

## High-tech-systemen in beweging

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

Steinbuch, M. (2007). High-tech-systemen in beweging. In *Dies natalis 2007 Technische Universiteit Eindhoven 27 april 2007 : where innovation starts* (blz. 19-25). (Dies natalis 2007 Technische Universiteit Eindhoven 27 april 2007 : where innovation starts, 2007). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2007

**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.



Maarten Steinbuch deed van 1987 tot 1998 onderzoek bij Philips Research naar het modelleren en regelen van mechatronische systemen. Vanaf 1999 is hij hoogleraar aan de faculteit Werktuigbouwkunde van de TU/e. Vanaf juli 2006 is hij tevens wetenschappelijk directeur van het Centre of Competence High-Tech Systems van 3TU, de federatie van technische universiteiten in Nederland.



**Prof.dr.ir. M. Steinbuch, hoogleraar Regeltechniek TU/e**

## **High-tech-systemen in beweging**

Komend studiejaar kiezen meer studenten voor werktuigbouwkunde. Dat komt mede door de goed draaiende high-tech-systemenindustrie in onze regio. Werktuigbouwkunde sluit ook goed aan bij de behoefte van jonge mensen om een wetenschappelijke analyse en synthese uit te voeren met als eindresultaat een werkend apparaat. Daarvoor is het niet voldoende om alles te weten van materialen en mechanica, of van elektronica, regeltechniek of fysica. Juist de integratie van verschillende soorten kennis in één systeem maakt het mogelijk om werkelijk iets nieuws te maken. Het is duidelijk dat hierbij ook andere disciplines nodig zijn. Dat levert resultaten op die ons leven kunnen veranderen, zoals robots, dvd-spelers, productielijnen van auto's en nanochips die bloedanalyse uitvoeren. Bij high-tech-systemen gaat het om complexe combinaties van technieken, waardoor de grenzen van het kunnen worden verlegd. We leren onze studenten nadenken en redeneren op systeemniveau. Ons onderwijs wordt daarbij gevoed door ons onderzoek. Belangrijke onderzoeksthema's zijn: complexiteit, adaptiviteit en embedded intelligentie. Ik zal dat laten zien aan de hand van voorbeelden van precisie-instrumentatie, medische robotica en hybride voertuigaandrijvingen.



Adaptieve elementen worden gebruikt in telescopen



### Adaptieve optiek voor astronomie: toename van complexiteit

Precisie-instrumentatie zoekt de grenzen van de meetbaarheid op. Zeer nauwkeurige regelsystemen zorgen voor statische positionering van pico-nauwkeurige apparaten voor ruimtevaarttoepassingen en nano-nauwkeurigheid voor dynamische positionering. Behalve de vakinhoudelijke uitdagingen in metrologie, mechanisch ontwerp en regeling, is ook de beheersing van complexiteit een uitdaging. Een goed voorbeeld daarvan zijn de adaptieve elementen voor gebruik in telescopen waaraan we werken.

Turbulenties in de atmosfeer maken dat het licht van sterren steeds op een verschillende manier in de atmosfeer wordt afgebogen. Voor astronomische waarnemingen is dat lastig; het zorgt voor een onscherp beeld van sterren. Adaptieve optiek wordt toegepast om dat te verbeteren. Telkens als de optische eigenschappen van de atmosfeer veranderen, wordt de adaptieve spiegel van de telescoop bijgesteld om de ster op dezelfde plek te houden. Zo blijft het beeld scherp.

Wij werken aan een nieuwe generatie adaptieve spiegels met ongekende regelsnelheid en ruimtelijke nauwkeurigheid, met technologie die maakbaar en betaalbaar is. Het spiegeloppervlak is een dun membraan, waarachter 5000 elektromagnetisch aangestuurde penntjes zitten die het oppervlak kunnen vervormen. Deze actuators hebben een spatiële bandbreedte van 6 mm, en een regeltechnische bandbreedte van 200 Hz om de turbulenties van de atmosfeer bij te kunnen houden. Hierdoor kunnen zelfs relatief kleine en ook snelle atmosferische verstoringen worden gecompenseerd. Dergelijke actuators moeten stijf genoeg zijn om geen last te hebben van

mechanische resonanties, maar tegelijk moet het vermogensgebruik minimaal te zijn, anders verstoort de vrijkomende warmte de lokale atmosfeer. Door gebruik te maken van passief magnetisme en mechanische stijfheid, gecombineerd met actief elektromagnetisme, is een ontwerp gemaakt waarbij een afzonderlijke actuator slechts een paar milliwatt gebruikt. De passieve magneet geeft een voorspanning van de mechanische stijfheid. De elektromagneet brengt kleine variaties van de krachten op de actuator aan, waardoor de actuator kleine en snelle bewegingen kan maken, bij een lage thermische belasting. Niet alleen mechanisch, ook elektronisch en regeltechnisch vormt de spiegel met 5000 actuators de grens van wat we kunnen. De regeling is uiterst complex en moet real-time worden doorgerekend. We kunnen in een dergelijk systeem de complexiteit alleen beheersen door te decentraliseren. Elke actuator heeft daarom een eigen processor, die alleen communiceert met zijn directe burens. Daarbij wordt gebruik gemaakt van kennis over de atmosfeer. Turbulenties trekken met een bepaalde snelheid over. Actuators kunnen dat dus aan hun burens doorgeven. Alleen door hardware en software hier heel precies in elkaar te laten grijpen wordt het grote aantal vrijheidsgraden van zo'n spiegel beheersbaar. Adaptieve optiek is niet alleen interessant voor astronomen. Ook voor bijvoorbeeld wafersteppers van de toekomst is het interessant dat (lens)oppervlaktes bewogen kunnen worden met een groot aantal actuators.

