

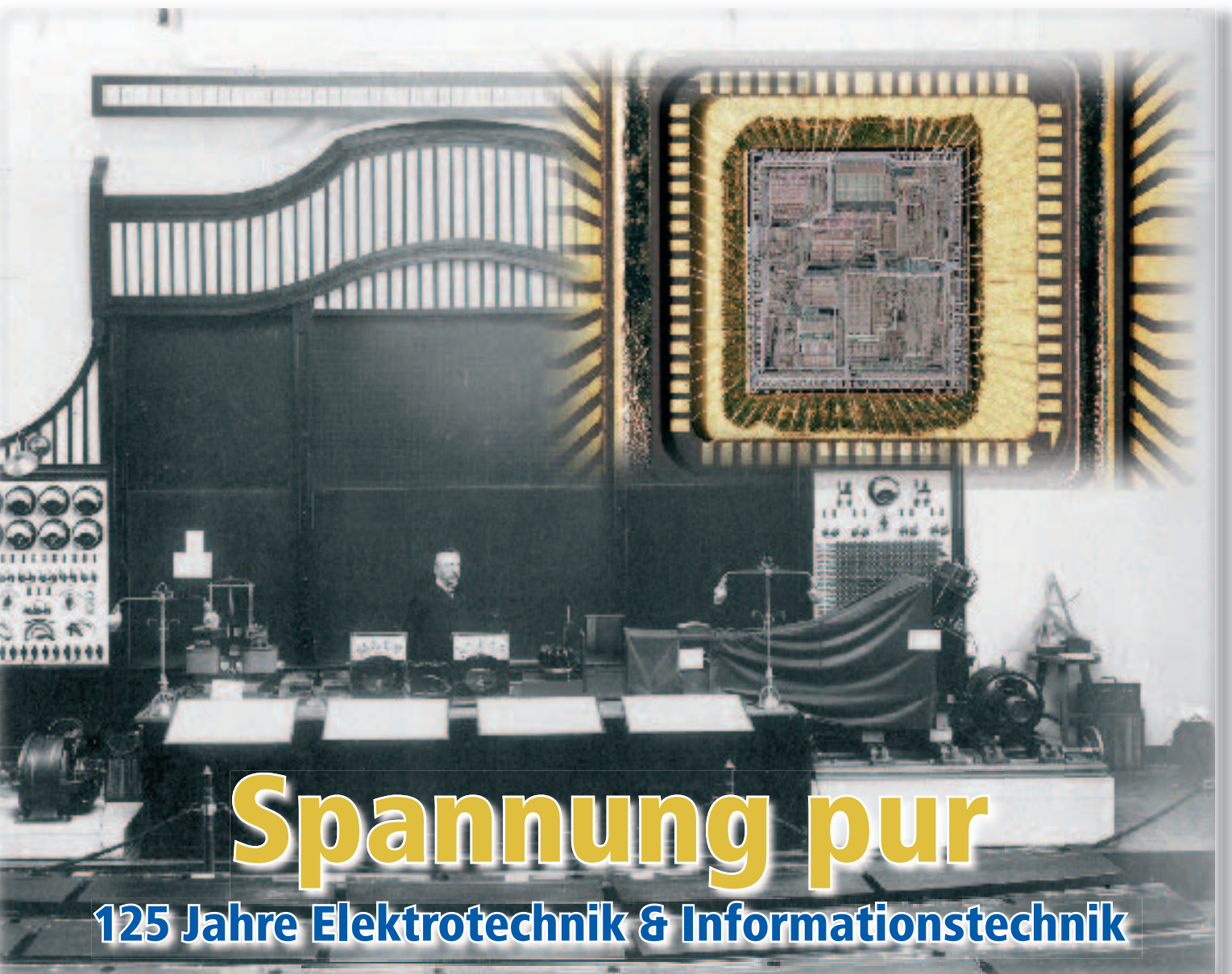
thema

FORSCHUNG



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

2/2007



Spannung pur

125 Jahre Elektrotechnik & Informationstechnik

Licht

Energie sparen und
Sicherheit gewinnen –
mit LED-Technologien

Seite 16

Medizin

Mikroelektromechanik
ermöglicht hochpräzise
Eingriffe

Seite 44

Auto

Automatisierung und
Mechatronik lenken
Fahrzeuge und Anlagen

Seite 58



Bringen Sie der Technik das LEBEN bei.

Elektrotechnik
Maschinenbau
Physik
Werkstofftechnik

WIR MACHEN DAS LEBEN LEICHTER und stellen die Grenzen des Heute in Frage. Der Alltag wird dabei zum Ausgangspunkt unserer Ideen. Und es entstehen Halbleiter- und Systemlösungen für Automobil-, Industrieelektronik und Multimarket sowie für Anwendungen in der Kommunikation. Lösungen, die das ganz normale Leben entscheidend verändern. Entwickelt werden sie von mehr als 35.000 Menschen, die auf der ganzen Welt zusammenarbeiten: im Infineon-Team.

HIERZU gehört die Mannschaft des Standortes in Warstein, NRW. Hier entstehen innovative Leistungshalbleiter für Industrie- und Consumer-Antriebe, Traktion und Energieversorgung in Leistungsbereichen von einigen Kilowatt bis hin zum Gigawatt. Herausfordernde Aufgaben in der Entwicklung, in der Produktion, im Marketing und im Qualitätsmanagement warten auf Sie!

IHR NÄCHSTER SCHRITT in Richtung Zukunft? Informieren Sie sich über unsere offenen Stellen für Studenten, Absolventen und Young Professionals unter:
Infineon Technologies AG, Max-Planck-Straße 5, 59581 Warstein
Martin.Figura@infineon.com

www.infineon.com/careers



Standort Warstein

Liebe Leserin, lieber Leser, Dear Reader,

Bild: Katrin Binner



vor 125 Jahren wurde Professor Erasmus Kittler zum ersten Professor für Elektrotechnik weltweit berufen. Dies war die Geburtsstunde des neuen Berufsbildes „Diplom-Ingenieur Elektrotechnik“. Das Arbeitsgebiet des Elektrotechnikers hat sich in den zurückliegenden 125 Jahren enorm verbreitert und ausgeweitet.

In den Anfängen dieser Zunft galt es vorwiegend, die Bevölkerung mit der neuen, leicht und gefahrlos zu transportierenden elektrischen Energie zu versorgen. Mit der Erfindung des Transistors vor 60 Jahren wurde die wohl am weitesten gehende Veränderung unserer Umwelt eingeläutet. Der vor ca. 70 Jahren von Konrad Zuse erfundene elektromechanisch angetriebene programmierbare Rechner konnte sich zu dem heute fast an jedem Arbeitsplatz präsenten PC entwickeln. Die Kommunikationstechnik hat einen ungeahnten Auftrieb erfahren und unser Leben nachhaltig verändert. Aus der einstigen „Elektrotechnik“ ist heute die moderne Disziplin der Elektrotechnik und Informationstechnik geworden, die aus unserer Industriegesellschaft nicht mehr wegzudenken ist.

Die unaufhörliche Ausbreitung der Elektro- und Informationstechnik in unseren Alltag lässt sich am Beispiel des Automobils augenfällig belegen. Elektromechanische Lenkung, Aufprallsensoren für Airbags, Radarabstandsregelung, automatische Einparkhilfen, Freisprechanlagen, Mobilfunk, Multimediageräte, GPS Navigation, elektrisch geschaltete Getriebe und nicht zuletzt die aktuell diskutierte Hybridtechnologie zur CO₂-Einsparung sind eindrucksvolle Belege für die stetig zunehmende Bedeutung dieser Ingenieurwissenschaft für den Fortschritt.

Das vorliegende Sonderheft zum 125-jährigen Jubiläum gibt Ihnen durch eine Auswahl von aktuellen Forschungsgebieten einen Einblick in die faszinierende Welt des Ingenieurberufs der Elektro- und Informationstechnik, die trotz ihres hohen Alters von 125 Jahren äußerst dynamisch und lebhaft zu einem essentiellen Bestandteil unserer Gesellschaft geworden ist.

125 years ago, Professor Erasmus Kittler was appointed as the first worldwide Chair of Electrical Engineering. This event gave birth to the new professional profile of the Diplom-Ingenieur in Electrical Engineering. The widespread expansion of the working area of the Electrical Engineer has been enormous over the last 125 years. Initially, the guild was to supply people with new easily and safely transportable electrical energy. However, the most far-reaching impact on our society started sixty years ago with the invention of the transistor. This allowed the electromechanically driven programmable computer, discovered by Konrad Zuse around seventy years ago, to be replaced by what is available at every working place today; the PC. Communication Technology received an unforeseen uplift that led to a lasting change of our daily life. The former Electrical Engineering became the modern discipline of Electrical Engineering and Information Technology, whose absence is unthinkable in today's industrial profile.

The unceasing spread of Electrical Engineering and Information Technology in our everyday life can be substantiated with the example of today's automobile. Electromechanical steering, airbag control, radar for distance control, hands-free telephony, mobile radio, multi-media devices, navigation systems based on GPS, electronically controlled gear units, and not to forget the currently discussed hybrid technology for CO₂ emission reduction, are all impressive testimony for the continuously increasing importance of engineering for progress.

This special issue on the 125th anniversary gives, through a selection of current research areas, insight into this fascinating world of the Electrical Engineering and Information Technology profession, which, despite its age of 125 years, is extremely dynamic and lively, and has become an essential component of our society.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weiland

Technische Universität Darmstadt
 Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
 Institut für Theorie Elektromagnetischer
 Felder (TEMF)
 Schlossgartenstrasse 8
 D-64289 Darmstadt / Germany
 Tel. 06151-162161
 E-Mail: thomas.weiland@temf.tu-darmstadt.de

Inhaltsverzeichnis

**Elektrische Energietechnik:
Schlüsseltechnologie der Zukunft**
**Electrical Power Engineering:
Future Key Technology**
Gerd Balzer/Andreas Binder/
Thomas Hartkopf/Volker Hinrichsen/
Peter Mutschler/Jürgen Stenzel

Durch den Einsatz regenerativer und dezentraler Energiequellen im Netz und verbesserter Materialien und Komponenten zur effizienteren Energieumformung werden Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit bei der Nutzung elektrischer Energie erhöht.

Effectiveness and environmental sustainability of electrical energy utilization are met jointly by integrating renewable and decentralized energy sources into the grid and by using improved materials and components for energy conversion with enhanced efficiency.

Seite 6

**Innovative Lichttechnik:
Augenphysiologie und Photonik**
**Innovative Lighting:
Human Eye Physiology and Photonics**
Tran Quoc Khanh

30 Prozent des Gesamtenergiebedarfs der Industrieländer werden durch die Beleuchtung verursacht. Dieser Beitrag zeigt, wie die moderne Lichttechnik auf vielfache Weise einen entscheidenden Beitrag zum Energiesparen leistet.

General lighting causes up to 30 % of the total energy consumption of the developed countries. This article shows how modern lighting technology is able to play a role in the discussion about energy savings.

Seite 16

**Das Automobil im neuen Jahrtausend:
Software auf Rädern**
**Motor Vehicles in the New Millennium:
Software on Wheels**
Ulrich Konigorski/Andy Schürr

Modellieren statt Programmieren: Die gemeinsame Vision von Regelungstechnikern und Softwareingenieuren zur Entwicklung sicherer Software für das Automobil der Zukunft.

Modelling instead of Programming: The joint vision of control and software engineers for the future development of safe automotive software.

Seite 24

**Kommunikationstechnik –
Wachstumsmotor der Zukunft**
**Communication Technology –
driving force of the future**
Anja Klein/Alex Gershman/Rolf Jakoby/
Peter Meissner/Ralf Steinmetz/
Abdelhak Zoubir/Luke Cirillo/Kira Kastell/
Timo Unger

Welche sind die wichtigsten Trends in der Kommunikationstechnik? Agile und flexible Ressourcennutzung, der Raum als neue Dimension, Signalverarbeitung überall, das Netz und das optische Kommunikationsportal werden beleuchtet.

What are the most important trends in communications technology? Agile and flexible resource utilization, spatial diversity, signal processing, a dynamic and adaptive network and optical communications can be highlighted.

Seite 32

**Silizium- und Piezoelektret-Mikrofone:
Technologien für ein Milliardenprodukt**
**Silicon- and piezoelectret-microphones:
Technologies for a mega-seller**
Gerhard M. Sessler/Joachim Hillenbrand

Neuartige Mikrofone auf Silizium- und Piezoelektret-Basis haben hervorragende elektroakustische Eigenschaften und sind für die zukünftige Kommunikationstechnik besonders geeignet.

Novel microphones based on the silicon and piezoelectret concepts exhibit superior electroacoustic properties and are specifically suited for the future communications technology.

Seite 38

Impressum

thema Forschung 2/2007

Herausgeber: Präsident
der TU Darmstadt

Redaktion: Jörg Feuck

Moderation: Prof.
Dr.-Ing. Thomas Weiland

Verlag: Verlag für Marketing
und Kommunikation
GmbH & Co. KG, Faber-
straße 17, 67590 Mons-
heim, Tel. 0 62 43/90 90

Layout: Verlag für Marketing
und Kommunikation
GmbH & Co. KG

Druck: VMK Druckerei,
Monsheim



Siemens **Generation21**
Committed to education

Wenn wir an die Zukunft denken, denken wir auch an sie.

Als Unternehmen, das gesellschaftliche Verantwortung übernimmt, legen wir mit unserem Bildungsprogramm Generation21 ein besonderes Augenmerk auf die Ausbildung junger Menschen. Ihnen heute Wissen und Fähigkeiten zu vermitteln heißt, sie fit für ihren beruflichen Weg zu machen. Denn ihre Zukunft ist unsere Zukunft.

www.siemens.de/generation21

SIEMENS

Inhaltsverzeichnis

Im Kleinen ganz groß – Mikroelektromechanische Systeme Small is great – Microelectromechanical Systems

Helmut F. Schlaak/Roland Werthschützky/
Dirk Eicher/Andreas Röse/Jacqueline Rausch/
Ingmar Stöhr

Elektromechanik – ein traditioneller Name für ein innovatives Thema. Durch neue Technologien der Mikrosystemtechnik erschließen mikroelektromechanische Systeme (MEMS) vollkommen neue Anwendungsgebiete.

Electromechanics – a traditional name for an innovative topic. The new technologies of micro-fabrication open completely new areas of application for micro-electromechanical systems (MEMS).

Seite 44

Elektronik im Nanozeitalter Surfing on Moore's Law

Manfred Glesner/Hans Evekings/
Thomas Hollstein/Tudor Murgan

Moderne Herstellungstechnologien und eine hohe Funktionsdichte integrierter System-on-Chip (SoC) stellen hohe Anforderungen an einen CAD-basierten Systementwurf und die Überprüfung der korrekten Implementation der gewünschten Funktionalität.

Modern manufacturing technologies and increasing functional density of integrated System-on-Chip (SoC) require highly sophisticated CAD-based system design and validation methodologies.

Seite 52

Automatisierungstechnik und Mechatronik: Querschnittsgebiete der Ingenieurwissenschaften Automation and Mechatronics: Interdisciplinary Engineering Areas

Rolf Isermann/Jürgen Adamy/
Ulrich Konigorski

Die Automatisierungstechnik ist zentraler Bestandteil sehr vieler moderner Entwicklungen im Rahmen der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Bei mechatronischen Produkten ist die Automatisierungstechnik in das Produkt integriert und beeinflusst damit die gesamte Systemauslegung.

Automatic control is the crucial part of many modern developments in engineering science. Automatic control is integrated in mechatronic devices and influences therefore their all over system design.

Seite 58

Basistechnologie Elektro- und Informationstechnik

Basic technology electrical engineering and information technology

Ralf Steinmetz/Hans Evekings/Andreas Haun/
Wolfgang Johannsen

Die Darmstädter Einheit der inderdisziplinären Forschung und Lehre in Kombination mit unseren strategischen Verbundvorhaben gilt als die Basis für den Studien-, Berufs- und Forschungserfolg der kommenden Generation von Ingenieuren.

Darmstadt's unity of interdisciplinary research and teaching in combination with our strategic joint projects is considered to be the basis both for future studies and for the success as professionals and researchers of the next generation of engineers.

Seite 68

Erasmus Kittler – Elektrotechnik als Disziplin und Beratungspraxis Erasmus Kittler – Electrical Engineering as a Discipline and Consulting Practice

Andreas Göller/Dieter Schott

Erasmus Kittler etablierte als Gründer des Studiengangs Elektrotechnik die langfristig erfolgreiche praxisorientierte Ausbildung von Elektro-Ingenieuren in Darmstadt.

The founder of Electrical Engineering as a course in its own right, Erasmus Kittler, established the long-term success of educating electrical engineers in Darmstadt with a decidedly practical focus.

Seite 76

VDI NACHRICHTEN
ZEIGT SICH HIER VON IHRER ATTRAKTIVSTEN SITE.

ZUMINDEST FÜR INGENIEURE.*



Wer als Ingenieur Karriere machen will, findet hier, was man für Berufseinstieg und -aufstieg braucht. Attraktive Jobangebote im Online-Stellenmarkt. Über die Bewerber-Datenbank passende Stellen und direkte Suchanfragen durch Unternehmen, kostenfrei per Jobmail. Aber auch Services wie Karrierecoaching und Bewerbertraining, Gehalts-Check, Firmenpräsentationen und nicht zuletzt die Teilnahme an Recruiting Events.

* ø 130 000 Visits monatlich auf dem VDI nachrichten-Karriereportal ingenieurkarriere.de (Sitestat 2006).

Das Karriereportal der VDI nachrichten.

vdi nachrichten
ingenieurkarriere.de

Medienübergreifende Jobsuche mit VDI nachrichten: Stellenmarkt · Ingenieur Karriere · ingenieurkarriere.de · Recruiting Events

Elektrische Energietechnik: Schlüsseltechnologie der Zukunft

Gerd Balzer/Andreas Binder/Thomas Hartkopf/Volker Hinrichsen/Peter Mutschler/
Jürgen Stenzel



Bild: pixelquelle

New structures of energy generation, transmission and distribution will emerge in future due to renewable sources and decentralized generation. Additionally, new energy storage systems will be necessary. Transmission voltages up to 1,5 MV are under development, calling for new, multi-functional and adaptive insulation systems using nano materials. Downsizing energy losses by efficient and intelligent power conversion as well as the introduction of high-energy permanent magnet materials in innovative drives contribute greatly to energy saving, cost effectiveness and environmental sustainability.

Zukünftig werden erneuerbare Energien und dezentrale Erzeugung zu neuen Strukturen der Energieerzeugung, Übertragung und Verteilung führen und zusätzlich Systeme zur Energiespeicherung erfordern. Übertragungsspannungen bis 1,5 MV sowie neue, multifunktionale Isolationssysteme auf Basis von Nano-Materialien werden zu entwickeln sein. Minimierung von Verlusten durch effiziente und intelligente Leistungsformung und Steuerung sowie die Verwendung von Hochenergie-Permanentmagneten in innovativen Antrieben werden einen wesentlichen Beitrag zum Umweltschutz durch Energieersparnis leisten.



1882

Die Elektrizitätsausstellung in München verhilft der Elektrotechnik in der Öffentlichkeit zum Durchbruch. Der Physiker Erasmus Kittler wird in Darmstadt

Professor für Elektrotechnik. Es ist weltweit der erste Lehrstuhl für dieses Fach – die TH Darmstadt „erfindet“ den Elektroingenieur.

Neue Netzstrukturen

Die heutige Netzstruktur ist durch überwiegende Erzeugung in zentralen Großkraftwerken gekennzeichnet. Zukünftig werden erneuerbare Energien und eine dezentrale Erzeugung neue Strukturen erfordern.

Bild 1 zeigt mögliche Standorte von Offshore-Windparks und die Verbrauchsschwerpunkte in Deutschland. Zukünftig werden für eine zuverlässige Energieversorgung neue Übertragungsmöglichkeiten gebraucht. Der Stromhandel führt zu weiteren, das Netz belastenden Lastflüssen.



Bild 1: Offshore-Windparks und Verbraucherschwerpunkte
 Fig. 1: Offshore wind parks and user emphases.

Bei verteilter Erzeugung ist der Einsatz von optimierenden Energiemanagementsystemen notwendig. Durch dezentrale Einspeisungen ist die Lastflussrichtung nicht mehr fest vorgegeben, was neue Sekundärtechnik zur sicheren Fehlererkennung erfordert. Daraus resultieren drei Schwerpunkte der Entwicklung: 1.) Zukünftig werden dezentrale Erzeugungsanlagen, wie Brennstoffzellen und Mikroturbinen, entwickelt und eingesetzt. Optimaler Betrieb erfordert modernste Informationstechnik. In Wind- und Photovoltaikanlagen erzeugte Energie unterliegt Schwankungen, so dass Speicher an Bedeutung gewinnen. 2.) Auf den Neubau einzelner Leitungen könnte verzichtet werden, wenn Klimabedingungen (Temperatur, Wind) bei der Festlegung der Übertragungsleistung berücksichtigt werden. Monitoringsysteme

könnten eine Überwachung der Netzsicherheit mit Hilfe neuer Informationstechnik ermöglichen. 3.) Leistungselektronische Betriebsmittel werden zunehmend zu wichtigen Stellgliedern zur Regelung und Steuerung von Netzen.

Veredelung regenerativer Energien

Der UN-Klimabericht hat Anfang 2007 gezeigt, dass der Einsatz regenerativer Energien die wichtigste Alternative zum Verbrauch fossiler Brennstoffe ist. Obgleich es in den letzten Jahren gerade im Bereich der Windkraft und der Nutzung des Sonnenlichts durch Photovoltaik große Fortschritte und hervorragende Zuwachsraten gegeben hat, wird in Zeiten schwachen Angebots regenerativer Energie und starker Nachfrage der Verbraucher die fehlende Energiemenge aus fossilen oder nuklearen Quellen bereitgestellt. Diese Art der Versorgung stößt bei wachsendem Anteil regenerativer Energie an wirtschaftliche Grenzen. Neben dezentralen, miteinander kommunizierenden Energieversorgungseinheiten stellen innovative Speicherkonzepte eine Lösung dieses Problems dar. In diesem Zusammenhang werden Gasdruckspeicherkraftwerke (Bild 2) untersucht und ausgelegt, mit dem Ziel, den Wirkungsgrad zu optimieren. Ebenso wichtig wie die Speicherung ist die rationelle Umwandlung fossiler Energie. Eine Möglichkeit ist die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken mit Brennstoffzellen. Hierfür werden verschiedene Brennstoffzellensysteme für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden ausgelegt und die Energie- und Kohlendioxidbilanz unter-

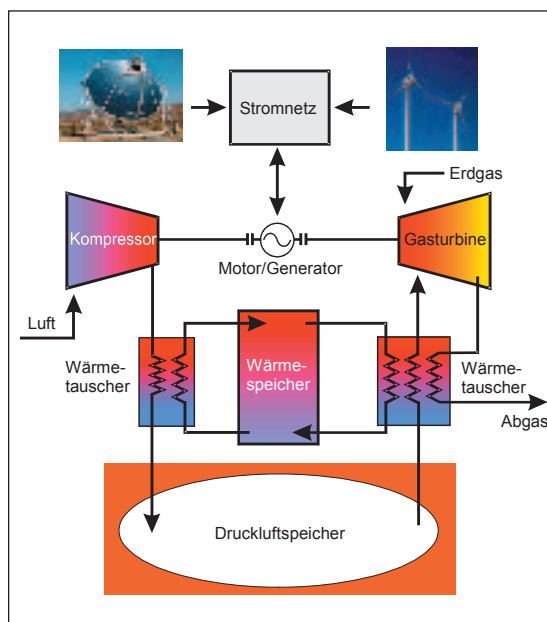


Bild 2: Schema eines Gasdruck-Speicherkraftwerkes
 Fig 2: Schematic of Compressed Air Energy Storage

1882

The Munich Exhibition of Electricity introduces electrical engineering to the general public. The physicist Erasmus Kittler is appointed as a Professor of Electrical

Engineering at TH Darmstadt. It is the first Chair in this field worldwide – TH Darmstadt “invents” the Electrical Engineer.

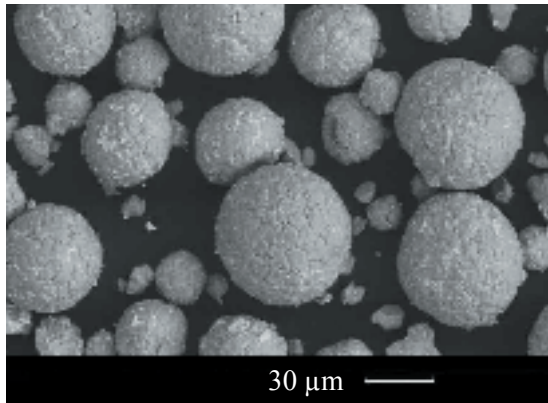
sucht. Um deren Leistungsdichte zu steigern und die Kosten zu senken, werden neuartige Nanomaterialien (Kohlenstoffnanoröhren) für den Einsatz in der Brennstoffzelle entwickelt und getestet.

Nanomaterialien für Megavolt

Seit der weltweit ersten Drehstromfernübertragung (Lauffen-Frankfurt, 1891) mit einer Spannung von 15 kV wurden die Übertragungsspannungen kontinuierlich erhöht. Heute liegen sie bei 800 kVac und 600 kVdc, in ausgedehnten Ländern wie China und Indien werden 1 MVac bis 1,5 MVac und 800 kVdc angestrebt. Sowohl die höheren Spannungen als auch die in Ballungsgebieten und für eine dezentrale Energieversorgung erforderliche Kompaktierung führen zu immer höheren spezifischen elektrischen und mechanischen Beanspruchungen.

Bild 3: Mikrovaristoren als Füllstoff verleihen elektrischen Isolierstoffen eine hohe Permittivität und feldstärkeabhängige elektrische Eigenschaften (Bild ABB).

Fig. 3: Micro varistors as fillers lead to increased permittivity of insulation materials and to field-dependent electrical properties (Source: ABB)



Längst erfolgt die elektrische Beanspruchung durch Kombinationen aus Wechsel-, Gleich-, Impuls- und Hochfrequenzspannung. Eines der zentralen Themen der Hochspannungstechnik ist daher die Weiterentwicklung elektrischer Isoliersysteme. Die Verwendung von Nanofüllstoffen steckt noch in den Anfängen und resultiert häufig in überraschenden neuen Eigenschaften. Nanostrukturierte Oberflächen verbessern das Isoliervermögen unter Verschmutzungsbedingungen. Gezielt werden multifunktionale, nichtlineare und autoadaptive Isoliersysteme entwickelt, deren mechanische und elektrische Eigenschaften sich mit der Feldstärke, der Temperatur oder der mechanischen Beanspruchung verändern (Bild 3).

Bei Gradientenwerkstoffen, deren Fertigungsmöglichkeiten noch weitgehend zu klären sind, bewirkt eine gezielte räumliche Verteilung ihrer elektrischen Eigenschaften (Permittivität, Leitfähigkeit) eine Reduzierung der elektrischen Feldbeanspruchung.

Verluste minimieren

In naher Zukunft wird fast die gesamte elektrische Energie durch Leistungselektronik umgeformt, ehe sie die vom Anwender gewünschte Wirkung (mechanische Arbeit, Beleuchtung usw.) entfaltet. Bereits auf dem Weg zum Verbraucher spielt die verlustarme leistungselektronische Umformung eine wachsende Rolle. Mit Hilfe der Leistungselektronik holen Windturbinen ein Maximum an Energie aus dem Windangebot durch Anpassung der Drehzahl an die Windgeschwindigkeit heraus. Auch zur Übertragung der in Offshore-Windparks gewonnenen Energie wird bei längeren Seekabelstrecken Leistungselektronik immer wichtiger. Ebenso kann die dezentral durch Photovoltaik gewonnene Energie nur nach leistungselektronischer Umformung (Wirkungsgrad = 98%) genutzt werden.

Nach Bild 4 wird ein Großteil der elektrischen Energie in Antrieben in mechanische Arbeit umgeformt. Eine deutliche Effizienzsteigerung ist vielfach durch Übergang von Betrieb mit starrer Drehzahl auf optimal angepasste variable Drehzahl möglich. Dies wird durch Leistungselektronik erreicht. Aber auch in anderen Bereichen, z.B. bei Beleuchtungen, sind Effizienzsteigerungen durch Leistungselektronik in vollem Gange und haben noch ein großes Zukunftspotenzial. Die Weiterentwicklung der Leistungshalbleiter durch Materialien mit hohem Bandabstand, z.B. SiC, wird einen breiten Innovations-Schub auslösen und Anwendungen bei hohen Spannungen (Netz, Bahn), hohen Temperaturen (PKW) und weiter gesteigerter Effizienz wirtschaftlich erschließen.

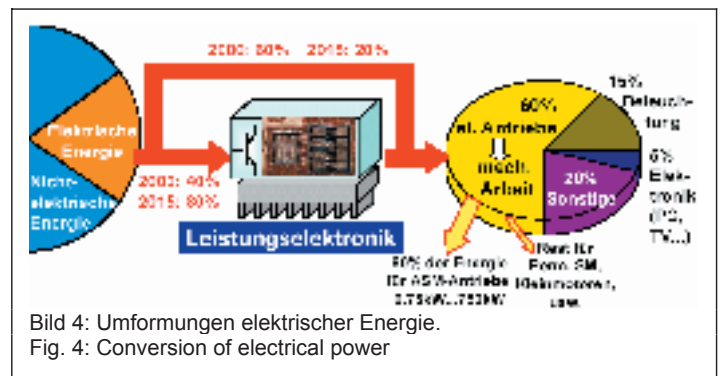


Bild 4: Umformung elektrischer Energie.

