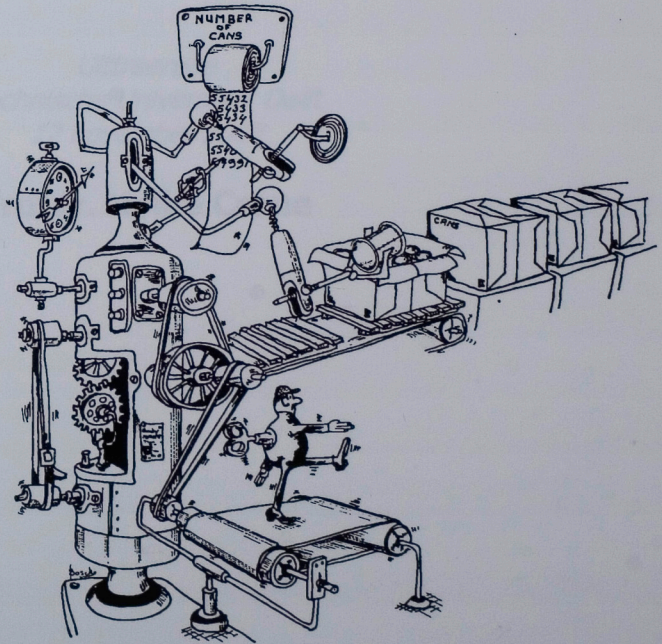


Het tuig dat werkt

Afscheidsrede

Prof.ir. Hylke Crone



woensdag 12 november 2003

Het tuig dat werkt

Uittreerede
Technische Universiteit Delft
12 november 2003

Prof.ir. Hylke Crone

Inhoudsopgave

Ontwikkelingen in de machinebouw	5
Historie	4
<i>Kinematica</i>	4
<i>Dynamica</i>	11
<i>Meet- en regeltechniek</i>	16
Toekomst	20
<i>Modulaire opbouw</i>	20
<i>Invloed van machine-instellingen en van het proces op de productie</i>	21
<i>Intelligentere besturingen</i>	21
<i>Betere benutting van CAD informatie</i>	23
Bedrijfsmechanisatie, Vergane glorie of de hoop voor de toekomst?	24
<i>Klassieke werktuigbouwkunde</i>	24
<i>Algemeen belang</i>	25
<i>Bedrijfsbelang</i>	26
<i>Substitutie</i>	27
<i>Verlengen levenscyclus</i>	28
<i>Veranderen technologie</i>	28
<i>Verlenging rijpheidsfase</i>	29
<i>Integratie productieproces en productiemachine</i>	29
Taak Technische Universiteiten en de industrie	30
<i>Taak Technische Universiteiten</i>	30
<i>Transfer van kennis naar de industrie</i>	32
<i>Evaluatie persoonlijke doelstellingen</i>	35
Factoren die innovatie van het productieproces bedreigen	36
<i>Afname van het aantal hoogopgeleide ingenieurs</i>	36
<i>Investeringen in R&D</i>	37
<i>Waardering techniek</i>	37
<i>Veroudering kennis</i>	38
<i>Management is weinig productiegericht</i>	38
Tenslotte	39
Literatuur	40

Prof. ir. H.A. Crone
"Het tuig dat werkt"
Uitreerede Technische Universiteit Delft
gehouden op woensdag 12 november 2003

ISBN 90-370-0207-2

Trefwoorden: Besturing, Delft, Dynamica, Kinematica, Machine,
Mechanisme, Nok, Ontwerp, Runmec, Sam, Tadsoc, Technisch,
Universiteit

© Copyright 2003 H.A. Crone

All rights reserved. No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilised in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system without the prior permission in writing from the owner of this copyright

Zoektocht

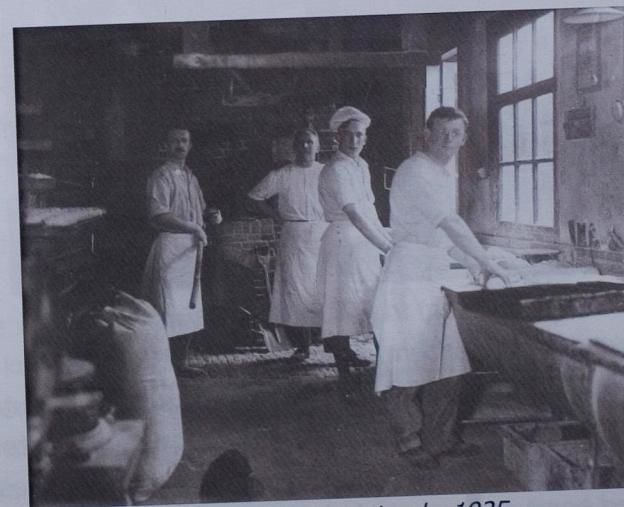
Ik heb gezocht,
gevonden en verloren
en weer opnieuw gezocht
totdat ik het weer vond
een mens wordt zoveel meer
dan eens geboren
en voor wie zoekt is op 'n dag
de cirkel rond

[1]

Mijnheer de rector magnificus,
leden van het college van bestuur,
collegae Hoogleraren en
andere leden van de universitaire gemeenschap,
zeer gewaardeerde toehoorders.

Ontwikkelingen in de machinebouw

Dames en heren,
Het is 44 jaar geleden dat ik mij als student aanmeldde bij de faculteit der
werktuigbouwkunde. Uit liefde voor het werkende tuig in de machinebouw.
Die liefde begon in de bakkerij van mijn vader; hier op de foto met mijn
grootvader.



Broodbakkerij omstreeks 1925

Van mechanisatie was toen geen sprake. In de bakkerij van mijn vader
zag ik voor het eerst machines. Het deeg werd gemaakt in een
deegmachine. Via drijfriemen werd de machine aangedreven door een
elektromotor die op de zolder stond. Deze elektromotor dreef ook de
koekjesvermaalmachine en de slagroom-klopmachine aan. Een schuif

zorgde er voor dat de riem van het vrijlopende naar het aandrijvende wiel werd geduwd zodat de gewenste machine werd aangedreven. Na het aanzetten van de motor werd deze van ster naar driehoek geschakeld. Dit gebeurde met de hand en het moment wanneer werd bepaald door het juiste geluid.

Ik genoot van de onderhoudsbeurt. Dan moest er olie ververst worden. Je kon dan in het binnenste van de machine kijken. Voor het eerst in mijn leven zag ik tand- en wormwielen.

Met drie man bakte mijn vader ongeveer 100 broden per uur. Een brood kostte toen € 0,18.



Broodbakkerij in 2003 (foto Bakkersland)

De huidige broodfabrieken zien er heel anders uit. Het routinematige handwerk is verdwenen. Het meel en de overige ingrediënten worden aan het begin van de broodproductielijn toegevoerd en het gesneden en verpakte brood komt er aan het einde van de lijn uit. Met een bezetting van 2 man is de capaciteit van een broodlijn nu 2400 broden per uur en een brood kost ca € 1,50. Zonder mechanisatie zou een brood in Nederland onbetaalbaar zijn.

We zien dus dat Bedrijfsmechanisatie een grote verandering heeft gebracht in het vervangen van handarbeid door machines en het betaalbaar houden van producten.

Bedrijfsmechanisatie betreft vooral productiemachines. Machines bestaan uit vaste delen en delen die eenparig en oneenparig bewegen. Een eenparige beweging is bijvoorbeeld de motor met zijn vliegwiel en een oneenparige beweging is bijvoorbeeld een overzetter die door een stangenmechanisme wordt aangedreven. Belangrijke ontwikkelingen waren het voorspellen en het beheersen van het gedrag van deze oneenparige bewegingen.

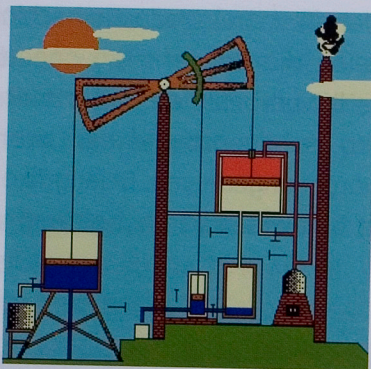
Historie

Zoals ik al eerder zei spelen mechanismen en dus ook de mechanisme-theorie een belangrijke rol in de machinebouw. In de ontwikkeling van mechanismenkennis kunnen we een aantal fasen onderscheiden.

