m.m.v. F. Prakke, *Automati-*

sering van de fabriekage: een verkenning van technische, economische en sociaal-organisatorische aspecten, Kluwer, Deventer 1985. Wij danken Bert Kanters, Frits Prakke en Wout Buitelaar voor hun commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

1. Zie Office of Technology Assessment (1981, 1983 en 1984).

Tegen dezes achtergrond heeft het Studiecentrum voor Technologie en Beleid TNO (STB) een onderzoeksprogramma Programmeerbare Automatisering geëntameerd. Centraal hierin staat de programmeerbare automatisering van de voortbrenging van diskrete² produkten in de Nederlandse industrie. De automatisering in de procesindustrie (chemie, voedingsmiddelen, enzovoort) blijft dus buiten beschouwing. Een terreinverkenning in dit kader heeft een overzicht opgeleverd van de voornaamste technische, economische en sociaal-organisatorische aspecten in de huidige praktijk van programmeerbare automatisering. Dit artikel geeft de hoofdlijnen weer van de ontwikkeling op het gebied van de produktietechnologie en de produktieorganisatie, aangeduid als technologische respectievelijk sociale trajekten.³. Een kernvraag is in hoeverre de invoering van programmeerbare geautomatiseerde produktiesystemen een impuls kan betekenen ter doorbreking van het gangbare – op tayloristische leest geschoeide – organisatiedenken, op weg naar een nieuw sociaal traject. Het navolgende ademt een nogal zakelijke, feitelijke sfeer. Voorspellingen en verwachtingen inzake de toekomstige ontwikkeling van programmeerbare automatisering, die in de literatuur veelvuldig wordt aangetroffen, worden hier zoveel mogelijk achterwege gelaten vanwege het veelal spekulatieve karakter ervan.

1 Technologische trajekten

Op basis van de besturingstechnologie die sinds de tweede wereldoorlog in ontwikkeling is (elektronika, computertechnologie) is een breed scala van numeriek bestuurd produktiesystemen in gebruik genomen, uiteenlopend van de enkelvoudige numeriek bestuurd (NC-)machine tot aan de zogenaamde flexibele fabriek.

Factoren die hebben bijgedragen tot de ontwikkeling en toepassing van deze systemen zijn onder meer het streven naar kostenverlaging per eenheid produkt, verhoging van de produktkwaliteit en verkorting van de produktietijden; kortom het streven naar goedkopere, betere en

69

2. Met diskrete produkten worden hier bedoeld eenheden die elk afzonderlijk geproduceerd en gebruikt worden, in tegenstelling tot massagoederen zoals tabletten of spijkers, of bulkprodukten zoals graan of aardolie.

3. Ontleend aan Nelson en Winter (1977 en 1982) die het begrippenkader 'technological trajectories' en 'selection environment' hanteren in hun studies van het innovatieproces. Wij interpreteren trajekten hier als hoofdlijnen van een ontwikkeling zoals die tot nog toe

is verlopen. Daarin doet zich een aantal keuzemomenten voor die medebepalend (en soms van strategisch belang) zijn voor het verdere verloop van deze ontwikkeling. Het verloop van een traject staat dus niet van tevoren vast, maar is beïnvloedbaar. Naar analogie van het begrip technologisch traject introduceren we hier het concept 'sociaal traject', in dit verband: de hoofdlijnen in de ontwikkeling van de produktieorganisatie.

snellere produktie. Ook bij de automatisering van massafabrikageprocessen zijn deze factoren als argument gehanteerd. Daarnaast is een drietal factoren te noemen die elk aanleiding hebben gegeven tot een streven naar verkleining van de produktieseriegrootte, te weten:

- a. toenemende differentiatie van de vraag naar industriële produkten
- b. streven naar kleinere voorraden, met het oog op kostenverlaging, en
- c. verkorting van de economische levensduur van industriële produkten.

Het samenspel tussen deze — economische — factoren en de ontwikkeling van produktietechnische mogelijkheden heeft in belangrijke mate bijgedragen tot de huidige positie van programmeerbare automatisering. Aangenomen mag worden dat dit samenspel ook van invloed zal zijn op de toekomstige ontwikkeling van programmeerbare automatisering.

Sleutelementen van de hardware rond programmeerbare automatisering zijn de NC-machine en de industriële robot. Elk van deze elementen is te beschouwen als technologisch deeltraject. De ontwikkeling van deze elementen wordt hieronder in grote lijnen beschreven. Het samenvloeiën van deze technologische deeltrajecten in flexibele fabrikagesystemen komt vervolgens aan de orde. De beschrijving van technologische trajecten wordt afgesloten met een globaal overzicht van de voornaamste vormen van programmeerbare geautomatiseerde produktiesystemen.

Numeriek bestuurd machines⁴

De NC-machine vormt in feite de basis voor de industriële produktie-automatisering sinds het begin van de jaren vijftig. Numerical control (NC) is het basisbegrip dat alle huidige vormen van produktie-automatisering omvat. Het kan worden gedefinieerd als het bedienen van een gereedschapsmachine door middel van een serie gekodeerde instructies, bestaande uit cijfers, letters en speciale tekens.

De NC-bewerkingsmachine laat een ontwikkeling zien in de richting van integratie van steeds meer functies respectievelijk bewerkingen, niet in de laatste plaats mogelijk gemaakt door het inlijven van de computerbesturing in de NC-machine (computer numerical control, CNC). Daarmee is het onder meer mogelijk gemaakt verschillende werkstukprogramma's tegelijk in de stuur eenheid op te slaan en naar behoefte af te roepen; voorts is het mogelijk twee of drie machines aan slechts één CNC-unit (kostenbesparing) te koppelen, mits de programma's niet te lang zijn (dus de werkstukken niet te ingewikkeld), en een groot aantal verschillende CNC-machines met één centrale computer (direct numerical control, DNC) te verbinden.

4. Zie voor een eerdere bijdrage over dit onderwerp in dit tijdschrift

Schrama (1984).

Met de introductie van de CNC-machine verloopt het programmeren in beginsel eenvoudiger dan bij NC-machines. Door de aanwezigheid van beperkte rekenkapaciteit en geheugenruimte in de CNC-eenheid is het mogelijk voor *eenvoudige* bewerkingen over te gaan tot werkplek-programmering: programmering door middel van intoetsing van gegevens rechtstreeks in de CNC-eenheid, alsmede correctie en optimalisering van programma's direkt aan de machine.

