

## De fijnmechanische techniek in de industrie

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

Muller, H. L. (1961). *De fijnmechanische techniek in de industrie*. Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1961

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

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

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

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

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

**Take down policy**

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

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

providing details and we will investigate your claim.

Electrotechnische Staatsexamen  
„THOR“  
Insulindelaan 2 EINDHOVEN

DE FIJNMECHANISCHE TECHNIEK  
IN DE  
INDUSTRIE

REDE  
UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN  
HET AMBT VAN BUITENGEWOON HOOGLERAAR  
IN DE AFDELING DER  
WERKTUIGBOUWKUNDE  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE EINDHOVEN  
OP VRIJDAG 3 NOVEMBER 1961  
DOOR  
DR. IR. H. L. MULLER

*Mijne heren curatoren,  
Mijnbeer de secretaris van deze hogeschool,  
Mijne heren hoogleraren,  
Dames en heren leden van de wetenschappelijke,  
de technische en de administratieve staf,  
Dames en heren studenten,  
en voorts Gij allen die deze bijeenkomst met Uw tegenwoordigheid vereert,*

*Zeer geachte toehoorders,*

Bij de opleiding van ingenieurs is het onderwijs verdeeld over een aantal studierichtingen, die in een zeker verband staan met de ingenieursfuncties, die normaal in de praktijk voorkomen. Toch is het moeilijk een direct verband te leggen tussen het stelsel van technische studierichtingen en de ingenieursfuncties in de industriële praktijk. Laatstgenoemde groep functies vertoont bovendien een zeer verwarrend en ook veranderlijk beeld. Zo vindt men in kleine bedrijven alle mogelijke combinaties van technische en soms organisatorische functies verenigd in één persoon. In grote bedrijven komen daarentegen soms erg gespecialiseerde functies voor. De snelle evolutie in de techniek geeft een voortdurende verschuiving in de vraag naar verschillende soorten ingenieurs. Dit verschijnsel blijkt ook uit de wijziging in de onderlinge verhouding van de gemiddelde aanvangssalarissen van verschillende categorieën ingenieurs zoals deze jaarlijks in de Verenigde Staten gepubliceerd worden. Men kan zich voorstellen, dat door deze instabiliteit een ont koppeling wordt bevorderd tussen de gekozen studierichting en de verkregen functies. Bij het begin van hun loopbaan in de praktijk is dan omscholing of meer nascholing van de pas afgestudeerden nodig. Dit geldt natuurlijk des te meer naarmate ze verder van hun opleidingsdoel in de praktijk moeten beginnen.

Bij de indeling van de ingenieursfuncties kan men verschillende kenmerken tot grondslag nemen. Zo bijvoorbeeld de arbeidsplaats en dan krijgt men een onderscheid in research- of ontwikkelingsingenieurs, construerende ingenieurs, fabricage-ontwikkelingsingenieurs, fabri-

cake-ingenieurs enzovoort. Een andere indeling ontstaat, wanneer men het technische wetenschapsgebied als indelingskenmerk neemt. Dan moet men onderscheiden de natuurkundige ingenieur, de werktuigkundige ingenieur enzovoort. Beide soorten indeling zijn onderling grotendeels onafhankelijk; men kent bijvoorbeeld werktuigkundige ingenieurs als researchingenieur, als fabricage-ingenieur enzovoort en evenzo geldt dit voor de andere ingenieurscategorieën. Wel is er bijvoorbeeld bij de natuurkundige ingenieurs in het begin een voorkeur voor ontwikkelingsfuncties boven fabricagefuncties en mag men zeggen, dat voor construerende functies de werktuigkundigen eerder in aanmerking komen, althans bij bepaalde categorieën producten.

Wanneer we ons nu verder beperken tot de studie in de werktuigbouwkunde, kunnen we beginnen met op te merken, dat het gebruikelijk is, dat de werktuigkundige studenten zich bij het afstuderen concentreren op een groep vakken die samen min of meer passen bij een gekozen toekomstig werkgebied. Met het oog op de reeds genoemde evolutie in de industrie is een te gespecialiseerde studie niet gewenst. Men moet de verplichte keuze van één of twee kernvakken dan ook zien als een middel om de student te oefenen in de methoden van het technische denken, hem dus oefenen in wat men in het Engels de kunst van „engineering” noemt. Bij de afstudemogelijkheden voor werktuigkundige studenten wordt nu als nieuwe richting gevoegd de fijnmechanische techniek.

Deze tak der techniek werd reeds lang als handwerk beoefend door instrumentmakers die in de werkplaatsen voor laboratoria werkten aan de vervaardiging van de apparatuur. Vroeger waren vele natuurvorschers tegelijk instrumentontwerper en -bouwer, zoals in ons land ANTHONY VAN LEEUWENHOEK en CHRISTIAAN HUYGENS. Men kan dus wel zeggen, dat de fijnmechanische techniek een vak is van goede afkomst, dat vroeger zeker niet slechts beoefend werd door de bekende „smid met een hoed op”. Deze fijnmechanische techniek nu speelt in de industrie een rol, die steeds belangrijker wordt.

Zij blijft natuurlijk ook van direct belang voor de laboratoriumwerkplaatsen, doch vele toestellen die deze werkplaatsen vroeger zelf maakten, kunnen tegenwoordig van gespecialiseerde fabrieken betrokken worden. Een deel van de bijbehorende instrumentmakerscapaciteit moet dus overgeheveld zijn naar deze industrie. Een groter aandeel in de totale industriële fijnmechanische productie wordt echter geleverd door de massafabricage van vele gebruiksartikelen zoals horloges, foto-apparaten, radio- en televisie-apparaten. De

produktie van industriële meet- en regelapparatuur, medische apparaten enzovoort vindt ook voor een belangrijk gedeelte plaats met bewerkingsprocessen en onderdelen die uit de fijnmechanische techniek afkomstig zijn. Een bewijs voor de groeiende belangstelling voor de fijnmechanische techniek in ons land kan men zien in de nauwere samenwerking, welke bijvoorbeeld blijkt uit het tamelijk recente oprichten van de Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek.

Ik heb het begrip fijnmechanische techniek bij U ingeleid met een verwijzing naar de historische band met de kunst van het instrumentmaken. Hierdoor is een algemene inhoud aan het woord gegeven en in het dagelijks gebruik zal er weinig verwarring ontstaan over de betekenis. Als men echter probeert om een strakkere bepaling van het werkgebied van de fijnmechanische techniek te geven, komt men zeker in moeilijkheden. Het is natuurlijk altijd gevaarlijk om een oud handwerk tot een technisch vak te verheffen en dan te proberen om dit vak in een gevestigde technisch-wetenschappelijke indeling onder te brengen. Het is gelukkig niet waarschijnlijk, dat men door onvriendelijke medemens en van een soort wetenschappelijke broodroof wordt verdacht. Zoals later zal blijken, blijft er voor de instrumentmakers een groot werktein bestaan.

Zoals ik zei: fijnmechanische techniek is moeilijk te omgrenzen. Toch kunnen we exactheid op dit punt niet geheel veronachtzamen. Want waar samenwerking nodig is, wordt de behoefte aan omschreven verantwoordelijkheden groter. Een illustratie van de noodzaak van technische samenwerking in de industrie vindt men in het volgende voorbeeld.