Kinematica

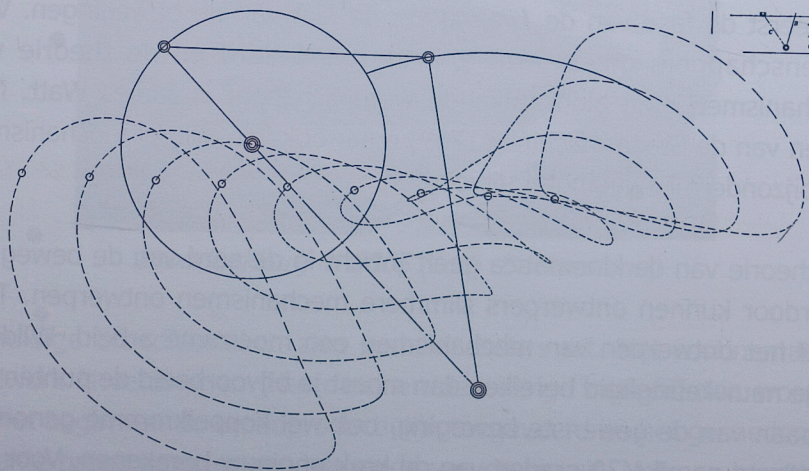
Allereerst de fase van de *kinematica*, de leer van de bewegingen. Vele wetenschappers gaven inzicht in de ware aard en de theorie van mechanismen. Een alom bekende wetenschapper is James Watt. Niet alleen van de Stoommachine (1769) maar ook van allerlei mechanismen die bijzondere bewegingen uitvoerden.

De theorie van de kinematica geeft inzicht in de aard van de beweging. Daardoor kunnen ontwerpers slimmere mechanismen ontwerpen. Toch bleef het ontwerpen van mechanismen een moeizame arbeid. Wilde je enige nauwkeurigheid bereiken dan moest je bijvoorbeeld de punten van de baan van de gewenste beweging, ook wel koppelkromme genoemd, tenminste na elke 30 graden van de kruk opnieuw berekenen. Voor één omwenteling betekent dat 12 ingewikkelde berekeningen. Het alternatief was de grafische methode. Minder nauwkeurig maar wel sneller.



Klassiek voorbeeld kinematica

In het jaar 1951 publiceerden Hrones&Nelson een boek waarin alle 4-stangenmechanismen in alle varianten waren uitgeplot. Zocht je een bepaalde baan dan was het een kwestie van bladeren. De baan of koppelkromme was nu bekend maar het berekenen van de snelheid, de versnelling en krachten was vaak te moeilijk.



Bladzijde uit het boek van Hrones&Nelson

Kinematica speelde een belangrijke rol in de eerste fase van de automatisering. Deze fase noemt men ook wel de *eerste industriële revolutie*. De introductie van de stoommachine en later van de verbrandingsmotor verminderde de fysieke inspanning van de mens.

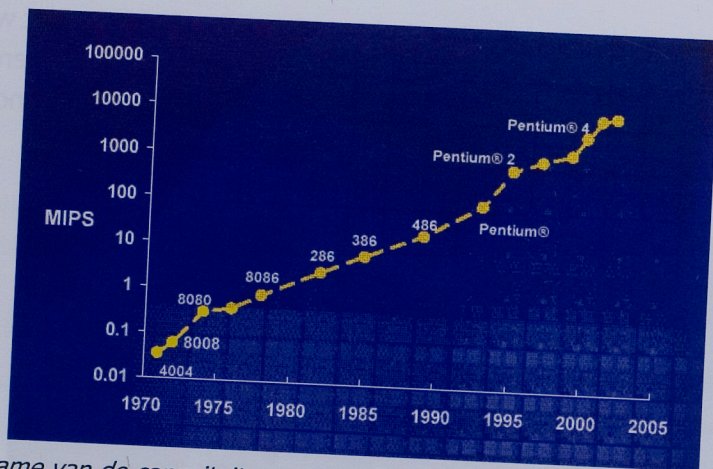
Handarbeid werd vervangen door hulpmiddelen en machines. Het was de periode dat de textielindustrie gemechaniseerd werd. Ford voerde de lopende band in en Nederland veranderde van een landbouwland naar een geïndustrialiseerd land.



Mechanisatie in de landbouw

Daardoor verloren velen hun baan, maar andere beroepen in andere functies kwamen er voor in de plaats. Macro-economisch heeft mechanisatie van de productie tot grote economische activiteit geleid waardoor de welvaart toenam.

Het ontwerpen van mechanismen kreeg een nieuwe impuls door de komst van de computer. Aanvankelijk waren computerberekeningen tijdrovend en voor deze taken te duur. De capaciteit van computers verdubbelde toen en nu nog steeds elke 18 tot 24 maanden, terwijl de kosten hetzelfde blijven.



Toename van de capaciteit van computerprocessoren in de loop der jaren

Dit noemt men dan ook wel de *tweede industriële revolutie* die gebaseerd is op machines die slimme taken van ons overnemen en daardoor onze geestelijke capaciteiten uitbreiden of op een hoger niveau brengen. Het begin van deze tweede industriële revolutie heb ik als jong ingenieur meegemaakt bij mijn eerste werkgever, een fabrikant van blikken bussen. Productiemachines waren toen in snelheid beperkt. De snelheid van een half automatische buslijn was 20 bussen per minuut en van een "volautomatische" buslijn 300 per minuut.



Bussenfabricage omstreeks 1970 (foto TDV Deventer)

De bewerkingen werden machinaal gedaan maar de invoer van het materiaal naar de machine gebeurde met de hand. Ongeschoolde arbeiders waren toentertijd nog relatief goedkoop. Toen die arbeid duurder werd werden gastarbeiders uit Zuid Europa en Turkije aangetrokken. De gevolgen kent u.

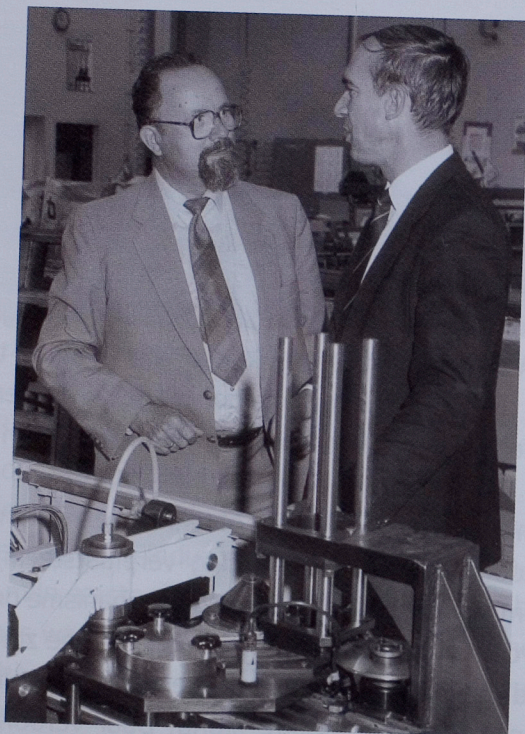
Dynamica

Om de productiviteit te verbeteren was het nodig de snelheid van machines op te voeren en de nauwkeurigheid te verbeteren. Daarvoor was inzicht in de *dynamica* noodzakelijk. In de dynamica wordt de relatie tussen optredende krachten, massa's en versnellingen vastgelegd. De theorie om versnellingen te berekenen was al lange tijd bekend. De introductie van de computer maakte het mogelijk de berekeningen ook echt uit te voeren. De echte doorbraak kwam in de jaren zeventig.

Ik kan mij nog herinneren dat een pas ontwikkelde machine daadwerkelijk de deur uitschoof. Na elke transportslag verplaatste hij zich een paar millimeters. De machine bevatte een grijper-mechanisme om bussen steeds één station verder te brengen. Een nok-mechanisme zorgde er voor dat de bus opgepakt en neergezet werd. Het grijpermechanisme had de maximale versnelling in de voorste stand. Daar veroorzaakte de grote massa dus ook de grootste kracht. Dat kwam mede doordat de nok was opgebouwd uit cirkelbogen. Vakgenoten weten nu dat dit een beginnersfout is van een ontwerper. Een sprong in de versnelling is dynamisch gezien ontoelaatbaar.

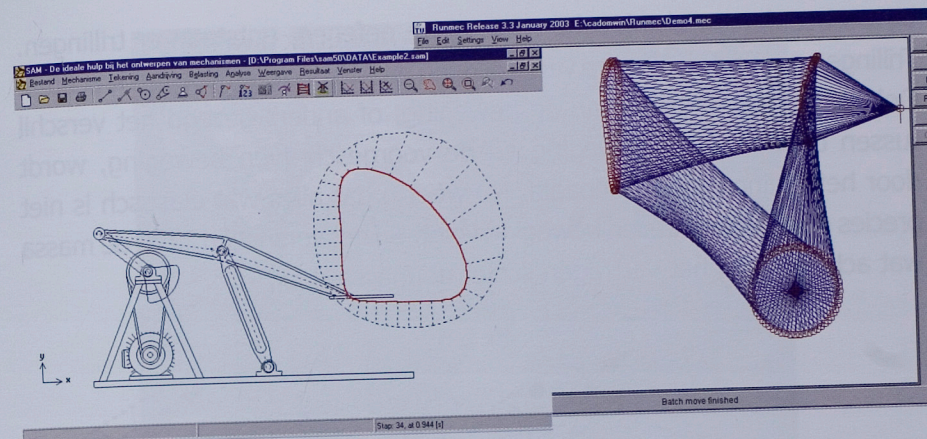
Ik was als jong ingenieur net bij het bedrijf begonnen. Men vroeg zich toen nog af waarom een ingenieur nodig was. Tot nu toe hadden ze het ook altijd zonder "wetenschappers" kunnen doen; machines werden door ervaren constructeurs op traditionele wijze ontwikkeld. Zwaar en dus "degelijk". Een uitdaging voor deze jonge ingenieur. Voor uitvoerige berekeningen hadden wij een "time sharing" computer tot onze beschikking. We deelden de computercapaciteit met anderen om de kosten betaalbaar te houden. Met behulp van de daarvoor speciaal door onszelf geschreven programma's wisten wij zowel de massa's als de versnellingen te verlagen en bleef de machine op zijn plek. De machine heeft nog vele

jaren bussen gemaakt. En binnen het bedrijf was men voor altijd overtuigd dat rekenen zinvol was.



