

**IMMS**

INSTITUT FÜR MIKROELEKTRONIK-  
UND MECHATRONIK-SYSTEME gGMBH

# JAHRESBERICHT ANNUAL REPORT 2006

Impressum.....	4	<i>Impressum.....</i>	<i>4</i>
<b>Das Institut</b>		<b><i>The Institute</i></b>	
Die Rolle der IMMS gGmbH.....	6	<i>The role of the IMMS.....</i>	<i>6</i>
Die IMMS gGmbH in Zahlen.....	9	<i>IMMS in figures.....</i>	<i>9</i>
Der Wachstumskern VERDIAN.....	11	<i>The growth centre VERDIAN.....</i>	<i>11</i>
Der Wachstumskern CBS.....	12	<i>The growth centre CBS.....</i>	<i>12</i>
Patentanmeldungen.....	13	<i>Patent Applications.....</i>	<i>13</i>
Erfolgkritisches Wissen im Forschungsalltag bewerten und entwickeln.....	15	<i>Assess and develop success-critical knowledge in every day's research work.....</i>	<i>15</i>
Publikationen / Vorträge / Posterpräsentationen.....	17	<i>Publications / Lectures / Posters.....</i>	<i>17</i>
<b>Mechatronik</b>		<b><i>Mechatronics</i></b>	
Der Themenbereich.....	22	<i>Department.....</i>	<i>22</i>
Erhöhung der Bahngenauigkeit von Planarantrieben durch Preprocessing.....	24	<i>Increasing the accuracy of planar drives by pre-processing.....</i>	<i>24</i>
SFB 622.....	26	<i>SFB 622.....</i>	<i>26</i>
Direktantriebe für die Lasermikrobearbeitung und die Oberflächenmesstechnik.....	29	<i>Direct drives for laser microprocessing and surface measurement technology.....</i>	<i>29</i>
<b>System Design</b>		<b><i>System Design</i></b>	
Der Themenbereich.....	34	<i>Department.....</i>	<i>34</i>
Aspekte des Designs bei fortgeschrittenen Anwendungen drahtloser Sensor-Netze.....	36	<i>System design issues in advanced applications of wireless sensor networks.....</i>	<i>36</i>
Entwicklung einer Stromversorgung für energieautarke elektronische Module.....	39	<i>Development of a power supply unit for energy-autonomous electronic modules.....</i>	<i>39</i>
<b>Mikroelektronik / Schaltungstechnik</b>		<b><i>Microelectronics / Circuits Technology</i></b>	
Der Themenbereich.....	42	<i>Department.....</i>	<i>42</i>
Modulare Datenübertragungssysteme im GHz-Bereich.....	44	<i>Modular data transmission systems in GHz-range.....</i>	<i>44</i>
<b>Industrielle Elektronik und Messtechnik</b>		<b><i>Industrial Electronics and Measuring Technology</i></b>	
Der Themenbereich.....	48	<i>Department.....</i>	<i>48</i>
Dynamische Charakterisierung von integrierten Fotodioden.....	49	<i>Dynamic characterisation of integrated photodiodes.....</i>	<i>49</i>
HF-Systeme und Test von HF-ASICs.....	51	<i>RF-systems and test of RF-ASICs.....</i>	<i>51</i>

## Impressum / Impressum:

Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH (IMMS gGmbH)  
Ehrenbergstr. 27  
D-98693 Ilmenau

Fon: +49 (3677) 69 55 00  
Fax: +49 (3677) 69 55 15  
URL: [www.imms.de](http://www.imms.de)  
E-Mail: [imms@imms.de](mailto:imms@imms.de)

Druck:

*Print by:*

Druckpunkt Suhl  
Industriestraße 18  
D-98544 Zella-Mehlis  
URL: [www.druckpunkt-suhl.de](http://www.druckpunkt-suhl.de)  
E-Mail: [info@druckpunkt-suhl.de](mailto:info@druckpunkt-suhl.de)

Übersetzung:

*Translation:*

SV Übersetzerdienst  
Wilbankstr. 176  
D-52076 Aachen-Sief  
URL: [www.sv-translations.com](http://www.sv-translations.com)  
E-Mail: [buero-aachen@sv-translations.com](mailto:buero-aachen@sv-translations.com)

Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung  
nur mit Genehmigung der IMMS gGmbH.

*All rights reserved. Reproduction and publication only with express  
IMMS gGmbH.*

»Gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie erringen wir Lösungen für neuartige Produkte und öffnen Wege zu neuen Geschäftsfeldern.«

Auszug aus dem Leitbild der IMMS gGmbH

*»Together with partners from research and industry, we achieve solutions for innovative products, and open up paths to new business segments.«*

*abridgement of the corporate vision of the IMMS gGmbH*

DAS INSTITUT

*THE INSTITUTE*

2006 war für das Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH ein – ganz entsprechend unseres Mottos – bewegtes Jahr. Im Sommer feierte das Institut gemeinsam mit Geschäftspartnern und Freunden sein zehnjähriges Bestehen. Stolz konnte die Geschäftsleitung eine positive Bilanz der bisher geleisteten Arbeiten präsentieren. Mit der Fähigkeit Prozesse zu gestalten, Vernetzungen zu betreiben, Partner zu gewinnen und Nutzen zu stiften hat die IMMS gGmbH über die Jahre seine Innovationsfähigkeit bewiesen und ist zu einem angesehenen Entwicklungspartner herangewachsen. Dies spiegelt sich auch im kontinuierlichen Wachstum der Mitarbeiteranzahl. 1995 begann man mit 25 Mitarbeitern, heute sind es über 80 – Tendenz steigend.

Ein weiteres Highlight war die „Staffelstabübergabe“ des Gründungsprofessors Dr. Gerd Scarbata, an Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralf Sommer. Über die Stationen der TU Braunschweig und Kaiserslautern, dem FhG-Institut „Techno- und Wirtschaftsmathematik“ und schließlich der Infineon Technologies AG wurde Prof. Sommer im September als neuer wissenschaftlicher Geschäftsführer eingeführt. Seine Zielvorstellung für zukünftige Arbeiten orientiert Prof. Sommer an den vorhandenen wirtschaftlichen und politischen Bedingungen in Thüringen, Hand in Hand mit der TU Ilmenau und den vielen Industriepartnern der IMMS gGmbH, aber auch mit verstärktem internationalem Augenmerk.

Kleinste Strukturen für Systeme mit höchster Komplexität müssen in immer kürzeren Zeiten zu einem akzeptablen Preis auf den Markt gebracht werden und gleichzeitig extreme Anforderungen an Robustheit, Zuverlässigkeit und Sicherheit erfüllen. Voraussetzung ist die Beherrschung des Entwurfs und der Fertigung. Dies gilt zunehmend für heterogene Mikro- und Nano-Systeme, d.h. Funktionseinheiten, die digitale und analoge Elektronik, Sensoren und mechatronische Systeme vereinen. Der Entwurf erhält dabei eine Schlüsselfunktion, weil er sich auf Hard- und Software als wichtige Systembestandteile konzentriert. Diese Herangehensweise erfordert, schon während des Systementwurfs dessen Funktion zu validieren, Hard- und Software parallel zu entwickeln, Intellectual Property (IP) für die Erhöhung der Entwurfsproduktivität einzusetzen sowie neue effektive Verfahren für die Simulation, die Analyse und zum Test zu entwickeln. Die komplexe Beherrschung des Entwurfs ist eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Verteidigung und Erweiterung bestehender, aber insbesondere auch zur Erschließung neuer Märkte. Damit erhält der Entwurf eine entscheidende wirtschaftliche Bedeutung, speziell in einem internationalen, globalen Marktumfeld.

Die kapitalintensive Fertigung wandert immer rascher über den Globus, bevorzugt in osteuropäische und asiatische Länder mit niedrigen Lohnkosten. Die höher entwickelten westeuropäischen Länder können sich nur durch wissen-

*For the Institute for Microelectronic and Mechatronic Systems gGmbH the year of 2006 was a very eventful year. In summer the institute together with business partners and friends celebrated its 10 years' anniversary. With proud the management could strike a positive balance of the work that has been done up to now. With the ability of organizing processes, operating networks, winning partners and achieving most useful effects, IMMS over the years has proven its innovative ability and has grown into a highly esteemed development partner. The continuously increasing number of staff members also reflects this. In 1995 the institute started with 25 employees, today there are more than 80 – tendency increasing.*

*A further highlight was, when the foundation professor, Dr. Gerd Scarbata, "handed over the baton" to Prof. Dr.-Ing. Ralf Sommer. Passing through the stations of TU Braunschweig and Kaiserslautern, the Fraunhofer Institute of Industrial Mathematics (FhG ITWM) and eventually Infineon Technologies AG, Prof. Sommer in September was introduced as the new scientific director. His objective for future work is oriented to the existing scientific and political conditions in Thuringia. Hand in hand with the TU Ilmenau and many industrial partners of IMMS gGmbH, but also with the attention focussed on increasing international activities.*

*Devices with the smallest of structures and highest of complexities need to be put on the market in shorter and shorter periods of time. The pricing needs to be acceptable and they also need to fulfil stringent requirements of robustness, reliability and security. The control of design and manufacturing thus needs to adhere strictly to these criteria, which to an increasing extent applies to heterogeneous micro and nano-systems, i.e. functional units combining digital and analog electronics, as well as sensors and mechatronic systems. Here the design takes on a key function, as it not only concentrates on hardware, but also on software, which is just as important a system component. In accordance with this, the design process will continue to change. Therefore, even during this system design phase, it is required to validate its function, develop its HW and SW in parallel, use intellectual property (IP) thus pushing for an increase in design effectiveness, as well as in developing new effective processes for simulation, analysis and tests. Controlling design is of the most important conditions for defending and extending established and opening up new markets.*

*Hence, design needs to be given a new decisive economic importance. This all the more applies to the current global market environment. Capital-intensive manufacturing is moving quicker and quicker over the globe, preferring the Eastern European and Asian countries that provide low labour costs. The more developed Western European*

schaftlich-technischen Vorsprung und Qualität behaupten und müssen der internationalen Entwicklung stets einen Schritt voraus sein. Die IMMS gGmbH mit seinen beiden großen Forschungsprogrammen Mechatronik und Mikroelektronik/Schaltungstechnik stellt sich dieser Entwicklung und hat optimale Voraussetzungen, ihre führende Position zu behaupten und weiter auszubauen.

Damit das Institut im internationalen Wettbewerb stärker wahrgenommen wird, müssen die Konturen seines Profils weiter an Form gewinnen und stärker herausgearbeitet werden. Als Forschungsinstitut ist die IMMS gGmbH in Zukunft besonders gefordert, nicht nur national, sondern auch international mit wissenschaftlichen Ergebnissen – und für das IMMS im besonderen Maße gekoppelt mit Methodik Kompetenz – sichtbar zu werden. Die Stärke des Instituts liegen in seinen Partnerschaften und Netzwerken, die es ihm erlauben, Brücken zu bauen und Mittler zu sein zwischen der universitären Forschung und der industriellen Anwendung in einer Vielzahl kleiner, mittlerer oder auch großer produzierender Unternehmen.

Diese Rolle des Instituts wird in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen, da die industriellen Unternehmen sich mit wachsender Produktion immer mehr auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren müssen. Ganz deutlich wird das bereits am Beispiel der Halbleiterindustrie, wo sich bereits seit vielen Jahren neben der reinen Halbleiterherstellung Unternehmen ohne eigene Fertigung herausgebildet haben (Fabless Companies). Die Chance und Herausforderung für das Institut kommt aus einer dazu gegenläufigen Entwicklung: In der Chipherstellung kommen durch die kleiner werdenden Strukturgrößen zunehmend parasitäre Effekte und Streuungen ins Spiel, die bereits im Entwurf berücksichtigt werden müssen. Der Entwurfprozess wird hierdurch komplexer und aufwendiger und die bisherige Trennung zwischen Entwicklung/Design und Fertigung ist nicht mehr realisierbar. Gleichzeitig nimmt die Systemkomplexität der Produkte zu. Die Wechselwirkungen unter den einzelnen Komponenten werden vielfältiger und es wird notwendig, Kooperationen und Partnerschaften über unternehmerische Grenzen hinweg zu formieren.

Diese Entwicklungen werden zusehends schneller und bringen in immer schnellerem Tempo völlig neue Produkte, Verfahren und Methoden hervor und die Zyklen zwischen Innovationen werden kürzer. Das können sich insbesondere kleinere Unternehmen nicht leisten. Universitäten können die Unternehmen in ihren Innovationsprozessen vorrangig in der Initialisierungsphase unterstützen. Im gesamten Innovationsprozess sind Institute wie die IMMS gGmbH gefragt, die auf der Basis ihrer Orientierung die Unternehmen ein längeres Stück ihres Weges von der Forschung zu neuen Produkten begleiten können. Das Institut kann zum einen als Kompetenzzentrum bei der Anwendung innovativer

*countries can only keep their share in the market by positioning themselves as leaders of scientific-technical know-how and quality, which means that they must virtually always be a step ahead of the international development. The IMMS with its two extensive research programs in mechatronics and microelectronic circuit engineering is already very well positioned technically and has optimal qualifications, to maintain its leading position and to further enhance it. This will, however, require greater efforts. In order to stand out more in international competition, the contour of the institute's profile must be improved and be made more distinctive. As a research institute the IMMS with its scientific results and in particular with its methodology-competence needs to have a presence, not just nationally, but also internationally. The USP (unique selling point) of IMMS is its partnerships and networks, by which it is empowered to build bridges by being a mediator between university research and industrial applications, for a wide gamut of small, medium and even large production companies.*

*In future, this role of the institute will gain further importance, as industrial companies with increasing production capabilities start to concentrate more and more on their core competencies. This has already become very clear by the example of the semiconductor industry, where for many years now, besides the pure semiconductor firms, companies without any production have been established (fabless companies). The reasons for this are rather obvious: in chip manufacturing, owing to structural sizes becoming smaller and smaller, large amounts of parasitic effects and scattering come into play, which of course must already be taken into account during the design. Therefore, the current separation between conception/design and manufacturing can no longer be maintained. At the same time the system complexity of the products increases every year. The interactions among individual components have become more diverse. It has become necessary to build up cooperation and partnerships exceeding the company borders. Similar developments can also be observed in many other industrial sectors. These developments take place faster with every new product, processes and methods. Hence, companies are forced to manage innovations in shorter cycles, which is quite extraordinarily difficult and expensive. The smaller companies in particular cannot afford this. Universities can support the companies in their innovation processes, especially in the initialisation phase. Institutes like the IMMS are in demand, which on the basis of their orientation to applications can assist the companies on their way from research to new products. Consequently, the institute can, on one hand, operate as a competence centre using innovative methods and tools, and on the other hand, transfer and apply research results, together with industrial partners, to help reach product maturity. Both tasks are of*

Methoden und Werkzeuge wirken und ebenso Forschungsergebnisse gemeinsam mit den Industriepartnern zur Produktreife führen. Beide Aufgaben besitzen gleichermaßen Bedeutung im Innovationsprozess und sind stark von der Industrie nachgefragt.

Um diesem Entwicklungsprozess gerecht zu werden, ist ein kontinuierlicher und langfristiger personeller Ressourcenaufbau notwendig. Nur ein Team aus exzellenten Spezialisten kann ein so breites Spektrum an Forschungs- und anwendungsorientierten Themen erfolgreich bewältigen. Entsprechend ist die Gewinnung von Mitarbeitern mit wissenschaftlicher Leistungsfähigkeit für das Institut existenziell. Deshalb ist es auch in Zukunft von großer Wichtigkeit, den wissenschaftlichen Nachwuchs entsprechend der Projekterfordernisse selbst auszubilden und dazu beizutragen, dass auch die Ausbildung an den Hochschulen und Universitäten diesen Qualitätsanforderungen entspricht.

Der Kooperation des AN-Instituts IMMS mit der TU Ilmenau kommt in diesem Rahmen eine ganz wesentliche Bedeutung zu. Zum Erfolg trägt eine gute Kommunikation und Abstimmung der Professoren und Lehrenden untereinander und mit dem AN-Institut bei, mit dem Ziel, die Lehrveranstaltungen und die Grundlagenforschung regelmäßig auf den jeweils aktuellen Bedarf und die zukünftigen Themenstellungen auszurichten. Das erfordert gleichermaßen, sich von Altlasten zu befreien und mehr Synergien durch eine verbesserte Abstimmung der Lehrinhalte zu erzeugen. Die IMMS gGmbH kann und wird hierbei eine wichtige Katalysatorfunktion übernehmen, da sie sowohl enge Beziehungen zur Universität und ihren Instituten pflegt, als auch industrielle Problemstellungen in seine Forschungen einbezieht.

Bereits heute bietet die IMMS gGmbH interessierten Studenten vielfältige Möglichkeiten, sich frühzeitig mit innovativen industriellen Aufgabenstellungen zu beschäftigen. Das Institut ist besonders an einer langjährigen Zusammenarbeit interessiert, angefangen bei Praktika über Studien- und Diplomarbeiten bis hin zur Promotion.

Im engen Schulterschluss mit der Universität und unseren Industriepartnern sehen wir daher erwartungsvoll und positiv in die Zukunft. Durch eine Ausbildung auf höchstem Niveau und attraktive berufliche Perspektiven sollte es trotz erwarteter schwächerer Absolventenjahrgänge sowie der demoskopischen Entwicklung in Deutschland gelingen, genügend Studenten und angehende Wissenschaftler anzuziehen. Hier ist aber auch im besonderen Maße die Politik gefordert, ein positives Umfeld für die deutsche (thüringische) Forschung und Entwicklung zu schaffen und junge Wissenschaftler gezielt zu fördern, damit Kompetenz und Innovationskraft nachhaltig an Thüringen gebunden und ausgeweitet werden können.

*significant importance in the innovation process, as can directly be deduced from current industrial requirements. In order to cope to these high requirements, a continuous and long-term build-up of human resources is essential. Only a team of excellent experts can successfully handle such a wide spectrum of research and application-oriented subjects. Accordingly, it is a matter of utmost priority for the institute to win staff members with proven scientific capabilities, to train the scientific junior staff in accordance with project requirements and also to ramp the educational training in the universities accordingly. In this respect the cooperation of the AN-Institute IMMS with the TU Ilmenau is of essential importance. A good communication and coordination between professors and teachers and with the AN-Institute contributes to success, with the aim of aligning courses and scientific research regularly to the relevant current requirements and future topics. This also requires to throw old ballast overboard and to create more synergies through improved harmonisation of the content of teaching. Here the IMMS can take on an important catalyst function, as it has close connections to the university and its institutes, as well as to industry and their challenging real-world problems.. Yet IMMS offers interested students varied opportunities to deal with innovative industrial topics. Here the institute is especially interested in long-term cooperation starting at practical training in student research projects, degree dissertations to doctorates. Therefore, talented students are always welcome in the institute as members of staff.*

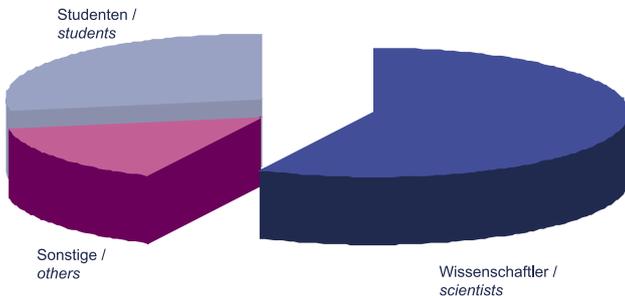
*In close cooperation with the university and our industrial partners we are therefore optimistically and positively looking into the future. Through an education on highest level and attractive professional perspectives Germany should manage, despite of the years with an expected lower number of graduates, and the current demographical development, to attract enough students and prospective scientists. Here, however, special requirements are made on policy, to create a positive environment for the German (Thuringian) research and development and to especially support young scientists, in order to bind and extend competence and innovative power with a lasting effect to Thuringia.*



Univ. Prof. Dr.-Ing.  
**Ralf Sommer**  
wiss. Geschäftsführer  
Scientific Managing Director



Dipl.-Ing.  
**Hans-Joachim Kelm**  
kfm. Geschäftsführer  
Financial Managing Director



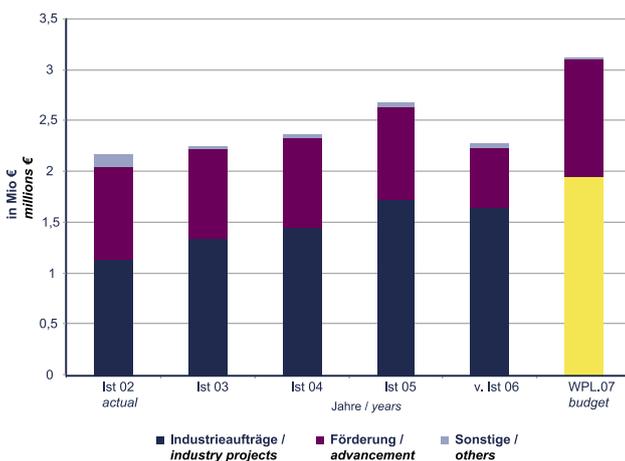
**Abb. 1:** Personalentwicklung  
**Fig. 1:** Human Resources development

2006 waren in der IMMS gGmbH 59 Mitarbeiter beschäftigt. Hiervon waren 43 Wissenschaftler in der Forschung und Entwicklung tätig, das sind ca. 73%.

Wie bereits in den letzten Jahren haben darüber hinaus eine große Anzahl von Studenten die Angebote der IMMS gGmbH wahrgenommen, ihre Ausbildung in praxisorientierter Forschung zu vervollständigen. Durchschnittlich 21 Studenten absolvierten Praktika, Diplomarbeiten und andere wissenschaftliche Tätigkeiten, was ca. 49% des wissenschaftlichen Personals in der Forschung entspricht.

