

Uitdagingen van mechatronica

Recent is aan de Technische Universiteit Delft (TUD) het Delft Centre for Mechatronics and Microsystems (M&M) van start gegaan. De TUD heeft in haar onderzoeksbeleid besloten, het onderzoek intern te bundelen en extern te profileren via een dertiental speerpuntinstituten en platforms, waarvan het genoemde Delft Centre for M&M er één is.

• *Dr. ir. Marcel Tichem, Prof. ir. O.H. Bosgra¹* •

Mechatronica betreft het interdisciplinair ontwikkelen van machines en producten. Als zodanig is mechatronica een moderne term voor werktuigbouwkunde gericht op een groot aantal toepassingsgebieden. Onder microsystemen worden systemen verstaan die taken uitvoeren op de microschaal. De systemen die hiermee worden aangeduid, laten nog een zekere spreiding zien in afmetingen. Vanuit het werktuigbouwkundige domein zijn systeemafmetingen vaak in de orde van enkele millimeters tot een centimeter. Kleinste onderdeelafmetingen zijn in het submillimeter bereik, kenmerken van onderdelen zijn het micrometer bereik. Vanuit het halfgeleider domein zullen de systeemafmetingen veelal veel kleiner zijn en spreekt men over MEMS: Micro Electro Mechanical Systems.

Zoals de naam aangeeft, beoogt het Delft Centre for Mechatronics and Microsystems de wereld van de mechatronica en de microsystemen bij elkaar te brengen. Het toepassingsgebied is hierbij primair de typische 'koude' werktuigbouwkunde, waarbij technische systemen worden ontwikkeld die bewegingen realiseren (sensor-actuator systemen). MST/MEMS heeft ook duidelijk toepassing in andere gebieden zoals analyseprocessen in de agro/food en de medische discipline. Deze toepassingen staan echter niet primair centraal in het Delft Centre for M&M.

¹ TU Delft, Mekelweg 2, 2628CD Delft
T +31 15 27 81603, F +31 15 27 83910
E m.tichem@wbmt.tudelft.nl

voor de symbiose en microsystemen

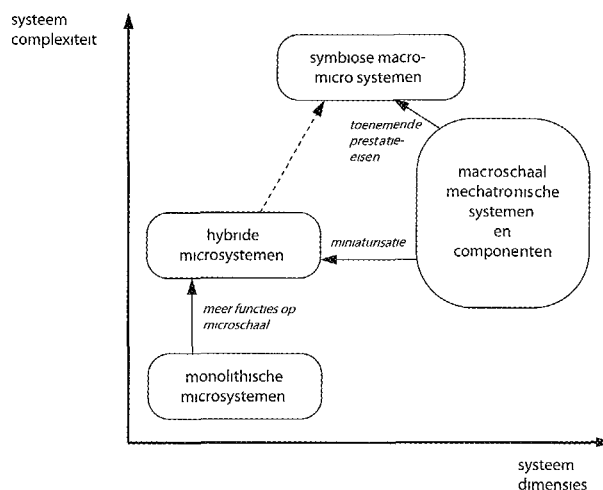
In dit artikel wordt eerst ingegaan op de motivatie die heeft geleid tot de definitie van het Delft Centre for M&M. Vervolgens wordt de opbouw van het onderzoekprogramma M&M uiteengezet. Het onderzoekprogramma wordt ten slotte geïllustreerd aan de hand van voorbeelden van lopende projecten. Het artikel is een weerslag van een presentatie die door de auteur is gegeven op de themadag 'Welkom in de wereld van MST/MEMS' georganiseerd door het Mikrocentrum op 30 maart 2004.

Motivatie Mechatronics and Microsystems

Het Delft Centre for M&M sluit aan bij een aantal trends (zie afbeelding 1). Eén van deze trends is de toenemende miniaturisatie van producten en componenten. De prestaties van kleine systemen, in termen van bijvoorbeeld responsiviteit en nauwkeurigheid, zijn in het algemeen superieur aan die van grote systemen. Daarnaast biedt miniaturisatie van technische componenten de mogelijkheid tot het verhogen van de functionaliteit van producten: er is meer functionaliteit per volume product te realiseren. De wens tot verhoogde intelligentie van en communicatie met producten voedt deze ontwikkeling. Daarnaast zijn er geavanceerde mechatronische systemen op macroschaal die om extreme prestaties vragen. Te denken valt aan productiemachines en meetinstrumenten. In de mechatronica worden extreme prestaties gerealiseerd door het ontwikkelen en toepassen van constructieprincipes, regelstrategieën en dergelijke. Daarnaast is het de verwachting dat door de symbiose van microsystemen met macrosystemen de prestaties van de macrosystemen verder kan worden vergroot, door gedistribueerd lokaal te meten en/of lokaal te actueren.

