

20 Jaar

Fijnmechanische

Werktuigbouwkunde

DR. D. DE JONG

20 JAAR FIJNMECHANISCHE WERKTUIGBOUWKUNDE

College
bij het afscheid als hoogleraar
in de fijnmechanische techniek
aan de afdeling der Werktuigbouwkunde
van de Technische Hogeschool te Delft
op vrijdag 28 oktober 1983.

Dr. D. de Jong

Het is binnenkort 22 jaar geleden dat ik U op deze plaats in een rede heb mogen onderhouden over de grenzen van fijnmechanische techniek.

Dit een rijkelijk formele uitspraak.

Met "U" bedoel ik: in principe hetzelfde gezelschap, maar velen van u zullen het niet meegemaakt hebben al verheugt het mij een groot aantal vrienden van toen hier nu weer te zien.

"Deze plaats" betekent: in de aula. Maar deze aula was er toen nog niet en de gebeurtenis vond plaats in de Kapel Heilige Geest Zusterhuis aan de Oude Delft nr. 118.

De redenaar werd daar omsloten door een echte preekstoel, dat is één van mijn levendige herinneringen aan dat gebouw. Een tweede herinnering betreft de uitvaart van H.K.H. Prinses Wilhelmina, een jaar later; wij hebben als hoogleraren haar de laatste eer bewezen, staande op een plankier in toga in de open lucht in de Nieuwstraat tegen de muur van de kapel; ondanks veel ongemak een indrukwekkende gebeurtenis. Er is veel veranderd sedert die gebeurtenissen en niet alleen ten aanzien van personen en gebouwen.

Vanmiddag wil ik tot u spreken over

20 jaar Fijnmechanische Werktuigbouwkunde.

Om aan te duiden dat ik wil proberen bij grote lijnen te blijven bevat de titel een afgerond getal.

De naam werktuigbouwkunde in deze titel betekent dat u mag verwachten dat ik het zal hebben over onderwijs en onderzoek, binnen het brede gebied van Fijnmechanische Tech-

niek, onderwijs en onderzoek zoals het zijn plaats gevonden heeft in onze afdeling. Het is een college en ik zal niet schromen het U moeilijk te maken al zal ik niet verder in details gaan dan nodig is.

Tijdens het zojuist afgesloten Symposium hebben medewerkers en oud-leerlingen wél in detail een beeld gegeven van wat er nu aan onderzoek hier gaande is, respectievelijk tot wat voor gevolgen elders het onderwijs hier mede aanleiding is geweest.

Inleiding en oriëntatie

De techniek in het algemeen heeft de afgelopen 20 jaar een snellere ontwikkeling laten zien dan ooit tevoren in 20 jaar.

Dat geldt ook voor fijnmechanische techniek.

Om u daarvan een beeld te geven zal ik 10 voorbeelden noemen van resultaten van onderzoek en ontwikkeling uit de hele wereld, die als innovaties terug te vinden zijn als fijnmechanische produkten. Ik beperk mij uitdrukkelijk tot produkten die u allemaal bekend zijn, waarvan u waarschijnlijk enkele bezit en gebruikt, produkten dus in de privé sfeer. Ik noem niet produkten in de professionele sfeer, niet omdat daarvan voorbeelden moeilijk te vinden zijn, maar juist omdat het aantal voorbeelden overstelpend is.

Mijn selectie heeft als criterium het mechanische aspect. De volgorde is niet strikt chronologisch en ik noem geen jaartallen.

De 10 voorbeelden zijn de volgende:

1. Beeldbuizen voor kleurentelevisie.
2. Weegtoestellen met elektromagnetische krachtmeting, nauwkeurig genoeg voor laboratoria en robuust genoeg voor de industrie.
3. Fotocamera's en filmcamera's met automatische belichtingsregeling.
4. Zulke camera's met bovendien automatische scherpstelling (autofocus).
5. Draaitafels voor grammofoonplaten (platenspelers) met kwartssturing.
6. Videocassetterecorders.
7. De compact-disc voor muziek, en de beeldplaat, samen met de platenspelers daarvoor.
8. Kwartshorloges zowel met digitale als met analoge tijdpresentatie.
9. Chips met hun micronstructuren en haardunne contactdraden als onderdeel van allerlei toestellen.
10. De z.g. personal computers met hun randapparatuur, zoals snelle printers, leesmachines voor geheugendiscs etc.

En dan nog als toegift: de glasvezelkabel voor telecommunicatie.

Ik kan onmogelijk ingaan op alle interessante bijzonderheden van deze ontwikkelingen, waarmee we intussen als gebruikers al helemaal vertrouwd zijn.