Wanneer we in een bedrijf dat fijnmechanische produkten ontwikkelt en produceert, nagaan, hoe een permanente actie gevoerd kan worden om de kwaliteit op te voeren en de prijs te verlagen, dan is daarbij een heel groepje technici betrokken. Er is samenwerking nodig van de produktontwerper, de bewerkingspecialist en de fabricagespecialist (mechanisatie- of produktie-ingenieur). Als het produkt overwegend fijnmechanisch is, zullen deze drie specialisten liefst allen ook deskundig moeten zijn op fijnmechanisch gebied. In kleine bedrijven zijn deze drie functies soms in één of twee personen gecombineerd, wat ten aanzien van de verdeling van de verantwoordelijkheid en de samenwerking eigenlijk een voordeel betekent tegenover het grote bedrijf. Bij het ontwikkelen van een geheel nieuw

produkt moeten dezelfde drie mensen samenwerken. Het blijkt dan wel eens, dat men de fabricagespecialist te laat inschakelt, zodat de ontwikkeling van de speciale apparatuur voor massafabricage, die meestal pas in een iets later stadium begonnen kan worden, weer een herziening van produktontwerp of produktiemethode nodig maakt. Wanneer de prijs een grote rol speelt, zal de fabricagespecialist (produktie-ingenieur, of hoe men hem ook noemen wil) vroegtijdig een groot aandeel óók in de produktontwikkeling moeten hebben. Ook wordt bij het invoeren van schijnbaar onbelangrijke fabricageverbeteringen wel eens vergeten de oorspronkelijke produktontwikkelaar te raadplegen. Het resultaat kan dan zijn, dat men toch moeilijkheden ontmoet, waarvoor de ontwikkelingsgroep de fabricageafdeling had kunnen behoeden.

Hoewel in de industriële praktijk een strenge systematiek in de verdeling van de techniek in technische sectoren geen zin heeft, is een onderlinge coördinatie van onderwerpen voor het onderwijs natuurlijk wel nodig.

De pogingen om tot een volledig logische verdeling te komen met bijbehorende definities blijven steeds voortduren. Voor sommigen vormt het scheppen van een gesloten stelsel definities blijkbaar een fascinerende manier van puzzelen, gezien bijvoorbeeld de vele hoofdstukken die gewijd zijn aan de definitie van het begrip "automation", in feite een oud begrip onder een nieuwe naam, dat hierdoor ook een hernieuwde belangstelling geniet. Ik geef als voorbeeld van een poging tot omschrijving van fijnmechanische techniek hierbij een formeel standpunt weer, dat ontleend is aan een artikel van Prof. A. KUHLENKAMP: "Wesen der Feinwerktechnik als technisches Wissensgebiet". Om tot dit "Wesen" door te dringen beschouwt KUHLENKAMP eerst alle technische hulpmiddelen, die de mens in het dagelijks leven ter beschikking zijn gesteld. Deze middelen kunnen in twee grote groepen ingedeeld worden. De eerste groep omvat alle machines en werktuigen, die de menselijke krachten bijstaan. Hieronder vallen dus o.m. energie opwekkende of liever energie transformerende machines, motoren, gereedschappen en allerlei bewerkingsmachines in landbouw en industrie. De tweede groep omvat de technische middelen die de menselijke zintuigen en het menselijk denken behulpzaam moeten zijn. Tot deze groep behoren dan o.m. de meet- en regelapparatuur, telefonie, radio, televisie, foto- en filmapparatuur, schrijf-, boekhoud- en rekenmachines, samen te vatten onder het modebegrip informatieverwerkende apparatuur. De eerste

groep rekent KUHLENKAMP tot de "Maschinenteknik". De tweede groep behoort dan tot het terrein van de "Feinwerktechnik". Dit "behoren tot het terrein van" moet men hier opvatten als te betekenen: een fijnmechanisch gespecialiseerd ingenieur zal zich vooral bezig houden met artikelen uit deze tweede groep.

De verdeling van de technische apparatuur in twee groepen volgens haar gebruiksdoel geeft aan beide groepen nog een ander merkwaardig onderscheidingskenmerk. Laat men namelijk voor beide groepen de gevraagde dienst kwantitatief toenemen, dus in de eerste groep de kracht of het vermogen en in de tweede groep de hoeveelheid informatie per tijdseenheid, dan gedragen beide groepen zich principieel verschillend. In de eerste groep werktuigen zal bij toeneming van de gevraagde dienst de grootte van de onderdelen toenemen, doch niet het aantal onderdelen. In de tweede groep neemt bij uitbreiding van het geëiste juist het aantal onderdelen toe, waardoor men gedwongen wordt de onderdelen te verkleinen, als het totale volume beperkt wordt. In de elektronica heeft dit verschijnsel tot belangrijke nieuwe ontwikkelingen geleid, die later nog ter sprake komen.

Om nog een ander voorbeeld te vinden over de opvatting van het taakgebied van de fijnmechanische techniek hebben we het bekende Duitse handboek HÜTTE geraadpleegd. Het hoofdstuk "Feinmechanik" is hier ondergebracht in het deel "Maschinenbau". Dit is dus enigszins in strijd met de indeling van KUHLENKAMP, die de "Feinwerktechnik" naast de "Maschinenbau" stelt. De auteur in HÜTTE zag geen kans om met een enkele omschrijving de "Feinmechanik" te definiëren. Volgens hem bestrijkt de "Feinmechanik" twee gebieden:

*a.* eigenlijke werkgebieden van de fijnmechanische techniek in bepaalde takken van industrie nl. de zwakstroomtechniek behorende bij de machinebouw en bij de elektrotechniek, de optiek en de akoestiek;

*b.* de fijnmechanische elementen en processen die de gehele techniek hebben doordrongen, vooral in verband met de automatisering van de fabricage.

Hoe men de taakgebieden ook omschrijft, het is steeds duidelijk, dat lang niet alle apparatuur uit het gebied van de fijnmechanische techniek bij het ontwerp in de eerste plaats een mechanisch probleem vormt. Soms liggen de moeilijkheden primair op elektrisch, fysisch of chemisch gebied. Het is dus duidelijk, dat naast het samenspel van de produktontwikkingsingenieur met bewerkingsdeskundigen en

fabricagetechnici, een samenwerking van de ingenieurs uit de mechanische sector met de ingenieurs uit de elektrische, fysische en chemische sectoren bij de produktontwikkeling nodig is.

Hiermede ben ik gekomen op het hoofdthema van deze voordracht, nl. het verband tussen de fijnmechanische techniek en de fabricageproblemen die opgelost moeten worden met behulp van processen en middelen die aan deze techniek ontleend zijn. Hoewel de fijnmechanische techniek dus is ontstaan en veelal beoefend werd als hulpmiddel bij het experimentele werk in de natuur- en scheikunde, willen we ons nu verder juist bezig houden met de industriële activiteiten, die hieruit zijn voortgekomen.

Nu sommige bewerkingstechnieken steeds meer op industriële schaal worden toegepast en ook vele fijnmechanische produkten in massafabricage worden gemaakt, is het nodig om van de bonte verzameling van bewerkingstechnieken op fijnmechanisch gebied de gemeenschappelijke kenmerken op te sporen. Met behulp van meer fundamentele kennis van deze bewerkingen kan de invoering en toepassing in de industrie op efficiënte wijze geschieden. De bewerkingstechnieken die op het gebied van de fijnmechanische technologie worden toegepast, zijn voor een deel ontstaan als verfijningen van de normale metaalbewerkingstechnieken. Ook bij grotere werkstukken, beter gezegd: bij niet speciaal fijnmechanische werkstukken, worden de bewerkingen als fijndraaien, slijpen, leppen, honen met allerlei variaties toegepast. De overgang naar fijnmechanische bewerkingen kan hierdoor niet aangegeven worden. Men kan wel stellen, dat het gebied van maat- en vormeisen (het z.g. tolerantiegebied) bij de fijnmechanische toepassingen in het algemeen wel naar de meer nauwkeurige kant verschoven is, omdat de hogere eisen daar relatief vaker gesteld zullen worden. Er zijn echter ook bewerkingen, die meer toegepast worden in de fijnmechanische technologie dan in de normale werktuigbouw. Hieronder zijn er enkele die pas sinds de laatste jaren een snel groeiende belangstelling genieten, zoals elektroformen (elektrolytisch neerslaan van metaal op een kernvorm, die later verwijderd wordt), speciale lastechnieken (bijvoorbeeld lassen met een elektronenstraal, lassen met een z.g. plasmastraal) en het chemisch of elektrochemisch plaatselijk oplossen van materiaal. Verder is men steeds verder gekomen met speciale giettechnieken. De oorsprong van sommige daarvan ligt bij de tandheelkundige toepassingen, waar men bepaalde gietprocessen reeds lang gebruikte bij het maken van prothesen.



