

toekomstbeeld der techniek

31-3

procesinnovatie in de
sector elektro-metaal

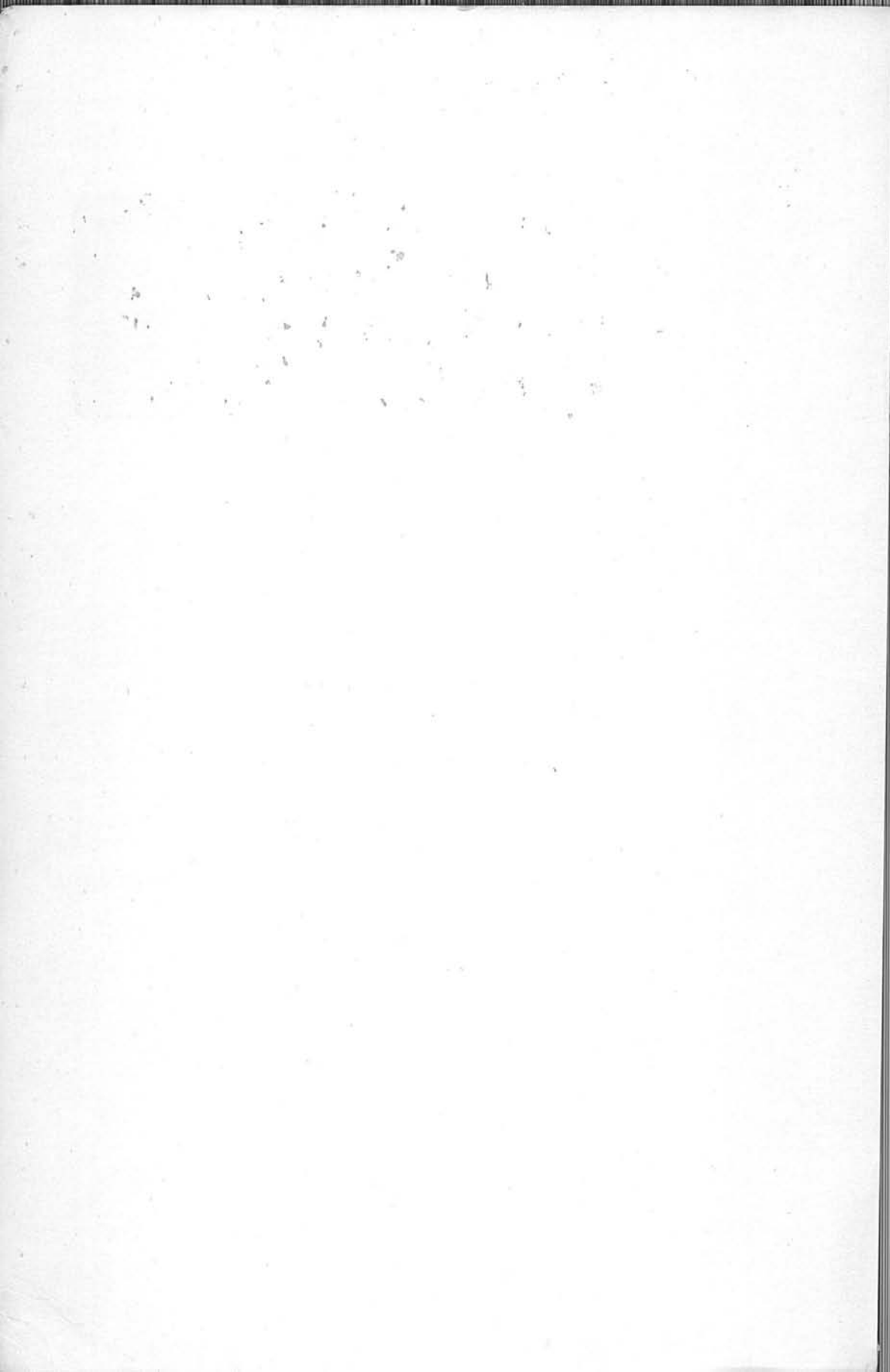
deelstudie van
micro-elektronica in beroep en bedrijf

samenstellers: ir. J.F.P. Schönfeld
ir. H.K. Boswijk

projectgroep elektro-metaal, procesinnovaties:

ir. J. Elshout
ir. C. van den Ent
ir. B. Groot
prof. ir. L.N. Reyers
drs. C.J.J. de Wit

1683 4346



Micro-Elektronica
Procesinnovatie in de sector Elektro-Metaal



C10050
15787

VERVALLEN

P1683
4376

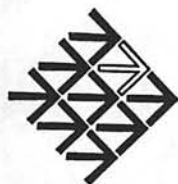
BIBLIOTHEEK TU Delft
P 1683 4376



C

501578

Toekomstbeeld der Techniek 31-3



Stichting Toekomstbeeld der Techniek
(Netherlands Study Centre for Technology Trends)

Micro-Elektronica, Procesinnovatie in de sector Elektro-Metaal

Deelstudie van

Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting

Samenstellers: ir. J.F.P. Schönfeld
ir. H.K. Boswijk

Projectgroep Elektro-metaal, Procesinnovaties: ir. J. Elshout
ir. C. van den Ent
ir. B. Groot
prof. ir. L.N. Reyers
drs. C.J.J. de Wit

16834376



Delftse Universitaire pers/1981

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek – in 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs – heeft als doel:

- het van de ingenieurswetenschappen uit bestuderen van mogelijke toekomstige technische ontwikkelingen, in samenhang met andere maatschappelijke ontwikkelingen;
- het op ruime schaal bekend maken van de resultaten van die studies om daarmee bij te dragen tot het verkrijgen van een meer integraal beeld van de toekomstige Nederlandse samenleving.

De Stichting richt zich daarbij tot het bedrijfsleven, de overheden, het onderwijs en – uiteraard – de geïnteresseerde staatsburger.

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek is gevestigd in het gebouw van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Prinsessegracht 23, Postbus 30424, 2500 GK 's-Gravenhage; telefoon (070)-64.68.00.



Uitgegeven door de
Delftse Universitaire Pers
Mijnbouwplein 11
2628 RT Delft
telefoon (015)-78.32.54

Copyright © 1981 by Stichting Toekomstbeeld der Techniek.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from Stichting Toekomstbeeld der Techniek.

ISBN 90 6275 068 0

INHOUD

1	Micro-elektronica en Procesinnovatie in de sector Elektro-metaal	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting	1
1.3	Structuur van de deelstudie	3
2	De sector Elektro-metaal	5
3	Organisatie van processen	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Ondersteunende afdelingen	7
3.3	Productie	8
3.4	Overkoepelende productiefuncties	11
3.5	Samenvatting	14
4	Technische mogelijkheden	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Besturing van produktiemachines	17
4.3	Fabricage-systemen	21
4.4	Industriële robots	25
4.5	Toepassing van kunstmatige intelligentie in de productie	26
4.6	Tijdschaal	28
5.	Voorbeelden van invoering	31
5.1	Inleiding	31
5.2	Het vervaardigen van plaatwerkprodukten	32
5.3	Numeriek frezen van gecompliceerde vliegtuigspanten	35
5.4	Kwaliteitsbeheersing	38
5.5	Bewerking van nieuwe materialen	39
5.6	Evaluatie	42
6.	Samenvatting	45

1	Introduction	1
2	Chapter I	2
3	Chapter II	3
4	Chapter III	4
5	Chapter IV	5
6	Chapter V	6
7	Chapter VI	7
8	Chapter VII	8
9	Chapter VIII	9
10	Chapter IX	10
11	Chapter X	11
12	Chapter XI	12
13	Chapter XII	13
14	Chapter XIII	14
15	Chapter XIV	15
16	Chapter XV	16
17	Chapter XVI	17
18	Chapter XVII	18
19	Chapter XVIII	19
20	Chapter XIX	20
21	Chapter XX	21
22	Chapter XXI	22
23	Chapter XXII	23
24	Chapter XXIII	24
25	Chapter XXIV	25
26	Chapter XXV	26
27	Chapter XXVI	27
28	Chapter XXVII	28
29	Chapter XXVIII	29
30	Chapter XXIX	30
31	Chapter XXX	31
32	Chapter XXXI	32
33	Chapter XXXII	33
34	Chapter XXXIII	34
35	Chapter XXXIV	35
36	Chapter XXXV	36
37	Chapter XXXVI	37
38	Chapter XXXVII	38
39	Chapter XXXVIII	39
40	Chapter XXXIX	40
41	Chapter XL	41
42	Chapter XLI	42
43	Chapter XLII	43
44	Chapter XLIII	44
45	Chapter XLIV	45
46	Chapter XLV	46
47	Chapter XLVI	47
48	Chapter XLVII	48
49	Chapter XLVIII	49
50	Chapter XLIX	50
51	Chapter L	51
52	Chapter LI	52
53	Chapter LII	53
54	Chapter LIII	54
55	Chapter LIV	55
56	Chapter LV	56
57	Chapter LVI	57
58	Chapter LVII	58
59	Chapter LVIII	59
60	Chapter LIX	60
61	Chapter LX	61
62	Chapter LXI	62
63	Chapter LXII	63
64	Chapter LXIII	64
65	Chapter LXIV	65
66	Chapter LXV	66
67	Chapter LXVI	67
68	Chapter LXVII	68
69	Chapter LXVIII	69
70	Chapter LXIX	70
71	Chapter LXX	71
72	Chapter LXXI	72
73	Chapter LXXII	73
74	Chapter LXXIII	74
75	Chapter LXXIV	75
76	Chapter LXXV	76
77	Chapter LXXVI	77
78	Chapter LXXVII	78
79	Chapter LXXVIII	79
80	Chapter LXXIX	80
81	Chapter LXXX	81
82	Chapter LXXXI	82
83	Chapter LXXXII	83
84	Chapter LXXXIII	84
85	Chapter LXXXIV	85
86	Chapter LXXXV	86
87	Chapter LXXXVI	87
88	Chapter LXXXVII	88
89	Chapter LXXXVIII	89
90	Chapter LXXXIX	90
91	Chapter LXXXX	91
92	Chapter LXXXXI	92
93	Chapter LXXXXII	93
94	Chapter LXXXXIII	94
95	Chapter LXXXXIV	95
96	Chapter LXXXXV	96
97	Chapter LXXXXVI	97
98	Chapter LXXXXVII	98
99	Chapter LXXXXVIII	99
100	Chapter LXXXXIX	100
101	Chapter LXXXXX	101

1. MICRO-ELEKTRONICA EN PROCESINNOVATIE IN DE SECTOR ELEKTRO-METAAL

1.1 Inleiding

De produktieprocessen in de sector elektro-metaal - dit is de metaal- en elektrotechnische industrie - worden in toenemende mate beïnvloed door de vele nieuwe mogelijkheden die micro-elektronica biedt.

Micro-elektronica zal hier worden ingezet op twee gebieden:

- flexibele besturing van produktiemachines;
- automatisering en integratie van informatieverwerking in en rond de produktieprocessen.

In deze sector is reeds geruime tijd mechanisering en automatisering aan de gang, vooral van de fabricage van grote series produkten.

De flexibiliteit in de besturing van allerhande produktiemachines wordt steeds goedkoper. Hierdoor dringt de toepassing van micro-elektronica in hoog tempo door tot produktprocessen met een relatief kleine omzet; ook de produktie van kleine series of soms zelfs van enkele stuks wordt gedeeltelijk automatiseerbaar. Juist hierin wordt 60% van de omzet in Nederland gemaakt. De ontwikkeling die hier mogelijk is, heeft grote betekenis voor deze sector, haar werknemers, en onze gehele economie.

De kostprijs van produkten, de kwaliteitsbeheersing, de organisatiestructuur, de hoeveelheid en de aard van het werk zullen worden beïnvloed; door verbeterde procesbeheersing wordt de mogelijkheid geschapen tot nieuwe en betere produkten. Doordat de ontwikkelingen nog niet ver zijn doorgedrongen, is het moeilijk inzicht te verwerven in andere dan technische aspecten. In dit boek is gepoogd in te gaan op economische, organisatorische en sociale aspecten.

1.2 Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting

'Micro-elektronica en procesinnovatie in de sector elektro-metaal' is geschreven als deelstudie van een breed studieproject van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek. Deze deelstudie kan echter ook op zichzelf gelezen worden. De brede studie 'Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting' heeft als

doelstelling: het schetsen van een redelijk gedetailleerd, goed onderbouwd en evenwichtig beeld van wat micro-elektronica voor beroep en bedrijf te betekenen zal hebben. Het studiegebied is te omschrijven met twee trefwoorden: 'micro-elektronica' en 'beroep en bedrijf'. Micro-elektronica is hierin in zeer wijde zin op te vatten, d.w.z. als het totaal van nieuwe mogelijkheden die ontstaan door het samenspel van een viertal technische ontwikkelingen:

- chiptechniek;
- computertechniek;
- communicatietechniek;
- meet- en regeltechniek.

Het is juist de combinatie van deze ontwikkelingen die zo'n enorm veld van nieuwe mogelijkheden opwekt. Het gaat naast automatiseringsachtige toepassingen vooral om het informatiebeheer.

De studie en daarmee ook deze deelstudie is toegespitst op 'beroep en bedrijf'. Aan algemene maatschappelijke aspecten en zaken als de 'informatiemaatschappij' wordt hoogstens slechts zijdelings aandacht besteed.

De gehele studie bestaat uit negen deelstudies (waarvan dit boekje er één uitmaakt) en een synthese van de belangrijkste in de deelstudies gevonden inzichten.

De bedoeling van de deelstudies is tweeledig: te zamen dienen ze een beeld te geven van de betekenis die het gebruik van micro-elektronica heeft in technische, economische, sociale, organisatorische en innovatieve zin. Bovendien geeft elke deelstudie een beeld van het spanningsveld dat rondom de introductie van micro-elektronica bestaat. Daarbij moet beseft worden dat door het nog steeds bestaande gebrek aan overzicht (ook binnen bedrijven) en door de grote diversiteit in het veld een scherp en uitgesproken beeld niet altijd gemakkelijk te geven is. Micro-elektronica levert een aantal technische hulpmiddelen die al dan niet kunnen worden toegepast. Het keuzeproces hieromheen kan alleen met zin bekeken worden vanuit de specifieke situatie waarop de keuze betrekking heeft. Het is daarom niet mogelijk te zeggen: dit zijn de technische hulpmiddelen, dus dat gaat gebeuren. Het proces is aanzienlijk ingewikkelder en de rol van de techniek daarin aanzienlijk neutraler. In de deelstudies is daarom uitgegaan van de bestaande productieprocessen en organisatiestructuren. Daarin verweven worden de mogelijkheden die micro-elektronica voor de behandelde sector biedt. Er wordt dan bezien welke mogelijkheden, welke

knelpunten, welke bedreigingen en welke wrijfpunten kunnen ontstaan, en waaraan bij de introductie van micro-elektronica waarschijnlijk aandacht zal moeten worden geschonken.