Wel op een paar opvallende aspecten.

Het principe dat tot de vernieuwing heeft geleid is soms nog niet eens zo opvallend als het feit dat men erin geslaagd is

een stuk hoogwaardige technologie, een moeilijk produkt, als massaproduct te fabriceren. Dit is misschien wel de belangrijkste vordering in het algemeen van de fijnmechanische techniek.

Kijken we naar de gebruiksaspecten, dan valt het volgende op:

Al deze produkten hebben als functie het in een of andere vorm verwerken van informatie; het zijn informatie-omzetters; dit in tegenstelling tot energie-omzetters.

Als ze al niet klein van afmetingen zijn bestaat er de neiging om ze kleiner te maken. Dit in tegenstelling tot de neiging in de machinebouw en de procesindustrie.

Ze vertonen naast mechanische componenten ook elektrische en soms optische componenten.

De meeste voorzien niet in primaire levensbehoeften, ze veraangename het leven, maken het mogelijk allerlei hobbies uit te leven, passen vooral in een welvaartsmaatschappij en zijn niet direct nodig in ontwikkelingslanden.

Om niet een eenzijdig beeld op te roepen van het totale werkterrein van fijnmechanische techniek moet ik nadrukkelijk de aandacht vestigen op het ook bestaande terrein van de professionele apparatuur.

Een deel van dat terrein wordt gekenmerkt door het trefwoord "instrumenten". Een indruk van wat daarin omgaat kon men krijgen op de vorige maand weer gehouden 2 jaarlijkse tentoonstelling "Het Instrument" in Amsterdam, met produkten van 4300 fabrikanten. Het waren niet allemaal meetinstrumenten maar wel fijnmechanische produkten en van een haast verbijsterende verscheidenheid. Voor het overzicht is de ten-

toonstelling verdeeld in 4 sectoren: procesindustrie, elektronica, laboratorium en medische apparatuur, stuk voor stuk grote afzetgebieden.

De omzet binnen dit terrein in Nederland is ruim 2.5 mld. waarvan helaas maar 10% nationaal produkt.

Nog een ander deel van het terrein van professionele apparatuur wordt gekenmerkt door het trefwoord "communicatie", voor een belangrijk deel "telecommunicatie", voor een ander belangrijk deel "kantoormachines". En dan heb ik nog niet alles gehad.

Het zal duidelijk zijn dat deze professionele apparatuur van groot maatschappelijk belang is en niet alleen voor de industrielanden. Verder is wel duidelijk dat van al deze apparatuur de functie "informatie-omzetting" is.

Aspecten van onderwijs

Het is niet mijn bedoeling volledig te zijn en precieze grenzen te trekken, laat staan dat ik de neiging zou hebben alle produkten als fijnmechanisch te annexeren. Ons werk was studenten op te leiden tot ingenieurs die voldoende voorbereid zijn om met succes werkzaam te zijn op dit grote terrein en dan in het bijzonder in de producerende bedrijven. Om dat goed te doen is een bezinning op de eigenaardigheden van het vakgebied wel verstandig.

In de colleges F.M.T. ben ik altijd begonnen met uit te leggen dat het meestal gaat om kleine afmetingen en wat dat betekent. Dat zal ik in dit college dus ook doen. Het gebruik is al 20 jaar oud en dateert uit de tijd dat werktuig-

bouwkunde en machinebouw ongeveer identiek waren en je dus om iets uit te leggen de machinebouw als referentie moest nemen. Het betoog komt er dan op neer dat werktuigbouwkunde, wat betreft de afmetingen ongeveer 8 factoren 10 beslaat: de interessante maten lopen van 1 micrometer tot 100 meter.

De Machinebouw strekt zich uit tussen 1 mm en 100 m.;

Fijnmechanische Techniek tussen 1 μ m en 100 mm.

Over de grenzen valt heel wat te praten, maar waar het om gaat is dat er een factor 1000 verschil is tussen die beide gebieden.

Begrijpt u mij goed: ik zeg niet dat naast een werktuig van bijvoorbeeld 10 meter lengte er ook een zelfde werktuig van 10 mm lengte te vinden is.

Fijnmechanische werktuigen zijn vaak heel andere machines met heel andere functies dan produkten van de machinebouw.

Constructie-onderdelen laten zich beter vergelijken al zijn ook dan de functies verschillend.

Een stalen cylinder met een diameter van 1 meter wordt toegepast als wals; een cylinder met een diameter van 1 millimeter vindt men als as bij de lagering van een kleine rotor. Beide komen dus voor, maar de functie is geheel verschillend. Ook de aanpak om ze te maken is geheel verschillend. De grootste is natuurlijk de moeilijkste zult u denken. Maar dat is minder vanzelfsprekend wanneer voor beide de maximaal toegestane maatafwijking, de tolerantie, een duizendste van de afmeting is, 1 mm resp. 1 μ m. Dat laatste is bijzonder lastig.