Voor sommige verbindende bewerkingsprocessen, zoals plakken en solderen, die vroeger in de machinebouw als ketterij werden beschouwd, heeft men in de fijnmechanische techniek belangrijke nieuwe toepassingsmogelijkheden gevonden. Verder is men nu in staat om alle mogelijke materialen (metalen, keramiek of glas) tot hoge graad van vacuümdichtheid met elkaar te verbinden. Het spuitgieten van moeilijke, kleine onderdelen is in een toenemend aantal materialen mogelijk geworden. Ook noem ik nog de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van slijpende bewerkingen, waar men door gebruik te maken van elektrochemische of ultrasonore energie enorme mogelijkheden heeft verkregen. Het z.g. vonkverspanen stelt ons in staat de hardste materialen nog te verwijderen, waarbij goede oppervlaktegladheid en maatnauwkeurigheid verkregen kunnen worden door de bewerkingstijd te vergroten. Het vonkverspanen is eerder een fysische dan een chemische methode.

Een groep fijnmechanische bewerkingen, die vooral bij de onderdelenfabricage van groot belang is, is het snijden, ponsen en buigen van kleine produkten van draad of plaat. Bij grote serie-aantallen worden hiervoor zeer geraffineerde, volautomatische machines gebruikt. Ook hier is de grens met het gebied van de fabricage van "normale" metaalwaren niet te geven. Maar het gebied van de precisiestempels en overeenkomstige gereedschappen is juist voor de fijnmechanische industrie van zeer groot belang, want het is doorslaggevend voor de kostprijs en kwaliteit van een groot aantal zeer nauwkeurige onderdelen voor artikelen als radiobuizen, dioden en transistoren, kleine motoren, uurwerken enzovoort.

De praktische ervaring met veel van de genoemde methoden is groter dan de tot nu toe bekende theoretische verklaring van de verschijnselen. De effecten die bij deze nieuwe bewerkingen worden waargenomen, moeten, zoals tenslotte bij alle speurwerk moet gebeuren, verklaard worden uit een samengaan van reeds bekende natuurkundige of chemische verschijnselen. Wanneer dat lukt, kan men voorspellen, welke invloed bepaalde wijzigingen zullen hebben en kan men optimale omstandigheden voor het betrokken proces aangeven. Een voordeel is, dat de studie van deze technologie op fijnmechanisch gebied meestal met behulp van betrekkelijk kleine opstellingen kan geschieden, waardoor de kosten gunstig worden beïnvloed en deze niet de eerste beperking behoeven te zijn voor het onderzoekprogramma. Het zal vooral afhangen van de ter beschikking komende wetenschappelijke staf en het aantal studenten, in hoeverre research op dit gebied kan plaats vinden.

Bij fabricage-ontwikkelingsproblemen in de industrie spelen levertijd en kosten een grote rol en daarbij hebben allerlei technisch niet-essentiële factoren, zoals kans op produktwijziging, een doorslaggevende invloed op de keuze van de methode. Het is enerzijds nodig, dat men zich bij zijn studie aan een Technische Hogeschool eerst rustig kan bezinnen op de zuiver technologische aspecten van alle genoemde processen; anderzijds moet men toch ook erop voorbereid worden, dat het bedrijf, buiten de researchlaboratoria, meestal snelle beslissingen vraagt op voorlopige gegevens. Deze beslissingen kunnen een materiaalkeuze betreffen, of een nog niet volledig bestudeerde nieuwe bewerkingsmethode, of kwaliteitskeuze van een produkteigenschap en dergelijke. Het is vooral op industrieel terrein, dus bij de fijnmechanische fabricage, dat zich een uitbreiding van het werkterrein van de fijnmechanisch-werktuigkundige ingenieurs voordoet. De werktuigkundige ingenieur op fijnmechanisch terrein zal naast de hulp op constructief gebied, die hij geeft, ook een bijdrage kunnen leveren door de economische aspecten van het te ontwikkelen artikel en de te ontwikkelen fabricagemethoden voortdurend in het oog te houden.

Dit economisch aspect is zeer belangrijk, immers de economische rechtvaardiging van iedere industriële activiteit moet vroeg of laat bewezen worden door commerciële resultaten. De werktuigkundigen kunnen, daar zij grote invloed hebben op de fabricagetechniek en de wisselwerking van prijs en kwaliteit daarmee beïnvloeden, een belangrijke brug vormen tussen de zuiver wetenschappelijk ingestelde laboratoriummensen en de meer praktisch-economisch ingestelde commerciële mensen.

Bij de ontwikkeling van verfijnde technische apparatuur voor meetdoeleinden zal de manier van aanpakken van het werk door een fijnmechanisch-technisch ingenieur of door een experimenteel fysicus maar weinig kunnen verschillen. Bij deze speciale apparatuur is namelijk de prestatie primair en de prijs secundair en zullen ingenieur en fysicus dus beiden vooral trachten de prestatie van het toestel zo hoog mogelijk op te voeren. Misschien zal de fysicus zich meer concentreren op de onderlinge vergelijking van mogelijke methoden en meetopstellingen, terwijl de ingenieur zich eerder verdiept in de constructieve gevolgen, verbonden aan gekozen methoden. Dit verschil vloeit soms eerder voort uit de persoonlijke belangstelling van de betrokkenen voor de verschillende aspecten van het probleem, dan uit vanzelfsprekende consequenties van hun opleiding. Er zijn zeker

ook fysici met een duidelijke voorkeur voor constructieve problemen en ingenieurs met een voorkeur voor wetenschappelijke aspecten. Precisieproblemen zijn zeker niet het monopolie van fijnmechanische constructeurs. Het tot de hoogste nauwkeurigheid opvoeren van een mechanisme voor rechtgeleiding, zoals dit bijvoorbeeld gevraagd wordt voor het meten van opnameplaten uit de atoomfysica, is wel een probleem van precisietechniek, dat echter toch niet in de eerste plaats als een fijnmechanisch-technisch vraagstuk behoeft te gelden. Indien men dit laatste namelijk wel deed, zou een groot gedeelte van de uitvoerende sector der experimentele fysica als het ware binnen het terrein van de fijnmechanische techniek ondergebracht worden. Dit heeft geen enkele zin, daar bij de bestaande taakverdeling dit gebied reeds voorzien is; de bekendste instrumentmakersschool is niet voor niets bij een experimenteel fysisch laboratorium in Leiden ondergebracht. De problemen van meer industriële fijnmechanische techniek zijn in Nederland echter nog niet voldoende ondergebracht bij het bestaande wetenschappelijk onderwijs en het ligt daarom voor de hand de belangstelling van de hierin geïnteresseerde studenten en de fijnmechanisch-technische research aan deze Technische Hogeschool vooral te richten op de industriële kant van de fijnmechanische techniek en niet op de hulpmiddelen van de experimentele natuurkunde. Gaarne zal men natuurlijk toch samenwerken met alle techniekbeoefenaars op de vele overlappingsgebieden welke zich bevinden zowel bij de experimentele natuurkunde, de medische techniek, als ook in tal van sectoren der werktuigbouwkunde waar hoge precisie- en meetproblemen tot gelijksoortige vraagstukken aanleiding geven.