Fig. 4: Conversion of electrical power

1883

An der TH Darmstadt wird die Elektrotechnische Schule mit eigenem Studienplan begründet. Damit

kann das Fach Elektrotechnik erstmals selbstständig studiert werden.

Ist es nicht beeindruckend,
was die Einsparung
von 68 Millionen
Tonnen CO₂
für Auswirkungen hat?



© 2006 ABB

Spitzentechnologie in der Automations- und Energietechnik steigert die Produktivität, erhöht die Energieeffizienz und hilft, die Umwelt zu schützen.
Besuchen Sie uns auf www.abb.com.

Power and productivity
for a better world™



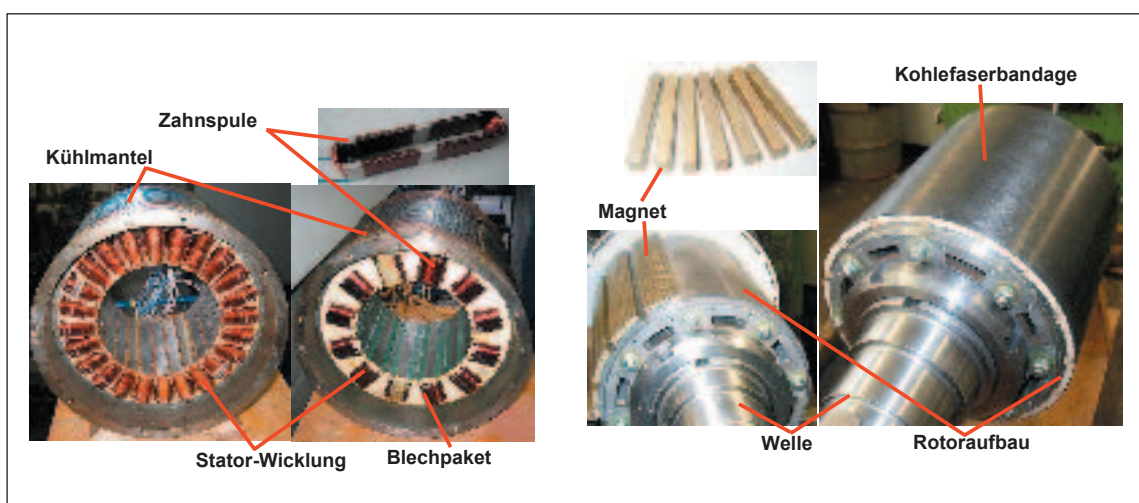
Die „stille“ Revolution

Ein Großteil der elektrischen Energie wird für Antriebe (Industrie, Haushalt, Gewerbe, Verkehr) benötigt. Während der Standardantrieb die kostengünstige Asynchronmaschine ist, führten neue Selten-Erd-Permanentmagnetmaterialien (PM) mit hoher Energiedichte zur Entwicklung von PM-Synchron-Antrieben mit höherer Drehmoment- und Leistungsdichte. So werden Antriebe bei Robotern und Werkzeugmaschinen weitestgehend als Synchron-PM-Motoren ausgeführt (Bild 5), mit einer ausgezeichneten Dynamik, niedrigen Verlusten, guter Regelfähigkeit und Positionieren im Mikrometerbereich. Große Potenziale hat der PM-Synchronantrieb in weiteren Gebieten, z.B. Hauptantrieb in Hybridautos, Schiffsantriebe

(10...20MW) und Windgeneratoren (~3MW). Kürzlich wurde ein getriebeloser PM-Synchron-Bahnmotor vorgestellt, der direkt in die Radsatzwelle integriert ist. Die von der EU geforderten Energieeinsparungen (bis 2010 für industrielle Antriebe: 39 Mto/a CO₂) werden die PM-Technologie auch im Konsumgütermarkt stärker zum Einsatz bringen. So kann z. B. der Kompressorantrieb in einer Kühltruhe – zur Zeit mit einem billigen Spaltpol-Asynchronmotor mit 20% Wirkungsgrad ausgeführt – mit einem PM-Motor Wirkungsgrade von 80% erreichen. Es sind bereits Umwälzpumpen für Zentralheizungen mit der PM-Technologie am Markt verfügbar. So ist zu erwarten, dass sich auch in Haushalt und Gewerbe die PM-Synchronmotoren auf Dauer durchsetzen werden.

Bild 5: Aufbau zweier hochkompakter PM-Synchron-Motoren für einer Dauerleistung 45 kW, 1000 ...3000/min, 430 Nm, 200 kg, mit Flüssigkeitsmantelkühlung, axial kurzer Zahnspulenwicklung und Neodymium-Eisen-Bor-Magneten (links: Statoren, rechts: Rotoren).

Fig. 5: Structure of two compact PM synchronous motors for steady state power 45 kW, 1000 ...3000 rpm, 430 Nm, 200 kg, with liquid jacket cooling, axial short tooth coil winding and Neodymium-Iron-Boron-magnets (left: stators, right: rotors).



Electrical Power Engineering: Future Key Technology

Large power stations are located today near to the consumers. Due to evolution of renewable and decentralised sources like fuel cells and micro turbines, the distributed generation will play a very important role in future power systems, calling for new transmission possibilities. Wind and photovoltaic generation are fluctuating, and therefore storage will become important. The technical requirements will lead to the increased application of power electronics in controlling the grid. Energy Management Systems optimizing generation, supply and consumption of electrical power will be mandatory in the future.

The IPCC Assessment Report showed there is no alternative to renewable energy sources. Although there were outstanding growth rates in the last years concerning wind energy and photovoltaic, in times of low supply of renewable energies and strong demands on the consumer side, the lack of energy has to be provided by fossil or nuclear sources. This system will soon reach economical limits. Innovative storage concepts can solve this problem. Especially compressed air energy storages are a good option for the future. Besides storage, an efficient transformation of fossil energy is important. One possibility is to use combi-

1883

The School of Electrical Engineering is established at TH Darmstadt, thus allowing an independent

course of studies in Electrical Engineering for the first time.

ned heat and power plants with fuel cells. In order to increase the power density and to lower the costs, new nano-materials (carbon nanotubes) for fuel cells are developed.

Nano materials for Mega-Volts

Transmission voltages are growing towards 1,5 MV_{ac} and 800 kV_{dc}, increasing the electrical and mechanical stress on the components. Thus, one major concern of research in high-voltage engineering is the improvement of insulation systems. Application of nano-fillers in polymeric insulation materials often yields surprising properties. Nanostructured surfaces improve the insulation performance under polluted conditions. Multifunctional, auto-adaptive and non-linear insulation materials change their electrical and mechanical properties under the influence of the electric field,

temperature or mechanical stress. Functionally gradient materials help to reduce electrical field stress by a spatial distribution of their electrical characteristics (permittivity, conductivity).

In near future, most electrical energy will be processed by power electronics. On its way from generation to the customer's application, energy is saved by power electronics, which greatly contributes to cost effectiveness and environmental sustainability. Renewable sources like wind, photovoltaics etc. depend on highly efficient power electronic converters. More than 50% of electrical energy is used by drives. In many cases, the efficiency can be dramatically increased by changing from constant speed operation to variable speed, optimally controlled operation, applying power electronic solutions. Future high-band-gap materials (e.g. SiC) will trigger a burst of innovations opening



Licht ohne Grenzen!

OSRAM
 Opto Semiconductors ist einer der drei weltweit größten Hersteller von optoelektronischen Halbleitern. Mit innovativen, markt- und kundengerechten Lösungen in den Bereichen Illumination, Visualisierung und Sensorik – von der LED über intelligente Displays bis hin zu High Power Lasern – setzen wir neue technologische Standards.

Unsere Mitarbeiter haben alle Möglichkeiten, ihre Kenntnisse und Fähigkeiten in einem weltweit engagierten Team zu entfalten und weiterzuentwickeln: Als Global Player haben wir auch Standorte in USA und Malaysia. Die konsequente Erschließung neuer Märkte und Unternehmensfelder garantiert auch in Zukunft unser dynamisches Wachstum.

In welchem Licht sehen Sie Ihre Zukunft?
www.osram-os.com

Helle Köpfe gesucht,
 die sich für innovative Licht-Lösungen begeistert einsetzen!

Sie studieren:

- Physik
- Elektrotechnik
- Chemie
- Mikrosystemtechnik
- Maschinenbau
- Feinwerktechnik
- Werkstoffwissenschaften
- Wirtschaftsingenieurwesen

Wir bieten Ihnen:

ideale Voraussetzungen für Ihren Start! Unabhängig davon, ob Sie (m/w) als **Praktikant, Diplomand** oder **Absolvent** bei uns einsteigen möchten. Sie sagen uns, was Sie können – wir fördern Sie entsprechend.

Bewerbung

Detaillierte Informationen und die Kennziffern zu den einzelnen Positionen finden Sie auf unserer Website unter www.osram-os.com.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann senden Sie Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe der jeweiligen Kennziffer an:

Osram Opto Semiconductors GmbH, Human Resources,
 Wernerwerkstraße 2, 93049 Regensburg, rbg.jobs@osram-os.com

Opto Semiconductors

OSRAM

1883

Michael von Dolivo-Dobrowolsky studiert bei Kittler und wird 1885 dessen Assistent. Seit 1887 ist er Konstrukteur bei der AEG und entwickelt den ersten funktionsfähigen Drehstrommotor. Er prägt den Be-

griff „Drehstrom“ und ist 1891 an der weltweit ersten Fernleitung elektrischer Energie von Lauffen am Neckar nach Frankfurt am Main maßgeblich beteiligt.



the way for applications with very high voltages, high temperatures at even lower losses.

The "silent" revolution

Rare earth PM materials with high energy density enabled PM synchronous machines with high torque and power density. Drives systems for robotics, tooling machines nearly exclusively use PM drives, featuring high dynamic performance, low losses, excellent con-

trollability and positioning in the micron range. Applying this technology in hybrid cars, in ships (10...20 MW), as wind generators (~3 MW) and in future trains e.g. as gearless drives, the number of installed units will grow continuously. The demand of the European Community to reduce the CO₂ production calls for high efficiency motors. Hence, the PM-technology will spread in future consumer drives, e.g. by replacing shaded pole induction motors (efficiency = 20%) by electronically fed PM synchronous motors (efficiency = 80%) in refrigerators.

Das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung

Am Fachgebiet Elektrische Energieversorgung des Instituts für Elektrische Energiesysteme arbeiten derzeit zehn wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf den Gebieten

- Asset Management
- Anbindung von regenerativen Kraftwerken
- Dezentrale Energieversorgung
- Leistungsübertragung
- Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Gerd Balzer,
Tel. 06151/16-4852,
E-Mail: gerd.balzer@eev.tu-darmstadt.de,
www.eev.e-technik.tu-darmstadt.de

Das Institut für Elektrische Energiewandlung

Das Institut für Elektrische Energiewandlung beschäftigt derzeit 16 wissenschaftliche Mitarbeiter mit den Forschungsschwerpunkten:

- High-Speed Antriebe
- Magnetlagerung
- Antriebe für elektr. Bahnen und Hybrid-Autos
- Linear- und Direktantriebe, Mechatronik in der Antriebstechnik
- Generatoren für regenerative Energien
- Parasitäreffekte bei Umrichterspeisung (DFG-Forschergruppe FOR575)

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Binder,
Tel.: 06151/16 2167,
E-Mail: abinder@ew.tu-darmstadt.de,
www.ew.e-technik.tu-darmstadt.de

Das Fachgebiet Regenerative Energien

Neun wissenschaftliche Mitarbeiter arbeiten am Fachgebiet Regenerative Energien an folgenden Themen:

- Batteriemangement und Elektrofahrzeuge

1883

Michael von Dolivo-Dobrowolsky becomes Kittler's student, and in 1885 becomes his assistant. From 1887 on he works as a design engineer for AEG, for whom he develops the first operable three-phase

motor. The term "three-phase current" is also coined by him. In 1891 he constructs the world's first long-distance circuit from Lauffen am Neckar to Frankfurt am Main.

- Druckluftspeicherkraftwerke
- Modellierung von PEMFC-Stacks
- Nanomaterialien für Brennstoffzellen
- Anschluss- und Regelungskonzepte für Offshore-Windparks
- Einsatzfähigkeit von Stirlingmotoren

Ansprechpartner:: Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartkopf,
Tel. 06151/16-2567,
E-Mail: thomas.hartkopf@re.tu-darmstadt.de,
www.re.e-technik.tu-darmstadt.de

Das Fachgebiet Hochspannungstechnik

Am Fachgebiet Hochspannungstechnik des Instituts für Elektrische Energiesysteme forschen derzeit acht wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf den Gebieten

- Nanomaterialien für Brennstoffzellen
- Elektrische Isoliersysteme
- Überspannungsschutz
- Vakuumschalttechnik
- Monitoring- und Diagnoseverfahren
- Komponenten der Beschleunigertechnik

Das Fachgebiet unterhält ein akkreditiertes Höchstspannungsprüffeld, in dem Entwicklungs-, Typ- und Abnahmeprüfungen für externe Kunden an Betriebsmitteln bis in die 800-kV-Spannungsebene durchgeführt werden.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen,
Tel. 06151/16-2529,
E-Mail: hinrichsen@hst.tu-darmstadt.de
www.hst.tu-darmstadt.de

Das Institut für Stromrichtertechnik und Antriebsregelung

Am Institut für Stromrichtertechnik und Antriebsregelung forschen derzeit neun wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf den Gebieten

- Linearantriebssysteme mit neuen Funktionalitäten
- Sensorlose Antriebsregelungen für neue Maschinentypen (Linear-, Zahnspulenwicklung)
- Leistungs- und Informationsverarbeitung für fehlertolerante Antriebe
- Verlustminimierte Antriebsumrichter
- Parasitäreffekte bei Umrichterspeisung (DFG-Forscherguppe FOR575)

Institutsleiter:: Prof. Dr.-Ing. Peter Mutschler,
Tel.: 06151/16 2166,
E-Mail: pmu@srt.tu-darmstadt.de,
www.srt.tu-darmstadt.de

1884

Carl Hering, Maschinenbauingenieur aus den USA, beginnt seine Studien in der Elektrotechnik 1884 als erster Assistent Kittlers. Er ist 1902 einer der Gründer

der American Electrochemical Society und entwickelt 1908 den Heringschen Versuch.

Das Fachgebiet Systemführung in Energieversorgungsnetzen

Am Fachgebiet Systemführung in Energieversorgungsnetzen des Instituts für Elektrische Energiesysteme arbeiten derzeit vier wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf den Gebieten

- Qualität der elektrischen Energieversorgung
- Druckluftspeicherkraftwerke
- Modellierung von PEMFC-Stacks
- Nanomaterialien für Brennstoffzellen
- Bereitstellung von Regelleistung durch virtuelle Kraftwerke
- Kommunikation im liberalisierten Energiemarkt
- Simulation der Energieversorgung von Inselnetzen mit Regenerativen Energien

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stenzel,
Tel.: 06151/16-2852,
E-Mail: juergen.stenzel@eev.tu-darmstadt.de,
www.eev.e-technik.tu-darmstadt.de

Anschrift für alle Fachgebiete: Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt



HIER SPRINGT DER FUNKE ÜBER!

Mehr Informationen unter:
www.darmstadtium.de

darmstadtium
wissenschaft kongresse

1884

Carl Hering, a mechanical engineer from the USA, starts his studies in Electrical Engineering as Kittler's head assistant. In 1902 he is one of the founders of

the American Electrochemical Society. In 1908 he develops Hering's Experiment.

125 et:t



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

WIR HABEN VOR 125 JAHREN DEN ELEKTROINGENIEUR ERFUNDEN.

Und seitdem noch vieles mehr...

ES GRATULIEREN:



ISRA
VISION

PEPPERL+FUCHS

degussa.

ROHDE & SCHWARZ

A&G BRAUN

ECKELMANN

VDE

ABB

T-Systems

SIEMENS



BOSCH
Technik fürs Leben

Balfour Beatty
Rail

RWE

ALSTOM

AREVA

Continental

BOMBARDIER

DIEHL
Aerospace

e-on Energie

EnBW

HEAG
Gebündelte Kompetenz.

GSIL

DAIMLERCHRYSLER

darmstadtium

SILENT
DIG

EXTESSY

HSE

WIKAL

JOHANNES
HÜBNER
GIESSEN
ideas and solutions

IBM

infraser
höchst
Dienst. Leistung.

Mechatronik

PFISTERER

REIS
REIS ROBOTICS

REpower
Systems

SEW

Das Projekt wird finanziert
aus Mitteln des Europäischen
Sozialfonds (ESF)

hessen » TTN

SAP RESEARCH

Innovative Lichttechnik: Augenphysiologie und Photonik

Tran Quoc Khanh

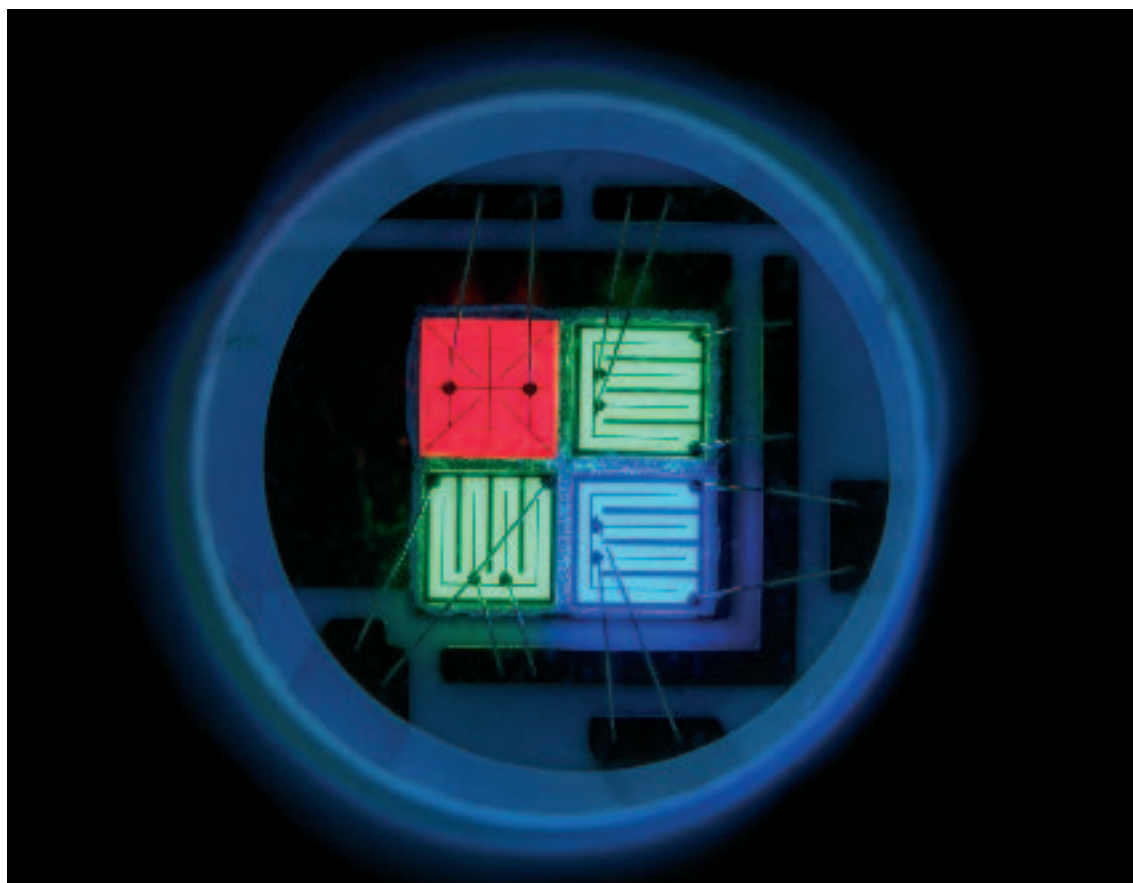


Bild: Fachgebiet Lichttechnik

The paper describes the development of LED technology regarding the improvement of the luminous efficiency and colour rendering for interior lighting applications. Additionally, it illustrates the current research on viewing conditions for the automotive lighting and street lighting.

Der Beitrag befasst sich mit der Entwicklung von LED-Technologie zur Verbesserung der Lichtausbeute und der Farbwiedergabe für die Innenraumbeleuchtung. Außerdem werden Ansätze zur Verbesserung der Sehbedingung für die Automotive Lichttechnik und Straßenbeleuchtung beschrieben.



1894

Karl Wirtz wird zweiter Professor für Elektrotechnik in Darmstadt. Er widmet sich der Schwachstrom-

technik und begründet die Darmstädter Nachrichtentechnik.

Allgemeine Aspekte

Die Lichttechnik wird im klassischen Sinne bisher in Lampentechnik, Lichtmesstechnik, Beleuchtungstechnik und Farbmétrie unterteilt. Die primäre Aufgabe besteht darin, für eine bestimmte Sehaufgabe beziehungsweise eine konkrete Anwendungssituation die passende Leuchtdichteverteilung mit der notwendigen absoluten Helligkeit und Farbstimmung zu verwirklichen.

Das Licht ist dabei eher ein optischer Energieträger und die Sehaufgabe ist meistens statisch, d.h. sie ändert sich mit der Zeit wenig, so dass in den bisherigen Anwendungen vorgegebene Licht- und Farbverteilungen fest programmiert oder starr eingebaut werden. Mit der heutigen Entwicklung der Elektronik, Computertechnik, Laser- und Glasfasertechnik sowie mit der rasanten Entwicklung von Hochleistungs-LED werden die technologischen Voraussetzungen für die optische Nachrichtenübertragung geschaffen. Zu dieser Entwicklung haben zwei Disziplinen beigetragen, die Mikroelektronik und die Optik, die im Laufe der Entwicklung ineinander wachsen und sich stark ergänzen. Über die Photonik spricht man, wenn das Licht konzeptionell als Informationsträger verwendet wird und wenn technologisch die Realisierung der optoelektronischen Bauelemente und deren Integration in Systeme unterschiedlicher Teilaufgaben gemeint werden.

In den letzten zehn Jahren hat sich die Denkweise über die Sehaufgaben der Menschen sowohl im Innenbereich als auch im Außenbereich gewandelt. In der Innenraumbeleuchtung hat man es mit vergleichsweise hoher Leuchtdichte (Tagessehen) zu tun. Hier geht es vorrangig darum, das Licht nicht mehr nur als konstanten Helligkeitsbringer zu betrachten, sondern es je nach Tageszeit, je nach Ort (Aufenthaltsplätze) und je nach den immer flexibler werdenden Arbeitsinhalten dynamisch sowohl in der Lichtverteilung (dunkelhell, diffus, schattig) als auch in der Farbstimmung (Farbtemperatur, Farbkontrast) zu gestalten.

In der Außenbeleuchtung mit den Spezialgebieten wie Straßenbeleuchtung und Kfz-Lichttechnik hat man es einerseits mit vergleichsweise niedriger Leuchtdichte (Dämmerungssehen) und andererseits mit dynamischen Vorgängen (schnelle Bewegung von Autos und anderen Objekten auf der Fahrbahn) zu tun. Hier spielen physiologische Parameter wie Reaktionszeit, Sehschärfe, Kontrastempfindlichkeit und Blendung eine herausragende Rolle. Die Sehaufgaben ändern sich dabei sehr dynamisch je nach Verkehrsaufkommen, Topologie der Straße (Autobahn, Landstraße, Stadtbahn, Bergkuppe, Kurven, Kreuzung...) und Position, Anzahl und Größe der Objekte im Gesichtsfeld des Betrachters.

Daher besteht ein großer Bedarf in der Außenbeleuchtung, die Lichtverteilung, die Helligkeit und Lichtfarbe je nach der aktuellen Verkehrssituation auf der Basis der augenphysiologischen Untersuchungsergebnisse flexibel zu variieren. Das Licht ist dabei einerseits ein Energieträger, andererseits ist es ein Informationsträger. Am Ende der informationstechnischen Kette ist eine Entscheidung zu treffen, wie die Lichtverteilung einzustellen ist. Dafür sind photonische Überlegungen und Umsetzungen notwendig. Der gemeinsame Nenner bei der Entwicklung sowohl in der Innenraumbeleuchtung als auch in der Außenbeleuchtung ist die Bemühung, die lichttechnischen Wirkungsgrade der Beleuchtung zu optimieren. Dies schließt die Lichtausbeute der Lichtquellen, die Leuchtwirkungsgrade sowie die Art der praktischen Nutzung der Lichtverteilungen ein, mit dem Ziel, die Naturressourcen optimal zu nutzen und die Umwelt zu schonen.

Das Ziel des vorliegenden Artikels besteht darin, eine Übersicht über derzeitige innovative Forschungsthemen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu geben, bei denen das Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt mitwirkt.

Entwicklungen für die Innenraumbeleuchtung

Betrachtet man die lichttechnische Entwicklung in der Innenraumbeleuchtung bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts, so stellt man fest, dass aus technologischer Sicht sowohl die Lampentechnik als auch die Beleuchtungstechnik immer weniger innovative Impulse liefern konnten. Die Halogenleuchtstofflampentechnik erreicht eine maximale Lichtausbeute von etwa 25 lm/W mit bekannten Spektren und die Entladungslampentechnik einen Wert von ca. 110 lm/W, wobei die spektrale Verteilung und dadurch die Lichtfarbe sowie Farbwiedergabe keine großen Variationsräume mehr erfahren. In der Beleuchtungstechnik erreicht man die Vielfalt der Lichtverteilung durch eine große Anzahl an Reflektorformen und eine Variation im Leuchtendesign (direkte, indirekte, direkt-indirekte Beleuchtung).

Eine große Variabilität in der Farbgestaltung (Farbtemperatur, Farbkontrast, Farbfläche) konnte man bis vor kurzem nicht verwirklichen. Dieses Defizit kann man zum Teil kompensieren, indem man gezielt intelligente Systeme zur Tageslichtlenkung in den Innenraum entwickelt und auf diese Weise, neben der energieeffizienten Nutzung vom Tageslicht, eine Vergrößerung der Farbvariabilität erreicht. Generell handelte es sich bis vor kurzem bei der Farbgestaltung um das dynamische polychromatische Licht unterschiedlicher Farbtemperaturen, wobei sich die Farbtempe-

1894

Karl Wirtz is appointed as the second Professor of Electrical Engineering at TH Darmstadt. He concen-

trates on Light-Current Engineering and establishes Communication Engineering in Darmstadt.

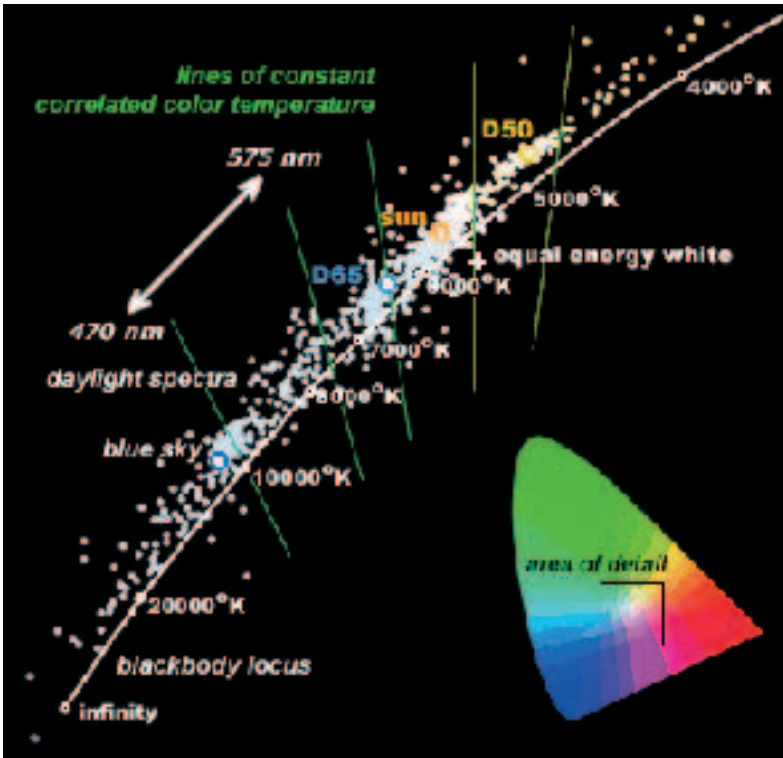


Bild 1: Planckscher Kurvenzug mit entsprechenden Farbtemperaturen und deren Tageslicht-äquivalente Farbörter (Bildquelle nach /6/).

Fig 1: Blackbody Planckian locus with the according colour temperatures and their daylight equivalent.

raturen noch sehr nah dem Planckschen Kurvenzug oder dem Kurvenzug für Tageslichter bewegen (s. Bild 1). Das Licht ist dabei tendenziell weiß.