Zowel de deelstudies als de synthese dienen dan ook opgevat te worden als een verkenning, niet als een receptenboek.

De synthese van de studie is uitgegeven onder de titel 'Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting' als publikatie nr. 31 van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek. De deelstudies zijn afzonderlijk gepubliceerd. Het zijn:

- nr. 31-1 Micro-elektronica: de Rundveehouderij;
- nr. 31-2 Micro-elektronica: de Grafische industrie en Uitgeverijen;
- nr. 31-3 Micro-elektronica: Procesinnovatie in de sector Elektro-metaal;
- nr. 31-4 Micro-elektronica: Produktinnovatie van consumentenprodukten en diensten voor gebruik in huis;
- nr. 31-5 Micro-elektronica: het Ontwerpproces;
- nr. 31-6 Micro-elektronica: het Bankwezen;
- nr. 31-7 Micro-elektronica: het Kantoor;
- nr. 31-8 Micro-elektronica: het Reiswezen;
- nr. 31-9 Micro-elektronica: de Belastingdienst.

Twee eerdere publikaties van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek, te weten:

- nr. 25: Arts en gegevensverwerking; en
- nr. 28: Distributie van consumentengoederen; informatie en communicatie in perspectief, dienden bovendien als basismateriaal voor de synthese.

1.3 Structuur van de deelstudie

Deze verkenning naar mogelijkheden en gevolgen van procesinnovatie in de sector elektro-metaal met behulp van micro-elektronica begint met een kort overzicht van de behandelde sector. Die wordt daartoe onderscheiden naar branches, naar de aard van de produktie en naar bedrijfsgrootte. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een overzicht gegeven van de processen die in de sector voorkomen. Deze processen worden in verband gebracht met de mogelijkheden tot innovatie met micro-elektronica. In hoofdstuk 4 worden bestaande en te verwachten technische mogelijkheden behandeld. In hoofdstuk 5

wordt nagegaan hoe deze technische mogelijkheden in een aantal concrete bedrijfssituaties zullen worden gebruikt. Daarbij wordt ook ingegaan op de economische, organisatorische en sociale overwegingen en veranderingen die rond de vernieuwingsprocessen spelen. Het boek wordt afgesloten met een samenvattend hoofdstuk.

De deelstudie 'Micro-elektronica en procesinnovatie in de sector elektro-metaal' is tot stand gekomen door de enthousiaste medewerking van de hiervoor in het leven geroepen projectgroep. De leden van deze projectgroep hebben hun deskundigheid belangeloos en naast hun normale werkzaamheden ingebracht in geschreven bijdragen en geïnspireerde discussie.

De projectgroep bestond uit:

ir. J. Elshout	FDO (tot 1-2-1981)
ir. C. van den Ent	Fokker
ir. B. Groot	Thomassen Holland
prof. ir. L.N. Reyers	TH Delft
drs. C.J.J. de Wit	FME

Tijdens de opzetfase werd de projectgroep voorgezeten door ir. H.K. Boswijk, project-ingenieur bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek en projectleider van het gehele project

'Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting'. Deze deelstudie werd verder uitgewerkt door ir. J.F.P. Schönfeld, eveneens project-ingenieur bij de Stichting.

Ir. J. Enserink en ir. H.M. Visser, werkzaam bij Fokker B.V. leverden schriftelijke bijdragen.

2. DE SECTOR ELEKTRO-METAAL

Het deel van de industrie, dat met 'elektro-metaal' wordt aangeduid, komt in belangrijke mate overeen met wat in CBS-statistieken wordt omschreven als de metaal- en elektrotechnische industrie. Een indruk van de economische structuur van elektro-metaal kan worden verkregen uit tabel 1.

Tabel 1 Globale structuur van de metaal- en elektrotechnische industrie

Sector	Aantal ') bedrijven	Aantal werknemers x 1000	Omzet in 1979 in mln.gld.	
			binnenland	buitenland
Basismetaal	69	36.0	2.357	5.300
Metaalprodukten	1.449	82.3	7.137	2.147
Machinebouw	1.103	85.2	5.032	4.983
Elektrotechniek	239	115.7	5.638	10.182
Transportmiddelen- industrie	513	72.1	4.810	4.725
Instrumenten en optiek	150	9.9	448	921
Totaal	3.523	401.2	25.422	28.258

') Stand per eind 1979: bedrijven met 10 of meer werkzame personen.

Bron C.B.S.

De metaal- en elektrotechnische industrie levert ongeveer 35% van de industriële produktie in Nederland en ruim 10% van de Nederlandse produktie in bedrijven.

De metaal- en elektrotechnische industrie is zeer gevarieerd van samenstelling. Zo kan ieder van de in tabel 1 gegeven sectoren in een aantal produktgroepen worden onderscheiden. Bovendien loopt de omvang van de bedrijven sterk uiteen.

Voorals de basismetaalindustrie en de elektrotechnische industrie omvatten, naast een aantal kleinere, enkele grote bedrijfseenheden; in de metaalprodukten- en machine-industrie komen hoofdzakelijk middelgrote en kleine bedrijven voor. Een beeld daarvan kan

worden verkregen uit de gemiddelde bedrijfsgrootte per sector (tabel 2).

Tabel 2 Gemiddeld aantal werknemers per onderneming

Basismetaal	521
Metaalprodukten	57
Machinebouw	77
Elektrotechniek	484
Transportmiddelen	140
Instrument en optiek	66
Gemiddeld	114

De gevarieerdheid van de metaal- en elektrotechnische industrie komt ook tot uitdrukking in produkten en produktiemethoden.

Voor deze studie zou een indeling naar produktie-technische kenmerken interessant zijn. Hierover is echter onvoldoende statistisch materiaal beschikbaar. Wel is het mogelijk een ruwe schatting te maken naar massaproductie, produktie van grote series en produktie van kleine series of enkele stuks.

Voor twee sectoren, namelijk metaalprodukten en machinebouw, komt men dan tot de in tabel 3 aangegeven procentuele verdeling.

Tabel 3 Globale verdeling van de omzet in produkten en machinebouw naar de vorm van produceren (1979)

Massafabricage	7,5%
Grootseriefabricage	32,5%
Klein serie- of enkelfabricage	60%

Hieruit blijkt dat de kleine serie- en enkelfabricage in de metaalprodukten- en machine-industrie zeer belangrijk is.

In de periode 1973 t/m 1978 werd jaarlijks in de metaalprodukten-industrie ruim f 2.300 per werknemer en in de machinebouwindustrie ruim f 1.700 per werknemer geïnvesteerd. Dit geeft een indruk van de omvang van de bruto-investeringen in deze industrie.

3. ORGANISATIE VAN PROCESSEN

3.1 Inleiding

Het produktieproces in de elektro-metaal behelst het vervaardigen van discrete produkten (te onderscheiden van continuprocessen). Het karakter van het produktieproces wordt in sterke mate bepaald door het produkt (aard, omvang) en door de jaarlijks geproduceerde aantallen.

Massafabricage, meestal van consumentengoederen, vergt andere organisatie en outillage dan serie- en kleinseriefabricage, zoals meestal bij de produktie van kapitaalgoederen het geval is.

Het meest in het oog springende kenmerk dat beide produktieprocessen gemeen hebben, is de grote hoeveelheid informatie die het produktieproces begeleidt.

Micro-elektronica zal in dit gebied worden toegepast bij twee soorten taken: bij de automatisering en integratie van de informatieverwerking en bij de flexibele besturing van produktiemachines. Machinebesturing en informatieverwerking zullen zeer nauw verweven raken.

De informatiestromen in de produktie hangen nauw samen met de organisatie van bedrijfsprocessen. Om de potentiële mogelijkheden van automatisering te beoordelen, is het van belang te letten op de organisatie. Aangezien de automatisering van algemene activiteiten, zoals bijv. personeelsadministratie, niet zal verschillen van die bij een ander soort bedrijf, wordt de invloed van de automatisering aileen gezien voor de ondersteunende afdelingen (verkoop, inkoop, ontwerp, verzending) die vooral informatie voortbrengen of verwerken en voor de produktie-afdelingen waar fysieke handelingen aan het produkt plaats vinden.

3.2 Ondersteunende afdelingen

De verkoopafdeling ondervindt druk uit de markt om snel en flexibel te reageren, bijv. bij het afgeven van levertijden en prijzen van een aantal technische mogelijkheden. Computermodellen waarin een combinatie van technische en administratieve gegevens voorkomt, kunnen daarbij behulpzaam zijn.

Uit de ontwerpafdeling stroomt veel informatie naar andere afdelingen, terwijl deze afdeling ook vaak zeer complexe informatie verwerkt. Het ontwerp zelf kan met technieken die ondersteund worden door de computer (Computer Aided Design, CAD) soms efficiënter geschieden. Deze technieken maken tevens een automatische overdracht van de ontwerpgegevens naar de fabricage-afdeling mogelijk. Bij een complex samengesteld produkt (bijv. een elektrische installatie met veel componenten, of een machine met veel onderdelen) bieden in geautomatiseerde vorm vastgelegde stuklijsten voordelen. Daarmee wordt een betere bewaking en soms een snellere uitvoering van de fabricage mogelijk. Voor de inkoopafdeling gelden soortgelijke mogelijkheden.

Veel informatie is nodig in een verzendafdeling wanneer die grote hoeveelheden produkten moet verzenden en daarbij complex moet plannen, of als met elk te verzenden produkt veel gegevens samenhangen (bijv. staalindustrie). Dit geldt te meer als veel documenten moeten worden vervaardigd voor verzending naar het buitenland met diverse transportmiddelen. De verzendafdeling is dan sterk afhankelijk van een grote hoeveelheid actuele gegevens van de fabricage-afdeling.

Aangezien de ondersteunende afdelingen primair informatie-verwerkende afdelingen zijn, ligt het voor de hand dat ze door automatisering hun slagvaardigheid kunnen verbeteren en daarmee de concurrentiekracht van het bedrijf kunnen verhogen.

3.3 Productie

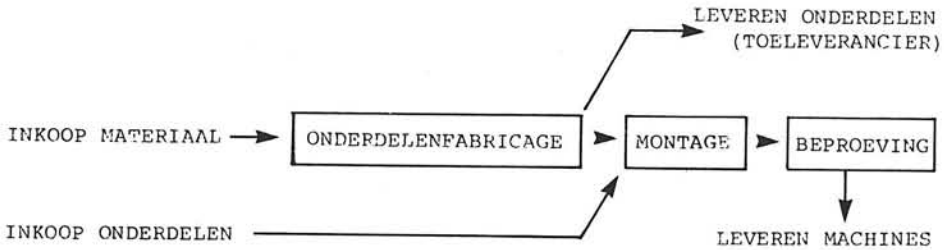
Het productieproces van discrete produkten kent twee processen. Het eerste daarvan is de fysieke stroom van produkten van ruw materiaal of halffabriekaat tot gereed produkt: het fabricageproces. De voornaamste stadia zijn bewerkingen en montage met daartussen inspectie en opslag.

Het tweede proces omvat het ontwerpproces, werkvoorbereiding in de productie, ontwerp en vervaardiging van produktgebonden gereedschap voor fabricage, montage, inspectie en service. Kenmerkend voor deze handelingen is dat zij voor een bepaald produkttype eenmalig zijn.

In beide processen gaat micro-elektronica een grote rol spelen, primair bij de automatisering van de informatieverwerking. Een belangrijk aspect hierbij is de automatiseringsgraad, die

momenteel voor de diverse deelprocessen varieert van 0 tot 80%. Een algemeen processchema voor de produktie in de metaalindustrie is aangegeven in figuur 1. Dit beschrijft de doorstroming van het produkt door het produktieproces.

Figuur 1 Processchema voor de produktie



De drie hoofdstadia in het produktieproces worden hier kort toegelicht.

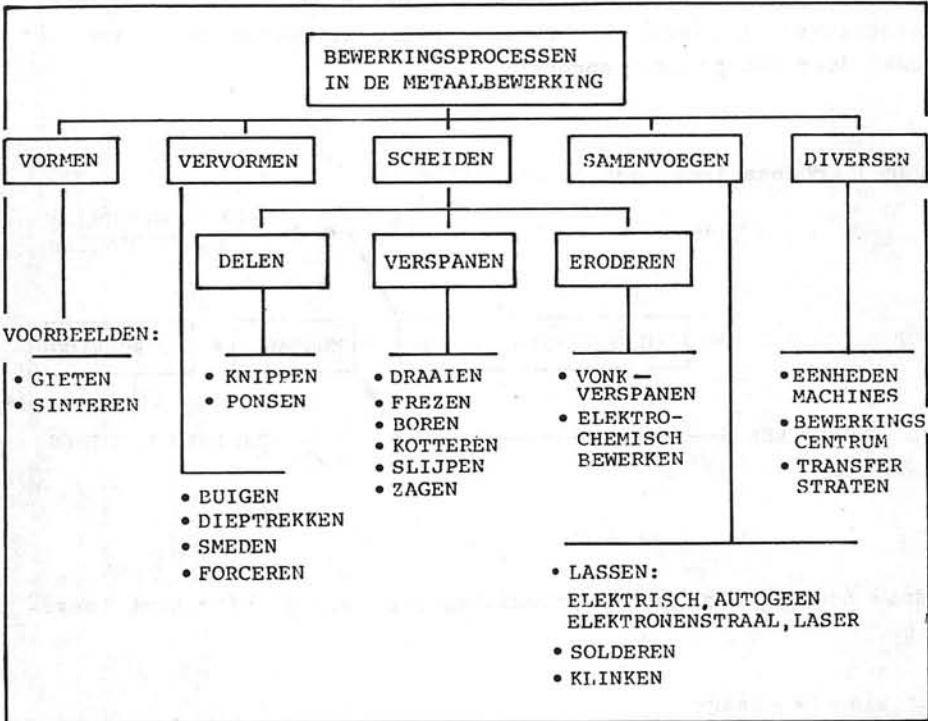
Onderdelen fabricage

Figuur 2 geeft een overzicht van de bewerkingen toegepast in de onderdelenfabricage. De machines die deze bewerkingen uitvoeren heten gereedschapswerktuigen. Kenmerkend voor deze produktiemachines is dat produkt en gereedschap met grote nauwkeurigheid ten opzichte van elkaar worden gewogen terwijl bewerkingsenergie wordt toegevoerd; 60% van alle gereedschapswerktuigen zijn van het ver-spanende type. Deze produktiemachines lenen zich goed voor automatisering, zoals in hoofdstuk 4 nader zal worden uiteengezet.