### De nieuwe robots: mens onderdeel van het te regelen systeem

Een andere klasse van high-tech-systemen is die waarbij de mens onderdeel is van het te regelen systeem. Voorbeelden hiervan zijn telerobotische systemen waarbij de mens de robot bestuurt. Tijdens het ontwerp van een dergelijke robot moet rekening worden gehouden met de onzekerheden van mens en omgeving.

Een interessante ontwikkeling daarbij is de toepassing van robotsystemen voor medische toepassingen. In Nederland zijn er inmiddels vier Da Vinci operatierobots, die chirurgen gebruiken voor minimaal invasieve operaties. Bij zo'n operatie worden kleine sneetjes in de buik gemaakt, waardoor een camera en snij-instrumenten naar binnen kunnen worden gebracht. Doordat daarbij heel weinig wordt gesneden, herstelt de patiënt ook weer snel. Met een robot kan een chirurg een operatie heel precies uitvoeren. De chirurg bestuurt de robot achter een console met een vergroot, driedimensionaal beeld. Het beeld en de beweging van zijn handen vallen samen in de besturingsconsole. Bovendien is de werkhouding ergonomisch veel gunstiger dan bij conventionele operaties. De chirurg kan inzoomen op de details die hij wil zien; zijn bewegingen vergroten mee. Op die manier kan hij bijvoorbeeld de galblaas opereren, de blinde darm verwijderen of een liesbreuk hechten.

De huidige medische robots hebben echter wel beperkingen. Ze zijn zwaar en groot, waardoor ze ook lastig in te stellen zijn. In de operatiekamer is het personeel te lang bezig met het opstellen van de robot. Bovendien heeft de chirurg geen haptische terugkoppeling: hij voelt geen krachten en wordt daardoor beperkt. Palperen (weefsel voelend beoordelen) is niet mogelijk. Wij werken daarom aan medische robots die lichter en hanteerbaarder zijn. Ook de waarneming van de chirurg kunnen we completer maken. Het aanbrenge van een krachtterugkoppeling is een lastige opgave. Je moet de medische instrumenten op een andere manier ontwerpen om de krachten te kunnen meten. Wij doen ook perceptieonderzoek om te weten wat en hoe de chirurg wil voelen. De regeltechniek willen we uitbreiden naar adaptiviteit in haptische terugkoppeling: zelf-bijstellende regelalgoritmes die een veranderende omgeving (weefsel) en veranderende mens (chirurg) opmerken en in rekening brengen. In sommige gevallen is het voor het eerst dat een chirurg krachten kan gaan voelen. Dat geldt bijvoorbeeld voor oogoperaties, een van de toepassingen waarvoor we een medische robot ontwikkelen. Een oogchirurg voelde tot nu toe niets als hij rechtstreeks in het oog werkte; het weefsel is daar erg zacht. Wij kunnen hem een perceptie geven die hij nog nooit heeft gehad. Het mechanische ontwerp van de medische robots bouwt voort op de ontwerp-principes die we hier in Eindhoven in twee decennia onderzoek naar mechatronica hebben ontwikkeld, principes die we hier onderwijzen en die hier in de regio breed worden toegepast, bijvoorbeeld bij het ontwerp van waferscanners en elektronenmicroscopen. Die uitgangspunten maken het mogelijk om instrumenten te maken waarvan de positie altijd goed bepaald is, onafhankelijk van de beweging, met minimale gevoeligheid voor temperatuurveranderingen en

een voorspelbaar dynamisch gedrag.

De technieken die we voor de robots ontwikkelen, hebben een brede toepassing. We studeren bijvoorbeeld op de mogelijkheid om op afstand bestuurbare katheters te ontwikkelen voor hartoperaties. De manier waarop we adaptieve regeling gebruiken bij krachtterugkoppeling passen we inmiddels in lopend onderzoek ook toe voor besturing van voertuigen.

Op dit punt staan we nog maar aan het begin. Bill Gates, die 20 jaar geleden voorspelde dat elk huis een computer zou krijgen, heeft vorig jaar de komst van robots als volgende industriële revolutie aangemerkt. De tijd is er rijper voor dan twintig jaar geleden. Over enkele jaren zal er een robot in elk huis zijn. De technieken beginnen samen te komen, aldus Gates. Hij heeft gelijk. We leren de complexiteit van de interactie met mensen te beheersen.