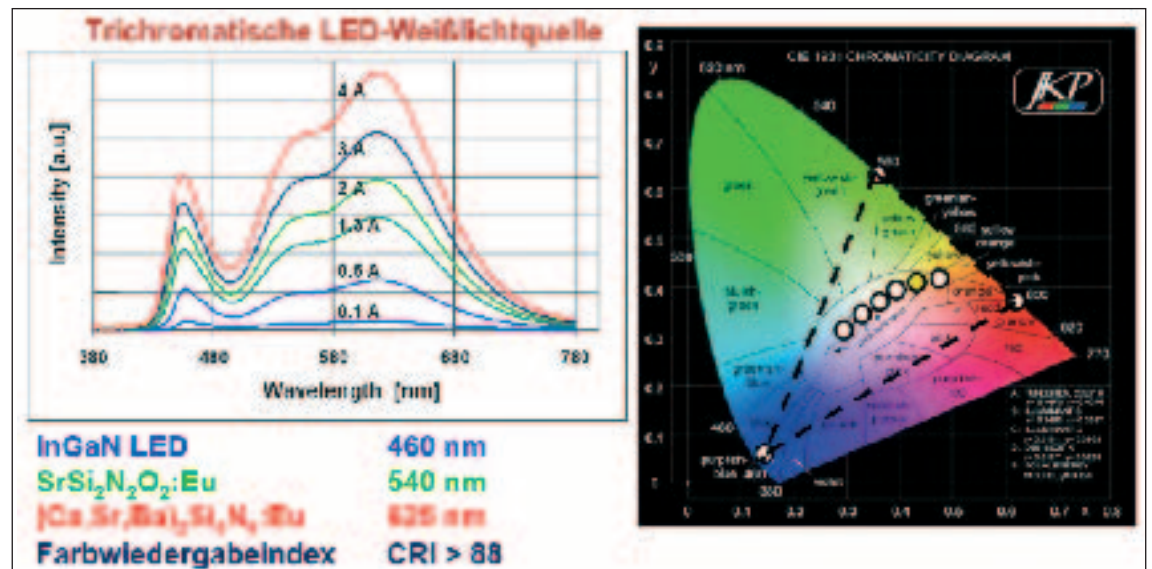
Mit der Entwicklung und technologischen Einführung von Hochleistungsleuchtdioden (HL-LED) mit einem großen Programm an Spektren ist es möglich, für die Innenraumbeleuchtung von der allgemeinen Beleuchtung bis hin zur Theaterbeleuchtung vollstän-

dige Farbstimmungskonzepte zu erstellen, die auch farbige Flächen je nach Tagesphase (Morgenröte, Sonnenuntergang) und emotionaler Stimmung ermöglichen. Aus technologischer Sicht verbinden sich mit der Entwicklung von LED folgende Entwicklungstendenzen und Potentiale:

- 1) Das LED-Bauelement mit weißer tageslichtähnlicher Strahlung erreicht zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung eine Lichtausbeute von 80 lm/W bei einem LED-Strom von 350 mA und etwa 55 lm/W bei einem LED-Strom von 1 A. Gemessen wurden diese Werte bei einer pn-Übergangstemperatur um 100°C, welche durchaus realistisch für die Anwendungen in der Innenraumbeleuchtung ist [1]. Somit erreicht man eine Lichtausbeute, die vergleichbar mit der von Kompaktleuchtstofflampen ist. Die Tendenz der Entwicklung der Lichtausbeute des LED-Bauelements im Zeitraum 2008-2009 kann auf etwa 90-100 lm/W prognostiziert werden. Diese Betrachtung ist sachlicher, wenn man die Systemlichtausbeute mit Vorschaltgerät und Kühlaufwand bei LED-Bauelementen berücksichtigt. Die warmweißen LED-Bauelemente haben dagegen nur eine Lichtausbeute um 20 lm/W bei einer pn-Übergangstemperatur von 100°C [2].
- 2) Die tageslichtweißen LED erreichen derzeit eine nach der heutigen Farbmetrik definierte Farbwiedergabe von CRI= 70-75 und werden daher nicht für die Allgemeinbeleuchtung im Wohnraumbereich genutzt. Um eine wirkliche Anwendungsakzeptanz im Innenraumbereich zu erhalten, müssen neue Lumineszenzstoffe entwickelt werden, die folgende Anforderungen erfüllen:

Bild 2: Neue Lumineszenzstoffe für Hochleistungs-LED im Farbtemperaturbereich von 2700 K bis 8000 K und mit Farbwiedergabeindex größer als 88 (Bildquelle nach /2/).

Fig 2: New luminescence materials for High-power LED in the colour temperature range between 2700 K and 8000 K with colour rendering indices better than 88 (picture source acc. /2/).



1898

Adolf Sengel wird dritter Professor für Elektrotechnik an der TH. Zwischen 1900 und 1906 besuchen etwa

29-31% aller in Deutschland für Elektrotechnik eingeschriebenen Studierenden die TH.

- hohe Farbwiedergabeindizes von 85 bis etwa 96 im Farbtemperaturbereich von 2700 K (warmweiß) bis 8000 K (tageslichtähnlich),
- temperatur- und feuchtigkeitsstabil, und
- hohe Lichtausbeute (über 80 lm/W).

Derartige Lumineszenzstoffe werden derzeit erprobt; erste Ergebnisse sind in Bild 2 zu sehen.

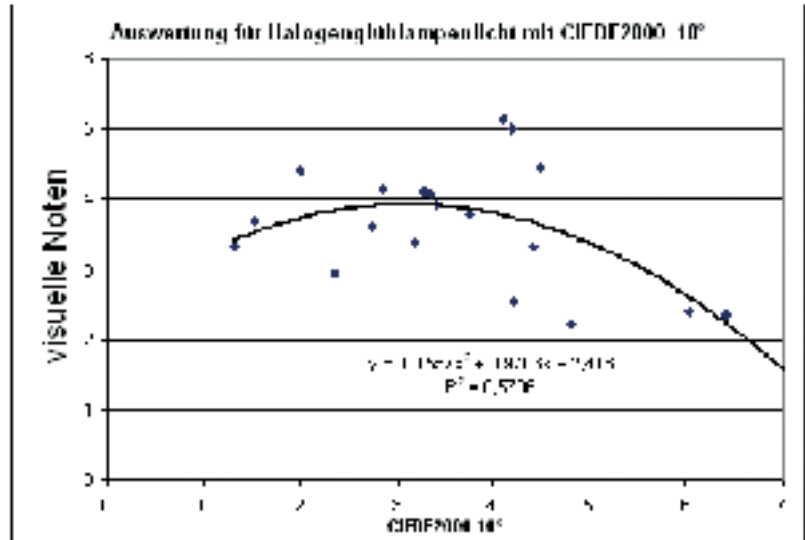
Während die obigen zwei Entwicklungstendenzen von eher technologischem Charakter sind, stellt man auf der anderen Seite physiologisch-wahrnehmungstechnisch fest, dass die bisherige Definition von Farbwiedergabe gerade bei der LED nicht der menschlichen Farbwahrnehmung entspricht [3]. Die Farbwiedergabe ist per Definition der Farbeindruck einer betrachteten Lichtquelle im Vergleich zum Farbeindruck einer Referenzlichtquelle gleicher Farbtemperatur bei der gleichen Beleuchtungsbedingung. Die Berechnung einer wahrnehmungsgerechten Farbwiedergabe setzt voraus, dass die berechnete Farbdifferenz zwischen der betrachteten und der Referenzlichtquelle auch der wahrgenommenen Farbdifferenz entspricht. Das bedingt wiederum, dass die Farben ordnungstechnisch in einem dreidimensionalen Farbraum wahrnehmungsgerecht gleichabständig angeordnet und eine dafür geeignete Farbdifferenzformel gefunden werden muss.

Weltweit gibt es momentan drei Forschungsgruppen, die das Thema Farbwiedergabe untersuchen. Der vom Fachgebiet Lichttechnik an der TU Darmstadt verfolgte Ansatz, die Farbdifferenzformel CIEDE2000 [4] als Grundlage der Farbdifferenzberechnung zu verwenden, erzielte anhand von 32 ausgesuchten Farbproben eine für visuelle psychophysische Untersuchungen vergleichsweise gute Korrelation zwischen berechnetem Farbdifferenzergebnis und visueller Farbdifferenzbeurteilung (s. Bild 3).

Mit diesem Ansatz hat man eine Grundlage geschaffen, in absehbarer Zeit eine wahrnehmungsrelevante und deshalb akzeptable Definition der Farbwiedergabe zu finden und in der Lampenindustrie umsetzen zu können.

Forschung und Entwicklung in der Straßenbeleuchtung

Die Kraftfahrzeug- und Straßenbeleuchtung haben gemeinsam, dass die Leuchtdichte in der Nacht auf der Fahrbahn in der Regel zwischen 0,1 cd/m² (60 m vor dem Auto mit Abblendlicht) und 5 cd/m² (im Auto-vorfeld) liegt. Man hat es hier mit dem Dämmerungssehen zu tun, wobei bei immer kleiner werdendem Leuchtdichteniveau die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges im blauen Bereich (bis 480 nm)



gegenüber der spektralen Empfindlichkeit im gelb-roten Bereich von 580 nm bis 750 nm ansteigt. Die Wirkleistung des blauen Lichts nimmt also in der Nacht zu, was sich folgendermaßen bemerkbar macht: die empfundene Helligkeit bei Beleuchtung der Fahrbahn mit Lichtquellen mit hohem Blauanteil nimmt zu. Die Reaktionszeit und das Kontrastverhalten in der Nacht verbessern sich mit höherem Blauanteil der Lichtquelle.

Der erste Aspekt wirkt positiv auf die Wahrnehmung der Verkehrsteilnehmer in der Nacht und bedeutet eine energieeffiziente Lichtnutzung. Im Vergleich mit einer konventionellen Natriumdampfhochdrucklampe (hoher gelber Lichtanteil) kann die elektrische Leistung der eingesetzten Halogenmetallampfen (mit einem hohen blauen Lichtanteil) bei gleicher Helligkeitswahrnehmung reduziert werden. Umgekehrt kann man bei der gleichen elektrischen Lampenleistung der beiden Lampentypen für die Straßenbeleuchtung eine bessere Helligkeitswahrnehmung mit der Halogenmetallampfen erzielen (s. Tabelle 1) [5].

Neben diesen analytischen Ergebnissen plant das Fachgebiet Lichttechnik an der TU Darmstadt die Überprüfung der Erkenntnisse in praktischen Versuchen. Dazu sind auf zwei ähnlichen Straßen im hessischen Raum mit gleicher Infrastruktur und Fahrbahntopologie und mit Beleuchtungsanlagen jeweils mit den Natriumdampflampen und Halogendampflampen, die Helligkeitswahrnehmung und das Kontrastverhalten zu untersuchen. Bei positiven realen Ergebnissen zugunsten der Halogenmetallampfen kann eine verbindliche Empfehlung an die Kommunen, Lichanlagenbetreiber und Energieversorger ausgearbeitet werden, um diese Lampentypen für die

Bild 3: Korrelation zwischen berechnetem Farbdifferenzergebnis und visueller Farbdifferenzbeurteilung.

Fig 3: Correlation between calculated colour difference according CIEDE2000 and visual colour difference perception.

1898

Adolf Sengel is appointed as the third Professor of Electrical Engineering at TH Darmstadt. Between 1900 and 1906 approximately 29-31% of all students

enrolled in Electrical Engineering are attending TH Darmstadt.

Die Einbindung universitärer Forschung in den Produktinnovationsprozess am Beispiel der Entwicklung neuartiger Brems- und Sicherheitssysteme

Dr.-Ing. Peter E. Rieth, Leiter Technologie und Zukunftsentwicklung, Continental Automotive Systems Division

Firmen müssen, wenn sie in der Zukunft erfolgreich sein wollen, die Definition ihrer produkt- und marktwirtschaftlichen Unternehmensziele an den globalen ökonomischen und ökologischen Megatrends ausrichten:

- | | |
|--|---|
| 1. Weltweite Marktpräsenz | 3. Gestiegenes Sicherheitsbewusstsein |
| 2. Weltweite Wettbewerbsfähigkeit bei
Leistung
Qualität
Preis | 4. Gestiegenes Umweltbewusstsein u. nachhaltige Mobilität |
| | 5. Gestiegene Komfort- und Leistungsansprüche |
| | 6. Trend zur stärkeren Individualität |

Diesen Megatrends hat vor allem die längerfristig ausgerichtete strategische Geschäftsplanung Rechnung zu tragen. Dies gilt sowohl für den Fahrzeughersteller als auch für den Zulieferer gleichermaßen. Sie umfasst zur Abdeckung von Punkt 1 den Auf- und Ausbau von Entwicklungs- und Produktionsstandorten weltweit in Kundennähe. Hiermit werden zum einen die Währungsrisiken begrenzt, zum anderen die lokalen Standortvorteile (Markt- und Kundennähe, Löhne, staatliche Incentives) nutzbar gemacht.

Zur Abdeckung von Punkt 2 hat sich das Unternehmen sowohl dem kostenmäßigen als auch dem qualitativen Wettbewerb zu stellen. Dies wird erreicht durch die entwicklungsseitige Konzentration auf weltweit einheitliche Baugruppen und Module und die vollverantwortliche Auslagerung von Entwicklungsaktivitäten (Outsourcing) an die Zulieferer. Die Globalisierung zwingt dazu und eröffnet aber auch gleichzeitig die Chance durch einen global footprint der Entwicklungsstandorte den Lasten aus den stetig steigenden Entwicklungsaufwendungen zu begegnen.

Zur Abdeckung von Punkt 2 in produktbezogen qualitativer und -leistungsmäßiger Hinsicht sowie der weiteren Megatrends sind neue innovative Lösungen auf „world class niveau“ gefragt, die das Autofahren noch sicherer, umweltverträglicher und angenehmer gestalten. Damit soll der Wettbewerbsvorsprung gesichert werden, der letztendlich die Attraktivität und den Erfolg eines Unternehmens begründet.

Dieses Differenzierungsmerkmal gilt umsomehr, als dass die im fernöstlichen Wirtschaftsraum erstarkenden Länder aufgrund ihrer Kostenstruktur bestehende Technik zu erheblich geringeren Preisen auf den Markt bringen können.

Vielfach ist dabei entwicklungsseitiges Neuland zu betreten, sind Grundlagenbereiche abzudecken, die ein primär auf Produktentwicklung ausgerichtetes Industrieunternehmen in der Regel nicht leisten kann. Hier kann die Universität als Partner der Industrie einen wesentlichen Beitrag zur Ableistung dieses Innovationsprozesses beisteuern, indem die jeweils spezifischen Stärken der Partner, also Grundlagenwissen und -forschung auf Seiten der Universität und Wissen zur automobilgerechten großserientauglichen Umsetzung auf Seiten des Industrieunternehmens, auf ideale Weise kombiniert werden. Bei Continental Automotive Systems (CAS) werden alle Formen möglicher Zusammenarbeit praktiziert.

Bei CAS kommt diese Partnerrolle maßgeblich dem Bereich Technologie und Zukunftsentwicklung zu. In diesem Bereich werden Strategieempfehlungen neuer Produkte für die Konzerneinheit Automotive Systems von Continental in weltweiter Verantwortung ausgearbeitet und nach Vorlage und Genehmigung durch die Geschäftsleitung als sogenannte Vor- und Basisentwicklung umgesetzt. Die Zukunftsentwicklung befindet sich am Standort Frankfurt am Main, dem Sitz der Zentrale der Continental Automotive Systems, also dem Ort, an dem Alfred Teves vor 101 Jahren den Erfolg des heutigen Geschäftsbereichs begründete.

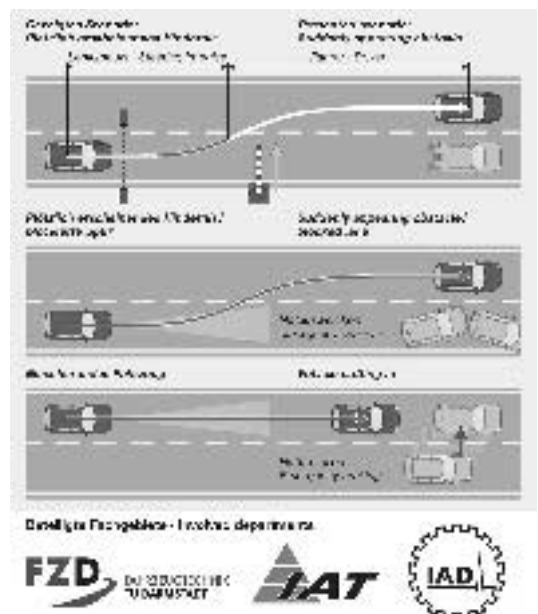
Mit der Technischen Universität Darmstadt bestehen, nicht zuletzt aufgrund der räumlichen Nähe, gewachsene enge Beziehungen. Dies betrifft insbesondere das Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD, Prof. H. Winner) im Fachbereich Maschinenbau sowie das Institut für Automatisierungstechnik (IAT, Prof. U. Königorski / Prof. em. R. Isermann) im Fachbereich Elektro- und Informationstechnik. Weitere Kontakte bestehen zum Fachgebiet für Multimodale Interaktive Systeme (Prof. B. Schiele), sowie zum Fachgebiet für Produktentwicklung und Maschinenelemente (pmd, Prof. H. Birkhofer), zum Fachgebiet Mechatronik (MiM, Prof. R. Nordmann), zum Fachgebiet Fluidsystemtechnik (FST, Prof. P. Pelz/Prof. em. B. Stoffel) und zum Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt (IAD, Prof. R. Bruder).

Mit den vorgenannten Instituten bestanden und bestehen Forschungsk Kooperationen zu spezifischen, grundlegenden Fragestellungen im Bereich Radbremse/Reibungsverhalten, Fahrzeugstabilisierung/Regelung sowie Fahrerassistenz und Unfallvermeidung.

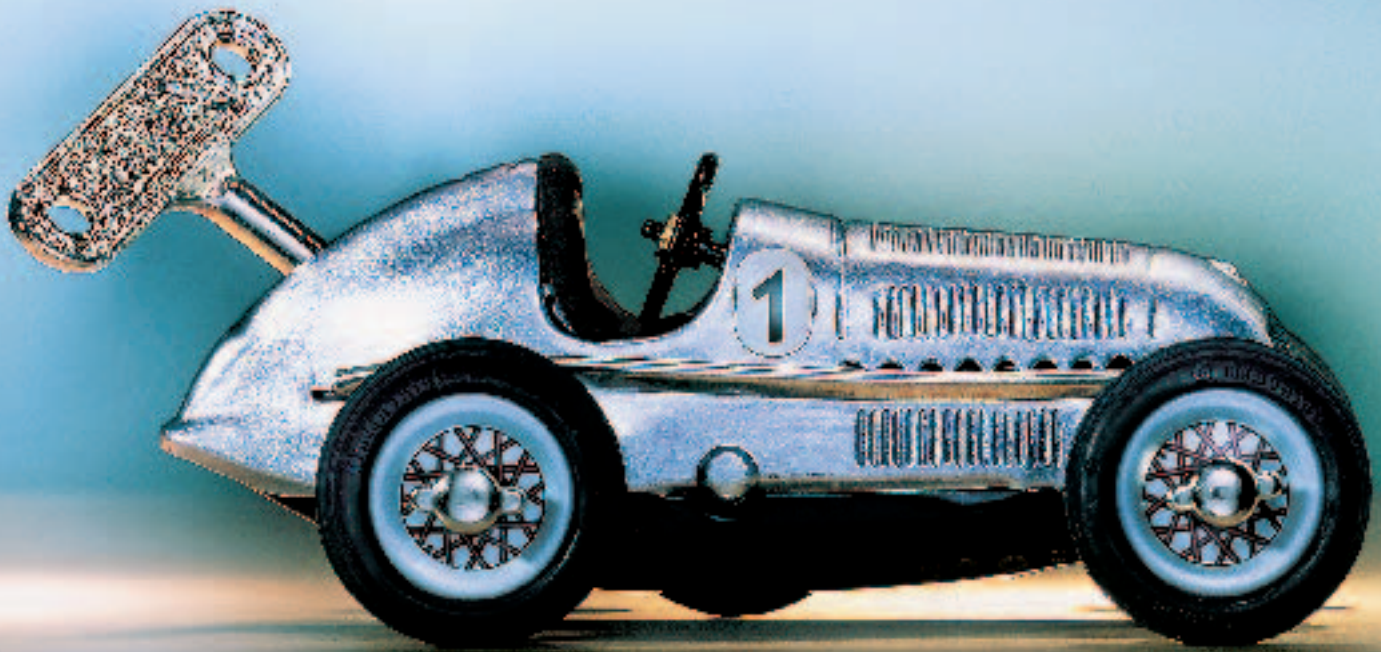
Besonders zu erwähnen ist das Projekt PRORETA – Fahrerassistenz für ein unfallvermeidendes Fahrzeug, welches unter Einbindung mehrerer Lehrstühle im Zeitraum 2002 bis 2006 durchgeführt wurde.

Aufgabe war, ein Basiskonzept für ein Fahrerassistenzsystem zur Vermeidung von Auffahrunfällen zu entwickeln und in ein Forschungsfahrzeug zu integrieren. Ein Team von vier Hochschulwissenschaftlern erarbeitete dazu in dreieinhalb Jahren Sensorkonzepte und Eingriffstrategien. Wird über Umfandsensoren eine drohende Kollision mit einem stehenden Fahrzeug erkannt, greift es situationsangepasst in Bremse und Lenkung ein, um die Kollision zu vermeiden (s. Bild). Im bereits gestarteten Anschlussprojekt PRORETA II sollen im gleichen Umfang Überhol- und Gegenverkehrsszenarien untersucht werden. Alle Arbeiten dienen neben der Erarbeitung grundlegender Kenntnisse auch der wissenschaftlichen Qualifizierung der sie betreuenden Hochschulwissenschaftler.

Die hier beschriebenen Kooperationen wurden mit einer Vielzahl von Studien- und Diplomarbeiten begleitet. Die erarbeiteten Ergebnisse haben das Wissen um das tiefere Verständnis von Brems-Reibungs- und Schwingungsvorgängen sowie zu unfallvermeidenden Technologien am Kfz verbreitert und wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf die automobilgerechte großserientaugliche Umsetzung gebracht. Die überaus positiven Erfahrungen dieser Kooperationen haben gezeigt, dass diese Form der anwendungsorientierten Forschungsförderung ein wirkungsvolles Instrument zur Generierung von Produktinnovationen darstellt.



Are you auto-motivated? Welcome!



Als wegweisender Partner der internationalen Automobilindustrie setzt Continental Maßstäbe für die individuelle Mobilität von heute und morgen. Mit derzeit rund 85.000 Mitarbeitern und einem Umsatz von 14,9 Mrd. Euro im Jahr 2006 ist es unser Ziel, die Spitzenposition im Markt zu sichern. Und das rund um den Globus an mehr als 100 Standorten. Genug Möglichkeiten also, um bei Continental Ihre Karriere in Schwung zu bringen. In einem Klima, das geprägt ist von Offenheit, flachen Hierarchien, internationaler Mobilität und eigenverantwortlichem Handeln. Startbereit? Dann geht es hier zu unserem Hochleistungsteam:

www.conti-online.com



Continental 

Straßenbeleuchtungsanlagen einsetzen zu können. Bei einer Fahrbahnleuchtdichte von $0,3 \text{ cd/m}^2$ spart man gegenüber der Natriumdampfhochdrucklampe gemäß Tabelle 1 etwa 18 % elektrische Leistung. Das ist eine beachtliche Bilanz, wenn man bedenkt, dass 20% bis 30% der verbrauchten Energie einer Industrialisation zurzeit in den Straßenbeleuchtungsanlagen umgesetzt werden.

Die positiven Aspekte der Lichtquellen mit hohem blauen Lichtanteil veranlasst die heutige Automobilindustrie, statt Halogenleuchtampen (Farbtemperatur 3200 K) und Xenonhochdrucklampen (Farbtemperatur ca. 4300 K) tageslichtähnliche LED-Scheinwerfer (Farbtemperatur ca. 6000 K) für die Frontbeleuchtung zu entwickeln. Die Untersuchungen an den weltweit ersten LED-Scheinwerferprototypen am Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt verfolgen einerseits das Ziel, zu untersuchen, ob man mit LED-Scheinwerfern unter rea-

len und labortechnischen Bedingungen signifikante Verbesserungen bezüglich Reaktionszeit und Kontrastverhalten gegenüber bisherigen Scheinwerfer-Lampentechnologien erzielen kann.

Andererseits ist zu klären, ob Verkehrsschilder und Fahrbahnmarkierungen unter dem LED-Licht eine signifikant bessere Erkennbarkeit und Auffälligkeit in der Nacht besitzen und die Verkehrssicherheit auf diese Weise erhöht werden kann.

Bedingt dadurch, dass die LED in naher Zukunft eine hohe Lichtausbeute von 80 lm/W serienreif hervorbringen wird, werden die ersten LED-Scheinwerfer-Autos spätestens im Jahr 2008 auf den Markt kommen. Die Automobilindustrie erhofft sich durch die LED in Kombination mit anderen photonischen Systemen wie Nightvision-Systemen eine enorme Verbesserung der Sichtbarkeitsweite.

Tabelle1: Vergleich der Lichtausbeute: Halogenmetaldampflampe (MH-Lampe) und Natriumdampfhochdrucklampe (HPS).

Table 1: Comparison of light yield: Metal Halogen Lamp (MH) and High Pressure Sodium Lamp (HPS).

Wirkungsgrad (Lampentyp)	Photopischer Bereich	Leuchtdichte	Leuchtdichte
$\text{Lm} \cdot \text{W}^{-1}$	$L > 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$L = 0,3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$L = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
MH 400 W	107,0	136,1	157,2
HPS 400 W	126,9	115,0	99,1

Innovative Lighting Technology: Eye Physiology and Photonics

In times of global warming, the newly up-coming environmental awareness and energy-saving efforts, the efficiency of general lighting has to be improved. The present article gives a short overview which challenges new light sources have to overcome, in order to be able to replace the ubiquitous halogen lamps in general lighting. It also outlines the impact that advanced physiological examinations, which were realized at TU Darmstadt, may have on the energy consumption in exterior lighting.

Current Developments in General

Interior Lighting

Filament lamps with poor efficiency of 25 lm/W and discharge lamps reaching up to 110 lm/W but having comparatively low color rendering index (CRI) are still dominating the market in household and office lighting. Those light sources usually radiate constant spectra with color loci close to the blackbody curve (see Fig. 1).

The fast progression of the High-Power LED in luminous flux, efficiency and costs open up new possibilities in interior lighting of households, offices and theatres. The large variety of spectra enables adaptive ambient color concepts with colored surfaces changing with time of day (dusk, dawn) or highly dynamic effect lighting without the need of costly and inefficient filters.

From the technological point of view two main areas of development are critical for the success of the new light source:

1. The efficiency of the High Power LED has still to be enhanced. Although today's cold-white ("daylight") LED are reaching 80 lm/W at a reasonable junction temperature of 100°C and 350mA driving current, warm-white "halogen-like" LED still emit only 20 lm/W at the same conditions [1]. Also, for a fair comparison, energy losses due to drivers and above all cooling devices



1902

Clarence Feldmann, der 1888 sein Studium in Darmstadt abgeschlossen hatte, habilitiert sich an der TH für Elektrotechnik. Als Professor an der TH Delft und

Präsident des holländischen elektrotechnischen Komitees bestimmt er maßgeblich die Geschicke der niederländischen Elektrotechnik.

- have to be considered ("wall-plug efficiency").
- LED similar to day-light have low color rendering properties of about $CRI = 70..75$. The key to enhanced CRI while keeping high efficiency lies in new or improved luminescent materials (phosphors, ref. Fig. 2). Those materials have to fulfill following requirements:
 - High $CRI = 85..96$ and color temperatures from 2700 K (warm-white) to 8000 K (day light),
 - Temperature stable and humidity resistant and
 - High efficiency $> 80 \text{ lm/W}$.

While the two mentioned aspects are technological issues which will be overcome in short time, lighting engineers throughout the world have registered that the currently used methods for calculating the CRI cannot be applied on LED light sources [3]. Requirement for a method that suits human perception is an equidistant 3D color space which still has to be defined.

Currently, world-wide only three research groups are working on this task. The approach pursued at the Laboratory of Lighting Technology at TUD uses the already defined formula CIEDE2000 [4] as basis for the CRI calculation. The results show a, for psychophysical experiments, relatively high correlation between calculated and perceived color difference (see Fig. 3).

This work may be the cornerstone for a perception-based and therefore acceptable definition of CRI that may be used by the lighting industry.

Research on Automotive and Street Lighting

Traffic lighting scenarios typically show luminance levels of $L = 0,1 - 5 \text{ cd/m}^2$ which implies a mesopically adapted eye. The maximum sensitivity for light is shifting from green (555 nm) towards blue (507 nm) when the ambient luminance is lowered towards night-time conditions. The effective power of blue light is accordingly higher compared to yellow or red light during night-time or twilight conditions which causes the two following aspects:

1. The perceived brightness of light with high blue content like cold-white LED is higher,
2. Reaction-time and contrast sensitivity in illumination scenarios with high blue content are better.

Metal Halogen Lamps (MH) with higher blue content compared to widely used High Pressure Sodium Lamps (HPS) can be driven at 18 % less power while generating the same perceived brightness on the ground. The potential energy is enormous considering that 20 - 30 % of an industrial nation's energy consumption used for road and traffic lighting. TUD is currently conducting tests to generate recommendations for the townships for efficient road lighting applications.

The automotive industry will launch the first serial model with optional LED lighting at beginning of 2008. Physiological tests at the Laboratory for Lighting Technology involve the examination of the benefits or risks of LED automotive front lighting.

Literatur

- [1] Singer, C: Lichtstrommessung an LED-Bauelementen der neuesten Generation, Studienarbeit am Fachgebiet Lichttechnik, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Darmstadt, März 2007 .
- [2] Jüstel T.: Neuartige Leuchtstoffe für Hochleistungs-LEDs, VDI-Fachtagung, 21.-22. November 2006, Düsseldorf.
- [3] CIE TC 1-62: Colour rendering of white LED light sources, CIE-Technical Report, Wien, 2007.
- [4] Luo M.R., Cui G. and Rigg B.: The Development of the CIE 2000 Colour Difference Formula, Colour Research and Applications 26, 2001, S.340-350.
- [5] Khanh, T.Q.: Physiologische und psychologische Aspekte der Photometrie, Colorimetrie und Farbbildverarbeitung, Habilitationsschrift, Technische Universität Ilmenau, März 2005.
- [6] MacEvoy, B.: Color temperature, online publication, www.handprint.com.