*In 2006 the IMMS gGmbH employed 59 staff members, of which 43 scientists in research and development represented approx. 73%.*

*As already in the last few years also a great number of students took advantage of the offers made by the IMMS, to complete their training in practice oriented research. On average 21 students completed their practical training, degree dissertations and other scientific activities, which corresponds to approx. 49% of the scientific personnel in research.*



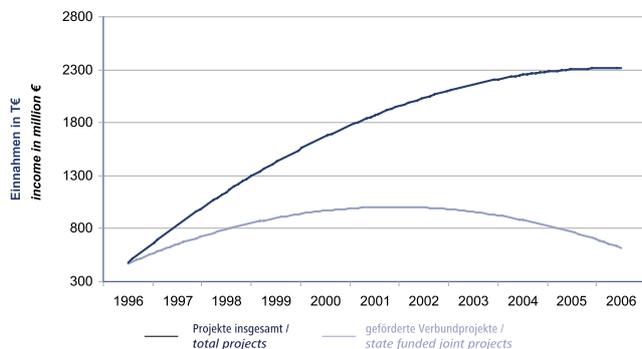
**Abb. 2:** Projekteinnahmen  
**Fig. 2:** Project revenue

Die Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung sind gegenüber 2005 um ca. 4% zurückgeblieben. Das resultiert aus dem Zusammenhang zwischen industrieller Auftragsforschung und der Förderung von Forschungsprojekten.

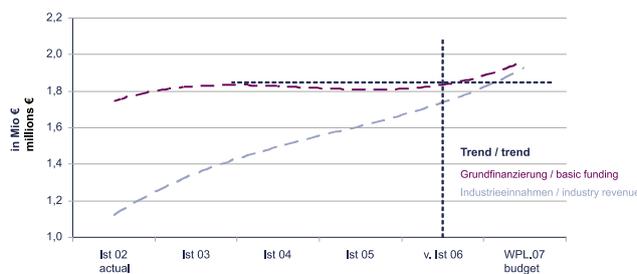
An Einnahmen aus öffentlicher Projektförderung konnten lediglich ca. 63% erzielt werden. Ein wesentlicher Grund hierfür ist ein Bewilligungsstau bei den Zuwendungsgebern, der ab 2007 aufgelöst wird. Zur Verdeutlichung sind die Planwerte für 2007 gegenübergestellt. Die Entwicklung der IMMS gGmbH wird aus dem Wachstum der Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung finanziert.

*Compared to 2006 the income from industrial contract research fell behind by approx. 4%, which results from the connection between industrial contract research and the promotion of research projects.*

*Only approx. 63% of the income could be achieved from public project promotion. An essential reason for that is a congestion in approvals at the allowance givers, which will be dissolved as of 2007. For clarification the budgeted figures for 2007 are compared. The development at the IMMS gGmbH is financed from the increase in income from industrial contract research.*



**Abb. 3:** Projektsituation  
**Fig. 3:** Project situation



**Abb. 4:** Effizienz  
**Fig. 4:** Efficiency

Die Schere zwischen Projekteinnahmen insgesamt zu denen aus öffentlicher Förderung hat sich in den Jahren seit Bestehen des Instituts immer schneller geöffnet. Für 2007 rechnet das Institut zunächst mit einer Abschwächung dieser Tendenz.

*In the years since existence of the Institute, the gap between project income in total and the income from government subsidies has opened up quicker and quicker. For 2007 the Institute initially expects a decrease in this tendency.*

2006 hat die Grundfinanzierung wieder an die wirtschaftliche Entwicklung des Instituts angeschlossen. Sie steht jetzt etwa auf dem Niveau von 2004. Die Planung sieht derzeit eine Steigerung in Höhe der Teuerungsrate vor. Gemäß der EU-Vereinbarungen von Lissabon und Barcelona sollte die Steigerung ca. doppelt so hoch sein. Der Anteil der industriellen Auftragsforschung am Betriebshaushalt beträgt 2006 ca. 37%.

*In 2006 basic financing has followed up the economic development of the Institute. It is now on just about the level of 2004. The budget currently provides for an increase at the amount of the rate of price increases. According to the EU-agreements in Lisbon and Barcelona the increase is expected to be twice as high. In 2006 the share of industrial contract research in the corporate budget was at approx. 37%.*

# Der Wachstumskern VERDIAN – Vernetzte Integrierte Magnetische Direktantriebe

## The growth centre VERDIAN – networked integrated magnetic direct drives



Im Wachstumskern<sup>[1]</sup> „VERDIAN“ arbeiten zehn Unternehmen aus der Rennsteigregion sowie die TU Ilmenau und die IMMS gGmbH auf dem Gebiet der Direktantriebstechnik zusammen. Mechatronische Direktantriebe sind dadurch gekennzeichnet, dass einerseits die Aktoren in die zu betätigenden Wirkelemente und andererseits auch Steuerungselektronik, Regelalgorithmen und Software integriert sind. Diese komplexen Systeme erfordern den Entwurf und eine Optimierung als Gesamtsystem.

VERDIAN verfolgt dabei die Strategie, ausgehend von neuen Funktionsprinzipien der magnetischen Direktantriebe unter Anwendung des ganzheitlichen Entwurfs sowie neuer magnetischer Werkstoffe, Sensoren und Steuerungstechnik Lösungen und Produkte mit neuen, überragenden Eigenschaften zu erzielen.

In einer ersten F&E-Phase, die vom Bundesministerium für Wissenschaft und Technologie mit Fördermitteln unterstützt wird, erfolgt die Umsetzung der o.g. Strategie am Beispiel von:

- Proportional-, Schalt- und Sondermagneten
- kompakten regelbaren Wasserpumpen für die Automobilindustrie
- ultraflachen Schrittmotoren für die Kälte- und Klimatechnik
- miniaturisierten Magnetventilen für die Pneumatikindustrie
- Mehrkoordinatenantrieben für Mess-, Inspektions- und Qualitätssicherungssysteme, Laserpräzisionsbearbeitungssysteme, Pick-and-Place-Systeme und Mikroproduktionssysteme.

Eng verbunden mit den strategischen Zielen der Unternehmen erforscht und entwickelt die IMMS gGmbH maßgeschneiderte Lösungen, die den Industriepartnern langfristige Wettbewerbsvorteile und Investitionssicherheiten bieten. Die Vision von VERDIAN ist es, die Rennsteigregion innerhalb von zehn Jahren zu einem weltweit führenden Anbieter für vernetzte integrierte magnetische Direktantriebe zu entwickeln. Der Verbund plant für diesen Zeitraum, eine Umsatzsteigerung von 152 Mio € auf 400 Mio € und eine Verdopplung der Arbeitsplätze auf 800 zu erreichen. Dabei ist das Konsortium offen für die Aufnahme weiterer Firmen in den Verbund, um die Entwicklung der Region zum High-Tech-Zentrum für magnetische Direktantriebe nachhaltig zu forcieren.

<sup>1</sup> Das Förderprogramm „Innovative regionale Wachstumskerne“ der BMBF richtet sich an regionale Kooperationen, die über eine Plattforttechnologie verfügen und wesentliche Alleinstellungsmerkmale in ihrem Kompetenzbereich aufweisen.

*In the growth centre<sup>[1]</sup> „VERDIAN“ ten companies from the Rennsteig region, as well as the TU Ilmenau and the IMMS gGmbH work together in the field of direct drive technology. Mechatronic direct drives are characterised by the fact, that, on the one hand, the actuators are integrated into the active elements to be operated and, on the other hand, also control electronics, control algorithms and software. These complex systems require design and optimisation as an entire system. In this respect VERDIAN pursues the strategy, based on new functional principles of magnetic direct drives by using the entire design as well as new magnetic materials, sensors and control technology, in order to achieve solutions and products with new, outstanding properties.*

*In a first R&D phase, which is supported by the BMBF with promotion funds, the realisation of the a.m. strategy takes place by the example of*

- proportional, switching and special magnets
- compact controllable water pumps for the automobile industry
- ultra-flat stepping motors for refrigeration and air conditioning technology
- miniaturized solenoid valves for the pneumatics industry as well as
- multicoordinate drives for measuring, inspection and quality assurance systems, laser precision processing systems, pick-and-place-systems and microproduction systems.

*In close connection with the strategic goals of the companies the IMMS gGmbH carries out research and development work for the achievement of customised solutions offering the industry partners long-term competitive advantages and investment securities.*

*The vision of VERDIAN is, to develop the Rennsteig region within ten years into a worldwide leading supplier of networked integrated magnetic direct drives. For this period of time the association plans an increase in turnover from 152 mio. € to 400 mio. € and double work places to 800. The consortium is as well open to the admission of additional companies into the association, in order to force, with a lasting effect, the development of the region into a high-tech-centre for magnetic direct drives.*

<sup>[1]</sup> The promotion program „innovative regional growth centres“ of the BMBF is addressed to regional cooperation link-ups having a platform technology and essential unique characteristics in their competency area.



Abb. 1: VERDIAN - die Bündnispartner

Fig. 1: VERDIAN - partners in alliance

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Frank Spiller

Tel.: +49 (3677) 69-5561

E-Mail: frank.spiller@imms.de

## The growth centre CBS – Customer Bautronic System



Im Wachstumskern<sup>[1]</sup> „Customer Bautronic System“ sind neun regionale Partner mit der Zielstellung vereinigt, eine Systemplattform für eine neuartige Nutzerintegration bei der Planung, Inbetriebnahme und Betrieb von Haustechnik und Gebäudeautomation zu schaffen. Damit soll erreicht werden, dass ein Gebäudenutzer sein individuelles Optimum bezüglich der Größen:

- Nutzwert,
  - Kosten und Effizienz,
  - Nachhaltigkeit
- erreichen kann.

Als Grundlage dafür wird ein Nutzerpräferenzmodell dienen. Auf dieser Basis soll eine für diese Zielstellung angepasste, innovative technische Gebäudeumgebung entstehen, die beispielhaft in den drei Marktsegmenten Bürogebäude, Bahnhöfe und Seniorenheime prototypisch umgesetzt werden. Abbildung 1 zeigt die an dieser Initiative beteiligten Unternehmen und Forschungseinrichtungen.

Die wesentliche Innovation im CBS-Ansatz besteht darin, dass – ähnlich wie es in vielen Bereichen praktiziert wird – auch im Bauprozess eine Integration des Kunden bzw. Nutzers erreicht werden soll. Zur technischen Umsetzung wird die IMMS gGmbH zunächst Wege der verteilten Sensorik als auch Aktorik konzeptionell aufbereiten und auf eine Weise umsetzen, die ein erforderliches Maß an Informationsvielfalt bei geringem Einbauvolumen und sehr niedriger Verlustleistung aufweist. Hierbei sollen auch auf vorliegende Erfahrungen zur Energiegewinnung aus der Umgebung (s. S. 39) zurück gegriffen werden. Dabei erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit den Partnern, die die spezifischen Kunden- und Nutzeranforderungen statistisch erheben und daraus Vorgaben für zu erfassende Sensorinformationen, Datenraten und Steuerungsmodalitäten ableiten.

Angestrebt wird, dass die Technologieentwicklung bis zum Jahre 2011 so weit fortgeschritten ist, dass marktreife Produkte eingeführt werden können. Für 2012 wird ein Wachstum bei den Industriepartnern um ca. 100 zusätzliche Mitarbeiter und eine zusätzliche Wertschöpfung von ca. 18 Mio € möglich sein.

[1] Das Förderprogramm „Innovative regionale Wachstumskerne“ der BMBF richtet sich an regionale Kooperationen, die über eine Plattformtechnologie verfügen und wesentliche Alleinstellungsmerkmale in ihrem Kompetenzbereich aufweisen.

*In the growth centre<sup>[1]</sup> „Customer Bautronic System“ 9 regional partners are joined together with the objective of creating a system platform for a new kind of user integration at planning, commissioning and operation of domestic engineering and building automation. The aim is, to achieve the individual optimum for a building user as regards to the factors*

- utility value
- costs / efficiency
- lasting effect.

*A user preference model will be used as the basis, on which an innovative, technical building environment adjusted to this objective is intended to be created, which, as an example, will be realized as a prototype in the three market segments office building, railway stations and old people's homes. Figure 1 shows the companies and research facilities involved in this initiative.*

*The essential innovation in the CBS-approach is that - similar to the practice in many other areas - also here the customer or user is integrated in the building process. For technical realization the IMMS gGmbH will at first conceptually prepare ways of distributed sensorics and actorics and realize them in such a way that the necessary degree of information variety at low fitting volume and very low power loss is shown. In this respect current experiences made in energy production in the environment (s. p. 39) are to be used as a reference. There will be a close cooperation with partners, who will statistically record the specific customer and user requirements and from that derive specifications for sensor information, data rates and control modalities.*

*Strived for is a technological development until the year of 2011 that allows the introduction of fully developed products into the market. For 2012, at industrial partners, a growth of approx. 100 additional employees and an additional real net output of approx. 18mio € will be possible.*

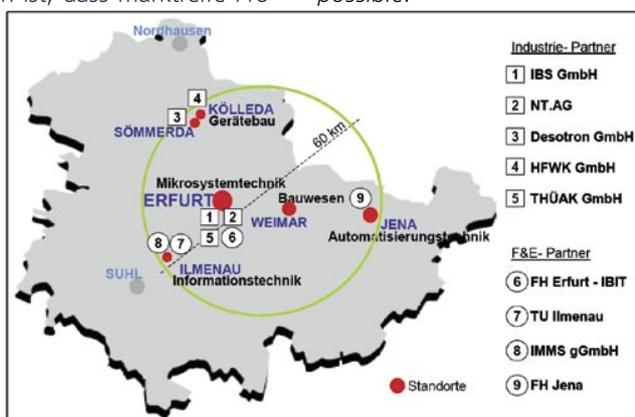


Abb. 1: CBS - die Bündnispartner

Fig. 1: CBS - partners in alliance

[1] The promotion program „innovative regional growth centres“ of the BMBF is addressed to regional cooperation link-ups having a platform technology and essential unique characteristics in their competency area.

Ansprechpartner /  
Contact:  
PD Dr.-Ing. habil.  
Hannes Töpfer  
Tel. +49 (3677) 69-5540  
E-Mail:  
hannes.toepfer@imms.de

### PATENT APPLICATIONS - PRECISION LINEAR DRIVE

Die Erfindung stellt eine Antriebslösung für eine schnelle präzise Bewegung bei beengten Platzverhältnissen dar.

*The invention represents a drive solution for fast precise movement under confined spatial conditions.*

Die Erfindung ist geeignet, ein zylinderförmiges Bauelement (9) präzise entlang einer Leitgeraden (3) bei einer Weglänge von 32 mm mit einer Genauigkeit unter  $2\mu\text{m}$  bei einer Geschwindigkeit von 40 mm/s zu bewegen. Ein Stator (1) und ein Läufer (2) bilden ein System.

*The invention can be used for moving a cylindrical component (9) precisely along a directrix (3) at a path length of 32 mm with accuracy below  $2\mu\text{m}$  at a velocity of 40 mm/s. A stator (1) and a slider (2) build the system.*

Zum Einsatz kommt ein elektrodynamischer Antrieb mit PWM-Steuerung bestehend aus einem feststehenden Magnetkreis (4) und einer bewegten Spule (5). Dieser Antrieb wird kombiniert mit einem hochgenauen Messsystem, bestehend aus einem bewegten Maßstab (10) und einem feststehenden Messkopf (11) und einer offenen, hochgenauen Linearführung (6) mit einer offenen Gegenführung (7) in größtmöglicher Entfernung zur Hauptführung und einem Andrucksystem (8) für die beiden offenen Führungen.

*Used is an electrodynamic drive with PWM-control consisting of a fixed magnetic circuit (4) and a moving coil (5). The drive is combined with a highly precise measuring system consisting of a moving measure (10) and a fixed measuring head (11) and an open highly precise linear guiding device (6) with an open counter guiding device (7) in maximum distance to the main guiding element and a pressure system (8) for the two open guiding devices.*

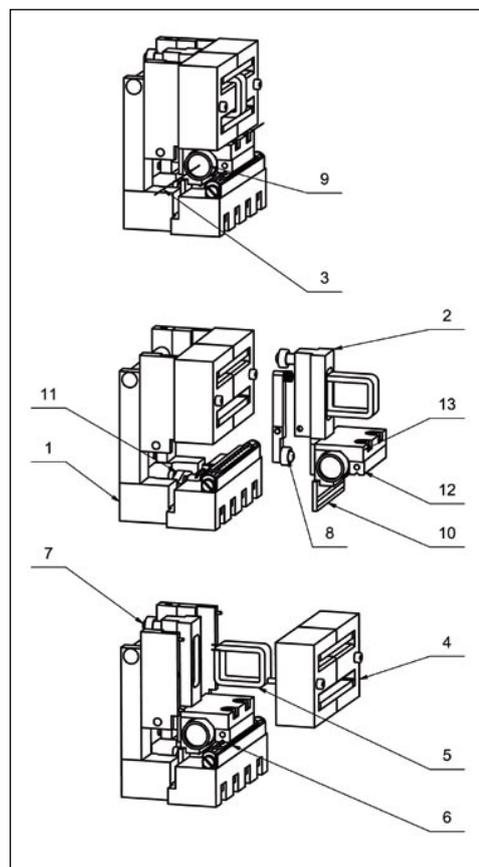
Der korrekten Übertragung der Führungsgenauigkeit der Hauptführung (6) dient die direkte Verbindung des zylinderförmigen Bauelementes (9) zum bewegten Hauptführungselement (12) in einer Achsrichtung und die Verbindung in der anderen Achsrichtung mit nur einem einzigen Zwischenelement (13). Dies ist ein besonderes Kennzeichen dieser Antriebslösung.

*The precision of the main guiding element (12) is transferred by the direct connection to the cylindrical component (9) in one direction. The precision is transferred with only one single intermediate member (13) in the other direction. The drive solution is especially characterized through this.*

*Any more the invention is characterised by a low thermal load on the environment and operation independent of the fitting position.*

Weiterhin zeichnet sich die Erfindung durch eine geringe thermische Belastung der Umgebung und den von der Einbaulage unabhängigen Betrieb aus.

Dieses System ist zum Einsatz in einem kleinen, unregelmäßigen Bauraum geeignet, insbesondere, wenn der Bauraum und der erforderliche Bewegungshub den Einsatz eines Spindelantriebes nicht zulässt. Anwendungsgebiete liegen vor allem in präzisionstechnischen Baugruppen z.B. aus den Bereichen Messtechnik, optische und Feingerätetechnik oder Laborautomation.



*This system is suitable for use in a small irregular mounting space, in particular, if the mounting space and the required motional stroke do not allow the use of a spindle drive.*

*Application ranges are mainly found in precision technological devices e.g. from the area of measuring technology, optical and fine machining technique or laboratory automation.*

## Vorrichtung zur Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie

### Apparatus for the transformation of mechanical energy into electrical energy

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie mit einem mechanischen Schwingensystem und einem Induktionssystem, wobei das Induktionssystem einen Permanentmagneten und eine Induktionsspule enthält und der Permanentmagnet Bestandteil des mechanischen Schwingensystems ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung enthält ein mechanisches Schwingensystem, das von einem Topfmagnetkreis gebildet wird. Der Topfmagnetkreis enthält im Kern einen zylindrischen Permanentmagneten (16), dessen magnetischer Fluss über die Flussführung (3) in Kombination mit dem oberen Flussführungsteil (4), welche aus magnetisch gut leitendem Material bestehen, geführt wird. Der Magnetkreis weist einen ringförmigen Luftspalt auf, der sich über die gestellfest angeordnete Induktionsspule (6) stülpt. Die Relativbewegung zwischen Magnetkreis und Induktionsspule wird durch eine Parallelfederführung (5) ermöglicht, mit welcher der Magnetkreis exakt geführt wird.

Die Parallelfederführung (5), gehalten über die Buchsen (15), ermöglicht bei geringen Herstellungskosten eine exakte Bewegung der Spule im Luftspalt. Durch diese Führung kann ein kleiner Luftspalt verwendet werden, der nahezu vollständig von der Spule ausgefüllt wird. In Verbindung mit der kompakten und streuflussarmen Anordnung des magnetischen Kreises wird bei geringer Baugröße von nur  $\varnothing 30 \times 29$  ein hoher Wirkungsgrad erzielt.

Wird die gesamte Anordnung in Vibrationsbewegungen versetzt, so führt das Schwingensystem infolge seiner Massenträgheit eine Relativbewegung gegenüber dem Gehäuse (1) mit dem Gehäusedeckel (2) aus. Damit bewegt sich der Magnetkreis, welcher das Schwingensystem bildet, relativ zur gehäusefest angeordneten Induktionsspule (6), so dass in dieser eine elektrische Spannung induziert wird.

Derartige Anordnungen werden beispielsweise als autarke Sensoren eingesetzt. Diese Sensoren benötigen keine von außen zugeführte elektrische Energie. Die Induktionsspule liefert gleichzeitig das Messsignal und die erforderliche Energie zum Betrieb der elektronischen Baugruppen. Das geschieht unter den wesentlichen Randbedingung einer geringen Baugröße, eines hohen Wirkungsgrades und sehr großer Beschleunigungen, deren Rhythmus darüber hinaus chaotisch ist.