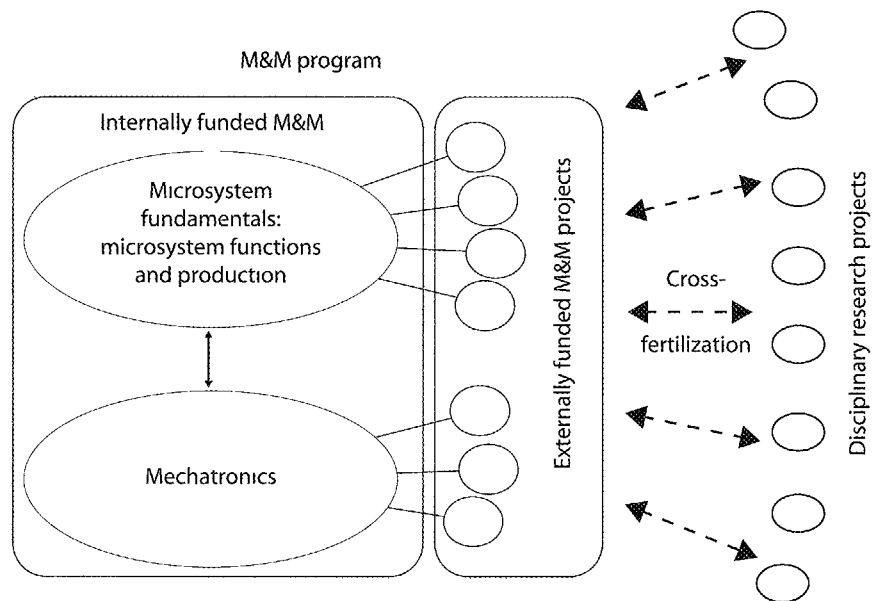
Een andere waar te nemen ontwikkeling is zichtbaar in de halfgeleider industrie. Deze industrie is primair ontwikkeld

vanuit de micro-elektronica. Recente en toekomstige ontwikkelingen in de micro-elektronica laten een duidelijke verbreding zien. Enerzijds komen totaal nieuwe technologiegebieden in zicht, zoals de nanotechnologie. Anderzijds wordt getracht de functionaliteit van microsystemen te vergroten, onder meer in de richting van de mechanische systemen (micro-mechanics) en de opto-elektronica (MOEMS – Micro Optical Electro Mechanical Systems). De basis voor het fabriceren van dergelijke systemen met bredere functionaliteit wordt nog steeds gevormd door de micromachining en packaging technieken, zoals die worden toegepast bij het fabriceren van micro-elektronica. Voor het realiseren van microsystemen met meer functionaliteit zullen de voornamelijk monolithische systemen echter niet meer voldoen. Het realiseren van hybride microsystemen is dan ook noodzakelijk. Hybride microsystemen bestaan uit componenten die uit de verschillende technologiedomeinen



Afbeelding 1. Trends in mechatronica en microsystemen

Afbeelding 2. Structuur van het onderzoekprogramma Mechatronics and Microsystems



komen: de halfgeleider industrie en de microwerktuigbouwkunde.

Het bij elkaar brengen van de twee traditioneel gescheiden domeinen van de halfgeleider technologie en de werktuigbouwkunde biedt nog andere perspectieven. Voor de werktuigbouwkunde biedt het halfgeleider domein de mogelijkheid tot het fabriceren op hele kleine schaal. Voor het halfgeleider domein zijn de typische werktuigbouwkundige disciplines van het ontwerpen en optimaliseren van producten voor seriematige fabricage waardevolle toevoegingen.