Das Fachgebiet Lichttechnik

Im Fachgebiet Lichttechnik des Instituts für Elektromechanische Konstruktionen im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik stehen folgende Forschungs- und Entwicklungsthemen im Vordergrund:

- Optoelektronik (LED, OLED, Halbleitersensorik, Kameratechnik)
- Lichtmesstechnik, Farbmessung, Displaytechnik
- Wahrnehmungsphysiologie und Kfz-Lichttechnik
- Technische Optik, optischer Gerätebau und Lichtsimulation

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh
 Hochschulstraße 4a
 64289 Darmstadt · Gebäude S2/9, Raum: 109
 Telefon: 06151/16-2742
 E-Mail: khanh@lichttechnik.tu-darmstadt.de · www.lichttechnik.tu-darmstadt.de

1902

Clarence Feldmann, who graduated from TH Darmstadt in 1888, habitates in Electrical Engineering at TH Darmstadt. As Professor of Electrical Engineering at TH Delft and as President of the Dutch Committee

of Electrical Engineering, he is one of the most distinguished figures in the history of Electrical Engineering in the Netherlands.

Das Automobil im neuen Jahrtausend: Software auf Rädern

Ulrich Konigorski/Andy Schürr

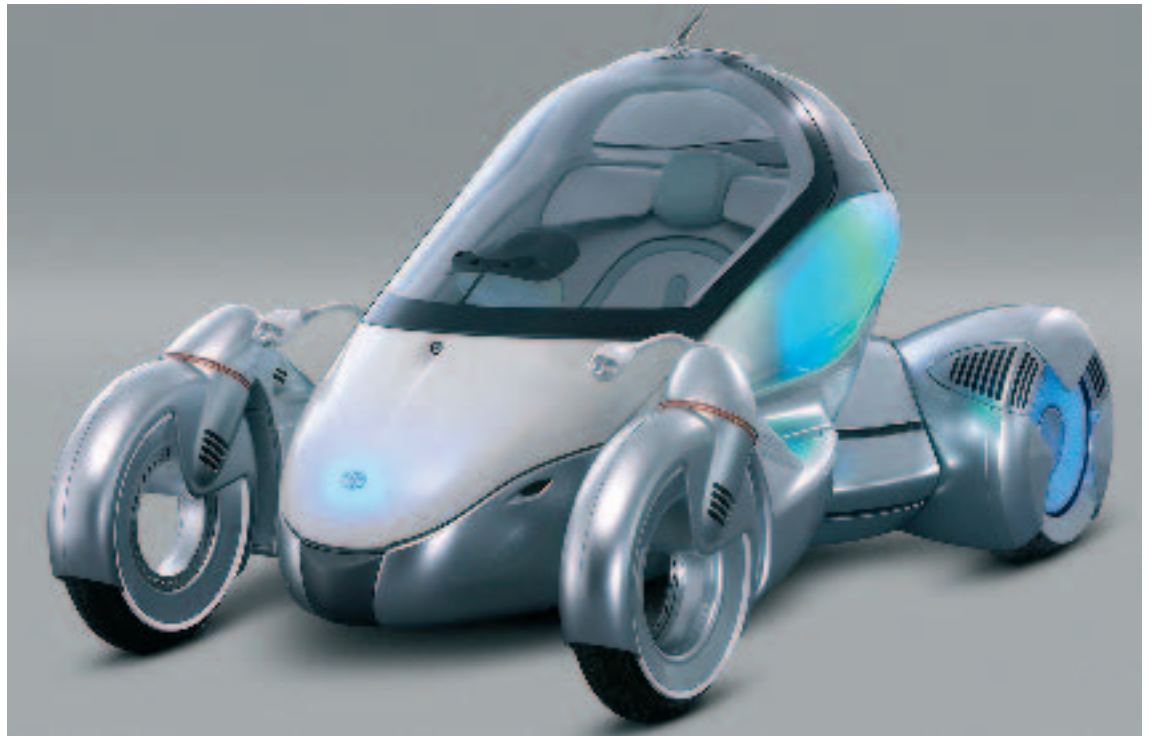


Bild: Toyota PM Concept Cars

The automobile of the future is an electronic data processing centre whose software (SW) will grow up to some billion lines of code. This tremendous growth in SW complexity together with the highest demands on safety and reliability requires new SW design methods. Consistent use of executable models on different abstraction levels together with a tight cooperation between control engineers and SW engineers are the necessary basis to achieve this goal.

Das Automobil der Zukunft ist ein fahrendes Rechenzentrum, dessen Software (SW) in Kürze auf einige Milliarden Zeilen Code anwachsen wird. Diese explosionsartige Zunahme der Automotive-SW-Komplexität gepaart mit höchsten Ansprüchen an Sicherheit und Zuverlässigkeit erfordert neue SW-Entwicklungs-Methoden. Konsequenter Einsatz ausführbarer Modelle auf verschiedenen Abstraktionsstufen gepaart mit der engen Kooperation von Regelungstechnikern und SW-Ingenieuren bilden dafür die notwendige Basis.



1907

Waldemar Petersen erhält die Venia legendi an der TH Darmstadt. Er wird 1918 Nachfolger Kittlers und bleibt auch nach seinem Wechsel in den Vorstand der

AEG 1926 der TH als Professor verbunden. Petersen gilt als Wegbereiter der Hochspannungstechnik und erfindet u.a. die nach ihm benannte Petersenspule.

Take off towards new horizons!



Als führender Luftfahrzeugausrüster in Deutschland bietet Diehl Aerospace Systemlösungen für die Ausrüstung vom Cockpit bis in die Kabine. Dabei setzt Diehl Aerospace immer wieder neue Maßstäbe durch hochwertige Entwicklungs- und Ingenieursleistungen.

Zur Unterstützung unseres Teams suchen wir weiterhin qualifizierte und motivierte Hochschulabsolventen (m/w) sowie Praktikanten (m/w), Diplomanden (m/w) und Werkstudenten (m/w). Informieren Sie sich über die verschiedenen Einstiegsmöglichkeiten bei Diehl Aerospace unter:

www.diehl-aerospace.de

A Joint Diehl Thales Company

DIEHL
VA Systeme

DIEHL
Aerospace

Mein Fahrzeug, ein Rechenzentrum

Der Informationstechnik (IT) fällt im 21. Jahrhundert eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung innovativer Produkte in der Automobilindustrie zu. Nur durch die konsequente Entwicklung neuer IT-Systeme auf Basis mikroelektronischer und mechatronischer Komponenten können in Zukunft die Forderungen nach Verringerung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen, Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit, erhöhtem Komfort und Integration immer leistungsfähigerer Infotainment-Systeme erfüllt werden.

Speziell bei Fahrzeugen der Oberklasse ist inzwischen die Ausstattung mit Navigationssystemen, Einparkhilfe, elektronischer Getriebesteuerung, etc. beeindruckend. Aber auch Kleinwagen müssen nicht mehr auf DVD-Spieler, Servolenkung, ABS und ESP verzichten. In einigen Fahrzeugen

sind bereits heute mehr als 2.000 Funktionen als Millionen Zeilen Code verteilt auf mehr als 70 Steuergeräte realisiert, die durch bis zu fünf Bussysteme miteinander verbunden sind (Abb. 1). Dieser Trend in Richtung IT wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Im Bereich der Fahrerinformation und -kommunikation werden Themen wie Sprachbedienung, Multimedia und Internet verstärkt in den Vordergrund treten; bei den Komfortfunktionen seien stellvertretend die elektronischen Zugangssysteme genannt. In der Antriebstechnik werden die Optimierung der Benzin- und Dieseldirekteinspritzung, die Bremsenergieerückgewinnung, eine Start-Stopp-Automatik sowie alternative Antriebskonzepte zu einer weiteren Senkung von Verbrauch und Abgasemissionen führen. Im Bereich der aktiven Sicherheit werden z.B. X-by-Wire-Systeme verstärkt Einzug in künftige Fahrzeuggenerationen halten. Insbesondere die in Entwicklungsstudien (Abb. 3) bereits heute verfügbaren Brake-by-Wire- und Steer-by-Wire-Systeme, die die mechanische Übertragung von Brems- und Lenkeingriffen ganz

1907

Waldemar Petersen obtains Venia Legendi at TH Darmstadt. In 1918 he succeeds Kittler as Professor of Electrical Engineering. In 1926 he is appointed to AEG's board of management, but he continues to

teach at TH Darmstadt. Petersen is said to have paved the way for High-Tension Engineering and invented, among other things, the Petersen coil, which was named for him.

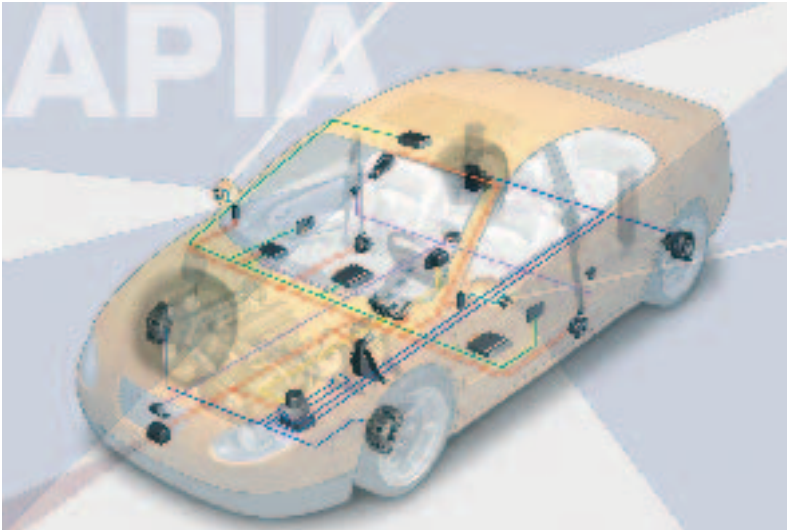


Abb. 1: Beispiel zur Vernetzung aller aktiven und passiven Sicherheitssysteme sowie der Umfeldsensorik (Bild Continental Automotive Systems).

Fig. 1: Example of the integration of active and passive safety systems including environment sensors (Photo Continental Automotive Systems).

durch Elektronik ersetzt, werden dabei weitreichende Auswirkungen auf aktive Sicherheit und Komfort sowie auf Fahrzeuginfrastrukturen haben.

Automotive-Software-Entwicklung heute

So ist es nicht verwunderlich, dass der IT-Anteil sowohl an den KFZ-Herstellungskosten mit etwa 40% als auch den Rückrufaktionen dramatisch angestiegen ist. Dies gilt insbesondere für die Software-

Anteile (SW), die von einigen 10.000 Zeilen Code im vergangenen Jahrtausend auf vermutlich einige Milliarden Zeilen Code im Jahr 2010 anwachsen. Daher werden wir uns im Folgenden auf Vorgehensmodelle für die Entwicklung von Automotive-SW konzentrieren. Bislang spielen hierbei Varianten des so genannten V-Modells eine herausragende Rolle (Abb. 2). Es stellt den konstruktiven Entwicklungsphasen (1) der Ermittlung von Benutzeranforderungen, (2) der Ableitung eines Funktionsmodells, (3) seiner Verfeinerung zu einem Implementierungsmodell und (4) dessen Übersetzung in ausführbaren Code eine gleiche Anzahl qualitätssichernder Maßnahmen gegenüber. Zunächst werden (5) die einzelnen Software-Komponenten für sich getestet; anschließend werden diese zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt und (6) umfassenden Integrations-Tests unterworfen. Schließlich wird die entwickelte SW auf der Zielplattform zunächst am (7) Prüfstand und dann (8) im realen Fahrzeug weiteren Erprobungen unterworfen.

Im klassischen V-Modell stehen die Ergebnisse der konstruktiven Entwicklungsphasen oft isoliert nebeneinander und es beginnt erst nach der Implementierungsphase der Test der entwickelten SW-Funktionalität. Damit sind Inkonsistenzen von Dokumenten, teure Rückgriffe im Entwicklungsprozess und Rückrufaktionen vorprogrammiert.

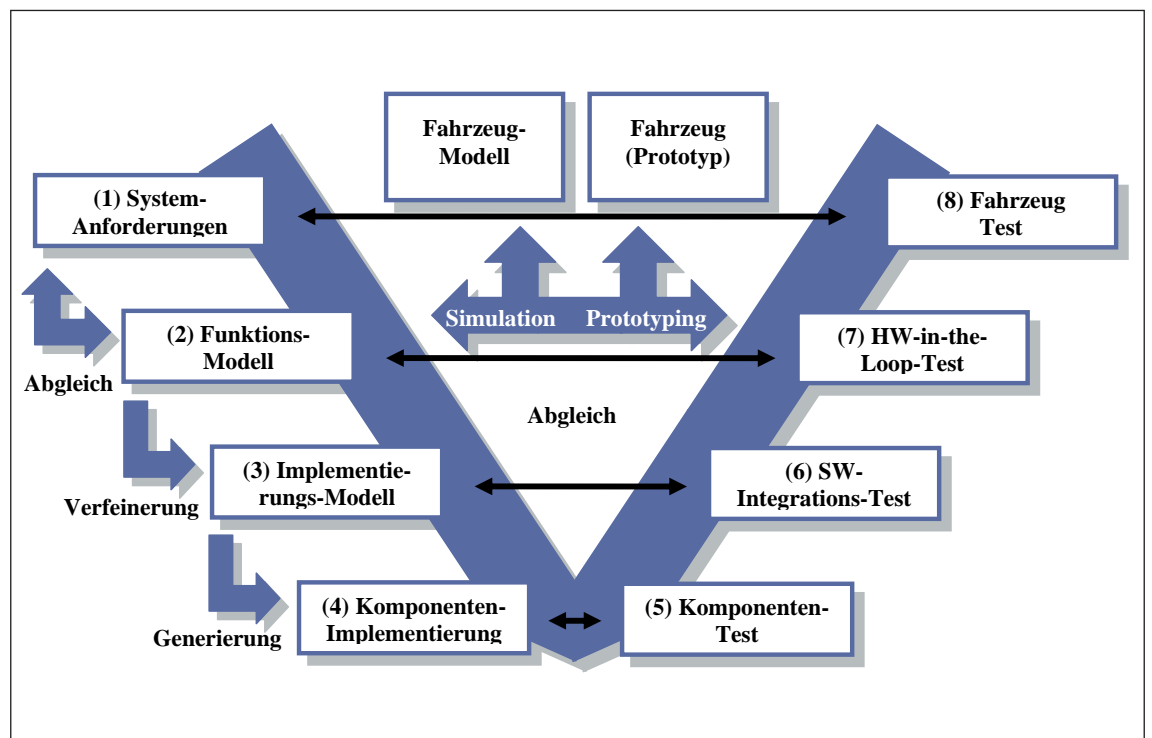


Abb. 2: Modellgetriebene Automotive-Softwareentwicklung nach dem verallgemeinerten V-Modell (vereinfachte Version).

Fig. 2: Model-driven automotive software development using a modified variant of the German V-Model (simplified version).



1911

Rudolf Goldschmidt erhält den Professorentitel verliehen. Er ist in verschiedenen nachrichtentechnischen Unternehmen tätig und entwickelt eine Hoch-

frequenzmaschine, die 1914 die erste drahtlose Telegraphie zwischen Deutschland (Eilvese) und den USA (Tuckerton) ermöglicht.

Willkommen

beim Innovationsführer für Lenksysteme

www.zf-lenksysteme.com



Mit innovativer Spitzentechnologie für PKW und Nutzfahrzeuge sind wir einer der Weltmarktführer für Lenksysteme. Wir begeistern anspruchsvolle Fahrzeughersteller und bringen für die internationale Automobilindustrie neue Fahrzeugkonzepte in Bewegung.

Steigen Sie ein: Spannende Aufgaben für Ingenieure (m/w)

Wir bieten **Ingenieuren (m/w) der Fachrichtungen Elektrotechnik, Maschinenbau, Feinwerktechnik, Mechatronik und Wirtschaftsingenieurwesen** interessante Aufgabenstellungen, die sie in Teams mit großer Eigenständigkeit und Selbstverantwortung lösen. Gute Englischkenntnisse sind durch die internationale Ausrichtung unseres Unternehmens zwingend erforderlich.

Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website. Für Auskünfte stehen Ihnen außerdem Frau Gold und Frau Guth gerne zur Verfügung: Telefon 07171/31-2217 bzw. -2669; E-Mail: priska.gold@zf-lenksysteme.com oder ottilie.guth@zf-lenksysteme.com

www.zf-lenksysteme.com

Ein Gemeinschaftsunternehmen
der Robert Bosch GmbH
und der ZF Friedrichshafen AG



Vom Programmieren zum Modellieren

Beim modellgetriebenen Entwicklungsprozess wird zunächst ein *ausführbares* Funktionsmodell erstellt, das über vielfältige Beziehungen mit den Systemanforderungen verbunden ist, um so ihre Konsistenz mit dem Funktionsmodell zu gewährleisten. Das ausführbare Funktionsmodell wird zusammen mit ebenfalls ausführbaren Umgebungs- und Fahrzeugmodellen bereits sehr früh im Entwicklungsprozess für umfangreiche Simulationen eingesetzt. In späteren Entwicklungsphasen unterstützt dasselbe Funktionsmodell zudem das Rapid Prototyping von Softwarefunktionen für „echte“ Fahrzeugtests.

Der Übergang vom Funktionsmodell zum effizienten, sicheren und wartungsfreundlichen Produktionscode geschieht in zwei Stufen: zunächst wird das Funktionsmodell halbautomatisch zum Implementierungsmodell verfeinert; anschließend wird aus dem Implementierungsmodell der Produktionscode weitgehend automatisch generiert. In den Qualitätssicherungsphasen wird dann der so entstandene Code umfangreichen Tests unterworfen, die teilweise ebenfalls automatisch aus den entworfenen Modellen abgeleitet werden.



Abb. 3: Entwicklungsstudie Toyota Fine-T.

Fig. 3: Toyota Fine-T concept car.

Herausforderungen für Forschung und Lehre

Diese Form der modellgetriebenen Entwicklung von SW verspricht eine deutliche Erhöhung der Produktivität und Qualität, erfordert aber eine enge Zusammenarbeit von Regelungstechnikern bei der Erstellung der Funktions-, Fahrzeug- und Umgebungsmodelle mit SW-Technikern, die für die Erstellung der Implementierungsmodelle und die weiteren SW-Entwicklungsschritte die Hauptverantwortung tragen. In iterativen Prozessen müssen immer neue Versionen von Funktionsmodellen und daraus abgeleiteten Implementierungsmodellen und Code erstellt und getestet werden. Diese Form der Kooperation scheitert in der Praxis oft daran, dass die beteiligten Ingenieure in verschiedenen wissenschaftlichen Kulturen „aufgewachsen“ sind und wenig Verständnis für die Probleme und Lösungsansätze der jeweils anderen Disziplin mit sich bringen. Aus diesem Grund hat der Fachbereich ETiT der TU Darmstadt einen Schwerpunkt in der Lehre auf die interdisziplinären Studiengänge Computational Engineering, Informationssystemtechnik und Mechatronik gelegt.

Weitere Hindernisse für den flächendeckenden Einsatz der modellgetriebenen SW-Entwicklung betreffen u.a. die mangelnde Integration der beteiligten Modellierungssprachen und -werkzeuge sowie das Fehlen geeigneter Konzepte für die Verwaltung von Modellversionen, das Propagieren von Änderungen zwischen Modellen und die Verschmelzung von manuell und automatisch vorgenommenen Modelländerungen. Hinzu kommt der Mangel an automatisch überprüfbareren Modellierungsrichtlinien sowie das Fehlen zertifizierter Transformatoren und Codegeneratoren für die Entwicklung sicherheitskritischer Systeme.

Das Fachgebiet Echtzeitsysteme befasst sich in Forschungsvorhaben wie MATE und MOFLON [1,2] mit der Entwicklung formal abgesicherter SW-Engineering-Ansätze, die genau diese Probleme adressieren. Parallel dazu beschäftigt sich das Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik u.a. mit Fragen der effizienten und zuverlässigen Integration und Co-Simulation von Modellierungs- und Simulationswerkzeugen sowie der Entwicklung von Entwurfsmethoden, welche die Codegenerierung für sicherheitskritische Systeme bereits auf der funktionalen Ebene unterstützen [3,4].

1911

Rudolf Goldschmidt is awarded a Professorship. He worked for several communication engineering companies and developed a high frequency machine,

which made possible the first wireless telegraphy between Eilvese, Germany and Tuckerton, USA.

Motor Vehicles in the New Millennium: Software on Wheels

My car, a computer centre

In the 21st century, information technology (IT) has a key role in the development of innovative products in automobile industry. Only the consistent development of new IT-systems based on microelectronic and mechatronic components can decrease energy consumption and pollution, improve active and passive safety, and increase comfort as well as the integration of highly sophisticated infotainment systems.

Especially luxury cars have impressive IT components such as navigation systems, parking assistance, electronic transmission control, etc. Also small cars are equipped with DVD players, power steering, ABS, and ESP. This trend towards more and more IT-based components will continue in the future. In the area of driver, information and communication topics such as multimedia and internet will be of major importance. In drive engineering the optimization of gasoline and Diesel direct injection, the recovery of braking energy, a start-stop-automation and alternative driving concepts will reduce energy consumption and exhaust emissions. And active safety systems of increasing complexity will be implemented based on x-by-wire technology (Fig. 3) and electronic system integration (Fig. 1).

Automotive-software-development

It is, therefore, not surprising that the IT-rate in automobile production costs and recall actions is dramatically increasing. Automotive software (SW) plays a key role in this process with its growth from some 10.000 lines of code in the past millennium up to a projected few billions lines of code in the year 2010. The classical V-model nowadays used for system development purposes is no longer able to handle this kind of complexity. It often leads to inconsistent development artifacts that are validated way too late in the engineering process.

From programming to modelling

With the integration of model-driven development elements in the V-model (Fig. 2) first an executable function model (F-model) is provided, which is con-

nected to the system requirements via traceability relationships. The F-model is used very early in the development process for extensive simulation. In later phases the same F-model supports rapid prototyping of software functions for „real“ vehicle tests. The transition from the F-model to an efficient, safe, and low-maintenance production code takes place in two steps: first the F-model is semi-automatically refined to an implementation model (I-model); then the production code is generated from the I-model (almost) automatically.

Challenges for research and teaching

This form of model-driven SW development promises a substantial increase of productivity and quality. But it requires a close cooperation of control engineers with SW-technicians. This kind of cooperation often fails since the participating engineers have little understanding for the problems and solutions of the other discipline. On this account the faculty ETiT emphasises the interdisciplinary courses of studies Computational Engineering, Information System Technology, and Mechatronics.

Major technical problems for the all over use of a model-driven SW-development approach are the lack of integration of modelling languages and tools and the missing of suitable model versioning and change propagation concepts. Also the lack of modelling guidelines, that can be automatically tested, and the lack of certified model transformers and code generators for the development of safety-critical systems is a problem. The Real-Time Systems Laboratory addresses these problems with the development of formally based model analysis and transformation techniques, whereas the Laboratory for Control Engineering and Mechatronics has a focus on the efficient integration and co-simulation of modelling and simulation tools as well as the development of F-models that are more suitable for the translation into I-models and code for safety-critical systems.

Literatur

- [1] Stürmer, I.; Schäfer, W.; Schürr, A.: *MATE- The Matlab Simulink/Stateflow Analysis and Transformation Environment*. Proc. Int. Automotive Conf. 2007 (IAC), accepted for publication
- [2] Amelunxen, C.; Königs, A.; Röttschke, T.; Schürr, A.: *MOFLON: A Standard-Compliant Metamodeling Framework with Graph Transformations*. Proc. 2nd ECMDA Conf., LNCS 4066, Springer Verlag (2006), S. 361-375 (www.moflon.org/)
- [3] Konigorski, U.: *Regelung einer mechatronischen Kraftfahrzeuglenkung*. TUC Contact, Heft 4 (1999), S. 20-25.
- [4] Woite, A.; Konigorski, U.: *Zusatzfunktionen für Bremsregelsysteme in einer strukturierten Funktionsarchitektur*. Automatisierungstechnische Praxis (atp), 46 (2004), Heft 6, S. 89-94.

1921

Irene Rischowski aus Breslau legt als erste Frau in Darmstadt eine Vordiplomprüfung im Fach Elektrotechnik ab. Auch an anderen Hochschulen bleiben

Frauen in den technischen Studiengängen eine Seltenheit.



Das Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik an der TU Darmstadt

Das Fachgebiet beschäftigt sich mit Fragen der Modellbildung und Automatisierung komplexer dynamischer Systeme. Der zentrale Forschungsschwerpunkt liegt dabei auf dem Gebiet der Modellierung, Analyse und Regelung mechatronischer Systeme. Anwendungsgebiete sind neben der Automobilindustrie auch klassische Gebiete des Maschinenbaues wie die Regelung und Steuerung von Werkzeugmaschinen, Produktionsanlagen und Prüfständen. Hinzu kommen neue Forschungsgebiete wie die Medizintechnik sowie die Regelung und Optimierung von verfahrenstechnischen Anlagen.

Das Fachgebiet beschäftigt sich u.a. mit dem Entwurf robuster Regelungen, Multiratenabstabsystemen, sowie Iterativ Lernenden Regelungen. Weitere Forschungsarbeiten sind im Bereich der Fahrdynamikregelung, der Anwendung von Walshfunktionen in der Regelungs- und Steuerungstechnik sowie der Entwicklung linearer und nichtlinearer Mehrgrößenregelungen basierend auf der Zustandsraummethodik angesiedelt. Der neue Forschungsschwerpunkt örtlich verteilte Systeme schließt hier direkt an. Örtlich verteilte Systeme werden durch immer komplexere Finite-Elemente-Modelle beschrieben. Diese für die Regelungstechnik nutzbar zu machen, ist ein wesentliches Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten. So werden z.B. in Zusammenarbeit mit anderen Universitäten Untersuchungen zur dynamischen Optimierung einer Direkt-Methanol-Brennstoffzelle durchgeführt.

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Konigorski
Institut für Automatisierungstechnik
Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik
Landgraf-Georg-Straße 4 · 64283 Darmstadt
E-Mail: rtm@iat.tu-darmstadt.de
www.rtm.tu-darmstadt.de

Das Fachgebiet Echtzeitsysteme an der TU Darmstadt

Forschungsschwerpunkt des Fachgebietes ist die Entwicklung von Sprachen, Werkzeugen und Methoden der Softwaresystemtechnik für die modellbasierte Entwicklung eingebetteter Echtzeitsysteme. Im Mittelpunkt steht dabei die Integration verschiedener Modellierungsparadigmen (regolorientiert, objektorientiert, komponentenorientiert). Für die präzise Beschreibung der betrachteten Sprachen, ihre Anpassung an bestimmte Domänen und ihre Integration zu hybriden Sprachfamilien werden Metamodellierungsansätze herangezogen, die neben den allgemein üblichen klassendiagramm- und logikbasierten Beschreibungsmitteln auch regelbasierte Anteile (Graphtransformationen) umfassen

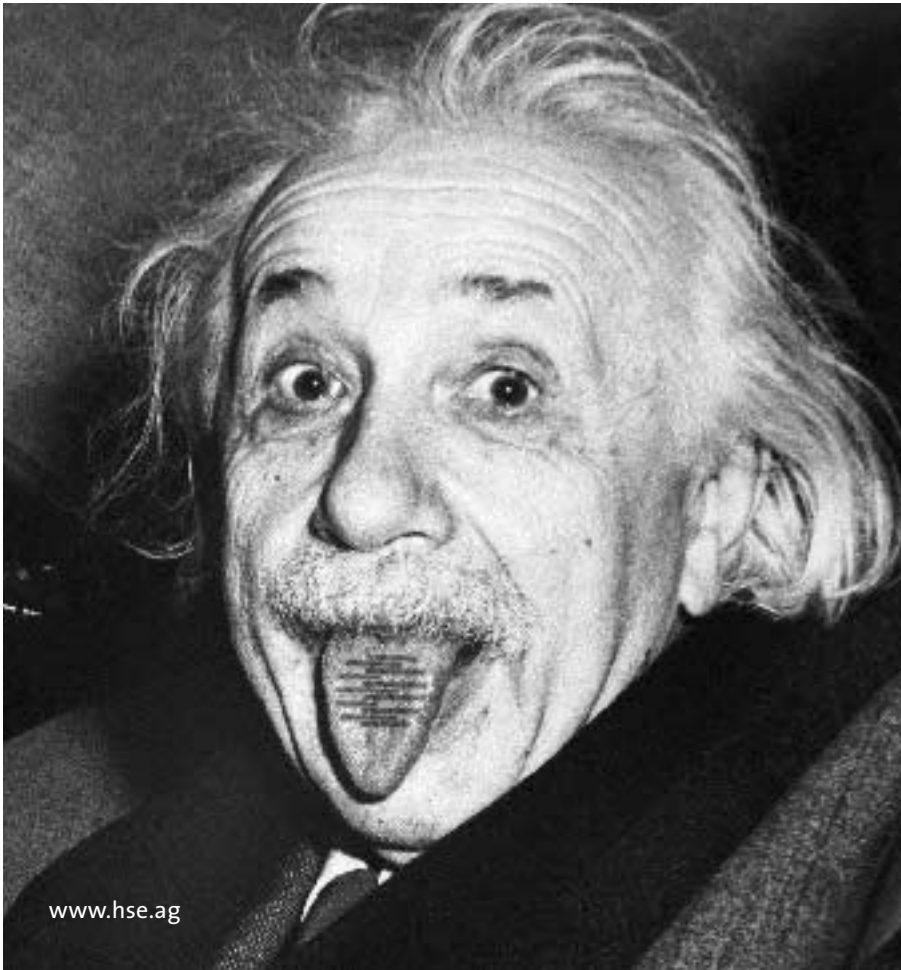
Auf der Werkzeugebene steht zum einen die Generierung und Anpassung von CASE-Tools (Computer Aided Software Engineering Tools) mit Hilfe sogenannter Meta-CASE-Tools im Vordergrund. Diese Meta-CASE-Tools werden u.a. zur Erweiterung und Anpassung von Modellierungswerkzeugen (wie Matlab/Simulink oder UML-CASE-Tools) an bestimmte Domänen (Automotive-, Logistik- und Speichersystem-Software) sowie zur Konstruktion von „Reengineering“-Werkzeugen für die Modernisierung eingebetteter „Legacy“-Software verwendet. Zum anderen werden aber auch Plattformen für den Zusammenschluss einzelner Werkzeuge zu eng integrierten Werkzeugverbunden studiert. Neben serverbasierten Integrationstechnologien kommen dabei in Zukunft P2P-Technologien zum Einsatz.