Ik zal nu niet verder uitweiden over de consequenties van die faktor 1000 voor de constructiemethoden, de bewerkingen,

de materiaalkeus, kortom voor de hele denkwereld als men van de grote afmetingen in de machinebouw overgaat naar de fijnmechanische techniek.

Trouwens wie moet er overgaan van het een naar het ander? De studenten die het hoofdvak F.M.T. kozen moesten dat vroeger wel. Het afdelingsstudie-programma bevatte vóór het kandidaatsexamen, de eerste drie jaar, maar weinig problemen uit de wereld van de kleine afmetingen. Sindsdien hebben wij elke gelegenheid aangegrepen om bijdragen te leveren aan het voorkandidaatsprogramma.

Ik acht het van groot belang dat in het basisprogramma aandacht besteed wordt aan de volle breedte van de werktuigbouwkunde en dus ook aan kleine machines. Het zich bezinnen op schaaffecten; het geconfronteerd worden met heel andere probleeminstellingen dan bij grote machines, probleemstellingen van informatieverwerking en nauwkeurigheid daarbij; het kennisnemen van vernuftige oplossingen waaraan juist kleine machines vaak nogal rijk zijn; dit soort zaken moet stimulerend werken op interesse en inventiviteit.

Het hoeft in het onderwijs niet altijd een factor 1000 te zijn.

In een college "Aandrijvingen", waarbij iedereen in onze afdeling denkt aan draaimachines, hijswerktuigen, roerwerken en dat soort grote dingen, kwam jaren geleden plaats voor een bijdrage van onze kant. Je moet je dan groot houden met een verhaal over dingen die voldoende klein zijn. Ik heb het gezocht in een factor tussen 10 en 100 en rondgekeken naar

een voorbeeld waarmee het gehoor enigszins vertrouwd was.

Dat is toen een tandartsboormachine geworden, interessant omdat daar met uitzonderlijk hoge toerentallen wordt gewerkt en omdat iedereen er wel indringend mee in aanraking is geweest.

Om een aandrijving te kunnen dimensioneren moeten de parameters van het lastproces bekend zijn. Voor de eerder genoemde grote machines waren die wel beschikbaar, maar over het tandartsboorproces was niets te vinden.

Met geschatte gegevens, afgeleid uit wat bekend was over het boren van glas en keramiek, heb ik het eerste college moeten geven. Daarna hebben we in een uitvoerig onderzoek met apart ontwikkelde meetopstellingen tenslotte de specifieke verspaningsenergie voor tanden en kiezen, dat wil zeggen van tandbeen, email en amalgaam, als functie van toerental en aanzetkracht, gemeten.

Gelukkig bleek de schatting er niet ver naast gezeten te hebben. Het was minder dan 10 J/mm^3 .

Tijdens het onderzoek hebben we nog gehoopt een optimum te vinden voor het te gebruiken toerental: verkorting van de bewerkingstijd bij constant gehouden pijn, maar er was geen aanleiding tandartsen andere machines te adviseren.

Wanneer men behalve op afmetingen ook gaat letten op krachten, snelheden, momenten en toerentallen en daarmee op vermogens, dan kunnen de factoren nog wel eens groter dan 1000 uitvallen. Sommige tandartsboren worden door een motortje van enkele centimeters, ingebouwd in het handstuk, aangedreven. Het levert ruim 10 Watt. Je hebt er meer dan 1000 parallel nodig om een auto te laten rijden en dan nog niet op

topsnelheid. Het behoort tot de middelgrote fijnmechanische motoren en nog lang niet tot de machines.

De kleinste elektromotoren ter wereld vindt men in moderne kwartshorloges met mechanische wijzers. Ter wille van de mode zijn er horloges niet dikker dan 2 mm, dus is het stap-penmotortje niet dikker dan 1 mm, bij een diameter van enkele mm. Terwille van de levensduur van de batterij van hetzelfde formaat, dus ook niet dikker dan 1 mm, is het vermogen van de motor ongeveer 1 microwatt en dat is voldoende.

Nu mag je niet zeggen dat je er 10 miljoen van nodig hebt om een gat in een kies te boren, want de toerentallen lopen te ver uiteen, maar vergeleken met die ondergrens in de machinbouw zijn de momenten die gevraagd worden wel meer dan 1 miljoen maal kleiner.