Montage

Montage (in de massafabricage aangeduid met assemblage) is het samenvoegen en bevestigen van onderdelen. Het betreft bijna altijd complexe handelingen, die bij de huidige stand van de techniek nog moeilijk automatiseerbaar blijken. Alleen in de massafabricage zijn assemblage-deeltaken soms verregaand gemechaniseerd.

Figuur 2 Bewerkingsprocessen in de onderdelenfabricage



Beproeving

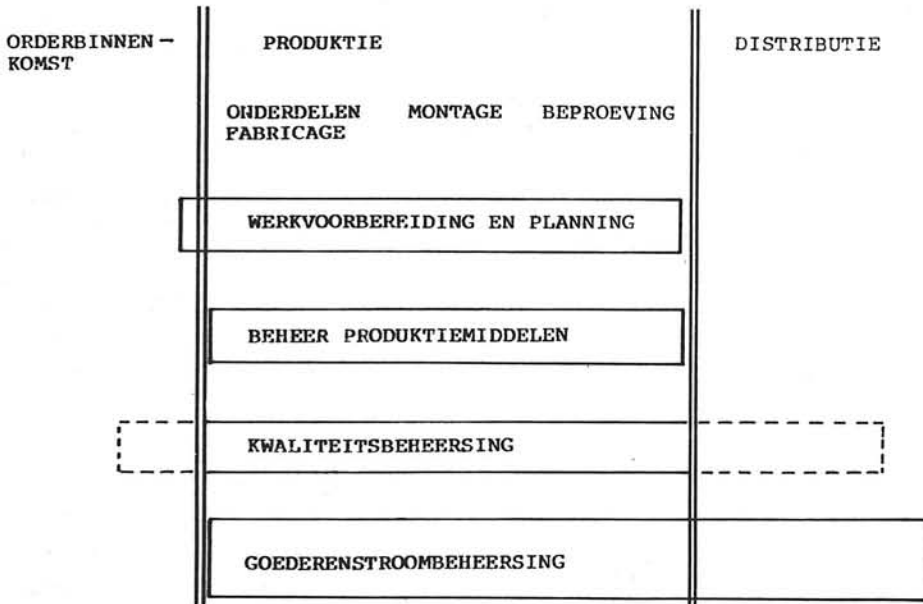
Het gereed produkt wordt bijna altijd onderworpen aan een functionele eindbeproeving. In de massafabricage geschiedt dit vaak in de vorm van steekproeven. Er zijn ontwikkelingen waardoor meten belangrijker wordt, zowel na montage als tijdens het produktieproces. Ten eerste wordt een betere kwaliteitsrapportage vereist in verband met juridische aspecten, ten tweede streeft men naar een betere kwaliteitsbeheersing met als secundaire effecten: gunstiger kosten en levertijden. Om de kwaliteit beter in de hand te kunnen houden, moeten de fabricageprocessen beter worden beheerst. Daartoe is het nodig te meten, zodat afwijkingen kunnen worden geconstateerd, geanalyseerd en teruggekoppeld. Het verzamelen en registreren van grote hoeveelheden meetgegevens is een moeizame en tijdrovende zaak waar meestal weinig van terecht komt, evenmin als de analyse van de grond kan komen. Soms zijn de universele meetmethoden ontoereikend voor het beproeven van complexe produkten.

Daarvoor wordt dan produktiegebonden meetapparatuur gemaakt. Meet- en beproevingsapparatuur leent zich zeer goed voor automatisering, zowel voor het besturen van de meet- en beproevingshandelingen, als voor het verzamelen en verwerken van de meetgegevens.

3.4 Overkoepelende produktiefuncties

Figuur 3 geeft aan hoe dwars door de bovenbeschreven produktiestadia een aantal belangrijke bedrijfsfuncties heenlopen. Ook deze functies hebben met elkaar gemeen dat zij zeer informatie-intensief zijn.

Figuur 3 Informatiestromen en de produktiestadia



Werkvoorbereiding en planning

Een essentiële rol in de voorbereiding en planning van complexe processen spelen de werkvoorbereiding en de planning. Ook de voortgangsbewaking is een belangrijke functie in de produktie. Dit laatste is geen eenvoudige taak: bij de huidige stand van de techniek ontbreekt een inzicht in de momentele situatie (welk onderdeel is nu op welke machine in bewerking?, welke delen van een

order zijn gereed?, wat is precies de bezetting nu en binnenkort van een machine?). Het gevolg van dit gebrek aan informatie is verminderde efficiëncy. Kenmerkend voor de doorgang van een produkt in dit proces is, dat het te bewerken produkt veruit het grootste gedeelte van de tijd niet bewerkt wordt, doch ligt te wachten. Dit betekent dat er in het produktieproces voorraadvorming optreedt die tot vrij grote proporties kan oplopen. Lange doorlooptijden verminderen de commerciële slagvaardigheid van een bedrijf, terwijl een groot kapitaalbeslag in het onderhanden werk gaat zitten.

De afdelingen werkvoorbereiding en planning lenen zich als knooppunt van informatiestromen bij uitstek voor automatisering. Tevens komen daar technische en administratieve gegevensverwerking samen (bijv. technische gegevens van ontwerp- naar fabricage-afdeling, planninggegevens en stuklijsten van verkoop naar fabricage, voortgangs- en produktgegevens van fabricage naar verzending).

Beheer van produktiemiddelen

Ook het beheer van produktiemiddelen is informatie-intensief. Dit beheer omvat: bij machines en gereedschappen: installatie, periodiek onderhoud, reparatie en capaciteitsplanning;

bij verbruiksgoederen, zoals snijgereedschappen en koelvloeistof: aanschaf, distributie en voorraadbeheer; bij afvalprodukten, zoals spanen, chemisch afval en afgassen: beheersing van afvoer, terugwinning en milieubescherming.

Even goed als bij produkten in het produktieproces veel tijd met wachten gemoeid is, worden ook machines niet voortdurend gebruikt. Dit is zowel een gevolg van de noodzaak tot opnieuw instellen van de machines voor nieuwe werkstukken, alswel van onvolkomenheden in produktieplanning. Om te komen tot een optimale beheersing van een fabricage-eenheid moet nog veel onderzoek worden verricht.

Gegevensverwerkende systemen zullen snel aan belang winnen voor rapportering en evaluatie van produktieresultaten. Deels zullen deze systemen op handinvoer gebaseerd zijn, maar ook zullen steeds meer metingen elektronisch worden verricht en dus goed bruikbaar zijn voor verdere verwerking. Met behulp van deze systemen wordt de status van produkten en produktiemiddelen in detail bekend (bezetting machine, de status van een order, enz.). Snel ingrijpen en zelfs anticiperen op nog te verwachten moeilijkheden wordt mogelijk.

Kwaliteitsbeheersing

De eindbeproeving of -inspectie na de montage is een onderdeel van de kwaliteitsbeheersing. Onder toenemende druk van afnemers en maatschappij komt een betere beheersing van het gewenste kwaliteitsniveau tot stand. Die omvat niet alleen meer meten aan het produkt in alle stadia van de produktie, maar ook een betere beheersing van produktiemiddelen, -processen en procedures.

Automatisering van de informatieverwerking zal bij kwaliteitsbeheersing een essentiële rol gaan spelen. Een snelle terugkoppeling van produktieresultaten wordt mogelijk, alsmede het aangeven van trends, zodat de kwaliteitsbeheersing steeds meer een integraal onderdeel van het gehele proces wordt in plaats van controle achteraf.

Ook als na in gebruikname klachten optreden, is het gewenst de verschijnselen te kunnen correleren met produktie- en beproevingsgegevens. Dit vereist het vastleggen en verwerken van grote hoeveelheden informatie.

Goederenstroombeheersing (logistiek)

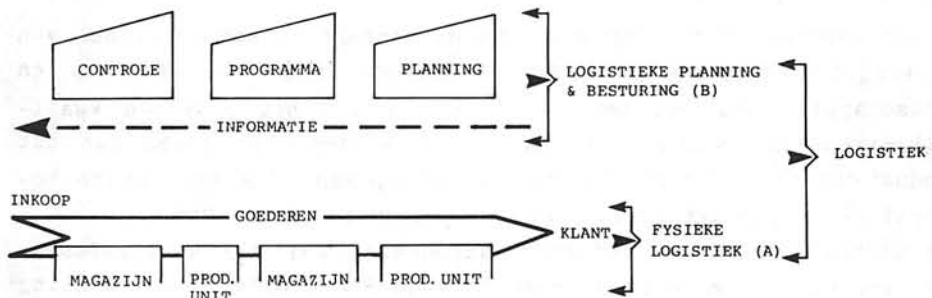
Beheersing van de stroom van goederen is het complex van organisatorische en operationele maatregelen waarmee de juiste goederen tegen minimale kosten op het juiste tijdstip in de gewenste hoeveelheid en kwaliteit de juiste bestemming bereiken. De behoefte aan deze beheersing komt voornamelijk voort uit de wens zinvol te reageren op fluctuaties en variaties in de afname van produkten.

Het aantal voorraadpunten en de geografische ligging ervan worden bepaald door een compromis tussen de gewenste beschikbaarheid en de transport- en voorraadkosten. De goederenstroom en de beheersing ervan vormen een bedrijfsfunctie even essentieel als de basisfuncties inkoop, ontwikkeling, produktie en verkoop.

De logistiek is te onderscheiden naar fysieke logistiek en planning en sturing (zie figuur 4).

Met fysieke verplaatsing en opslag van goederen (grondstoffen, halffabrikaten, eindprodukten, gereedschappen, afval, energie) en de daarbij behorende informatie, moet een optimale afstemming worden verkregen tussen de mogelijkheden van de beschikbare produktiefaciliteiten en de beschikbaarheid van de voor de produktie

Figuur 4 Aspecten van logistiek



noodzakelijke middelen. Het optimum moet liggen binnen een aantal randvoorwaarden t.a.v. veiligheid, kwaliteit, sociale aspecten en technische mogelijkheden.

Het fysieke transport gaat samen met planning- en besturingsactiviteiten, die gericht zijn op het bereiken van het eerder genoemde optimum. Dit alles valt uiteen in de volgende activiteiten:

bepalen van de patronen welke de fysieke stroom moet volgen, bepalen van tijdsrelaties en bepalen van kwantiteitsrelaties (planning);

bij begin van een order sommeren van de uit te voeren logistieke (fysieke) activiteiten voor de inpassing ervan in de capaciteit van het transportsysteem, bijv. dagelijks rijplan nachtautochauffeur (programmering);

na behoeftesignaal van de produktie, de fysieke transportactiviteiten in gang zetten en besturen (operations control).

3.5 Samenvatting

Bij de oplossing van een aantal organisatorische problemen blijkt automatische gegevensverwerking een bijdrage te kunnen leveren. Dit geldt vooral voor de ondersteunende afdelingen, die in wezen een informatie-verwerkende rol spelen. Bijzondere aandacht verdient de werkvoorbereiding.

Voor de uitvoering van het technische proces zelf worden reeds veel hulpmiddelen (bijv. numeriek bestuurd machines) gebruikt, hoewel ook daar nog een snelle ontwikkeling gaande is (zie hoofdstuk 5). Het sturen in de voortgang van het werk stuit op grote problemen omdat een direct inzicht in de momentele situatie ontbreekt en er nog weinig geautomatiseerd is.

Bij het opheffen van het gebrek aan snelle bijsturing in de voortgang van bewerkings- en opslagprocessen, zullen meer geïntegreerde geautomatiseerde systemen een grote rol spelen. Te denken valt bijv. aan computer hiërarchieën, waarmee gegevensuitwisseling tussen machine en planningsystemen mogelijk wordt, of aan mechanische installaties waarin bewerkingen en transport geïntegreerd zijn. Deze technische hulpmiddelen worden in hoofdstuk 4 nader beschreven.

4. TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

4.1 Inleiding

Micro-elektronica zal bij de produktie in hoofdzaak worden ingevoerd in de vorm van digitale computers in alle denkbare verschijningsvormen.

De twee klassen van taken genoemd in hoofdstuk 3, namelijk automatisering van de informatieverwerking en besturing van produktmachines, vragen verschillende technieken.

Informatieverwerking vraagt netwerken van computersystemen met grote gegevensbestanden en met snelle in- en uitvoerapparatuur. Zij vervangen handmatige administratieve taken.

Besturing vraagt kleine computers, die zijn ingebouwd in de machines. Kenmerkend is hierbij de gelijktijdigheid. De computers werken in dezelfde tijd als de machines die zij besturen. Dit stelt in sommige gevallen hoge eisen aan de verwerkingssnelheid.

Kleine computers kunnen in veel gevallen niet alleen besturingslogica vervangen die nu is uitgevoerd in pneumatiek, relais en vast bedrade elektronische logica, maar ook de informatie vastgelegd in mechanismen en nok-nokvolgercombinaties. Tevens wordt het economisch aantrekkelijk steeds meer handbediende machines te automatiseren met behulp van computerbesturing. De kleine afmetingen van microcomputers maken het mogelijk delen van de machine van een eigen besturing te voorzien. Het grote voordeel van deze machinedelen is dat zij afzonderlijk kunnen worden geregeld en getest.

De informatieverwerkende capaciteit van kleine computers verlenen de machine het vermogen om, via voelers, uit de machine of uit het proces gegevens te verzamelen en te verwerken.

Deze informatie kan worden verstrekt aan de bedieningsman of worden doorgegeven aan een hoger gelegen informatiesysteem.

4.2 Besturing van produktiemachines

De computersystemen verschijnen in een aantal toepassingen die specifiek zijn voor de produktie. De voornaamste hiervan worden hierna behandeld.

Sequentiële besturing

In de massafabricage worden produktgespecialiseerde machines gebruikt, waarbij de afloop van de bewerkingscyclus langs mechanische of elektromechanische weg wordt bepaald (transferstraten in de automobielenindustrie en bedrijfsmechanisatie (BM)-machines in de consumentengoederenindustrie). Deze machines worden in toenemende mate voorzien van elektronische sequentiële besturingen, die eenvoudige 'aan-uit' logica bevatten. Een commercieel verkrijgbare standaardbouwsteen is de PLC (Programmable Logic Controller).

Numerieke besturing

Numerieke besturing is het sturen van machines met behulp van numerieke informatie (bijv. coördinaatwaarden). Numerieke besturing is een vorm van flexibele automatisering. Een ander programma leidt (binnen de begrenzings van de machine) tot een ander produkt).