Ansprechpartner:: Prof. Dr. rer. nat. Andy Schürr
Institut für Datentechnik
Fachgebiet Echtzeitsysteme
Merckstr. 25 · 64283 Darmstadt
E-Mail: andy.schuerr@es.tu-darmstadt.de
E-Mail: eveking@rs.tu-darmstadt.de
www.es.tu-darmstadt.de

1921

Irene Rischowski from Breslau is the first woman at TH Darmstadt to complete her intermediate exam in Electrical Engineering. Women attending engineering

courses are a rare occurrence both at TH Darmstadt and at other universities.



Wir sind bereit für kluge Köpfe.

Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stellen sich täglich den Herausforderungen des dynamischen Energiemarkts. Dafür brauchen wir auch in Zukunft kluge Köpfe, die mit Engagement und Ideen die Energie- und Trinkwasserversorgung von morgen sicherstellen.

HSE 
HEAG Süd Hessische Energie AG

Energieversorgung der Zukunft mitgestalten

Eine sichere und umweltschonende Energie- und Trinkwasserversorgung ist eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der verschiedenen kaufmännischen und technischen Fachrichtungen stellen sich bei der HEAG Süd Hessische Energie AG (HSE) jeden Tag der Herausforderung, auf die veränderten Rahmenbedingungen des Energiemarktes zu reagieren. Dafür braucht die HSE auch in Zukunft kluge Köpfe, die mit ihrem Engagement und ihren Ideen die Energie- und Trinkwasserversorgung von morgen ermöglichen.

Der Garant für den wirtschaftlichen Erfolg sind die eigenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Daher ist es für den HSE-Konzern von zentraler Bedeutung, immer wieder gute Nachwuchskräfte zu gewinnen und zu binden. Bereits während des Studiums erhalten angehende Akademiker die Chance, die eigene Energie in Erfolg umzusetzen: sei es im Rahmen eines Praktikums oder einer Diplomarbeit. Nach einem zügig und erfolgreich abgeschlossenen Studium bietet das Unternehmen interessante Perspektiven in einem dynamischen und zukunftsfähigen Markt.

Der HSE-Konzern mit seinen rund 2.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist verantwortlich für die Lebensadern der Region und schafft durch seine Versorgungsnetze die Basis für den Wirtschaftsstandort Südhessen. Mit ihren Tochter- und Beteiligungsgesellschaften ist die HSE entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Erzeugung und Beschaffung von Energie- und Trinkwasser, der Verteilung bis hin zum Vertrieb aktiv. In der Region versorgt die Vertriebstochter ENTEGA mehr als 645.000 Kunden zuverlässig mit Strom, Erdgas, Trinkwasser und Wärme zu im bundesweiten Vergleich günstigen Preisen. Daneben betreibt die HSE großtechnische Anlagen wie das Darmstädter Müllheizkraftwerk, mehrere Heizkraftwerke und zwei Klärwerke in Darmstadt. Dabei erzielt der Konzern einen Jahresumsatz von über einer Milliarde Euro.

Um die eigene unternehmerische Unabhängigkeit langfristig zu sichern, möchte das Unternehmen in den kommenden Jahren seinen Eigenerzeugungsanteil an Strom von derzeit 15 auf bis zu 70 Prozent ausbauen und setzt neben der Beteiligung an konventionellen Kraftwerken auch auf den Ausbau von regenerativen Energien wie zum Beispiel Biogas und Biomasse.

Kommunikationstechnik – Wachstumsmotor der Zukunft

Anja Klein/Alex Gershman/Rolf Jakoby/Peter Meissner/Ralf Steinmetz/
Abdelhak Zoubir/Luke Cirillo/Kira Kastell/Timo Unger



Bild: pixelquelle

Communications technology and especially mobile communications are playing an ever increasing role in our daily lives, which means they are a driving force for growth in industry. Research at the Technische Universität Darmstadt in this area is multifaceted, encompassing topics such as agile and flexible resource utilization, exploitation of spatial diversity, robust signal processing, adaptive networks and optical communications. Through the convergence of different research disciplines, a solid basis for a successful research has been established.

Kommunikationstechnik und besonders mobile Kommunikation spielen eine immer größere Rolle in unserem täglichen Leben, was sie zu einem Wachstumsmotor der Industrie macht. Die Forschung an der TU Darmstadt umfasst in diesem Bereich so vielfältige Themen wie agile und flexible Ressourcennutzung, Raum als neue Dimension, Signalverarbeitung, dynamische und adaptive Netze und optische Kommunikation. Das Zusammenwirken der verschiedenen Fachgebiete bildet dabei die Grundlage erfolgreicher Forschung.



1925

Ruppert Schneider wird Honorarprofessor und erhält den ersten Lehrauftrag für Elektrizitätswirtschaft. Seine Forschungen zur Elektrizitätsversorgung geben

wichtige Impulse für den zwischen Ökonomie und Technik neu entstehenden Zweig der Elektrizitätswirtschaftslehre.

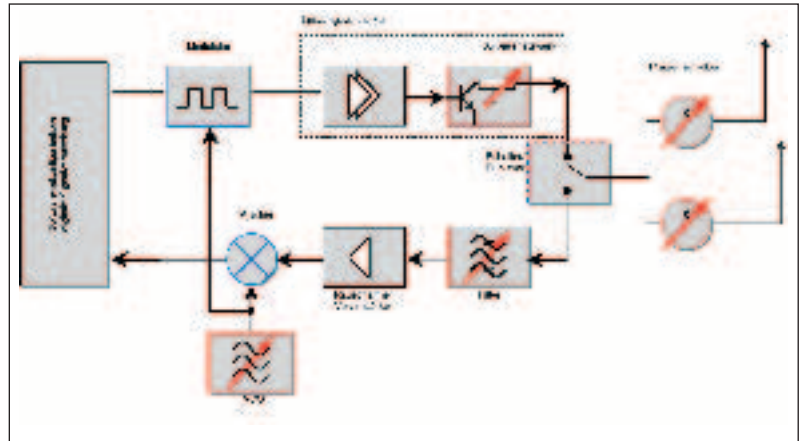
Einleitung

Telefonieren, Nachrichten schreiben, Klingeltöne herunterladen – mit all diesen Anwendungen seines Mobiltelefons ist jeder von uns vertraut. Doch was steckt eigentlich technisch dahinter, damit dieser alltägliche Gebrauchsgegenstand so funktioniert wie er funktioniert? Ohne Netzinfrastruktur und intelligente Signalverarbeitung wäre das Mobiltelefon ziemlich nutzlos. Ständig werden neue Entwicklungen und Dienste, wie z.B. Fernsehen auf dem Mobiltelefon vorgestellt, die immer höhere Datenraten erfordern. Was können wir in Zukunft noch erwarten? Wo wird die Technik in ein paar Jahren angekommen sein?

Verschiedene Forschungsgruppen an der TU Darmstadt befassen sich mit solchen Fragen zum Thema Kommunikationstechnik. Dabei werden so unterschiedliche Forschungsbereiche wie agile und flexible Ressourcennutzung, Raum als neue Dimension, Signalverarbeitung, dynamische und adaptive Netze und optische Kommunikation untersucht.

Agile und flexible Ressourcennutzung

Die Knappheit des für die Mobilkommunikation verfügbaren Frequenzbereichs liegt hauptsächlich in seiner ineffizienten Nutzung begründet. Schätzungen zufolge werden z.Z. effektiv nur 10% des Spektrums genutzt. Eine effiziente Zuweisung des Spektrums wird durch die Einführung von „Cognitive Radio“ angestrebt. Dabei teilen sich mehrere Funkssysteme das gleiche Spektralband, das je nach Verfügbarkeit und Priorität eines Dienstes zugewiesen wird. Ein bezahlter Dienst wird z.B. eine hohe Priorität erhalten und damit gegenüber Ad-hoc Verbindungen bevorzugt. Zur Implementierung von „Cognitive Radio“ ist die Beobachtung und vorausschauende Schätzung der Belegung des gesamten (zugeordneten) Frequenzspektrums notwendig, um bei Bedarf einen Wechsel auf eine andere Übertragungsfrequenz durchführen zu können. Um dies zu realisieren, müssen neuartige software-definierte bzw. frequenzagile Multiband-/Multistandard-Endgeräte auf Basis software-rekonfigurierbarer digitaler Signalverarbeitung und neuartiger, steuerbarer passiver Bauelemente (Filter, Anpassnetzwerke und Antennensysteme) entwickelt werden (vgl. Bild 1). Dadurch soll neben den verfügbaren Frequenzen auch die verfügbare Leistung effizienter genutzt werden. Einen ersten Schritt zu „Cognitive Radio“ stellen Wechsel zwischen unterschiedlichen Netzen innerhalb eines hybriden Gesamtnetzes dar. Dies erfordert neuartige Handover-Strategien, die



– z.B. basierend auf Informationen über den Aufenthaltsort des mobilen Endgerätes – das bestgeeignete Netz ermitteln und die schnelle Umsetzung auf die Protokolle der neuen Technologie des Zielnetzes vornehmen.

Bild 1: Frequenzagile Multiband-/Multistandard Hochfrequenz-Frontend

Figure 1: Frequency-agile multi-band/multi-standard high frequency front-end

Der Raum als neue Dimension

Eine der größten Herausforderungen in der drahtlosen Kommunikationstechnik ist der immense Zuwachs an mobilen Nutzern und an angebotenen Diensten in den vergangenen zehn Jahren. Daher ist man bei der Bereitstellung hochwertiger Kommunikationsverbindungen für immer höhere Übertragungsraten mit den klassischen Mehrbenutzerkommunikationsmethoden wie Zeit-, Frequenz- und Codemultiplexverfahren schnell an die Grenzen gestoßen. Die Verwendung von Kommunikationsverbindungen mit mehreren Antennen am Sender und/oder Empfänger hat sich zu einer revolutionären Technologie entwickelt, mit der diese Herausforderung lösbar scheint, da die Systemkapazität, die Übertragungsgüte und die Informationsrate sehr stark gesteigert werden können. Die neu hinzugekommene räumliche Dimension ergänzt damit die existierenden Dimensionen Zeit, Frequenz und Code. Die Nutzung der räumlichen Dimension erfordert neben kompakten Mehrantennensystemen (vgl. Bild 2), fortschrittliche und robuste intelligente Signalver-

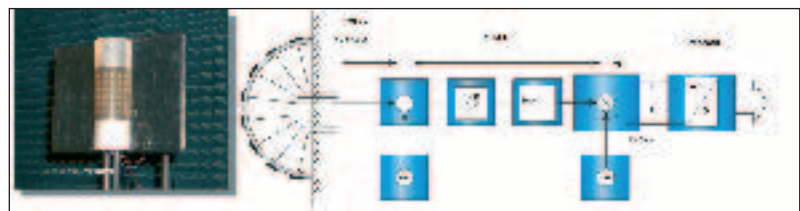


Bild 2: 10 GHz konforme Antenne bestehend aus mehreren Antennenelementen und zugehöriges Signalflussbild

Figure 2: 10 GHz compliant antenna made up of multiple antenna elements and the corresponding signal-flow diagram

1925

Ruppert Schneider is awarded a Honorary Professorship and the first teaching assignment in Economics of Electricity. His research on electricity supply

provides important impetus for the new field of the Economics of Electricity to develop as a link between economics and engineering.

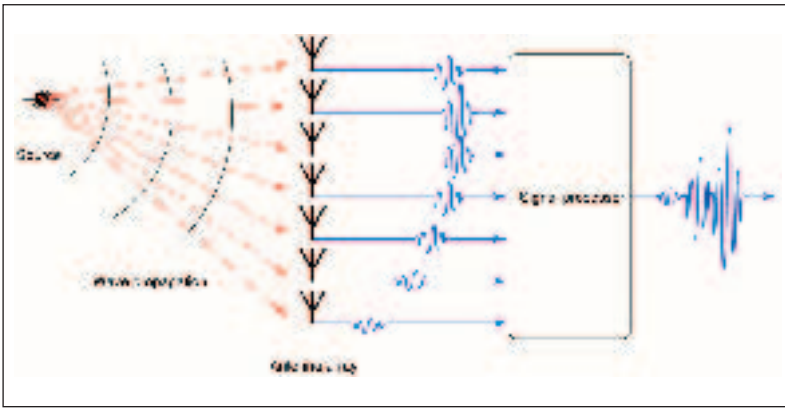


Bild 3: Signalverarbeitung im Sensorgruppen-Empfänger

Figure 3: Signal processing in sensor array receiver

algorithmen (vgl. Bild 3), damit die Signale bestmöglich gesendet und empfangen werden.

Signalverarbeitung überall

Die digitale Signalverarbeitung ist ein wichtiges Fundament der drahtlosen Kommunikation. Die rasche Entwicklung moderner Kommunikationssysteme verlangt neue Signalverarbeitungsalgorithmen, um die Herausforderungen mit angemessenen Rechenzeiten zu bewältigen. Robuste (im Gegensatz zu optimalen) Verfahren gewinnen auf Grund zunehmend komplexer realer Bedingungen immer mehr an Bedeutung.

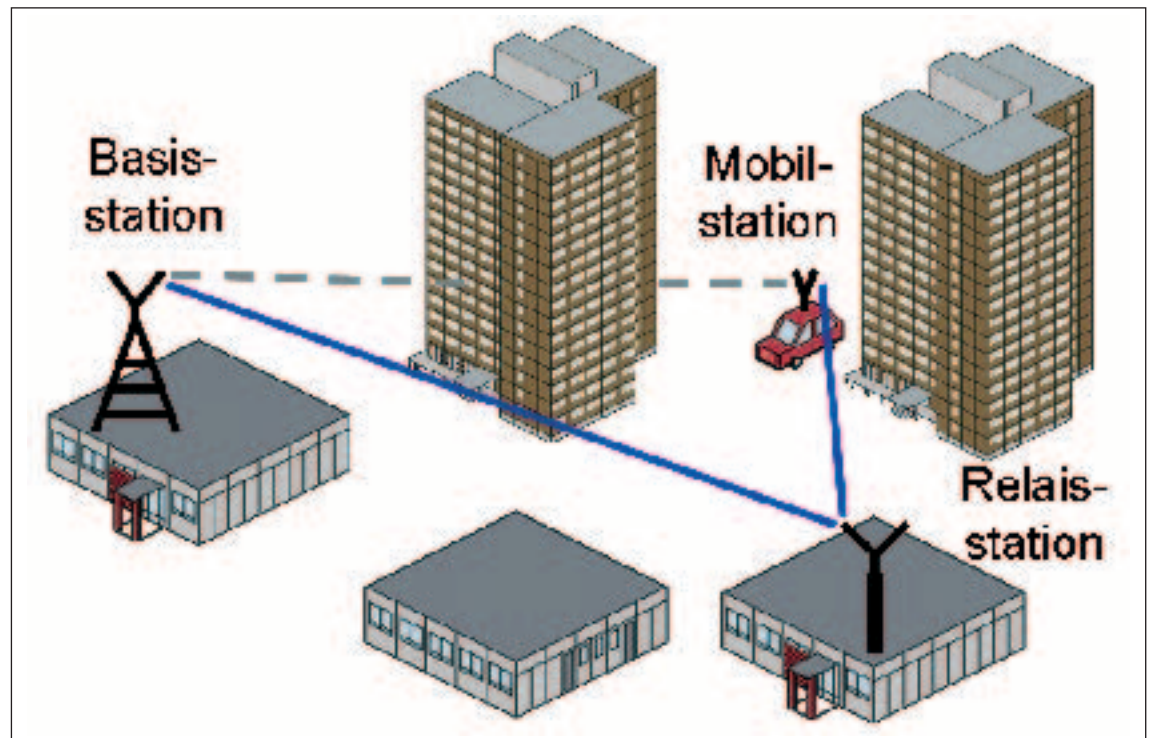
Nimmt man als Beispiel die Mehrbenutzerdetektion, in der zwischen mehreren Nutzern unterschieden werden muss, so kann man feststellen, dass die existierenden Verfahren auf der Annahme einer Gaußförmigen Geräuschverteilung beruhen, die Entwurf und Analyse vereinfacht. Nur wenn diese Annahme erfüllt ist, arbeiten die Verfahren optimal. Die in der Realität auftretenden impulsartigen Störungen verletzen diese Annahme jedoch. Die Signalverarbeitung ermöglicht es, Verfahren zu entwickeln, die ohne Annahme der statistischen Geräuschverteilung auskommen und somit robust gegenüber Änderungen in einem realen System sind.

Das Netz wird dynamisch und adaptiv

Weite Entfernungen und Hindernisse wie z.B. Gebäude zwischen den Kommunikationspartnern stellen im modernen Mobilfunk eine große Herausforderung dar, da mit der zur Verfügung stehenden Sendenergie kein ausreichend guter Empfang gewährleistet werden kann. Neuere Netzstrukturen, wie z.B. Multihop-Netzwerke, bieten kostengünstige Lösungsansätze für das Reichweiten- und Abschattungsproblem. Eine mögliche Realisierung von Multihop-Netzwerken ist in Bild 4 gezeigt. Hier werden sog. Relaisstationen derart in die Infrastruktur der Mobilfunkzelle integriert, dass auch Bereiche der Mobil-

Bild 4: Multihop-Netzwerk mit Basisstation, Relaisstation und mehreren fixen und mobilen Nutzern

Figure 4: Multi-hop network with base station, relay station and multiple fixed and mobile users



1930

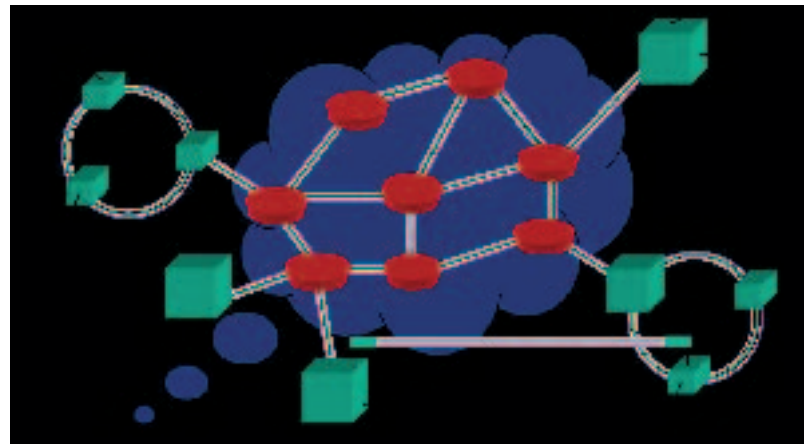
Hans Busch wird als Nachfolger von Karl Wirtz an die TH Darmstadt berufen. Mit der Entdeckung der Elektronenlinse schuf er 1926 die Grundlagen für die

Entwicklung des Elektronenmikroskops. In Darmstadt begründet er das Fernmeldetechnische Institut.

funkzelle abgedeckt werden können, in denen keine direkte Funkverbindung zur Basisstation möglich ist. Dabei dient die Relaisstation, die durch ihre günstige Positionierung sowohl zur Basisstation als auch zur Mobilstation eine gute Funkverbindung besitzt, zur Weiterleitung der Signale. Eine weitere Realisierung der Multihop-Idee tritt in sog. Ad-hoc-Netzwerken auf, wobei die Relaisstationen nun nicht mehr fix in die Infrastruktur eingebunden sind, sondern selbst Mobilstationen sein können. Dabei können sich einzelne Stationen unbeabsichtigt oder intentional unkooperativ verhalten. Aufgrund der starken Dynamik in Multihop-Netzwerken ist eine schnelle Anpassung des Netzes an den aktuellen Zustand sehr wichtig. Dabei werden wichtige Netzwerkeinstellungen dezentral geregelt. So können beispielsweise selbstorganisierende Netzwerke den Ausfall einzelner Knoten im Netzwerk durch intelligente Umverteilung der verfügbaren Ressourcen kompensieren.

Das optische Kommunikationsportal

Neue unterschiedliche Breitbanddienste (z.B. Video-Streaming, Internet-Spiele) erfordern immer mehr Übertragungskapazität, sowohl im Mobilfunknetz insbesondere bei der Versorgung der Basisstationen, als auch im Internet und in Datennetzen. Optische Übertragungssysteme bilden das Rückgrat all dieser Netze (vgl. Bild 5) wobei sich hier schrittweise ein Versorgungsnetz als gemeinsame Infrastruktur abzeichnet. Obwohl die fasergebundene optische Übertragungstechnik erst seit etwas mehr als zwei Dekaden kommerziell genutzt wird, können heute schon 7 TBit/s über eine einzelne haardicke Faser übertragen werden. Diese Kapazität entspricht der gleichzeitigen Übertragung der Information von ca. 100 Millionen ISDN Anschlüssen. Selbstverständlich weisen verlegte Kabel aber mehr als eine optische Faser auf.



Zusammenfassung und Ausblick

In allen vorgestellten Forschungsbereichen gilt es, Strategien, Algorithmen und Methoden soweit zu vereinfachen, dass ihre Realisierung in praktischen Systemen möglich ist, aber gleichzeitig ihre Optimalität oder Robustheit gewahrt bleibt. Ein optimales Gesamtergebnis kann dabei nur durch das Zusammenwirken der einzelnen Forschungsbereiche erzielt werden, wobei in jedem der Bereiche noch deutliche technische Verbesserungen zu erwarten sind. Zusätzlich sind die Ergebnisse dieser weltweiten Forschung nicht nur in der drahtlosen Kommunikation fundamental, sondern auch in vielen anderen Bereichen der Nachrichtentechnik und darüber hinaus. Durch die wachsende Zahl von Anwendungsgebieten mobiler Kommunikation wird diese Branche auch in Zukunft ein wesentlicher Wachstumsmotor der Wirtschaft sein. Dies zeigt sich auch darin, dass mehr als die Hälfte der Industrieproduktion und über 80% der Exporte Deutschlands heute vom Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnik und elektronischer Systeme abhängen. Die steigenden Anforderungen und Erwartungen der Nutzer an die Mobilkommunikation sind unser Auftrag für die Zukunft.

Bild 5: Aufbau eines optischen Back-bone-Netzwerkes

Figure 5: Construction of an optical backbone network

Communication Technology – driving force of the future

Calling, writing messages, downloading ring-tones – one entrusts their mobile phone with all these applications. In the field of mobile communications, new developments and services are constantly being introduced, e.g. television on the mobile phone, which demand an ever increasing data rate. What can we expect in the future? Research groups at the Technische Universität Darmstadt are engaging themselves

with a number of emerging areas in the field of communications technology.

It is currently estimated that only 10% of the available frequency spectrum is being effectively used. Through the introduction of "cognitive radio", one strives for more effective spectrum allocation. In such a scheme, many wireless systems can share the same spectral

1930

Hans Busch is appointed successor to Karl Wirtz. His discovery of the electronic lens in 1926 laid the foundation for the invention of the electron microscope.

At Darmstadt he establishes the Institute of Telecommunications.

band, which is assigned according to availability and priority. For the implementation of cognitive radio, the observation and estimation of the frequency spectrum occupation is necessary, to be able to change to a different carrier frequency as needed. To realize this, new multi-band/multi-standard devices need to be developed, whose signal processing and electronic components can be reconfigured with software (see Figure 1).

Due to the rapid growth in mobile users and offered services, one quickly reaches the limits of classical multi-user transmission schemes. The use of communications connections with multiple antennas at the transmitter or receiver promises to solve these challenges, as the system capacity, transmission performance and the information rate can be greatly increased. Along with compact multi-antenna systems (see Figure 2), use of the spatial dimension requires advanced and robust intelligent signal processing algorithms (see Figure 3), so that signals can be transmitted and received in the best way.

The rapid development of modern communications systems demands new signal processing algorithms, able to solve challenging problems within a limited computation-time. Robust (as opposed to optimal) approaches are becoming ever more important due to the increasing complexity of real-world systems. In order to simplify design and analysis, algorithms are usually designed under the assumption of Gaussian noise. However, impulsive-type disturbances which arise in reality invalidate the Gaussian assumption. Signal processing allows one to develop methods which are robust to such impulsive noise distributions.

Large distances and obstructions, such as buildings between communications partners, pose a great challenge in modern mobile communications, as the transmitted energy may be insufficient for good reception. Newer network structures like multi-hop networks offer cost-effective solutions for providing large coverage and dealing with „shadowing“ problems. A possible realization of a multi-hop network is shown in Figure 4, where the so-called „relay stations“ are integrated into the mobile cell-network infrastructure in such a way that coverage can be provided to regions of a cell where no direct connection to the base station is possible.

A range of new broadband services, e.g. video-streaming and online gaming, require ever increasing transmission capacity, especially for the base station link in mobile networks, as well as in the Internet and in data networks. Optical communications systems provide the backbone of all these networks, as shown in Figure 5. Today 7 TBit/s can be transmitted over a single hair-thick fiber (approximately equivalent to 100 million ISDN connections), many of which are contained in a single cable.

The multi-faceted nature of mobile communications problems means that the best solutions can only be obtained through the collaboration of different research areas. Due to the growing number of applications in mobile communications, this world-wide research will be a clear driving force for economic growth. The increasing demands and expectations of the mobile communications user provide our mandate for the future.

Nachrichten- und Kommunikationstechnik an der TU Darmstadt

Fachgebiet Kommunikationstechnik

- Vielfachzugriffs- und Übertragungsverfahren für zukünftige Mobilkommunikationssysteme: Mehrträgerverfahren, Mehrantennensysteme, Kanalschätzung, Datendetektion.
- Netzwerk- und Protokollaspekte: Netzplanung und -dimensionierung, Ressourcenmanagement, Cross-Layer-Verfahren, Relaying und Multi-Hop, selbstorganisierende Funknetze.
- Hybride Lokalisierung.

Fachgebietsleiterin: Prof. Dr.-Ing. Anja Klein, Tel. 06151/16-5156, E-Mail: a.klein@nt.tu-darmstadt.de

1933-1945

Nach der nationalsozialistischen Machtergreifung kommt es zu einzelnen Entlassungen und zur Gleichschaltung der TH. Drei Doktor-Ingenieure des Faches Elektrotechnik, Otto Böhm, Franz Laszlo und Beni Herzfeld, wird 1940/41 nach Aberkennung der

deutschen Staatsbürgerschaft auch die Doktorwürde entzogen. Während des Krieges sind Darmstädter Wissenschaftler aktiv an der Rüstungsforschung beteiligt.

Fachgebiet Nachrichtentechnische Systeme

- Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Mobilkommunikationssysteme: Space-Time-Codierung, Kanalschätzung und Signaldetektion, Intelligente Antennen.
- Sensorgruppensignalverarbeitung für Kommunikation und Radar: Robustes adaptives Beamformen, Richtungsschätzung und blinde räumliche Signaturschätzung, Space-Time Adaptive Processing (STAP) für Radarsysteme.
- Mehrbenutzer und Mehrfachträger Kommunikation: Blinde und robuste Mehrbenutzer-Detektion, Adaptive OFDM Verfahren.
- Konvexe Optimierungsverfahren für Mehrantennen-Systeme.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr. Alex B. Gershman, Tel. 06151/16-2813, E-Mail: gershman@nt.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Funkkommunikation

- Wellenausbreitung, Funkkanalmodellierung, Netzwerkplanung und Handover.
- Antennen und HF-Sensoren (HF:=Hochfrequenz).
- Metamaterial-basierte HF-Bauteile und HF-Komponenten.
- Neuartige steuerbare passive HF-Bauteile für rekonfigurierbare Mobilfunk- und Sensorsysteme auf Basis agiler Materialien.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Jakoby, Tel. 06151/16-4893, E-Mail: jakoby@hf.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Optische Nachrichtentechnik

- Erzeugung und Detektion von Dauerstrich THz-Strahlung durch optische Heterodynverfahren.
- Optische hochratige Übertragungssysteme: Polarisationsmodendispersion, optische und elektronische Kompensation, Modulationsverfahren.
- Mikromechanisch abstimmbare optische Komponenten für Kommunikations- und Sensorikanwendungen: VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), Filter und Empfänger.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Peter Meißner, Tel. 06151/16-2462, E-Mail: meissner@hf.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Multimedia Kommunikation

- Ubiquitäre und mobile Kommunikationsdienste: VoIP, Sensornetze, hybride Architekturen, zellulare Systeme, ad hoc-Netze, Selbstorganisation, Mesh-Netze.
- Netz- und IT-Architekturen: Dienstgüte, Network Calculus, Peer-to-Peer Networking, Overlay Netze, Routing, Serviceorientierte Architekturen (SoA), Workflow-Mechanismen
- Knowledge Media: Autorensysteme für E-Learning, Repurposing, Management des Lebenszyklus von Medienobjekten, autonome Medienobjekte, Vernetzte Spiele.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Ralf Steinmetz, Tel. 06151/16-6150, E-Mail: ralf.steinmetz@KOM.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Signalverarbeitung

- Signalverarbeitung für Sensorgruppen: Schätzung der Zahl der Quellsignale in unbestimmter Rauschumgebung, Ortung von Quellen bei ungleichmäßiger Verteilung der Sensor-Störleistung, (Blinde) Separierung von nichtstationären Quellsignalen, Klassifizierung mit Ultraschall-Sensorgruppen.
- Robuste Verfahren für Parameterschätzung und Signal-Detektion: Mehrbenutzer-Detektion bei impulsivem Rauschen, Robuste Kurvenschätzung.
- Rechnerintensive statistische Verfahren für die Signalverarbeitung

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Abelhak Zoubir, Tel. 06151/16-4796, E-Mail: zoubir@spg.tu-darmstadt.de

Anschrift für alle Fachgebiete: TU Darmstadt, Merckstraße 25, 64283 Darmstadt, www.etit.tu-darmstadt.de

1933-1945

The seizure of power by the national socialists and the gleichschaltung (enforced political conformity) of the TH Darmstadt result in the dismissal of several scientists. Three graduates of the School of Electrical Engineering, Otto Böhm, Franz Laszlo and Beni Herz-

feld, are stripped of their doctorate after losing their German citizenship. During World War II Darmstadt scientists are actively involved in armament development.