Een belangrijke ontwikkeling die van invloed is op het gebruik van numeriek bestuurd bewerkingsmachines is de toenemende inzet van computerapparatuur voor het ontwerpen van produkten (computer aided design, CAD). Bij dit soort systemen tekent de ontwerper het produkt op een beeldscherm, laat de computer uitrekenen of het ontwerp aan de eisen van sterkte en dergelijke voldoet, brengt verbeteringen aan om bijvoorbeeld met minder materiaal te kunnen volstaan of rekent een alternatieve konstruktie door. Aan het eind van dit ontwerpproces-in-dialoogvorm bevat het computergeheugen het definitieve produktontwerp; alle afmetingen en toleranties liggen daarin vast, evenals een lijst van gebruikte materialen en een gedetailleerde beschrijving van de verschillende onderdelen van het produkt. Het is in de meeste gevallen nog zo dat vervolgens door de computer op een tekenmachine de tekeningen voor de fabriek worden gemaakt. Deze tekeningen moeten dan weer omgezet worden in gekodeerde instructies (programma's) voor de numeriek bestuurd draai-, boor- of freesmachine. Het ligt echter voor de hand – en in een aantal gevallen gebeurt dat dan ook – om de produktgegevens direkt vanuit de ontwerpcomputer naar de bewerkingsmachine te sturen. Afzonderlijke programmering is dan niet meer nodig, afgezien van het opgeven van enkele machinespecifieke instructies. Een dergelijke integratie tussen het ontwerpproces en het eigenlijke fabricageproces grijpt sterk in op de werkorganisatie; hierop zal later nog verder worden ingegaan.

Essentieel in de ontwikkeling van NC-machines is de mogelijkheid van herprogrammering van de machine; het gemak (beter: het tijdsbeslag) van die herprogrammering dient zo groot (respektievelijk klein) te zijn dat men bij voorkeur spreekt van vrije programmering. De introductie van de mikroprocessor dan wel de mikrocomputer als sturend element – met andere woorden: de introductie van de CNC-machine – heeft in deze vrije programmeerbaarheid een sterke verbetering teweeggebracht.

Industriële robots

Een soortgelijke ontwikkeling heeft zich voorgedaan in de beschikbaarheid van hulpapparatuur ter hantering van gereedschappen en werkstukken bij en in de machine, dan wel voor het transport van materiaal en werkstukken tussen machines. In plaats van de overwegend starre transportmechanismen (met behulp van banden,

kettingen en bakken) die in het oudere concept van de op massafabrikage gerichte automatisering gebruikelijk waren, is de vrij programmeerbare hanteer- en transportapparatuur gekomen: de *industriële robot* (IR) of hanteermachine.

In de thans meest gangbare definities van de IR ligt de nadruk op de vrije programmeerbaarheid:

een IR is een zelfwerkende (dat wil zeggen op 'eigen' kracht, en volgens een vooraf vastgelegd programma werkend) en zichzelf besturende machine, voorzien van specifiek gereedschap voor het hanteren (bijvoorbeeld met behulp van een grijper) of het bewerken (bijvoorbeeld met behulp van een gereedschap) van objecten, waarvan de bewegingen ten aanzien van oriëntatie, positie en de volgorde vrij (met behulp van software) programmeerbaar zijn.

De handbediende hanteermachine (manual manipulator) en de mechanische, niet vrij programmeerbare pick-and-place-unit vallen hiermee buiten de categorie IR.

De besturingssystemen van robots hebben een ontwikkeling door- gemaakt die analoog is aan die van de NC-bewerkingsmachines. In plaats van de oudere besturingssystemen die gekenmerkt worden door geringe programmeringsvrijheid, lage schakelsnelheid en geringe geheugenruimte, zijn de met mikro-elektronika uitgeruste besturings- elementen gekomen met voldoende geheugenruimte voor opslag van verschillende werkprogramma's. Van wezenlijk belang voor het toepassingsbereik van IR's is de ontwikkeling van zintuigen (sensoren), in het bijzonder voor het zien en voor het beheersen van krachten in de robotgrijper (tastzin). Als geschikte sensoren hiervoor beschikbaar komen is te verwachten dat robottoepassingen als booglassen en assembleren eerst volledig tot ontwikkeling kunnen komen. Dit kan in het bijzonder voor de werkgelegenheid in de nu nog vaak relatief arbeidsintensieve assemblage of montage grote consequenties hebben.⁵ Nu worden robots nog het meest gebruikt voor hantering van werkstukken en gereedschappen; assemblage en inspectie zijn toepassingsgebieden die nog in het ontwikkelingsstadium verkeren.

Flexibele fabrikagesystemen

De combinatie van NC-bewerkingsmachines en robots tot *flexibele fabrikagesystemen* (FFS) vormt thans het voorlopige eindpunt van de programmeerbare-automatiseringsontwikkeling.

5. In een Philips-onderzoek is voor een *denkbeeldige* hoofdindustrie- groep (Consumer Electronics Industry) behorende tot de groot- serie montage-industrie, nagegaan welke gevolgen 'computer aided' technologieën hebben voor de structuur en het functioneren van

de onderneming. Technisch gezien blijken 1100 van de ca 1500 arbeidsplaatsen in de montage- afdelingen vóór 1990 (voor een belangrijk deel door middel van robots) 'automatiseerbaar' te zijn (Kumpe e.a., 1982).

Een FFS kan worden omschreven als een combinatie van een aantal gereedschapsmachines, die zodanig is ingericht dat het bewerken, de werkstuk- en gereedschapsaan- en afvoer en het transport tussen de machines onder computerbesturing verlopen, waardoor verschillende werkstukken in enkel- of kleinseriefabrikage zonder toezicht kunnen worden behandeld. Daarbij is meestal ook sprake van optimalisering van werkstukrouting en machinebezettingen, en computerbestuurde opslag in (tussen)magazijnen.

Uit deze definitie wordt duidelijk dat een FFS vele machines en hulpmiddelen omvat die alle centraal bestuurd worden door een computersysteem. Automatisering van de fabricage kan echter ook kleinschaliger. De kleinste eenheid is de zogenaamde flexibele fabrikagemodule die slechts één bewerkingsmachine omvat en waarbij het wisselen van de werkstukken en de gereedschappen (beitels, boren, enzovoorts) met behulp van een robotachtige installatie geschiedt. Ook kent men de flexibele fabriekcel, waarin minstens twee bewerkingsmachines tot een functionele eenheid gekoppeld zijn via automatisch werkstuktransport. Essentieel bij een FFS is echter dat de weg die verschillende werkstukken langs de bewerkingsmachines

Globale indeling van produktiesystemen

tabel

	NC	BC	FFM	FFC	FFS	FF
aantal bewerkingsmachines	1	1	1	≥2	≥4	≥4
bewerking	+	+	+	+	+	+
gereedschapswisseling	—	+	+	+	+	+
werkstukwisseling	—	—	+	+	+	+
bewaking van de bewerking	—	—	+	+	+	+
werkstuktransport	—	—	—	+	+	+
inspectie van werkstuk/gereedschap	—	—	—	—	+	+
keuze van bewerkingsvolgorde (routing)	—	—	—	—	+	+
opslag van half-/eindprodukt	—	—	—	—	+	+
assemblage	—	—	—	—	—	+

Bron: Bilderbeek en Kalff (1985).