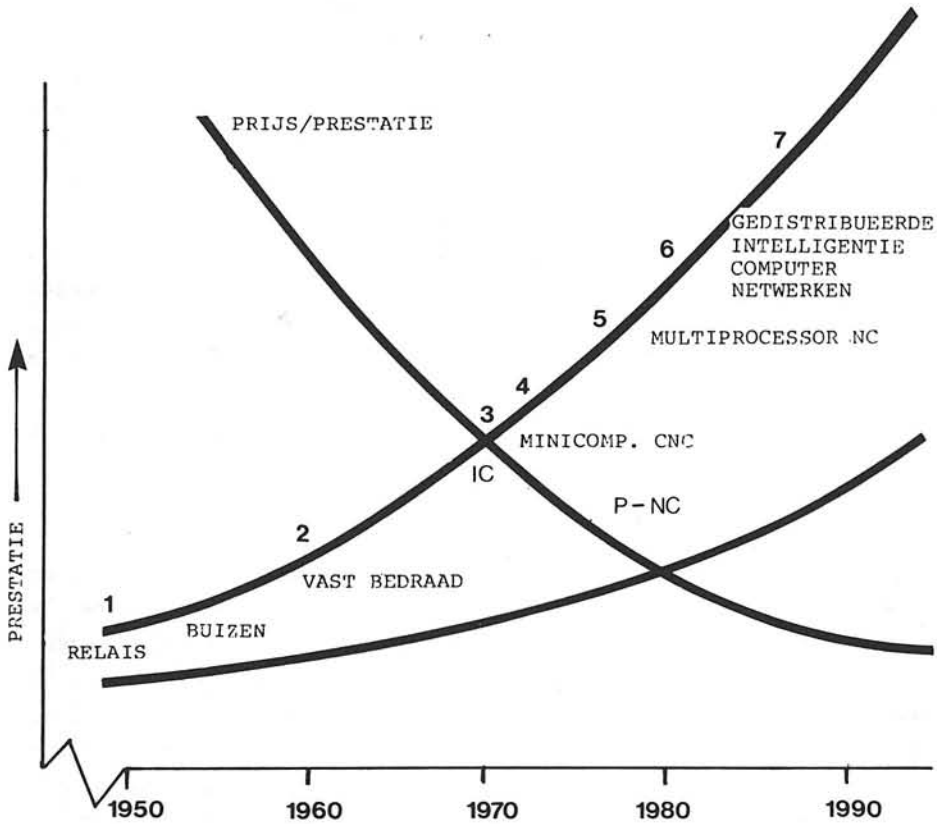
In figuur 1 is aangegeven dat de prestaties snel toenemen, terwijl de prijs/prestatieverhouding snel daalt.

In de fasen 1, 2 en 3 was numerieke besturing uitgevoerd met vast bedrade logica. Rond 1970 deed Computer Numerical Control zijn intrede, waarbij de besturingskast een minicomputer bevat die zodanig is geprogrammeerd dat hij zich gedraagt als een numerieke besturing. Numerieke besturing is rond deze tijd een gevestigde en goed beheerste techniek. Van 1975 af verschijnen microprocessors in de besturingen. Vrijwel de enige reden hiervoor is kostenbesparing.

Figuur 1 illustreert dat de komst van micro-elektronica geen stap-functie in automatisering is, doch slechts de versnelling van een proces dat reeds lang aan de gang is.

De steeds goedkoper wordende micro-elektronica maakt het mogelijk de automatisering nu op grote schaal te gaan toepassen. Bovendien kunnen bestaande, geavanceerde computertechnieken, die tot nu toe waren voorbehouden aan de allerduurste grote computerinstallaties, worden toegepast op kleine, relatief goedkope automatiseringen.

Figuur 1 De ontwikkeling van numerieke besturing



Numerieke besturing wordt toegepast op een wijde scala van produktiemachines. De grootste klasse van numeriek bestuurd machines vormen de gereedschapswerktuigen. Hoewel op dit moment slechts 3% van alle geïnstalleerde gereedschapswerktuigen numeriek bestuurd zijn, ligt de produktie van deze machines, door de hogere produktiviteit, rond 10% van het totaal.

Een belangrijk nieuw toepassingsgebied is de numeriek bestuurd meetmachine. Numeriek bestuurd meetmachines worden gekenmerkt door het feit dat de metingen door middel van een programma kunnen worden gestuurd. Daarbij kunnen ook standaard routines worden opgeroepen zoals het meten van de hartlijn van een gat door middel

van een vierpuntsmeting. Van belang is niet alleen dat de coördinaten van allerlei punten kunnen worden gemeten, doch ook dat door rekenprogramma's de onderlinge ligging van vlakken en maten van de vormen kunnen worden bepaald. Deze gemeten en berekende waarden kunnen bovendien worden vergeleken met gewenste waarden die men in het geheugen kan laten inlezen. Alle gegevens kunnen worden afgedrukt, zodat automatisch een meetrapport tot stand komt, waarbij het ook mogelijk is slechts de afwijkingen buiten de toegestane tolerantie te rapporteren.

Is de mogelijkheid van numeriek gestuurd meten eenmaal aanwezig, dan wordt de programmatuur van essentieel belang teneinde de gegevens zodanig te groeperen dat het mogelijk is het proces te analyseren en op grond daarvan te verbeteren. Zo zijn er programma's bekend die een bepaald opgemeten geometrisch lichaam zodanig in zijn geheel verplaatsen, dat het zo goed mogelijk in een vooraf gedefinieerde theoretische vorm past. Deze wetenschap kan bijv. ook worden gebruikt bij montage zodat wordt bespaard op pas maken.

Men kan echter met deze meetmachines nog verder gaan, door voor grotere series onderdelen statistische kwaliteitscontrole toe te passen. Er zijn gevallen bekend, waarbij voor een bepaald onderdeel de informatie wordt opgeslagen. Indien bij een bepaalde meting zelden of nooit een afwijking wordt gevonden, dan bepaalt het programma automatisch een lagere meetfrequentie. Voor dezelfde terugkerende metingen kan dan een statistisch verantwoorde steekproefcontrole worden gehanteerd. Het is duidelijk dat, waar de apparatuur nu voldoende en tegen aanvaardbare prijs verkrijgbaar is, de geschikte programmatuur essentieel is voor een geïntegreerde kwaliteitsinformatieverwerking.

Toekomstige ontwikkeling

Rond 1990 zullen besturingen ontstaan die bestaan uit zogenaamde 'gedistribueerde intelligentie netwerken' (zie fase 7 in figuur 1). De besturingstaken worden uitgevoerd in een netwerk van kleine specifiek voor het toepassingsgebied ontworpen computers die fysiek zijn geïntegreerd met de diverse machinedelen. Deze machinedelen, zoals een slede met servosysteem of een automatische gereedschapswisselaar, kunnen zelfstandig functioneren. De informatieverwerkende mogelijkheden van de lokale besturingen verlenen aan een

machine-eenheid een zekere intelligentie. De voordelen zijn groot. Een sterk modulaire opbouw reduceert de kostprijs. De gebruiker krijgt grotere vrijheid uit deze zelfstandige moduuls op zijn wensen toegesneden produktiemachines samen te stellen. De besturing is tot veel in staat.

Computer-gegenereerde werkstukprogramma's worden gemaakt voor een bepaalde klasse van gereedschapswerktuigen. De besturing verricht de aanpassing van zo'n gegeneraliseerd programma aan de specifieke mogelijkheden van de machine. In het vakjargon wordt dit postprocessing genoemd.

De communicatie tussen bedieningsman en besturing is menselijker geworden.

Belangrijke procesparameters worden gemeten en verwerkt in zelflerende strategieën die het bewerkingsproces optimaliseren. In vaktermen: adaptive control.

Uitgebreide diagnostische faciliteiten maken snelle reparaties mogelijk.

Bijna alle gereedschapswerktuigen zijn nu op een of andere manier bestuurbaar via elektronische signalen.

4.3 Fabricage-systemen

Directe numerieke besturing (Direct Numerical Control)

DNC bestaat uit een computersysteem dat rechtstreeks is verbonden met een aantal numerieke besturingsmachines en dat een bestand bevat waarin de numerieke besturingwerkstukprogramma's zijn opgeslagen. De DNC-computer stuurt deze werkstukprogramma's naar behoefte naar de aangesloten machines. Hiermee wordt het beheer van de vaak omvangrijke hoeveelheden werkstukprogramma's in een werkplaats aanzienlijk vergemakkelijkt.

Indien op de DNC-computer een programmeertaak is ingebracht, kunnen vanaf de aangesloten machines werkstukprogramma's worden veranderd. Uiteraard kunnen met behulp van DNC-systeem ook nieuwe numerieke besturingsprogramma's worden vervaardigd.

Wellicht de belangrijkste reden voor het invoeren van directe numerieke besturing is de mogelijkheid automatisch produktiegegevens te verzamelen en te verwerken.

Ook de DNC-techniek is niet nieuw. Rond 1970 werd DNC geïntroduceerd op basis van minicomputers. Door de hoge kosten waren deze

systemen nauwelijks economisch verantwoord. Thans echter brengt goedkope micro-elektronica DNC weer in het centrum van de belangstelling. Hoewel in Nederland nog geen DNC-systemen in bedrijf zijn, is er onder de grote gebruikers een toenemende belangstelling te constateren.

Met DNC ontstaat de integratie van machinebesturing en informatieverwerking.

Flexibele fabricage-systemen

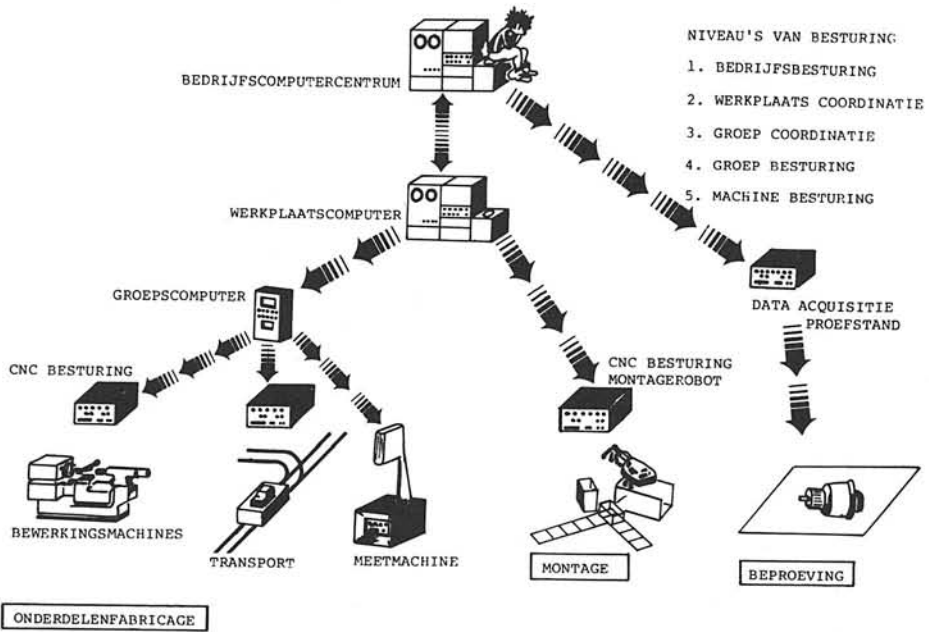
Indien een DNC-systeem wordt toegepast op een groep van numerieke besturingsmachines, die te zamen een logische fabricage-eenheid vormen waarop een familie van onderdelen geheel kan worden vervaardigd en die bovendien zijn voorzien van automatisch werkstuktransport tussen de machines, spreekt men van flexibele fabricagesystemen. Deze systemen zijn geschikt voor produkten die in middelgrote series worden vervaardigd, maar die te zamen een groot produktievolume vertegenwoordigen (bijv. tractoren, machines voor grondverzet).

Computer-ondersteunde fabricage (Computer Aided Manufacturing, CAM)

Indien zulke DNC-systemen worden geïntegreerd in computernetwerken waarin de produktiebesturing van het gehele bedrijf plaatsvindt, spreekt men van Computer Aided Manufacturing (CAM). Volledige CAM-systemen zijn nog nauwelijks uitgevoerd. Het grootste struikelblok is het toepassingsprogramma in zulke grote systemen. Dat is sterk bedrijfsgebonden en het opzetten van deze systemen vereist zeer grote investeringen. De komst van goedkope apparatuur zal hieraan niet veel veranderen. Pas wanneer goede standaardbouwstenen voor programma's op de markt verschijnen waaruit een op de gebruiker toegesneden systeem kan worden samengesteld, zal de grote doorbraak van CAM-systemen plaats vinden.

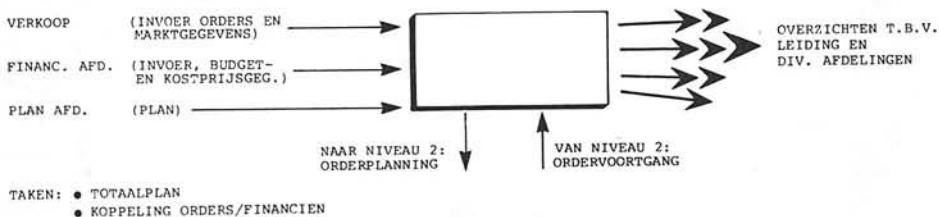
In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een mogelijke structuur van een volledig CAM-systeem. Hierin zijn vijf niveaus van besturing onderkend. In figuur 3 is voor ieder van deze niveaus aangegeven welke informatiestromen worden verwerkt en welke taken worden uitgevoerd.