Een voor de mensheid belangrijke sector van technische hulpmiddelen vormt de medische apparatuur. De moderne chirurgie beschikt sinds de laatste tien jaar reeds over vele nieuwe gereedschappen. Hiermede is men echter nog pas aan een begin van het mogelijke. De verkleining van elektronische onderdelen en vele nieuwe materialen stellen een enorm arsenaal van nieuwe mogelijkheden ter beschikking aan allen, die hun kennis en kunde in dienst willen stellen van de geneeskunde. Het werd mij kortgeleden bekend, dat de voorzitter van de afdeling der werktuigbouwkunde in zijn vorige werkkring zelf ook aan de ontwikkeling van deze zo nuttige hulpmiddelen heeft medegewerkt. Vele chirurgische instrumenten stellen in hoofdzaak een mechanisch probleem waarbij het doel meestal is het scheiden of verbinden van weefsels. Deze weefsels kunnen dan hard of zacht zijn

en gelaagd of buisvormig opgebouwd. De operatietechniek op het gebied van oog- en oorheelkunde is enorm vooruitgegaan o.a. door de veel betere fijnmechanische hulpmiddelen die ter beschikking kwamen. Juist wegens dit mechanische karakter ligt hier zeker een werkgebied voor fijnmechanische studie. Men krijgt de indruk, dat de Russen in deze sector een zekere voorsprong hebben op het Westen. Misschien hangt dit samen met hun grote traditie op het gebied der fysiologie.

Van meer fysische aard zijn de waarnemingsmiddelen voor medische doeleinden, zoals doorlichtingsapparatuur met röntgenstralen, optische inspectiemiddelen en elektronische opnemers voor het hart of het zenuwstelsel. De constructieproblemen in dergelijke apparaten worden meestal niet in de eerste plaats bepaald door mechanische mogelijkheden die de apparatuur moet bezitten: dit gebied is dan ook niet primair een werkterrein voor een fijnmechanisch specialist. Ook hier zijn weer uitzonderingen. De micro-elektroden, die in de fysiologie gebruikt worden, zijn op zichzelf een voorbeeld van fijnmechanische techniek, echter van de soort, die instrumentmakers beoefenen. Bij voldoende vraag worden deze artikelen misschien later wel op meer industriële manier gemaakt. De fabricage op industriële basis van medisch-fysische apparatuur brengt natuurlijk de nodige fijnmechanische problemen met zich mee. Deze problemen zijn echter grotendeels gelijk aan die in andere fijnmechanische industrieën. Vele van de toegepaste kleine onderdelen gebruikt men reeds in andere apparaten en het samenbouwen van deze onderdelen kan men als een algemeen probleem zien.

De montage, dus het samenvoegen van kleine en fijne onderdelen, is te beschouwen als één van de belangrijkste problemen van de industriële fijnmechanische techniek. Die montage is niet alleen technisch moeilijk, doch ook economisch belangrijk, zoals blijkt uit de kosten. Vooral bij de enklfabricage, dus van artikelen die in heel kleine aantallen per week of per jaar gemaakt worden, vormen kosten van het samenbouwen een belangrijk deel van de totale kostprijs. Naast het kostenaspect is ook van belang, dat de uiteindelijke kwaliteit van het artikel ten sterkste beïnvloed wordt door de zorg die er tijdens de montage aan besteed wordt.

De keuze van de hulpmiddelen hangt sterk af van de seriegrootte. In het algemeen is het nodig dat, wanneer de menselijke hand of het oog te kort schiet om de montage te verrichten, men allerlei mechanische en optische hulpmiddelen moet gebruiken. Wanneer we even teruggrijpen op Kuhlenkamps definitie van het werkgebied der

"Feinwerktechnik" waarbij dit gebied alle apparatuur omvatte die de mens hielp bij denken of bij waarnemen, dan zien we hier duidelijk hoe deze indeling een grote groep twijfelgevallen doet ontstaan. Immers bij bovengenoemde montage-apparatuur is zowel sprake van hulp bij de menselijke kracht als bij het waarnemen. In feite behoren daarom veel produktiemachines tot beide gebieden, namelijk tot het gebied van de "Maschinenteknik" en tot dat van de "Feinwerktechnik". Deze hulpmiddelen bij montage van fijnmechanische artikelen worden des te geraffineerder, naarmate de te produceren aantallen dit lonend maken. Ondanks de soms grote technische moeilijkheden gebruikt men bij zeer grote serie-aantallen bij de montagebewerkingen vrij ver geautomatiseerde machines. Als voorbeelden kunnen genoemd worden de montagemachines voor radio-buizen, gloeilampen en ook voor bepaalde gedeelten van uurwerken; voor vele andere artikelen - dioden, transistoren, weerstanden - zijn belangrijke ontwikkelingen aan de gang. De ontwikkeling van deze gecompliceerde montagemachines vergt tamelijk veel tijd. Een gevolg hiervan is, dat het vervangen van in massa geproduceerde fijnmechanische artikelen door betere produkten van geheel andere constructie maar betrekkelijk langzaam plaats heeft. Deze vervanging wordt ook vertraagd, doordat juist tijdens deze langdurige ontwikkeling de fabricage-ervaring met de oude artikelen steeds toeneemt. Hierdoor daalt de kostprijs, zodat de gebruiksvoordelen van het nieuwe artikel nog groter zullen moeten zijn om het oude te kunnen verdringen.

Deze situatie schept een typisch probleem voor de leiding van de ontwikkelactiviteiten in een modern bedrijf. De ontwikkelgroep heeft als geheel gezien altijd een begrensde capaciteit. Men moet nu trachten de inspanning van de groep zodanig te verdelen, dat het nieuwe produkt op tijd klaar komt, terwijl tegelijkertijd de kostprijs van het bestaande artikel nog zoveel mogelijk omlaag wordt gebracht. Het kiezen van de juiste objecten voor de nieuwe ontwikkeling, naast verbetering van de bestaande produkten, is een probleem, dat alleen goed opgelost kan worden, wanneer men van elke beslissing de technische gevolgen in de fabricage en de economische gevolgen op de markt kan overzien. Het meedenken op deze manier over economisch-technische problemen is een vorm van "engineering management" die men eerder verwacht van een ingenieur dan van een meer abstract denkend fysicus of chemicus. Hoewel een deel van de gemaakte opmerkingen geldt voor andere soorten industrieën, is ook bij het volgende weer speciaal gedacht aan de ontwikkeling en

massafabricage van fijnmechanische artikelen. Naast het kiezen van juiste objecten voor ontwikkeling is het bepalen van het juiste tempo van realisatie van deze ontwikkeling een zeer belangrijke opgave. Het verband tussen tempo van ontwikkeling, kwaliteit van de ontwikkelingsresultaten en de ontwikkelkosten laat zich moeilijk nauwkeurig analyseren. Bij de kosten bijvoorbeeld speelt de kwaliteit van het beschikbare ontwikkelteam een overwegende rol. Onder de kwaliteit van een team wordt hier de deskundigheid of bekwaamheid verstaan. Deze kwaliteit wordt gedeeltelijk bepaald door de creatieve aanleg van de leden van dit team, doch voor een ander belangrijk deel ook door de ervaring, dus het aantal praktijkjaren, van de leden en tenslotte door hun vermogen tot samenwerken. De ontwikkel-efficiency is moeilijk in de planning van de ontwikkeling te verdisconteren. Toch is de genoemde produkt- en fabricage-ontwikkel-tijd een dusdanig belangrijk gegeven bij alle beslissingen, dat men deze tijd onvermijdelijk moet schatten. Bij een goede schatting wordt dan rekening gehouden met de te verwachten efficiency van het ontwikkelteam.