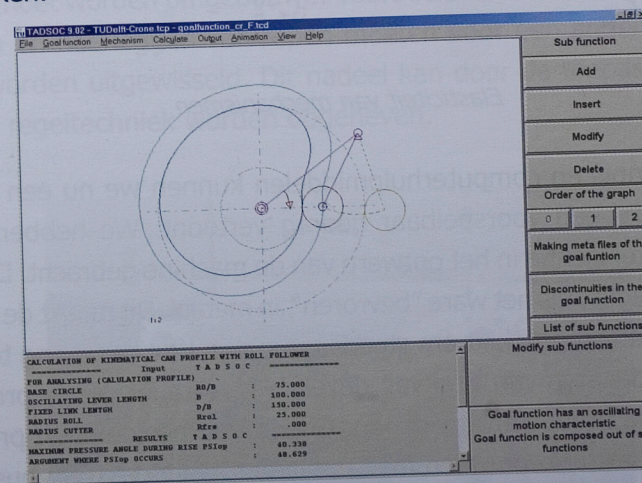
Prof. Rankers in gesprek met ir. Crone (omstreeks 1980)

Om de berekeningen van stangenmechanismen te vergemakkelijken werden standaard programma's ontwikkeld. Deze universiteit heeft hierin een belangrijke rol gespeeld. Mijn voorganger Prof.dr. Rankers was hiervan een sterke promotor. Het promotiewerk van mijn collega prof. Klaas van der Werff heeft geresulteerd in de programma's SPACAR, RUNMEC van dr.ir. Ton Klein Breteler en de bekroonde commerciële versie SAM van dr.ir. Adriaan Rankers jr.



Screendumps van de Stangenmechanismeprogramma's SAM [2] en RUNMEC[3]

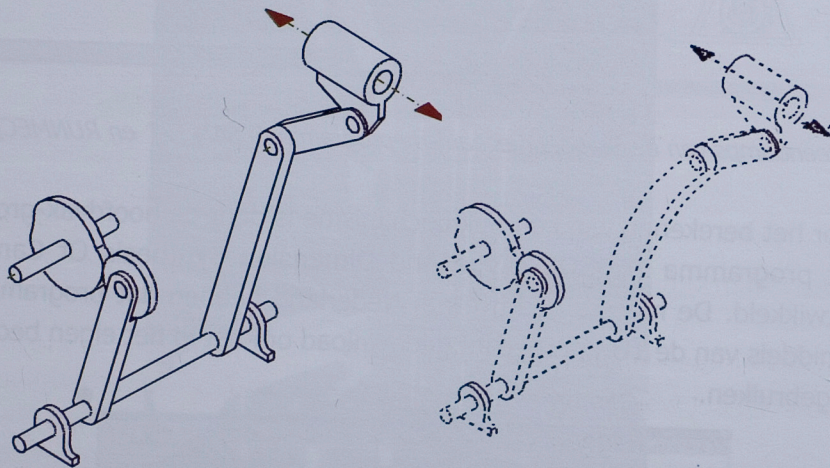
Voor het berekenen van een nokmechanisme is door de hoofdvak-groep het programma TADSOC (Type And Dimension Synthesis Of Cams) ontwikkeld. De meeste bedrijven in Nederland hebben dat programma inmiddels van de TU-internetsite gedownload om het in het eigen bedrijf te gebruiken.



Screendump van het nokmechanismeprogramma TADSOC

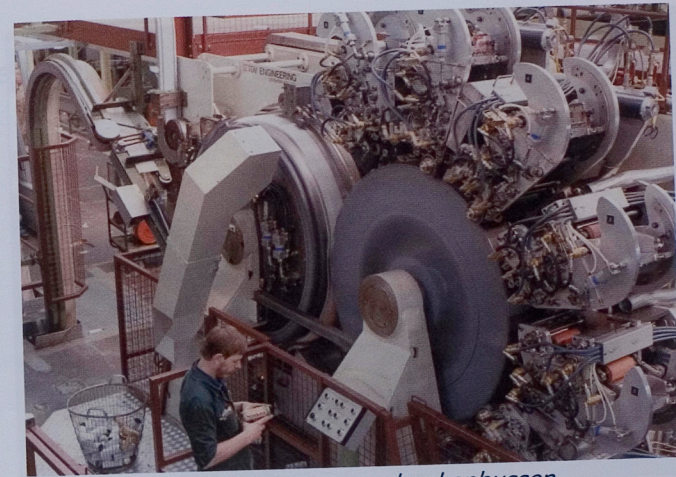
Dynamica geeft ook informatie over het trillingsgedrag van een mechanisme. Mechanismen zijn opgebouwd uit staven. Een staaf is te modelleren als een massa en een veer. Als een staaf wordt aangestoten, door er

bijvoorbeeld even een kracht er op uit te oefenen, ontstaan er trillingen. Trillingen geven ongewenste versnellingen en dus ongewenst extra krachten. Ook de nauwkeurigheid van de beweging, of anders gezegd het verschil tussen de werkelijke beweging en de voorgeschreven beweging, wordt door het trillingsgedrag bepaald. Nu weet u dat alles wat elastisch is niet precies de voorgeschreven beweging volgt. Bij het versnellen loopt de massa wat achter en bij het vertragen schiet de massa door.



Elasticiteit van mechanismen

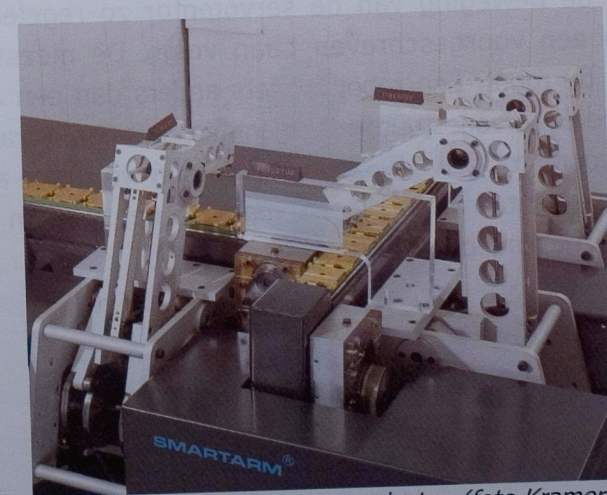
Met deze kennis en computerhulpmiddelen kunnen we nu een machine ontwerpen die een voorspelbaar gedrag vertoont. We hebben als het ware onze intelligentie in het ontwerp van de machine gebracht. De kennis wordt opgeslagen, als het ware "bevoren", in metaal. Dit maakt de machine slim en uitstekend geschikt om steeds weer dezelfde beweging te maken voor het produceren van veel van dezelfde kwalitatief goede producten. Het maakt die producten goedkoop. Goede voorbeelden zijn productiemachines voor drankenbussen met snelheden boven de 1500 bussen per minuut.



Drukmachine voor drankenbussen

Afgebeeld is de drukmachine die het beeld op de bus aanbrengt. Andere voorbeelden zijn productiemachines voor de fabricage van lampen.

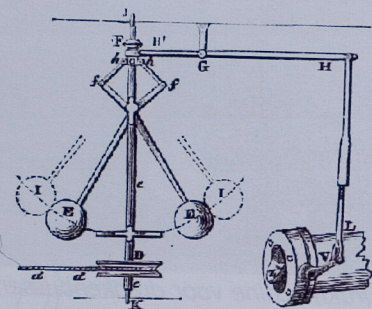
Nadeel van deze ontwerpmethodede is dat om een product te wijzigen de machine moet worden omgebouwd. Voorbeeld: In deze machine voor het oppakken en neerleggen van repen moeten voor een ander product de nokken worden uitgewisseld. Dit nadeel kan door de toepassing van de meet- en regeltechniek worden opgeheven.



Machine voor het overzetten van producten (foto Kramer&Duyvis)

Meet- en regeltechniek

Metten en regelen doen we al zeer lang. Een bekend voorbeeld is de regelaar van Watt.