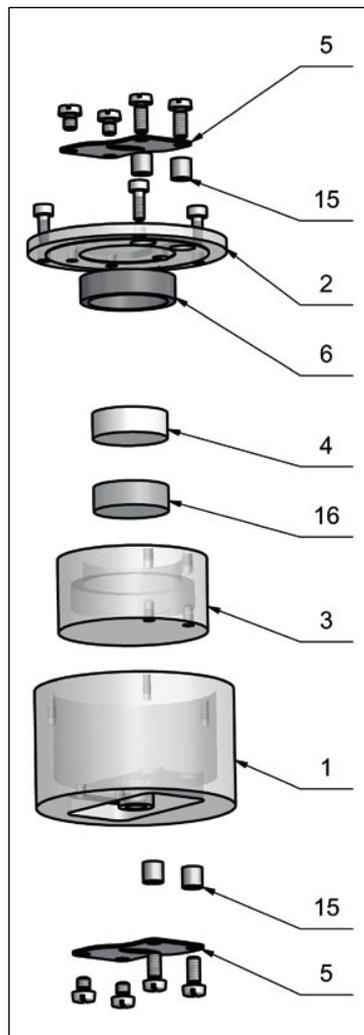
*The invention applies to an apparatus for the transformation of mechanical energy into electrical energy with a mechanical vibration system and in induction system, with the induction system containing a permanent magnet and an induction coil and the permanent magnet being part of the mechanical vibration system.*

*The invented apparatus contains a mechanical vibration system, which constitutes of a pot magnet circuit. The pot magnet circuit in its core contains a cylindrical permanent magnet (16), the magnetic flux of which is guided by the flux guide way (3) in combination with the upper flux guide way element (4), which is made of well conductive magnetic material. The magnet circuit shows a circular air gap, which encloses the frame-mounted induction coil (6). The relative movement between magnet circuit and induction coil is allowed by a parallel spring guiding element (5), by which the magnet circuit is exactly guided.*

*The parallel spring guide (5), held by the bushes (15), at low production costs allows an exact movement of the coil in the air gap. Owing to this guide, a small air gap can be used, which is almost completely filled in by the coil. In connection with the compact and low stray flux arrangement of the magnetic circuit a high efficiency ratio is achieved with a small building size of only  $\varnothing 30 \times 29$ .*

*If the total arrangement is put into vibration movement, the vibration system, owing to its inertia of masses, carries out a relative movement towards the case (1) with the case cover (2). Owing to that the magnetic circuit, which constitutes the vibration system, carries out a relative movement towards the case-mounted induction coil (6) so that an electrical voltage is induced in it.*

*Such arrangements are, for example, used as autarchic sensors. These sensors do not need electric energy supplied from the outside. The induction coil at the same time delivers the measuring signal and the energy required for the operation of the electronic modules. This takes place under the essential condition of a small building size, a high efficiency ratio and very high accelerations, the rhythm of which apart from that is chaotic.*



### Assess and develop success-critical knowledge in every day's research work

Aktuelle Studien zeigen, dass es kaum eine Organisation gibt, die dem professionellen Umgang mit Wissen nicht eine herausragende Bedeutung zuschreibt. Wer das gesamte Spektrum seiner Leistungsfähigkeit effizient nutzen möchte, der kommt nicht umhin, sich der Pflege und Entwicklung seiner Wissensressourcen zu widmen.

Was folgt der Einsicht in die Notwendigkeit eines bewussten Umgangs mit Wissen? Wie findet man den richtigen Einstieg in die Thematik?

Begonnen wurde an der IMMS gGmbH mit einer Kundenbefragung. Aus den Ergebnissen konnte ein gutes Abbild der externen Wirkung des Institutes (Stärken/Schwächen) erstellt werden (s. Abb. 1).

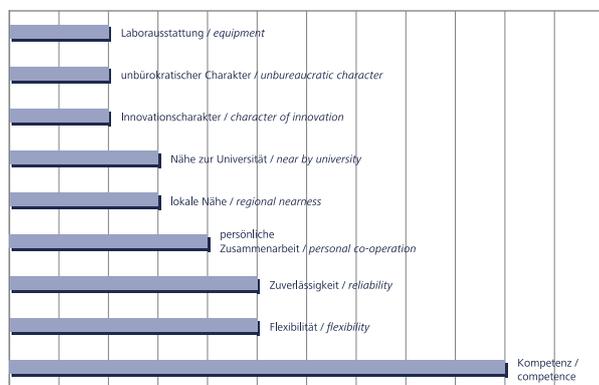


Abb. 1: Die Stärken der IMMS gGmbH

Fig. 1: The strong points of the IMMS gGmbH

So wird beispielsweise von den Kunden und den Kooperationspartnern die hohe Fachkompetenz der Mitarbeiter besonders geschätzt.

Die Wissensbilanz des Institutes wurde im Rahmen des Projektes „Wissensbilanz - Made in Germany“ des Bundesministeriums für Wissenschaft und Technologie durchgeführt. Neben den finanziellen und materiellen Ressourcen tragen die Einflussfaktoren des intellektuellen Kapitals (immaterielle Ressourcen) einen entscheidenden Faktor zum Geschäftserfolg bei. Dabei wurde der Frage nachgegangen: „Über welches Human-, Beziehungs- und Strukturkapital verfügt das IMMS heute?“. Die Moderation zur strukturierten Identifizierung (s. Abb. 2) der wichtigsten Einflussfaktoren übernahm das Fraunhofer IPK in Berlin.

Das Humankapital (HK) charakterisiert die Kompetenzen, Fertigkeiten/Können, Motivation und Lernfähigkeiten der Mitarbeiter. Das Strukturkapital (SK) umfasst solche Strukturen, Prozesse und Abläufe, welche die Mitarbeiter/-innen benötigen, um in ihrer Gesamtheit produktiv und innovativ zu sein. Das Beziehungskapital (BK) stellt die externen Beziehungen zu Kunden und Lieferanten sowie zu sonstigen Partnern und der Öffentlichkeit dar. Von einem Projektteam

Current studies have shown that there is hardly any organisation that does not ascribe a very high importance to the professional handling of knowledge. If one wants to make efficient use of the total spectrum of her/his productive capacity, she/he cannot avoid applying to the task of maintaining and developing her/his knowledge resources.

What follows the understanding that there is the necessity of handling knowledge consciously? How do we access this topic in the right way?

At the beginning a questioning among customers took place, the results of which delivered a good representation of the external influence of the Institute (strong/weak points) (Fig. 1)

It is, for example, the high technical competence of the staff that is especially appreciated by the customers. The intellectual capital statement of the Institute was made within the project „intellectual capital statement made in Germany“ of the Federal Ministry for Science and Technology. Besides the financial and material resources, the influencing factors of the intellectual capital (intangible resources) contribute a decisive factor to business success. Here the question was investigated: „which human, relational and structural capital does the IMMS have today?“ The Fraunhofer IPK in Berlin took on the presentation of the structured identification (fig. 2) of the most important influencing factors.

The human capital (HC) characterises the competencies, skills/abilities, motivation and learning capability of the staff. The structural capital (SC) comprises such structures, processes and procedures that are needed by the staff members, in order to be productive and innovative in their entirety. The relational capital (RC) represents the external relations to customers and suppliers as well as other partners and the public.

A project team identified, determined and assessed the so-called "soft" influencing factors.

- HC-factors
  - Staff qualification
  - Staff experience
  - Social competence
  - Staff motivation
  - Management competence
- SC-factors
  - Corporate culture
  - Internal cooperation
  - Management instruments
  - Descriptions of processes and procedures
  - Technical and spatial infrastructure
- RC-factors
  - Customer relations
  - Supplier relations

wurden sogenannte „weiche“ Einflussfaktoren identifiziert, aufgestellt und einer Bewertung unterzogen.

- HK-Faktoren
  - Mitarbeiterqualifikation
  - Mitarbeitererfahrung
  - Soziale Kompetenz
  - Mitarbeitermotivation
  - Führungskompetenz
- SK-Faktoren
  - Unternehmenskultur
  - Kooperation intern
  - Führungsinstrumente
  - Prozess- u. Verfahrensbeschreibungen
  - Technische u. räumliche Infrastruktur
- BK-Faktoren
  - Kundenbeziehungen
  - Lieferantenbeziehung
  - Beziehung zur Öffentlichkeit
  - Beziehung zu öffentlichen Geldgebern
  - Beziehung zu Kooperationspartnern

Die Bewertung ist zunächst eine Bestandsaufnahme. Der Ist-Stand, bewertet nach Quantität, Qualität und Systematik macht die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren im Geschäftsumfeld sichtbar.

- In allen drei Kapitalarten erfolgte, eine positive Einschätzung der Erfolgsfaktoren.
- Das Humankapital ist die Stärke an der IMMS gGmbH.
- Das größte Entwicklungspotential liegt im Beziehungskapital (Kundenbeziehung, Beziehung zu den Kooperationspartnern).
- Insgesamt werden die Ressourcen im IMMS quantitativ / qualitativ sehr gut genutzt. Verbesserungspotential gibt es in der Systematik.

Neben der Funktion als internes Steuerungsinstrument sind die Ergebnisse aus der Wissensbilanz ein wichtiges Kommunikationsinstrument mit Kunden, Geschäftspartnern, Banken, Ministerien etc. Außerdem wirken sie unterstützend, notwendige Strategien und Maßnahmen auch intern transparent zu machen. Erste Vorschläge zur Umsetzungen von Maßnahmen aus den Ergebnissen der Wissensbilanz stehen zur Diskussion:

- Entwicklung und Durchführung des Kommunikationskonzeptes zur Stärkung des Beziehungskapitals (externe Kommunikation)
  - Sensibilisierung auf Kundenwünsche
  - Wissenschaftliche Veröffentlichungen
- Internes Schulungsprogramm starten
  - Arbeitspräsentation durch die Mitarbeiter, zwecks Selbstdarstellung und Informationsaustausch
- Verbesserung der Arbeitsorganisation/Dokumentation im Projektmanagement (interne Kommunikation)

- Relation to the public, to public investors, to cooperation partners

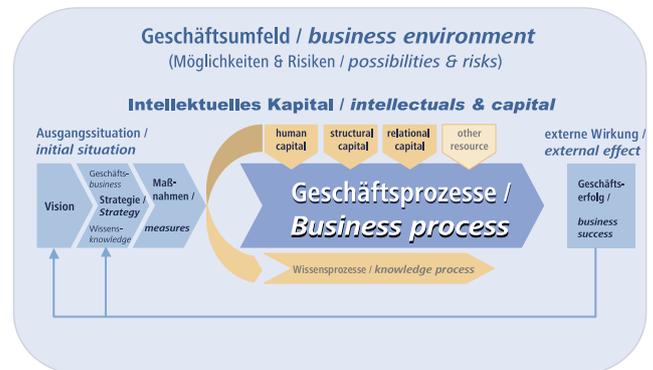


Abb. 2: Das Wissensbilanzmodell Quelle: AK-Wissensbilanz, Berlin

Fig. 2: The intellectual capital statement Source: AK-intellectual capital statement

The assessment at first is an inventory. The actual state, assessed according to quantity, quality and systematics, shows the interactions between the individual factors in the business environment.

- In all three types of capital the influencing factors were positively estimated.
- The human capital is the strong point of the IMMS.
- The highest development potential lies in the relational capital (customer relations, relations to cooperation partners).
- Altogether the resources in the IMMS, seen from the quantitative and qualitative point of view, have been used very well. There is still an improvement potential in systematics.

Besides its function as an internal control instrument, the results from the intellectual capital statement are an important communication instrument with customers, business partners, banks, ministries etc. Apart from that it has a supportive effect on giving also internal transparency to the necessary strategies and measures.

First proposals for the realization of measures derived from the results of the intellectual capital statement are under discussion.

- Development and implementation of the communication concept for strengthening the relational capital (external communication)
  - Becoming sensitive about customers' wishes
  - Scientific publications
- Starting an internal training program
  - Work presentation by staff members for the purpose of self-portrayal and exchange of information.
- Improvement of work organisation and documentation in project management (internal communication)

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Wolfgang Sinn

Tel: +49 (3677) 69-5514

E-Mail: wolfgang.sinn@imms.de

**Publikationen / Publications**

- [1] D. Kirsten, S. Richter, D. Nuernbergk, St. Richter (X-FAB Semiconductor Foundries)  
**High reliability EEPROM design for high-temperature applications**  
 Second Workshop of the Thematic Network on Silicon on Insulator technology, devices and circuits (EUROSOL), 03/2006, Grenoble, Frankreich
- [2] H.J.M. ter Brake, F.-I. Buchholz, G. Burnell, T. Claeson, D. Crete, P. Febvre, G. Gerritsma, R. Humphreys, Z. Ivanov, W. Jutzi, M. Khabipov, J. Mannhart, H.-G. Meyer, J. Niemeyer, A. Ravex, H. Rogalla, M. Russo, J. Satchell, M. Siegel, H. Töpfer, F.H. Uhlmann, J.-C. Villegier, E. Wikborg, D. Winkler und A.B. Zorin  
 SCENET roadmap for superconductor digital electronics, Physica C, 439 (2006) 1, S. 1-41.
- [3] M. Meister, B. Bieske  
**New methods for RF-characterisation of PDIC-photo diodes for DVD applications**  
 ISCE 2006 - The Tenth IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 29.06.-01.07.2006, St. Petersburg (Russland). (ISBN: 1-4244-0216-6)
- [4] H. Töpfer  
**Stand der Entwurfstechnik für digitale Einzelflussquantenelektronik als potenzielle Schaltungstechnik zukünftiger Systeme**  
 Proceedings Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf (DASS'2006), S. 109-114. Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen, Aussenstelle Entwurfsautomatisierung, Dresden, 2006.
- [5] St. Hesse, Ch. Schäffel  
**Nanopositioniertechnik für große Bewegungsbereiche**  
 Fachzeitschrift 'Technisches Messen', Ausgabe 09/2006, S. 493-498
- [6] D. Platte, S. Jing, R. Sommer, E. Barke  
**Using Sequential Equations to Improve Efficiency and Robustness of Analog Behavioral Models**  
 Forum on Specification and Design Languages, 09/2006
- [7] D. Platte, R. Sommer, E. Barke  
**An Approach to Analyze and Improve the Simulation Efficiency of Complex Behavioral Models**  
 Proceedings of the IEEE Behavioral Modeling and Simulation Conference, 09/2006
- [8] D. Platte, R. Sommer, J. Broz, A. Dreyer, T. Halfmann, E. Barke  
**Automatische nichtlineare Verhaltensmodellgenerierung mit sequentieller Gleichungsstruktur**  
 Proceedings ANALOG '2006, 09/2006, Dresden
- [9] D. Platte, R. Sommer, J. Broz, A. Dreyer, T. Halfmann, E. Barke  
**Automatic Nonlinear Behavioral Model Generation using Sequential Equation Structures**  
 Proceedings 9th International Workshop on Symbolic Methods and Applications to Circuit Design (SMACD'06), Florenz, Italien, 10/2006
- [10] A. Schreiber, E. Ulicna, M. Götze und W. Kattanek  
**System design issues in advanced applications of wireless sensor networks**  
 Proceedings 51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Information Technology and Electrical Engineering-Devices and Systems, Materials and Technologies for the Future', S. 95-96, Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau, 2006
- [11] H. Töpfer, P. Febvre, Th. Ortlepp und H. Uhlmann  
**Electromagnetic Analysis of Photosensitive Interfaces for Rapid Single Flux Quantum Circuit Applications**  
 Proceedings 51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Information Technology and Electrical Engineering-Devices and Systems, Materials and Technologies for the Future', S. 159-160, Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau, 2006
- [12] H. Töpfer, M. Sachs, S. Hollatz, G. Taubmann, St. Taubmann, N. Zeike, Ch. Schäffel  
**Electromechanical Design and Performance of a Power Supply for Energy-Autonomous Electronic Control Units**  
 Proceedings 51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Information Technology and Electrical Engineering-Devices and Systems, Materials and Technologies for the Future', S. 207-208, Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau, 2006
- [13] D. Kirsten, S. Richter, D. Nuernbergk, St. Richter (X-FAB Semiconductor Foundries)  
**An EEPROM cell for automotive applications in PDI-SOI**  
 Proceedings 51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 'Nanoelektronische und Hochfrequenzleistungsbaulemente', S. 259-260, Ilmenau, Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau, 2006
- [14] E. Ulicna  
**A Study of reconfigurable SoC with Applications in Wireless Systems and SystemC**  
 Proceedings 51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 'Information Technology and Electrical Engineering-Devices and Systems, Materials and Technologies for the Future', S. 227-228, Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau, 2006

[15] R. Peukert  
**Schneller starten - Bootvorgang bei Embedded Linux**  
Fachzeitschrift ‚Design&Elektronik‘, Ausgabe 11/06, S. 62-63

[14] O. Mollenhauer, S.I.-U. Ahmed, F. Spiller, H. Haefke  
**High Precision Positioning and Measurement Systems for Microtribotesting**  
Tribotest, Vol. 12 / 2006; p. 189-199

## Vorträge / Lectures

[1] W. Sinn  
**Systemintegration mobiler Datenerfassungsmodule für industrielle Anwendungen**  
2. RFID Workshop Silicon Saxony, 01.02.2006, Dresden

[2] H. Töpfer  
**Considerations on RSFQ development in the context of actual trends and demands of microelectronics**  
SCENET Workshop, 03.-04.02.2006, Faro, Portugal

[3] F. Rößler  
**Neue Designmethoden für den analogen und digitalen Schaltungsentwurf**  
Silicon Saxony Tag 2006, 02.03.2006, Dresden

[4] St. Michael, S. Hering (X-FAB Semiconductor Foundries AG), M. Katzschmann  
**Investigations on Wafer-Level Testing for Accelerometers by Harmonic Response Measurements**  
MEMUNITY-Workshop ‚Testing MEMS at Wafer-Level‘, 01.03.2006, Halle

[5] D. Kirsten, S. Richter, D. Nuernbergk,  
St. Richter (X-FAB Semiconductor Foundries)  
**High reliability EEPROM design for high-temperature applications**  
Second Workshop of the Thematic ‚Network on Silicon on Insulator technology, devices and circuits (EUROSOI)‘, 8-10.03.2006, Grenoble, Frankreich

[6] M. Meister  
**Messung von Empfindlichkeitsprofilen an Fotodioden**  
18. ITG Testworkshop ‚Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen‘, 12.-14.03.2006, Titisee

[7] B. Bieske, P. Witzhausen:  
**Teststrategien für HF-ICs vom Labor zur Produktion**  
18. ITG Testworkshop ‚Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen‘, 12.-14.03.2006, Titisee

[8] R. Peukert, Th. Elste  
**Experiences porting the Linux Kernel to an ARM platform**  
Linux OS Workshop, 22.03.06, Konstanz

[9] H. Töpfer  
**Eingebettete elektronische Systeme zur Integration von Sensorik**  
2. Konferenz ‚Sensorik aus Thüringen‘, 31.03.2006, Ilmenau

[10] H. Töpfer  
**Modellbasierter Entwurf für Applikationen mit FPGA**  
14. NEMO-VisQuaNet-Meeting ‚Einfache Programmierung von FPGA für die industrielle Bildverarbeitung‘, 19.04.2006, Ilmenau

[11] St. Michael, S. Hering (X-FAB Semiconductor Foundries AG), M. Katzschmann  
**Geometric Parameter Identification for Bulk-Micromachined Accelerometer from Modal Frequencies Measurements**  
EuroSimE - Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, 24-26.04.2006, Como (Mailand), Italien

[12] H. Töpfer  
**Stand der Entwurfstechnik für digitale Einzelflussquantenelektronik als potenzielle Schaltungstechnik zukünftiger Systeme**  
Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf (DASS'2006), 10.-11.05.2006, Dresden.