Tijdens het ontwikkelen moeten bepaalde onderdelen van de te construeren apparatuur waarvan de goede functionering van te voren betwijfeld wordt, afzonderlijk gemaakt en beproefd worden. Soms zijn modelproeven mogelijk en de resultaten van de afzonderlijke stappen bepalen dan de verder te volgen weg. Hierbij kan men soms om tijd te winnen bepaalde ontwikkelfasen reeds beginnen zonder dat alle gegevens van vorige stappen bekend zijn; het toegenomen risico moet dan worden afgewogen tegen de mogelijke tijdwinst. Wanneer het probleem belangrijk genoeg is zal men soms een aantal paralleloplossingen tegelijk beproeven.

Het kunnen kiezen uit theoretisch denkbare of soms naderhand ontdekte mogelijkheden en het kunnen afwegen van risico's bij ontwikkelwerk behoren tot de eigenschappen die een ingenieur zich alleen door ervaring voldoende kan verwerven. Toch lijkt het wel nuttig om gedurende de eindfase van de opleiding tot ingenieur enige aandacht aan dit aspect van de industriële praktijk te besteden.

Hoezeer het kiezen van een juist tempo in de verschillende fasen van een ontwikkelingsproject tegenwoordig in de belangstelling staat, blijkt uit de aandacht die bedrijfseconomische wiskundigen nu aan dit vraagstuk zijn gaan schenken. Zo tracht D. R. FULKERSON in een recent artikel in het Amerikaanse tijdschrift "Management Science" de kosten van een ontwikkelproject langs wiskundige weg tot een

minimum terug te brengen. Het totale ontwikkelwerk wordt hierbij onderscheiden in een groot aantal deelproblemen. Deze deelopdrachten, dus ontwikkelfasen, kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het nemen van oriënterende proeven, het maken van een eerste ontwerp, het bouwen van een prototype, het beproeven ervan, het wijzigen van een model, herziening van de tekeningen, het maken van een definitief ontwerp voor serieproductie enzovoort. Aangenomen wordt, dat bepaalde opdrachten klaar moeten komen, voordat andere begonnen kunnen worden. Voor iedere opdracht wordt een bepaalde minimale verrichtingstijd (crash completion time) en een normale verrichtingstijd aangenomen; de kosten voor de opdracht variëren lineair met de tijd tussen deze uiterste waarden. De wiskundige oplossingsmethode wordt dan gegeven voor alle toelaatbare verrichtingstijden voor de diverse deelopdrachten. Indien men de eerste proeven niet goed doet, zal men later bij het bouwen of beproeven meer moeilijkheden ondervinden en dit geldt algemeen: de hoeveelheid werk van iedere fase hangt sterk af van de kwaliteit die in het resultaat van de voorgaande ontwikkelfasen is bereikt. Zo kan men ook de hoeveelheid werk voor het maken van het definitieve ontwerp verminderen door niet voldoende beproefde of doordachte ontwerpen voor seriebouw vrij te geven. Hoewel dit natuurlijk struisvogelpolitiek is, wordt deze toch altijd enigermate toegepast, zodat het alleen zin heeft om rekenmodellen voor dit planningvraagstuk te maken, als het bovengenoemde effect daarin op een of andere manier is verdisconteerd. De beschouwingen van FULKERSON houden echter geen rekening met dit verschijnsel.

Een algemene moeilijkheid van planningproblemen op het gebied van industriële ontwikkeling bestaat in het definiëren van een doel, dat op korte en lange termijn de beste resultaten zal geven. Bovendien moet dit doel een totale activiteit dekken. Een voorbeeld van een afgerond probleem vormt de ontwikkeling van een nieuw produkt samen met het ontwikkelen van de nodige fabricagetechniek. Men maakt zo één ontwikkelplanning-vraagstuk en stelt het verkrijgen van een goed lopende fabricage van het artikel als eindpunt.

Een dergelijk samengesteld project moet dus als geheel geprogrammeerd worden, waarbij dan de eis is, dat de totale tijd of kosten geminimaliseerd worden. Het bepalen van de mogelijkheden van realiseren van slechts een deel van dit programma, bijvoorbeeld alleen het maken van een prototype van het produkt, kan een misleidende indruk geven, waarop onjuiste beleidsbeslissingen zouden genomen worden.

Het is niet goed mogelijk iemand die weinig praktische ervaring heeft, voldoende begrip bij te brengen voor het belang van problemen van een juiste tempokeuze bij de ontwikkeling. Toch is het misschien wel nuttig om aan de technische student enig besef mee te geven van de betekenis van de tijdsfactor, die in de scherp concurrerende industriële ontwikkeling een zeer belangrijk element gweorden is. Hierbij moet hem dus duidelijk worden, dat het bereiken van de best mogelijke resultaten in een voorgeschreven tijd tot een eigen manier van oplossen kan leiden, waarbij het oude gezegde, dat het betere (teveel tijd kostende) de vijand is van het goede, vaak van toepassing is. Nog twee andere gezegden welke bij ontwikkelbeleid van belang zijn, moeten van tijd tot tijd gehanteerd worden om de juiste middenweg te houden. Dit zijn: "Haastige spoed is zelden goed" en "Bezint eer gij begint". Vooral de laatste spreuk moge een aansporing zijn om eerst op papier zoveel mogelijk de technische mogelijkheden van een idee ook kwantitatief te benaderen, voordat er iets stoffelijk gemaakt wordt.

Een van de belangrijkste gebieden van samenwerking van elektronische, chemische en fysische ingenieurs met de fijnmechanisch georiënteerde werktuigkundige collega's vormt de ontwikkeling en fabricage van elektronische apparatuur met de bijbehorende onderdelen, de z.g. standaard-bouwelementen als weerstanden, condensatoren, dioden en transistoren. De elektronische bouwelementen van deze apparatuur worden in het algemeen in zeer grote series gemaakt; de vervaardiging ervan heeft daarom het duidelijke kenmerk van massafabricage. Zo kan de mechanisatie hier een nog grotere rol spelen dan bij het samenbouwen tot elektronische apparaten. Dit samenbouwen wordt tot de apparatenfabricage gerekend. Bij deze apparatenfabricage treden grote verschillen in seriegrootte op. Zo zijn bij de fabricage van produkten uit de sector van meten of regelen kleine series normaal, terwijl apparaten voor gebruik in de huiskamer, zoals radio- of televisietoestellen, veel grotere fabricageseries vereisen.

Op het gebied van elektronische bouwelementen hebben sinds de tweede wereldoorlog belangrijke ontwikkelingen plaats gevonden. Reeds vóór de verschijning van de halfgeleiders als algemeen verkrijgbaar bouwelement, waren de nieuwe typen buizen, condensatoren en weerstanden, vergeleken bij de vooroorlogse typen, belangrijk verkleind. De halfgeleiders maakten echter een buitengewoon snelle verkleining van bijna alle onderdelen mogelijk, namelijk



van circa 300 onderdelen per  $\text{dm}^3$  tot circa 20.000 onderdelen per  $\text{dm}^3$  en men denkt nu al aan nog veel kleinere onderdelen. De nog aanwezige bezwaren van de transistoren, zoals de temperatuurgevoeligheid, de grotere spreiding in eigenschappen, de kleinere versterking per trap en de grotere niet-lineariteit kunnen gecompenseerd worden door een vergroting van het aantal toegepaste elementen. Deze toename van het aantal doet natuurlijk wel een klein deel van de door miniaturisering mogelijke ruimtewinst weer verloren gaan.