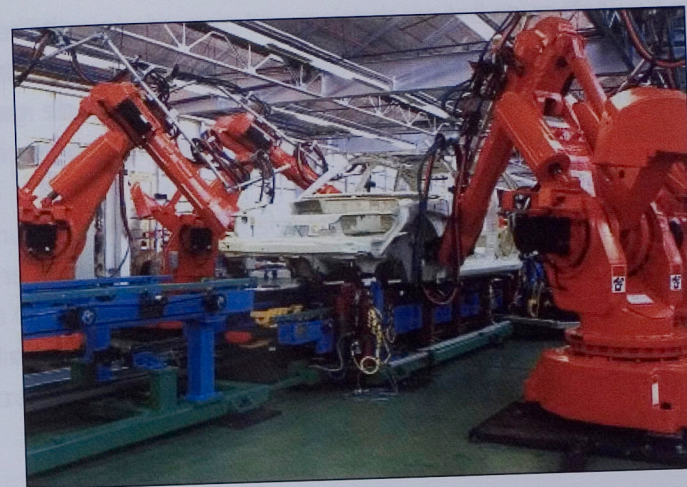


Regelaar van Watt

Meet- en regeltechniek omvat het snel en intelligent bijsturen van de gemeten werkelijke beweging t.o.v. de voorgeschreven beweging; het bijsturen van zowel de positie, als de snelheid, als het koppel.

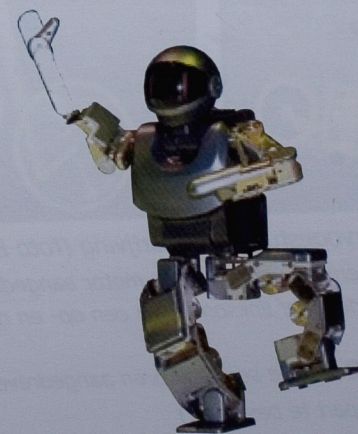
De huidige fase in de tweede industriële revolutie biedt nieuwe oplossingen door het toepassen van *de meet- en regeltechniek* in de machinebouw.

Doordat computers sneller en goedkoper werden en worden kan men bijvoorbeeld de beweging van de servomotor zo regelen dat een gereedschap een voorgeschreven baan volgt. De meest bekende toepassing is de robot. Een robot is niets anders dan een aantal aan elkaar gekoppelde servogestuurde stangenmechanismen. Spraken robots aanvankelijk vooral tot de verbeelding, nu passen we ze toe als functie-element dat we kant en klaar kopen zoals we dat al jaren doen met bijvoorbeeld luchtcilinders.



Robots voor het lassen van autodelen (foto Steelweld)

De ontwikkeling van intelligente regeltechniek om bewegingen te sturen en het bewegingsgedrag te beheersen is pas in het beginstadium. Er worden vele nieuwe algoritmen ontwikkeld voor het nauwkeuriger aandrijven van bijvoorbeeld de elektromotor. De toepassing van dit soort aandrijvingen in de machinebouw wordt steeds aantrekkelijker door dalende prijzen en toenemende prestaties. *Meet- en regeltechniek is de nieuwe algebra voor de mechanisme-ontwerper.*

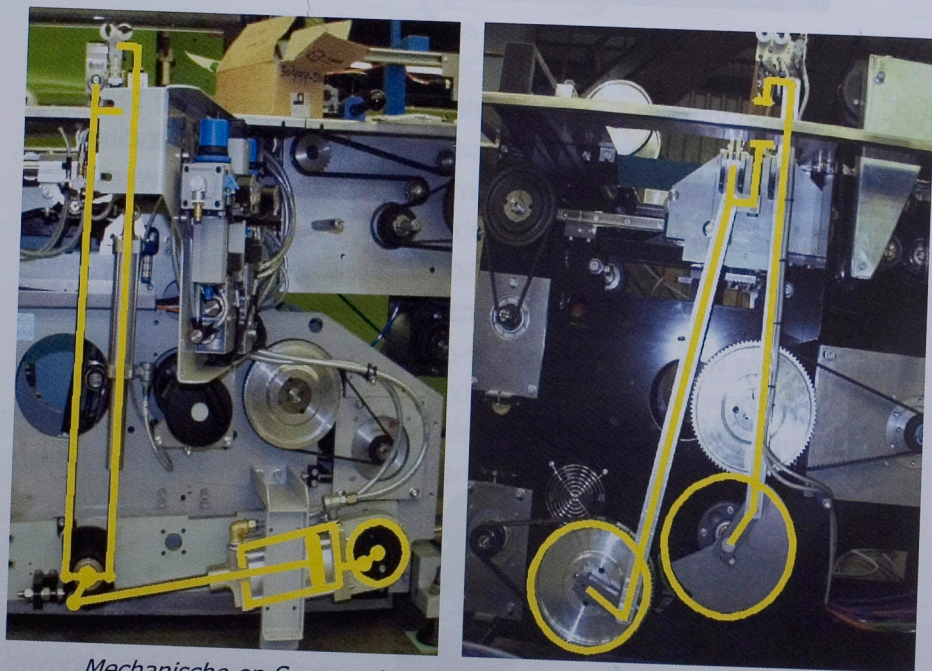


Dansende robot

Doordat de beweging van het mechanisme nu niet meer wordt "bevroren" maar opgeslagen in software, die snel en eenvoudig is te wijzigen en te vervangen, kan nu flexibiliteit worden aangebracht in de gewenste beweging. Een belangrijk deel van de intelligentie voegen we nu later toe. Dit heeft een aantal grote voordelen.

De ontwerper kan, zonder dat hij precies weet hoe het product er uit ziet al beginnen met het machineontwerp.

Het mechanisme kan eenvoudiger worden omdat we geen stangen hoeven aan te brengen om de gewenste beweging te maken. Die wordt door de servo-gestuurde motor verzorgd.



Mechanische en Servogestuurde aandrijving (foto Buhrs Zaandam)

(De linkse mechanische uitvoering wordt met een motor aangedreven welke zorgt voor een schommelbeweging van de staaf linksonder en een op- en neergaande beweging van de onder en bovenklem.

De rechter uitvoering wordt door twee servomotoren aangedreven. De bewegingen van de boven en onderklem zijn apart te besturen.)

De regeltechniek is een toevoeging aan het pallet van ontwerp-mogelijkheden dat de constructeur ter beschikking heeft. Dus eerst slim ontwerpen en de kinematica en dynamica optimaliseren en daarna de laatste foutjes corrigeren.

Omdat nu de mogelijkheid bestaat ontwerpfouten "weg te regelen" ontstaat wel de neiging minder aandacht te besteden aan een intelligent ontwerp. Of zoals een van mijn collega's schreef. "Het heeft geen zin om onder een auto onronde banden te monteren om daarna het onaangename rijgedrag weg te regelen".

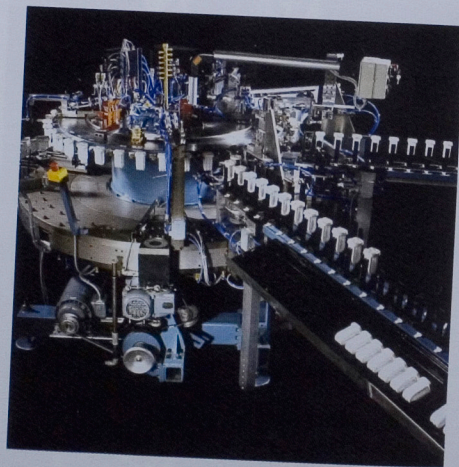
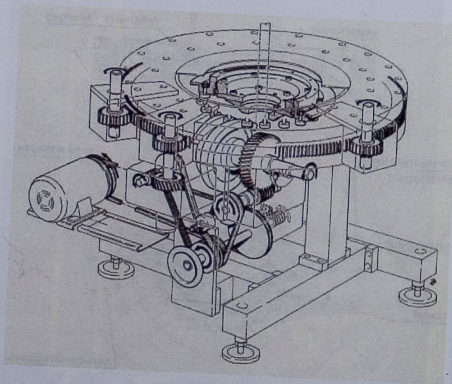
Toekomst

Wat kunnen we in de nabije toekomst nog meer verwachten?

De druk op de kostprijs van productieapparatuur zal hoog blijven. Tegelijkertijd wil elke klant zijn eigen specifieke machine. En hij wil korte levertijden. Dit zijn tegenstrijdige eisen waar de ontwerper echter wel rekening mee moet houden.

Modulaire opbouw

De oplossing is de machine op te bouwen uit modules. Voorbeeld is de lampenmachine van Philips die bestaat uit een basisframe met daarop gemonteerd meerdere bewerkings-eenheden die elk een eigen specifieke functie hebben.



Modulair opgebouwde machine (foto Philips Lichting)

Het voordeel van het bouwen in modules is

- ✓ Meerdere ontwerpers kunnen ieder aan hun eigen module werken;
- ✓ De modules kunnen separaat getest worden;
- ✓ De machine heeft een overzichtelijke opbouw.

Goede aandacht moet worden besteed aan de interfaces tussen de modules.