Figuur 2 Systeemhiërarchie in een werkplaats

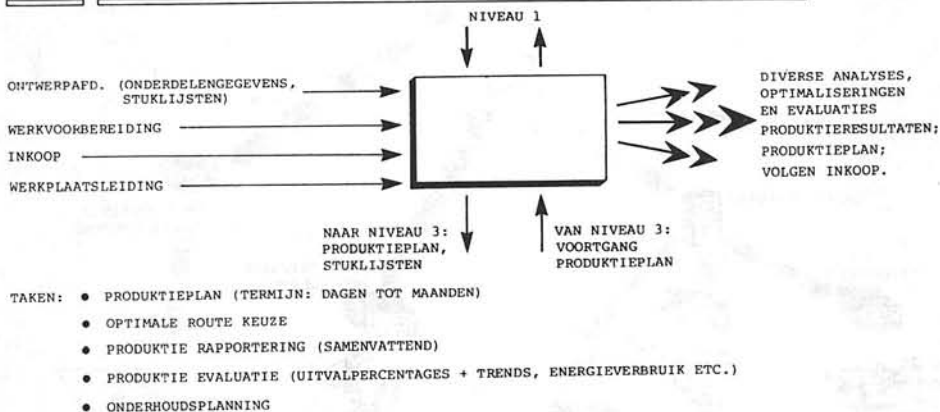


Figuur 3 Systeemhiërarchie in een werkplaats (vervolg)

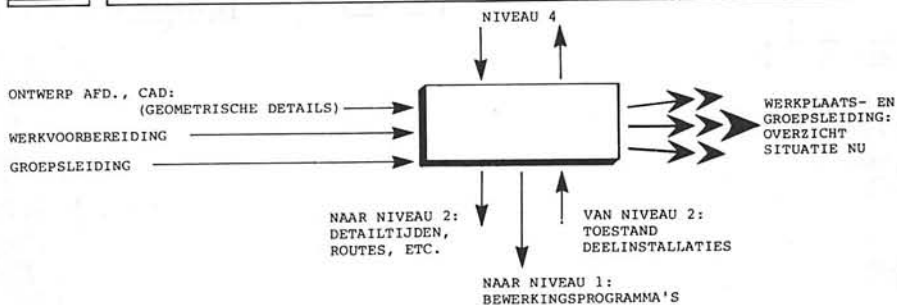
NIVEAU 1: BEDRIJFSBESTURING (GEGEVENS OP AFDELINGS- OF ORDERNIVEAU)



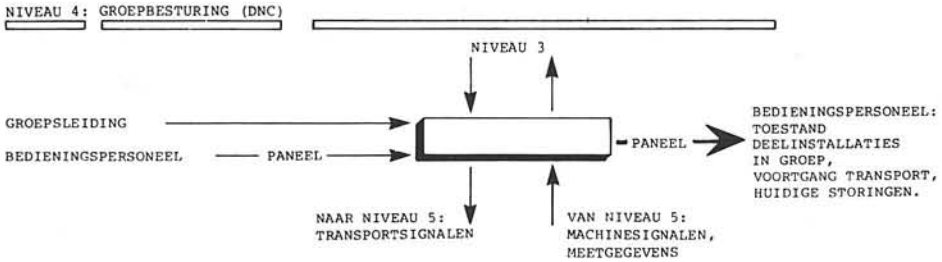
NIVEAU 2: WERKPLAATS COORDINATIE (GEGEVENS OP INSTALLATIE- EN DISCRETE ONDERDELEN NIVEAU)



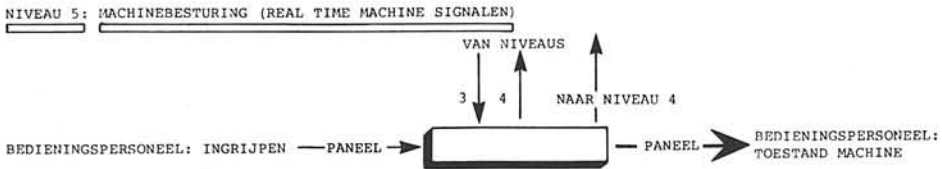
NIVEAU 3: GROEP COORDINATIE (GEGEVENS OP DETAILPLANNINGNIVEAU, GEOMETRISCHE DETAILGEGEVENS)



Figuur 3 (vervolg)



- TAKEN:
- MACHINES IN GROEP VOORZIEN VAN OPDRACHTEN EN VERZAMELEN BEDRIJFSGEGEVENS
 - BESTURING VAN TRANSPORT TUSSEN MACHINES, ROBOTS, ETC.
 - VOORRAADBEHEERSING (WAAR LIGT WAT?)



- TAKEN:
- UITVOEREN BEWERKINGEN, METINGEN

4.4 Industriële robots

Industriële robots zijn vrij programmeerbare produktiemachines voor het hanteren van produkten of speciale gereedschappen. De industriële robots zijn in dit rapport in een aparte paragraaf ondergebracht omdat zij zich stormachtig ontwikkelen en omdat zij zonder twijfel in de komende decennia een zeer grote invloed zullen hebben op de automatisering in de produktie.

In de wereld zijn nu ongeveer 15.000 programmeerbare industriële robots in gebruik, waarvan ongeveer de helft in Japan is geïnstalleerd. Beschikbare getallen variëren sterk, afhankelijk van de gebruikte definitie. Hoewel industriële robots sinds de jaren vijftig in gebruik zijn, bleef de toepassing ervan beperkt. De economische haalbaarheid was marginaal en de inzetbaarheid was beperkt tot zeer eenvoudige deeltaken.

In de laatste jaren is hierin sterk verandering gekomen. Enerzijds zijn in de geïndustrialiseerde landen de kwaliteitseisen sterk

gestegen. Voor vuil en gevaarlijk werk zijn zelfs geen gastarbeiders meer te vinden. Anderzijds leiden de nieuwe mogelijkheden van goedkope micro-elektronica tot betere en flexibele besturingen.

De meeste industriële robots (ongeveer 40%) worden gebruikt voor het laden en lossen van produktiemachines, zoals spuitgietmachines, persen en verspanende gereedschapswerktuigen. Een kleine 30% wordt gebruikt voor puntlassen (automobieliindustrie) en elektrisch booglassen, 20% wordt toegepast bij verfspuiten.

Het grote potentieel van de industriële robots ligt in de montage (nu slechts 3%). Het grote struikelblok is het ontbreken van visuele en voelingsterugkoppelingen, waardoor zij maar in zeer beperkte mate montagetaken kunnen verrichten. Vergelijken met de mens die zij moeten vervangen, zijn zij niet alleen dom, maar ook blind, doof en gevoelloos.

In de onderzoekcentra wordt zeer veel geïnvesteerd in de ontwikkeling van visuele, auditieve en voelsensoren voor industriële robots.

4.5 Toepassing van kunstmatige intelligentie in de produktie

4.5.1 Inleiding

Kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence, AI) is momenteel nog in een pril stadium van onderzoek. Maar zonder twijfel zal AI de basis zijn van de onbemande fabrieken van de volgende eeuw.

Reeds in de jaren vijftig ontstond het idee bij bijv. Alan Turing in Groot-Brittannië en bij Simon en Newell in de Verenigde Staten, om een machine te bouwen voor het uitvoeren van processen die tot dusverre slechts met menselijk intellect konden worden voltrokken. De huidige ontwikkelingen zijn bescheidener van aard: probeer computermodellen te maken van sommige aspecten van de menselijke intelligentie. Weizenbaum noemt dat de 'simulation mode'. De laatste tijd komt in onderzoekcentra, zoals Stanford Research Institute, MIT en Hitachi, steeds meer de nadruk te liggen op een andere richting: de 'performance mode'. Bouw machines die zich 'intelligent' gedragen. De resultaten van dit onderzoek zijn

direct toepasbaar voor produktie-automatisering.

4.5.2 Automatisering met kunstmatige intelligentie

Twee aspecten van AI zijn van speciaal belang voor automatisering van de produktie: hogere orde besturingssystemen en de communicatie tussen mens en machine. Hogere ordebesturing houdt in het besturen van het proces, de machines en het produceren. Thans worden alleen de machines bestuurd, de rest is open. Hiervoor zijn hogere orde sensoren nodig, zoals kunnen kijken, horen en voelen. Deze sensoren bestaan al, of zijn in ontwikkeling, bijv. voor systemen die beelden omzetten in digitale informatie en voor spraakherkenningssystemen.

Moeilijker is het interpreteren van de informatie en het maken van de juiste gevolgtrekkingen. Kijken wordt zien en horen wordt luis-teren. Kunstmatige perceptie is een wezenlijk element in deze hogere orde terugkoppelingen.

Naast terugkoppelingen zijn ook hogere orde regelstrategieën nodig, goede heuristische probleemoplossingen die kunnen leiden tot zelf-optimaliserende machine- en fabrieksbesturingssystemen. Belangrijk is hierbij het zelflerend vermogen. Raphael van Stanford Research Institute, onderscheidt vier niveaus van leren: Het laagste niveau is het leren van feiten. Nu is dat al gerealiseerd in sommige computerschaakprogramma's (het onthouden van goede oplossingen) en in programma's om de weg door een doolhof te vinden (onthouden van de blinde gangen).

Een niveau hoger ligt het leren van parameters. Binnen een gegeven raamwerk worden tijdens het leerproces groepen van parameters vastgelegd; dit wordt toegepast in spraakherkenningssystemen en visuele patroonherkenning, en is nu volop in ontwikkeling.

Belangrijk voor hogere orde besturingen is het derde leerniveau: het leren van methoden. Voorbeeld: een industriële robot onthoudt tijdens een montagetask een succesvolle oplossing en generaliseert deze voor een klasse van soortgelijke problemen.

Het leren van concepties is het hoogste niveau: het leren van nieuwe kennisstructuren, het eigen maken van nieuwe concepten en begrippen.

Het tweede aspect van AI, van belang voor geautomatiseerde produktiesystemen, is de communicatie tussen mens en computer. Hoewel de

machine steeds meer menselijke taken zal overnemen, zal er altijd een raakvlak tussen mens en machine moeten zijn. Bij de huidige stand van de techniek is de conversatie met computers nog onbeholpen. De informatie staat in codes en getallen en de procedures zijn star. Bij de wisselwerking met computers moet de mens zich nog als computer gedragen. In de naaste toekomst zal de computer zich steeds meer als een verlengstuk van de mens gaan gedragen. Belangrijk is de ontwikkeling van nieuwe communicatiemiddelen, zoals spraakherkenning en spraaksynthese (de computer luistert en spreekt) en geavanceerde grafische presentatie van gegevens (kleur, beweging, 3D).

In de communicatieprocedures valt ook veel te verbeteren. Communicatie tussen mensen onderling kan zeer efficiënt zijn door afleiding uit de samenhang.

Naast context-logica is beheersing van een menselijke taalstructuur noodzakelijk. Eerste voorbeelden hiervan, zoals het programma 'Eliza' in de rol van psycho-analist, zijn nog zeer primitief. Ontwikkelingen in AI kunnen zonder twijfel helpen de communicatie tussen mens en computer op een hoger niveau te brengen.

4.6 Tijdschaal

In het voorgaande is een aantal specifieke technische mogelijkheden geïntroduceerd, zonder daarbij expliciet aan te geven in welk stadium van ontwikkeling de betrokken techniek zich bevindt.

In tabel 1 is een ruwe indicatie gegeven van de relatieve volwassenheid van iedere techniek, op een schaal van 1 tot 10. 10 is geheel ontwikkeld en stabiel, 1 is juist beginnend. Bij een relatieve volwassenheid van ongeveer 6 kan een verbreding van enige betekenis worden verwacht. Dan zal ook voor het eerst een economische en maatschappelijke invloed waarneembaar worden.

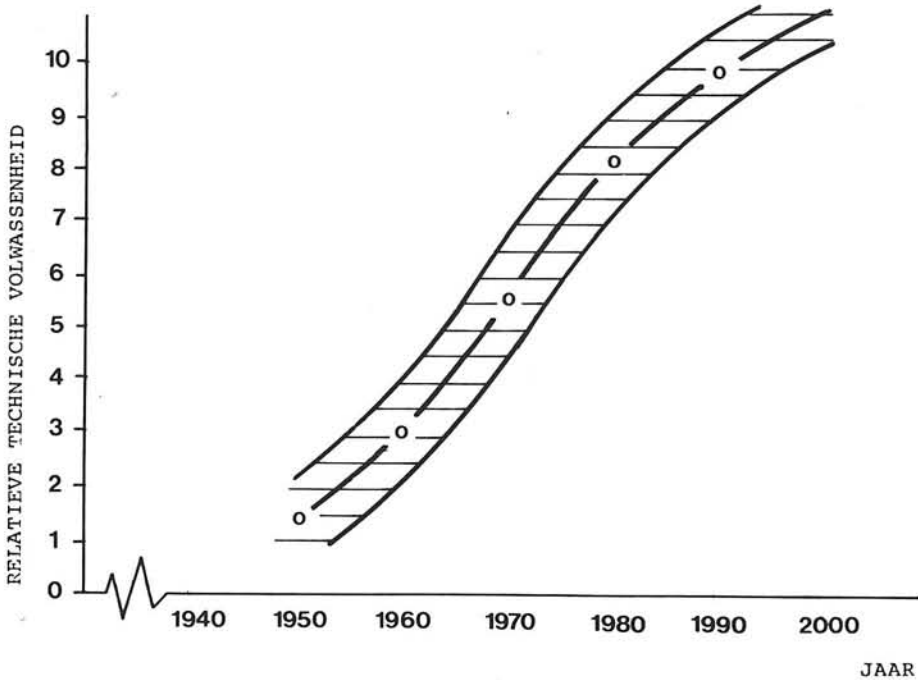
Deze schaal is niet meer dan een zeer ruwe indicatie van de ontwikkelingsstand.

Voor numerieke besturing is in figuur 4 de verwachte groei naar volwassenheid aangegeven.

Tabel 1 Relatieve technische volwassenheid van een aantal automatiseringstechnieken in de productie (schaal 1 tot 10)

Bedrijfsmechanisatie	9
Sequentiële besturingen	8
Numerieke besturingen	8
Adaptieve besturing	2
Directe numerieke besturing	4
Flexibele fabricage-systemen	3
Computer-ondersteund produceren	2
Koppeling tussen computer-ondersteund ontwerpen en produceren	1
Industriële robots	3
Toepassing van kunstmatige intelligentie op produktiemachines	0

Figuur 4 Ontwikkeling van numerieke besturing



5. VOORBEELDEN VAN INVOERING

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven waar de in het voorgaande genoemde technische hulpmiddelen zijn te gebruiken en wat de implicaties hiervan zullen zijn op het technische, economische, organisatorische en sociale vlak.

Aangezien de elektro-metaalindustrie zeer divers is, wordt het erg moeilijk een beschrijving te geven die deze hele bedrijfstak omvat. In verband hiermee worden aan de hand van vier voorbeelden uit de vliegtuigindustrie enkele vormen van procesinnovatie getoond.

De keuze van de vliegtuigindustrie is in wezen willekeurig; deze bedrijfstak kan echter wellicht als richtingaangevend voor de elektro-metaalindustrie worden beschouwd.

De bewerking van materialen in de vliegtuigbouw is algemeen gesproken te onderscheiden in drie bewerkingsprocessen met ieder drie onderverdelingen (zie tabel 1). In bijna elk proces is wel een gebied aan te wijzen waar de ontwikkelingsgang is beïnvloed door micro-elektronica.

Tabel 1 Bewerkingsprocessen

Bewerkingsproces	Vorbewerking	Hoofdbewerking	Nabewerking
Vervaardigen van plaatwerkprodukten	Voorbeeld 1 CAD/CAM	Vervorming	Nabewerken
Freesdelen uit ruw materiaal	Plakken zagen	Voorbeeld 2 5-assig frezen	Voorbeeld 3 meten
Koolstofvezels	Kunststof plakken leggen	Voorbeeld 4 Oven	Robot testen

Het eerste voorbeeld is afkomstig uit de voorbereiding van plaatwerkproducten. Door toepassing van micro-elektronica wordt het frezen van een pakket aluminium platen geoptimaliseerd. Het tweede voorbeeld, de vijfassige freesmachine, maakt duidelijk dat bepaalde constructie-eisen alleen op deze manier verwezenlijkt kunnen worden. Het derde, de numerieke meetmachine, laat zien dat, wanneer één stap op het pad van numerieke besturing is gezet, vanzelf ook volgende stappen in het productieproces moeten worden aangepast. Het vierde voorbeeld heeft betrekking op het gebruik van nieuwe materialen (koolstofvezel). Economische eisen (vermindering brandstofverbruik) maken het gebruik van lichtere materialen noodzakelijk. Deze materialen zijn technisch gezien alleen nog maar met zeer hoogwaardige machines te bewerken.