Opbouw onderzoekprogramma Mechatronics and Microsystems

Het onderzoekprogramma van het Delft Centre for M&M wordt uitgevoerd door groepen van de subfaculteit werktuigbouwkunde en de subfaculteit elektrotechniek, met name vanuit DIMES (Delft Institute for Microelectronics and Submicron Technology). De deelnemende groepen vertegenwoordigen drie aspecten:

- ontwerp, modellering en optimalisatie: fysica, mechanica, dynamica voor het microdomein, optimalisatietechnieken;
- productie van microsystemen: bewerkingsprocessen en afknaging vanuit het halfgeleider domein, alsmede het fabriceren van micro-onderdelen en micro-assemblage vanuit de werktuigbouwkunde;
- toepassingsgebieden: mechatronische machines en producten, bio-medische mechatronica en voertuigmechatronica

Afbeelding 2 toont de structuur van het onderzoekprogramma Mechatronics and Microsystems. Elke deelnemende groep brengt een deel van de vaste wetenschappelijke staf in, voor de uitvoering van het onderzoekprogramma. Het onderzoek binnen het Delft Centre for M&M is per definitie samenwerking tussen tenminste twee van de deelnemende groepen. Daarnaast zal ieder van de groepen het disciplinair gerichte onderzoek blijven uitvoeren, om contact met de eigen discipline te behouden. Tussen het onderzoek binnen het Delft Centre for M&M en het disciplinair gerichte onderzoek zal kruisbestuiving ontstaan. Verder zullen de vaste stafleden die aan het Delft Centre for M&M meedoen promovendi inbrengen, die zij via voornamelijk tweede en derde geldstroom hebben verworven en begeleden.

De financiering van het Delft Centre for M&M komt voor een deel uit de eerste geldstroom (financiering vaste wetenschappelijke staf van de deelnemende groepen). Het College van Bestuur zorgt voor additionele middelen om het Delft Centre for M&M te realiseren. Deze additionele middelen worden ingezet voor het financieren van promotieprojecten die door tenminste twee van de deelnemende groepen worden gedefinieerd. Daarbij wordt vooral onderzoek ondersteund dat zich richt op wat gezien wordt als de belangrijkste vernieuwing: de ontwikkeling van hybride microsystemen en de symbiose van mechatronische systemen met microsystemen. Daarnaast worden de additionele middelen van het College van Bestuur ingezet voor het aanschaffen van laboratorium-infrastructuur die van breed nut is voor het Delft Centre for M&M als geheel. Te denken valt aan meet-

apparatuur. Verder worden de meeste onderzoeksprojecten vanuit de tweede en derde geldstroom gefinancierd.

In de ontwikkeling van het onderzoekprogramma zijn uiteindelijk vier clusters van activiteiten gedefinieerd, twee vanuit een mechatronisch toepassingsgebied, en twee vanuit basiskennis en technologie voor microsystemen:

- precision motion: ontwikkeling van mechatronische apparaten en machines met extreme prestatie-eisen. Hierbij valt te denken aan ultra-precisie meetinstrumenten en slimme lagersystemen.
- precision bio-mechanics: mechatronica binnen de bio-medische applicatiegebied.
- micro-functions: ontwikkeling van functionaliteit van hybride microsystemen, multi-fysica modellering en optimalisering.
- micro-production: ontwikkeling van technologie voor de productie van hybride microsystemen.

Het onderzoeksprogramma zoals hier gepresenteerd is eind 2003 vastgesteld door de wetenschappelijke raad van het Delft Centre for M&M. De implementatie ervan is momenteel in volle gang. Dit behelst een aanzienlijke ontwikkeling van de deelnemende groepen.

Tot slot van deze paragraaf dient nog de relatie met MicroNed te worden genoemd. MicroNed is een nationaal

initiatief, gefinancierd uit de Bsik gelden. Het penvoerderschap van MicroNed ligt bij de TUD, bij deelnemende groepen van het Delft Centre for Mechatronics and Microsystems. MicroNed richt zich op het bundelen van onderzoek, ontwikkeling en industrialisatie van microsystemen. Partners in MicroNed zijn universiteiten, onderzoekinstellingen en bedrijven. In de loop van 2004 wordt MicroNed opgestart. Voor meer informatie over MicroNed: info@microned.nl.