Ook het toepassingsgebied van deze elektronische bouwelementen is de laatste twintig jaar enorm uitgebreid. De grote promotrice is hierbij de uitbreiding van toepassingen op militair gebied geweest. Een indruk hiervan geeft het aantal elektronische elementen, dat in opeenvolgende typen bommenwerpers werd gebruikt: in 1945 circa 5000, in 1952 circa 20.000, in 1960 circa 95.000, terwijl het voor een nu in ontwikkeling zijnd toestel op 150.000 wordt geschat. De waarde van de elektronische uitrusting steeg hierbij van enige procenten tot 30 percent van de totale prijs van het toestel. Deze kostbare, snelle ontwikkeling kon plaats vinden, omdat de bij normale artikelontwikkeling aanwezige economische remmen, namelijk de nog niet terugverdiende investeringen, hier geen rol spelen. De meeste ontwikkelingen werden door militaire instanties betaald. Commerciële rentabiliteit is niet van belang, zolang een opbrengst alleen uitgedrukt kan worden in een mate van militair nut, die tot nu toe gelukkig nog steeds een denkbeeldige waarde heeft.

Deze verkleining (miniaturization) is niet tot haar eindfase gekomen. Integendeel, men kan zeggen, dat de nieuwste snufjes van micro-miniaturization, die technisch reeds als enkel proefje gelukt zijn, nog wel erg ver af zijn van het stadium van goedkope massafabricage. Er zijn echter toch reeds een aantal nieuwe bouwelementen en standaardconstructies van groepjes bouwelementen ontwikkeld die in duurdere speciale toepassingen, zowel op militair als op niet-militair gebied, hun gebruikswaarde hebben bewezen. Deze elementen zijn echter nog niet algemeen ingevoerd in bijvoorbeeld het radio- en televisiegebied en hier is nog een belangrijke vooruitgang te verwachten. Een van de gevolgen zal wel zijn, dat ook de veel ingewikkelder kleurentelevisie-apparaten dan voor een algemeen betaalbare prijs gemaakt kunnen worden.

Het zou te veel tijd vragen om zelfs een globaal overzicht te geven van deze stormachtige ontwikkeling. De slagwoorden, men zou haast zeggen lyrische reclametermen die men gebruikt in verschillende

publikaties over miniaturisatie van elektronische apparatuur, geven wel aan, hoezeer deze ontwikkeling de fantasie van de schrijvers van technische overzichten heeft geprikkeld. Men heeft het in Duitsland over "Molekular-Elektronik", wat wordt samengetrokken tot "Molektronik". Amerikanen spreken van "Tiny Titans", de kleine Titanen, terwijl de Fransen het over "l'électronique moléculaire" hebben. Er zijn hierbij verschillende technische oplossingen naast elkaar in ontwikkeling. Tot de meest compacte oplossing komt men met de samengestelde bouwelementen, "microminiaturecircuits", waarbij de elementen van de schakeling (weerstand, capaciteiten, transistoren, dioden enzovoort) worden aangebracht op een blokje silicium, dat als halfgeleider-element door allerlei bewerkingen op verschillende plaatsen verschillende eigenschappen krijgt en na het aanbrengen van de contactaansluitingen als elektronisch groepplan, bijvoorbeeld als multivibratorschakeling kan werken. Dat de fabricagemethode van deze samengestelde producten naast fysische en chemische problemen ook de nodige fijnmechanische problemen met zich meebrengt, is ieder duidelijk die getracht heeft deze producten met het blote oog te bekijken.

Vele elektronische apparaten voor informatie-overdracht en informatiebewerking worden gebouwd met elektro-mechanische onderdelen, zoals relais en draaicondensatoren. Ook deze onderdelen zijn de laatste jaren nog verkleind, zodat er echte kunststukjes van fijnmechanische constructie ontstonden. Toch kon men de verkleining tot een schaal die enigszins zou passen bij de grootte van de nieuwste transistoren, niet bereiken. De schakelfunctie van de relais worden daarom steeds meer door transistoren en dioden overgenomen. Voor de goede vervanging van de draaicondensator is men nog niet zo ver, doch de oplossing wordt niet meer onmogelijk geacht, zodat men na een lange ontwikkeltijd zeker mag verwachten, dat de fijnmechanische bouwelementen van de elektronica grotendeels door geheel elektronische bouwelementen zullen worden vervangen.

De elektronische basisonderdelen, als weerstanden, vaste condensatoren, dioden en transistoren, geven vooral in moderne, zeer kleine uitvoering een groot aantal fijnmechanische fabricageproblemen. Bij de bouwwijze van elektronische apparaten met sterk doorgevoerde normalisatie van deze elementen en het groeiende toepassingsgebied van de elektronica zijn de serie-aantallen van deze onderdelen enorm groot geworden. Hierdoor is een hoge graad van automatische fabricage van deze onderdelen economisch mogelijk. De mechanisatie

wordt wel vertraagd door de grote technische moeilijkheden die bij hanteren en bewerken van uiterst kleine en kwetsbare produkten optreden. Bij het fabriceren van buizen, onder welke naam standaardbouwelementen vallen waarbij tijdens het functioneren elektronen een baan in een hoogvacuümruimte doorlopen, heeft men te maken met onderdelen van zeer dunne plaat of draad van alle mogelijke metalen en legeringen waarvan de vorm en onderlinge stand bepalend zijn voor de elektrische eigenschappen van het eindprodukt. De kleinst voorkomende afstanden en afmetingen zijn van de orde van grootte van 5 mikron; de toelaatbare afwijking is hierbij omstreeks één mikron. Men ziet dat de absolute nauwkeurigheid groot is, terwijl de relatieve nauwkeurigheid, welke afhangt van de verhouding tussen de maatafwijking en de maat zelf, betrekkelijk klein is. De materialen zijn echter zo dun, dus zwak, dat er toch veel hulpmiddelen gebruikt moeten worden om op een primitieve manier een prototype van een buis te maken. Hierbij is het zelfs onmogelijk om bepaalde onderdelen met de hand te vervaardigen. Men moet steeds eerst bestaande machines of gereedschappen aanpassen, of geheel nieuwe ontwikkelen, om het eerste prototype te kunnen maken. Bij de constructie van halfgeleiders heeft men een heel andere situatie. De elektronen gaan niet in een baan door vacuüm, zoals bij buizen. De elektriciteit vloeit steeds door vaste stoffen die van zeer speciale, nauwkeurig voorgeschreven samenstellingen zijn en waarbij in en op de onderdelen overgangslaagjes langs fysisch-chemische weg zijn aangebracht. Het aantal onderdelen van bijvoorbeeld een transistor is veel geringer dan dat van een buis; het aantal bewerkingen per onderdeel daarentegen enige malen groter.

De uitwendige maten en toleranties van de halfgeleideronderdelen zijn kleiner dan die van vergelijkbare buizen, doch dit verschijnsel is niet zo groot, dat het fijnmechanisch gezien tot geheel nieuwe middelen heeft geleid. Wel worden er soms hoge eisen gesteld aan de procesbeheersing, zowel bij bewerkingen van de onderdelen in ovens als bij behandelingen in vloeistoffen en dergelijke. Deze problemen komen bij buizenfabricage natuurlijk ook wel, doch veel minder voor. De zeer kleine afmetingen van transistoren maakt, dat het aanbrengen van contact-verbindingen inwendig in het produkt één van de moeilijkste problemen is voor een ordelijke massaproductie. De produktomhullingen die het inwendige moeten afschermen tegen chemische invloeden van de atmosfeer, zijn van steeds groter belang gebleken voor de kwaliteit op lange termijn. Een zekere standaardisatie in die vorm begint nu tot snel toenemende mechanisatie van de omhullingenfabricage te leiden.