Parallel aan het ontwerpen van de modules moet ook de besturing modulair worden opgebouwd. In de machinebouw is dit nog onbekend gebied. De modulaire opbouw van de machine geeft weliswaar een doorlooptijdverkorting, maar die wordt veelal teniet gedaan door de tijd die het ontwerpen (programmeren) en testen van de besturing vraagt. Er is nog veel ontwikkeling nodig om ook de besturing modulair te ontwerpen.

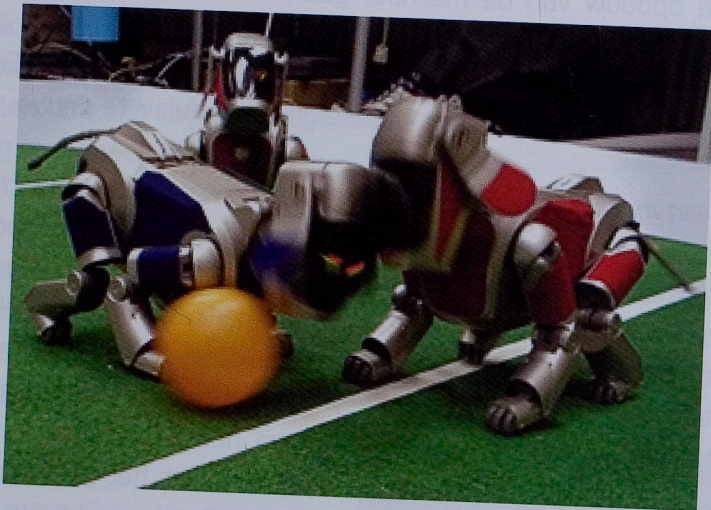
Invloed van machine-instellingen en van het proces op de productie

De invloed van machine-instellingen en het gedrag van het product op de efficiency van het productieproces is in de meeste gevallen onbekend. Wat gebeurt er als door wrijving de machine warmer wordt en de speling toe- of afneemt? Wat is het effect van speling en van de kwaliteit van het materiaal (elasticiteit, vormvastheid, toleranties)? We weten er nog weinig van. Er zijn nog steeds bedrijven die genoeg nemen met een productieefficiency van minder dan 75%. Dit betekent dat het productieproces langer dan 2 uur per ploeg ongepland stilstaat. Door een virtuele machine te ontwerpen kunnen we het gedrag van een machine simuleren, testen en voorspellen gedurende de gehele levensduur van die machine. Om dit te realiseren in de toekomst is nog veel ontwikkeling noodzakelijk.

Intelligentere besturingen

In de toekomst zal ook de intelligentie van de machines verder toenemen doordat de machine slimmer worden bestuurd. Intelligent gestuurde machines zullen zonder communicatie in een ongestructureerde omgeving autonome beslissingen kunnen nemen. De besturing vergaart via sensoren voortdurend informatie over de omgeving, genereert voorspellingen, simuleert de mogelijkheden en neemt beslissingen op het moment dat dit nodig is.

Futuristische voorbeelden zijn een onbemand voertuig op een onbekende planeet. De besturing herkent objecten en gebeurtenissen en beslist zelf wat belangrijk is. Hierbij leert de besturing uit de ervaring uit het verleden en wordt dus steeds slimmer [4].

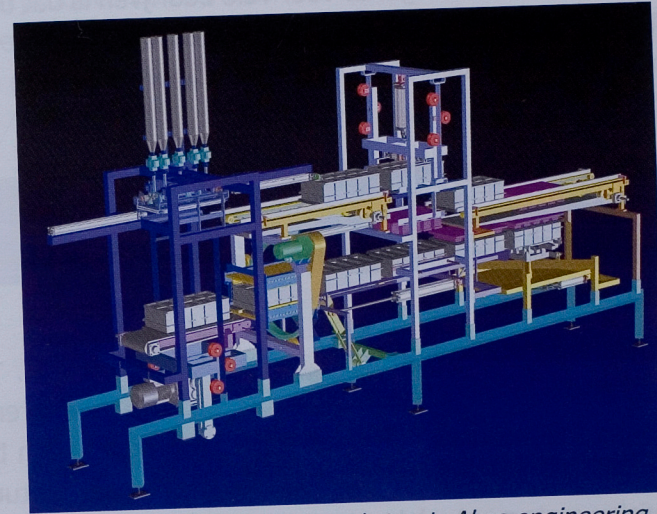


Voetballende robots

Een voorbeeld van intelligente besturing zijn robots die voetballen. De doelstelling is duidelijk; de bal moet in het doel van de tegenstander. De situatie is steeds anders. De robot moet zelf beslissen wat hij moet doen, hoe en op welk moment. Op deze wijze wordt spelenderwijs ervaring opgedaan.

Toch zal de machine met intelligente besturing de mens nooit in alle gevallen kunnen vervangen. Machines hebben abstracte, in rekenmodellen gevangen modellen nodig [5] en kunnen niet omgaan met globale informatie en complexe samenhangen. Ook is het gedrag van machines systematisch en consistent, aan sterke regels gebonden en niet flexibel en niet creatief. Dit in tegenstelling tot de mens die wel zonder regels doelgericht kan werken.

Betere benutting van CAD (Computer Aided Design) informatie
Verhoging van de productiviteit door toepassing van computer-hulpmiddelen is nog in de beginfase. CAD is inmiddels algemeen ingevoerd. Besparing in tekenkosten wordt hiermede niet of nauwelijks gerealiseerd. Door de recente invoering van 3D is het tekenen alleen nog kostbaarder geworden.



Voorbeeld CAD tekening (uitpakstraat; Akos engineering b.v.)

Toch vinden we in die CAD tekening alle informatie over

- ✓ de vorm,
- ✓ de afmeting,
- ✓ het materiaal gebruik,
- ✓ de werkvoorbereiding,
- ✓ de fabricage,
- ✓ de montage,
- ✓ de werking van de machine,
- ✓ het gedrag tijdens het produceren,
- ✓ het onderhoud en
- ✓ de demontage aan het einde van de levensduur.

Besparingen zijn te vinden in het slimmer gebruik van deze CAD informatie. Voorbeelden zijn automatisering van de werkvoorbereiding, de fabricage

van de onderdelen en de montage van de machine; CAE (Computer Aided Engineering) om bijvoorbeeld de sterkte en de spanningen (materiaalbesparing) te bepalen en het dynamisch gedrag (a.g.v. elasticiteit, speling) te berekenen.

Is CAD niet gekoppeld aan CAM (Computer Aided Manufacturing) of CAE dan is CAD alleen kostenverhogend. Voor vele bedrijven is dat de huidige situatie. Ontwikkelingen zullen dan ook vooral plaats (moeten) vinden in de koppeling van CA-systemen.

Bedrijfsmechanisatie, Vergane glorie of de hoop voor de toekomst?

Werktuigbouwkunde is het bouwen van een tuig dat werkt. Bedrijfsmechanisatie en machinebouw in het bijzonder behoren tot de klassieke werktuigbouwkunde. Hierin komen vele vakgebieden tezamen zoals materiaalkunde, wiskunde, theoretische mechanica, natuurkunde (opnemers; vision systemen), elektrotechniek (aandrijvingen), informatica (besturingen) en de meet- en regeltechniek. De integratie van al deze vakgebieden maakt de werktuigbouwkundige ingenieur in het bedrijfsleven zo waardevol. Integratie van de verschillende vakgebieden is de basis voor innovatie. En innovatie is nodig voor de stijging van de productiviteit van de Nederlandse industrie.

Klassieke werktuigbouwkunde

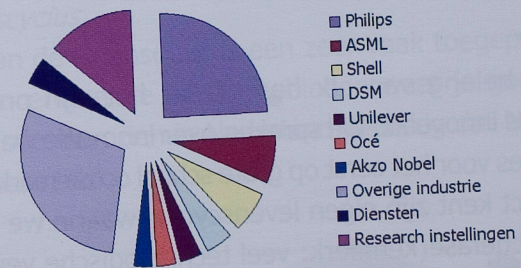
De laatste 10 jaar is meerdere malen de discussie ontstaan of de klassieke werktuigbouwkunde nog wel gedoceerd zou moeten worden aan een Technische Universiteit. Is er nog voldoende en relevant onderzoek mogelijk?

Hoewel ik door de liefde tot het vak niet geheel onbevooroordeeld ben, zijn er goede argumenten en voorbeelden aan te reiken om dat wel te doen.

Algemeen belang

Nederland heeft een hoge bevolkingsdichtheid en een hoog salarisniveau. Om het welvaartsniveau te handhaven is productiviteitsstijging noodzakelijk. Bij *producerende* bedrijven neemt de productiviteit meer toe dan bij dienstverlenende bedrijven. Daarom is het wel van belang dat ook de kennis van produceren toeneemt. Landen met een hoog opleidingsniveau trekken bedrijven aan waar hooggeschoold personeel voor nodig is. Deze bedrijven genereren een hoge toegevoegde waarde.