Silizium- und Piezoelektret-Mikrofone: Neue Technologien für ein Milliardenprodukt

Gerhard M. Sessler/Joachim Hillenbrand

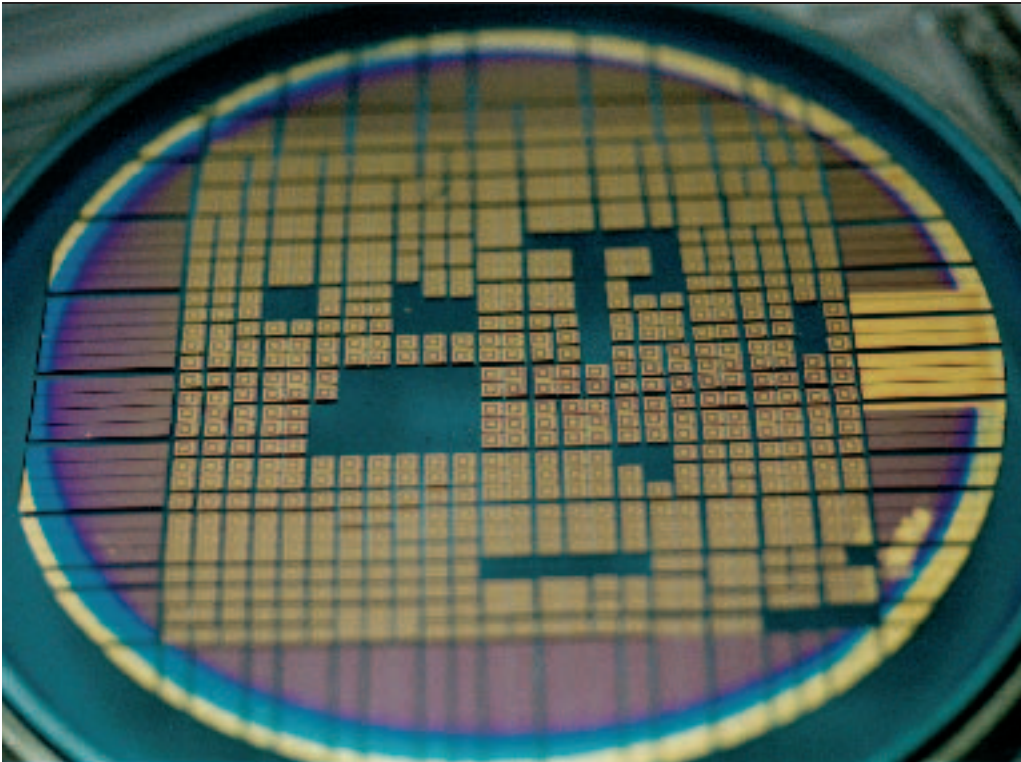


Abb. 1: Fertigprozessierter Wafer mit Siliziummikrofonen. Die Chips sind bereits vereinzelt und zum Teil herausgenommen

Fig. 1: Processed wafer with silicon microphones. The chips are already separated and partly removed

Acoustic sensing has witnessed two important innovations in recent years. Firstly, silicon microphones fabricated with the methods of microelectronics have been developed. These transducers show advantages such as miniaturized size, heat resistance, and insensitivity against vibration. Secondly, piezoelectret-microphones, based on a new class of cellular polymers with very high piezoelectric coefficients, are presently being designed and investigated. Such microphones show small harmonic distortion, high corner frequency, large sensitivity and low noise level.

In der akustischen Sensorik haben sich in den letzten Jahren zwei wichtige Neuerungen ergeben: Zum einen sind Siliziummikrofone entwickelt worden, die mit den Methoden der Mikroelektronik hergestellt werden und Vorteile wie Miniaturisierbarkeit, Hitzebeständigkeit und Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen aufweisen. Zum anderen werden derzeit Piezoelektret-Mikrofone entworfen und untersucht, die auf neuartigen zellularen Polymeren mit sehr hohen Piezo-konstanten basieren und sich durch kleinen Klirrfaktor, hohe Grenzfrequenz, große Empfindlichkeit und kleinen Rauschpegel auszeichnen.

1945

Vorübergehende Schließung der TH. Die Gebäude der Hochschule liegen größtenteils in Trümmern. Im Rahmen der Operation Paperclip, eines Projektes zur

Gewinnung deutscher Rüstungsexperten für die amerikanische Forschung, verlässt Theodor Buchhold, Leiter des Instituts für elektrische Anlagen, die THD.

Einleitung

Die akustische Sensorik wird zahlenmäßig seit Jahrzehnten von Elektretmikrofonen dominiert. Diese, in ihrer heutigen Form im Jahre 1962 erstmals beschriebenen elektroakustischen Wandler [1] sind Kondensatormikrofone, bei denen die notwendige Polarisationsspannung durch ein permanent geladenes Dielektrikum, einen sog. Elektreten, geliefert wird. Derartige Wandler zeichnen sich vor allem durch einfachen Aufbau, gute akustische Eigenschaften, Miniaturisierbarkeit und niedrige Erschütterungsempfindlichkeit aus. Sie werden seit 1968 kommerziell angeboten und heutzutage in Stückzahlen von zwei Milliarden pro Jahr, das sind etwa 80 bis 90 % der weltweit produzierten Mikrofone, hergestellt.

In den letzten Jahren haben sich jedoch auf dem Gebiet der Mikrofone, wie auch in anderen Bereichen der Sensorik, bemerkenswerte Neuerungen ergeben. Diese sind einerseits auf das Vordringen der Siliziumtechnologie und andererseits auf die Verfügbarkeit neuer piezoelektrischer Polymermaterialien zurückzuführen. Als Ergebnis dieser Arbeiten, die an der TU Darmstadt wesentlich vorangetrieben wurden, sind seit einiger Zeit qualitativ hochwertige Silizium-Kondensatormikrofone in großen Stückzahlen kommerziell im Einsatz und sog. Piezoelektret-Mikrofone in der Entwicklung. Die Grundlagen dieser beiden Wandlertypen sollen im Folgenden diskutiert werden.

Siliziummikrofone

Siliziummikrofone werden auf Siliziumwafern mit den Methoden der Mikromechanik hergestellt. Diese Methoden sind der Mikroelektronik entliehen und bestehen aus *Lithographie-, Dotier-, Schichterzeugungs- und Ätzprozessen* [2]. Auf einem Siliziumwafer können eine Vielzahl von Mikrofonen mit sehr reproduzierbaren Eigenschaften hergestellt werden. Abb. 1 zeigt einen fertig prozessierten Wafer.

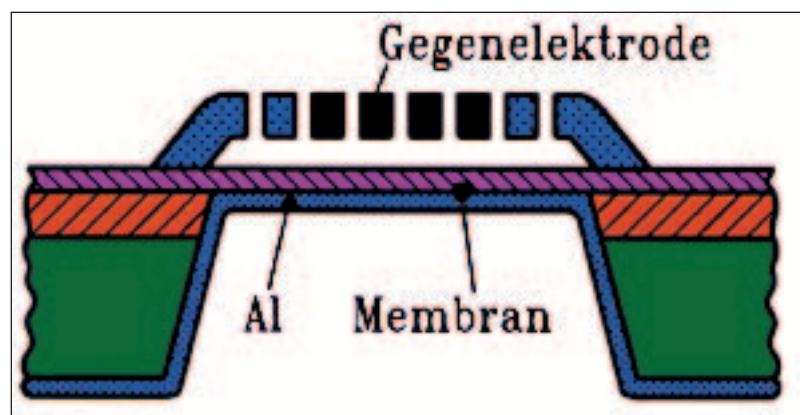
Die Verwirklichung von Siliziummikrofonen mit diesen Methoden kann einerseits mittels der bekannten Mikrofon-Prinzipien, wie dem kapazitiven oder piezoelektrischen Prinzip, erfolgen oder andererseits nach neuen Konzepten, beispielsweise auf piezoresistiver oder akustooptischer Grundlage, bewerkstelligt werden. Besonders bewährt hat sich das kapazitive Prinzip, bei welchem eine schwingungsfähige Membran durch einen Luftspalt von einer starren Gegenelektrode getrennt wird. Polarisiert man das Mikrofon durch eine Gleichspannung und regt die Membran durch eine Schallwelle zu Schwingungen an, so wird zwischen Membran und Gegenelektrode eine dem Schalldruck proportionale Wechsellspannung erzeugt.

Solche Silizium-Kondensatormikrofone sind erstmals 1983 beschrieben worden [3]. Sie wurden zunächst als Zwei-Chip-Wandler, bestehend aus einem Membranchip und einem Gegenelektrodenchip mit dazwischen liegendem dünnem Luftspalt verwirklicht [4]. Kondensatormikrofone in Ein-Chip-Bauweise folgten etwas später [5]. Bei diesen wird der stets notwendige Luftspalt mit einer Opferschicht-Technologie hergestellt, bei der eine Siliziumoxid-Schicht zwischen Gegenelektrode und Membran durch Löcher in der Gegenelektrode herausgeätzt wird. Ein typisches Ein-Chip-Mikrofon zeigt Abb. 2 [6]. Solche Mikrofone kommen ohne die bei Zwei-Chip-Wandlern notwendigen Technologieschritte Justierung und Bonding aus. Als Polarisationsspannung reichen wenige Volt. In den letzten Jahren sind eine große Anzahl von Varianten der Silizium-Kondensatormikrofone beschrieben worden. Dazu gehören Mikrofone mit korrigierten Membranen, die wegen ihrer geringeren Rückstellkraft eine größere Auslenkung erzielen und damit die Mikrofonempfindlichkeit steigern [7].

Das elektroakustische Verhalten dieser Mikrofone hängt stark von deren geometrischen, mechanischen und elektrischen Parametern ab. Typische Mikrofone haben Membrandimensionen von etwa 1 mm^2 und Membrandicken von $0,2$ bis $0,4 \mu\text{m}$. Die Resonanzfrequenzen liegen im nahen Ultraschallbereich und die Empfindlichkeit im Hörschallbereich beträgt bei einer Polarisationsspannung von 3 V typischerweise 10 mV/Pa . Des Weiteren sind derartige Mikrofone extrem schockresistent und haben, bedingt durch die kleine Membranmasse, sehr geringe Erschütterungsempfindlichkeiten.

Silizium-Kondensatormikrofone sind wesentlich unempfindlicher gegen erhöhte Temperaturen als Elektretmikrofone. Sie können bis 100°C permanent betrieben werden und sind gegen kurzzeitige Erwärmung bis zu 260°C resistent. Aufgrund ihrer geringen

Abb. 2: Ein-Chip Silizium-Kondensatormikrofon [6]
Fig. 2: Single-chip silicon condenser microphone [6]



1945

TH Darmstadt is temporarily shut down. Most of the university's buildings have been destroyed in the war. In the context of Operation Paperclip, a project which aimed to acquire German scientists to work in

arms development for American research facilities, Theodor Buchhold, Head of the Institute of Electrical Plants, leaves TH Darmstadt.

Einbauhöhe und ihrer Hitzebeständigkeit sind die Mikrofone oberflächenmontierbar (SMD = Surface Mounted Device) und lassen sich somit maschinell auf die kupferkaschierte Oberfläche von Platinen auflöten. Neuerdings sind auch Silizium-Mikrofone mit digitalem Ausgang verfügbar. Silizium-Kondensatormikrofone mehrerer Hersteller finden derzeit Anwendung in Mobiltelefonen, Notebooks, PDA's, Digitalkameras, MP3-Playern usw. und werden bereits in Stückzahlen von mehr als 300 Millionen pro Jahr hergestellt.

Piezoelkret-Mikrofone

Eine neue Gruppe piezoelektrischer Materialien stellen die seit 1996 bekannten aber erst seit 1999 systematisch erforschten Piezoelkretre dar [8]. Wichtigster Vertreter ist das zellulare Polypropylen (PP), dessen Aufbau in Abb. 3 (oben) gezeigt ist. Es handelt sich dabei um einen geschlossenzelligen Polymer-schaum, der volumenmäßig etwa zur Hälfte aus Luft-einschlüssen besteht. Zur Polung wird der Film einer Koronaaufladung ausgesetzt, sodass in den Hohlräumen Entladungen entstehen, welche zu der in Abb. 3 (unten) gezeigten Aufladung führen und dadurch piezoelektrische Eigenschaften erzeugen. Vorteile dieser Gruppe piezoelektrischer Polymere sind die sehr hohen Piezokonstanten, die großflächige Ver-fügbarekeit und der niedrige Materialpreis [9].

Die zellularen Piezoelkretfolien lassen sich wegen ihres niedrigen Elastizitätsmoduls durch Schallwellen relativ leicht in ihrer Dicke modulieren. Deshalb können mit diesen Folien sehr einfache aber trotzdem hochwertige Mikrofone gebaut werden. Ein Luftspalt wie bei Kondensatormikrofonen wird nicht benötigt, was die Konstruktion sehr vereinfacht. Mit gestapelten Folien steigt die Mikrofon-Empfindlichkeit proportional zur Zahl der Folien an. Ein Piezoelkret-Mikrofon mit vier Folien, wie in Abb. 4 gezeigt, weist beispielsweise eine Empfindlichkeit von etwa 10 mV/Pa auf [10].

Der Nachteil aller bisherigen Mikrofone ist die relativ schlechte Temperaturstabilität, die auf die verwendeten Piezoelkretfolien aus PP zurückzuführen ist. Bekanntermaßen sind die beiden Fluor-polymere Polytetrafluorethylen (PTFE) und Fluor-ethylenpropylen (FEP) wesentlich temperaturstabilere Elktretmaterialien als PP. Kürzlich konnten aus diesen Materialien Piezoelkretfolien herge-stellt werden [11,12 und dort zitierte Literatur] welche hohe Temperaturstabilität bis 90°C besitzen. Den Frequenzgang damit ausgerüsteter Mikrofone zeigt Abb. 5. Trotz ihres einfachen Aufbaus zeichnen sich Piezoelkret-Mikrofone durch sehr kleine Klirr-faktoren, hohe Grenzfrequenzen und bei Verwendung

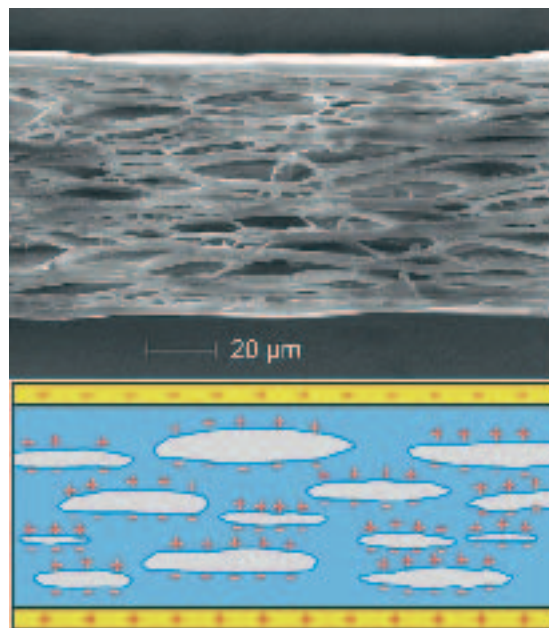


Abb. 3: SEM-Aufnahme des Querschnitts einer zellularen PP-Folie (oben) und Ladungsverteilung in der Folie (unten)

Fig. 3: SEM-photograph of the cross section of a cellular PP-film (top) and charge distribution in the foil (bottom)

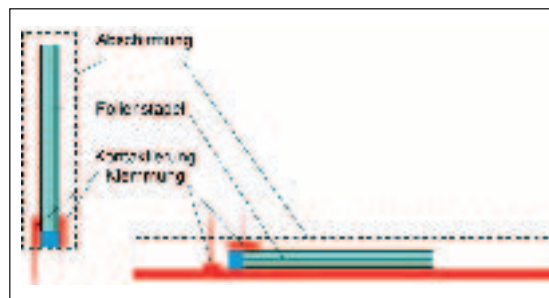


Abb. 4: Querschnitt durch zwei Piezoelkret-Mikrofone mit Folienstapeln [10]

Fig. 4: Cross section of two piezoelectric microphones with stacked films [10]

von Folienstapeln auch durch hohe Empfindlichkeiten und kleine äquivalente Rauschpegel aus.

Ausblick

In den letzten Jahren sind ständig neue Einsatzbereiche für Mikrofone hinzugekommen. Wegen der verschiedenartigen technischen Ansprüche bei den diversen Anwendungen werden Mikrofone gebraucht, die bezüglich Erschütterungsempfindlichkeit, Schock- und Temperaturresistenz, äquivalentem



1947

Der erste Internationale Kongress für Ingenieurausbildung (IKIA) wird an der TH veranstaltet. In Zukunft

sollen technische Forschung und Lehre nur noch dem friedlichen Fortschritt dienen.



Magic in the Air

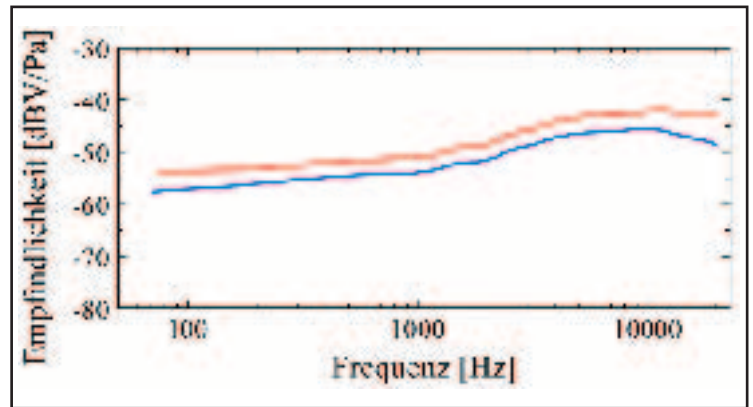
50 Years of Sennheiser Wireless Microphones

Künstler lieben die Freiheit – auch auf der Bühne. Sennheiser hat viel zu dieser Freiheit beigetragen. Denn schon vor 50 Jahren präsentierten die Sennheiser-Ingenieure ihr erstes Drahtlossystem für Mikrofone. Das Zeitalter der Bühnenfreiheit begann. Heute sind drahtlose Mikrofonsysteme von Sennheiser bei Broadcast- oder Bühnenproduktionen auf der ganzen Welt präsent. Und Top-Künstler, beispielsweise Nelly Furtado, fordern Sennheiser-Systeme. Denn damit können sie ihre Ideen in Shows umsetzen. Dabei spielt es keine Rolle, wie komplex die Aufgabe ist oder wie schwierig die Übertragungssituation: Sennheiser Wireless RF macht den Job. Sicher und absolut zuverlässig. Zudem sind Sennheiser-Systeme eine wertvolle Investition in die Zukunft. Mit höchster Produkt- und brillanter Klangqualität setzt Sennheiser immer wieder die Standards. www.sennheiser.com

Rauschpegel, Frequenzumfang und Preis ganz bestimmten Anforderungen genügen. Die spezifischen Stärken der beiden besprochenen Mikrofontypen und des bewährten Elektretmikrofons gestatten es nunmehr, für jede Anwendung das am besten geeignete Mikrofon auszuwählen.

Abb. 5: Frequenzgang zweier Einfolien-Piezo-elektret-Mikrofone [12]

Fig. 5: Frequency response of two single-film piezoelectret microphones [12]



Silicon and piezoelectret microphones: New technologies for a mega-seller

Introduction

Acoustic sensing has been dominated for decades by electret microphones. These transducers, first described in 1962 [1], are condenser microphones with permanently charged dielectric which do not require a dc bias. Electret microphones are of simple design and have good acoustic properties. They are commercially available since 1968 and are nowadays made in quantities of 2 billion annually, accounting for 80 to 90 % of the worldwide microphone market.

In recent years, the field of microphones, just as other areas of sensor devices, has experienced significant innovation. This can be attributed to both, the impact of silicon technology and the availability of new piezoelectric polymer materials. Work based on these trends, which has been significantly pushed ahead at TUD, has resulted in high-quality silicon condenser microphones now used in large quantities and in so-called piezoelectret microphones presently under development. The foundations of these fields will be briefly discussed in the following.

Silicon microphones

Silicon microphones are made on silicon wafers with the methods of micromachining. These methods are borrowed from microelectronics and consist of lithography-, doping-, deposition-, and etching processes [2]. A large number of microphones with very reproducible properties can be realized on a single wafer, as Fig. 1 shows.

While several microphone types may be implemented in silicon, the most successful variety is the capacitive silicon microphone. This consists of a membrane separated by an air gap from a rigid back electrode. If the system is polarized with a small dc bias, excitation of membrane vibrations by a sound wave generates an electric output signal proportional to the sound pressure.

Such silicon condenser microphones were first proposed in 1983 [3]. They were implemented as two-chip sensors, consisting of a membrane chip and a backplate chip [4] and later as single-chip sensors [5]. The latter are made with a sacrificial-layer technology where the air gap is obtained by removing an oxide layer originally deposited between membrane and back plate by an etching process. A typical single-chip microphone is shown in Fig. 2 [6]. In recent years, several variations of such microphones have been discussed [7].

Typical silicon microphones have membrane areas of about 1 mm², membrane thicknesses of 0.2 to 0.4 μm, resonance frequencies in the near ultrasonic range and sensitivities of approximately 10 mV/Pa. They are furthermore shock resistant, insensitive to vibration, and may be operated permanently at temperatures up to 100°C and up to 260°C for short periods. Thus, they can be used as SMD's on printed circuit boards. Silicon microphones are now finding applications in mobile phones, notebooks, PDAs, digital cameras, MP3-players etc and are already made in quantities of 300 million annually.

1947

The first International Congress for the Education of Engineers is held at TH Darmstadt. Its resolution states that both research and training in engineering

are to be used for the peaceful advancement of mankind.

Piezoelektret microphones

Piezoelectrets are a new group of polymers consisting of a closed-cell foam, often of polypropylene (PP), as depicted in Fig. 3 (top). The foam is poled such that the charge distribution shown in Fig. 3 (bottom) is generated [8]. This makes the material piezoelectric. Advantages of such polymers are high piezo-coefficients, availability in large areas, and low material cost [9].

Because of their small elastic modulus, piezoelectrets are easily compressed by sound waves. This allows one to construct high-quality microphones of simple design. An air gap, as in condenser microphones, is not required. With stacked films the microphone sensitivity increases proportional to the number of films. A piezoelectret microphone with four films, as shown in Fig. 4, has a sensitivity of about 10 mV/Pa [10].

Recently, piezoelectret films were made of layers of the fluoropolymers FEP and PTFE. These are more temperature resistant than the PP films and can be used

up to 90°C [11,12 and references therein]. The frequency response of a microphone composed of such films is shown in Fig. 5. Advantages of the piezopolymer microphones are low harmonic distortion, low equivalent noise level, and, for stacked systems, large sensitivity.

Outlook

During recent years, new applications of microphones have steadily emerged. Because of the different technical requirements for the diverse applications, microphones are needed which satisfy distinct requirements with respect to vibration sensitivity, shock- and temperature resistance, equivalent noise level, frequency range, and price. The specific strengths of the two microphone types discussed above and of the established electret microphones allow one to select the best-suited microphone for every application.

Literatur

- [1] G. M. Sessler and J. E. West, *J. Acoust. Soc. Am.* 34, 1787–1788 (1962).
- [2] A. Heuberger, "Mikromechanik", Springer Verlag Berlin, 1991.
- [3] D. Hohm and G. M. Sessler, in *Proc. of the 11th Int. Congress on Acoustics* (Paris, 1983), Vol. 6, pp. 29–32.
- [4] D. Hohm, in *Fortschritte der Akustik - DAGA 1985*, pp. 847–850; D. Hohm and G. Hess, *J. Acoust. Soc. Am.* 85, 476–480 (1989).
- [5] P. R. Scheeper, A. G. H. van der Donk, W. Olthuis, and P. Bergveld, *J. Microelectromech. Systems* 1, 147–154 (1992).
- [6] C. Thielemann and G. M. Sessler, *Acustica-acta acustica* 83, 715–720 (1997).
- [7] R. Kressmann, M. Klaiber, and G. Hess, *Sensors and Actuators A* 100, 301–309 (2002); M. Fuldner, A. Dehé, and R. Lerch, *IEEE Sensors Journal* 5, 857–863 (2005).
- [8] G. M. Sessler and J. Hillenbrand, *Appl. Phys. Letters* 75, 3405–3407 (1999).
- [9] S. Bauer, R. Gerhard-Multhaupt, and G. M. Sessler, *Physics Today* 57, No. 2, 37–43 (2004).
- [10] J. Hillenbrand and G. M. Sessler, *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 3267–3270 (2004); *IEEE Trans. DEI* 13, 973–978 (2006).
- [11] Z. Hu and H. von Seggern, *J. Appl. Phys.* 99, 024102 (2006); R. A. C. Altafim et al, *IEEE Trans. DEI* 13, 979–985 (2006).

Fachgebiet Elektroakustik an der TU Darmstadt

Das Fachgebiet Elektroakustik gehört zum Institut für Nachrichtentechnik. Im Fachgebiet werden folgende Forschungsschwerpunkte verfolgt:

- Mikrofone und Schallsender für den Hör- und Ultraschallbereich
- elektromechanische Wandler
- piezoelektrische zelluläre Polymere
- Elektretmaterialien

Bei den elektroakustischen und elektromechanischen Wandlern werden neue technische Konzepte entwickelt, während im Bereich der Materialforschung physikalische Grundlagen und die Optimierung der Materialien im Mittelpunkt stehen.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr. rer. nat. Gerhard M. Sessler
 Institut für Nachrichtentechnik
 Merckstr. 25 · 64283 Darmstadt
 E-Mail: g.sessler@nt.tu-darmstadt.de

1952

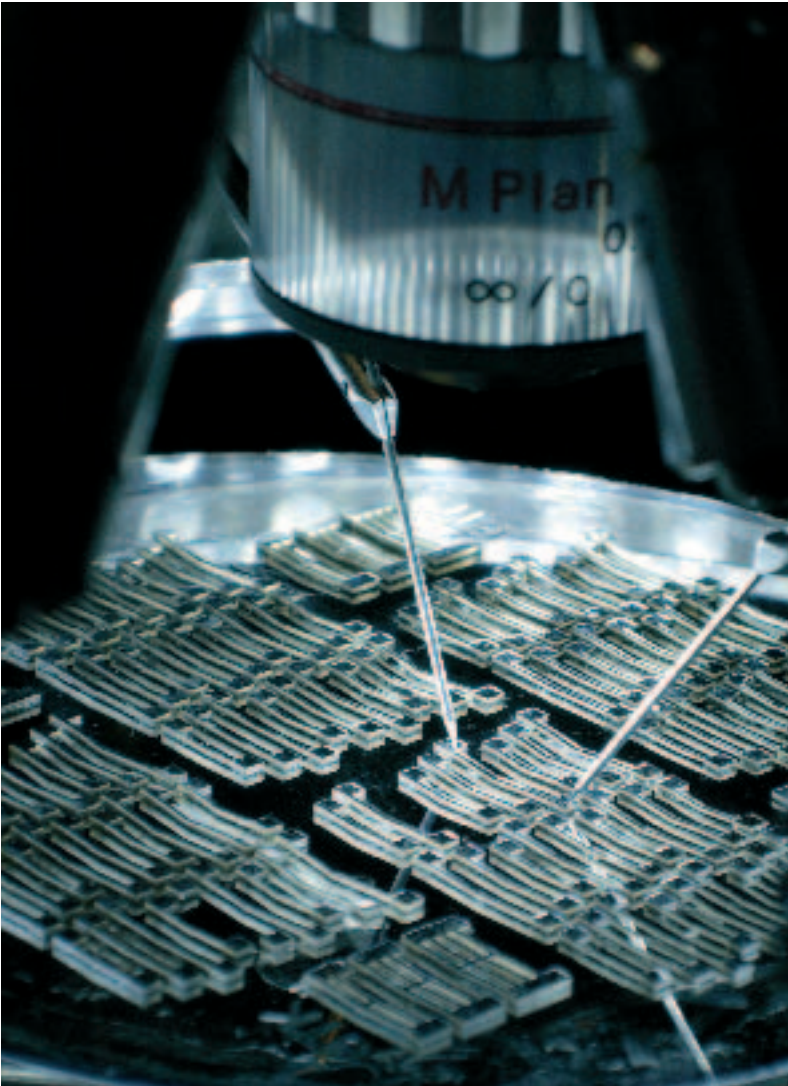
Auf den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik wird Karl Küpfmüller berufen. Er konzipiert eine Systemtheorie und wirkt u.a. auf dem Gebiet der Nachrichten-

übertragungstechnik. Als Vorsitzender des VDE und bahnbrechender Forscher ist er eine prägende Figur der Elektrotechnik.