[13] V. Boos  
**Wiederverwendung von Schaltungstopologien**  
Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf DASS'06, 10.-11.05.2006, Dresden

[14] W. Sinn  
**Anwendungsbereiche und Lösungsszenarien für die Funkübertragung in der Gebäudeautomatisierung**  
5. Fachtagung ‚Funkgestützte Kommunikation in der industriellen Automatisierungstechnik‘, 08.-09.05.2006, Darmstadt

[15] St. Hesse, T. Maaß, H.-U. Mohr, Ch. Schäffel  
**Investigations to reduce positioning uncertainty of direct drive systems with aerostatic guiding**  
6th euspen International Conference, 28.05.-01.06.2006, Baden bei Wien, Österreich

[16] H. Töpfer  
**Einbettung - der Weg zum allgegenwärtigen Computer**  
wissenschaftliches Kolloquium - Festveranstaltung ‚Bewegte Ideen - 10 Jahre IMMS‘, 22.06.2006, Ilmenau

[17] Ch. Schäffel  
**Integrierte Direktantriebe ... Was ist möglich, wo geht's hin?**  
wissenschaftliches Kolloquium - Festveranstaltung ‚Bewegte Ideen - 10 Jahre IMMS‘, 22.06.2006, Ilmenau

[18] K. Förster  
**Messtechnik - Herausforderung im Mikro- und Nanozeitalter**  
wissenschaftliches Kolloquium - Festveranstaltung ‚Beweg-

te Ideen - 10 Jahre IMMS', 22.06.2006, Ilmenau

[19] F. Rößler

**Messtechnik - Herausforderung im Mikro- und Nanozeitalter**  
wissenschaftliches Kolloquium - Festveranstaltung ‚Bewegte Ideen - 10 Jahre IMMS', 22.06.2006, Ilmenau

[20] M. Meister, B. Bieske

**New methods for RF-characterisation of PDIC-photo diodes for DVD applications"** ISCE 2006 - The Tenth IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 29.06.-01.07.2006, St. Petersburg (Russland), (ISBN: 1-4244-0216-6)

[21] H. Töpfer, M. Sachs, S. Hollatz, G. Taubmann, St. Taubmann, N. Zeike, and Ch. Schäffel

**Electromechanical Design and Performance of a Power Supply for EnergyAutonomous Electronic Control Units**  
51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 12.09.2006, Technische Universität Ilmenau

[22] H. Töpfer, P. Febvre, Th. Ortlepp, H. Uhlmann  
**Electromagnetic Analysis of Photosensitive Interfaces for Rapid Single Flux Quantum Circuit Applications**

51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 14.09.2006, Technische Universität Ilmenau

[23] D. Kirsten, S. Richter, D. Nuernbergk, St. Richter (X-FAB Semiconductor Foundries)

**An EEPROM cell for automotive applications in PD-SOI**  
51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 14.09.2006, Technische Universität Ilmenau

[24] R. Sommer

**Application of Symbolic Analysis in Industrial Circuit Design**  
,Forum on Specification and Design Languages' FDL'06, 19.-22.09.2006, Darmstadt

[25] V.Boos

**Reuse of Circuit Topologies using WiCkeD**  
MunEDA User Group Meeting, 19.09.2006, München

[26] W. Sinn

**10 Jahre IMMS - Chancen und Nutzen durch Marktprofilierung**  
17. NEMO-VisQuaNet Meeting, 11.10.2006, Jena

[27] K. Förster

**Testmethodik für integrierte optoelektronische Schaltungen**  
Clustermeeting OptoNet e.V., 2.11.2006, Ilmenau

[28] M. Meister

**Development of a bandwidth measurement for photo diodes**  
X-FAB Workshop ‚Process Development & Characterisation' 15.-16.11.2006, Luisenthal

[21] W. Sinn

**Erfolgskritisches Wissen bewerten und entwickeln – Praxisbericht aus dem Forschungsalltag**

8. InfoPool ‚Aller Anfang ist leichter als man denkt - Wissensmanagement einführen', 05.12.2006, Berlin

## Posterpräsentationen / Posters

[1] M. Meister

**Messung von Empfindlichkeitsprofilen an Fotodioden**  
18. ITG Testworkshop ‚Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen', 12.-14.03.2006, Titisee

[2] W. Sinn

**Analysegeräte und Instrumente für die Automatisierungstechnik**  
Innovationsforum Grenzflächenfunktionalisierung/Biointerfaces, 16.-17.03.2006, Heilbad Heiligenstadt

[3] St. Hesse, T. Maaß, H.-U. Mohr, Ch. Schäffel  
**Investigations to reduce positioning uncertainty of direct drive systems with aerostatic guiding**

6th euspen International Conference, 28.05.2006-01.06.2006, Baden bei Wien, Österreich

[4] P. Febvre, H. Toepfer, Th. Ortlepp, B. Ebert, S. Badi F.H. Uhlmann

**Superconducting photosensitive interfaces for triggering RSFQ circuits**  
Applied Superconductivity Conference, 26.08.-01.09.2006, Seattle, USA.

[5] H. Töpfer, M. Sachs, S. Hollatz, G. Taubmann, St. Taubmann, N. Zeike und Ch. Schäffel

**Electromechanical Design and Performance of a Power Supply for Energy-Autonomous Electronic Control Units**  
51. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 14.09.2006, Technische Universität Ilmenau

[6] P. Teichmann

**An Integrated FSK Demodulator with Built-In Self-Calibration**  
Analog '06, 27.-29.09.2006, Dresden

## Patentanmeldungen / Patent Applications

[1] S. Hollatz, N. Zeike, Ch. Schäffel, M. Sachs, J. Zellmann  
**Vorrichtung zur Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie** PANr.: 10 2006 013 653.5

[2] N Zeike, Ch. Schäffel  
**Präzisionslinearantrieb** PANr.:10 2006 052 364.4

[3] V. Bornmann, Ch. Schäffel  
**Vorrichtung zur Einkopplung von erzeugtem Licht in eine Lichtleitfaser** PANr.: 10 2006 049 597.7



»Wir sehen uns als Multiplikator für intelligente Denkweisen  
und setzen technologische Meilensteine in der industriellen Anwendung.«

Auszug aus dem Leitbild der IMMS gGmbH

*»We consider ourselves as a multiplier for intelligent ways of  
thinking and set technological milestones in industrial application.«*

*abridgement of the corporate vision of the IMMS gGmbH*

MECHATRONIK

MECHATRONICS

Nanotechnologie gilt als Zukunftstechnologie schlechthin. Statt „immer höher, immer weiter“ lautet ihr Motto „immer kleiner, immer schneller“. Die Nanotechnologie erschließt uns die Welt der allerkleinsten Dinge. Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters. Der Durchmesser eines menschlichen Haares ist fünfzigtausend mal größer. Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie sind immens. Die künftigen Fortschritte der Nanotechnologie entscheiden mit über die weitere Entwicklung zukunftsreicher Branchen. <sup>[1]</sup>

Die industrielle Eroberung der Nanometer-Dimension hat bereits eingesetzt. Diese Technologien stellen enorme Anforderungen an die Positionierauflösung und -genauigkeit funktionsbestimmender Baugruppen, mit deren Entwicklung sich die IMMS gGmbH befasst.

Diese Anforderungen bedingen neben einem umfassenden Systemverständnis vielfach eine komplette Modellierung und Simulation des dynamischen und thermischen Verhaltens der Baugruppen. Erfassen und Beherrschen von Störungen die von außen auf die Systeme einwirken, wie z.B. Bodenvibrationen, Schall, Temperaturdriften, elektromagnetische Störfelder u. ä., sind unverzichtbarer Bestandteil der Arbeiten. Neuartige Antriebsstrukturen, energieeffiziente Auslegung von Antriebs- und Führungskomponenten, reibungsarme Lagerungen und Führungen, passive Gewichtskompensationen sowie präzise Kühl- und Temperier-techniken sind einige der Schlüssel für Verbesserungen in künftigen Geräten und Maschinen.

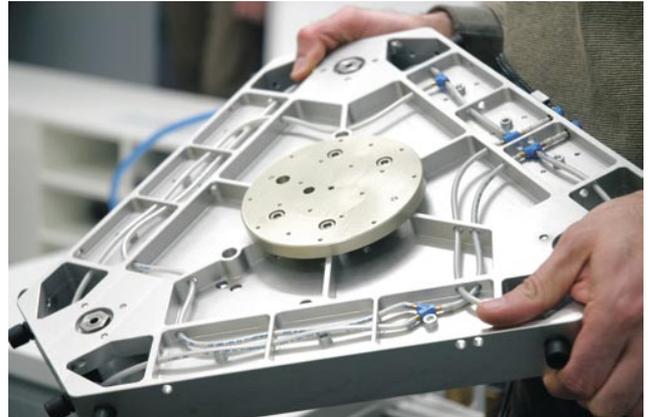
Die vielfach komplexen Aufgabenstellungen können nur in enger Zusammenarbeit von Fachleuten verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und Methoden gelöst werden.

Für die Bearbeitung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten stehen unseren Fachleuten eine Vielzahl leistungsfähiger Entwurfs- und Modellierungstools sowie eine solide messtechnische Ausrüstung und Infrastruktur zur Verfügung.

Schwerpunktmäßig arbeiten wir auf den Gebieten:

- der magnetischen Antriebstechnik sowie der magnetische Lagerung und Führung,
- der aerostatischen Lagerung und Führung,
- der optischen und laserinterferometrischen Messtechnik,
- der Modellierung und Simulation multiphysikalischer Problemstellungen,
- sowie der Steuerung komplexer Systeme.

Auf dem Gebiet der planaren Direktantriebe konnten in Jahr 2006 gemeinsam mit drei Partnern verschiedene hochpräzise Systeme für Fahrbereiche von 100 x 100 mm<sup>2</sup> bis zu



*Nanotechnology is a future technology par excellence. Instead of "higher and higher, further and further" its motto is „smaller and smaller, faster and faster“. Nanotechnology gives us access to the world of very small things. One nanometer is the millionth part of a millimetre. The diameter of a human hair is fifty thousand times bigger. The application ranges of this technology are immense. Future progresses made in nanotechnology are also decisive factors for further development of promising trades. <sup>[1]</sup>*

*The industrial conquest of the nanometer dimension has already begun. These technologies make enormous requirements on positioning resolution and accuracy of function-related modules, the development of which is dealt with in the IMMS.*

*Besides an extensive understanding of the system these requirements often require complete modelling and simulation of the dynamic and thermal behaviour of the modules. Recording and controlling of interferences affecting the system from the outside, e.g. floor vibrations, sound, temperature drifts, electromagnetic interference fields and similar, are indispensable part of the work. New drive structures, energy-efficient design of drive and guiding components, low-friction bearings and guiding devices, passive weight compensation as well as precise cooling and temperature constancy control techniques are some of the keys to improvements in future devices and machines.*

*The many times complex problems can only be solved in close cooperation with experts of different scientific disciplines according to latest scientific knowledge and methods.*

*For the processing of research and development projects our experts are provided with a great number of efficient design and modelling tools as well as solid metrological equipment and infrastructure.*

*The emphasis of work is put on the fields of:*

- magnetic drive technique as well as magnetic

250 x 250 mm<sup>2</sup> entwickelt werden, die direkt in deren Produkte integriert wurden (s. S. 29). In diesem Zusammenhang wurden erhebliche Verbesserungen im Bereich der Bahnsteuerung der Antriebe erzielt (s. S. 24).

Ein großer Schritt hin zu kleinsten nm-Schritten konnte im Rahmen unseres Teilprojektes im Sonderforschungsbereich (SFB 622) getan werden (s. S. 26).

Im Rahmen des neu gestarteten Projektes VERDIAN verfolgt die IMMS gGmbH gemeinsam mit 11 Partnern das Ziel, die Rennsteigregion innerhalb der nächsten zehn Jahre zu einem weltweit führenden Anbieter für vernetzte integrierte magnetische Direktantriebe zu entwickeln (s. S. 11).

Im Ergebnis der Projektarbeiten des Jahres 2006 konnten im Themenbereich drei Patente erteilt werden.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel  
Tel.: +49 (3677) 69-5560  
E-Mail: christoph.schaeffel@imms.de

[1] Quelle: BMBF Nano-Initiative-Aktionsplan 2010

- bearing and guidance,*
- aerostatic bearing and guidance,*
- optical and laser interferometric measuring technology,*
- modelling and simulation of multi-physical problem definitions,*
- as well as the control of complex systems.*

*In the field of planar direct drives various highly precise systems for positioning ranges of 100 x 100 mm<sup>2</sup> to 250 x 250 mm<sup>2</sup> could be developed in 2006 together with three partners, which were directly integrated in their products (s. p. 29). In this connection considerable improvements in the field of the path control of such drives were achieved (s. p. 24).*

*An important step towards nm-steps could be made within our partial project in the collaborative research centre (s. p. 26).*

*Within the recently started project VERDIAN the IMMS together with 11 partners pursues the goal of developing the Rennsteig region within the next ten years into a worldwide leading supplier of networked integrated magnetic direct drives. (s. p. 11).*

*As a result of project work in the year of 2006 the department was granted three patents.*

[1] Source: BMBF nano-initiative-action plan 2010

### Problemstellung

Die Genauigkeit, mit der ein Antrieb einer vorgegebenen Bahn folgt, hängt von vielen Faktoren im Antriebssystem ab. Ein häufig unterschätzter Gesichtspunkt ist dabei die Bahn selbst. Ein Anpassen der Bahn an die physikalischen Möglichkeiten des Antriebssystems kann die Präzision während der Bahnabarbeitung substantiell verbessern.

Die begrenzenden Faktoren des Antriebs sind in der Regel Geschwindigkeit und Beschleunigung. Zu beachten ist, dass diese nicht nur das Geschwindigkeitsprofil entlang der Bahn limitieren, sondern auch die Bahnform selbst, da eine Änderung der Bewegungsrichtung immer eine entsprechende, geschwindigkeitsabhängige Querbeschleunigung erfordert. Insbesondere an Eckpunkten wäre für die exakte Einhaltung der Bahn ein vollständiger Stop nötig, da sich die sonst theoretisch notwendige „unendlich hohe“ Querbeschleunigung praktisch nicht erzeugen lässt. Ein solcher Stop ist in der Regel jedoch unerwünscht, was heißt, dass seitliche Abweichungen von der Sollbahn unvermeidbar sind. Wird diese seitliche Abweichung vom Positionsregler kontrolliert, ist das genaue Verhalten (und damit die zu erwartende Genauigkeit) nur schwer vorherzusagen. Weiterhin werden die physikalischen Möglichkeiten eines Antriebs in der Regel allein durch den Positionsregler nicht vollständig ausgenutzt, was zu unnötig großen Fehlern führt.

### Lösung

Durch eine Anpassung der Sollbahn, bei der Ecken durch Kreisbögen ersetzt werden, kann die Situation deutlich verbessert werden, da dann der Zusammenhang zwischen dem zu erwartenden Fehler, der Bahngeschwindigkeit und den notwendigen Beschleunigungen genau bekannt ist. Da Regler im Allgemeinen die Möglichkeit zur Vorsteuerung enthalten, lassen sich auf diesem Weg auch die physikalischen Möglichkeiten des Antriebs vollständig ausnutzen.

An der IMMS gGmbH wurde ein Algorithmus entwickelt, der dieses Ersetzen von Ecken durch Kreisbögen vornimmt. Ausgangspunkt ist die Bahn, gegeben im G-Code Format. Als Parameter gehen die maximal zugelassene seitliche Abweichung sowie die maximal mögliche Beschleunigung in den Algorithmus ein. Neben der eigentlichen Bahnform werden auch weitere, im G-Code gegebene Informationen, z.B. Geschwindigkeiten, Wartezeiten, Wechsel der Interpolationsebene u.ä., berücksichtigt.

### Ergebnis

Der am Institut entwickelte Algorithmus wurde in einem planaren Direktantrieb implementiert und getestet. Dabei wurden die erwarteten substantiellen Verbesserungen tatsächlich erzielt. Sowohl die mittlere als auch die maximale

### Problem definition

The accuracy of a drive following the preset path depends on many factors in the drive system. A many times underestimated factor is the path itself. An adaptation of the path to the physical possibilities of the drive system may substantially improve the precision during path processing itself.

The limiting factors of the drive usually are velocity and acceleration. It must be taken into account that these

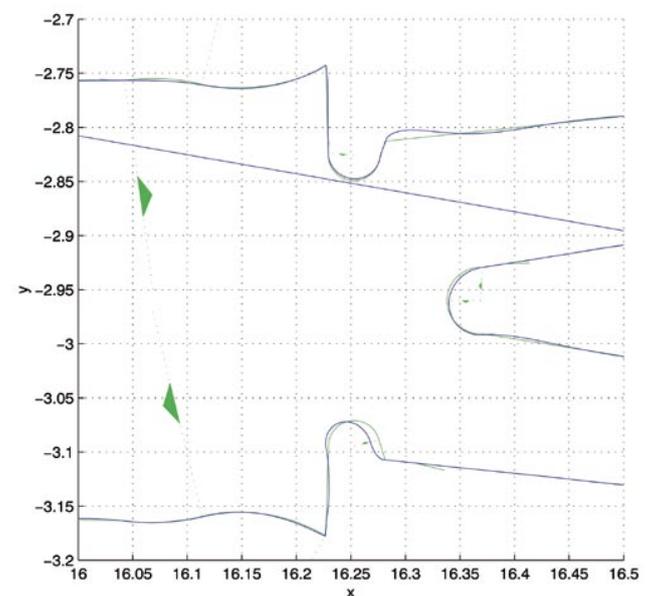


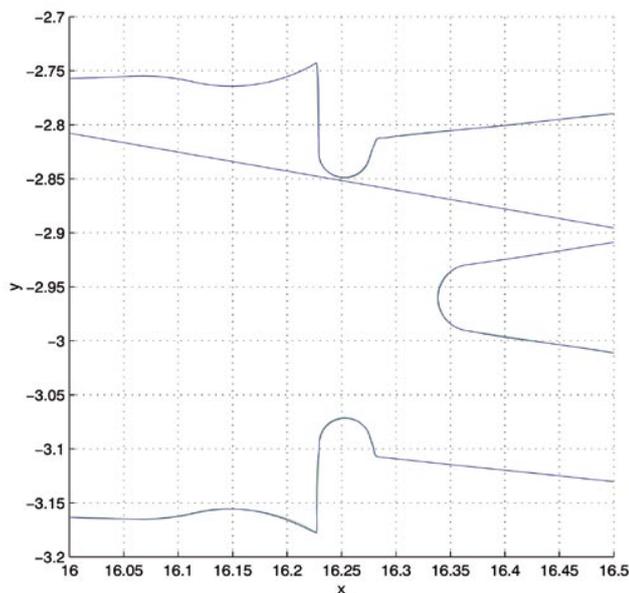
Abb. 1: xy-plot der originalen Sollbahn (grün) und der tatsächlich realisierten Bahn (blau)

Fig. 1: xy-plot of the original set path (green) and the actually realized path (blue)

do not only limit the velocity profile along the path, but also the path shape itself, as modifications in the direction of movement always require a corresponding velocity-dependent transversal acceleration. Especially at corner points a complete stop would be necessary for exactly keeping to the path, as the otherwise theoretically necessary "infinitely high" transversal acceleration can virtually not be generated. Such a stop is, however, usually unwanted, which means that lateral deviations from the set path are unavoidable. If the position controller controls this lateral deviation, the exact behaviour (and with that the accuracy to be expected) can only be predicted with difficulty. Apart from that the physical possibilities of a drive are usually not completely used by the position controller, which leads to unnecessarily significant errors.

seitliche Abweichung von der Sollbahn wurden signifikant verringert, die Störregung des Gesamtsystems wurde kleiner, während die Bearbeitungszeiten gleich blieben. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen einen Ausschnitt aus einer Testbahn mit und ohne Einsatz des neuen Algorithmus. Für beide Kurven wurden die gleichen Reglereinstellungen verwendet.

Die grüne Kurve zeigt jeweils die Sollbahn, die blaue Kurve jeweils die tatsächlich realisierte Bahn. Man erkennt deutlich die erzielte Verbesserung. Die maximale seitliche Abweichung entlang der Bahn hat sich von  $8.8 \mu\text{m}$  auf  $1.6 \mu\text{m}$  verringert, die mittlere seitliche Abweichung von  $0.242 \mu\text{m}$  auf  $0.085 \mu\text{m}$ , die Bearbeitungszeit der gesamten Bahn blieb unverändert bei  $11.8 \text{ sec}$ .



**Abb. 2:** xy-plot der angepassten Sollbahn (grün, Fehlerschranke  $1 \mu\text{m}$ ) und der tatsächlich realisierten Bahn (blau)

**Fig. 2:** xy-plot of the adapted set path (green, error limit  $1 \mu\text{m}$ ) and the actually realized path (blue)

## Solution

*By an adaptation of the set path, at which circular arcs replace corners, the situation may clearly be improved, as then the connection between the errors to be expected, path accuracy and necessary accelerations is exactly known. As controllers are usually equipped with a feed-forward function, the physical possibilities of the drive can also be made use of completely.*

*At the IMMS an algorithm was developed that replaces the corners by circular arcs. Starting point was the path, given in G-code format. As parameters the maximum permitted lateral deviation as well as maximum possible acceleration are used for this algorithm. Besides the path shape itself, also other, information given in G-code, e.g. speed, waiting times, change of the interpolation plane and similar are taken into account.*

## Result

*The algorithm developed at the IMMS was implemented and tested at a planar direct drive. Here the expected substantial improvement was actually achieved. The mean value as well as the maximum lateral deviations from the set path were significantly reduced, the interference excitation of the total system decreased, while the processing times did not change.*

*The figures 1 and 2 show a section of a test path with and without the use of the new algorithm. For both curves the same controller settings were used. The green curve shows the set path, the blue curve the actually realized path. The achieved improvement can clearly be seen. The maximum lateral deviation along the path was reduced from  $8.8 \mu\text{m}$  to  $1.6 \mu\text{m}$ , the medium lateral deviation of  $0.242 \mu\text{m}$  to  $0.085 \mu\text{m}$  and the processing time of the total path remained the same at  $11.8 \text{ sec}$ .*

Ansprechpartner / Contact:

Michael Katzschmann  
 Tel.: +49 (3677) 69-5566  
 E-Mail: michael.katzschmann@imms.de

**Zielstellung**

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 622 werden an der IMMS gGmbH Forschungsarbeiten zur Realisierung von Nanopositioniersystemen für große Bewegungsbereiche durchgeführt. Derartige Antriebssysteme sollen die dreidimensionale Positionierung von Objekten mit Positionierungsunsicherheiten von wenigen Nanometern und Verfahrbereichen von einigen 100 mm in x- und y- Richtung sowie einigen 10 mm in z-Richtung ermöglichen. Die Forschungsarbeiten haben die Realisierung eines Positioniersystems mit folgenden Parametern zum Ziel:

- Verfahrbereich: 350 x 350 x 50 mm<sup>3</sup>
- Messauflösung: 0,1 nm
- Positionierungsunsicherheit: 3 nm
- Verfahrensgeschwindigkeit in x, y: 10 mm/s
- Umgebung: Klimakammer, Vakuum

Aus dieser Zielstellung leiten sich die wissenschaftlichen Arbeitsziele ab:

- Reduzierung der Positionierungsunsicherheit planarer Direktantriebe bis in den Bereich weniger Nanometer
- Untersuchung der Einflussfaktoren und Hauptansatzpunkte für die Erzielung geringster Positionierungsunsicherheiten bei Verfahrbereichen von einigen 100 mm
- Entwicklung von Konzepten für vakuumtaugliche Antriebssysteme mit großen Verfahrbereichen (350 mm x 350 mm)