NB: NC = numeriek bestuurd bewerkingsmachine
 BC = bewerkingscentrum
 FFM = flexibele fabrieksmodule
 FFC = flexibele fabriekscel

FFS = flexibele fabriekssysteem
 FF = flexibele fabriek
 + = geautomatiseerde functies
 — = niet geautomatiseerde functies

73

aflagen, op aanwijzing van de computer gekozen wordt. Hierbij wordt tevens rekening gehouden met een goede verdeling van de bezettingsgraden van de machines. Een gevolg van deze werkwijze is onder meer dat de mogelijke variatie in soorten werkstukken (het werkstukspektrum) groter kan zijn dan bij een flexibele module of cel. De rol van de IR in het FFS⁶ is belangrijk maar niet over-

heersend; de robot is een element van het grotere geheel dat onder controle van een centrale besturingseenheid staat.

De hier aan de orde gestelde produktiesystemen (of delen daarvan) zijn ten opzichte van elkaar niet steeds duidelijk afgebakend; in de praktijk komen allerlei varianten voor die juist tussen de gestelde grenzen in vallen. De in bijgaande tabel gegeven indeling dient primair om een globaal overzicht te geven.

Een belangrijk aspekt van flexibele fabrikagesystemen betreft de verschillende soorten van flexibiliteit⁷ van deze produktiesystemen, in het bijzonder de omstelflexibiliteit (geïndiceerd door de tijdsduur die is gemoed met de omschakeling van het FFS naar een ander produkt, in verhouding tot de bewerkingstijd per produkt of serie). In de praktijk worden in de (weinige) gerealiseerde flexibele fabrikagesystemen grote verschillen waargenomen (bijvoorbeeld een produktieflexibiliteit uiteenlopend van circa 3 tot 300 produktvarianten). Het lijkt daarom verstandig op de korte termijn niet al te hooggespannen verwachtingen van de flexibiliteit van dit soort produktiesystemen te koesteren.

De relatie tussen produktiviteit en flexibiliteit bij de verschillende programmeerbaar geautomatiseerde produktiesystemen is weergegeven in bijgaande figuur. Hierin is de jaarproduktie per werkstuk (als maat voor de seriegrootte) uitgezet tegen het aantal verschillende werkstukken dat met behulp van de verschillende systemen kan worden geproduceerd (als maat voor de flexibiliteit).

Toenemende produktiviteit gaat gepaard met afnemende flexibiliteit en omgekeerd. De richting van de technologische ontwikkeling op dit gebied wordt in belangrijke mate bepaald door het streven naar flexibiliteitsvergroting bij gegeven produktiviteit (of andersom).

74

Een tweede belangrijk aspekt van flexibele fabrikagesystemen betreft de besturing van het geheel. Het rendabel functioneren van het totale systeem is voor een groot deel afhankelijk van de mate waarin centrale besturing inderdaad integraal kan worden toegepast, met andere woorden, in hoeverre 'computer assisted manufacturing' (CAM) zich niet zozeer beperkt tot de eigenlijke bewerkings- en hanteringsmachines, maar veeleer de totale goederenstroom (met inbegrip van optimalisering van machinebezettingen, variabele routing, aanpassing

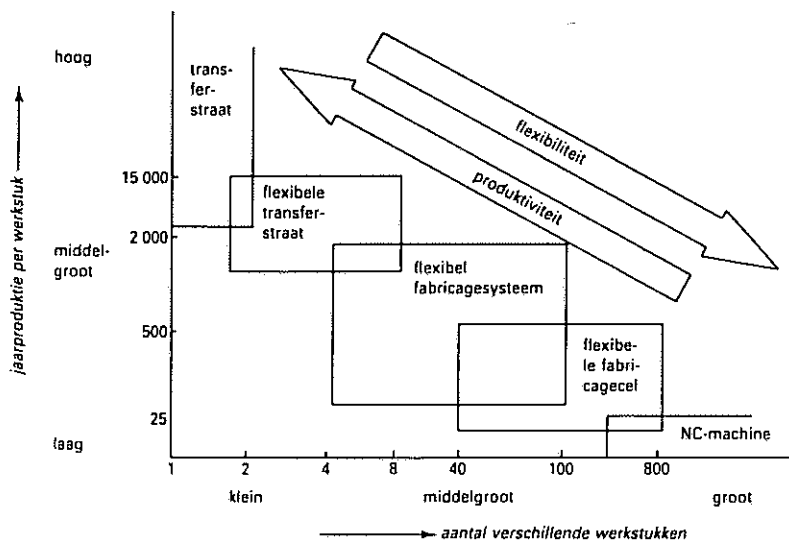
6. Dat geldt uiteraard ook voor de rol van de industriële robot in kleinschaliger produktiesystemen als de flexibele fabrikagemodule of -cel. Gemeten naar de relatieve aandacht die in de literatuur is uitgegaan naar de industriële robot lijkt de

betekenis ervan ten opzichte van andere vormen van programmeerbaar geautomatiseerde produktiesystemen overgewaardeerd.

7. Zie voor een overzicht van de verschillende soorten van flexibiliteit: Rankers e.a. (1982).

De relatie tussen produktiviteit en flexibiliteit bij verschillende produktiesystemen⁸

figuur



Bron: Paprocki (1978).

van de productieplanning, enzovoort) omvat. Technisch gesproken is geïntegreerde verwerking van de overeenkomstige informatiestromen weliswaar mogelijk, en ook wel incidenteel gerealiseerd, maar de grote moeilijkheid is het ontbreken van standaardisatie in de programmeertalen voor de verschillende hardware-eenheden.