Het is natuurlijk een boeiend didactisch probleem om deze kleine wereld aanschouwelijk en aantrekkelijk te maken. Het aantrekkelijk maken voor studenten geeft ons eigenlijk geen problemen.

Bij studenten die aan de keuze van een hoofdvak toe zijn, ziet men in de eerste plaats drie hoofdgroepen; één groep is vooral theoretisch gericht, "ze willen graag rekenen" heet het dan; één groep is gericht op construeren en experimenteren, "ze willen iets maken"; één groep is gericht op organisatie, "ze willen zaken regelen".

Het is steeds het beleid van de afdeling geweest studenten zoveel mogelijk vrij te laten kiezen zodat ze kunnen doen wat ze graag willen, maar tevens om tegen te gaan dat dit ontaardt in: het andere niet willen, een soort losbandigheid dus. Het nieuwe studieprogramma laat deze keuze al in een

vroeger stadium toe dan tot nu toe; de eenkennigheid zal wel wat toenemen.

Het zou niet in het belang van de studenten zijn als dit te ver zou voortschrijden.

Binnen de zoëven genoemde op de constructie en het experiment gerichte groep, treft men behoudens een altijd aanwezige middengroep, twee duidelijk verschillende typen student aan. Het tweede type levert ons een voldoende instroom.

Het ene type wil grote, sterke machines maken, dingen die groter, eventueel veel groter, zijn dan hijzelf; kleine machines boeien hem niet; en dat praat je hem ook niet aan.

Het andere type vindt grote machines en installaties ook prachtig en indrukwekkend, maar niet om zelf te construeren; hij kiest nadrukkelijk voor kleine machines, kleiner dan hijzelf, dingen die je op kunt tillen, in de hand houden of met een pincet hanteren; kleine dingen zijn aantrekkelijk op voorhand, we behoeven alleen maar ons best te doen dat ze dat blijven vinden.

Deze voorkeur gaat overigens nooit zover dat ze niet zelf sleutelen aan hun auto, een energie-omzetter.

Het aanschouwelijk maken van deze kleine wereld voor studenten, maar ook voor onszelf, is misschien wel een hoofdtaak.

Vooraf voor een constructeur is essentieel dat hij zich een duidelijke voorstelling maakt van zijn object, van zijn produkt als geheel, en van de onderdelen en hun samenspel. Bij afmetingen van 1 centimeter en meer is dat met het blote oog te doen; als het 1 meter wordt moet je heen en weer lopen.

Bij kleinere afmetingen heb je loupes en microscopen nodig en soms moet je heel stil zitten.

Eigenlijk zou je om een duidelijke kijk op je object te krijgen zelf moeten krimpen.

In de nationale en de wereldliteratuur hebben enkele auteurs zich met dit probleem beziggehouden en dat heeft geleid tot figuren zoals Alice in Wonderland, Klein Duimpje, Niels Holgersson, de kleine Johannes, Eric, etc. Maar ze komen niet verder dan een krimpfactor 10 en we hebben net gezien dat het soms 100 of 1000 moet zijn. Het is dus niet erg dat het kabouterformaat niet echt kan. Nu blijft alle krimpen een oefening voor de geest.

Een andere beperkt toepasbare oplossing is het maken van modellen 1000:1. Dat is duur maar het heeft op college vaak veel effect gehad. Vooral het model van een injectienaald, met de bedoeling de scherpte van een punt te illustreren, wordt op die schaal heel indrukwekkend en laat rillingen over ruggen lopen, tenminste zo kun je het verhaal erbij wel inkleden.

Dit alles is evenwel meer dan een spelletje. Het is in dit vakgebied absoluut nodig dat je leert denken in systemen, waarbij 1 micrometer een gebruikelijke maat is voor een dikte, een diameter, een stand of een verplaatsing.

Ter vermijding van misverstand

Ik vrees dat ik met mijn beschouwingen over kleine afmetingen en het veelvuldig gebruik van het woord "fijnmechanisch" bij u nog niet de indruk heb weggenomen dat het vooral gaat om mechanische zaken en materiële mechanismen. Als ik nog even terugkom op het lijstje van zopas met de 10 fijnmechanische innovaties van de afgelopen 20 jaar, het lijstje met

de filmcamera's, de videorecorders, de kwartshorloges etc., dan moet ik erop wijzen dat ze allemaal elektrisch werken. Hetzelfde geldt ook voor het overgrote deel van de professionele produkten.

Die elektrificatie gaat veel verder dan inbouw van een signaallampje, het gaat om aandrijving door kleine elektromotoren, elektrische signaalverwerking en soms de meest geavanceerde besturingselektronica: en dat is een essentieel aspect bij deze nieuwe produkten.