**Forschungsverlauf- und -stand**

Aufgrund ihrer äußerst einfachen Struktur mit dem aerostatisch geführten Läufer als einzige bewegte Komponente, einem optischen Auflichtmesssystem und der Integration mehrerer elektrodynamischer Aktoren zu einem mehrachsigen Antrieb ermöglichen integrierte Mehrkoordinatenantriebe (MKA) eine hochpräzise und dynamische Positionierung in großen Verfahrbereichen. Für die Realisierung von Nanopositioniersystemen sind derartige MKA, vor allem hinsichtlich der Positions- und Winkelmessung weiter zu entwickeln. Der Schlüssel zu Mess- bzw. Positionierungsunsicherheiten im Bereich weniger Nanometer liegt im Einsatz von Laserinterferometern als Messsystem in einer Anordnung, die Fehler erster Ordnung („Abbe-Fehler“) vermeidet. Dabei wird nur der Reflektor, eine thermisch stabile Spiegelecke aus Zerodur™ Glaskeramik bewegt und in allen sechs Achsen positioniert. Für zukünftige Nanopositioniermaschinen mit Verfahrbereichen von mehreren 100 mm ist der Einsatz integrierter MKA für die hochgenaue laterale Positionierung der Spiegelecke angestrebt. Dabei stellen sich aufgrund der großen geometrischen Dimensionen in Verbindung mit der Forderung nach höchster Genauigkeit neue Herausforderungen für die Gestaltung des Antriebssystems als mechatronisches System. Dies betrifft insbesondere dessen Grundstruktur, sowie die Auswahl, Gestaltung und Integration

**Objective**

Within the collaborative research centre SFB 622 the IMMS has been carrying out research work for the realisation of nanopositioning systems for large movement ranges. Such drive systems are intended to allow the three-dimensional positioning of objects with positioning uncertainties of only a few nanometers and positioning ranges of a few 100 mm in x- and y-direction as well as some 10 mm in z-direction. The research work aims at the realisation of a positioning system with the following parameters:

- Positioning range: 350 x 350 x 50 mm<sup>3</sup>
- Measuring resolution: 0,1 nm
- Positioning uncertainty: 3 nm
- Velocity in x, y : 10 mm/s
- Environment: climatic chamber, vacuum

From this the following aims of scientific work are derived:

- Reduction of the positioning uncertainty of planar direct drives to the range of only a few nanometers
- Investigation of the influencing factors for the achievement of lowest positioning uncertainties at positioning ranges of only a few 100 mm
- Development of concepts for vacuum compatible drive systems with large positioning ranges (350 mm x 350 mm)

**Course and state of research work**

Owing to its very simple structure with the aerostatically guided slider as the only moving component, an optical incident light measuring system and the integration of several electrodynamic actuators to a multiaxial drive, integrated multicoordinate drives (MCD) allow highly precise and dynamic positioning in large positioning ranges. For the realisation of nanopositioning systems such MCD, especially with regard to position and angular measurement, must be further developed. The key to measuring or positioning uncertainties in the range of only a few nanometers is the use of laser interferometers as measuring system in an arrangement avoiding errors of first order (“Abbe-errors”). Here only the reflector, a thermally

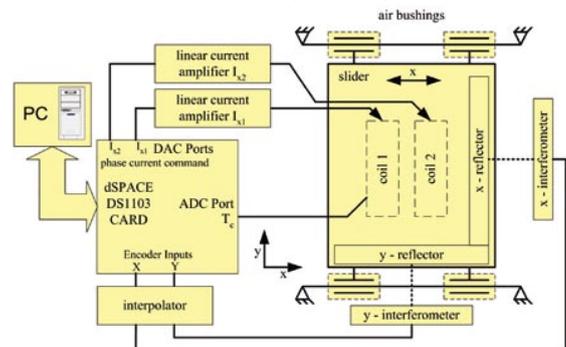


Abb. 1: LMS200 Funktionsschema  
 Fig. 1: LMS200 functional diagram

von Messsystem, Antrieb und Führung als entscheidende Funktionsgruppen innerhalb des Antriebssystems.

Ein Zwischenergebnis der bisherigen Arbeiten zur Gestaltung derartiger Positioniersysteme ist der LMS200, ein lineares Positioniersystem für einen Verfahrbereich von 200 mm. Er verfügt über einen linearen elektrodynamischen Direktantrieb, wobei die gestellfesten Flachspulen über einen Wasserkreislauf temperiert werden. Der Läufer wird mit Hilfe aerostatischer Buchsen linear geführt und trägt die Zerodur™-Spiegelecke, die als Reflektor für die Laserinterferometer dient. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sind Antrieb, Läufer und Spiegelecke bereits in den Dimensionen für ein zweiachsiges System mit 200 mm x 200 mm Verfahrbereich ausgeführt. Ein dSpace™ DSP-System übernimmt die Informations- und Datenverarbeitung, während die Modellierung von System und Regelung mit Matlab Simulink™ erfolgte (s. Abb. 1).

Der LMS200 dient als Demonstrator zum Test einzelner Funktionsgruppen, wie auch zur Erprobung des Systems als Ganzheit und zur gezielten Untersuchung der Einflussfaktoren für eine Reduzierung der Positionierunsicherheit. In der Basiskonfiguration (s. Abb. 2) besitzt der Demonstrator folgende Eigenschaften:

- Verfahrbereich: 200 mm
- Messauflösung: 1,6 nm (0,8 nm)
- Geschwindigkeit: 10 mm/s (5 mm/s)
- bewegte Masse: 14 kg
- maximale Antriebskraft: 20 N

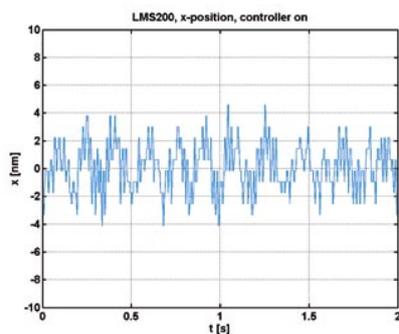


Abb. 3: x- Messsignal im geregelten Zustand LMS200 Basiskonfiguration

Fig. 3: x- measuring signal in controlled state LMS200 basic configuration

Im Betrieb ermöglicht dieses Antriebssystem eine Positionierung des Läufers innerhalb eines Verfahrbereiches von 200 mm, wobei in der Basiskonfiguration im geregelten Zustand eine Positionierunsicherheit von  $u_x = 4.8 \text{ nm}$  ( $3 \sigma$ ) erzielt wird (s. Abb. 3). An dieser Stelle bietet der LMS200 als Experimentalaufbau die Möglichkeit, Störquellen innerhalb und außerhalb des Systems zu identifizieren, deren Einfluss auf die Wegmessung bzw. auf das Positionierverhalten zu untersuchen und so schrittweise die Performance des Positioniersystems zu steigern. So konnten durch gezielte Analyse der einzelnen Funktionsgruppen und eine Reihe

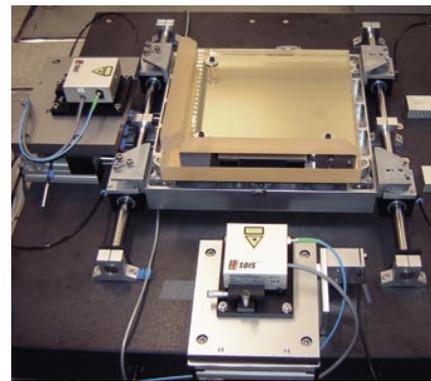


Abb. 2: LMS200 Lineardemonstrator für 200 mm

Fig. 2: LMS200 linear demonstrator for 200 mm

stable corner cube of Zerodur™ glass ceramics is moved and positioned in all six axes. For future nanopositioning machines with positioning ranges of several 100 mm the use of integrated MCD for highly precise lateral positioning of the reflector is strived for. Owing to the large geometric dimensions in connection with the demand for highest accuracy we are here faced with new challenges for the design of a drive system as a mechatronic system. This in particular applies to its basic structure, as well as to the selection, design and integration of measuring system, drive and guidance as decisive functional groups in the measuring systems. An intermediate result of the current work for the design of such positioning systems is the LMS200, a linear positioning system for a positioning range of 200 mm. It has a linear electrodynamic direct drive and the temperature of the frame-mounted flat coils is kept constant by means of a water cycle. The slider is guided in linear direction and carries the Zerodur™-corner cube, which serves as a reflector for the laser interferometers. In order to achieve results as meaningful as possible, the drive, slider and reflector have already been designed in the dimensions for a biaxial system with 200 mm x 200 mm positioning range. A dSpace™ DSP-System takes on information and data processing, while modeling and control of the system took place with Matlab Simulink™ (Fig. 1).

The LMS200 serves as demonstrator for testing individual functional groups, as also for testing the system as a whole and for the specific investigation of influencing factors for a reduction of the positioning uncertainty. In the basis configuration (Fig. 2) the demonstrator shows the following properties:

- Positioning range: 200 mm
- Measuring resolution: 1,6 nm (0,8 nm)
- Velocity: 10 mm/s (5 mm/s)
- Moving mass: 14 kg
- Maximal driving force: 20 N.

In operation this drive system allows the positioning of the slider within a positioning range of 200 mm and in basic configuration, in a controlled state, a positioning uncertainty of  $u_x = 4.8 \text{ nm}$  ( $3\sigma$ ) is achieved. (Fig. 3). The

von Messungen zum dynamischen Verhalten des Systems zielführende Maßnahmen abgeleitet werden:

- Verbesserung der Aufstellungsbedingungen und der Schwingungsisolierung
- Verbesserung der thermischen und akustischen Abschirmung
- Erhöhung der Steifigkeit zwischen Kraftangriffspunkt und Laserreflektor
- Vereinfachung der mechanischen Struktur
- Erhöhung der Messauflösung (auf 0,2 nm)

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen werden die dynamischen Eigenschaften und damit auch die Positioniereigenschaften des LMS200 deutlich verbessert. Messungen zur Streckenidentifikation für diese neue Konfiguration bestätigen dies und liefern gleichzeitig die Basis für eine Optimierung der Reglerparameter und eine Berücksichtigung der Streckeneigenschaften bei der Auslegung des Zustandsreglers. Im Ergebnis führt dies, verglichen mit der Basiskonfiguration zu einer deutlich verringerten Positionierunsicherheit im geregelten Zustand. Diese beträgt nunmehr  $u_x = 0,35 \text{ nm}$  ( $3\sigma$ ) (s. Abb. 4). Auch Schritte mit Schrittweiten von  $\Delta x = 1 \text{ nm}$  und darunter sind nun mit dem LMS200 möglich (s. Abb. 5).

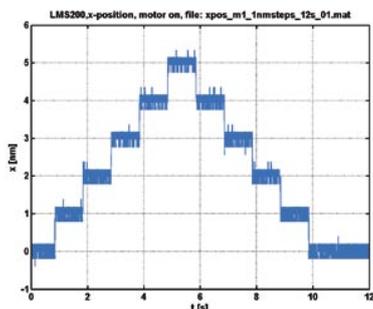


Abb. 5: Positionierung in Schritten mit  $\Delta x = 1 \text{ nm}$  mit dem LMS200 (Primärwerte)

Fig. 5: Positioning in steps with  $\Delta x = 1 \text{ nm}$  with the LMS200 (primary values)

## Ausblick

Zukünftige Arbeiten auf diesem Gebiet zielen darauf ab, Schwankungen des Streckenübertragungsverhaltens z.B. an den Rändern des Verfahrbereiches zu erfassen und zu kompensieren. Auch hierfür stellt der LMS200 als Demonstrator eine gut geeignete Plattform dar. Darüber hinaus finden die am LMS200 und in den Voruntersuchungen gesammelten Erkenntnisse Eingang in die Konzeptentwicklung für einen mehrachsigen Demonstrator (x,y) mit 250 mm x 250 mm Verfahrbereich. Langfristig besteht das Ziel in der Realisierung eines vakuumtauglichen Präzisionspositioniersystems mit einem Verfahrbereich von 350 mm x 350 mm und magnetischen bzw. vakuumtauglichen aerostatischen Führungen.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. Steffen Hesse

Tel.: +49 (3677) 69-5567

E-Mail: steffen.hesse@imms.de

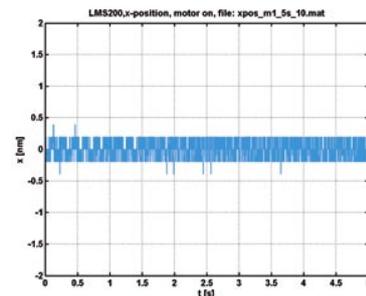


Abb. 4: x- Messsignal des LMS200 im geregelten Zustand (Primärwerte)

Fig. 4: x- measuring signal of the LMS200 in controlled state (primary values)

LMS200, as an experimental set-up, here offers the possibility to identify the interference sources inside and outside of the system, to investigate the influence of which on distance measuring or positioning behaviour and that way a step-by-step increase in the performance of the positioning system. As a result goal oriented measures could be derived by specific analysis of the individual functional groups and several measurements on the dynamic behaviour of the system:

- Improvement of the installation conditions and vibration insulation
- Improvement of thermal screening and acoustic cushioning
- Increase in the stiffness between force application point and laser reflector
- Simplification of the mechanical structure
- Increase in the measuring resolution (to 0.2 nm)

By the realisation of these measures, the dynamic properties and with that also the positioning properties of the LMS200 are definitely improved. Measurements on the path identification for this new configuration have confirmed this and at the same time delivered the basis for an optimisation of the controller parameters and the consideration of path parameters in the design of the state controller. The result, compared to the basic configuration, is a clearly reduced positioning uncertainty in controlled state. This is now only  $u_x = 0,35 \text{ nm}$  ( $3\sigma$ ) (Fig. 4). Also steps with step width of  $\Delta x = 1 \text{ nm}$  and below are now possible with the LMS200. (Fig. 5).

## Prospect

Future work aims at recording and compensating variations in the path transmission behaviour e.g. at the edges of the positioning range. Here too the LMS200 as a demonstrator represents a well suitable platform. Moreover the knowledge gained the pre-investigations has been used in concept development for a multiaxial demonstrator (x,y) with 250 mm x 250 mm positioning range. In the long term the work aims at the realisation of a vacuum compatible precision positioning system with a positioning range of 350 mm x 350 mm and magnetic or vacuum compatible aerostatic guidings.

## Direct drives for laser microprocessing and surface measurement technology

### Ausgangssituation

Die seit Jahren steigenden Anforderungen an die Präzision von Bauteilen der Feinwerktechnik, der Präzisionstechnik, der Mikrotechniken und der MEMS bedingen immer bessere Fertigungsverfahren und genauere Maschinen. Bei der mechanischen Fertigung, insbesondere beim Urformen, Umformen und bei der spanenden Bearbeitung liegen die Grenzen der Fertigungsgenauigkeit derzeit im Bereich einiger Mikrometer.

Bei Anwendung berührungsloser Bearbeitungsverfahren, wie z.B. der Präzisionslaserbearbeitung und in der Oberflächenmesstechnik, sind z.T. wesentlich höhere Genauigkeiten erzielbar. Voraussetzung dafür ist eine entsprechend präzise relative Positionierung zwischen Werkstück und Werkzeug bzw. Messtaster. Positioniergenauigkeiten im Sub-Mikrometerbereich sind mit klassischen Positioniersystemen, insbesondere bei mehrachsigen Anordnungen, unter industriellen Fertigungsbedingungen nicht realisierbar.

Deshalb wurden an der IMMS gGmbH, ausgehend von Grundlagenentwicklungen der TU Ilmenau, im Rahmen verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte planare elektrodynamische Direktantriebe entwickelt und untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen in Folgeentwicklungen ein, die in weiterführenden Projekten gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung, z.B. mit ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH und der Friedrich-Schiller-Universität Jena, realisiert werden konnten.

### Aufbau der Direktantriebe

Die planaren elektrodynamischen Direktantriebe bestehen aus drei bzw. vier in einem luftgeführten Aktor symmetrisch angeordneten linearen Direktantrieben, der in den Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $\varphi_z$  mit höchster Struktursteifigkeit und exzellentem dynamischen Verhalten durch ein magnetisches Feld geführt wird. Das Motorkonzept vermeidet mechanische Führungs- und Lagerelemente sowie elektrische Zuleitungen zum Aktor; lediglich Druckluft- und ggf. Vakuumschläuche werden für die Versorgung der Luftführungen zum Läufer geführt.

Das interne Messsystem ist als Flächenmassstab (Maßverkörperung) ausgeführt, der in den Aktor, unmittelbar unter der Objektebene, integriert wurde. Es wird von einem Dreifachsensorsystem optisch abgetastet und ermöglicht somit die Bestimmung der Relativlage und -bewegung des Aktors in allen drei Bewegungsrichtungen  $x$ ,  $y$  und  $\varphi_z$ . Die zentrische Anordnung des Sensorkopfes unterhalb des Läufers gestattet es, Abbefehler bei ebenfalls zentrischer Lage eines Bearbeitungs- (bei Einsatz als Fertigungsmaschine) oder Antastpunktes (als Messmaschine) weitgehend zu eliminieren. Eine leistungsfähige LINUX-Steuerung ermöglicht eine voll-synchrone, sub-mikrometergenauere Bewegung der Achsen

### Initial situation

*The requirements, which have been increasing for years, made on the precision of components used in precision mechanics, precision technology, microtechnology and MEMS demand for always better production methods and machines with a higher accuracy. In mechanical production, in particular in primary shaping, reshaping and in metal-cutting the limits of the production accuracy are currently in the range of some micrometers.*

*By using contactless processing methods, e.g. precision laser processing and in surface measuring technology, considerably higher accuracies can partly be achieved. Precondition is the correspondingly precise relative positioning between workpiece and tool or measuring probe. With classical positioning systems positioning accuracies in the sub-micrometer range, especially in case of multi-axial arrangements, cannot be realized under industrial manufacturing conditions.*

*Therefore the IMMS, based on fundamental developments made by the TU Ilmenau, within various research and development projects has developed and investigated planar electrodynamic direct drives. The knowledge gained from that was used in subsequent developments, which could be realized in further projects together with partners from industry and research, e.g. with ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH and the Friedrich-Schiller-University Jena.*

### Structure of direct drives

*The planar electrodynamic direct drives consist of three or four linear direct drives symmetrically arranged in an air-guided actuator, which in the coordinates  $x$ ,  $y$  and  $\varphi_z$  is guided through a magnetic field with highest structural stiffness and excellent dynamic behaviour. The motor concept avoids mechanical guiding and bearing elements as well as electric leads to the actuator; merely compressed air and, if necessary, vacuum pipes are, for the supply of the air guides, led to the slider.*



**Abb. 1:** Neuentwickelter planarer elektrodynamischer Direktantrieb PPS 200-4-V3

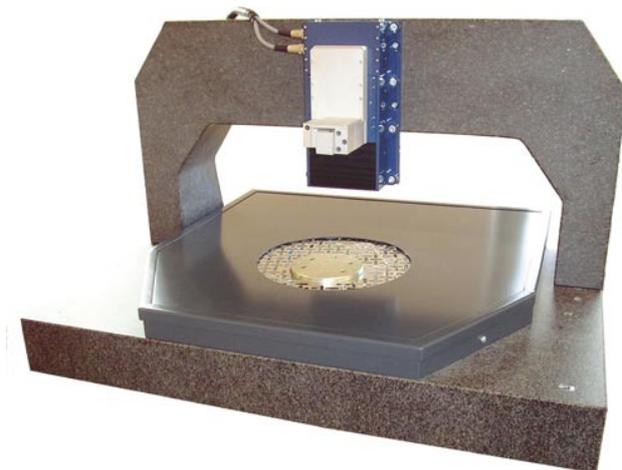
**Fig. 1:** Newly developed planar electrodynamic direct drive PPS 200-4-V3

bei hohen Bahngeschwindigkeiten. Die Steuerungselektronik und die Regelungsalgorithmen sorgen einerseits dafür, dass eine hohe Bahngenauigkeit und andererseits eine hohe Geschwindigkeitskonstanz erreicht werden können. Die planaren elektrodynamischen Direktantriebe weisen gegenüber klassischen Antrieben folgende Vorteile auf:

- Integration von drei bzw. vier Antriebsachsen in einem Aktor mit insgesamt drei Freiheitsgraden ( $x$ ,  $y$ ,  $\varphi_z$ )
- das integrierte 3D-Messsystem für die drei Antriebsbewegungen ist im Aktor unmittelbar unter der Objektebene implementiert
- auf Grund der Verwendung von Luftführungen erfolgt die Aktorbewegung absolut reibungs- und wartungsfrei
- die Positionier- und Bahngenauigkeit ist abhängig vom verwendeten Messsystem:
  - 1  $\mu\text{m}$  (Standard)
  - 0,1  $\mu\text{m}$  (Einsatz spezieller Werkstoffe, Kühlung, Temperaturkompensation u.a.)
  - 1 nm (Laserinterferometer)
- großer Geschwindigkeitsbereich: 20  $\mu\text{m/s}$  ... 500 mm/s
- hohe Geschwindigkeitskonstanz
- reinraumkompatibel.

## Ergebnisse

Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entstand in Zusammenarbeit mit der TETRA GmbH eine neue Baureihe mit den Planarantrieben PPS 100-3 (Verfahrbereich  $\varnothing$  100 mm) (s. Abb. 2), PPS 200-4 (Verfahrbereich  $\square$  200mm) und PPS 250-4 (Verfahrbereich  $\square$  250mm) (s. Abb. 1).