Im Kleinen ganz groß – Mikroelektromechanische Systeme

Helmut F. Schlaak/Roland Werthschützky/Dirk Eicher/Andreas Röse/
Jacqueline Rausch/Ingmar Stöhr



Electromechanical systems, characterized by integration and interaction of electronic, optical and mechanical sub-systems, have become an integral part of our every day life. New technologies enable micro-electromechanical systems (MEMS) with entirely new fields of application. At the Institut EMK, these range from miniaturized force sensors for catheterizations as small as 200 μm to mesoscale positioning systems with an overall size of about 20x30 mm².

Elektromechanische Systeme, gekennzeichnet durch Integration und Wechselwirkung von elektronischen, optischen und mechanischen Teilsystemen, sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Durch die Nutzung neuer Technologien entstehen mikroelektromechanische Systeme (MEMS), denen vollkommen neue Anwendungsgebiete offen stehen – vom 200 μm großen Kraftsensor für Katheteranwendungen bis zum 20x30 mm² großen Mikropositioniersystem für Präzisionsbearbeitungen reicht die Bandbreite der am Institut EMK entwickelten MEMS.

1952

Karl Küpfmüller is appointed to the Chair of Communication Engineering. He develops a systems theory and works in various fields, including Transmission

Engineering. As chairman of the VDE and a groundbreaking researcher, he is one of the most prominent figures in Electrical Engineering.

Einführung

Elektromechanische Systeme als Synergie zwischen Elektrotechnik, Informationstechnik und Mechanik bilden die Grundlage einer Vielzahl technischer Geräte in der Automatisierungstechnik, Nachrichten- und Kommunikationstechnik sowie der Medizintechnik. Seit Fertigungsverfahren, die aus der Halbleitertechnik stammen, auch für mechanische Systeme eingesetzt werden, vollzieht sich ein Wandel von rein feinwerktechnischen Produkten zu zunehmend mikrotechnischen Baugruppen – von der Elektromechanik zur Mechatronik und Mikrosystemtechnik (Tabelle 1) [1]. Zur Kopplung des Mikrosystems mit seiner makroskopischen Umwelt sind geeignete Schnittstellen Voraussetzung. So wird das Silizium-Messelement eines Drucksensors erst durch sein robustes Gehäuse an die raue Umgebung angepasst. Im Fall des Tintenstrahldruckers wäre der mikrotechnisch gefertigte Druckkopf ohne die präzise Feinmechanik, die ihn auf Hundertstelmillimeter genau positioniert, wertlos. Daher besteht eine Herausforderung darin, auch diese Feinwerktechniken, z.B. durch Batchfertigung und monolithische Herstellung, zu optimieren. Die Motivation zum Einsatz der Mikrosystemtechnik wird in Abbildung 1 dargestellt.

Für eine Aktorplattform mit einem Stellweg von 20 mm, bei einer Länge von 30 mm und einer Höhe von einem Millimeter müssen die Antriebe in Mikro-technik hergestellt werden. Ein piezoresistiver Drucksensor ist nur durch eine 15 µm dicke Metallmembran vor zerstörerischen Umwelteinflüssen geschützt und erst durch die Integration eines Mikro-Kraftsensors in die Spitze eines Endoskops können die Interaktionskräfte zwischen Organ und Instrument bestimmt werden. Zum Entwurf dieser Systeme werden am Institut EMK erprobte Simulationsplattformen eingesetzt, die im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten weiterentwickelt werden.

Elektrothermische Antriebe in Tiefenlithographie

Während in der Mikroelektronik mit kleinsten Strukturweiten unter 100 nm die Grenzen des technisch und physikalisch Machbaren zunehmend erreicht sind, liegen die Herausforderungen bei den Abmessungen in der Mikromechanik oft einige Zehnerpotenzen darüber. In der UV-Tiefenlithographie lassen sich mit Hilfe des epoxidbasierten Fotolackes SU 8 Schichten mit Dicken größer 500 µm für Sensor- und Aktoranwendungen strukturieren. Am Institut EMK werden dabei mit kleinsten Abmessungen unter 25 µm Aspektverhältnisse größer 20:1 erreicht – das ent-

Tabelle 1: Produktwandel durch die Mikrotechnik / New products due to micro-fabrication

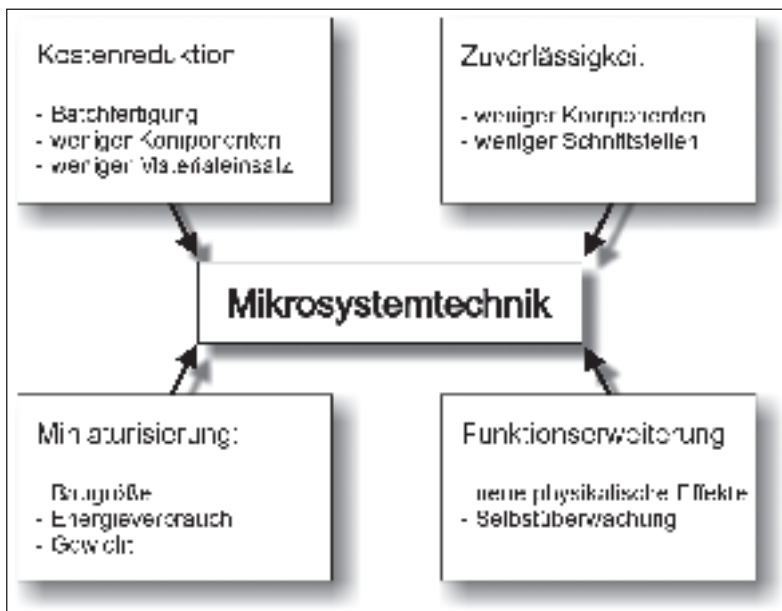
Anwendung	feinwerktechnisches Gerät	mikrotechnisches System
Drucker	Nadeldruck	Tintendruckkopf
Datenspeicher	Diskette	DVD
Automobil-Sensorik		Silizium-Drehratensensor
Automobil-Aktorik	Magneteinspritzventil	piezoelektrische Miniatur-Einspritz-Ventile
Medizintechnik	extrakorporaler DMS-Drucksensor	Silizium-Katheter-Kraft- und Druck-Sensoren

spricht in etwa dem doppelten Höhen-zu-Breiten-Verhältnis des Sears Towers in Chicago.

Aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften – der vernetzte Resist zeigt unter Belastung ähnlich wie Silizium elastisches Verhalten ohne nennenswerte plastische Verformung bis hin zum spröden Bruch – eignet sich SU 8 über die Herstellung von Formeinsätzen für die Galvanoformung hinaus zur Realisierung von nachgiebigen Mikro-Feder-Strukturen. Diese werden in einem Zwei-Schicht-Verfahren mit Hilfe einer Opferschichttechnik hergestellt [2]. Durch Aufbringen metallischer Heizleiterbahnen lässt sich der hohe thermische Ausdehnungskoeffizient von SU-8 zur Integration elektrothermischer Aktoren ausnutzen (Abb. 2). Bei Bestromung führt die Joule'sche Erwärmung der Metallschicht zu einer thermisch induzierten Ausdehnung der darunter liegenden Struktur. Aufgrund des niedrigen E-Moduls werden auf diese Weise schon bei Temperaturen um 100°C beachtliche Leerlaufauslenkungen von bis zu 100 µm und Blockierkräfte von einigen 100 mN erreicht. Für die Auslegung dieser Aktoren ist in Abhängigkeit der Geo-

Abb. 1: Motivationsfaktoren der Mikrosystemtechnik

Figure 1: Motivation factors for microsystem technology



1957

Winfried Oppelt wird auf den ersten Lehrstuhl für Regelungstechnik in der Bundesrepublik berufen und leistet auf diesem Gebiet Pionierarbeit. Seine

Leistungen werden 1980 mit dem Ehrenring des VDE gewürdigt.



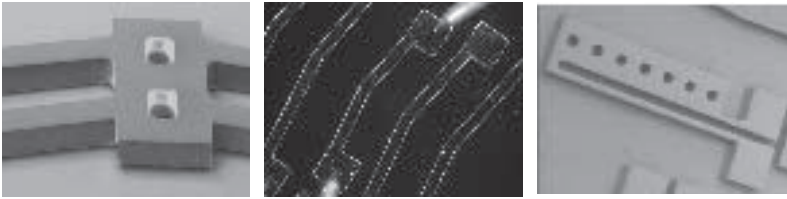


Abb. 2: Elektrothermische Aktoren aus SU-8
Figure 2: SU-8 electrothermal actuators

metrie und unter Berücksichtigung aller relevanten Wärmetransportmechanismen das Temperaturfeld entlang der aktiven Struktur sowie die daraus resultierende Auslenkung zu bestimmen. Dies geschieht mittels dreidimensionaler, gekoppelter elektro-thermo-mechanischer Finite-Elemente-Simulation. Abbildung 3 zeigt die Temperaturverteilung eines bestromten Aktors.

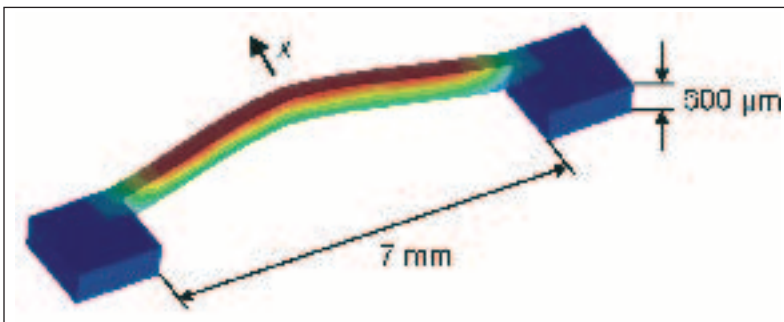


Abb. 3: Temperaturverteilung am bestromten Aktor (FE-Simulation)
Figure 3: Temperature distribution due to Joule heating (FE simulation)

Die UV-Tiefenlithographie mit SU-8 ermöglicht somit die Fertigung potentiell kostengünstiger Mikroantriebe im Batchprozess. Es lassen sich die in den letzten Jahren am Institut EMK entwickelten Antriebskonzepte unter Ausnutzung ihres Miniaturisierungspotentials von der feinwerktechnischen in die mikrotechnische Fertigung überführen [3]. Durch koordinierte Ansteuerung mehrerer elektrothermischer Aktoren können z. B. miniaturisierte Schrittantriebe realisiert werden, die große Verfahrswege von einigen Millimetern bei gleichzeitig hoher Auflösung im Mikrometerbereich erreichen.

Mikrogehäuse mediengetrennte Druck- und Differenzdrucksensoren

Im Rahmen eines Verbundprojektes des Bundesforschungsministeriums (BMBF) wurden miniaturisierte, umweltrobuste Druck- und Differenzdrucksensoren für Anwendungen in der Fahrzeugtechnik und im Maschinenbau entwickelt [4]. Abbildung 4 zeigt das Labormuster eines Relativ- und Differenzdrucksensors. Neben den um den Faktor zwei kleineren Abmessungen dieser Sensoren gegenüber marktrelevanten Typen zeichnen sie sich durch eine Modulbauweise

mit standardisierter PIN-Belegung aus. Dadurch können Zusatzmodule in Form von Bus-Bausteinen, Mikrorechnern oder Mikroaktoren problemlos hinzugefügt werden. Die Drucksensoren sowie weitere Sensoren sind mit den Zusatzkomponenten Bausteine eines „Anwendungsbaukastens“ für den Maschinenbau (MATCH-X-Werkzeugkasten).

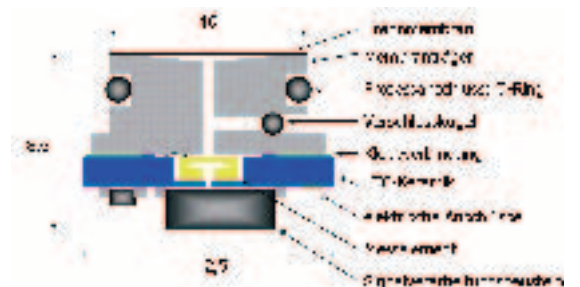
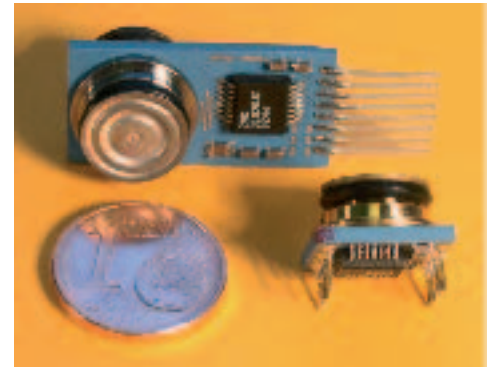


Abb. 4: Miniaturisierte Druck- und Differenzdrucksensoren als Muster und Schnittbild
Figure 4: Sample and cross-section of the pressure and differential pressure sensor

Der in Abbildung 4 dargestellte Grundaufbau des Drucksensors besteht aus einer Keramik-Gehäuseschale (LTC-Keramik – Low Temperature Cofired Ceramic) in die der Silizium-Primärsensor eingebettet ist. Zur Druckeinleitung dient ein Edelstahlanschluss, der auch die Metallmembran zur Trennung des Messmediums und der Sensor-Füllflüssigkeit trägt. Neuartig ist hierbei die Membranherstellung durch galvanische Nickel-Abscheidung. Auf der Rückseite der Keramik-Gehäuseschale ist bei den Drucksensoren der Signalwandlerbaustein integriert. Bei Differenzdrucksensoren ist dieser seitlich zur Druckeinleitung angeordnet. Mit Hilfe dieses Wandlerbausteins erfolgt die Signalverstärkung des Primärsensors einschließlich der Korrektur der systematischen statischen Fehler (Linearitäts- und Temperaturfehler). Durch die galvanische Membranabscheidung im Dickenbereich von 15 μm bis 20 μm wird eine deut-

1957

Winfried Oppelt is appointed to the first Chair of Automatic Control Engineering in the Federal Republic of Germany. He is one of the pioneers in this field of

research. His achievements are recognized in 1980, when he is awarded the VDE Ring of Honor.

BRAUN



Dipl.-Ingenieure (m/w)

Elektrotechnik · Feinwerktechnik ·
Mechatronik · Maschinenbau

Wer Spitzenprodukte anbietet, muss den Konsumenten verstehen. Für unsere Technik-Spezialisten bedeutet das: Immer auf dem neuesten technologischen Stand sein, prozessorientiert denken und den Nutzen für den Konsumenten stets in den Mittelpunkt stellen. In einer Organisation, die weltweit mit technischen Innovationen Standards setzt, bieten wir qualifizierten Ingenieuren (m/w) Perspektiven.

Braun Produkte sind typische elektromechanische Kleingeräte. Unsere Ingenieure im Bereich Forschung & Entwicklung arbeiten in der Konstruktion, in der Hard- und Softwareentwicklung, sie suchen nach neuen Ideen und gestalten Versuchs- und Messaufbauten. Der Übergang zwischen Elektronik und Mechanik hat dabei entscheidenden Einfluss auf die Produktperformance. Sie sind bei uns eingebunden in internationale, interdisziplinäre Entwicklungsteams und beteiligt an Projekten von der Idee bis zum Serienstart. Am fertigen Produkt können sie ihren Beitrag wiedererkennen.

Möchten Sie dazu gehören? Dann bewerben Sie sich bitte unter www.pgcareers.com/ger. Dort finden Sie unsere offenen Positionen für Nachwuchskräfte und Professionals. Oder per Post an die Braun GmbH · Talent Supply · Frankfurter Str. 145 · 61476 Kronberg. Noch Fragen? Rufen Sie uns an! (06173-305146).

Braun ist ein dem weltweiten Procter&Gamble-Konzernverbund zugehöriges Unternehmen.

P&G

Tabelle 2: Kennwerte der Drucksensorfamilie
 Table 2: Specifications of the pressure sensor family

Nennbereich Absolutdruck	1 bar
Nennbereich Relativdruck	0,1 bis 25 bar
Nennbereich Differenzdruck	0,1 bis 1 bar
max. Messunsicherheit 0 bis 50° C	1 %
max. Messunsicherheit -25 bis 85° C	2 %
Abmessungen Absolut-/Relativdruck	12,5 x 12,5 x 8,5 mm ³
Abmessungen Differenzdruck	25 x 12,5 x 11,6 mm ³
Membrandurchmesser	9 mm

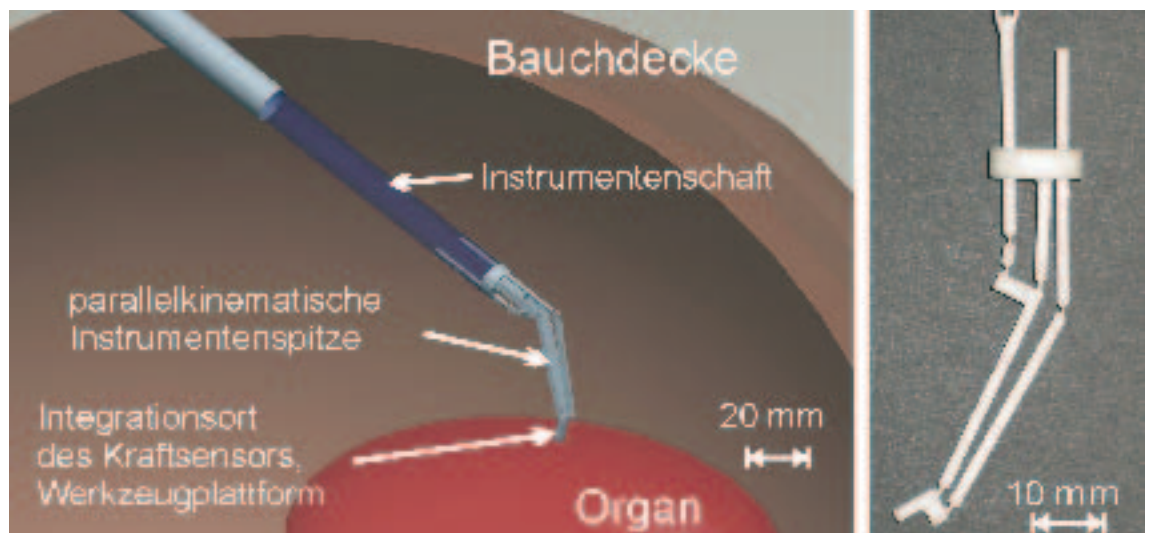
lich erhöhte Nachgiebigkeit der Membran gegenüber einer aufgeschweißten Membran gewährleistet. Dies ermöglicht die Halbierung des Durchmessers. Außerdem ist jetzt die kostengünstige Membranherstellung im Batchprozess möglich. Durch Variation der Prozessparameter sind gezielt mechanische Vorspannungen in der Membran einstellbar, die die Membran in eine definierte Ruhelage bringen. Die Übersicht der Messbereiche und Abmessungen der Sensoren ist in Tabelle 2 angegeben. Gegenwärtig erfolgt die Überleitung der Entwicklungsergebnisse an einen mittelständischen Sensorhersteller.

Intrakorporaler Manipulator – INKOMAN

Im Bereich der Gesundheitsforschung wird im Rahmen eines deutschlandweiten BMBF-Verbundprojekts das neuartige minimalinvasive Instrument INKOMAN entwickelt [5]. Es handelt sich hierbei um ein Telemanipulationssystem, bei dem der Chirurg an einem Bedienelement Bewegungen vorgibt, die direkt intrakorporal umgesetzt werden. Gleichzeitig wird ihm durch ein haptisches Feedback am Bedienelement ein Gefühlseindruck über die Interaktionskräfte zwischen Werkzeug und Gewebe vermittelt. Eine konsequente Miniaturisierung der im Körper liegenden Teile ist eine Voraussetzung für den Aufbau von INKOMAN.

Die Abbildung 5 zeigt ein erstes Funktionsmuster des intrakorporalen Positioniersystems, das ein zweifaches Abwinkeln der Instrumentenspitze erlaubt. Die Miniaturisierung der Instrumentenspitze auf einen Durchmesser < 15 mm bei gleichzeitig hohen Kräften bis zu 5 N wird erst durch den Einsatz einer parallelkinematischen Struktur ermöglicht. Miniaturisierte Aktoren können im Schaft des Instruments oder sogar extrakorporal angeordnet sein und über geschlossene kinematische Ketten die Werkzeugplattform bewegen. Durch Spritzguss eines Thermoplasts lässt sich diese Werkzeugplattform als Festkörperkinematik vollständig monolithisch herstellen. Ein lasergesintertes Funktionsmuster ist in Abbildung 5 dargestellt. In dieses vergleichsweise makroskopische Instrument wird für die haptische Rückmeldung ein miniaturisiertes Kraftmesselement integriert, das die Interaktionskräfte zwischen Werkzeug und Gewebe detektiert. Infolge der wirkenden Interaktionskräfte von maximal 5 N bei Frequenzen ≤ 1 kHz wird die Werkzeugplattform deformiert. Diese Deformation wird resistiv erfasst. Durch geeignete Auswertung der Sensorsignale kann auf die dreidimensionale Interaktionskraft geschlossen werden. Abbildung 6 zeigt ein erstes Labormuster, welches auf diesem Wandlungsprinzip basiert. Hier wird die Deformation eines Stahlverformungskörpers durch ein $2,4 \times 1 \times 0,39$ mm³ großes Siliziumplättchen mit einer piezoresistiven Messbrücke detektiert [6]. Ein langfristiges Ziel innerhalb des Projekts besteht im Aufbau der parallelkinematischen Instrumentenspitze mit integriertem Kraftsensor als monolithisch gefertigter, kostengünstiger Einwegartikel.

Abb. 5: Funktionsmuster einer zweifach abwinkelbaren Instrumentenspitze für das minimalinvasive Instrument INKOMAN und monolithische Realisierung in Laser-Sinter-Technologie
 Figure 5: Functional model of a twofold bendable instrument tip for the minimally invasive instrument INKOMAN and laser sintered monolithic part



1963

Curt Brader wird erster Direktor des Instituts für elektromechanische Konstruktionen. Neben der Forschung und Lehre im Vorfeld der Genese des neuen

Faches Mechatronik beteiligt er sich aktiv an der akademischen Selbstverwaltung, der er 1968/69 in unruhiger Zeit als Rektor vorsteht.

Ausblick

Die zukünftigen Forschungsarbeiten werden sich auf miniaturisierte Schrittantriebe, Polymeraktoren und langzeitstabile Miniatorsensoren sowie auf integrierte Anordnungen in Form von direkt gekoppelten Aktor-Sensor-Systemen bzw. Sensorarrays konzentrieren. Die gezielte Beeinflussung der Materialparameter soll durch die definierte Zugabe von Nanopartikeln ermöglicht werden. Zur Erhöhung der Verlässlichkeit dieser Systeme werden zunehmend Algorithmen zur autarken Selbstüberwachung, d.h. zur Störungserkennung und Diagnose und zur Selbstrekonfiguration, d.h. Reparatur der gestörten Einheit, in den zugehörigen Mikroprozessor integriert. Der hierzu erforderliche Prototypenbau setzt die kontinuierliche Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren der Mikrotechnik voraus. In enger Zusammenarbeit mit ausgewählten mittelständischen Firmen werden die Hauptanwendungsfelder dieser neuartigen elektro-mechanischen Systeme auch zukünftig der Präzisi-

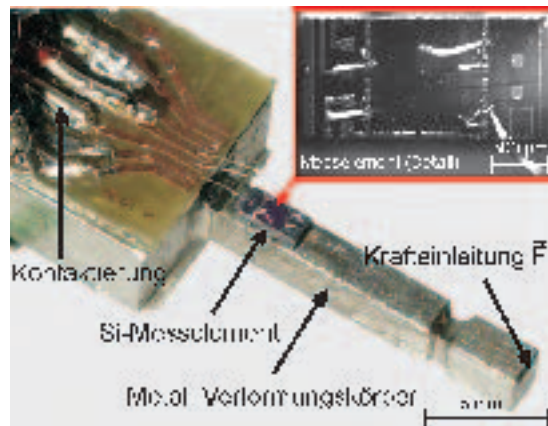


Abb. 6: Mikro-Kraftsensor mit metallischem Verformungskörper und Silizium-Messelement

Figure 6: micro-force sensor with metal deformation beam and silicon measuring element

onsgerätebau, die industrielle Mess- und Sensortechnik sowie die Medizintechnik sein.

Small is great – Microelectromechanical Systems

In electromechanical systems the synergy of electrical engineering, mechanical engineering and information technology provides the basis for a variety of applications in automation technology, communications engineering and medical engineering. Since fabrication technologies have been transferred from microelectronics to mechanical systems, an ongoing trend towards miniaturization can be identified, leading to batch-fabricated, monolithic microsystems with integrated electronic and mechanical sub-systems.

However, to couple these microsystems to their macroscopic environment a suitable interface is required. In case of an ink-jet printer, the micro-fabricated print head would be useless without the precision mechanics used to position it accurately to the hundredth of one millimeter. A pressure sensor based on a micro-machined silicon measuring element can only be used in harsh environments, when hermetically sealed in a rugged housing. Therefore, the challenge in bringing these two worlds together lies in optimization and combination of methods and technologies established in precision engineering and microsystem technology, respectively.

Exemplary research projects

The weakest part of a pressure sensor housing is its metal diaphragm, which has to be hermetically sealed

to prevent intrusion of harmful gases or fluids. At the same time, it has to be very elastic to allow for good transmission of the pressure to be measured and to reduce the influence of thermal errors. With a novel electroplating process, it is now possible to deposit 15 to 20 μm thick nickel membranes in a batch process. These have a higher compliance compared to conventional welded membranes, reducing the diameter by a factor of two and hence leading to further miniaturization.

An example for monolithic integration of mechanical structures is the project INKOMAN (intracorporeal manipulator). INKOMAN is a new operating platform for minimally invasive abdominal surgery. One of the aims is to provide additional degrees of freedom compared to classical instruments. Driven by integrated actuators the operating platform mounted at the tip of the instrument will be able to move in various ways. This tip with its multiple hinges would be difficult to sterilize and expensive to assemble using precision engineering techniques. By designing a disposable die-casted tip with flexure hinges sterilization is no longer a concern. As one part of the INKOMAN project is devoted to haptic feedback to the surgeon, a piezoresistive force-sensor is integrated into the tip, enabling the measurement of forces between the instrument and tissue.

1963

Curt Bader is appointed as the first Director of the Institute of Electro-Mechanical Constructions. Apart from his research and teaching, which lead to the establishment of the field of Mechatronics, he was

active in university administration. He was Rector of TH Darmstadt during the turbulent times between 1968 and 1969.

Literatur

[1] Schlaak, H. F.: *Vierzig Jahre Institut für Elektromechanische Konstruktionen - Von der Elektromechanik zur Mechatronik und Mikrosystemtechnik*. TUD-Schriftenreihe Wissenschaft und Technik 85, Darmstadt: TU Darmstadt, 2003

[2] Eicher, D.; Schlaak, H. F.: *Herstellung freitragender Mikrostrukturen aus SU-8*. GMM-Workshop Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik, 7.-8. Mai 2007, Karlsruhe, 2007

[3] Jungnickel, U.; Eicher, D.; Schlaak, H. F.: *Novel Micro-Positioning System Using Parallel Kinematics and Inchworm Actuator Platform*. Proceedings Actuator '04, 9th International Conference on New Actuators, 14-16 June 2004, Bremen, 2004

[4] Wohlgenuth, Ch.; Sindlinger, S.; Werthschützky, R.: *Mikrogehäuste mediengetrennte Silizium-Druck- und Differenzdrucksensoren für industrielle Anwendungen*. tm Technisches Messen, 72 (2005) 11

[5] Röse, A.; Kern, T. A.; Eicher, D.; Schemmer, B.; Schlaak, H. F.: *INKO-MAN - An intracorporeal manipulator for minimally invasive surgery*. Gemeinsame Jahrestagung der Deutschen, Österreichischen und Schweizerischen Gesellschaften für Biomedizinische Technik, 6.-9. September 2006, Zürich, 2006

[6] Rausch, J.; Röse, A.; Werthschützky, R.; Schlaak, H. F.: *INKO-MAN - Analysis of mechanical behaviour of liver tissue during intracorporeal interaction*. Gemeinsame Jahrestagung der Deutschen, Österreichischen und Schweizerischen Gesellschaften für Biomedizinische Technik, 6.-9. September 2006, Zürich, 2006

Miniaturized stepping motors with a range of motion of several millimeters and a resolution in the micrometer range are generally large 3-dimensional devices and therefore costly to fabricate and assemble. A novel design proposes a 2-dimensional device with integrated actuators, allowing monolithic fabrication in a batch process using SU-8, an epoxy-based photoresist with good mechanical properties. Subject to external loading, SU-8 – similar to silicon – responds with elastic deformation until breaking. Layer thicknesses of 500 µm with the smallest feature size below 25 µm and aspect ratios greater than 20:1 are possible. A sacrificial layer process, with SU-8 as structural as well as sacrificial material, is used to obtain self-supporting, movable elements. By selective metallization it is even possible to integrate electrothermal actuators.

Outlook

Future research will focus on miniaturized stepping motors, dielectric elastomer actuators and long-term stable micro-sensors as well as directly coupled sensor-actuator systems, respectively sensor arrays. Integration of fault recognition and the ability of self-reconfiguration by associated microprocessors will improve reliability of sensor systems. These research activities are accompanied by a permanent refinement of the required micro fabrication processes to support prototyping. The well-defined addition of nanoparticles to the materials in use will enable the systematic modification and improvement of material properties. The research is pursued in cooperation with small and medium-sized enterprises working in measurement and sensor technology, medical engineering and precision engineering.