Het is van groot belang in dit kader te konstateren dat de organisatie van de programmering van het systeem voor verschillende werkstukken in beginsel niet afhankelijk is van kenmerken van de techniek. Wie die programma's schrijft en op welke plek dat gebeurt (aan de machine of in de werkvoorbereiding), is naar keuze in te vullen. Een optimalisering van het productieproces in dit opzicht, met andere woorden rekening houdend met de vaardigheden en het kennisniveau van de verschillende medewerkers in het bedrijf, kan voor een belangrijk deel onafhankelijk van de techniek plaatsvinden. Bij verdergaande integratie van het fabricageproces met het ontwerpproces is deze keuzevrijheid waarschijnlijk geringer. Koppeling van het ontwerp-

75

8. De in deze figuur aangeduide produktiesystemen zijn deels in het voorgaande gedefinieerd of omschreven. Een transferstraat wordt gekenmerkt door mechanische koppeling van bewerkingsmachines (bijvoorbeeld frees-, boor-, draai-

machines) die elk binnen de voor het gehele systeem geldende cykluistijd slechts één behaalde handeling dienen uit te voeren. Omstelling van een transferstraat is derhalve een tijdrovende operatie.

proces met de (voorbereiding van de) fabricage brengt een verbetering van het totale vervaardigingsproces binnen het bereik van de praktische toepassing en kan uiteindelijk leiden tot het overslaan van de fasen van het tekenen, tekening lezen, werkstukprogrammering, eventuele nabewerking door een computer en inlezen CNC-eenheid. Bij een geïntegreerd CAD/CAM-systeem kan de werkstukbeschrijving die het resultaat is van de ontwerpwerkzaamheden, in het centrale computergeheugen opgeslagen blijven. Programmering voor een bepaalde bewerkingsmachine zal als afzonderlijke handeling kunnen blijven bestaan, maar het ligt uit een oogpunt van processtroomblijning voor de hand dat deze werkzaamheid naar de ontwerpafdeling verschuift. Afzonderlijke programmeerafdelingen of werkplek-programmering zijn dan niet langer aan de orde. Hoewel de integratie van CAD en CAM in het huidige ontwikkelingsstadium kan worden beschouwd als een technische mogelijkheid die vooralsnog betrekkelijk marginaal wordt toegepast, dient er met het oog op het voortschrijden van de technische ontwikkeling rekening mee te worden gehouden dat werkplekprogrammering uiteindelijk slechts een overgangverschijnsel zal blijken te zijn. Hoewel programmering van CNC-machines op de werkplek daarom van beperkte betekenis zou kunnen blijken, vormt deze organisatievorm niettemin een interessant voorbeeld van de beïnvloedbaarheid van toepassing van nieuwe produktietechnologie. Reden om er hierna nog op terug te komen.

2 Sociale trajecten

De wijze waarop produktietechnologie vernieuwingen in een produktieorganisatie worden ingebed, vormt een sleuteldeterminant voor de ermee samenhangende sociale effecten. Dit uitgangspunt maakt dat kennisneming van de hoofdlijnen in de algemene ontwikkeling van de produktieorganisatie (los van programmeerbare automatisering) evenzeer van wezenlijk belang is voor een goed begrip van de betekenis van programmeerbare automatisering, als inzicht in de technologische trajecten.

Her dominante traject

Het thans dominerende model van de industriële produktieorganisatie vertoont in vrij sterke mate de eigenschappen van het klassieke, tayloristische organisatiemodel.⁹ Hoewel het oorspronkelijke klassieke organisatiemodel zich in de loop der tijd heeft ontwikkeld en op een aantal punten is geamendeerd, kenmerkt de ontwikkeling ervan zich niet zozeer door meegroeien met of aanpassen aan veranderende

9. Zie hierover ook Van Klaveren (1983, 44 e.v.).

omstandigheden, alswel door vasthouden aan in essentie ongewijzigde basisprincipes. Basisprincipes die stammen uit een tijd met wezenlijk beperktere produktietechnische mogelijkheden. In deze ontwikkeling zijn bureaukratiseringstendensen dominant, in het kader waarvan nauwgezette controle van bovenaf, standaardisatie, hiërarchisering, stafspecialisatie en centralisatie in toenemende mate plaatsvinden. De verstrakking binnen de formele organisatiestructuur die hiervan het resultaat is, gaat vaak ten koste van de speelruimte binnen de informele organisatiestructuur,¹⁰ als gevolg waarvan de souplesse en flexibiliteit binnen de organisatie onder druk komen te staan.

Als hoofdlijnen van de ontwikkeling van de productieorganisatie, die naar analogie van de technologische trajekten kunnen worden gekarakteriseerd als een sociaal traject, kunnen worden aangemerkt:

– een voortgaand proces van *arbeidsdeling*, ook daar waar vanuit de produktietechnologische ontwikkeling mogelijkheden tot integratie van deeltaken ontstaan;

– een steeds verder oprukkende *integratie* van oorspronkelijk gescheiden delen van het productieproces, gepaard gaande met toenemende organisatorische complexiteit, ondoorzichtigheid, centralisatie van beslissingsbevoegdheid en toenemend onvermogen om adequaat te reageren op (onverwachte) veranderingen binnen de organisatie en haar omgeving. Het resultaat is groeiende organisatorische inflexibiliteit;

– het toenemende belang van *arbeid als flexibiliserende faktor*, om tegemoet te komen aan de eisen die worden gesteld aan het aanpassingsvermogen van de organisatie. Waar het produktiesysteem faalt, wordt een beroep gedaan op de 'human factor' die bij normaal functioneren van het systeem juist zoveel mogelijk wordt uitgeschakeld. *Arbeid krijgt aldus meer en meer een 'smeermiddel-functie'*;

– een toenemende *diskrepanctie in de ontwikkeling van de inhoud van het werk*. Enerzijds leidt de organisatorische verstrakking tot inperking van handelings- en beslissingsvrijheid op de werkplek, als gevolg waarvan demotivering en slijtage van (vak)kennis en ervaring bij de betrokken medewerkers kunnen optreden; anderzijds worden, mede uit hoofde van de genoemde 'smeermiddelfunctie', steeds hogere eisen gesteld in termen van vakmanschap, stressbestendigheid en inzicht in en overzicht van de werking van het veelal ondoorzichtige en complexe produktiesysteem;

– een toename in het belang van en de hoeveelheid *indirekt werk* ten opzichte van direkt aan de productie gerelateerd werk. Deze accentverschuiving in de richting van meer werkvoorbereiding, planning, bewaking en onderhoud werkt een verwijdering tussen

10. Bedoeld wordt dat deel van de organisatie dat niet (formeel) is

vastgelegd in regels of procedures.

werknemer en produkt(ie) in de hand, welke op zijn beurt een vervreemdend effect kan hebben, onder meer tot uiting komend in afnemende betrokkenheid bij het produktiegebeuren. Daarnaast vertoont de fysieke arbeidsbelasting als gevolg van deze verwijdering een neiging tot afname, terwijl de psychische arbeidsbelasting een stijgende tendens laat zien;

– een toenemend streven naar *beheersing van het produktieproces*, enerzijds gevoed door het toenemend kapitaalbeslag van moderne produktiesystemen, anderzijds door de groeiende mate van integratie en complexiteit van het produktieproces, als gevolg waarvan de storingsgevoeligheid en de storingskans toenemen. Het toenemend belang van de ‘smeermiddelfunctie’ van arbeid is hierop voor een deel te herleiden.