**Abb. 2:** Neuentwickelter planarer elektrodynamischer Direktantrieb PPS 100-3-V34

**Fig. 2:** Newly developed planar electrodynamic direct drive PPS 100-3-V34

*The internal measuring system is designed as a planar measuring unit (standard) integrated into the actuator directly below the object level. It is optically scanned by a three-sensor system and that way allows the determination of the relative position and movement of the actuator in all three movement directions  $x$ ,  $y$  and  $\varphi_z$ . The central arrangement of the sensor head below the slider allows almost the complete elimination of Abbe errors in also central position of a processing (if used as a production machine) or sensing point (as measuring machine).*

*An efficient LINUX-control unit allows the fully synchronous, sub-micrometer accurate movement of the axes at high path velocities. Control electronics and control algorithms make sure that, on the one hand, high path velocities, and, on the other hand, high velocity constancy can be achieved.*

*Compared to classical drives, the planar electrodynamic direct drives offer the following advantages:*

- *integration of three or four drive axes in one actuator with totally three degrees of freedom ( $x$ ,  $y$ ,  $\varphi_z$ )*
- *the integrated 3D-measuring system for the three drive movements is implemented in the actuator directly below the object level.*
- *owing to the use of air guides the actuator movement takes place absolutely friction- and maintenance-free.*
- *the positioning and path accuracy depends on the measuring system used:*
  - 1  $\mu\text{m}$  (standard)
  - 0,1  $\mu\text{m}$  (use of special materials, cooling, temperature compensation a.o.)
  - 1 nm (laser interferometer)
- *large velocity range: 20  $\mu\text{m/s}$  ... 500 mm/s*
- *high velocity constancy*
- *ultra clean room compatible.*

## Results

*Within the research and development work carried out in cooperation with the TETRA GmbH a new series with the planar drives PPS 100-3 (positioning range  $\varnothing$  100mm), (s. Fig. 2) PPS 200-4 (positioning range  $\square$  200mm) and PPS 250-4 (positioning range  $\square$  250mm) came into being (s. Fig. 1).*

*These new developments a. o. contain:*

- *a water cooling unit integrated into the coil systems, discharging the heat generated in the drive, in order to avoid heat penetration into the machine and owing to that a deformation of the stator and the standard.*
- *an optional compensation of errors in the standard via the software*
- *a completely newly developed control concept on the*

Diese Neuentwicklungen enthalten u.a.

- eine in die Spulensysteme integrierte Wasserkühlung, die die im Antrieb entstehende Wärme abtransportiert, um einen Wärmeeintrag in die Maschine und damit eine Deformation des Stators und der Maßverkörperung zu verhindern
- eine optionale Kompensation von Fehlern der Maßverkörperung per Software
- eine völlig neu entwickeltes Steuerungskonzept auf der Basis eines embedded LINUX-PC einschließlich maschineninterner Datenaufbereitungs- und Kommunikationselektronik
- weiterentwickelte Regelungsalgorithmen und optimierte Maschinenparameter
- eine neue Bedienoberfläche einschließlich erweiterter Bedienfunktionen für LINUX und Windows.

Anwendungsgebiete für die Antriebssysteme finden sich derzeit in der:

- Laserpräzisionsbearbeitung, insbesondere der Fertigung von:
  - Bauteilen für die Mikrotechnik und die MEMS
  - medizinischen Produkte, wie spezielle medizinische Nadeln und Stents
- Oberflächenmesstechnik und -inspektion

## Leistungsangebot

- Konzipierung und Entwurf neuartiger applikations- und kundenspezifischer Antriebslösungen, Aufbau, Inbetriebnahme und Test der mechatronischen Systeme
- Systemmodellierung und Simulation zur Vorhersage des Systemverhaltens, z.B. mechanische Deformation, der Dynamik und des magnetischen oder thermischen Verhaltens
- Analyse, Test und Optimierung
- Entwicklung applikationsspezifischer Steuerungen, z.B. schneller Bahnsteuerungen für planare Hybridschrittantriebe und kaskadierte Linearachsen
- Adaption geeigneter Sensorik und Steuerungstechnik und Integration in Geräte und Anlagen
- Anpassung vorhandener Direktantriebslösungen an kundenspezifische Applikationen
- Entwicklung komplexer kundenspezifischer Systemlösungen

*basis of an embedded LINUX-PC including machine internal data preparation and communication electronics.*

- *further developed control algorithms and optimised machine parameters*
- *a new graphical user interface including extended operator functions for LINUX and Windows.*

*Application areas for the drive systems are currently found in:*

- *laser precision processing, in particular the manufacture of*
  - *components for microtechnology and MEMS as well as*
  - *medical products, e.g. special medical needles and stents*
- *surface measuring technology and inspection.*

## Performances

- Conception and design of new application- and customer-specific drive solutions, installation, commissioning and test of mechatronic systems
- System modelling and simulation for the prediction of the system behaviour, e.g. mechanical deformation, dynamics and magnetic or thermal behaviour
- Analysis, test and optimisation
- Development of application specific control units, e. g. fast path control units for planar hybrid incremental drives and cascaded linear axes
- Adaptation of suitable sensorics and control systems and integration into devices and equipments
- Adaptation of existing direct drive solutions to customer-specific applications
- Development of complex customer-specific system solutions.

Ansprechpartner / Contact:

*Dr.-Ing. Frank Spiller  
Tel.: +49 (3677) 69-5561  
E-Mail: frank.spiller@imms.de*



»Wir bündeln Präzision und Komplexität, Miniaturisierung und Intelligenz für Innovationen.«

Auszug aus dem Leitbild der IMMS gGmbH

*»We bundle precision and complexity, miniaturisation and intelligence for innovations.«*

*abridgement of the corporate vision of the IMMS gGmbH*

SYSTEM DESIGN

*SYSTEM DESIGN*

Die Arbeiten im Themenbereich „System Design“ folgten auch im Jahr 2006 der bewährten Ausrichtung auf den Entwurf und die Realisierung komplexer eingebetteter elektronischer Systeme mit Anwendungen vorzugsweise dort, wo maschinelle Intelligenz hin zu Sensoren bzw. Aktoren verteilt werden soll. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten dazu erfordern die kombinierte Bearbeitung von Hardware-, Software- und Kommunikationsaspekten. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Forschungsaufgaben wurden dabei konsequent entsprechend der sich abzeichnenden Trends ausgerichtet bzw. entwickelt und zielten auf die kontinuierliche Weiterentwicklung in den drei thematischen Kompetenzschwerpunkten:

- Optimierung von Plattformen für industrielle Einsatzfälle,
- Informations- und Kommunikationstechnologie, insbesondere industrielle Kommunikation und
- Entwicklung hocheffizienter Entwurfsabläufe ab.

Eine dieser aktuellen Tendenzen in der Informations- und Kommunikationstechnik besteht in der Vernetzung von Systemen. Dabei werden immer mehr drahtlose Technologien zur Verfügung stehen und auch zum Einsatz kommen. Einsatzfelder für drahtlose Vernetzungstechnologien liegen in der Integration von Sensoren in eine bestehende Kommunikationsinfrastruktur sowie in den Bereichen Fernüberwachung, Fernsteuerung, Fernmessung, Transport, Logistik, Flottenmanagement, Sicherheitstechnik bzw. Gesundheitswesen.

Nach der Demonstration einer drahtlosen Sensoranbindung für geringe Datenraten zur Übertragung extrahierter Merkmale erfolgte 2006 die Weiterentwicklung sowohl hin zu deutlich höheren Datenraten als auch zu einer deutlich höheren Knotenanzahl im Sensornetz. Diese Arbeiten wurden gleichzeitig dadurch konsolidiert, dass sowohl im bebauten Umfeld als auch im Freiland Erkenntnisse zum Ausbreitungsverhalten der Funksignale und zu den praktischen Vernetzungscharakteristiken experimentell gewonnen wurden (s. S. 36). Darüber hinaus wurde mit der drahtlosen Übertragung biomedizinischer Signale ein gleichwohl interessantes und innovatives Anwendungsfeld erschlossen.

Auf dem Gebiet der Signalbereitstellung durch sensornaher Signalverarbeitung wurde erfolgreich die Auswertung von Multisensoren gezeigt. Die Systemintegration von Sensorik als ein Schritt, elektronische Funktionseinheiten intelligenter zu machen, wird im Zusammenhang mit der zunehmenden Vernetzung bis hin zur durchgängigen Kommunikation auch weiterhin in besonders markanter Weise unser erlebbares Umfeld prägen.

Weitere Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf den energieautarken Betrieb von eingebetteten Signalverarbei-

*In 2006, work at the department of System Design continued to follow the proven orientation on the design and implementation of complex embedded electronic systems, with primary applications in areas where machine intelligence is to be distributed towards sensors and actors respectively.*

*To this end, R&D activities require combined handling of hardware, software, and communication aspects. In the course of this, the content-wise focus of research activities has been consequently aligned with and developed according to evident trends and aimed at the continuous advancement of the three primary topics of competence:*

- *optimization of platforms for industrial applications,*
- *information and communication technology, particularly industrial communications, and*
- *development of highly-efficient design flows.*

*One of the recent tendencies in information and communication technology consists in networked systems. In this area, an increasing number of wireless technologies will become available and thus finally be deployed.*

*Potential applications of wireless networking technologies include the integration of sensors into existing communication infrastructures as well as the areas of remote monitoring, remote control, telemetry, transportation, logistics, fleet management, security, and health care. A system demonstrating a wireless sensor attachment solution for low data rates for the transmission of extracted features has been enhanced towards both significantly higher data rates and a significantly higher number of nodes within the sensor network. This work has simultaneously been consolidated by experiments regarding RF transmission and practical networking characteristics both in urban and open air test sites (see p. 36). Moreover, through wireless transmission of biomedical signals, an application area has been entered that is as interesting as it is innovative.*

*In the area of data provision through sensor-integrated signal processing, the evaluation of multi-sensors has successfully been shown. In conjunction with the increasing interconnectedness and finally ubiquitous communication, the integration of sensors into systems as a step towards making functional units more intelligent will continue to shape the world as we experience it in a particularly distinctive way.*

*Further research efforts concentrated on the energy-autonomous operation of embedded signal processing units. Sensor networks such as those described above can be realized in a highly energy-efficient way. It is therefore only logical to seek ways to autonomously power such*

tungseinheiten. Die oben beschriebenen Sensornetzwerke können sehr energieeffizient realisiert werden. Dann ist es nur folgerichtig, Wege zur autarken Energieversorgung solcher Einheiten zu suchen, um diese dann völlig autonom betreiben zu können. Hierzu wurden die Grundlagenuntersuchungen aus dem Vorjahr zur praktischen Anwendungsreife für eine gegebene industrielle Anwendung geführt (s. S. 39).

Der Einsatz von eingebetteten Systemen im Bereich der Aktorik zielte auch 2006 auf die Realisierung hochperformanter industrieller Steuerungen mit der bewährten Kombination von Echtzeitbetriebssystemen (Echtzeit-Linux) und Echtzeitnetzungen ab. Im Ergebnis wurde eine weitere linuxbasierte Steuerung für einen mechatronischen Präzisionsantrieb der neuesten Generation mit hoher Dynamik und Positioniergenauigkeit zum industriellen Einsatz gebracht (s. S. 29). Mit der Synchronisation zweier Regler über eine Echtzeitschnittstelle wurde ein Ergebnis erzielt, welches für die Folgejahre die Basis für die Erforschung verteilter Anwendungen zur Antriebssteuerung darstellen wird.

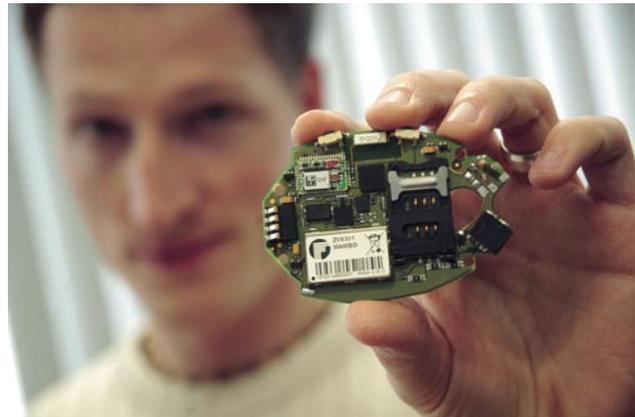
Ein Charakteristikum bei der Arbeit im Themenbereich besteht in dem Bemühen, weitgehend Open-Source-Technologien (Linux, eCos, TinyOS) für die Entwicklung kundenspezifischer Produkte zu nutzen.

Die Forschungsaktivitäten konnten nach einem Auswahlverfahren, u.a. auch im Rahmen zweier regionaler BMBF-Wachstumskerne, verankert werden (s. S. 11 und 12). Neben diesen weisen auch die Industrieprojekte einen hohen innovativen Gehalt aus, wie ein großer Anteil der unter NDA laufenden Arbeiten belegt.

Auch im Jahr 2006 hat sich die Erfahrung bestätigt, dass eine erfolgreiche Durchführung von Projekten zur Entwicklung eingebetteter Systeme zwingend ein enges Zusammenwirken von Kompetenzträgern aller drei Forschungsgebiete erfordert.

Studentische Aktivitäten der Diplomanden, Praktikanten und wissenschaftlichen Hilfskräfte trugen zur Unterstützung der F&E-Arbeiten bei und begünstigten andererseits durch das Kennenlernen praxisbezogener Aufgaben und Vorgänge die schnelle Vermittlung von Absolventen in das Berufsleben.

Die F&E-Aktivitäten des Themenbereiches wurden in nationalen und internationalen Vorträgen und Zeitschriftenbeiträgen publiziert.



*units, in order to be able to operate them completely autonomously. To this end, basic research from the preceding year has been enhanced to be practically usable for a given industrial application (see p. 39).*

*In 2006, the deployment of embedded systems in the area of actuators was aimed at the realization of highly performance industrial controls based on the proven combination of real-time operating systems (real-time Linux) and real-time networking. As a result, another Linux-based control for a mechatronics precision drive of the newest generation with high dynamics and positioning accuracy has been put to industrial use (see p. 29). By synchronizing two regulators via a real-time network interface, a result has been achieved which will form a basis for research into distributed applications for controlling mechatronics drives during the years to come.*

*After passing a selection process, research activities could, among others, also be anchored within the context of two major publicly funded projects (see p. 11 and 12). Besides these, industrial projects exhibited a high degree of innovation as well, as evidenced by a large percentage of projects done under non-disclosure agreements.*

*As throughout the preceding years, 2006 has confirmed the experience that the successful completion of projects involving embedded systems invariably requires a close cooperation of key personnel from all three areas of research. Activities of undergraduate students, interns, and scientific assistants supported R&D work on the one hand and contributed to the rapid placement of graduates on the other hand thanks to practical tasks given to them. R&D activities of the department have been published in national and international talks and magazine articles.*

**Ansprechpartner / Contact:**

*PD Dr.-Ing. habil. Hannes Töpfer  
Tel. +49 (3677) 69-5540  
E-Mail: hannes.toepfer@imms.de*

## System design issues in advanced applications of wireless sensor networks

Ein drahtloses Sensor-Netzwerk (Wireless Sensor Network, WSN) [1] besteht aus mehreren Sensoren, üblicherweise gepaart mit einem Microcontroller, die über Funkstrecken ein Netzwerk bilden. In Abhängigkeit äußerer Umstände können drahtlose Sensor-Netze mittels verschiedener Topologien realisiert werden. Während vergleichsweise einfache WSN-Installationen immer verbreiteter werden, hat der technologische Fortschritt erst unlängst die Betrachtung fortgeschrittener Szenarien ermöglicht. Derartige Szenarien können große Netzwerke, "harte" Umgebungsbedingungen (wie Funk-Hindernisse, elektromagnetische Interferenz), Langzeit-Autonomie, sich ändernde Topologien oder andere spezifische Anwendungsanforderungen involvieren und resultieren damit in verschiedenen fundamentalen Herausforderungen bei ihrer Realisierung. Nachfolgend findet sich eine Aufzählung der wichtigsten dieser Herausforderungen.

### Entwurf großer WSNs

Während der Entwicklung können nur kleine Netzwerke (bezüglich sowohl der Abstände zwischen Knoten als auch der Gesamtzahl an Knoten) praktisch getestet werden. Es ist deshalb unabdinglich, ein Netzwerk vor seiner Implementierung zu modellieren und simulieren. Inzwischen ist eine Vielzahl von Werkzeugen zur Modellierung und Simulation von WSNs verfügbar (z.B. Ptolemy [2], s. Abb. 1). Jedoch besteht noch ein großer Bedarf an Forschung hinsichtlich der Skalierbarkeit der Simulationen, ihrer Integration in den Design-Flow sowie hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse.

### Zuverlässigkeit und Robustheit

Unterschiedliche WSN-Topologien bieten unterschiedliche Grade der Zuverlässigkeit. Zum Beispiel eignen sich selbst-

A Wireless Sensor Network (WSN) [1] consists of any number of sensors, usually combined with a microcontroller, which form a network using RF links. Depending on external circumstances, wireless sensor networks can be realized using various topologies. While comparatively simple WSN installations are becoming evermore widespread, technological progress has only recently enabled the consideration of advanced scenarios. Such scenarios may involve large networks, "tough" environments (e.g., RF obstacles, EM interference), long-term autonomous operation, changing topologies, or other specific application requirements, and result in various fundamental design challenges. Following below is a list of the most significant of these challenges.

### Design of large WSNs

During development, only small networks (both with respect to inter-node distances and the total number of nodes) can be tested practically. It is therefore necessary to model and simulate a network prior to its implementation. Meanwhile, a wide variety of WSN modelling and simulation tools have become available (e.g., Ptolemy [2], see fig. 1). However, there still is a significant demand for research regarding scalability of the simulations, design flow integration, and reliability of simulation results.

### Reliability and robustness

Different WSN topologies offer different levels of reliability. For example, self-adaptive mesh topologies are best suited in situations where individual nodes may fail or become disconnected. One particular issue with wireless transmissions lies in the fact that within the few frequency bands which are internationally license-free, a number of standardized and proprietary protocols have been put to use in recent years. There also are side effects of other technologies, such as microwave ovens, which also cause interferences.

### Contradictory requirements/goals and technological adaptation

The requirements of WSN designs tend to exceed what is technologically feasible. As there is no silver bullet design, it is necessary to adapt available technologies in order to achieve a compromise between desired and feasible parameters fulfilling the requirements of advanced application scenarios.

### Expectations vs. reality

Theoretical attributes of a given RF technology are one thing, but experience shows that practical properties often differ to a large extent. The environment in which a

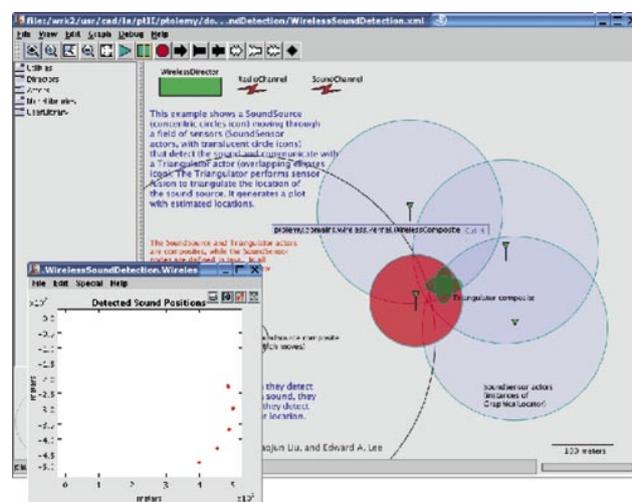


Abb. 1: Einsatz von Ptolemy II zur Simulation eines Sensor-Netzwerks

Fig. 1: Screenshot of Ptolemy II, used for simulating a wireless sensor network

adaptive Mesh-Topologien (vermaschte Netze) am besten in Situationen, in denen einzelne Knoten ausfallen oder anderweitig vom Rest des Netzes abgeschnitten werden können. Ein konkretes Problem mit drahtlosen Übertragungen liegt in der Tatsache begründet, dass innerhalb der wenigen international lizenzfrei nutzbaren Frequenzbänder während der vergangenen Jahre eine Reihe standardisierter Protokolle in die Nutzung überführt wurden. Außerdem kommt es zu Seiteneffekten durch andere Technologien, wie z.B. Mikrowellen-Öfen, welche ebenfalls Interferenzen verursachen.

## Konkurrierende Anforderungen/Zielstellungen und technologische Anpassungen

Die Anforderungen an WSN-Entwürfe tendieren dazu, das technologisch Machbare zu überschreiten. Da es keine universelle Lösung gibt, die sämtliche Anforderungen erfüllt, ist es stattdessen notwendig, verfügbare Technologien anzupassen, um einen Kompromiss zwischen gewünschten und machbaren Parametern zu finden, der die Anforderungen fortgeschrittener Anwendungsszenarien erfüllt.

## Erwartungen verglichen mit der Realität

Die theoretischen Eigenschaften einer gegebenen Funktechnologie sind eine Sache; die Erfahrung hingegen zeigt, dass die praktischen Eigenschaften oft um Größenordnungen abweichen. Die Umgebung, in der ein WSN letztlich installiert wird, bringt oft bestimmte Funkeigenschaften mit sich, die die Signalausbreitung und den Empfang beeinflussen. Im Verlaufe eigener WSN-Projekte haben wir Experimente hinsichtlich der praktischen Funkreichweite, Datenraten und Stöempfindlichkeit verschiedener Sensorknoten-Plattformen durchgeführt.