Verdeling R&D uitgaven



Verdeling R&D uitgaven in Nederland (bron: Technisch weekblad)

85 % van het onderzoek in Nederland wordt uitgevoerd in de industrie en van het industriële onderzoek wordt ca 50% gedaan door de grote 7, te weten Philips, ASML, Océ, AKZO, Unilever, Shell en DSM [6]. De eerste drie bedrijven vervaardigen "enkel stuks" producten waarvoor fundamentele kennis van hoogwaardige en intelligente productiemiddelen essentieel is voor hun voortbestaan.

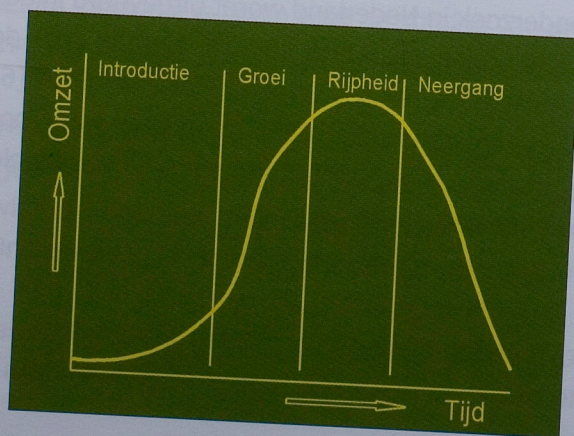
Het productieproces wordt ingewikkelder en het produceren in Nederland is duur. Om een hoge productiviteit en een lage kostprijs te handhaven zijn goed opgeleide medewerkers nodig. Als die ontbreken zien we dat de in ons land ontwikkelde producten geproduceerd worden in het buitenland.

Het innoverende vermogen voor het verbeteren van het productieproces ligt in de integratie van de verschillende vakgebieden. *Bedrijfsmechanisatie* is de integrator van materiaalkunde, technische mechanica, besturingskunde en de meet- en regeltechniek. Omdat de informatica daarin een steeds belangrijker rol krijgt noemt men bedrijfsmechanisatie nu ook wel *mechatronica*.

Bedrijfsbelang

Het is in het belang van elk bedrijf dat het zijn producten en zijn productieproces innoveert. We spreken over innovatie wanneer een nieuw product of proces voor het eerst op grote schaal op de markt wordt gebracht [7]. Elk product kent zijn eigen levenscyclus waarin we onderscheiden:

- De introductiefase (kenmerk: veel technologische vernieuwingen),
- de groeifase (kenmerk: productieautomatisering),
- de rijpheidsfase en
- de neergangsfase.



Invloed van de levensduur op de omzet van een product

Innovaties vinden vaak plaats aan het begin en het einde van de levensduur van een product. Om de neergangsfase uit te stellen en zo mogelijk te voorkomen is er een aantal strategieën voorhanden. Ik zal een paar voorbeelden geven. Steeds spelen het product en de productietechniek daarin een belangrijke rol.

Substitutie

Hierbij vervangen we een bestaand product door een nieuw product. Een klassiek voorbeeld is de vervanging van de platenspeler door de CD speler en vervolgens door de DVD speler.

Verlengen levenscyclus

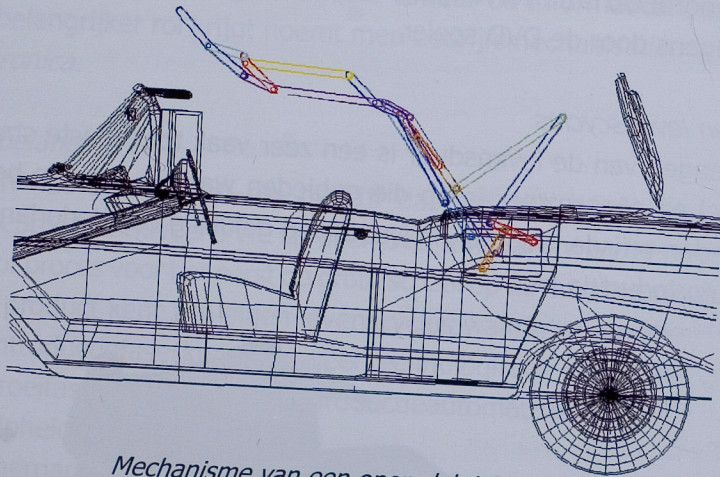
Het verlengen van de levensduur is een zeer vaak toegepaste strategie. Ontwikkel en concentreer je op die gebieden waar je goed in bent. 20 jaar geleden prijsde men zich in Nederland gelukkig dat Nederland geen grote auto-industrie had.



Voorbeeld van recente innovatie

Wat kon immers nog verbeterd worden aan de auto? Mede door nieuwe impulsen van de Japanners is de auto een hoogwaardig technisch en zeer betrouwbaar product geworden. Gelukkig heeft Nederland een aantal hoogwaardige toeleveranciers aan de automobiellindustrie.

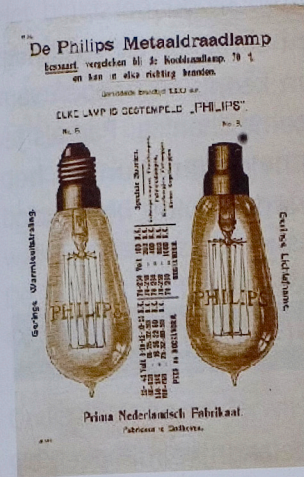
Nog een ander voorbeeld uit de automobielindustrie. Er worden steeds meer automodellen uitgebracht met een open dak. Een open dak dat automatisch open en dicht gaat is een knap stuk mechanismetechniek waarin de kinematica een belangrijke rol speelt. Aan de Technische universiteit van Aken heeft men hieraan onderzoek gedaan. De synthese van de vele mogelijkheden en de analyse en de optimalisatie van de kinematica is een moeilijk wiskundig probleem, vooral als je ook de optredende krachten in beschouwing neemt.



Mechanisme van een open dak in een auto

Veranderen technologie

Het ontstaan en de groei van Philips is te danken aan de gloeilampen. De klassieke gloeilamp wordt nu door alle concurrenten gemaakt tegen de laagst mogelijke kosten. Inmiddels is de gloeilamp al opgevolgd door de tl-lamp die ook al weer verdrongen is door de energiezuinige pl-lamp. Deze ontwikkelingen gaan steeds verder en daardoor blijft Philips zijn technologische voorsprong behouden.



Voorbeeld van verlenging van de levensduurfase door verandering van de technologie

Verlenging rijpheidsfase

Voedselbussen van blik (vertind staal) worden al sinds de eerste wereldoorlog gemaakt. De zuurstofdichtheid van blik is nog ongeëvenaard. In de loop der jaren is het materiaalgebruik voor de voedselbus meer dan gehalveerd en zijn de productiesnelheden meer dan vertienvoudigd. Daardoor blijft dit product zijn voorsprong behouden.

Integratie productieproces en productie-machine

Integratie van de relatie tussen en kennis van het productieproces en de productiemachine geeft inzicht en kan een grote verbetering geven van de efficiency.



Bed met spiraalmatras

Het is absoluut noodzakelijk dat je het productieproces beheerst. Voorbeeld: als je je als bedrijf onderscheidt door het maken en verkopen van stalen spiraalmatrassen is het essentieel om kennis te hebben van het vervormingsproces. Dit is zuivere toegepaste mechanica. Pas als je weet welke factoren het spiraalproces beïnvloeden kun je het productieproces beheersen. Zo niet dan is een lage productiviteit het gevolg.

Taak Technische Universiteiten en de industrie

Nu het duidelijk is dat bedrijfsmechanisatie een belangrijke rol speelt bij innovatie en dus bij de productiviteitsverbetering van de Nederlandse industrie zal aan een aantal voorwaarden moeten worden voldaan om te waarborgen dat het onderwijs en het bedrijfsleven actief blijven.

Taak Technische Universiteiten

Belangrijk is dat de ingenieur *kennis* bezit [8]. Kennis is niet alleen de theorie en dat wat in boeken en andere documenten te vinden is, maar ook de vaardigheid deze theorie in de praktijk te gebruiken.

Kennis van de theorie en de vaardigheden om deze te kunnen toepassen zijn complementair. Zonder theorie geen toepassing in de praktijk, zonder enige kans op toekomstige toepassing in de praktijk is nieuwe theorievorming zinloos.

Universiteiten hebben van de samenleving drie taken gekregen.

- Kennis genereren door het doen van wetenschappelijk onderzoek,
- deze kennis overdragen aan volgende generaties,
- deze kennis delen met de maatschappij.

Het blijkt dat gebieden en landen met een hoog opleidingsniveau zich specialiseren in activiteiten waarvoor veel scholing nodig is. Dit levert de meeste welvaart op.

Aan deze universiteit was het belangrijkste doel van wetenschappelijk onderzoek de generatie van nieuwe theorieën. Vakgroepen werden beoordeeld in welke mate zij nieuwe theorieën hebben toegevoegd en in welke mate deze theorieën in relevante tijdschriften zijn terug te vinden. De TUDelft wil tot de beste universiteiten ter wereld behoren en daardoor aantrekkelijker worden voor Nederlandse en buitenlandse studenten.