Gegeven deze ontwikkelingslijnen doet zich in toenemende mate een spanning voor tussen de kenmerken van de gebureaukratiseerde industriële produktieorganisatie en de eisen die produktie-technologische, maatschappelijke en marktontwikkelingen stellen aan het aanpassingsvermogen van die organisatie. Zowel de marktontwikkeling, die wordt gekenmerkt door toenemende concurrentiedruk, voortgaande vraagdifferentiatie en verkorting van de produktlevenscyclus, als ontwikkelingen in de produktietechnologie (programmeerbare automatisering) die mogelijkheden bieden om op deze marktontwikkeling in te spelen, nopen tot vergroting van het aanpassingsvermogen en de flexibiliteit van de organisatie. Afgezien van dit gebrekkig aanpassingsvermogen kunnen verder als tekortkomingen worden aangevoerd dat het dominante organisatiemodel lijdt aan ondoorzichtigheid, groeiende overheadkosten en onvermogen om tegemoet te komen aan de noodzaak van het kreëren van werk van een voldoende kwaliteit. Het konventionele organisatieconcept is – kortom – inflexibel, ondoorzichtig, demotiverend en duur.

78

Naar een nieuw sociaal traject?

Tegen de achtergrond van de huidige maatschappelijke, markt- en produktietechnologische ontwikkelingen treden deze tekortkomingen allengs duidelijker aan het licht. Er is dan ook groeiende aandacht te onderkennen voor organisatieopvattingen die aan de genoemde tekortkomingen tegemoet kunnen komen. Deze opvattingen hebben de volgende strekking:

– vereenvoudiging van complexe organisatiestructuren binnen het bedrijf, door de organisatie van zijn bureaucratische trekken te ontdoen, platter te maken en de besluitvorming en plannings- en beheersingssystemen te decentraliseren. Het kreëren van zelfstandige produktie-eenheden binnen een organisatie die mede daardoor overzichterlijker wordt, maakt het mogelijk het reactievermogen van die organisatie te vergroten;

- omschakeling van bewerkingsgerichte naar produktgerichte organisatieopzet,¹¹ om onder meer de doorlooptijd van het produkt te bekorten en voorraadkosten te verminderen;
- integratie van produktievoorbereidende en -begeleidende taken in verzelfstandigde produktie-eenheden, zodat
 - * door verkleining van regelkringen storingen sneller kunnen worden verholpen
 - * het mogelijk wordt informatiestromen te vereenvoudigen
 - * (ver)starre(nde) en kostbare hiërarchische structuren kunnen worden afgebouwd
 - * op de werkplek aanwezige initiatieven en vaardigheden beter tot ontwikkeling kunnen komen en worden benut;
- een zodanige keuze bij de toekenning van taken aan mensen en machines dat flexibiliteit, doelmatigheid en kwaliteit van produktie en arbeid geoptimaliseerd worden op basis van *gelijkheid* van technische, economische en sociale factoren.

De introductie van programmeerbare automatisering kan een belangrijke impuls betekenen voor doorbreking van het konventionele organisatieconcept, ten gunste van een organisatieopvatting die meer is toegesneden op zich voltrekkende maatschappelijke en technische veranderingen. Programmeerbare automatisering zou aldus een nieuw sociaal traject kunnen inluiden.

3 Programmeerbare automatisering in de praktijk

Wat is hiervan in de praktijk waarneembaar? Het tot dusver voorhanden materiaal uit empirisch onderzoek kan hierover wellicht uitsluitsel geven. Daarbij dient rekening te worden gehouden met tekortkomingen en beperkingen van dit materiaal. Zo lopen per specifiek technologisch deeltraject de aard en hoeveelheid voorhanden gegevens nogal uiteen. Deze verschillen zijn onder meer herleidbaar op verschillen in de aard van de betrokken technologie (het bereik van het technologisch deeltraject), in het ontwikkelingsstadium en in de mate waarin de betrokken technologie is uitgekristalliseerd. Daarnaast wordt de overwegend technisch-economisch georiënteerde literatuur over programmeerbare automatisering gekenmerkt door een relatieve onderbelichting van de

11. In een bewerkingsgerichte organisatieopzet staan alle machines van één soort (boren, draaien enz.) afdelingsgewijs bij elkaar. Een werkstuk dat verschillende bewerkingen moet ondergaan legt daardoor vaak een ingewikkelde weg af in de fabriek en het is lastig om overzicht over de produktie te houden. Bij een produktgerichte organisatieopzet

daarentegen staan de verschillende machines die bij één produktiegang behoren in de juiste volgorde en dicht bij elkaar. Het gevolg van deze werkwijze is een overzichtelijke produktie, aanzienlijk minder ingewikkelde produktstromen door het bedrijf en mogelijkheden voor afwisseling in het werk voor de medewerkers.

sociale aspecten ervan.

Ten slotte het aspect van de representativiteit van het onderzoeksmateriaal. Een groot deel ervan is gebaseerd op case-studies waarvan onduidelijk is in hoeverre ze een representatief beeld van de algemene situatie geven.

Het is dan ook raadzaam de hier gepresenteerde hoofdlijnen met een zekere terughoudendheid te interpreteren.

In de praktijk blijkt de wijze waarop de nieuwe technologie met de faktor arbeid wordt gekombineerd tot een concrete productieorganisatieopzet, sterk uiteen te lopen. Dit wijst op een bevestiging van de tot dusverre nog veelal theoretisch gepostuleerde technologische en organisatorische keuzevrijheid. Er blijkt een *zodanige keuzevrijheid te bestaan dat er in beginsel een reële mogelijkheid is om te komen tot verbetering van de kwaliteit van produktieorganisatie en van arbeid*. Deze mogelijkheid wordt in de praktijk ook gerealiseerd, getuige onder meer de toepassing van programmering van CNC-machines op de werkplek. Gegeven het min of meer exemplarische karakter van werkplekprogrammering aan CNC-machines en ondanks de hiervoor gemaakte relativerende kanttekeningen over deze mogelijkheid, is het nuttig in aanvulling op eerdere bijdragen over dit onderwerp¹² nog het volgende aan te tekenen.