Tot slot van dit hoofdstuk worden algemene tendensen uit de vier voorbeelden geëvalueerd, die misschien bij toekomstige innovaties in andere industrieën van nut kunnen zijn.

5.2 Het vervaardigen van plaatwerkproducten

5.2.1 Geschiedenis van de ontwikkelingsgang

Behalve uit complexe freesdelen (zie 5.3) bestaat een vliegtuig tegenwoordig voor het grootste gedeelte uit vervormde aluminiumplaat. Het uitfrezen van de te vervormen platen vond plaats met een machine die men reeds gebruikte bij de vervaardiging van houten vliegtuigen. Mechanisatie van deze techniek was tot voor kort niet renderend vanwege de geringe seriegrootte (10-20 stuks). De nadelen van dit proces zijn de arbeidsintensiviteit, de slechte werkomstandigheden, inefficiënt materiaal- en gereedschapsverbruik, de moeilijk te beheersen kwaliteit, en een lange productietijd voor hulpgereedschap (boor- en freesmallen).

In het verleden hebben velen geprobeerd dit proces te innoveren. Dit gebeurde hoofdzakelijk door de conventionele techniek te verbeteren of door aanpassing van de bestaande machines. Hieruit kwamen slechts enkele deeloplossingen voort.

De ommekeer is tot stand gekomen door een combinatie van ideeën. Het succes is te danken geweest aan het goede overleg tussen fabrikant en gebruiker. De bijdrage van de micro-elektronica is hierbij van doorslaggevend belang geweest.

Zo ontstond een machine waarmee men uit een pakket standaardplaten verscheidene soorten produkten kon frezen. Het is belangrijk dat dit laatste zo eenvoudig en zo gunstig mogelijk geschiedt. Dit werd gerealiseerd door aanpassing van een systeem uit de kleding-industrie om stofpatronen zodanig te snijden dat zo weinig mogelijk stof verloren gaat. Deze apparatuur is opgebouwd uit een aantal aan elkaar gekoppelde elektronische componenten. Men kan hier spreken van een CAD/CAM systeem daar de informatie van de tekentafel direct via elektronische eenheden kan worden omgezet in een machine-instructie.

In de volgende paragrafen zullen de punten, die aanleiding gaven tot aanschaf van de machine, nader worden uitgewerkt.

5.2.2 Het productieproces en het produkt

Bij de oude techniek maakte men voor definiëring van de contour en het gatenpatroon gebruik van boor/frees gereedschappen (mallen). Dit gereedschap is sterk aan slijtage onderhevig en er bestaat een grote kans op beschadiging. De uiteindelijke vormkwaliteit is pas te signaleren na afloop van de bewerking.

Bij de nieuwe techniek kan de tekenaar essentiële punten en contouren opgeven, die via een digitaliseertafel automatisch in numerieke informatie wordt vertaald (digitaliseren van de vorm). Om het materiaalverlies zo gering mogelijk te doen zijn, worden de produkten zo veel mogelijk in elkaar gepast op een standaardplaat-afmeting (het nesten van de produkten). Dit proces kan geheel automatisch geschieden. Het is echter gebleken dat het menselijk oog in deze nog superieur is. Na het automatische proces vindt er een correctie plaats in samenspel met de computer. Uiteindelijk wordt het productieproces gesimuleerd op een tekentafel, zodat fouten vooraf zichtbaar worden. De besturing van de freesmachine zelf gebeurt met een ponsband. Op deze wijze verkrijgt men een produkt dat constant is van kwaliteit, hetgeen in de vliegtuigbouw uiterst belangrijk is.

5.2.3 Economische overwegingen

Het oude freesproces was zeer arbeidsintensief. Een verbetering van de prestatie was niet meer te verwachten. Het proces was qua

efficiëncy volkomen uitontwikkeld. De enige manier om met de beschikbare middelen goedkoper te fabriceren, bestond uit de verplaatsing van het proces naar een land met goedkope arbeidskrachten. Vanwege o.a. de complexe informatiestroom die het proces begeleidt, is niet verder op deze mogelijkheid ingegaan. Bij het oude proces ontstond er zeer veel afval van aluminium plaatmateriaal. Dit was vaak meer dan 50%. Aluminium is prijzig. Gezien de energie-afhankelijkheid van dit materiaal wordt verwacht dat deze prijs de komende jaren nog behoorlijk zal stijgen. Door het combineren van meer produkten uit een plaat kan het aluminiumverbruik zo'n 30% zakken.

Bij de oude techniek werd gebruik gemaakt van malgereedschap, hetgeen zeer duur was. Het totale geïnvesteerde vermogen daarin was ongeveer tien maal zo groot als dat van de eigenlijke boor- en freesmachines. Uitgerekend is, dat bij de komst van een nieuw vliegtuigproject de gehele investering in één keer terugverdiend zal worden. Indien dit niet het geval is, zal de terugverdientijd zo'n vier jaar bedragen. De verwachting is dat de produktie per man zeker zal verdubbelen.

5.2.4 Organisatorische gevolgen

Organisatorisch gezien leverde de nieuwe techniek zowel voor- als nadelen op. De opzet van de fabriek moest hierdoor totaal worden herzien. Doordat de nieuwe machine niet meer produktgewijs werkt maar met verschillende produkten tegelijk, ontstaat een afstemmingsprobleem. Hier tegenover staat een groot aantal pluspunten.

Een aantal deelhandelingen wordt in het nieuwe proces geïntegreerd. Zo behoeven er geen platen meer te worden geknipt en kan het afbramen achteraf grotendeels vervallen. Doordat de machine werkt met vaste bewerkingstijden per produkt, is een exacte planning mogelijk. De spaanafvoer geschiedt geheel automatisch. Dit vergroot orde en netheid rondom de machine. De doorlooptijd van tekening tot produkt wordt sterk verkort, aangezien één groep hiervoor verantwoordelijk is.

Met de invoer van de nieuwe fabricagemethode is men in staat een beter produkt met constante en hoge kwaliteit te vervaardigen. Bovendien is het produktieproces veel beter beheersbaar en kan men indien nodig bijsturen.

5.2.5 Sociale gevolgen

Bij de oude freesmethode waren een groot aantal bezwarende werk-omstandigheden te onderkennen. Dit werd hoofdzakelijk veroorzaakt door fysieke aspecten.

Door de hoge geluidsbelasting (veelal meer dan 100 dBa), is gehoorbescherming vereist. De machine zelf dient afgezonderd te worden in een geluidsabsorberende ruimte.

Bij het frezen is een koelmiddel nodig en wel een alcoholhoudend middel. Bij de bewerking komen er dampen vrij waartegen men zich beschermt door het dragen van kappen.

Tijdens het freesproces moet men tegen rondvliegende spanen beschermende kleding dragen.

Aangezien alleen de freesrotatie machinaal wordt aangedreven, vergt de bewerking van het proces een grote arbeidsinspanning in een houding die slecht is voor de rug.

Uiteindelijk heeft het proces een sterk repeterend karakter, waardoor men weinig afwisseling heeft in het werk.

De nieuwe freesmachine kent deze bezwaren niet. Het geluidsniveau ligt op een niveau van ongeveer 80 dBa. Er is kans op taakverruiming omdat verschillende werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd.

Binnen de plaatwerkerij staat het snelfrezen bekend als het minst gewaardeerde werk. Het wordt steeds moeilijker hiervoor mensen te krijgen. De vooruitzichten voor de komende jaren met betrekking tot het aanbod van lager geschoold personeel zijn eveneens weinig rooskleurig. Het werk in de voorbereidende sector kent dit probleem niet. Er is voldoende aanbod van middelbaar en hoger geschoold personeel. Een gedeeltelijke verschuiving van het werk in die richting betekent zodoende een voordeel.

5.3 Numeriek frezen van gecompliceerde vliegtuigspanten

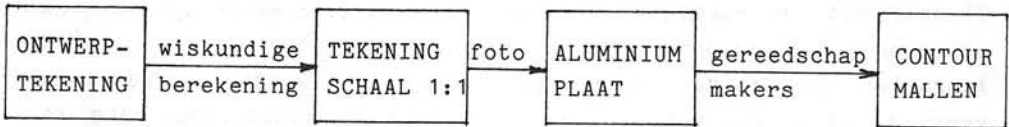
5.3.1 Inleiding

Dit voorbeeld, ontleend aan de produktie van de F-16 straaljager, behandelt het frezen van gecompliceerde spanten. De freesmachine is vijfassig. Dat wil zeggen dat er drie translaterichtingen en twee rotatierichtingen met behulp van een computer worden gestuurd. Op deze manier worden dikke lichtmetalen platen herschapen in kant en klare integrale vliegtuigspanten. Zij bevatten alle flenzen,

versterkingsranden en -ruggen en gaten om andere constructiedelen aan te bevestigen. Dit is een grote verandering vergeleken met de fabricage van de spanten van bijv. de Fokker-28, die nog opgebouwd zijn uit plaatdelen, opgeklonken profielen en gefreesde deeltjes.

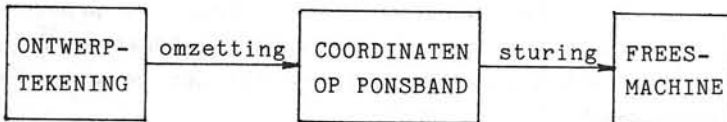
5.3.2 Het productieproces en het produkt

De produktieketen van het plaatspant, zoals dat op de conventionele manier werd vervaardigd en waarbij geen micro-elektronica te pas kwam, zag er als volgt uit.



De contourmallen worden gebruikt voor plaatvervormingsgereedschappen, boor- en freesmallen en voor samenbouwgereedschappen en controlemallen.

Deze lange weg met veel maatkettingen en stapeltoleranties vraagt van het constructiebureau en de gereedschapsmakerij grote nauwkeurigheid en vakmanschap die steeds zeldzamer worden. In plaats van deze lange produktieketen werkt men nu met een vijfassige numeriek gestuurde freesmachine. De korte produktieketen ziet er als volgt uit.



De korte doorloopweg bij de transformatie van geometrische gegevens naar de uiteindelijke bewerking geeft tijdwinst, beperkt de kans op fouten en biedt de mogelijkheid binnen kleinere maattoleranties te werken. Bovendien is het mogelijk de numerieke weg te vervolgen en op een numeriek bestuurd meetmachine alle relevante maten te meten en te vergelijken met de maten op de tekening (zie ook par. 5.4).

5.3.3 Economische overwegingen

Bij de keuze van de fabricagemethode van de F-16 spanten moest

gekozen worden tussen twee soorten numeriek gestuurde freesmachines: een groot aantal drie-assige of een klein aantal vijfassige. Het technisch verschil tussen deze twee wordt veroorzaakt door het grotere vermogen, meer technische mogelijkheden en de grotere efficiëntie van de vijfassige machine. Daarbij komt nog dat bij het ontwerp van het vliegtuigspant ervan is uitgegaan dat dit door een vijfassige freesmachine zou worden vervaardigd. Bij de hoofdaannemer van het F-16 project (General Dynamics) gebeurde dit reeds. Uit het oogpunt van concurrentie was het noodzakelijk eenzelfde fabricagemethode te gebruiken.

Met de aanschaf van de vijfassige machine haalt men een belangrijke techniek in huis, niet alleen qua kennis, maar ook qua materieel. Dit kan dan weer worden gebruikt voor toekomstige projecten. Deze technische en commercieel-economische redenen speelden zeker een belangrijke rol bij de keuze van een vijfassige machine boven een aantal drie-assige. De doorslag werd echter gegeven door puur economische factoren. De totale investering voor de complexe vijfassige machines was namelijk belangrijk lager dan voor de drie-assige machines.

5.3.4 Organisatorische gevolgen

Een groot voordeel van het frezen van integrale, d.w.z. uit een enkel stuk ruw materiaal gefreesde spanten is de vermindering van het aantal onderdelen. Daarmee wordt de logistiek eenvoudiger en de doorlooptijd van tekening tot produkt korter. Het grote aantal paperrassen, bestaande uit o.a. onderdeel- en gereedschapstekeningen, bewerkingsbladen, gloeikaarten voor de warmtebehandelingen, kan sterk worden gereduceerd.

Integraal produceren maakt het produktieproces beter bestuurbaar wat betreft aantallen, configuratie, leveringstijd, kosten, inspectie en kwaliteitsbeheersing. Kiezen voor het integraal numeriek bestuurd frezen van spanten is kiezen voor een techniek met micro-elektronica, die weliswaar grote investeringen vraagt, maar die vervolgens een beheerst produktieproces oplevert voor een hoeveelheid spanten die een orde groter is dan bij het conventionele proces mogelijk zou zijn.

Wel moet worden beseft dat de kleinere materiaalstroom beter moet worden beheerst, omdat stagnaties in de toelevering van materiaal of defecten in de produktie als gevolg van de schaalvergroting ernstige gevolgen kunnen hebben.

5.3.5 Sociale gevolgen

Met de komst van de nieuwe produktiemethode is er een verschuiving in aantal en soort functies te zien. Sommige functies zijn verdwenen, voornamelijk in de direct produktieve sector, bijv. tekenaars die tot op 0,1 mm nauwkeurig moeten werken. Dat is maar gelukkig ook, want die zijn tegenwoordig moeilijk te vinden. Hiertegenover staat een toename aan mensen in de indirecte sfeer, zoals programmeurs, produktietechnici en onderhoudspersoneel. Er treedt een duidelijke verschuiving op van handwerk naar hoofdwerk. Dit vraagt veelal een hogere scholingsgraad, hetgeen aansluit bij het aanbod op de arbeidsmarkt in ons land.

5.4 Kwaliteitsbeheersing

5.4.1 Inleiding

Wanneer de numerieke weg is ingeslagen voor het frezen van lichtmetalen spanten, is de stap naar numerieke inspectie klein. De investering in freesmachines is dus logisch gevolgd door een investering in een drie-dimensionale numeriek bestuurd meetmachine.

5.4.2 Het productieproces en het produkt

Deze meetmachine maakt gebruik van ponsbanden die als meetband zijn afgeleid van de freesband die voor besturing van de freesmachines wordt gebruikt. De eerste produktcontrole geeft, nadat enige kinderziekten overwonnen zijn, zowel het fiat voor het freesproces als voor de metingen. Iedere freesmachine maakt drie produkten tegelijk (drie freesspillen per machine). Van iedere lading wordt één produkt gemeten. Is er iets fout, dan moeten de andere twee produkten worden geïnspecteerd en eventueel geheel nagemeten. De met de meetmachine bereikte nauwkeurigheid is veel groter dan met de hand mogelijk is. Hier is een objectieve meting die niet door de menselijke vertaalfout wordt beïnvloed. Als we beseffen dat de meetmachine één meting per seconde verricht met een nauwkeurigheid van ca. 0,01 mm, dan is duidelijk dat met de hand meten in diezelfde tijd uitgesloten is.