## Smart Sensor Gateways

Wenn Sensordaten auch verteilt und örtlich begrenzt erfasst werden, so müssen diese Werte letztlich oft doch zentral verarbeitet werden. Die logische Konsequenz besteht darin, einen so genannten "Smart Sensor Gateway" in das Netzwerk zu integrieren, welcher die Daten an einer zentralen Stelle sammelt, sie extern zugreifbar macht und als Koordinator im Netzwerk fungiert (s. Abb. 2). Für ein solches Element gibt es keine universelle Lösung. Allerdings stellen so genannte "Smart Wireless Communication Devices" (SWCDs), vorgestellt in [3], eine geeignete Basis dar. Ein SWCD ist ein kompaktes, einbettbares Modul mit einem oder mehreren Langstrecken-Kommunikationsschnittstellen und – in diesem Fall – einer Schnittstelle hin zum Sensor-Netzwerk. Der überwiegende Teil der Funktionalität eines Smart-Sensor-Gateways ist als Software implementiert. Indem man generische von anwendungsspezifischer Funktionalität entkoppelt, können große Teile des Software-Entwurfs für der-

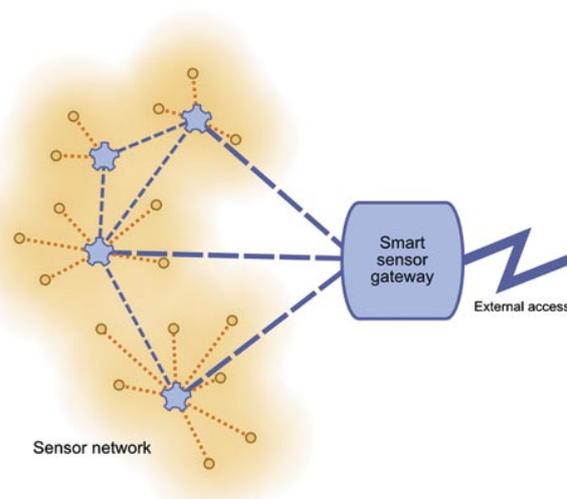


Abb. 2: Smart Sensor Gateway

Fig. 2: Smart Sensor Gateway

*WSN is finally installed often brings about particular RF characteristics influencing signal propagation and reception. This fact makes it necessary to perform practical measurements of these characteristics. In the course of WSN projects of our own, we have conducted experiments regarding the RF range and data rate of various sensor mote platforms and their susceptibility to electromagnetic interference.*

## Smart Sensor Gateways

*Despite the distributed, localized measurement of sensor data, these values often have to finally be processed centrally. The logical consequence consists in incorporating a "smart sensor gateway" into the network, which gathers data in a central location, makes them available for examination and external access, and acts as a coordinator within the network (see fig. 2) There is no general-purpose solution for this type of entity. However, smart wireless communication devices (SWCDs), such as introduced in [3], represent an adequate basis. An SWCD is a compact, embeddable module with one or more wide-range communication interfaces and, in this case, an interface to the sensor network. Most of a smart sensor gateway's functionality is implemented as software. By decoupling generic from application-specific functionality, significant portions of a smart sensor gateway design can be reused among different WSN projects.*

## Summary

*This article provides an insight into the challenges involved in the design of wireless sensor networks, particularly such for advanced application scenarios resulting in difficult environmental characteristics for RF infrastructures. If appropriate attention is paid to the aspects described,*

artige Gateways zwischen verschiedenen WSN-Projekten wiederverwendet werden.

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderungen beim Entwurf drahtloser Sensor-Netzwerke für fortgeschrittene Anwendungsszenarien, insbesondere solcher, deren Schwierigkeit in den Umgebungsbedingungen für Funk-Infrastrukturen begründet ist. Wenn den beschriebenen Aspekten angemessene Beachtung zuteil wird, ist es dennoch möglich, drahtlose Sensor-Netzwerke zu entwerfen, die in rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden können.

[1] Hellerstein, Joseph M., Hong, Wei; Madden, Samuel R.: *The sensor spectrum: technologies, trends, and requirements*. UC Berkeley, Intel Research Berkeley, MIT, 2003. In *SIGMOD Record*.

[2] *The Ptolemy Project*, UC Berkeley. <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/>

[3] Götze, Marco: *A flexible object-oriented software architecture for smart wireless communication devices*. In Jerraya, Ahmed Amine; Yoo, Sungjoo; Verkest, Diederik; Wehn, Norbert (editors): *Embedded software for SOC*, chapter 9, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

*it is still possible to design wireless sensor systems which can be operated in rough environments.*

Ansprechpartner / Contact:

*Dr.-Ing. Axl Schreiber*  
*Tel. +49 (3677) 69-5545*  
*E-Mail: axl.schreiber@imms.de*

[1] Hellerstein, Joseph M., Hong, Wei; Madden, Samuel R.: *The sensor spectrum: technologies, trends, and requirements*. UC Berkeley, Intel Research Berkeley, MIT, 2003. In *SIGMOD Record*.

[2] *The Ptolemy Project*, UC Berkeley. <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/>

[3] Götze, Marco: *A flexible object-oriented software architecture for smart wireless communication devices*. In Jerraya, Ahmed Amine; Yoo, Sungjoo; Verkest, Diederik; Wehn, Norbert (editors): *Embedded software for SOC*, chapter 9, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

# Entwicklung einer Stromversorgungseinheit für energieautarke elektronische Module

## Development of a power supply unit for energy-autonomous electronic modules

Für Kernbranchen der Volkswirtschaft wie Handel, Konsumgüter-, Automobil- und Elektronikindustrie eröffnen moderne, drahtlose Technologien wie RFID oder personennahe Netzwerke mit geringem Leistungsverbrauch wesentliche Potenziale bei der Optimierung logistischer Prozesse in der Warendistribution und in der Produktion. Diese entstehen durch die Möglichkeit zum Aufbau verteilter Systeme mit Anwendungen in der Sensorik, Logistik oder Fernüberwachung. Ein echter abgesetzter (remote) Betrieb solcher verteilter Komponenten wird möglich, wenn auch die Stromversorgung autark ausgeführt wird. Der traditionelle Ansatz, Batterien zu nutzen, führt bei einer hohen Anzahl verteilter Komponenten sehr schnell zu Problemen hinsichtlich Kosten und Wartung.

Im Rahmen von Forschungsarbeiten zu solchen energieautarken Systemen wurde ein Wandler zur Umformung von Bewegungsenergie in elektrische Energie zur Versorgung eines elektronischen Moduls mit einem Low-Power-Microcontroller entworfen.

Eine solche energieautarke Versorgung erfordert die Energiewandlung aus anderen physikalischen Domänen in elektrische Energie. Unter den Möglichkeiten, Energie aus der Umgebung des Systems in elektrische Energie umzuwandeln, ist das klassische elektromagnetische Prinzip eine viel versprechende Option, wenn mechanische Bewegung stattfindet. Für die hier beschriebenen Arbeiten wurde das Vorliegen einer reversierenden translatorischen Bewegung im System vorausgesetzt. Dafür wurde ein Wandlermodul zur Energieversorgung eines RFID-basierten Transponder-systems entwickelt. Dieser Prozess umfasste die Stufen mathematische Modellierung, Schaltungssimulationen, elektromagnetischer Entwurf, mechanischer Entwurf; prototypischer Aufbau und Test sowie praktische Erprobung im konkreten industriellen Umfeld und Optimierung.

Mit dem in Abbildung 1 gezeigtem Modul sollen im industriellen Einsatz Prozessparameter wie z.B. Herstellerdaten, Produktionstakraten, Einsatzdauer, Einsatzbedingungen und -ort oder mechanische Beanspruchung durch geeignete Sensorik erfasst und drahtlos an den übergeordneten Prozess weitergereicht werden.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. Martin Sachs  
Tel. +49 (0)3677 69 55 46  
E-Mail: martin.sachs@imms.de

*Present-day wireless technologies such as RFID or personal-area networks with low power consumption enable significant potentials regarding the optimization of logistic processes in goods distribution and production within such core branches of the national economy as commerce, consumer goods, automotive, and electronics industries. This is due to the ability to deploy distributed systems with applications in sensorics, logistics, or remote monitoring. A truly detached remote operation of such distributed components is possible, if the power supply is autonomous as well. The traditional approach of using batteries tends to quickly cause problems regarding costs and maintenance with a high number of distributed components.*

*In the course of research into such energy-autonomous systems, a converter for transforming kinetic into electric energy, in order to supply an electronic module containing a low-power microcontroller has been designed. An energy-autonomous supply like this requires energy to be transformed from other physical domains into electric energy. Among the options for converting energy available within the environment of a system into electric energy, the classical electromagnetic principle represents a promising option if mechanical motion occurs. In the context of the work described here, the presence of a reversing translatory motion within the system was assumed. For this, a converter module for supplying an RFID-based transponder system has been developed. This process was comprised of the stages mathematical modelling, circuit simulations, electromagnetic design, mechanic design, prototypical construction and test, practical evaluation within the specific industrial context as well as optimization.*

*Using the module shown in the figure, process parameters such as manufacturer data, production clock rates as well as duration, conditions, and place of operation or mechanical stress will be gathered by appropriate sensors and passed up to the higher-level process by means of wireless transmissions.*



Abb. 1: Darstellung des elektromagnetischen Wandlers neben zwei der Nahbereichsfunkmodule, die vom Generator zur Datenübertragung gespeist wurden. Zum Größenvergleich ist ein konventioneller AA-Akkumulator gezeigt.

Fig. 1: The electromagnetic converter next to two close-proximity RF modules supplied by the generator, in order to transmit data. A regular AA battery is shown as a means of dimensional reference.



»Mit integrierten Systemlösungen, unserem Können und unseren Erfahrungen vergrößern wir den Vorsprung im Wettbewerb um Mikroelektronik und Mechatronik.«

Auszug aus dem Leitbild der IMMS gGmbH

*»By means of integrated system solutions, our skills and our experience, we increase the competitive edge in microelectronics and mechatronics.«*

*abridgement of the corporate vision of the IMMS gGmbH*

MIKROELEKTRONIK

*MICROELECTRONICS*

Auch 2006 waren Mikroelektronik und Mikrosysteme weltweit entscheidende Triebkräfte für den technischen Fortschritt in allen Bereichen.

Die IMMS gGmbH erbringt Forschungsbeiträge zu analogen und Mixed-Signal-Systemen, HF-Schaltungen, Sensor- und optoelektronischen Systemen vom Architekturdentwurf über die Schaltungsimplementierung bis zum Layout und der Mustererprobung.

Einen breiten Raum nehmen Forschungen zu effektiven Designmethoden, zur Erhöhung der Robustheit, Fehlerfreiheit und Zuverlässigkeit elektronischer Systeme besonders im automotiven und industriellen Umfeld ein. Schwerpunkte im Methodikbereich waren und sind:

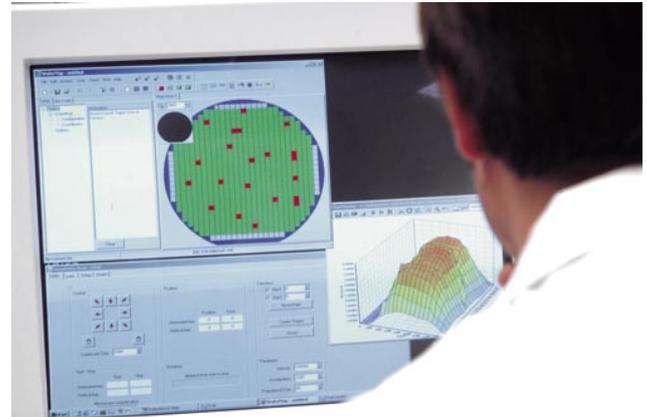
- die Feinanalyse des Schaltungsverhaltens mittels symbolischer Analyse (Anlog Insydes)
- Tools zur Designzentrierung und Robustheitssteigerung unter Berücksichtigung der Prozess- und Betriebstoleranzen
- formale Verifikation von digitalen Schaltungen und Übertragung auf analoge Schaltungen.

Spezialitäten im Institutsteil Erfurt bilden DVD-Leseschaltkreise und Lasertreiber, Hochtemperatur- und SOI-Schaltungen, ADC und Präzisionsverstärker. Eingeordnet sind Arbeiten zur Modellierung von Prozessen, Bauelementen, Photodioden und mikromechanischen Sensoren und deren messtechnische Bestätigung.

Mitarbeiter des Institutsteils Erfurt sind in vielen Gremien tätig, die die Designmethoden, HF-Schaltungen und Sensor-elektronik voranbringen und Forschungsergebnisse in die industrielle Anwendung überführen. Die IMMS gGmbH ist in konzeptionelle Arbeiten zur EDA (Electronic Design Automation), zum Test, zu RF- und RFID-Systemen, zu Design-Kits und deren permanenter Weiterentwicklung integriert. Das Institut arbeitet sehr eng mit der Halbleiter- und ASIC-Industrie zusammen und hat sich die Unterstützung von kleinen und mittelständischen Unternehmen als wichtiges Ziel für die Umsetzung der Forschungsergebnisse gestellt.

Die Ergebnisse der Arbeit sind auf den Web-Seiten der Forschungsprojekte, an denen das Institut beteiligt ist und der Fachgremien (z.B. [www.edacentrum.de](http://www.edacentrum.de)) in vielen Berichten einsehbar und werden auf internationalen und nationalen Tagungen, Workshops, Qualifizierungs- und Trainingsveranstaltungen publik gemacht.

Über Kundenaufträge und Forschungsprojekte hat das Institut ausgezeichnete Kontakte zu namhaften Halbleiterherstellern, zu Universitäten und Forschungsinstituten. Wir möchten für unsere Partner stets das Beste geben und ungelöste Aufgabenstellungen zu einer guten Lösung führen.



*Also in 2006 microelectronics and microsystems turned out to be worldwide decisive driving forces for technical progress in all areas.*

*The IMMS gGmbH contributes to research in the fields of analog and mixed-signal systems, RF-circuits, sensor and optoelectronic systems from architectural design over circuit implementation to layout and sample testing.*

*To a great extent research work on effective design methods, for increasing robustness, faultlessness and reliability of electronic systems, in particular in the automotive and industrial environment, was carried out. Core themes in the area of methodology were and are*

- *Fine analysis of the circuit behaviour by means of symbolic analysis (AnalogInsydes)*
- *Tools for design centring and increase in robustness by taking process and operating tolerances into account*
- *Formal verification of digital circuits and transfer to analog circuits*

*Specialities in the Institute division Erfurt are DVD-read circuits and laser drivers, high-temperature and SOI-circuits, ADC and precision amplifiers. Integrated is work on process modelling, devices, photo diodes and micromechanic sensors and their confirmation by test.*

*Staff members of the Institute division Erfurt are members of many committees, which support design methods, RF and sensor electronics and transfer the results from research work to industrial application. IMMS is integrated in conceptual work on EDA (Electronic Design Automation), on test, on RF and RFID-systems, on Design-Kits and their permanent further development. The IMMS gGmbH works in very close co-operation with the semiconductor and ASIC-industry and has been following its designated objective of supporting small and medium-sized companies in the application of research results.*

*The results of the work can be viewed on the Web-Sites of the research projects and expert committees*

Gleichzeitig möchten wir mit unseren Partnern die besten Methoden austauschen und weiterentwickeln.

Ansprechpartner / Contact:

*Prof. Dr. sc. techn. Franz Rößler*

*Tel. +49 (0)361 427-6639*

*E-Mail: franz.roessler@imms.de*

*(e.g. [www.edacentrum.de](http://www.edacentrum.de)) and are published at international and national congresses, workshops, qualification and training courses.*

*Through customer orders and research projects the Institute has excellent contacts to well-known semiconductor manufacturers, universities and research institutes.*

*For our partners we always give our best and lead unsolved problems to a good solution. At the same time we want to exchange with our partners the best methods and further develop them.*

## Modular data transmission systems in GHz-range

### Zielstellung

Mit der Einführung von neuen Übertragungsstandards für Frequenzen oberhalb von einem Gigahertz war es notwendig dafür auch Schaltungen und Systeme entwickeln, produzieren und charakterisieren zu können. Im Projektverbund mit dem Halbleiterhersteller X-FAB Semiconductor Foundries AG (Erfurt), der Technischen Universität Ilmenau, der Melexis GmbH (Erfurt) und der IMMS gGmbH waren bisher Realisierungen für Trägerfrequenzen bis 1 GHz möglich. Diese sollte 2006 bis 6 GHz erweitert werden.

### Entwicklungsverlauf und Ergebnisse

Für die Entwicklung stand ein BiCMOS-Prozess mit 350 nm Strukturweite zur Verfügung, in dem Komponenten für den Übertragungsstandard IEEE 802.15.4 (ZigBee- 2,4-GHz-Band) realisiert wurden. Als Betriebsparameter wurden ein Spannungsbereich von 2.3 V bis 3.6 V sowie ein Temperaturbereich von -40 °C bis 85 °C festgelegt.

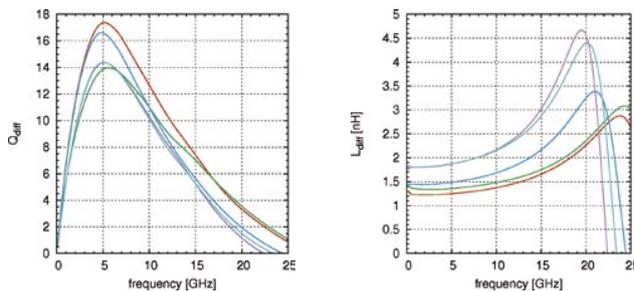


Abb. 1: Induktivität und Güte ausgewählter Spulen

Fig. 1: Inductance and quality of selected coils

Zunächst wurden grundlegende Komponenten, wie HF-taugliche Bond-Pad-Zellen, Bias-Zellen für Referenzspannungen und -ströme mit verschiedenen Temperatureigenschaften sowie ein Betriebsspannungsregler für eine stabile Spannungsversorgung mit 2.1 V bis 60 mA entworfen. Weiterhin wurden HF-Bauelemente entworfen. Dazu wurden Testfelder mit Spulen und Dioden- bzw. MOS-Varaktoren mit verschiedenen technologischen Eigenschaften prozessiert. Mit der anschließenden Charakterisierung wurde eine Auswahl von geeigneten Strukturen getroffen, um von ihnen Modelle für die Simulation zu entwickeln. In den Abbildungen 1 bis 2 werden ausgewählte Messergebnisse dargestellt.

Aufbauend auf den genannten Zellen und Bauelementen wurde eine PLL mit LC-VCO und Pulse-Swallow-Divider entworfen. Der VCO arbeitet bei der doppelten Ausgangsfrequenz, welche für den Vergleich im PFD (mit 0,5 MHz) geteilt wird.

### Objective

With the introduction of new transmission standards for frequencies above one gigahertz, it became necessary, to be able to develop, produce and characterize such systems. In the project association X-FAB Semiconductor Foundries, TU Ilmenau, Melexis and IMMS realizations for carrier frequencies up to 1 GHz were possible, which was to be extended to 6 GHz.

### Course of developments and results

A BiCMOS-process with 350 nm structural width was available for development work, in which components for the transmission standard IEEE 802.15.4 (ZigBee- 2,4-GHz-band) were realized. As operating temperature a voltage range of 2.3 V to 3.6 V as well as a temperature range of -40 °C to 85 °C was determined.

At first fundamental components e.g. HF-compatible bond-pad-cells, bias-cells for reference voltages and flows with different temperature properties, as well as operating voltage regulators for a stable voltage supply with 2.1 V to 60 mA and HF-components were designed. In connection with that test fields with coils and diodes or MOS-varactors with various technological properties were processed. With the subsequent characterization a selection of suitable structures was made, in order to generate models for simulation. In the figures 1 to 2 selected measuring results are represented.

Based on the cells and components mentioned, a PLL with LC-VCO and pulse-swallow-divider was designed. The VCO works at double output frequency, which for comparison in PFD (with 0.5 MHz) is divided.

The following parameters were achieved:

- Current consumption of the VCO-Core 1,7 mA
- Mid frequency 4,9 GHz
- Tuning range 600 MHz
- Phase noise -112 dBc/Hz at an offset frequency of 5 MHz
- Layout area 0,27 mm<sup>2</sup>

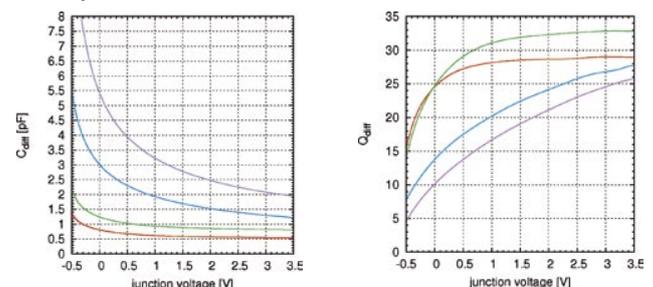


Abb. 2: Kapazität und Güte von Varaktoren bei 5 GHz

Fig. 2: capacity and quality of varactors at 5 GHz

Folgende Parameter wurden erreicht:

- Stromverbrauch des VCO-Core: 1.7 mA
- Mittenfrequenz: 4,9 GHz
- Tuningbereich: 600 MHz
- Phasenrauschen: -112 dBc/Hz bei einer Offsetfrequenz von 5 MHz
- Layoutfläche: 0,27 mm<sup>2</sup>

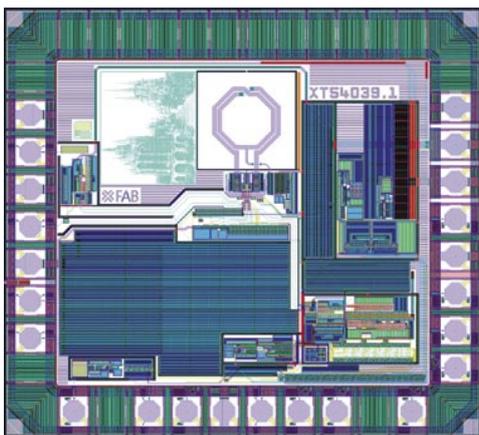


Abb. 3: PLL-Test-IC

Fig. 3: PLL-test-IC

Abweichend von dem eingangs genannten Übertragungsstandard wurden LNAs für GPS-Applikationen (L1-Band, 1,575 GHz) entwickelt. Für einen Vergleich wurden Bipolar- und CMOS-Versionen entworfen, welche in Tabelle 1 gegenübergestellt werden. Hier wurden Verstärkung und Noise Figure bei 1575 MHz ermittelt.