Onderzoek en onderwijs hebben een directe relatie met elkaar. Zonder goed onderzoek geen goed onderwijs en zonder goed onderwijs geen goed onderzoek.

Wetenschappelijk onderzoek is te splitsen in

- een onderzoekstaak, t.w. genereren van nieuwe technologieën; en
- een toepassingstaak [9], t.w. het inzetten van bestaande technologieën voor het ontwikkelen van innovatieve producten en productieprocessen.

De onderzoekstaak moet dus resulteren in onderwijs, waarbij de studenten worden geoefend in het oplossen van veelal een klein theoretisch probleem. Het probleem is vaak een onderdeel van een promotieonderzoek. De vaardigheid om een praktijkprobleem om te zetten in een theoretisch model is vaak lastig en zal ook geoefend moeten worden. Deze praktijkproblemen zijn aan een universiteit minder vaak voorhanden. Daarom werden in het verleden personen als hoogleraar aangetrokken uit de praktijk met als doel de kunde van deze vaardigheden te doceren. In het kader van de bezuinigingen zijn de meeste van deze collega's verdwenen.

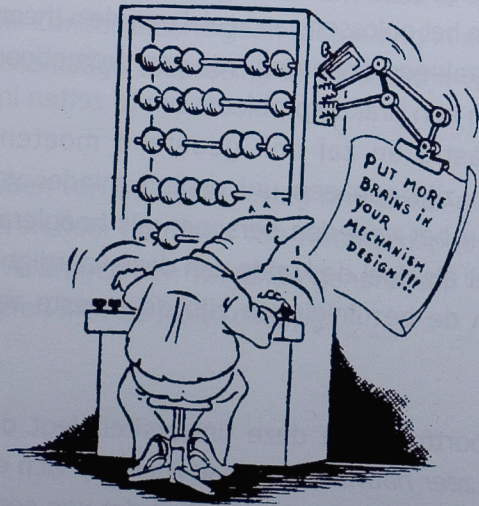
Het onderzoeksportfolio van deze universiteit legt de nadruk op het ontwikkelen van *zeer nauwkeurige* machines. Op zich een te verdedigen keuze. Deze heeft er echter wel toe geleid dat van een aantal populaire afstudeerrichtingen de wetenschappelijke basis verkleind is. Vakgebieden

die wel een goede aansluiting bieden bij de Nederlandse industrie [10] maar buiten het gekozen onderzoeks-portofolio vallen.

Het verleggen van het "zwaartepunt" van de onderzoekstaak naar de onderwijsstaak zou een aantal voordelen op kunnen leveren. Goed onderwijs trekt goede studenten aan. Gevolg: Uit deze studenten kunnen gemakkelijker goede onderzoekers worden gerekruteerd. Gevolg: Goede onderzoekers leveren goed onderzoek. Goed onderzoek is de basis van goed onderwijs in de toekomst.

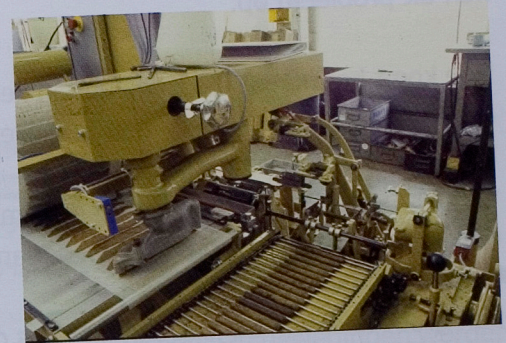
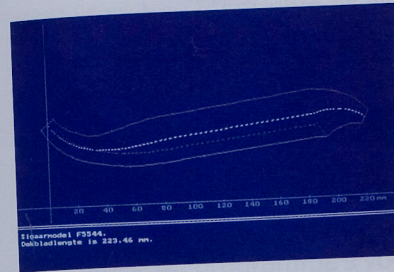
Transfer van kennis naar de industrie

Zoals al eerder aangegeven is een hogere opleiding nodig om de beschikbare theorie te kunnen toepassen. Voorbeeld: Binnen de vakgroep is zeer veel kennis aanwezig over mechanismen. Een deel van deze kennis is verpakt in computerprogramma's. Echter ook voor het zinvol gebruik van deze computerprogramma's is kennis van de gebruikte theorie noodzakelijk. Het blijkt steeds weer dat de transfer van kennis naar de industrie en de toepassing van de theorie tijdens het ontwerp van machines slechts sporadisch voorkomt.



Put more brains in your mechanism

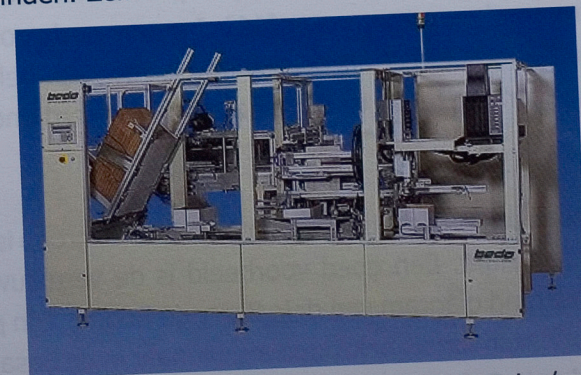
Vooraf bij de middelgrote en kleinere bedrijven, maar ook bij de grotere bedrijven die niet de machinebouw tot hun "core business" rekenen is weinig kennis van dit vakgebied aanwezig. Ik zal u een paar voorbeelden geven:



Sigaar afhankelijke bladvorm en machine om het blad om de sigaar te wikkelen

Een fabrikant van sigarenbladwikkelmachines zit met een probleem. Hij heeft geen idee wat de relatie is tussen de vorm van de sigaar en de vorm van het blad. Ook weet hij niet hoe de nok moet worden berekend die voor de goede wikkelbeweging noodzakelijk is. Hij doet dit alles proefondervindelijk. Maar de man met ervaring gaat met pensioen. De machineleverancier had onvoldoende fundamentele kennis van zijn eigen product. Een student heeft dit voor hen opgelost.

Een groot bedrijf verpakt zeeppoeder in kartonnen dozen. Het hoofd van de productieafdeling is een econoom. De nieuw aangeschafte machine presteert slechter dan de oude. Na een jaar vragen ze een student de oorzaak te vinden. Zelf komen ze er niet uit.



Machine voor het inpakken van producten in dozen

Een kleine fabrikant van machines voor de productie van computerchips wil de snelheid verhogen van 30 naar 60 per minuut. Zelf hebben zij geen kennis over hoe dit aangepakt zou moeten worden. Een student lost voor hen dit probleem op.

Hoe komt het nu dat die transfer van kennis zo moeizaam verloopt? Daar is een aantal redenen voor aan te wijzen.

De kennis die vastligt in boeken en andere documenten is beperkt verkrijgbaar. Dat komt omdat de omvang van de markt voor deze documenten klein is en omdat in Nederland de omvang van zelscheppende machinebouwindustrie beperkt is.

Een groot deel van de jonge ingenieurs die het vak hebben geleerd vindt weliswaar een werkkring in zijn vakgebied. Maar in het bedrijf is hij vaak een eenling. De omgeving en ook zijn chef weten vaak niet wat de mogelijkheden zijn. Daarbij kost ontwikkeling tijd en geld en zijn de uitkomsten niet altijd precies te voorspellen.

Als deze ingenieur voldoende ervaring en zelfvertrouwen heeft gekregen en verder carrière wil maken dan wordt hij meestal "gedwongen" om een management taak te gaan vervullen. Management wordt immers beter beloond dan de zuivere techniek.

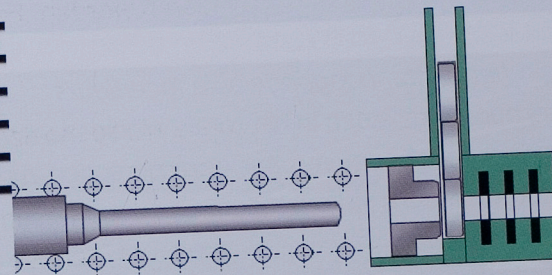
Evaluatie persoonlijke doelstellingen

Toen ik in 1990 aan deze universiteit werd benoemd was een van mijn doelstellingen dat na 10 jaar ieder innoverend technisch Nederlands bedrijf dat zich met machines en mechanismen bezighoudt en dat zichzelf respecteert, de binnen mijn hoofdvakgroep ontwikkelde theorie en computerprogramma's zou toepassen [11]. Immers onderzoek door een universiteit heeft vooral effect als de resultaten voor een belangrijk deel op korte of lange termijn terug te vinden zijn in verbeterd onderwijs of in de industrie.

Voor het onderzoek dat verricht is binnen mijn hoofdvakgroep is dat slechts in beperkte mate gelukt. Een goed voorbeeld is de vernieuwde theorie over het stap-toestand diagram van dr.ir. Barry de Roode. Zijn programma "Machine Motion" is inmiddels bekroond als winnaar in de Easa competitie (European Academic Softward Award).