Wij moeten ons voor het onderwijs en het onderzoek in de fijnmechanische techniek op het standpunt stellen dat dit normaal is en dat het voor de keuze van onderwerpen en projecten uitgangspunt moet zijn.

Voordat ik daarop doorga wil ik nog even ingaan op de voordelen die deze ontwikkeling heeft voor de consument en begrip tonen voor enkele nadelen. Het is duidelijk dat de elektrificatie en met name de toepassing van elektronica allerlei nieuwe functionele mogelijkheden of verbetering van bestaande mogelijkheden heeft opgeleverd en geleid heeft tot een groter bedieningsgemak.

Het onderstelt wel een maatschappij waar elektrische energie overal en altijd verkrijgbaar is. Als u zich gaandeweg in de spullen steekt komt u al gauw wandcontactdozen tekort.

Om de gebruiker los te maken van deze binding met de muur kunnen allerlei toestellen van batterijvoeding worden voorzien en daarmee echt transportabel worden gemaakt. Er zijn daarbij vele mogelijkheden.

Sommige toestellen hebben batterijvoeding maar kunnen overgezet worden op netvoeding; soms worden dan de batterijen

geladen, maar vaak ook niet.

Andere toestellen, de kleinere meestal, hebben alleen batterijvoeding; de gebruiker kan zelf besluiten oplaadbare batterijen te installeren of eenmalige. De kleinste, zoals de horloges, hebben uitsluitend weggooibatterijen.

De meest onaangename eigenschap van batterijen is dat ze gaandeweg leeglopen als ze gebruikt worden. Men moet onaangename verrassingen voorkomen door ze tijdig te verversetten of een voorraad bij de hand te houden, en de oplaadbare tijdig te laden.

Het is mij goed duidelijk geworden dat constructeurs van deze toestellen hun best doen de voor hun geval gunstigste batterij uit te zoeken of apart te laten ontwikkelen.

Ikzelf heb een zekere affiniteit tot dit soort toestellen denk ik en ben als voorbeeld misschien wat afwijkend. Exclusief zaklantaarns heb ik privé 29 batterijtoestellen, inclusief enkele horloges in gebruik. Daartoe moet ik 54 batterijtjes in bedrijf houden en wel van 16 verschillende typen. Die in sommige horloges gaan lang mee; 5 jaar is mogelijk tegenwoordig; maar anderen vragen om de paar weken aandacht. Het is weer zo'n probleem van voorraden aanhouden erbij, dat zich voordoet naast het probleem dat wij al hebben in Delft, het probleem van de voorraad guldens, kwartjes en stuivers die wij nodig hebben om te overleven temidden van onze parkeer- en koffieautomaten.

U begrijpt wel dat ik een pleidooi zou willen houden voor een verdergaande standaardisatie, althans voor batterijen.

Zo'n pleidooi zou ik ook willen houden voor sommige elementen in ons onderwijs. Er is een zekere analogie.

Normalisatie in de industrie heeft geleid en leidt nog steeds tot grote besparingen. Normalisatie van symbolen, van benamingen voor functie-elementen, van begrippen en van de behandeling van elementaire problemen, dit gecombineerd met een meer systematische presentatie van de eenheden, het consequent wijzen op analogieën en het ordelijk gebruiken van blokken- en blokschema's gericht op modelvorming, kunnen naar mijn overtuiging tot besparingen in het onderwijs leiden. In de eerste plaats besparingen in collegetijd doordat dezelfde elementaire problemen niet meer vaker dan eenmaal behoeven te worden behandeld. In de tweede plaats besparingen in studietijd doordat dezelfde begrippen en problemen ook als zodanig herkend worden en onderlinge verbanden de student kunnen helpen niet alleen sneller maar ook beter zich de studiestof eigen te maken. Dit zou het zorgwekkende rendement stellig kunnen helpen verhogen.

In het algemeen heeft men in de werktuigbouwkunde vooral te maken met mechanische, hydraulische, pneumatische, thermische en chemische systemen en processen. In mijn sector komen daar de elektrische, de magnetische, de elektro-magnetische en de optische nog bij.

Wij kunnen niet buiten de normalisatie en de systematiek die ik noemde en niet buiten het denken in systemen en functies.

In het basisprogramma van onze afdeling is alleen de normalisatie van eenheden en symbolen redelijk geslaagd en dat heeft alvast een eind gemaakt aan veel onnodige verwarring. Ik ben van mening dat er nog enkele stappen moeten en kunnen volgen.