Parameter	CMOS 1	CMOS 2	Bipolar
Stromaufnahme [mA]	9.9	9.9	2.9
CP1dB [dBm]	-7,3	-7,3	-23,3
NF [dB]	0,9	1	1,3
S21 [dB]	15,9	15,3	15,6
S22 [dB]	-16,8	-15,4	-14,7

Tab. 1: Vergleich LNAs

### Ausblick

Derzeit befinden sich noch Test-ICs in der Prozessierung. Diese werden im Jahre 2007 vollständig ausgemessen und charakterisiert.

*Deviating from the transmission standard mentioned at the beginning, LNAs for GPS-applications (L1-band, 1.575 GHz) were developed. For a comparison bipolar and CMOS-versions were designed, which were compared in table 1. Here amplification and noise figure were determined at 1575 MHz.*

parameter	CMOS 1	CMOS 2	bipolar
Current cons. [mA]	9.9	9.9	2.9
CP1dB [dBm]	-7,3	-7,3	-23,3
NF [dB]	0,9	1	1,3
S21 [dB]	15,9	15,3	15,6
S22 [dB]	-16,8	-15,4	-14,7

Tab. 1: Comparison LNAs

### Prospect

*Currently there are still test-ICs in processing, which will be completely measured and characterized in the year of 2007.*

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. (FH) André Richter  
 Tel.: +49 (361) 663-2562  
 E-Mail: andre.richter@imms.de



»Wir lassen uns von Neuem begeistern und verfolgen Trends in  
Wissenschaft und Technik.«

Auszug aus dem Leitbild der IMMS gGmbH

*»We let ourselves be filled with enthusiasm for new things and pursue  
trends in science and engineering.«*

*abridgement of the corporate vision of the IMMS gGmbH*

# INDUSTRIELLE ELEKTRONIK UND MESSTECHNIK

*INDUSTRIAL ELECTRONICS AND  
MEASURING TECHNOLOGY*

Der Themenbereich Industrielle Elektronik und Messtechnik (IEM) ist auf den Gebieten der elektrischen Messtechnik und der Testmethodik für Forschungs- und Industriepartner der Mikroelektronik einerseits und der industriellen Elektronik für klein- und mittelständige Unternehmen andererseits tätig. Das Spektrum reicht dabei von Untersuchungen eines einzelnen Transistors auf Wafer-Level, Zellen oder kunden-spezifischen Schaltkreisen, dem Schaltungsentwurf, Design und Aufbau von Evaluierungs- und Applikationsboards bis hin zu Prototypenlösungen. Bei den zu bearbeitenden Projekten wird dabei der Bogen von Untersuchungen in den Labors bei der Evaluierung und Designoptimierung bis hin zu spezialisierten Lösungen für die Serienmessung in den Testfloors der Industriepartner gespannt. Für die Arbeiten stehen dem Themenbereich moderne und dem technischen Standard entsprechend ausgestattete Messtechniklabore in Ilmenau und in Erfurt zur Verfügung.

Die Kompetenzen umfassen folgende Bereiche:

- HF-Charakterisierung bis 50 GHz
- HF-Rauschparametermessung bis 26 GHz
- $1/f$  – Rauschmessung
- Charakterisierung von HF-Zellen
- Testentwicklung für HF-ASICs
- Charakterisierung von integrierten Fotodioden
- Testentwicklung für optoelektronische ICs (PDICs)
- Untersuchungen an MEMS-Strukturen auf Wafer-Level
- Testentwicklung für digitale und Mixed-Signal-ASICs
- Parametermesstechnik und Bauelementmodellierung
- Test im Hochtemperaturbereich
- Untersuchungen zur Qualitätssicherung in der Mikroelektronik
- Testmethodikentwicklung, virtueller Test
- Sensorik und Leistungselektronik für mechatronische Systeme
- Batteriemangement für Lithium-Ionen-Akkus
- Dimmbare Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen
- Schaltungsentwicklung auf Komponenten-, Board- und Systemlevel
- HF- und EMV-gerechtes Boarddesign
- Consulting und Firmenschulungen

Die Mitarbeiter des Bereiches verbinden fundiertes theoretisches Wissen, moderne Simulations- und Entwurfswerkzeuge, einen exzellenten Messgerätepool und eine zehnjährige Erfahrung bei der Bearbeitung vielfältiger Forschungs- und Industrieprojekte. So konnten in diesem Jahr 38 Projekte bearbeitet werden, 80% davon für die Thüringer Mikroelektronik. IEM ist in Forschungsprojekte des Freistaates Thüringen und des BMBF eingebunden.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Klaus Förster

Tel: +49 (3677) 69-5520 / +49 (361) 663-2504

E-Mail: klaus.foerster@imms.de



*In the areas of electric measuring technology and test methodology, the department Industrial Electronics and Measuring Technology (IEM) is a partner for the microelectronics industry and for industrial electronics for small and medium sized companies. Here, the spectrum reaches from investigations of individual transistors on wafer-level, cells or customer-specific circuits, circuit design, design and structure of evaluation and application boards to prototype solutions. At current projects work ranges from investigations in the laboratories at evaluation and design optimisation to specialized solutions for serial measurement in the test floors of the industrial partners. The department uses modern measuring technology laboratories in Ilmenau and Erfurt that are equipped according to the latest technical standard.*

*The competences comprise the following areas:*

- RF-characterisation up to 50 GHz
- RF-noise parameter measurement up to 26 GHz
- $1/f$  – noise measurement
- Characterization of RF-cells
- Test development for RF-ASICs
- Characterization of integrated photo diodes
- Test development for optoelectronic ICs (PDICs)
- Investigations at MEMS-structures on wafer-level
- Test development for digital and mixed-signal-ASICs
- Parameter measuring technology for component modelling
- Test in high-temperature range
- Investigations on quality assurance in microelectronics
- Test method development, virtual test
- Sensorics and power electronics for mechatronics systems
- Battery management for lithium-ion storage batteries
- Fluorescent lamp ballasts with extremely wide dimming range
- Circuit design on component, board and system level
- RF- and EMI-compatible board design
- Consulting and company training courses

*The staff members of the research centre combine sound theoretical knowledge, modern simulation and design tools, an excellent measuring device pool and 10 years of experience at handling varied research and industrial projects. 38 projects could be completed, of which 80% were carried out for Thuringian microelectronics. The department is involved in research projects of the Free State of Thuringia and the BMBF.*

### Einleitung

Fotodioden sind Halbleiterbauelemente, die es ermöglichen, einfallendes Licht in einen elektrischen Strom zu wandeln. Auf Grund dieser Eigenschaft sind sie in den verschiedensten Anwendungen einsetzbar. Die Anwendungsgebiete reichen von der Digitalfotografie über die Sensorik bis hin zur Datenübertragung. Insbesondere im letzten Fall stehen die dynamischen Eigenschaften der verwendeten Fotodiode im Vordergrund. Die zunehmende Bandbreite von Übertragungssystemen oder die steigende Packungsdichte von CDs und DVDs erfordern angepasste opto-elektrische Wandler, die für diese Einsatzbedingungen optimiert sind. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine Verifikation der dynamischen Eigenschaften notwendig.

### Ziele

Gemeinsam mit dem Forschungspartner X-FAB Semiconductor Foundries AG (Erfurt) entwickelt die IMMS gGmbH Testlösungen zur Charakterisierung opto-elektronischer Bauelemente. In diesem Zusammenhang entstand auch ein Messplatz zur Aufnahme dynamischer Parameter an Fotodioden. Hierbei sollte neben der Bandbreite auch das transiente Verhalten untersucht werden.

### Lösungsansatz

Der erste Entwurf zur Umsetzung der Zielstellung sah den Einsatz eines Verstärkers vor. Dieser sollte den generierten Fotostrom in eine Spannung wandeln. Ein solches Halbleiter Bauelement wird als Transimpedanz-Verstärker (TIA) bezeichnet. Diese Idee basierte auf der Überlegung, den geringen Fotostrom in ein höherenergetisches Signal zu wandeln. Bei der Evaluierung dieses TIA-Konzeptes zeigte sich jedoch, dass der Einfluss des Verstärkers auf das Messergebnis zu groß war.

Das zweite Konzept beinhaltete eine rein passive Messschaltung. Dabei ist es erforderlich, sehr empfindliche Messtechnik einzusetzen, damit der geringe Fotostrom detektiert werden kann. Den Vorteil dieser Anordnung stellt die relative Verzerrungsfreiheit dar. Das zu messende Signal kann nur durch die parasitären elektrischen Elemente des Aufbaus, beispielsweise Streukapazitäten, beeinflusst werden. Die Evaluierung dieses Konzeptes schloss mit einem positivem Ergebnis.

### Realisierung

Nach der Festlegung auf ein Messkonzept erfolgte die praktische Umsetzung in einem kompletten Messaufbau. Ausgehend von den Vorstellungen unseres Forschungspartners fand die Planung statt. Der realisierte Messplatz ermöglicht das Charakterisieren von vier Fotodioden innerhalb einer

### Introduction

Photo diodes are semiconductor devices which allow to change incident light into an electrical current. So they can be used in many different applications. The field of applications is very wide. Photo diodes were are in digital cameras, sensors or data communications. The dynamic properties are in focus for the last case. The increasing bandwidth of telecommunication systems and the rising packing density of CDs und DVDs require matching optical-electrical converters. Hence a verification of all dynamical properties is necessary.

### Objectives

Together with our research partner X-FAB Semiconductor Foundries AG IMMS gGmbH develops test solutions for the characterisation of optical-electrical devices. In this context a measurement setup for determination of dynamical parameter was evolved. Thereby the bandwidth and the transient behaviour should be characterised.

### Method of resolution

The first draft to get such a setup was to use an amplifier. It should convert the generated photo current into an output voltage. Such a semiconductor device is called transimpedance-amplifier (TIA). By using a TIA the small photo current should be changed in a signal which is more powerful. During the evaluation the amplifier had to much influence on the measurement result.

The second concept based on a pure passive setup. It was important that only very sensitive measurement devices can be applied to detect the small photo current.

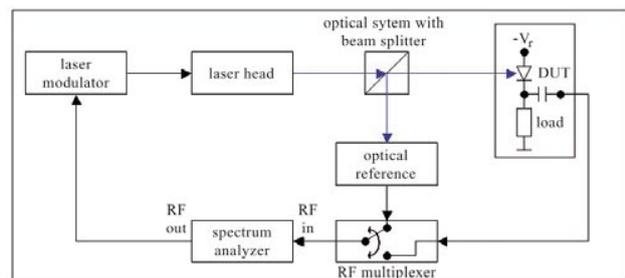
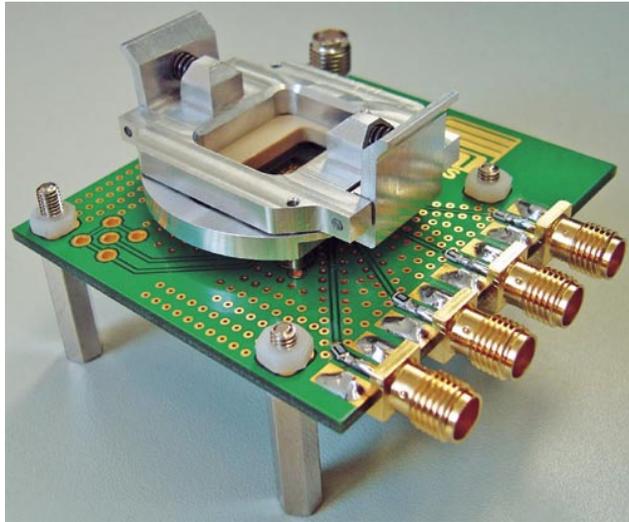


Abb. 1: Prinzipskizze des Messaufbaus

Fig. 1: Schematic illustration of measurement setup

One of the big advantages was the reduced influence on the characterisation results. In this setup only the parasitic electrical components, for instance capacitances, can affect the result. At the end of this evaluation a positive conclusion was done.

Teststruktur. Die genormte Belegung der Bondpads und deren Platzierung ist eine Voraussetzung für die mehrmalige Verwendung des Aufbaus. Deshalb wurde zum Kontaktieren des Messobjektes eine Fassung verwendet, die eine Kontaktierung ohne Verlöten ermöglicht.



**Abb. 2:** Messboard mit Fassung

**Fig. 2:** test board with socket

Insgesamt besteht der Messaufbau aus vier wesentlichen Komponenten:

- Modulierbare Laserlichtquelle mit optischem System
- Messboard zur Kontaktierung des Messobjektes
- Hochfrequenz-Relais-Multiplexer
- Messgerät

Beim Layout des Messboards wurde auf die Einhaltung eines adäquaten HF-Verhaltens geachtet. Der Multiplexer realisiert die Umschaltung des jeweiligen Fotodiodensignals auf das Messgerät. Als Messgerät für die Bestimmung der Bandbreite dient ein Spektrumanalysator. Anstiegs- und Abfallzeiten werden mit dem Oszilloskop bestimmt.

## Ausblick

Die durch die Charakterisierung gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Modellierung neuer Fotodioden ein. Durch diese Zusammenarbeit zwischen Design und Messtechnik kann eine Verbesserung der Fotodiodenkennwerte erreicht werden.

## Implementation

*Starting from the ideas of our research partner the realisation began. This setup should realise the characterisation of four photo diodes within a single test structure. The placement and assignment of the pads was defined. It is a condition for repeated using of the test board. So the test structure is contacted without soldering.*

*The measurement setup consists of four main components:*

- *source for modulated light, and optical system*
- *test board to contact the device under test*
- *RF relay multiplexer*
- *measurement device*

*An important fact at the design of the test board was the RF compatible layout. Thus a low reflection setup could be obtained. To switching between the output signal of the different photo diodes the RF multiplexer was used. After passing it the signal can be feeded in a measurement device. For determining the bandwidth a spectrum analyser was applied. The transient behaviour was measured by an oscilloscope.*

## Outlook

*The results of the dynamic characterisation of photo diodes are applied to improve the new design. By this cooperation with test and design the dynamic performance of photo diodes can be enhanced.*

Ansprechpartner / contact:

*Dipl.-Ing. Michael Meister  
Tel.: +49 (3677) 69-5525  
E-Mail: michael.meister@imms.de*

### Zielstellung

Basierend auf den Ergebnissen der Zusammenarbeit mit den Firmen Melexis GmbH und X-FAB Semiconductor Foundries AG aus Erfurt werden Erfahrungen vorgestellt, die bei der Entwicklung, Evaluierung, Charakterisierung bis hin zum Produktionstest von HF-ICs, ASICs, HF-Baugruppen und diskreten Bauelementen gewonnen wurden. Dabei wird auf die speziellen Probleme der Messumgebung und des HF-gerechten Hardwareentwurfs näher eingegangen. Durch den Einsatz komplexer PC-gesteuerter Messplätze konnten die entsprechenden Testflows bereits im Labor unter produktionsnahen Bedingungen verifiziert werden.

### HF-Messverfahren

Folgende Arten von Messungen sind auf verschiedenen Messplätzen implementiert:

- Netzwerkanalyse bis 50 GHz
- 4-Port und symmetrische Messungen
- HF-Rauschparametermessung bis 26 GHz
- 1/f – Rauschmessung
- Spektralanalyse bis 26 GHz
- Phasenrauschmessungen
- Impedanzmessungen, CV-Messungen
- Zeitbereichsanalyse, TDR
- Oszilloskopmessungen bis 9 GHz

Es werden Kalibrierverfahren eingesetzt, die speziell an die Messaufgaben angepasst sind, um exakte und reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten. Neben der Gewinnung der primären Messdaten spielt auch das Deembedding der Messumgebung für die Charakterisierung von Bauelementen eine wesentliche Rolle.

Außerdem stehen verschiedene I/Q-modulierbare Generatoren zur Verfügung, die analog und digital modu-



**Abb. 2:** Messplatz für HF-ASIC

**Fig. 2:** Measuring console for RF-ASIC

### Objective

*Based on the results of the cooperation with the companies Melexis GmbH and X-FAB Semiconductor Foundries AG located in Erfurt experiences are presented, which were gained from development, evaluation and characterization to production tests of RF-ICs, ASICs, RF-modules and discrete components. Here special attention is paid to the specific problems of the measuring environment and the RF-compatible hardware design. By the use of complex PC-controlled measuring consoles the corresponding test flows can already be verified in the laboratory under conditions similar to production.*

### RF-measuring techniques

*The following kinds of measurements are implemented on various measuring consoles:*

- Network analysis up to 50 GHz
- 4-Port and symmetric measurements
- RF-noise parameter measurement up to 26 GHz
- 1/f – noise parameter measurement
- spectral analysis to 26 GHz
- phase noise measurements
- Impedance measurements, CV-measurements
- Time domain analysis TDR
- Oscilloscope measurements to 9 GHz

*The calibration methods used are especially adapted to the measuring tasks, in order to achieve exact and reproducible measuring results. Besides the achievement of primary measuring data also deembedding of the measuring environment is of significant importance for the characterization of components.*

*Apart from that various I/Q-modulation capable generators are available, by which analogously and digitally modulated RF-signals can be generated in the frequency range of 100 kHz to 6 GHz. The baseband is represented with arbitrary waveform generators, which are available as built-in options in the RF-generators or as external devices.*

### Contact systems

*All measurements can be made by different ways of bonding the components and modules:*

- Coaxial systems:  
*Here coaxial plug connectors are used for the measurement of modules (SMA, K, 2,4mm, BNC, N).*
- Test Fixture (measurement recording):  
*For planar structures in microstrip or coplanar design the use of a measuring socket up to 40 GHz is recommended.*

lierte HF-Signale im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz erzeugen können. Das Basisband wird mit arbiträren Waveformgeneratoren abgebildet, welche als eingebaute Optionen in den HF-Generatoren verfügbar oder als externe Geräte vorhanden sind.

## Kontaktssysteme

Alle Messungen können mit verschiedenen Arten der Kontaktierung der Bauelemente und Baugruppen vorgenommen werden:

- Koaxialsysteme:  
Hier kommen bei der Messung von Baugruppen koaxiale Steckverbinder zum Einsatz (SMA, K, 2,4mm, BNC, N).
- Test Fixture (Messfassung):  
Für planare Aufbauten im Microstrip- oder Coplanar-Design bietet sich der Einsatz der Messfassung bis zu 40 GHz an.
- On Wafer:  
Für die Messungen auf Wafern können HF-Probes (ACP, koaxial auf coplanar), DC-Nadeln oder Probcards mit vielen Nadeln im definierten Layout eingesetzt werden. Sowohl manuelle als auch automatische Waferprober sind vorhanden.

## Temperaturbereich

Die Messungen können im Bereich von -60 °C bis +300 °C durchgeführt werden. Um dies zu realisieren, stehen folgende Einrichtungen zur Verfügung:

- Thermo-Chuck für Waferprober
- Klimaschrank
- Hochtemperaturofen
- Thermostream

Auf Erfahrungen in spezieller Aufbau- und Verbindungstechnik für Hochtemperaturanwendungen können wir zurückgreifen.

## Ausblick

Der Beitrag ist nur ein grober Überblick über die HF-Messmöglichkeiten des Instituts. Hauptaugenmerk ist die Realisierung von unkonventionellen Messverfahren und speziellen Testlösungen. Hier die optimalen Ansätze zu finden, ist neben konventionellen Messungen Hauptanliegen der IMMS gGmbH.

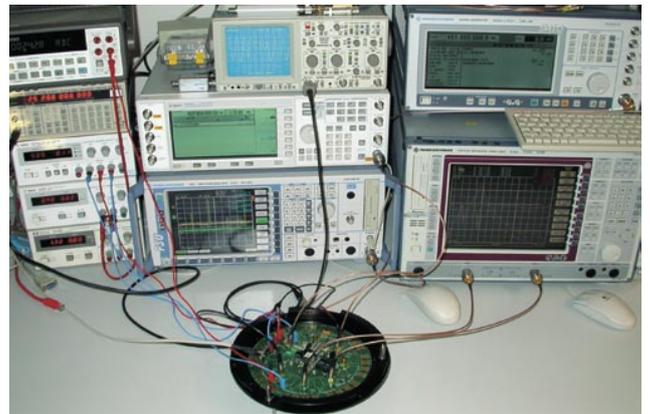
- *On Wafer:*  
*For measurements of wafers RF-probes (ACP, coaxial to coplanar), DC-needles or probecards with many needles in defined layout can be used. Available are manual as well as automatic wafer probers.*

## Temperature range

*The measurements can be carried out in the range of -60°C to +300°C. The following facilities are available for their realization:*

- *Thermo-chuck for wafer probers*
- *Climatic cabinet*
- *High temperature furnace*
- *Thermostream*

*It can be referred to experiences in packaging of integrated circuits for high-temperature applications.*



**Abb. 2:** Abgleich eines Tester-Loadboards

**Fig. 2:** Adjustment of a tester-loadboard

## Prospect

*The article is only a rough overview of the RF-measuring possibilities of the Institute. In the focus of attention is the realization of unconventional measuring processes and special test solutions. Besides conventional measurements, the Institute's main objective is to find corresponding optimal approaches.*

Ansprechpartner / contact:

Dipl.-Ing. Björn Bieske  
Tel.: +49 (3677) 69-5526  
E-Mail: bjoern.bieske@imms.de







### **Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH**

Ehrenbergstr. 27  
D - 98693 Ilmenau / Thüringen  
Telefon: +49 (3677) 69 55 00  
Telefax: +49 (3677) 69 55 15  
E-Mail: [imms@imms.de](mailto:imms@imms.de)



### **Institutsteil Erfurt**

Konrad-Zuse-Straße 14  
D - 99099 Erfurt / Thüringen  
Telefon: +49 (361) 66 32 500  
Telefax: +49 (361) 66 32 501  
E-Mail: [imms@imms.de](mailto:imms@imms.de)

# WE KNOW HOW.

[www.imms.de](http://www.imms.de)