5.4.3 Economische overwegingen

Aangezien de handmethode veel duurder zou zijn, werd reeds bij het begin besloten tot aanschaffing van een meetmachine. Het handhaven van de conventionele methode zou een sterk negatieve invloed hebben gegeven op de rentabiliteit van de totale procesgang.

5.4.4 Organisatorische gevolgen

Na enige tijd had men zoveel ervaring opgedaan, dat de meetprogramma's konden worden ingekrompen tot de strikt noodzakelijke omvang. Dus alleen die meetpunten worden nagegaan die belangrijk zijn voor de maatnauwkeurigheid van het produkt. Mogelijkheden om de afmetingen van het produkt gunstig te leggen in de gewenste figuur (nominale maat plus tolerantieveld) zijn als programmatuurpakket te koop. Zonder micro-elektronica is dat onbegonnen werk.

De goede maatbeheersing van spanten brengt met zich mee dat er in de samenbouw tot vliegtuigrompen minder wordt aangepast en met vullingen wordt gewerkt. Dit levert tijdsbesparing op. Het alternatief van numeriek meten is de controle met meetgereedschap en eindmaten. De controlemallen zoals die in de plaatwerkafdeling worden gebruikt (aanliggen tegen contourmallen en met meetvoelers de afwijking vinden) zijn niet nauwkeurig genoeg.

5.4.5 Sociale gevolgen

De hoeveelheid produkten zou een legertje controleurs verscheidene jaren eentonig werk opleveren. Dit is iets waar niemand in deze tijd mee gediend is, nog afgezien van de hoge kosten. De meetmachine geeft meer mogelijkheden dan voorheen. Zo is de taak van de controleur veel ruimer geworden. Naast meten, werkt men nu ook mee aan de procesbeheersing.

5.5 Bewerking van nieuwe materialen

5.5.1 Inleiding

Bij de vliegtuigconstructeurs is de laatste jaren meer dan voorheen de specifieke sterkte van materialen in de belangstelling komen te staan. Vooral de drastische prijsstijging van brandstof is hiervan

de oorzaak. De sterkte per gewichtseenheid is daardoor bij de materiaalkeuze nog belangrijker dan voorheen. Een van die nieuwe materialen is de met vezel versterkte kunststof. Het geeft de constructeur de mogelijkheid zijn ontwerp tot in detail te dimensioneren. Voor constructiedelen van de huid van het vliegtuig die veel stoten te verduren krijgen, kiest hij vezels met hoge waarden voor taaiheid (bijv. aramidevezels). Vezels met grote stijfheid en hoge treksterkte, die helaas bros zijn, zijn geschikt voor bewegende delen aan vleugel en staartvlakken.

5.5.2 Het productieproces en het produkt

Constructies uit met vezel versterkte kunststoffen zijn opgebouwd uit verschillende lagen met een eigen specifieke vezelrichting (laminaten). Deze laminaten bestaan uit geïmpregneerde lapjes van koolstofvezel. De sterkte wordt pas bereikt na uitharding van het bindmiddel. Om de gewenste vorm te bereiken, legt men de lapjes weefsel op een mal; het geheel wordt vervolgens in een autoclaaf uitgehard. De autoclaaf wordt bestuurd door een microprocessor. Het uitsnijden van de lapjes gebeurt met snijsjablonen (tijdrovend en vies werk) of met een numeriek gestuurde waterstraal die onder hoge druk en met zeer kleine doorsnede de weefsels doorsnijdt. De numerieke besturing van een waterstraalsnijmachine wordt met een programmatuurpakket geoptimaliseerd naar minimaal afvalmateriaal, want de geïmpregneerde koolstofweefsels zijn zeer kostbaar.

De snijdende bewerking van deze sterke vezels valt niet mee. Boren en frezen moeten hard en hittebestendig zijn. Ook worden er hoge eisen gesteld aan de snijsnelheden en de spaandikte. Voor een goede produktkwaliteit moeten deze binnen vrij nauwe grenzen liggen. Gebleken is dat de menselijke hand nauwelijks in staat is de bewerking en vooral de aanzet van deze materialen binnen de gestelde normen uit te voeren. Als oplossing voor dit probleem is gekozen voor automatische bewerkingsmachines.

5.5.3 Economische overwegingen

Transportmiddelen, in dit voorbeeld vliegtuigen, moeten bij een minimum aan eigen gewicht en bij voldoende sterkte, stijfheid en veiligheid zoveel mogelijk lading vervoeren met zo laag mogelijke brandstofkosten.

Naarmate de brandstofprijs toeneemt, wordt de drang tot lichter construeren sterker.

Naast de eisen, gesteld aan gewicht, sterkte en stijfheid van het materiaal, moeten de kwaliteit van de materiaalcombinatie en de kwaliteit van het bewerkte materiaal gegarandeerd zijn. Procesbeheersing tijdens iedere stap van het productieproces (ook de productie van hars en vezels) is zonder micro-elektronica niet op economische wijze uit te voeren. Door deze vergaande automatisering zijn investeringen en aanloopkosten hoog. De economie van deze moderne materialen als dragend element in een vliegtuig wordt dan ook door de dure procesbesturing en door de kwetsbaarheid (stoten en krassen tijdens gebruik) ongunstig beïnvloed. Men moet hierbij beseffen dat de bewerkingsmethoden die men vervangt, zoals het lijmp proces, ook zeer duur zijn. Per saldo zijn er zeker besparingen te bereiken, zolang men zich tot specifieke toepassingsgebieden beperkt. In het vliegtuig zijn kleppen, wieldeuren en vormstukken tussen vleugel en romp met goed resultaat uit deze moderne materialen te vervaardigen.

5.5.4 Organisatorische gevolgen

De toepassing van koolstofvezel met kunsthars in de vliegtuigfabriecage heeft ingrijpende gevolgen voor de organisatie van het productieproces. De bestaande processen, zoals klinken, lijmen of frezen zijn nog uit te voeren zonder micro-elektronica. De bewerking van dit nieuwe materiaal zou zonder micro-elektronica niet mogelijk zijn. Bij soortspecificatie, handhaving van de juiste atmosfeer, besturing van de autoclaaf, besturing van gereedschappen, snijden van de vezelmatten, boren van gaten, controle van de vezelrichting volgens koolstofscanning methode en controle van de maatvoering wordt micro-elektronica gebruikt. Dat is een technische noodzaak geworden. Dit betekent kort gezegd: bouw een nieuwe fabriek. Deze fabriek zal alleen met micro-elektronica kunnen werken. Op deze wijze worden producten gemaakt die uit weinig onderdelen bestaan en dus weinig begeleidende documenten hebben. Het samenstellen van producten van geïmpregneerde laminaten moet men zien als een nieuw vakgebied. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de organisatie van het productieproces, maar ook voor de werknemers. Omscholing of bijscholing zal onvermijdelijk zijn.

5.6 Evaluatie

5.6.1 Het produktieproces en het produkt

In de vier voorbeelden wordt aangegeven hoe het produktieproces door toepassing van micro-elektronica verandert. Om verschillende redenen van economische, organisatorische of sociale aard, voldoen de oude methoden niet meer. We zien bij de nieuwe produktieprocessen dat micro-elektronica één van de belangrijkste bestanddelen is, die deze veranderingen mogelijk maken.

De lange produktieketen wordt ingekort, eenvoudiger en daardoor beter beheersbaar. Men kan nauwkeuriger en binnen kleinere maattoleranties werken. De kans op fouten neemt af en de kwaliteit van het produkt neemt toe. De werkomstandigheden verbeteren: minder lawaai, stank en rondvliegende metaaldeeltjes. Daar waar de werkplek gevaarlijk of onaangenaam is, wordt getracht het proces zo te regelen dat de mens daar zo min mogelijk aanwezig behoeft te zijn.

De doorlooptijd van tekening tot produkt vermindert sterk.

5.6.2 Economische overwegingen

Meestal worden procesvernieuwingen direct of indirect geïnitieerd door economische factoren. Bij een vernieuwing zullen de produktiekosten lager zijn. Men is flexibeler ten opzichte van potentiële klanten, werkt met kortere levertijd, minder materiaalverlies enz. Ook het feit dat men nieuwe technieken in huis haalt die het bedrijf de mogelijkheid geven bij te blijven, is soms doorslaggevend voor vernieuwing. Automatisering kan ook onmisbaar zijn in die gevallen waar het zonder deze techniek onmogelijk is bepaalde ontwerpen uit te voeren of materialen te bewerken.

Veelal is het economische rendement goed te berekenen. In sommige gevallen is het economische beeld minder duidelijk, maar zijn concurrentie-overwegingen op de lange termijn doorslaggevend.

5.6.3 Organisatorische gevolgen

Doordat het aantal ketens in het produktieproces afneemt, wordt de logistiek eenvoudiger en de doorlooptijd van tekening tot produkt korter. Het aantal administratieve handelingen dat het proces begeleidt, vermindert. Het produktieproces is beter bestuurbaar op het

stuk van aantallen, configuratie, levertijd en kwaliteitsbeheersing. De kans dat iets misloopt, neemt af, maar men moet wel beseffen dat als er iets gebeurt, de gevolgen ernstig kunnen zijn. Dit vereist grotere veiligheden die in het systeem ingebouwd moeten zijn.

Voordat het nieuwe produktieproces kan beginnen moet vaak de organisatie van de fabriek grondig worden herzien. Men dient er rekening mee te houden dat de komst van micro-elektronica meestal een organisatorische vervlechting van verschillende afdelingen inhoudt. Dit vraagt veel inspanning, die niet onderschat moet worden.

Een goede aanpak is derhalve noodzakelijk, en dat kan bijv. door werken met een projectgroep. Beperk die niet altijd tot de eigen afdeling of het eigen bedrijf. Vaak is men zelfs genegen het totale project produktieklaar te leveren. Veelal is de kennis buiten het bedrijf te koop tegen aanvaardbare kosten en binnen een beperkte tijd.

Een goede doelstelling (wat willen we eigenlijk?) en een duidelijk plan (hoe gaan we het doen?) zijn hiertoe eerste vereisten.

5.6.4 Sociale gevolgen

Er is een aantal redenen van sociale aard die het klimaat voor automatisering in een bedrijf begunstigen. Vaklieden zijn schaars. Het lawaai van bepaalde conventionele bewerkingsmethoden is vaak schadelijk. Gassen of stofdeeltjes zijn ongezond of irriterend. Het werk is vaak monotoon. Bepaalde handelingen kunnen door de fysieke beperkingen van de mens niet volgens de technische eisen worden uitgevoerd. Dit betekent dat het aantal werknemers dat genegen is zulke werkzaamheden uit te voeren, langzamerhand zal verminderen. Hier staat tegenover een toename van het aantal mensen voor het ontwerpen, rekenen en programmeren en het onderhoud van de nieuwe gecompliceerde apparatuur.

De verschuiving van hand- naar hoofdwerk, die al lange tijd gaande is, wordt door de mogelijkheden van de micro-elektronica versterkt. Het soort werk zal voor velen een verandering van hun taak betekenen. Dit maakt het noodzakelijk dat zij hierop worden voorbereid door om-, bij- en herscholing. Of men deze ontwikkeling positief dan wel negatief beoordeelt, zal per individu sterk verschillen.

De invloed van micro-elektronica in de elektro-metaalindustrie op de werkgelegenheid is moeilijk te kwantificeren. Een verdubbeling van de produktie per werknemer hoeft geenszins een halvering van het

aantal arbeidsplaatsen te betekenen. Door de positieve werking op de omzet kan er per saldo toch een uitbreiding van het personeelsbestand uitkomen. Waar het in deze tijd om gaat, is echter de kwestie van 'to be or not to be'. Vluchten naar het buitenland komt veelal neer op uitstel van executie. De keuze voor micro-elektronica is daarom doelbewust: om te kunnen overleven en voor het behoud van werkgelegenheid op de lange termijn.

6. SAMENVATTING

Het productieproces in de elektro-metaalindustrie omvat de vervaardiging van discrete produkten. Men kent massafabricage, meestal van consumentengoederen en serie- en klein seriefabricage. Kenmerkend voor deze productieprocessen is de grote hoeveelheid begeleidende informatie. Daarom lenen deze processen zich goed voor toepassing van micro-elektronica.

De metaal- en elektrotechnische industrie neemt ongeveer 35% van de totale industriële productie in Nederland voor haar rekening. De grootte van de bedrijven is zeer verschillend. De verdeling van de omzet van de sectoren metaalprodukten- en machinebouw naar de vormen van produceren was in 1979: massafabricage 7,5%, groot seriefabricage 32,5% en klein serie- en enkelfabricage 60%. Daaruit blijkt dat de klein serie- en enkelfabricage zeer belangrijk zijn.

Welke ontwikkelingen zijn in de komende periode te verwachten? Er speelt een aantal krachten die grote veranderingen in fabricagemethoden tot gevolg zullen hebben.

Ten eerste is de hiervoor benodigde techniek voorhanden. Gaat men de relatieve technische volwassenheid van een aantal automatiseringstechnieken in de productie in Nederland na, dan krijgen bedrijfsmechanisatie, sequentiële besturing en numerieke besturing een goede voldoende. Andere technieken zoals adaptieve besturing, hogere vormen van numerieke besturing, flexibele fabricage-systemen en koppeling tussen 'computer aided design' en 'computer aided manufacturing' staan nog aan het begin van hun ontwikkeling.

Industriële robots zijn in Nederland nog helemaal in de beginfase, maar zij maken op het ogenblik een stormachtige ontwikkeling door en zullen in de komende decennia een zeer grote invloed hebben op de automatisering in de productie. Industriële robots zijn vrij programmeerbare produktiemachines voor het hanteren van produkten of speciale gereedschappen. Belangstelling voor de toepassing van industriële robots is enerzijds voortgekomen uit de gestegen eisen die aan de kwaliteit van het werk worden gesteld en anderzijds uit de nieuwe mogelijkheden van goedkope micro-elektronica voor betere en flexibeler besturing. Industriële robots worden nu toegepast bij voeding en ontlading van produktiemachines en bij lassen en

verfspuiten, maar het grootste potentieel ligt in de montage. Het grote struikelblok is nu nog het ontbreken van gezicht en tastzin.