Het ziet er evenwel naar uit, dat nieuwe fabricagemethoden van de halfgeleiderkristallen in de verdere toekomst (misschien al binnen enige jaren) toch weer kleinere, eenvoudiger omhullingen mogelijk maken. De soms zeer speciale produktiemachines en gereedschappen (waarbij "speciaal" betekent, dat zij niet op economische wijze te veranderen zijn voor andere produkten of diensten) moeten dus wel uiterst snel afgeschreven worden, daar hun nuttige leven door mogelijke produktwijziging al bedreigd wordt nog voor de machines goed in gebruik zijn. Alle genoemde mechanisatie-activiteiten worden echter niet in de eerste plaats ondernomen om de kostprijs te verlagen. De schaarste aan personeel kan een dwingend argument zijn. Toch mag niet vergeten worden, dat het onderhoud van machines, naarmate de mechanisatie toeneemt, een verhoging van het aantal eveneens schaarse vaklieden vraagt en dat ook de machinebouwcapaciteit om dezelfde reden beperkt is. Het belangrijkste argument voor mechanisatie is de kwaliteitsverbetering van de zeer kleine, moeilijke produkten. Het is namelijk gebleken, dat op den duur een hogere graad van mechanisatie van de bewerkingen altijd leidde tot betere kwaliteit van het artikel. Het grappige feit doet zich voor, dat deze kwaliteitsverbetering eigenlijk een gevolg is van een tekortkoming van de produktiemachines. Machines zijn namelijk minder in staat om materiaal, zoals draad, plaat of halfbewerkte onderdelen, te verwerken, wanneer de eigenschappen daarvan belangrijk afwijken van de gestelde norm. Met de hand kan men losse onderdelen en materiaal als plaat of draad, dat nogal afwijkt van het optimum, soms nog wel verwerken tot bruikbare eindprodukten. Het blijkt echter, dat er dan altijd grensgevallen zijn, die, ook bij handfabricage, leiden tot produkten van twijfelachtige kwaliteit. Hierdoor wordt dus het gemiddelde kwaliteitsniveau van met de hand gemaakte produkten iets lager dan bij goed uitgangsmateriaal het geval zou zijn. Om materiaal en onderdelen automatisch, dus meer gemechaniseerd, te kunnen verwerken, moeten strengere eisen aan de kwaliteit worden gesteld. Deze eisen veroorzaken eerst een opbrengstvermindering, dus kostprijsverhoging in de toeleverende afdelingen, omdat men daar strenger moet gaan keuren. Het blijkt echter, dat deze eisen op den duur altijd weer verwezenlijkt kunnen worden zonder extra uitval. Wel wordt natuurlijk meer oplettendheid van het personeel en betere controle op de toestand van gereedschappen e.d. vereist, een geheel van kwaliteitsbepalende factoren dat men wel samenvat onder de term fabricagediscipline, dat is dus de discipline van het goed opvolgen der fabricagevoorschriften. De fabricagediscipline en

daarmee het kwaliteitsniveau van toeleverende afdelingen kunnen dus min of meer ongemerkt iets dalen of na aanloop van een nieuw produkt op laag niveau blijven hangen, als de afnemer de produkten met de hand verder bewerkt. Men wordt in de toegeleverde afdeling pas tot verbetering gedwongen, wanneer bij de erachter geschakelde bewerkingen meer gemechaniseerde methoden ingevoerd moeten worden. Dit leidt dan uiteindelijk vanzelf tot een kwaliteitsverbetering, natuurlijk niet altijd zonder strubbelingen. We kunnen deze beschouwingen samenvatten in de volgende uitspraak: de problemen van de fijnmechanische techniek in de massafabricage zijn ten nauwste verbonden aan de factoren kwaliteitsbeheersing en kosten.

Men kan zich voorstellen dat het, om fabricage-technische redenen alleen al, noodzakelijk was ingrijpende wijzigingen in de constructie van de elektronische bouwelementen aan te brengen, toen men deze wilde verkleinen. Dit verkleinen was dan het gevolg van een eis van ruimtebesparing, omdat de toenemend gecompliceerde functies van de elektronische apparaten een veel groter aantal bouwelementen vereisten. Er zijn echter ook andere redenen voor verkleining en dat zijn fysieke eisen, die weer samenhangen met de steeds hogere frequenties welke gebruikt worden in de elektronische toepassingen. Hoge frequenties betekent kleine capaciteit en kleinere zelfinducties, dus kleine afmetingen; ook moeten de elektronenbanen korter worden om kortere looptijden te krijgen. Niet alleen militair gebruik, doch ook het gewone commerciële gebied van de televisie en vooral de radar vraagt om deze frequenties.

Naast de min of meer enkelvoudige elektronische bouwelementen, waarvan ik enkele fabricage-aspecten besprak, zijn de samengestelde elektronische bouwelementen die bestaan uit groepjes onderdelen welke volgens verschillende methoden zijn samengevoegd, van toenemend belang. Het meest aansluitend in techniek bij en gebruik makend van de reeds besproken enkelvoudige onderdelen zijn de platen met gedrukte bedradingen, waarop de onderdelen min of meer gemechaniseerd met soldeer worden aangesloten. In tegenstelling met later te noemen technieken zijn deze zogenaamde prints tijdens de fabricage meestal wel te repareren, als bij elektrisch doormeten een fout blijkt. Dit is dus een voordeel. Een nieuwe montagemethode, die bijna hetzelfde gebruiksgebied bestrijkt als de platen met gedrukte bedrading, is de zogenaamde amplaconstructie, toegepast in de Amerikaanse telefonietechniek. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een bouwplaat van gegoten plastic, waarbij de elementen (buizen,

weerstanden, condensatoren enz.) met hun toevoerdraden worden ingegoten en later aan de buitenkant van de plaat door solderen op de juiste manier verbonden worden. Men heeft bovendien deze hand-soldeer methode door een handig gereedschap met draadtoevoer-mechanisme veel versneld en noemt dit pencil-wiring, waarbij de naam ontleend is aan de vorm van het gereedschap. Naarmate men kleinere onderdelen meer compact in elkaar stapelt (de zogenaamde microcircuitconstructie) zal de uitval bij de fabricage meestal niet te repareren zijn. Door de grote gecompliceerdheid van het samengestelde produkt, neemt de kans op een fout in de fabricage natuurlijk toe. Een deel van de besparing, die bij de goedkopere eindmontage bereikt kan worden, gaat verloren door deze hogere uitvalkosten bij het maken van de complete onderdelen.

Een belangrijk vraagstuk bij de constructie van elektronische apparaten wordt gevormd door de keuze van de aantallen onderdelen die tot apart gemonteerde groepen gecombineerd moeten worden. Deze aantallen worden zeker niet alleen bepaald door de bouwkosten van het nieuwe toestel. Het blijkt namelijk dat vooral de onderhoudskosten een rol spelen, omdat deze bij bepaalde aantallen onderdelen per vooraf gemonteerde groep een duidelijk minimum vertonen. De onderhoudskosten zelf zijn bij elektronische apparatuur bovendien vaak nog belangrijker dan de aanschaffingskosten. Een indruk over de frequentie van reparatie krijgt men als men in recente Amerikaanse gegevens leest, dat bij gecompliceerde moderne communicatie-apparatuur voor gebruik in vliegtuigen de gemiddelde tijd tussen twee storingen slechts ongeveer 200 uur bedraagt. En men kan er toch wel zeker van zijn, dat juist hier bij de ontwikkeling ook de betrouwbaarheid naast het gewicht, zwaar geteld heeft. Naast de onderhoudskosten is bij de keuze van te normaliseren elektronische schakelingen het feit van belang, dat een meer speciale functie van een schakeling - met dus een groter aantal elementen - ook een minder universele gebruiksmogelijkheid van deze schakeling als standaardelement betekent. Dit geeft dus een verkleining van de fabricageserie en een verhoging van de prijs.