Werkplekprogrammering

Als factoren die de keuze van de organisatievorm van de programmering van CNC-machines beïnvloeden, worden in de literatuur¹³ onder meer genoemd de bedrijfsgrootte, de omvang van het (CNC-)machinebestand, de ingewikkeldheid en de aard van de bewerking en het werkstuk, maar ook meer institutioneel getinte factoren, zoals het kwalifikatieniveau van CNC-medewerkers op de werkplek en de managementopvattingen over gedecentraliseerde werkorganisatie.

Diverse auteurs (Weideman, Rempp, Mickler, allen 1981) stellen werkplekprogrammering en programmering in de werkvoorbereiding als twee extremen tegenover elkaar, waarbij de voordelen van het ene type min of meer overeenkomen met de nadelen van het andere type. Als *nadelen* van werkplekprogrammering worden de volgende genoemd:

- uitvoering van programmeertaken door de machinebediener brengt veelal met zich mee dat de machine langer stilstaat dan het geval zou zijn bij programmering in de werkvoorbereiding met als gevolg een lagere bezettingsgraad en hogere voorbereidingskosten;
- programmering van de fabricage van ingewikkelde werkstukken of

12. Zie bijvoorbeeld Schrama (1984). (1981), Sankaran (1981), Sorge e.a. (1983) en Gottschalch (1982).

13. Zie onder meer Rempp e.a.

bewerkingen kan aan de machinebediener eisen stellen met betrekking tot programmeervaardigheid, waaraan deze niet kan voldoen;

- de werksituatie aan de gereedschapsmachine (veelal gekenmerkt door lawaai en andere concentratieverstorende factoren) bemoeilijkt de voor programmering vereiste concentratie;

- bij programmering op de werkplek zou de terugkoppeling van informatie over de productievoortgang naar de werkvoorbereiding in het gedrang geraten. Gebrekkige kommunikatie wordt echter ook als nadeel van het andere uiterste, programmering in de werkvoorbereiding, genoemd.

Uiteraard zijn maatregelen te treffen die aan deze nadelen tegemoet kunnen komen, zoals vergroting van de programmeervaardigheid van de machinebediener door verbeterde opleiding, lawaai bestrijding en andere verbeteringen in de fysieke arbeidsomstandigheden, enzovoort. Algemeen kan men de volgende voorwaarden formuleren waaronder werkplekprogrammering de voorkeur verdient:

- gereedschapsmachines met lage aanschafkosten (zodat de kosten verbonden aan machinestilstand kleiner zijn dan de werkvoorbereidingskosten)

- eenvoudige werkstukken of bewerkingen
- orders met een kleine seriegrootte en lage herhaalfrekwentie
- betrekkelijk kleine, overzichtelijke machinegroepen
- bedrijven met een betrekkelijk geringe organisatorische differentiatie en
- beschikbaarheid van een team van gekwalificeerde vaklieden.

Als aan deze voorwaarden is voldaan kunnen de nadelen ruimschoots worden gecompenseerd door de voordelen van werkplekprogrammering. De volgende *voordelen* zijn onder meer aan programmering op de werkplek verbonden:

- rechtstreekse benutting van ervaring op de werkplek
- trefzekerder programmering doordat informatie over werkstukken, gereedschappen en hulpmiddelen direkt aan de machine beschikbaar is
- kortere doorlooptijd¹⁴
- hogere flexibiliteit
- lagere (werk)voorbereidingskosten
- grotere betrokkenheid en motivatie van de betreffende vaklieden
- 'job enrichment'
- in stand houden van vakmanschap.

14. In de praktijk is machinestilstand vaak te herleiden op het ontbreken van het juiste programma bij de

juiste machine. Werkplekprogrammering kan hieraan tegemoet komen.

Twee kanttekeningen zijn hier op hun plaats. In de eerste plaats zou – wellicht als voortvloeisel van de hiervoor weergegeven visie waarin programmering op de werkplek respectievelijk in een (centrale) afdeling werkvoorbereiding als twee extreme organisatievormen tegenover elkaar zijn gesteld – de indruk kunnen ontstaan dat deze twee typen niet naast elkaar in een bedrijf zouden kunnen functioneren. In de praktijk is dit echter wel degelijk het geval. Indien bijvoorbeeld zich capaciteitsknelpunten in de programmering binnen de afdeling werkvoorbereiding voordoen, en in geval van eenvoudig te programmeren werkstukken en/of spoedopdrachten, komt programmering in de werkvoorbereiding voor *naast* werkplek-programmering.

Een tweede kanttekening betreft de nog betrekkelijk geringe ervaring met programmering op de werkplek. Op grond hiervan draagt het boven gegeven overzicht van voor- en nadelen vooralsnog een voorlopig karakter.

Gekonkludeerd kan worden dat, indien aan bepaalde randvoorwaarden is voldaan, werkplekprogrammering van CNC-machines duidelijke voordelen biedt ten opzichte van programmering in de werkvoorbereiding, zowel in zuiver bedrijfseconomische termen als in termen van kwaliteit van arbeid.¹⁵ De mate waarin van deze mogelijkheid daadwerkelijk gebruik wordt gemaakt is echter beperkt. Zo overheersen in de praktijk – wellicht vooralsnog – toepassingen van CNC-machines met programmering in de werkvoorbereiding;¹⁶ werkplekprogrammering is een betrekkelijk marginaal verschijnsel. Tegen deze achtergrond zou het aanbeveling kunnen verdienen bij wijze van experiment projecten met een demonstratiekarakter op te zetten, in het kader waarvan een vorm van programmeerbare automatisering zodanig wordt ingepast, dat recht wordt gedaan aan zowel technisch-ekonomische als sociaal-organisatorische doelstellingen. Het is voorts aan te bevelen de uitvoering van dergelijke pilot-projecten vergezeld te doen gaan van sociaal-organisatorische deskundigheid, ook van werknemerszijde.

Effekten op arbeid

Ook in meer algemene termen lijkt de plooibaarheid van programmeerbare geautomatiseerde produktiesystemen in beginsel te wijzen op reële mogelijkheden tot doorbreking van het dominante – in essentie klassieke – organisatiedenken. Het is zaak de inspanningen te richten op daadwerkelijke benutting van deze mogelijkheden. De

15. Zoals hiervoor al aangegeven is het niet denkbeeldig dat integratie van het ontwerp- en het fabricageproces (CAD/CAM) dit beeld

ingrijpend verandert.