Voorbeelden van M&M projecten

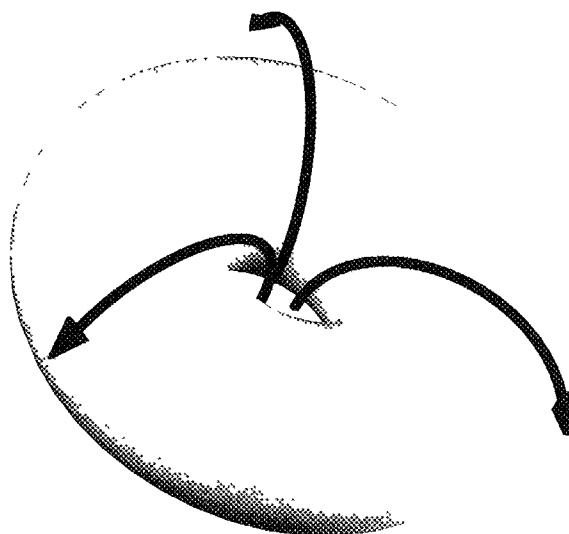
In deze paragraaf wordt een aantal voorbeelden behandeld van lopende onderzoeken die onder het Delft Centre for M&M vallen. Hierbij wordt aandacht besteed aan een drietal onderwerpen, die aansluiten bij de clusters als boven omschreven:

- medische microdevices,
- modelleren en optimaliseren SMA actuator,
- MEMS functionaliteit ten bate van microassemblage.

Medische microdevices

Het gebied van de medische technologie omvat zowel mechatronische systemen op macroschaal als microsystemen. Het belang van microsystemen heeft haar primaire oorsprong in het verschuiven van de grenzen in het toepassingsgebied. In de minimaal-invasieve chirurgie bestaat de wens het operatievolume zo veel mogelijk te beperken, en zo min mogelijk schade toe te brengen aan de gezonde weefsels. Daarnaast is er een tendens om te opereren via natuurlijke lichaamsopeningen (bijvoorbeeld een leveroperatie waarbij de instrumenten ingebracht worden via de mond). In de medische diagnostiek bestaat de wens steeds kleinere volumes te kunnen benaderen en analyses en beperkte ingrepen ter plekke uit te kunnen voeren. Miniaturisatie van instrumenten en het realiseren van maximale functionaliteit binnen microafmetingen voor diagnose en voor kleine ingrepen zijn om die reden belangrijke richtingen van ontwikkeling.

Eén van de onderzoeksprojecten richt zich op de colonoscopie. Hierbij wordt een lang en flexibel instrument, de colonoscoop, in de darmen ingebracht voor inspectie en kleine ingrepen. De colonoscoop moet hierbij de bochten in de darmen volgen. Aangezien de colonoscoop op afstand naar binnen wordt geduwd, kan het gebeuren dat de slang dubbel buigt wanneer het uiteinde in contact komt met de darmwand. Dit veroorzaakt kramp en pijn bij de patient. In plaats van het op afstand naar binnen *duwen* van de colonoscoop, kan ook geprobeerd worden de colonoscoop naar binnen te