In tegenstelling tot het gebruik van militaire toestellen levert een uiterste verkleining bij vele industriële toepassingen geen belangrijk voordeel op. Men is hier veel meer geïnteresseerd in betrouwbaarheid en gemakkelijk onderhoud van de apparatuur. Economische factoren, doch ook emotionele factoren (reclame, concurrentie-angst, technisch snobisme e.d.) zullen bepalen, in hoeverre en wanneer de

speciaal voor militaire doeleinden ontwikkelde elektronische microbouwelementen overgenomen worden voor normaal gebruik. Het kiezen van een juiste koers bij de ontwikkeling van deze microelementen voor de gewone markt is nog des te belangrijker, omdat economische fabricage een sterke mechanisatie vereist. Dit betekent, dat deze ontwikkelingen zeer kostbaar zijn, want het is niet mogelijk alleen proeven op kleine schaal, dus met kleine aantallen te nemen. Kiest men voor de ontwikkeling van microbouwelementen een techniek of type - en vroeg kiezen is noodzakelijk, als men in technisch opzicht in de voorhoede wil blijven - dan kan het tijdverlies bij onjuiste keuze zo groot worden, dat een technische voorsprong snel omslaat in een achterstand. Het middel om zich hiervoor te behoeden is natuurlijk meer mogelijkheden parallel te ontwikkelen, doch met een beperkte totaalcapaciteit van ontwikkelen is de vooruitgang dan wat langzamer en kan men hiermee dus toch achter raken.

Het lijkt me niet juist om met deze wat sombere opmerkingen een voordracht te besluiten. Wanneer we daarom terugkeren tot het uitgangspunt van onze beschouwingen over de fijnmechanische techniek in de industrie dan geloof ik, dat ik U aannemelijk heb gemaakt, dat het mijn oprechte overtuiging is, wanneer ik zeg, dat het industriële gebied van de fijnmechanische techniek een uiterst interessant werkgebied is voor jonge werktuigkundige ingenieurs met fantasie, durf en tempobesef. Mijn vertrouwen in de enorme groei van dit gebied is gebaseerd zowel op de groei van de automatisering der produktie in het algemeen als op de spectaculaire verrichtingen van de elektronica.

Aan het einde van mijn voordracht gekomen zij het mij vergund mijn eerbiedige dank te betuigen aan *Hare Majesteit de Koningin* voor mijn benoeming tot buitengewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

Het vertrouwen, dat U door Uw medewerking tot deze benoeming in mij gesteld heeft, hoop ik niet te beschamen.

De instelling van deze nieuwe leerstoel in de fijnmechanische techniek moge bijdragen tot de verhoging van wetenschappelijk research op dit gebied en van de kunde der afgestudeerde ingenieurs.

*Mijne Heren Leden van de Senaat,*

In de voorafgaande voordracht is uiteengezet, hoe steeds belangrijker en intensiever de samenwerking in de industrie tussen ingenieurs van uiteenlopende studierichtingen is geworden.

Deze samenwerking vindt haar afspiegeling in de samenwerking tussen hoogleraren en medewerkers van afdelingen bij wetenschappelijk onderwijs. Ik hoop hiertoe in de komende jaren een aandeel te kunnen bijdragen, zodat een harmonische opleiding blijft bestaan bij de steeds veranderde eisen.

*Mijne Heren Leden van de Raad van Bestuur van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,*

Ik stel het zeer op prijs dat ik Uw toestemming heb verkregen om deze tweede taak te mogen aanvaarden. Uw belangstelling voor en bereidheid tot daadwerkelijke steun voor het wetenschappelijk onderwijs wordt hiermee opnieuw gedemonstreerd.

*Waarde Hazen,*

Aan Uw belangstelling voor de produktietechniek heb ik gedurende een belangrijk deel van mijn loopbaan veel steun kunnen ontleen. De kunst van het delegeren van verantwoordelijkheid is in de dagelijkse samenwerking van allen, die met U samenwerken zo gegroeid, dat dit één van de argumenten voor mij was om deze benoeming te aanvaarden.

*Waarde Ruibing en collega's van de Staf van de Hoofdindustrialiegroep Elektronenbuizen,*

Het probleem van het voldoende contact met elkaar houden is steeds zwaarder geworden, vooral door de spreiding van onze industrie buiten Eindhoven. Onze wil tot samenwerken is er echter des te meer door gegroeid en zo verwacht ik, dat ook deze benoeming, die mij in de toekomst nog iets vaker moeilijk bereikbaar zal maken, het goede samenspel niet schaadt.



*Mijne Heren Medewerkers van de Hoofdindustrialgroep Elektronenbuizen,*

Ik hoop, dat de benoeming aan deze Hogeschool ook aan onze goede samenwerking niets verandert. Het nog grotere contact met sectoren van ontwikkeling buiten onze eigen kring kan bevruchtend werken op de ontwikkelings- en mechanisatie-activiteiten, die voor onze industrie een levensbelang zijn. Het is gelukkig mogelijk geweest in de afgelopen jaren een grote en bekwame staf medewerkers voor de mechanisatie bijeen te brengen, waardoor de continuïteit in de uitvoering van het werk van de mechanisatie- en onderhoudsgroepen volgens menselijke maatstaf verzekerd is.

*Mijne Heren Hoogleraren van de afdeling der Werktuigbouwkunde,*

De talrijke vergaderingen, die ik reeds in Uw afdeling kon meemaken nog vóór mijn benoeming, hebben mij het volle vertrouwen gegeven, dat onze samenwerking op een wederzijds juist begrip zal berusten.

*Mijne Heren Medewerkers van de T.H.E. en speciaal van de afdeling der Werktuigbouwkunde,*

Met U ben ik helaas nog weinig in contact geweest, doch ik hoop in de toekomst op Uw aller hulp te mogen rekenen bij mijn taak. Van mijn kant hoop ik ook U in onze samenwerking nooit teleur te stellen.

*Dames en Heren Studenten,*

Deze voordracht was ook bedoeld om juist U iets te vertellen van de ingenieurstakingen in de ontwikkelings- en fabrieksectoren van moderne bedrijven. Voor U lijken deze problemen waarschijnlijk erg veraf te staan van de studie, die noodzakelijkerwijze het kennen van een toenemend aantal begrippen uit de exacte vakken en de techniek omvat naast het min of meer slaafs leren toepassen van oplossingsmethoden. Het is echter onze plicht U boven dit niveau van werken uit te brengen, zodat U met onafhankelijke, kritische zin en durf in staat bent nieuwe wegen te vinden waar dat nodig is. Dit geldt zowel voor de analytische problemen, welke ook origineel vernuft bij het opsporen van fouten in methode of organisatie eisen, als voor de

kunst van het ontwerpen, waarbij het nut van creatief vermogen evident is. Toch berust in het laatste geval een groot deel van schijnbaar nieuwe constructieve scheppingen op het overbrengen van bekende principes naar een nieuw gebied en voor deze manier van scheppen wordt dus toch weer een belangrijk analytisch vermogen vereist. Een uitspraak, die hierop enigszins betrekking heeft, luidt: het juist stellen van een probleem betekent dat het grotendeels opgelost is. Dat dit ook op constructief gebied vaak geldt, hoop ik U later duidelijk te mogen maken. Daar het gebied van de fijnmechanische techniek relatief steeds belangrijker wordt, raad ik U aan dit gebied bij de studie niet te verwaarlozen. Ten overvloede wijs ik erop, dat men nooit mag verwachten, in welke technische sector dan ook, bij een normale studieduur tot specialistenniveau te komen.

*Dames en Heren,*

Ik dank U voor Uw aandacht.