16. Zie Schrama (1984, 100), voorts Rempp e.a. (1981, 43).

huidige praktijk van programmeerbaar geautomatiseerde fabrikage wijst vooralsnog op toepassing conform het klassieke sociale traject. Ombuiging van dit traject in een richting die betere mogelijkheden biedt om aan te sluiten bij de huidige maatschappelijke dynamiek, is des te meer van groot belang gezien het uitstralend effect dat produktieorganisatorische beslissingen hebben op uiteenlopende aspecten van arbeid.

Tot nog toe lijkt de invoering van programmeerbaar geautomatiseerde produktiesystemen niet wezenlijk anders uit te pakken voor het werk daarin, dan voorheen het geval was. We laten hieronder enige aspecten van de effecten van programmeerbare automatisering op arbeid de revue passeren.

De *arbeidsinhoud* ondergaat onder invloed van de invoering van de programmeerbaar geautomatiseerde produktiesystemen een verandering die in grote lijnen overeenstemt met de historische hoofdlijnen van de ontwikkeling in dezen. Enerzijds een voortzetting van de inperking van de handelings- en beslissingsvrijheid op de werkplek, anderzijds verhoging van de eisen die aan de betrokken arbeidskrachten worden gesteld in termen van vakmanschap, stressbestendigheid en inzicht in de werking van het produktiesysteem. Het gevaar is niet denkbeeldig dat, in het bijzonder bij toepassing van industriële robots, extreem inhoudsarme, geestdodende resttaken overblijven.

Arbeid vervult in groeiende mate als flexibiliserende faktor een smeermiddelfunctie, waarop in het bijzonder een beroep wordt gedaan in die gevallen waarin het produktiesysteem *niet* 'normaal' funktioneert.

Voor de *kwalifikatiestructuur* doet zich een analoge ontwikkeling voor. Voor de niet rechtstreeks aan de produktie verbonden werkzaamheden betekent dat een verhoging van het kwalifikatieniveau, voor het direkte produktiewerk veelal een regelrechte dekwalifikatie. In het algemeen betekent de invoering van programmeerbare automatisering voor de betrokken medewerkers derhalve een vermindering van de 'greep' op het produktieproces, maar vakmanschap blijft essentieel voor het realiseren van een goede bezettingsgraad en rendabele produktie. Vakbekwame machinebedieners zijn van wezenlijk belang voor het voorkomen van kostbare stortingstijden. Ook thans nog worden NC-machines bij voorkeur door vaklieden bediend om "... de fouten van machine en programmering ongedaan te maken: het voorkomen van kostbare stortingstijden vereist nog steeds vakmanschap" (Mickler e.a., 1981). Het totaalbeeld duidt voorlopig op polarisatie in de kwalifikatiestructuren, met een zeker accent op dekwalifikatie van het uitvoerende werk. Daarbij hoort de volgende kanttekening. Invoering van programmeerbare automatisering brengt een relatieve toename mee

van het belang van indirect werk. In doorsnee is dit werk van een hoger kwalificatieniveau dan het directe werk. Bedacht moet worden dat gedekwalificeerd, meestal inhoudsarm werk zich betrekkelijk goed leent voor 'wegautomatiseren' in een volgende automatiseringsfase. Het is niet uitgesloten dat per saldo deze verschuivingen op termijn neerkomen op een relatieve kwalifikatie. Rekwilifikatie die voor een deel herleidbaar is op het verdwijnen van werk dat onderhevig is aan dekwilifikatie.¹⁷

Op het gebied van de *arbeidsomstandigheden* is onder invloed van de introductie van programmeerbare automatisering in overwegende mate een verbetering te constateren. De verschuiving naar meer 'indirect werk' resulteert in de praktijk veelal in een verwijdering tussen werknemer en produkt(ie). Als gevolg hiervan kan de afstand tot de bron van negatieve omgevingsinvloeden toenemen. Een potentiële uitzondering betreft geluidshinder vanwege het toenemend gebruik van hydraulische en pneumatische aandrijfmechanismen. Overigens moet niet vergeten worden dat het overblijvende directe personeel dat uit hoofde van zijn functie in de onmiddellijke produktieomgeving dient te zijn, weinig van deze verwijdering merkt. Daarnaast is een markante afname van het ongevalsrisiko gekonstateerd, in het bijzonder bij industriële robots. Ook in dit opzicht zijn echter tegenkrachten werkzaam: de robot is ook een potentiële bron van gevaren, vooral indien de veiligheidsvoorzieningen, bijvoorbeeld in geval van storing, buiten werking zijn.

In de *arbeidsvoorwaarden* lijkt sprake te zijn van een ontwikkeling die in grote lijnen konform het traditionele sociale traject is. In samenhang met de ontwikkeling op het gebied van de arbeidsinhoud en het kwalificatieniveau lijkt zich een tendens af te tekenen in de richting van aanpassing in de sfeer van de arbeidsvoorwaarden, met name het loonniveau. Het toenemend gebruik van tijdelijke arbeidskrachten, oproepkontrakten, inleen- en uitzendarbeid is illustratief voor het groeiend belang van 'arbeid als smeermiddel'. Teneinde de bezettingsgraad van de meestal kostbare produktiesystemen te maximaliseren, wordt veelal de ploegendienst geïntroduceerd of geïntensiveerd. Waar de programmeerbare automatiseringstechnologie daartoe mogelijkheden biedt, is een beweging te onderkennen in de richting van een minimaal bezette nachtploeg, met vrijwel uitsluitend een beperkt aantal procesbewakers.

Ook de *arbeidsbelasting* ontwikkelt zich onder invloed van programmeerbare automatisering grotendeels in lijn met het

17. De segmentatietendensen waarop Kern en Schumann (1984) wijzen kunnen worden opgevat als een

nuancering van het hier geschetste beeld.

traditionele sociale traject: enerzijds een afname van de fysieke werkbelasting, anderzijds een toename van de psychische werkbelasting. Denkbaar is dat programmeerbaar geautomatiseerde produktie-systemen leiden tot een verscherping van deze ontwikkeling. De hiervoor aangeduide tendensen op het gebied van kwalifikatieniveau en machinegebondenheid, maar ook daaraan gerelateerde effecten in termen van monotonie, werkcykli, tempodruk en sociaal isolement zijn wat dat betreft een veeg teken.

Programmeerbare automatisering heeft, ten slotte, onmiskenbaar een aanzienlijke invloed op het *aantal arbeidsplaatsen* in de betreffende produktieorganisatie. Ramingen van het exakte aantal arbeidsplaatsen dat in het geding is worden echter gekenmerkt door een grote onzekerheids- en onnauwkeurigheidsmarge. Meetproblemen spelen daarbij een bepalende rol (Bilderbeek, 1984).