Aspecten van het onderzoek

In het voorafgaande heb ik geprobeerd te schetsen tegen welke achtergrond een afstudeerrichting F.M.T. moet worden gezien en ik heb terloops al enkele opmerkingen over het onderwijs gemaakt. Daarover wil ik niet verder uitweiden. Over het onderzoek dat daarbij past wil ik nog wel graag nader met u spreken.

Op grond van het destijds verplichte clusteroverleg, enkele jaren geleden, zijn er tussen de zusterafdelingen van de drie Technische Hogescholen Delft, Eindhoven en Twente afspraken gemaakt over de taakverdeling waarbij Delft zou voortgaan op de reeds ingeslagen weg: het gebied van de constructie en de ontwikkeling van functie-elementen.

Een keus die gemaakt kan worden in plaats van "de constructie" is "de produktie", dat laatste in de zin van bewerkingen. Eindhoven opteerde voor het laatste.

Bij de zusterafdelingen geeft de situatie helaas niet reden tot feestvreugde. Op de docentenplannen is Twente teruggetreden naar een extra-ordinariaat en het Eindhovens extra-ordinariaat is op termijn gesteld. Het is dringend gewenst dat in die situatie verbetering komt.

Een enkele opmerking over de situatie buiten de grenzen. Fijnmechanische Techniek wordt al langer dan 20 jaar gezien als een afzonderlijk vakgebied in alle duitssprekende landen in Europa onder de naam "Feinwerktechnik"; in Duitsland wordt het aantal leerstoelen nog gestadig uitgebreid. Soms zijn die niet ondergebracht bij de "Maschinenbau" maar bij de "Elektrotechnik".

Ook Scandinavië en de Oostbloklanden kennen het vakgebied als specialisatie, Warschau kent het als afdeling.

In Engeland is het vakgebied 3 jaar geleden erkend onder de naam "Micro-engineering" en zijn er 4 leerstoelen gevestigd.

Het is duidelijk dat het vak in zeer veel andere landen wordt beoefend maar het onderwijs op academisch niveau is niet zo duidelijk gestructureerd als in de zo even genoemde Europese landen.

Dit afsluitend mag ik nog wijzen op het bestaan van een HTS in eigen land met een afdeling fijnmechanische werktuigbouwkunde. Enkele docenten zijn uit de delftse school.

Terug nu naar het onderzoek: het fijnmechanisch construeren en het ontwikkelen van functie-elementen, dit laatste zowel in de zin van bedenken van nieuwe als van optimaliseren van bekende.

Nu wordt het even een echt college.

Ik heb een buisje, een centimeter lang, waarin een paar lensjes gemonteerd zijn, een objectief van een microscoop of van een laserlasmachine of van een compactdisc speler.

Probleem A is: maak een montuur zodat het objectief gefixeerd is en op zijn plaats blijft als er een stoorkracht is (als iemand er tegenaan duwt dus).

De oplossing is niet zo moeilijk als er tenminste een tolerantie is voor de verplaatsing, zoals: maximaal 1 micrometer bij een kracht van 1 Newton. Het montuur moet stijf genoeg zijn; is het dat niet dan maak je het wat dikker, om de materiaalkosten hoeft je het niet te laten.

Er zijn natuurlijk ook situaties waarbij het gewicht bij

voorbeeld er op aankomt; dan moet je niet zo royaal zijn en een compromis zoeken.

Probleem B is: hetzelfde als probleem A, maar het objectief moet kunnen worden weggenomen en teruggeplaatst met een tolerantie van 0,1 micrometer.

Dat kan en wij hebben daar constructies voor, die op het symposium gisteren nog aan de orde zijn geweest.

Probleem C is: het objectief moet kunnen bewegen langs een rechte lijn, maar ondanks stoorkrachten zonder beweging in een andere zin of richting (en daar zijn nog 5 vrijheidsgraden voor), dit met nauwe toleranties.

Dat vraagt om een geleiding die voor één beweging meegaand is en voor de andere 5 bewegingen stijf, een controverse. Dit is een probleem uit de compactdisc speler en het wordt met bladveren opgelost.

Een geleiding kan men op vele manieren construeren en met wat handigheid is het al gauw goed als de eisen niet te streng zijn. Maar als de eisen wel streng zijn moet een constructeur de gegevens hebben om zijn constructie zo te dimensioneren dat aan de eisen voldaan wordt. Die gegevens moeten volledig en nauwkeurig zijn, vooral als het gaat om massaproductie. Daartoe is het in dit geval zaak de theorie van de gebogen bladveer, samen met zijn bevestiging, te ontwikkelen en liefst in hanteerbare formules; vervolgens deze formules in zorgvuldige experimenten te controleren, waarbij het gaat om heel kleine effecten; tenslotte is het gewenst reële constructies te ontwerpen om de bruikbaarheid in de praktijk te toetsen.