### Automotive: embedded intelligentie

Een derde voorbeeld van high-tech-systemen waaraan wij werken, komt uit de moderne voertuigtechniek. De auto is al lang niet meer het mechanische ontwerp van vroeger. Met elektronica en software kunnen we emissies, brandstofverbruik, veiligheid en comfort op systeemniveau optimaliseren. Dit is tegelijk de echte uitdaging: de complexiteit van alle subsystemen groeit zo snel dat fabrikanten steeds meer moeite hebben met het optimaliseren. Het ontwikkelen van nieuwe methoden voor zelfkalibratie en auto-tuning van intelligente algoritmes is dan ook een belangrijk onderzoeksveld.



In Nederland zijn er inmiddels vier Da Vinci operatierobots, die chirurgen gebruiken voor minimaal invasieve operaties.

Hybride aandrijftechnologie is een goed voorbeeld van de toename van complexiteit en de rol van embedded intelligentie. Met een hybride aandrijving kan veel energie worden bespaard. Een dergelijke aandrijving bestaat uit een combinatie van een conventionele verbrandingsmotor, een elektromotor en een accu om energie op te slaan. Van hybride personenwagens weten we dat je daarmee tot 20 procent energie kunt besparen. Dat komt doordat de verbrandingsmotor steeds op het optimale toerental kan draaien. Variaties in belasting worden opgevangen met de elektromotor en de accu. Bovendien wordt de remenergie teruggewonnen en kan de verbrandingsmotor kleiner worden gekozen. Bij het voertuigontwerp vraagt de dimensionering van de componenten om lastige keuzes. Hoeveel accu's moet je meenemen, hoeveel vermogen heb je nodig in de twee motoren? Fabrikanten van hybride auto's maken dat soort keuzes tot nu toe heuristisch. Wij ontwikkelen modellen en optimalisatiemethoden om structuur aan te brengen in dit ontwerpproces. Behalve de toepassing bij personenauto's is nu ook onderzoek gestart naar stadsdistributievrachtwagens. Het gaat om grotere vermogens en daardoor om hoge investeringen. We onderzoeken daarbij niet alleen de ontwerpkeuzes, maar ook het real-time besturingssysteem. Om energie te besparen moet je op het goede moment schakelen tussen de verschillende energiebronnen die in de auto aanwezig zijn. Dat is een lastig regel- en optimalisatieprobleem. Veel subcomponenten moeten onderling communiceren voor een optimale keuze. Onze onderzoeksgroep ontwikkelt op dit moment regelalgoritmes voor hybride vrachtwagens. Onze nieuwe rollenbank gaat een belangrijke plaats innemen ten behoeve van het testen van de diverse oplossingen.



Hybride aandrijf-technologie is een goed voorbeeld van de toename van complexiteit en de rol van embedded intelligentie.

Bij het regelen van voertuigen worden steeds meer omgevingsfactoren betrokken. Het liefst moet het regelsysteem van een voertuig rekening houden met de af te leggen route, inclusief de files die verderop staan. Voertuigen zullen communiceren met andere voertuigen, wat gebruikt kan worden voor geavanceerde cruise control. Voertuigen zullen rekening houden met de infrastructuur en ze houden contact met het thuisfront. Nieuwe technieken zullen voertuigen zuiniger, veiliger en efficiënter maken. Het geeft aan dat we terecht spreken van high-tech automotive systems.

### Unieke regio

Het maken van geavanceerde technologische systemen is bij uitstek multidisciplinair. Dat maakt het aantrekkelijk, maar ook moeilijk. We moeten de nieuwste ontwikkelingen combineren uit de diverse vakgebieden, waarbij het systeemkundig denken een belangrijke plaats inneemt. Dat is precies de basis van het 3TU Centre of Excellence (CoE) Intelligent Mechatronic Systems, als onderdeel van het Centre of Competence High Tech Systems, dat we samen met de Universiteit Twente en de Technische Universiteit Delft hebben opgericht. De kernthema's van het CoE zijn robotica, precisiesystemen, microsystemen en gedistribueerde en embedded systemen. De vorming van zwaartepunten en de aandacht vanuit de 3TU-federatie helpen om de grenzen gezamenlijk te verleggen. Veel van het boven beschreven onderzoek doen we samen met onze partners van de andere technische universiteiten en TNO. Deze samenwerking tussen kennisinstellingen geeft een stevig fundament om snelle vorderingen te maken in dit belangrijke onderzoeksveld.

Samenwerking met de industrie is eveneens van wezenlijk belang. Het geeft focus en zorgt voor uitdagende en relevante onderzoeksthema's. De initiatieven om met de high-tech-systemsindustrie een onderzoeksprogramma te maken zijn essentieel om innovatie succesvol te maken. Het brengt wetenschappelijk onderzoek en industriële toepassingen bij elkaar. Het geeft een visie op de gehele kennisketen van idee tot markt. De nabijheid van kennisinfrastructuur en topindustrie maakt deze regio uniek in de wereld. Het stelt ons in staat om wetenschappelijke vooruitgang direct te koppelen aan resultaten in de industrie.