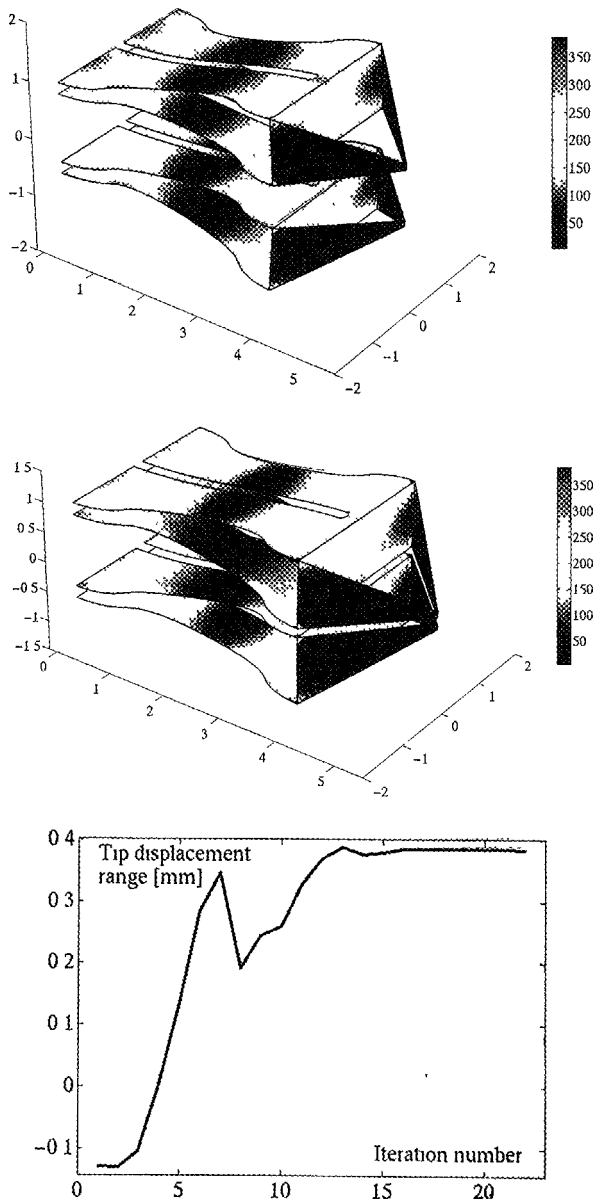


Afbeelding 3. Principe van een voortbewegingsmechanisme voor een colonoscoop

trekken door voortbewegingsmechanismen aan het uiteinde van de colonoscoop in te bouwen. In het onderzoek wordt daartoe gewerkt aan het concept van een rollende donut, zie afbeelding 3. Het contactoppervlak tussen het voortbewegingsmechanisme en de darmwand dient hierbij maximaal te zijn. Daarnaast moet de mogelijkheid dat de darmwand bekneld raakt tussen een bewegend mechanisme bij voorkeur worden uitgesloten. Het getoonde concept voldoet aan

deze voorwaarden. De donut beweegt zich voort door af te rollen op de darmwand zoals getoond in de figuur.

Op dit moment wordt een werkend prototype ontwikkeld, waarbij de donut gerealiseerd wordt gebruik makend van stents. Stents zijn flexibele buizen van bio-compatibel materiaal met verenstaal eigenschappen, die in verschillende medische ingrepen toegepast worden. In de toekomst zullen verschillende micro-instrumenten aan het uiteinde van de endoscoop geïmplementeerd moeten worden voor het uitvoeren van kleine ingrepen. Het instrument moet met een nauwkeurigheid van 0,1 mm worden gepositioneerd ten opzichte van de plaats waar de ingreep plaatsvindt.



Afbeelding 4 Optimalisatie van een SMA microgripper

Modelleren en optimaliseren van een SMA actuator

Modelleren en optimaliseren zijn belangrijke uitdagingen in het microdomen. De prevalerende fysische effecten zijn anders dan die in de macrowereld, materiaaleigenschappen van dunne lagen zijn anders dan die van bulk materiaal. In het onderzoek van het Delft Centre for M&M worden zowel fundamentele fysische als materiaalkundige eigenschappen op microschaal onderzocht en gemodelleerd. Daarnaast wordt het gedrag van devices gemodelleerd, bijvoorbeeld het gedrag van microactuatoren. Ten slotte wordt ook aandacht besteed aan het modelleren van het productieproces van microsystemen, bijvoorbeeld de invloed van afknagingprocessen op het functioneren van micro-elektronica.

Eén van de huidige projecten richt zich op het modelleren en optimaliseren van een Shape Memory Alloy (SMA) actuator, die wordt geïntegreerd met een katheter. SMA-actuatoren hebben de eigenschap te kunnen transformeren tussen verschillende configuraties, afhankelijk van hun temperatuur en spanningsconditie. De vervormingen die optreden zijn echter klein (0,5-0,7 % voor de SMA die in dit project wordt beschouwd). Om met een kleine actuator toch relatief grote vervormingen te realiseren zijn optimalisatietechnieken essentieel. Als case wordt in afbeelding 4 een microgripper getoond met afmetingen ongeveer 5x4x3 mm. De gemodelleerde beweging van de actuator bedraagt ongeveer 0,8 mm. Via een algoritme is in een aantal slagen een globaal optimum voor het bereik van de gripper gevonden.

MEMS functionaliteit ten behoeve van microassemblage

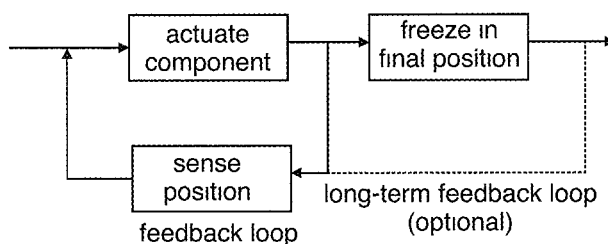
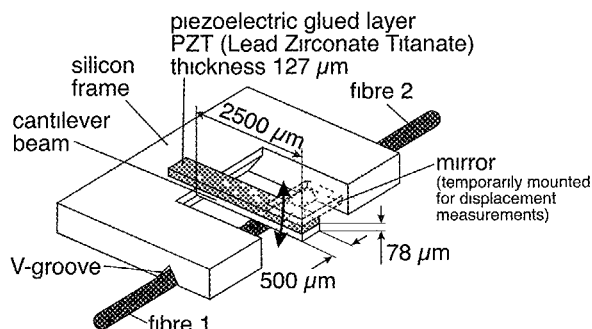
De ontwikkeling van hybride microsystemen noodzaakt de ontwikkeling van passende technieken voor microassemblage. Door de kleine afmetingen (0,1-5,0mm) van onderdelen en de hoge nauwkeurigheidseisen (0,1-10,0µm) is het uitvoeren van microassemblage handelingen technisch zeer