Een tweede drijfveer tot verandering is de economische situatie. Die draagt bij tot verdere automatisering van de fabricage. Uit onderzoek is gebleken dat een werkstuk in de fabricage slechts gedurende 5% van de totale verblijftijd bewerkt wordt. De rest van de tijd wordt het getransporteerd of ligt het te wachten. Iets dergelijks doet zich voor bij het gebruik van bewerkingsmachines. In de klein seriefabricage komt het voor dat zo'n machine slechts gedurende 15% van de beschikbare tijd produceert. Een ander verschijnsel is dat de arbeidskosten sterker stijgen dan de produktiviteit. De noodzaak te kunnen blijven concurreren zal soms ook een drijfveer zijn om geavanceerde machines aan te schaffen, ook al is op dat moment het economische gewin niet volledig vooruit te berekenen.

Ten slotte is er een aantal sociale beweegredenen te noemen die de ontwikkeling naar een computer-geïntegreerde geautomatiseerde fabriek versnellen. Bij werknemers is er een groeiende weerstand zich te blijven blootstellen aan een minder aantrekkelijke werkomgeving. Dit heeft tot gevolg dat er een toenemend gebrek is aan werknemers die in de metaalindustrie willen werken. Dit wordt nog versterkt door de aantrekkelijker arbeidsmogelijkheden in de dienstensector. Automatisering kan, mits op de juiste manier toegepast, een belangrijke positieve bijdrage leveren aan de verbetering van het werkklimaat, o.a. omdat in beginsel de mogelijkheid ontstaat de werknemer een bredere taakverantwoordelijkheid te geven.

In het voorgaande zijn enkele redenen genoemd waarom automatisering in de toekomst nog meer terrein zal winnen. Wat zullen echter de gevolgen hiervan zijn voor de werkgelegenheid en de kwaliteit van de arbeid?

In een periode van economische teruggang zoals thans, is het moeilijk de werkloosheid als gevolg van automatisering te scheiden van de werkloosheid als gevolg van de verminderde vraag naar produktie. Maar de indruk bestaat dat voornamelijk daar wordt geautomatiseerd, waar onvervulbare vacatures zijn. Vaklieden zijn voor vacatures in de metaalindustrie nauwelijks te vinden. Tot nu toe is er maar weinig werkloosheid direct toe te schrijven aan automatisering in de produktie. Hoe zal dit in de komende jaren zijn, als de hiervoor

geschetste verregaande automatisering zal plaats vinden?

De verwachting is dat het aantal arbeidsplaatsen in de elektro-metaal zal dalen en dat die trend zich over een lange periode tot het jaar 2000 zal doorzetten. Een poging om deze ontwikkeling af te remmen door stopzetting van de automatisering zal de concurrentiekracht van de industrie ten opzichte van het buitenland snel ondermijnen en werkt derhalve averechts. Men verwacht dat een en ander niet zo revolutionair zal verlopen als soms wordt gevreesd. Er zal naast een uitstoot van arbeid een toenemende behoefte komen aan hoger gekwalificeerd personeel. Nieuwe functies zullen ontstaan, o.a. voor systeemtechnici en onderhoudspersoneel voor apparatuur en programmatuur. Deze snel veranderende beroepenstructuur zal veel inspanning vergen voor bij- en herscholing.

Omtrent de kwaliteit van de arbeid kan naast het alom bekende negatieve beeld van de mens als laatste schakel in een gecomputeriseerde keten, een aantal positieve punten worden genoemd. Afgezien van de tendens dat het werk in de fabriek veiliger zal worden, met minder geluidsoverlast en minder stank, kan ook de inhoud van het werk verbeterd worden. Met moderne apparatuur kan de man aan de bank bijv. met succes eenvoudige werkstukprogramma's samenstellen: een mogelijke verrijking van de taakinhoud. Ook is het mogelijk bij de invoering van productiecellen een groep mensen verantwoordelijk te maken voor de fabricage van een familie van produkten.

Overzicht van reeds verschenen publikaties van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek

1. Toekomstbeeld der Techniek; ir. J. Smit, 1968
2. Techniek en Toekomstbeeld, Telecommunicatie in telescopisch beeld; prof. dr. ir. R.M.M. Oberman, 1968
3. Verkeersmiddelen; prof. ir. J.L.A. Cuperus, prof. ir. J.H. Krietemeijer, ir. G. Veldhuyzen, ir. F. Oudendal, prof. ir. G.J. van der Burgt en prof. ir. H. Wittenberg, 1968
4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand? ir. P.H. Bosboom, 1969
5. De overgangsprocedures in het verkeer; prof. ir. J.L.A. Cuperus, prof. dr. L.H. Klaassen, mr. R.J.H. Fortuyn, mr. M.G. de Bruin, A. Blankert, mr. Th. van der Meer, drs. J.A. van de Kamp, prof. drs. E.A. van de Poll, ir. G.C. Meeuwse, A.M. Lels, mr. M. van den Bos en E. van Donkelaar, 1969
6. De invloed van goedkope elektrische energie op de technische ontwikkeling in Nederland; dr. P.J. van Duin, 1971
7. Electrical energy needs and environmental problems, now and in the future; ir. J.H. Bakker, prof. dr. J.J. Went, dr. K.J. Keller, ir. A.J. Elshout, H. van Duuren, ir. J.L. Koolen, P.E. Joosting, dr. J.C. ten Houten, J.A.G. Davids, prof. dr. J.A. Goedkoop en ir. M. Muysken, 1971
8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze; ir. L. Schepers, dr. ir. W.J. Beek, prof. dr. D.J. Kuenen, prof. H. van Genderen, dr. ir. L.J. Revallier en dr. ir. H. Hoog, 1971
9. Het voeden van Nederland nu en in de toekomst; prof. dr. ir. M.J.L. Dols, drs. J. de Veer, dr. C. Engel, prof. dr. J. Boldingh, prof. dr. H. Doorenbos, drs. W.C. Bus, ir. H. Glazenburg en prof. dr. A.G.M. van Melsen, 1971
10. Barge Carriers; some technical, economic and legal aspects; drs. W. Cordia, mr. G.J.W. de Vries en ir. N. Wijnolst, 1972
11. Transmissiesystemen voor elektrische energie in Nederland; prof. dr. J.J. Went, ir. A. Govers, drs. M.C. Lelie en prof. ir. H. Wiggerts, 1972
12. Elektriciteit in onze toekomstige energievoorziening: mogelijkheden en consequenties; dr. ir. H. Hoog, ir. P.J. Wemelsfelder, prof. ir. D.G.H. Latzko, dr. D.J. Kroon en prof. ir. J.J. Broeze, 1972
13. Communicatiestad 1985: elektronische communicatie met huis en bedrijf; prof. dr. ir. J.L. Bordewijk e.a., ir. D. van den Berg en dr. W. Horn, 1973
14. Techniek en preventief gezondheidsonderzoek; dr. M.J. Hartgerink, prof. dr. H.H.W. Hogerzeil, prof. dr. ir. P. Eykhoff, prof. dr. J.C.M. Hattinga Verschure, prof. dr. H.J.J. Leenen, dr. P. Gootjes, prof. dr. A.H. Wiebenga en ir. D.H. Bekkering, 1973
15. Technologisch verkennen: doelstellingen en methoden; ir. A. van der Lee, drs. Th.M.A. Bemelmans en dr. ir. W.J. Beek, 1973
16. Mens en milieu: beheerste groei; stuurgroep en werkgroepen voor milieuzorg, 1973
17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht; stuurgroep en werkgroepen voor milieuzorg, 1973
18. Mens en milieu: kringlopen van materie; Stuurgroep, Werkgroepen, Milieuzorg, 1973
19. Energy Conservation: ways and means; edited by J.A. Over and A.C. Sjoerdsma; 1974
20. Voedsel voor allen, plaats en rol van de EEG; prof. dr. J. Tinbergen, prof. dr. ir. J. de Hoogh, dr. J.R. Jensma, prof. drs. J. de Veer, ir. I.B. Warmenhoven, dr. ir. A.W.G. Koppejan, ir. K.K. Vervelde en dr. ir. W.J. Beek, 1976
21. Stedelijk verkeer en vervoer langs nieuwe banen?; redactie: ir. J. Overeem, 1976
22. Materialen voor onze samenleving; redactie: ir. J.A. Over, 1976

23. De industrie in Nederland; Verkenning van knelpunten en mogelijkheden; redactie: ir. H.K. Boswijk en ir. R.G.F. de Groot, 1978
24. Toekomstbeeld der industrie; prof. dr. P. de Wolff, drs. R.F.M. Lubbers, dr. ir. H. Kramers, prof. ir. J. in 't Veld en mr. G.A. Wagner, 1978
25. Arts en gegevensverwerking; redactie: ir. R.G.F. de Groot, 1979
26. Bos en hout voor onze toekomst; redactie: ir. T.K. de Haas, ir. J.H.F. van Apeldoorn en ir. A.C. Sjoerdsma, 1979
27. Steenkool voor onze toekomst; eindredactie: ir. A.C. Sjoerdsma, 1980

Overige uitgaven:

De innovatienota; een aanvulling; ir. H.K. Boswijk, dr. ir. J.G. Wissema en prof. W.C.L. Zegveld, 1980

Deze publikaties zijn schriftelijk te bestellen bij:

Stichting Toekomstbeeld der Techniek
postbus 30424
2500 GK DEN HAAG

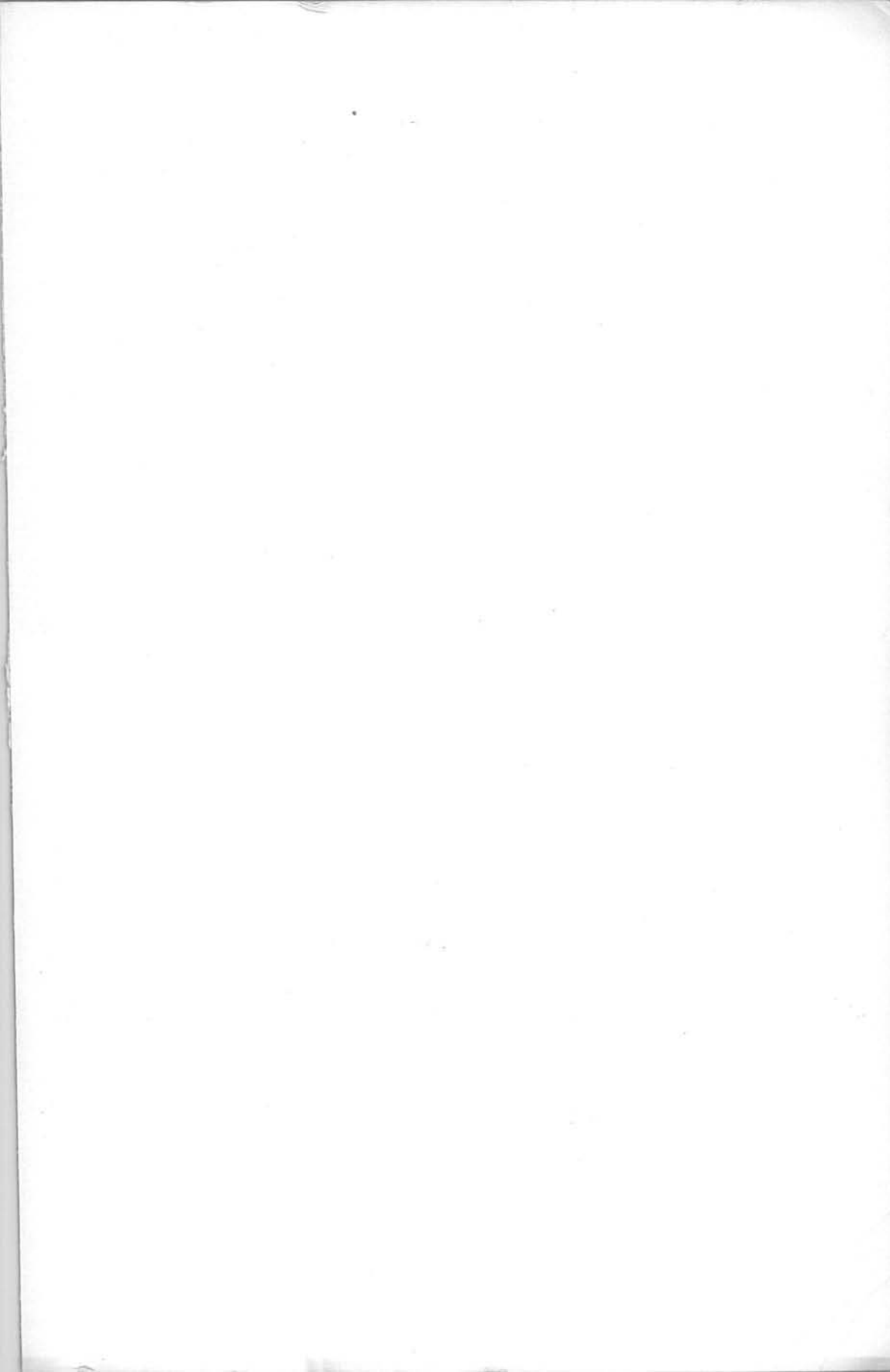
28. Distributie van consumentengoederen; informatie en communicatie in perspectief; redactie ir. R.G.F. de Groot, 1980 (ISBN 90 6275 052 4)
29. Wonen en techniek; ervaringen van gisteren, ideeën voor morgen; redactie: ir. J. Overeem en dr. G.H. Jansen, 1981 (ISBN 90 6275 053 2)
30. Biotechnology: a Dutch Perspective; edited by J.H.F. van Apeldoorn, 1981 (ISBN 90 6275 051 6)
31. Micro-elektronica in beroep en bedrijf: balans en verwachting; ir. H.K. Boswijk e.a., 1981 (ISBN 90 6275 064 8)

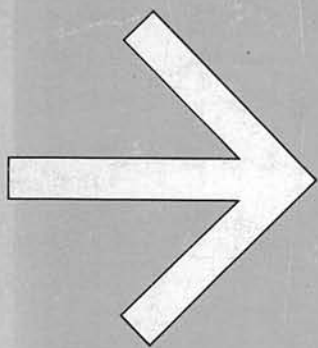
Bij deze studie behorende deelstudies zijn los verkrijgbaar

- 31-1 Micro-elektronica: de Rundveehouderij;
- 31-2 Micro-elektronica: de Grafische industrie en Uitgeverijen;
- 31-3 Micro-elektronica: Procesinnovatie in de sector Elektrometaal;
- 31-4 Micro-elektronica: Produktinnovatie van consumentenprodukten en diensten voor gebruik in huis;
- 31-5 Micro-elektronica: het Ontwerpproces;
- 31-6 Micro-elektronica: het Bankwezen;
- 31-7 Micro-elektronica: het Kantoor;
- 31-8 Micro-elektronica: het Reiswezen;
- 31-9 Micro-elektronica: de Belastingdienst.

Publikaties 28 en later zijn verkrijgbaar bij de boekhandel of bij de uitgever:

Delftse Universitaire Pers
Mijnbouwplein 11
2628 RT DELFT.





delftse universitaire pers