Bij CNC-toepassingen lijkt zich een afzwakking van het werkgelegenheidseffect voor te doen; de gevolgen van CNC voor de betrokken arbeidskrachten manifesteren zich waarschijnlijk in versterkte mate op het kwalitatieve vlak.

Bij toepassingen van IR's is de mate van arbeidsuitstoot sterk afhankelijk van factoren zoals:

- de integratie van de IR in een geautomatiseerd produktiesysteem
- de automatiseringsgraad van toezicht en kwaliteitskontrolé
- de onderhoudsbehoefte van de IR
- de aard van het fabriekproces (met name werkstuk- respektievelijk gereedschapshantering).

Het schaarse, anekdotische case-materiaal over gerealiseerde flexibele fabrieksystemen lijkt te wijzen op een zeer aanzienlijke mate van arbeidsuitstoot: de schattingen lopen uiteen van ruwweg een halvering van de behoefte aan menselijke arbeid, tot een besparing van 90%.

Onduidelijk is wat de representativiteit is van het case-materiaal waarop deze ramingen zijn gebaseerd. Duidelijk is dat de 'onbemande' fabriek voorlopig nog een utopie is; menselijke arbeid blijft nodig voor programmeer-, kontrolé-, onderhouds- en reparatietaken, alsmede voor bedieningswerk en andersoortig werk waarvoor volautomatisering niet loont.

Algemene uitspraken over de omvang van het 'werkgelegenheidseffect' van programmeerbare automatisering zijn bij de huidige stand van kennis niet gefundeerd te doen. Het beschikbare empirische materiaal geeft echter aanleiding te veronderstellen dat het arbeidsbesparend effect zo aanzienlijk zal zijn dat volledige kompensatie in termen van werkgelegenheid als hoogst onwaarschijnlijk dient te worden gekwalificeerd.¹⁸

Besluit

Programmeerbare automatisering biedt reële mogelijkheden tot doorbreking van het dominante, op tayloristische principes gebaseerde organisatiedenken. Het is zaak om van deze mogelijkheden, meer dan tot dusver het geval is, ook daadwerkelijk gebruik te maken. Ombuiging van het klassieke sociale traject in een richting die betere mogelijkheden biedt om aan te sluiten bij de maatschappelijke en technische veranderingen die zich in een hoog tempo voltrekken, is des te meer van belang gezien het uitstralingseffect van produktieorganisatorische verandering in de richting van de kwaliteit van het werk binnen die organisatie. De invoering van programmeerbare geautomatiseerde produktiesystemen dient daarom een impuls te zijn op weg naar een nieuw sociaal traject.

Literatuur

- Bilderbeek, R.H., 1984, Effekten van automatisering op arbeid en organisatie in de praktijk, *MB-Produktietechniek* 11/12
- Bilderbeek, R.H., P.J. Kalff, m.m.v. F. Prakke, 1985, *Automatisering van de fabrikage; een verkenning van technische, economische en sociaal-organisatorische aspecten*, Kluwer, Deventer
- Gottschalch, H., 1982, Spielräume technisch-organisatorischer Gestaltung bei Automation. Möglichkeiten ihrer Nutzung am Beispiel von CNC-Maschinen, in *ZFO*
- Kern, H. en M. Schumann, 1984, *Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion*, Verlag C.H. Beck, München
- Klaveren, M. van, 1984, Technologische keuze: de noodzaak van nuancering, *TPE* 8 (2), 44-63
- Kumpe, T., P.T. Bolwijn, J. Boorsma en Q.H. van Bruekelen, 1982, *Technologie en organisatie; computer aided technologieën: naar een meer efficiënte en meer flexibele industrie*, N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, TEO, Eindhoven
- Mickler, O., 1981a, *Facharbeit im Wandel, Rationalisierung im Industriellen Produktionsprozess*, Campus, Frankfurt
- Mickler, O. en M. Schumann, 1981b, Zu den Auswirkungen von Automatisierung und arbeitsorganisatorischer Gestaltung auf Qualifikation und Belastung der Beschäftigten, in *Neue Fertigungstechnologien und Qualität der Arbeitsplätze*, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH

18. In het reeds aangehaalde Philips-onderzoek naar de gevolgen van de invoering van 'computer aided' technologieën voor een hypothetische hoofdindustrie-groep wordt het

werkgelegenheidseffect geraamd op een vermindering van het aantal arbeidsplaatsen met bijna 20% (Kumpe e.a., 1982, 40).

- Office of Technology Assessment (OTA), 1981, *Exploratory workshops on the social impacts of robotics. Summary and issues*, Washington
- Office of Technology Assessment (OTA), 1983, *Automation and the workplace; selected labor, education and training issues. A technical memorandum*, Washington
- Office of Technology Assessment (OTA), 1984, *Computerized manufacturing automation – Employment, education and the workplace*, Washington
- Nelson, R.R. en S.G. Winter, 1977, In search of useful theory of innovation, *Research policy*, 36-76
- Nelson, R.R. en S.G. Winter, 1982, *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge (Mass.)
- Paprocki, J.T., 1978. Flexible manufacturing systems automating the factory, *2nd International Manufacturing Management and Technology Conference*, Londen
- Rankers, H., L.N. Reijers, H.P. Stal en A.J.G. Verbraeken, 1982, *Robots in Japan. Flexibele automatisering in de produktie*, Staatsuitgeverij, Den Haag
- Rempp, H., M. Boffo en G. Lay, 1981, *Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des CNC-Werkzeugmaschineneinsatzes*, Rationalisierungs Kuratorium der deutschen Wirtschaft, Eschborn
- Sankaran, D., 1981, Werkstattprogrammiering. Diskussionsbeitrag zum Thema... Zusammenfassung, in *Neue Fertigungstechnologien und Qualität der Arbeitsplätze*, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
- Sorge, A., G. Hartmann, M. Warner en I. Nicholas, 1983, Company size and work organization in CNC-machining, in *Preprints IFAC workshop 'Design of work in automated manufacturing systems'*, Karlsruhe
- Weidemann, D. en D. Sankaran, 1981, Werkstattprogrammiering von NC-Maschinen, in *Neue Fertigungstechnologien und Qualität der Arbeitsplätze*, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH

In de TPE-serie over nieuwe technologieën verscheen eerder:
 Geerten Schrama, *Bewerkingsmachines met numerieke besturing*. TPE 7/4
 Rob van Tulder, *De rush op de robotindustrie*. TPE 8/1
 Maarten van Klaveren, *Technologische keuze: de noodzaak van nuancering*. TPE 8/2
 Jac Christis, *Automatisering in de procesindustrie*. TPE 8/3