uitdaging. In de industriële praktijk wordt de assemblage veelal handmatig uitgevoerd, of wordt gebruik gemaakt van dure, specifiek ontwikkelde machines. Dit maakt microassemblage duur. Een veel gebruikte manier van assembleren in het microdomein is nog steeds het picken en platen van componenten, zoals gebruikelijk in het macrodomein. Ontwikkelingen vinden plaats op het gebied van microgrijptechnieken, verbindingmethoden, haptische systemen en sensor-bestuurde assemblage

Een geheel andere benadering is het inbouwen van functionaliteit in het product zelf die een deel van het assemblageproces uitvoert, zie figuur 6. Het assemblageproces bestaat uit twee stappen. In de eerste fase worden de componenten met relatief grote onnauwkeurigheid ten opzichte van elkaar gepositioneerd. In de tweede fase wordt de uiteindelijke, nauwkeurige alignering gerealiseerd met behulp van functionaliteit die *in de package* is ingebouwd. Om die reden wordt gesproken van *self-adjusting*. Dit betekent dat de package functies moet bezitten om de componenten te kunnen bewegen, de positie van de componenten te kunnen meten en de componenten in de uiteindelijke positie te fixeren. Het project richt zich in eerste instantie op de actuatie en fixatie van componenten. De actuatoren zullen gerealiseerd worden op basis van microsysteemtechnologie. Dit biedt onder meer de mogelijkheden de afmetingen klein en de kosten laag te houden. Als case wordt het aligneren van opto-elektronische componenten beschouwd, waarvan de nauwkeurigheidseisen zeer hoog zijn ($0,1 \mu\text{m}$). Het project wordt gefinancierd door IOP Precisie-technologie, en is een samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e). Afbeelding 5 toont het concept van een eerste prototype device, dat het resultaat was van een haalbaarheidsstudie die voorafgaand aan het project is uitgevoerd aan de TUD.

Slotbeschouwing

De TUD zet in op een beperkt aantal gebieden, waarvan M&M er één is. Het M&M-onderzoeksprogramma leidt tot de ontwikkeling van nieuwe sterktes, vaardigheden, technieken en kennis, en langs die weg tot de ontwikkeling van nieuwe toepassingsgebieden en belangrijke verbeteringen in bestaande toepassingsgebieden. De kracht ligt in het bij elkaar brengen van onderzoeksgroepen in een interdisciplinair onderzoekprogramma. Daarbij is een belangrijke uitdaging het bij elkaar brengen van de werktuigbouwkunde en de halfgeleider technologie, waar beide domeinen voordeel van zullen hebben. De opleidingen van de deelnemende faculteiten worden vernieuwd in overeenstemming met de



Afbeelding 5. Concept van self-adjustment voor microassemblage

doelen en het toepassingsgebied van het Delft Centre for Mechatronics and Microsystems.

Dankwoord

De auteurs zijn dank verschuldigd aan de collega's dr. ir. P. Breedveld en ir. M. Langelaar, die een bijdrage hebben geleverd aan het tot stand komen van dit artikel.

Literatuur

- [1] J.N. Burghartz, Wetenschappelijk directeur DIMES, 2004
- [2] P. Breedveld, D.E. van der Kouwe, M.A.J. van Gorp, Locomotion through the intestine by means of rolling stents, geaccepteerd voor publicatie in de Proc. van de ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences, Salt Lake City, Utah, USA, 28 september – 2 oktober 2004
- [3] M. Langelaar, F. van Keulen, A simple R-phase transformation model for engineering purposes, geaccepteerd voor publicatie in materials Science & Engineering A, 2004
- [4] M. Tichem, B. Karpuschewski, P.M. Sarro, Self-adjustment of micro-mechatronic systems, Annals of the CIRP Vol. 52/1/2003, blz 17-20