Dit was misschien wat uitvoerig maar het was even nodig om de gewenste fundamentele aanpak te illustreren.

Het probleem was nog te eenvoudig gesteld. Er zijn nog vragen zoals: wat is het gedrag bij snelle bewegingen en bij trillingen van buitenaf, de vragen naar het dynamisch gedrag van een geleiding. Antwoorden kunnen met de aangevulde theorie en experimentele modaalanalyse worden gevonden.

Dit was één voorbeeld van functie- of constructie-elementen; een ander voorbeeld is: elektromechanische omzetters, zoals kleine motoren en elektromagneten samen met hun besturing. Ook daarbij moeten vragen beantwoord worden over het dynamisch gedrag als er aanlooptijden of schakeltijden van 0.001 seconde in het spel zijn.

Dit deel van het onderzoekprogramma is principieel gericht op dienstverlening aan fijnmechanische constructeurs; de resultaten worden gepubliceerd in voor hen direct bruikbare vorm en zijn bruikbaar voor alle soorten toepassingen.

Zo nodig worden ook bijbehorende bewerkingen en productie-methoden bestudeerd.

Het andere deel van het programma betreft de toepassingen. Ik heb al gesteld dat het nodig is om ontwikkelde functie-elementen toe te passen in reële constructies om hun bruikbaarheid zelf te toetsen. Er is natuurlijk geen bezwaar tegen dat zulke toepassingen een eigen leven gaan leiden, nieuwe vragen oproepen, maar ook: uitgroeien tot nieuwe producten.

Het ligt voor de hand de keus te laten vallen op een of andere groep informatie-omzetters.

Ons toepassingsgebied ligt momenteel in hoofdzaak op het terrein van de medische techniek en omvat daarbinnen een aantal hulpmiddelen voor visueel gehandicapten.

Sociale bewogenheid heeft zeker een rol gespeeld bij deze keuze en ook de overweging dat deze soort onderwerpen studenten zou kunnen motiveren. Maar daarnaast zijn dan hardere argumenten gewenst om onderzoek door te zetten.

Voorop moet staan dat alle onderzoek aan een technische hogeschool zo moet kunnen worden ingericht dat studenten daarin zinvol kunnen meedoen op een manier die efficiënt bijdraagt aan hun opleiding. Inschakeling van studenten onder leiding van een staflid, al of niet promovendus, betekent wel afhankelijk worden van nog niet hooggeschoolde, nog niet ervaren en niet al te regelmatig beschikbare werkrachten. Er zijn ook nog tentamens. Maar deze symbiose tussen wel ervaren onderzoeker en student mag niettemin als zeer positief worden beoordeeld.

Er is echter ook een commercieel aspect.

Wanneer men zich in het kader van het toepassingsgebied als doel stelt apparatuur te ontwikkelen die, als het wat meezit, tenslotte door een bedrijf in productie zal worden genomen, dan moet men zich goed realiseren dat het tempo van ontwikkeling, waartoe de industrie in staat is, in het geval van een interessant nieuw produkt, niet geëvenaard zal kunnen worden en dat men een competitie waarschijnlijk zal verliezen.

Dat behoeft volstrekt niet te betekenen dat men zich dan maar terwille van het toepassen moet werpen op nutteloze apparaten, al zou dat nog wel een publikatie kunnen opleveren.

De markt voor apparatuur voor blinden en slechtzienden is een kleine markt. Zelfs wanneer men zich instelt op de wereldmarkt - en dat is dus alvast noodzakelijk - dan nog is het voor een bedrijf in de meeste gevallen niet verantwoord te gaan investeren in zowel de ontwikkeling van die apparatuur, als in de daarna komende fabricagevoorbereiding. De kosten van het laatste zijn nog redelijk te begroten en vormen een acceptabel risico. De kosten van een ontwikkeling vormen een niet gemakkelijk te begroten en al gauw te groot risico. Hoewel iedereen overtuigd is van de behoefte die bestaat, blijft zo'n ontwikkeling liggen en in de behoefte wordt niet voorzien. Een onderwijsinstelling kan dit doorbreken.

In zo'n situatie mag men overwegen zo'n ontwikkeling voorlopig af te boeken onder de post opleiding voor studenten en promovendi.

In de afgelopen jaren is in ons laboratorium een zeer geavanceerde snelle regeldrukker voor brailletekst ontwikkeld, in het kader van een promotie-onderzoek, dat heeft geleid tot een "proefontwerp". Braille is een met de vingers op de tast leesbaar reliëfschrift.