MACHINE MOTION 2002

MAIN
NEWS
THEORY
EXAMPLES
DOWNLOAD
CONTACT



Screendump van Machine Motion internetsite

De theorie en programma's voor de optimalisatie van bewegingen worden nog weinig toegepast. Transfer van kennis gaat nu vooral via het onderwijs en via publicaties [12]. De 65 bij mij afgestudeerde BM-studenten zorgen hiervoor.

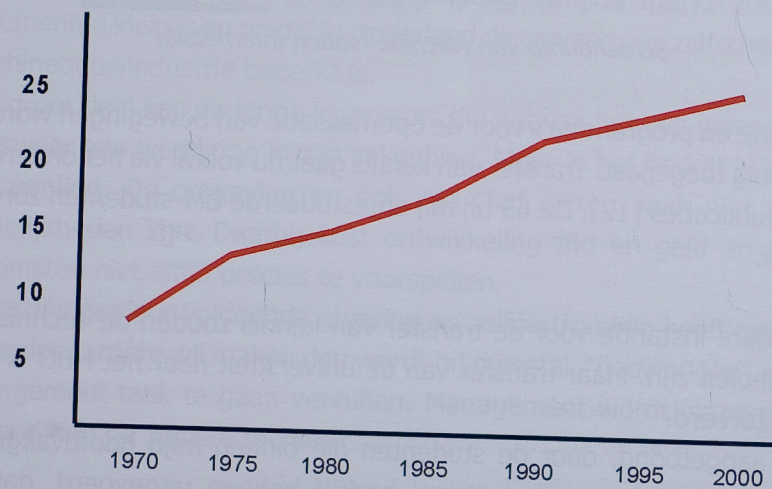
Een andere instantie voor de transfer van kennis zouden de Technische Hogescholen zijn. Maar transfer van de universiteit naar het HBO is niet gestructureerd.

Wel is aangetoond, door de studenten die binnen mijn hoofdvakgroep een ir-opdracht in een industrieel bedrijf hebben uitgevoerd, dat de ontwikkelde theorieën nagenoeg altijd tot aanzienlijke verbeteringen en innovaties leidden.

Factoren die innovatie van het productieproces bedreigen

Afname van het aantal hoogopgeleide ingenieurs

Het aandeel hoogopgeleiden in het totale arbeidsaanbod is in de afgelopen jaren weliswaar toegenomen maar deze personen zijn voor het grootste deel opgeleid in andere vakgebieden.



Percentage hoger opgeleiden in het totale arbeidsaanbod in Nederland [13]

Investerings in R&D

Er wordt in Nederland steeds minder geïnvesteerd in R&D terwijl de productie en de productieprocessen gecompliceerder worden. Deze paradox wordt voor een deel verklaard door de voorkeur van de aandeelhouders voor het korte termijn rendement. Men kan zich de vraag stellen of in het huidige klimaat de CD-speler in Nederland nog wel zou zijn uitgevonden?

Waardering techniek

Techniek wordt in Nederland minder gewaardeerd. De opleiding aan een technische universiteit is alleen succesvol voor de allerbeste. Ca 40 tot 50% valt tussentijds af. Dit is aanzienlijk meer dan bij andere studies. De salarissen zijn evenwel niet hoger dan die van niet-technici. Bijvoorbeeld

niet-technische serviceverleners ontvangen meer salaris dan technische innovators, terwijl de innovators een belangrijker bijdrage leveren aan de productiviteit van de Nederlandse industrie dan de serviceverleners.



Salarisontwikkeling van technici en economen [14]

Mijn perceptie is dat het salaris en ook het uurtarief van een academicus alleen afhangt van het salaris van de persoon aan wie hij rapporteert. Een ingenieur rapporteert aan het hoofd constructiebureau en een econoom of jurist aan de directie. Daarom verdient die econoom of jurist meer. Treedt een ingenieur in dienst van een consultancybureau dat opdrachten voor de directie uitvoert dan verveelvoudigt zijn uurtarief. (Advies aan alle jonge ingenieurs: als je veel wilt verdienen zoek dan een baas die veel verdient.)

Veroudering kennis

Kennis verouderd snel. Een deel van de verminderende kennis kan worden gecompenseerd door ervaring. Er zijn nu voor de werknemer 2 strategieën te volgen.

1. Kennis bijscholen om zodanig zijn of haar inverdiencapaciteit te waarborgen;
2. Het gemis aan kennis compenseren met management taken die minder kennis en meer ervaring vereisen.

Zoals hiervoor al aangegeven heeft de tweede mogelijkheid meer status en wordt beter beloond.

Management is weinig productiegericht

Management van productiebedrijven is veelal productgericht en minder productiegericht.

Ik zal u een voorbeeld geven hoe het in de praktijk vaak toegaat:

De directie van een productiebedrijf heeft veel contacten met zijn klanten.

Deze klanten vertellen hem dat het product gebreken heeft en te duur is.

Nu heeft hij een productieleider die zijn productieproces wil innoveren.

De productieleider komt met een technisch-, een financieel- en een tijdsplan. De directeur geeft toestemming.

De plannen worden verder uitgewerkt, de machine wordt ontwikkeld en

gebouwd. Daarna komen de tegenvallers. Het onverwachte gebeurt.

Hoewel men met alles had rekening gehouden duurt de ontwikkeling langer,

de kosten zijn hoger dan geraamd, er zijn aanloopp Problemen en de

productie loopt vertraging op.

De directeur wordt over de kosten geïnformeerd door zijn financieel

directeur en hij wordt gebeld door zijn klanten. De grote schuldenaar is de

productieleider die initiatieven heeft genomen. Wordt hij niet in

bescherming genomen door een ervaren leider die weet dat ontwikkelaars

geboren optimisten zijn, dan zal de drempel om nog eens een dergelijk

risico te nemen erg hoog zijn.

Daarom: *Innovatie heeft een peetvader nodig.*

Tenslotte

Ontwerpen van machines heeft toekomst, vooral omdat het leuk is. Het blijft voor vele studenten een jongensdroom. Het is een uitdaging om samen met anderen de grenzen van het bereikbare steeds weer verder te leggen en op basis van een theorie een tuig te bouwen dat werkt.

Nederland heeft veel bedrijven die zich met nieuwe technieken bezighouden waar we trots op kunnen zijn en waar het goed is om te werken. Ik denk aan Philips, ASML, Océ, Stork en Daf, aan de vele gespecialiseerde toeleveranciers van de automobiellndustrie zoals Polynorm, Steelweld, IKU en Hoogovens, aan speciaalmachine-leveranciers als van Dam (drukmachines), Buhrs (foliewikkelmachines), Fontijne (velgenvormmachines), Aweta (fruitverpakkingsmachines) en vele anderen.

In ben dan ook verheugd te constateren dat de faculteit dit jaar besloten heeft de leerstoelen Bedrijfsmechanisatie en Ontwerpkunde onder te brengen in een nieuw in te stellen toepassingsgericht leerstoel "Mechatronisch Ontwerpen". De industrie heeft hierop aangedrongen. Het voorziet in de opleidingsbehoefte van vele Nederlandse en buitenlandse studenten.

Ik verlaat deze universiteit met de gedachte dat ik een bijdrage heb mogen leveren aan de opleiding en vorming van studenten die reeds nu en in de toekomst een belangrijke rol spelen en zullen spelen in de Nederlandse samenleving en de industrie. Het was een voorrecht en een genoegen en ik hou er een goede herinnering aan over. Zo ook aan mijn directe collega's met wie ik op een goede en plezierige wijze heb samengewerkt. Ik dank u hiervoor hartelijk.

Ik heb gezegd.

Literatuur

- 1 Hermans Toon, 75 woorden en 80 gedachten
- 2 Rankers dr.ir.A.; www.artas.nl
- 3 Klein Breteler dr.ir.A.; www.wbmt.TUdelft.nl/tt/CADOM/Runmec.htm
- 4 Albus, 1994; A reference model architecture for intelligent systems design. Gaithersburg, National Institute of standards and technology.
- 5 Machine, mechanisering, automatisering;
www.pscw.uva.nl/sociosite/labor/tao/9machine.html
- 6 Tolsma 2003; Bedrijfs R&D: "Hoe zou het kunnen dat we hier vreselijk achterlopen". Techisch weekblad 23 maart 2003
- 7 Roobeek 1998; Revolutionaire uitvindingen versus schaven binnen een paradigma
- 8 Don F.J.H. 2002 ISBN 90 58 33 0907
- 9 ARTD advies 1995/1, Samen op weg naar de 21^e eeuw
- 10 Focus op onderwijs; tussenrapportage Commissie Onderwijs portofolio TUdelft; januari 2003
- 11 Crone H.A.; Bedrijfsmechanisatie, de (on)kude in het bedrijf; intreerede TUdelft; februari 1991
- 12 Internet pagina: www.wbmt.tudelft.nl/tt/cadom/index.htm
- 13 CBS/CPB 1997; CBS tijdreeksen arbeidsrekeningen 1997
- 14 Intermediair salariswijzer (www.intermediair.nl)