Uit een oogpunt van principe is deze machine ontwikkeld tot en met het prototype stadium, inclusief de besturing met een microprocessor. Pas in dat stadium kan men vaststellen of een ontwerp geslaagd is. Het ontwerp is vervolgens met intensieve begeleiding overgedragen aan een groep kleine bedrijven. De machine is in produktie en vindt zijn weg in Nederland en in de wereld.

Deze ontwikkeling heeft een voorbeeldfunctie vervuld en heeft naast royalties een subsidie van het Directoraat-Generaal

voor het Wetenschapsbeleid opgeleverd, waarmee de ontwikkeling van kennis voor het ontwerpen van nieuwe machines, zoals een elektronische brailleschrijfmachine en een variabel braille tast scherm kon worden voortgezet en uitgebreid. De ene machine is nu ook vrijwel produktierijp, het tast scherm zal dat volgend jaar zijn. Beide zullen op dezelfde manier in produktie worden gebracht.

De ontwikkeling van dit soort machines heeft behalve het nut voor de blindenwereld - men kan nu allerlei functies voor blinden toegankelijk maken door het construeren van werkstations bij computers b.v. - en het nut voor de werkgelegenheid in de nederlandse industrie, ook een groot effect voor ons onderzoek op het terrein van de constructie. Deze machines leveren een mechanische output, ze worden elektrisch aangedreven en bestuurd met behulp van ingebouwde micro-elektronica, waarvoor de instructies uit een computer kunnen komen.

Bij het ontwerpen van het mechanische deel van zulke machines speelt computer aided design, in de zin van computer aided drafting, geen belangrijke rol. De afmetingen maken het aantrekkelijker reële proefmodellen te bouwen en ondersteund door experimenten en metingen het ontwerp uit te werken.

Dit heeft als strategie bovendien het voordeel dat innovaties niet het resultaat behoeven te zijn van een bedachtzame extrapolatie van het bekende.

Daardoor zijn grotere stappen mogelijk en snellere resultaten als men een revolutionaire constructie wil gaan toepassen.

Dit geldt heel algemeen voor de meeste fijnmechanische producten. Voor de analyse van constructie-elementen en van theoretische modellen van mechanismen is de computer natuurlijk ook hier een onmisbare steun.

Integratie van mechanismen en elektronica

Het ontwerpen van complete machines is meer dan wat de gegeven omschrijving suggereert, het is meer dan het aan elkaar bouwen van een afzonderlijk ontworpen mechanisch gedeelte en een microprocessor.

Het is de integratie van mechanismen en elektronica, waarbij om beurten het mechanisme aan de elektronica wordt aangepast en de elektronica aan het mechanisme. De constructeur van het mechanisme werkt nauw en direct samen met de constructeur van de hard- en software van de elektronica, en dat moet hij kunnen.

Er moet beslist worden of een deelfunctie elektronisch dan wel mechanisch moet worden vervuld.

Er is de vraag of de energiestroom voor de aandrijving gecombineerd moet worden met de informatiestroom voor de besturing of daarvan juist gescheiden moet worden gehouden.

Met het oog op het bedieningscomfort zijn snelle bewegingen en korte insteltijden nodig. Nu eens zijn de mechanismen minder snel dan de elektronica toelaat, dan weer is de elektronica niet snel genoeg voor het besturingsprogramma dat het mechanisme aankan.

Dit is een nieuwe manier van construeren, aan de fijnmechanische boom een nieuwe tak, die groeit naast de oude.

Wij zijn ons ervan bewust dat ook elders deze ervaring wordt opgebouwd, maar daarmee is het onderwijs nog niet gediend. Bovendien is deze ervaring vooralsnog beperkt tot de grote bedrijven, waarmee wij wel nuttige contacten hebben, maar kleinere bedrijven niet.

Wij zien het overdragen van de kennis die nu ontstaat aan studenten en het uitdragen ervan aan de middelgrote en kleine industrie als een belangrijke taak.

Besluit

Ik heb geprobeerd een schets te geven van een vakgebied dat hier in ruim 20 jaar is gegroeid binnen de afdeling der werktuigbouwkunde.

Maar het beeld van een boom schiet tekort. Tussen eventuele takken groeien dwarsverbindingen en van zo'n structuur kan men niet in korte tijd een duidelijk beeld geven. Ik hoop dat het een duidelijke glimp was van een mooi vakgebied.

Het werkzaam zijn in dit vakgebied kan buitengewoon boeiend zijn en veel voldoening geven. Het samenwerken met geïnteresseerde en gelijkgestemde mensen kan daar nog veel kleine en grote vreugden aan toevoegen.

Zo is het mij althans vergaan.

Dit is het einde van dit college.

Ik dank u voor uw belangstelling en uw geduld.