Institut für Elektromechanische Konstruktionen

Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten am Institut für Elektromechanische Konstruktionen (EMK) im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik steht der Entwurf von elektromechanischen Systemen und deren Umsetzung in Form von Aktoren, Sensoren und zunehmend von direkt gekoppelten Sensor-Aktor-Systemen. Dabei sind die Hauptanwendungsfelder die industrielle Sensorik, der Präzisionsgeräteeinbau und die Medizintechnik. Durch die Nutzung neuartiger Formgebungs-, Aufbau- und Verbindungs- sowie Packagingverfahren der Mikrosystemtechnik, die am Institut verfügbar sind und ständig weiterentwickelt werden, wird die für den Einsatz in der Medizintechnik erforderliche drastische Abmessungsreduzierung ermöglicht.

In den beiden eng verzahnten Fachgebieten „Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme“ (Prof. Schlaak) und „Prozessmess- und Sensortechnik“ (Prof. Werthschützky) werden gegenwärtig folgende Schwerpunktthemen bearbeitet:

- Haptische Mensch-Maschine-Schnittstellen
- Miniaturisierte Positioniersysteme
- Mikroaktoren und Mikrosensoren für mechanische Größen
- Sensorsysteme und direkt gekoppelte Sensor-Aktor-Systeme
- Medizinische Geräteentwicklung
- Selbstüberwachung und Rekonfiguration autarker Sensoren und Sensorsysteme

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Werthschützky
Fachgebiet: Prozessmess- und Sensortechnik
Merckstraße 25 • 64283 Darmstadt
E-Mail: werthschuetzky@emk.tu-darmstadt.de
www.emk.tu-darmstadt.de

Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak
Fachgebiet: Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme
Merckstraße 25 • 64283 Darmstadt
E-Mail: schlaak@emk.tu-darmstadt.de
www.emk.tu-darmstadt.de

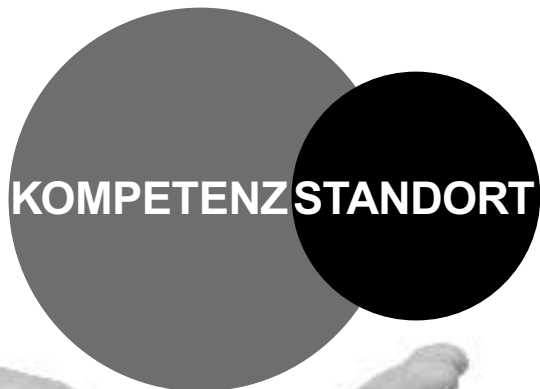


1963

Mit der Berufung von Robert Jötten wird erstmals ein Lehrstuhl für Stromrichtertechnik eingerichtet. Er gilt als Spezialist der Hochspannungs-Gleichstrom-

Übertragung und leitet über mehrere Jahre den jungen Sonderforschungsbereich HGO an der TH Darmstadt.

Sie suchen einen Standort?



Von Infrastruktur bis Netzwerk – wir machen's möglich.

Sie suchen einen Standort, der zentral in Europa liegt? Der eine sichere und effiziente Infrastruktur sowie eine bestmögliche Vernetzung von Schiene, Straße, Wasserschienen und Luftweg bietet? Der Sie mit Energien und Rohstoffen versorgt, zuverlässig und in der jeweiligen Qualität, die Sie für Ihre Prozesse benötigen? Zu Konditionen, die Ihre Wettbewerbsfähigkeit unterstützen? Willkommen im Frankfurter Industriepark Höchst. Hier verwirklichen wir von InfraserV Höchst spezielle Kundenwünsche so maßgeschneidert wie nur möglich. Insbesondere für Chemie, Pharma, Biotechnologie und verwandte Prozessindustrien. Egal wann und in welchem Umfang Sie einen umsetzungsstarken Partner zum Betreiben anspruchsvoller Infrastrukturen benötigen – nehmen Sie Dienstleistung bei uns einfach wortwörtlich. Sprechen Sie uns an: 069 305-46300, Sitemarketing@infraserV.com, www.industriepark-hoechst.com/info

Energien Medien	Entsorgung	Raum Fläche	IT Kommunikation	Gesundheit	Umwelt Schutz Sicherheit	Logistik	Bildung
Betrieb anspruchsvoller Infrastrukturen							

INGENIEURE_{w/m} starten bei

ECKELMANN

SIE

- sind hellwach und freuen sich auf eine sichere Zukunft
- sind stolz auf Ihre Ausbildung
- wollen Ihre Fähigkeiten erleben
- stecken voller Tatendrang

GEMEINSAM

- stimulieren wir uns zu vorbildhaften Innovationen
- ergänzen wir uns zu kompromissloser Qualität
- verdienen wir das Kundenvertrauen
- sichern wir unsere Stabilität

WIR

- sind aufmerksam und aufrichtig
- sind familienbewusst
- fordern fair
- verpflichten uns zur Perfektion im Detail

Die ECKELMANN AG entwickelt und integriert seit über 30 Jahren anspruchsvolle elektronische Steuerungen und Leitsysteme für namhafte Hersteller des Maschinen- und Anlagenbaus mit einer großen Leistungstiefe und Anwendungsbreite.

Zur ECKELMANN Gruppe gehören die ECKELMANN AG, Wiesbaden und die Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford. Gemeinsam erwirtschaften sie mit 300 Mitarbeitern eine Jahresleistung von 43 Mio. Euro.

Wir freuen uns auf weibliche und männliche Absolventen, Diplomanden, Praktikanten und Werkstudenten der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informationstechnik, Informatik oder Ingenieurinformatik.

Ihre Fragen oder Bewerbung richten Sie bitte an:

ECKELMANN AG
Frau Helga Mährlein
Berliner Straße 161
65205 Wiesbaden

Tel. 06 11 71 03 - 0 (-122)
Fax 06 11 71 03 - 133
info@eckelmann.de

ECKELMANN GRUPPE

ECKELMANN AG, WIESBADEN · FERROCONTROL GMBH & CO. KG, HERFORD · ferrocontrol.de

eckelmann.de

Elektronik im Nanozeitalter

Manfred Glesner/Hans Eweking/Thomas Hollstein/Tudor Murgan

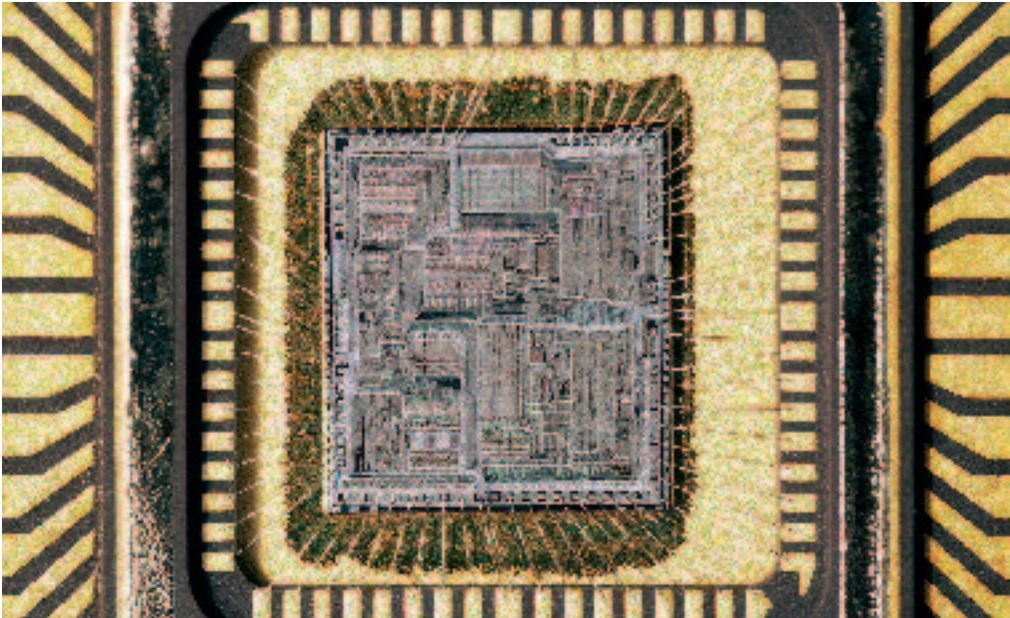


Bild: pixelquelle

Die stetige Weiterentwicklung von Halbleitertechnologien bis hin zur Nanoelektronik ermöglicht gemäß dem „Moore’schen Gesetz“ die Integration einer exponentiell anstei-

Ongoing improvements of modern semiconductor technologies towards nanoscaled devices enable, according to „Moore’s Law“, the integration of an exponentially increasing amount of functionality on one single microchip.

New technologies for microchips having a feature size below 100nm imply several severe challenges for the design process of integrated circuits: The changing properties of down-scaled transistors and wires require new physical design methodologies. The increasing chip complexity has to be addressed with new design methodologies, enabling an efficient design of reliable complex systems.

genden Funktionalität auf einem einzigen Mikrochip.

Neue Technologien für die Chip-Fertigung mit Strukturgrößen unter 100 Nanometer stellen den Entwurfsprozess von Mikrochips vor große Herausforderungen: Durch die fortschreitende Miniaturisierung ändern sich die Eigenschaften von Transistoren und Verbindungsstrukturen, was eine stetige Anpassung des Schaltungsentwurfs erfordert.

Andererseits steigt durch die Miniaturisierung die Komplexität der auf Mikrochips integrierten Systeme (z.B. Mobilfunk, Multimedia) sehr stark an und muss durch eine begrenzte Anzahl von System- und Schaltungsdesignern effizient entworfen werden. Trotz dieser wachsenden Systemkomplexität ist eine zuverlässige Funktionsweise der Endprodukte notwendig, was hohe Anforderungen an den CAD-gestützten Entwurfsprozess und die Verifikation der Funktionalität stellt.

1963

The appointment of Robert Jötten establishes a Chair of Converter Engineering. He is known as an expert in the field of High Tension Direct Current Transmis-

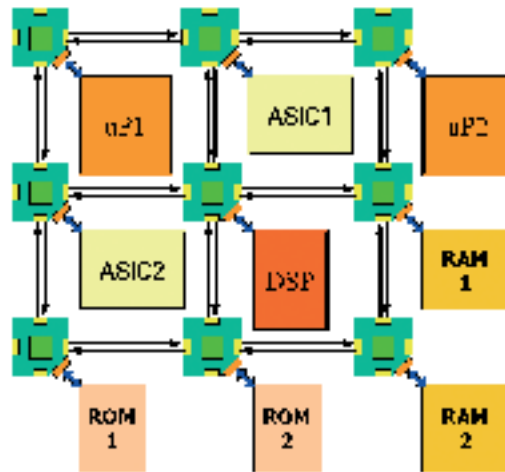
sion and is head of the newly established research unit HGO at TH Darmstadt.

Die fortschreitende Entwicklung moderner Halbleitertechnologien in Richtung Nanoelektronik ermöglicht die Integration einer zunehmenden funktionalen Komplexität auf einem einzigen Mikrochip. Gordon E. Moore hat 1965 ein exponentielles Wachstum der auf einem Chip gleicher Fläche implementierbaren Funktionalität vorhergesagt. Seit nunmehr über 30 Jahren hat sich diese Vorhersage bewahrheitet: ca. alle 18 Monate verdoppelt sich die Anzahl der auf einem Chip integrierbaren Transistoren. Natürlich sind dieser exponentiell stattfindenden Verfeinerung der Strukturgrößen klassischer Halbleitertechnologien physikalische Grenzen gesetzt, welche nur durch Einführung neuer Basistechnologien der Nanoelektronik (Carbon Nano Tubes, Single Electron Devices, Spintronics) überwunden werden können.

Die ständige Verfeinerung (Skalierung) der auf einem Mikrochip realisierbaren Strukturen stellt den Chip-Entwurf permanent vor neue Herausforderungen. Zum einen sind beim Schaltungsentwurf basierend auf Technologien mit Strukturgrößen unter 100nm neue Problemstellungen hinsichtlich der Fertigung zu lösen, zum anderen müssen aber auch Auswirkungen von Variationen des Herstellungsprozesses, von Umwelteinflüssen, auftretenden Leckströmen und Elektromigrationsprozessen (verändertes Alterungsverhalten) berücksichtigt werden. Letztere sind wesentlich Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit integrierter Schaltungen und Systeme. Eine weitere Problemstellung besteht in der Produktivitätslücke zwischen den Möglichkeiten moderner Fertigungstechnologien und der notwendigen Beherrschung der Entwurfskomplexität der Hardwareplattform und der hierauf ablaufenden Softwareprogramme. In der „International Technology Roadmap for Semiconductors“ wird diese Produktivitätslücke als eine der größten Herausforderungen des zukünftigen Chipentwurfs identifiziert. In diesem Zusammenhang spielt die Validierung der im Verlauf des Schaltungs- und Systementwurfs tatsächlich realisierten Funktionalität eine bedeutende Rolle und stellt einen zunehmenden Anteil des gesamten Entwurfsaufwands und der damit verbundenen Entwicklungskosten dar. Während mit Simulationstechniken das Verhalten des Systems unter Annahme bestimmter Randbedingungen validiert werden kann, bieten Verfahren der formalen Verifikation die Möglichkeit eines beweisbasierten Nachweises bestimmter Systemeigenschaften oder der Äquivalenz einer Systemimplementation mit ihrer ursprünglichen abstrakten Systemspezifikation.

Physikalische Aspekte

Stetig verringerte Strukturgrößen von Mikrochips lassen deren Eigenschaften immer empfindlicher werden

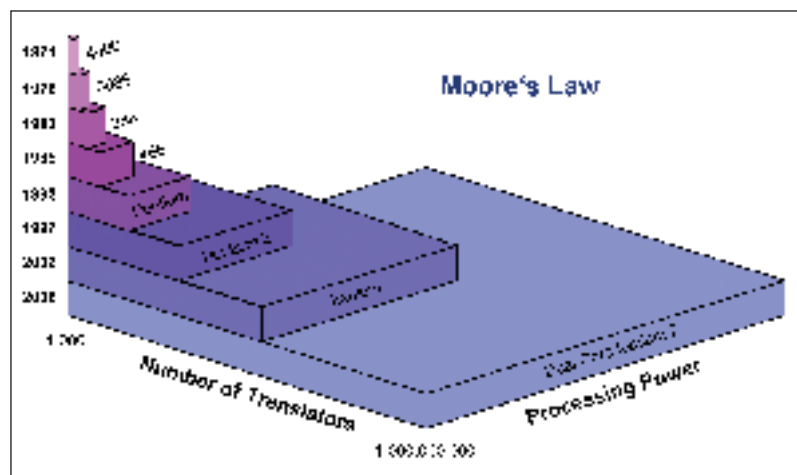


Beispiel für eine SoC-Architektur mit NoC-basierter Kommunikationsinfrastruktur
Example of an SoC Architecture with an NoC based Communication Network

in Bezug auf Abweichungen des Fertigungsprozesses und äußere Einwirkungen. Mit der Miniaturisierung geht eine Verringerung der Anzahl der in der Schaltungsvorgängen bewegten Ladungsträger einher.

Da in vielen Materialien radioaktive Isotope in kleinsten Mengen enthalten sind, kann bereits die von diesen ausgehende geringe Strahlung Störungen in integrierten Schaltungen hervorrufen, welche unter Umständen in einem funktionalen Fehlverhalten des Systems resultieren. Mit einer Verkleinerung der Strukturen eines Chips werden auch Schichtdicken innerhalb des Halbleiters verringert. Dies führt bei isolierenden Schichten dazu, dass diese für Ladungsträger zunehmend durchlässig werden, was aus Schaltungssicht in Leckströmen resultiert. Letztere erhöhen den statischen Leistungsverbrauch der Schaltung und verringern die Dynamik des Systems. Daher müssen zusätzliche schaltungstechnische Maßnahmen ergriffen werden, um Leckströme zu verhindern oder zu verringern.

Das Mooresche Gesetz – Intel-Prozessoren
Moore's Law – Intel Processors



1964

Robert Piloty erhält den Lehrstuhl für Nachrichtenverarbeitung und Digitaltechnik. Er ist federführend am Überregionalen Forschungsprogramm Informatik

des Bundesministeriums für Forschung und Technik und damit am Aufbau der neuen Disziplin beteiligt.



Zunehmend kritisch in nanoskalierten Systemen gestaltet sich auch die Verteilung eines Systemtaktes. Durch die zuvor beschriebene Streuung der Schaltungsparameter wird eine exakt gleichzeitige Ansteuerung aller Speicherregister zunehmend aufwendig. Weiterhin müssen stetig neue Maßnahmen für eine weitere Verringerung der Verlustleistung integrierter Schaltungen getroffen werden. Hierdurch können akzeptable Batterielebensdauern in mobilen Geräten erreicht werden und auch das Problem der notwendigen Ableitung der entstehenden Wärme kann gelöst werden.

Komplexe Systems-on-Chip

Gegenwärtig verfügbare Halbleitertechnologien ermöglichen die Integration mehrerer großer Komponenten (Mikroprozessoren, Video-Codecs, spezifische Hardware, rekonfigurierbare Hardware) auf einem

einigen so genannten „System-on-Chip“. Auch im Bereich klassischer Prozessoren geht der Trend hin zu Multi-Core-Systemen, welche mehrere Prozessorkerne auf einem Chip vereinen. Der Entwurf derartiger komplexer Systeme erfordert leistungsfähige CAD-Werkzeuge für den Entwurf und die On-Chip Integration der Komponenten.

Durch modulare Wiederverwendung von Komponenten in verschiedenen Designs kann eine zusätzliche Erhöhung der Entwurfseffizienz erzielt werden. Komplexe Systems-on-Chip (SoCs) benötigen eine effiziente und flexible Infrastruktur für den Datenaustausch zwischen den auf dem SoC integrierten Komponenten. Networks-on-Chip (NoCs) werden in Zukunft eine flexible On-Chip-Kommunikation ermöglichen. Durch die Einbindung von softwareprogrammierbaren Prozessoren und rekonfigurierbaren Hardwarekomponenten in SoCs können flexible Plattformen geschaffen werden, die in einem ganzen Spektrum von Applikation eingesetzt werden können.

nicht kleinkariert.
nicht 08/15.
nicht durchschnittlich.
nicht wie jeder.

ein Hochschulabsolvent.
aber nicht irgendein *
Hochschulabsolvent.

Die Geschäftswelt hat sich verändert. Wer heute wachsen will, der muss sich vom Wettbewerb abheben. Zu diesem Zweck haben wir unseren Kunden schon immer innovative Technologien geliefert. Wir gehen mit ihnen eine Partnerschaft ein und helfen ihnen dabei, ihre Einzigartigkeit zu bewahren.

Dafür brauchen wir Menschen, die aus der Masse hervorstechen. Die den Status quo verändern und in einer dynamischen Umgebung mit innovativen Lösungen aufwarten. Im Gegenzug bieten wir eine Kultur, in der die vielfältigsten Charaktere und talentiertesten Menschen der Welt erfolgreich zusammenarbeiten.

* Hochschulabsolventen (m/w) nach vorne:

Nutzen Sie Ihre Chancen in einem Unternehmen, in dem Innovation im Zentrum steht. Entscheiden Sie sich für einen Arbeitgeber, der Ihnen alles bietet, damit Sie Ihre Ziele erreichen: herausfordernde Projekte, frühe Übernahme von Verantwortung, zahlreiche Weiterbildungsmöglichkeiten und internationale Perspektiven. Wir denken, das sind gute Gründe für Ihren Einstieg bei IBM.

Hierfür qualifizieren Sie sich mit einem guten Abschluss in Informatik, Ingenieur- oder Wirtschaftswissenschaften. Hinzu kommen Kommunikationsstärke, Engagement und Teamgeist. Gute Englischkenntnisse bilden die Grundlage für Ihren Erfolg. Übrigens: Als „Noch-Studierende/-r“ sollten Sie uns ebenfalls kontaktieren und mit uns über unser Angebot an Praktika und Diplomarbeiten sprechen.

Dieses Angebot richtet sich selbstverständlich auch an Interessenten mit Behinderung.

Talent for innovation | ibm.com/employment/de



IBM schafft ein offenes und tolerantes Arbeitsklima und ist stolz darauf, ein Arbeitgeber zu sein, der für Chancengleichheit steht. IBM und das IBM Logo sind eingetragene Marken der International Business Machines Corporation. © 2007 IBM Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

1964

Robert Piloty is appointed to the Chair of Communication Processing and Digital Technology. He is one of the leading scientists of the National Research Project for Information Sciences founded by the Federal Mi-

nistry of Research and Technology and thus responsible for the establishment of the field of Information Sciences.



_INFRASTRUKTUR-PROTOKOLL

_TAG 45: Von diesen ungenutzten Speicherkästen sind plötzlich immer mehr da. Dass sie Kapazität nicht gemeinsam nutzen können, wird zu unserem Verhängnis. Wir sind gefangen - in einem Labyrinth, das wir selber aufgebaut haben.

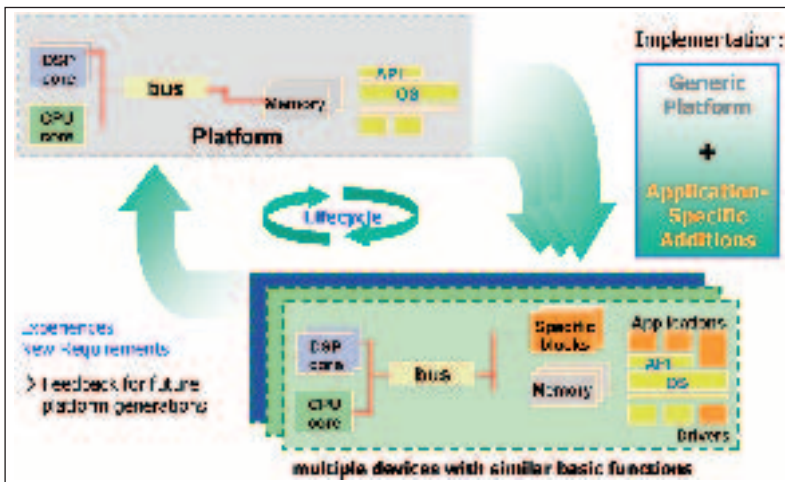
_TAG 47: Ich hab' versucht, Till über die Mauer zu hieven. Einziger Erfolg: Er hat sich dabei eine Zerrung geholt.

_TAG 48: Ich hab' die Kontrolle wieder übernommen - mit IBM System Storage. Der SAN Volume Controller verwandelt mein gesamtes Storage-Universum in einen einfachen, virtualisierten Storage-Pool. IBM hat die Virtualisierungssoftware der vierten Generation und bereits über 2.000 Kunden, die sie nutzen. Und ich hab' wieder Land in Sicht.

_Produktivität ist oben. Auslastung ist oben. Und die Zahl der IT-Jungs, die im Storage-Labyrinth vermisst werden, weit unten.



Schauen Sie mal in den Storage Virtualization Webcast:
IBM.COM/TAKEBACKCONTROL/DE/STORAGE



Plattform-basiertes Design – Implementierung einer generischer Architekturen und anwendungsspezifischer Erweiterungen

Platform Based Design – Implementation of a generic architecture and application specific extensions

Mit Hilfe von aufwendigen Validierungsverfahren muß die korrekte Implementation einer Systemspezifikation nachgewiesen werden. Aufgrund der hohen Komplexität von SoCs ist eine Validierung basierend auf Simulationstechniken ein zunehmend personalaufwendiger Prozess. Erfolg versprechend ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von formalen Verifikationsverfahren, welche zumindest auf Komponentenebene zunehmend eingesetzt werden.

Chip Design: Quo vadis?

In Zukunft wird sich der Chip Design immer neuen Herausforderungen veränderter physikalischer Eigenschaften immer feiner strukturierter klassischer Technologien oder völlig neuer Nanotechnologien stellen müssen. Im Fokus zukünftiger Forschungsarbeiten

wird hier die Erzielung zuverlässiger Systemeigenschaften auf zunehmend variierenden Eigenschaften nanoskalierter Technologien und eine Reduktion des elektrischen Leistungsverbrauchs stehen.

Die funktionale Zuverlässigkeit eines integrierten Systems-on-Chip ist aber zusätzlich abhängig von einem korrekten Entwurf von immer komplexer werdenden Systemen. Daher werden effiziente Verifikationsverfahren im Systementwurf zunehmend an Bedeutung gewinnen, da nur mit ihrer Hilfe die Kosten für eine funktionale Validierung eines Systems in Grenzen gehalten werden können. Durch die Anwendung formaler Verifikationsverfahren im Rahmen von Entwurfsprozessen können erhebliche Fortschritte erzielt werden. Letztere werden die Nutzer eines Systems in Form einer verbesserten Zuverlässigkeit zu schätzen wissen. Denn wer hat sich nicht schon häufig über Abstürze elektronischer Gehilfen zu einem unpassenden Zeitpunkt geärgert? Die Komplexität von integrierten Mikroelektronischen Systemen wird in Zukunft mit Hilfe von effizienten CAD-basierten Entwurfsverfahren gehandhabt werden. Hierbei werden gemischte Hardware-/Softwareplattformen mit flexiblen On-Chip-Kommunikationsnetzwerken zunehmend an Bedeutung gewinnen, welche im hohen Maße eine Wiederverwendung bereits für andere Produktlinien entworfener Komponenten ermöglichen. So werden die Kosten für die Herstellung komplexer elektronischer „Gadgets“ in Grenzen gehalten und durch Optionen der Systemrekonfiguration können derartige Systeme sehr gut an die Bedürfnisse der Benutzerinnen und Benutzer angepasst werden.

Surfing on Moore's Law

In 1965, Gordon Moore projected an exponential increase in integrated circuit complexity. Even though slightly corrected, this figure commonly known as Moore's Law remained valid for over three decades, and it is expected to be continued in the near future. While Moore's Law has become a self-fulfilling prophecy, a lot of effort was spent to overcome significant manufacturing and design obstacles. While it is inevitable that the exponential growth rates will eventually decline, there are many possibilities and opportunities to make better use of the available integration density, especially since design productivity has not been able to increase at the same rate. The main implication of this so-called design-productivity gap is that the number of available transistors increases faster than the designers can make use of them, even though improved tools are employed. Nonetheless, sub-100nm design face a

rapidly increasing variety of manufacturing and design issues like process, thermal, and environmental variations, leakage currents, electromigration, and reliability.

The enabling role of the microelectronics and semiconductors industry is closely tied to predictable design risks, which are mainly development time and cost as well as functional correctness. In the last years, predictably low costs have – among other reasons – continuously motivated a paradigm shift from full-custom application-specific integrated circuits to at least partly programmable logic devices due to the high fabrication and test costs. Minimizing the number of redesigns, and thus design costs, can only be achieved with highly sophisticated CAD-tools which support the simultaneous optimization of multiple parameters which is necessary due to interdependencies between many



1968

Karl Hasse erfindet die feldorientierte Regelung und liefert damit die Grundlagen für moderne Drehstrommotoren, wie sie u.a. in Hochgeschwindigkeitszügen

oder in Windkraftgeneratoren zur Anwendung kommen.

aspects of layout, performance, power consumption and reliability.

Thus, the design process must cope with two main problems, commonly called system complexity (higher integration) and silicon complexity (sub-100nm physical effects). Therefore, the level of abstraction must be risen such that a larger portion of the design flow is performed automatically and as a result, the transistor-level was replaced by the gate level, which has been later substituted at its turn by the Register Transfer level (RTL). A higher level of abstraction can be achieved either by enhancing the tools (better and more efficient tools which automate a larger portion of the design flow) or by changing the design-style (e.g., towards re-use of single blocks, system platforms or complete systems). A good method of hiding increases in silicon complexity is to maintain the same abstraction level of user input for more advanced technology generations. Nonetheless, each new technology generation typically introduces more side conditions which have to be considered when generating a circuit layout.

Additionally, system complexity is also tackled by introducing various forms of more regular, reconfigurable and reusable components and platforms. Nevertheless, for such complex systems, pre-verification and reusable tests are expected to be key features which will lead to a substantial increase in design productivity. Thereby the building blocks combined to a system will not require full-scale testing and verification anymore, which accounts for the majority of design time in complex designs. Eventually, more abstract interfaces to the design process and advanced platform-based design styles will be merged in order to decide on optimal platform, platform configuration and implementation from an abstract description which specifies the design intent including also the embedded software.

Designing Systems-on-Chip and Networks-on-Chip means to integrate the functionality of a complete system on a single chip. The design of such complex system starts with the architecture definition with tasks that have a strong impact on the final system performance: mapping functionality on building blocks, hardware-software partitioning, etc. Furthermore, if a system (or at least parts of it) is designed with a whole application class in mind (e.g., multimedia applications), it can serve as a platform, of which large parts should remain constant for different applications of the given class. Thus, large portions can be reused for several similar designs which profit of reusing pre-tested subsystems. Moreover, if programmable components are used as part of a system platform, such a design may be easily customized by loading different configurations.

Fachgebiet Mikroelektronische Systeme

Das Fachgebiet forscht auf dem Gebiet eines effizienten Schaltungsentwurfs für integrierte analoge und digitale Systeme. Hierbei werden folgende Forschungsbereiche bearbeitet: System-on-Chip Design, Networks-on-Chip, Rekonfigurierbare Systeme, Printed Electronics, RF-CMOS-Schaltungsentwurf, Technologiahe Bauelementemodellierung, RFID-Systeme, Wireless-Sensor-Networks, Systemmodelle und Hardwareabstraktion. Am Beispiel von Nanowissenschaft und den konvergierenden Schlüsseltechnologien stehen Fragen der Wissensproduktion im Vordergrund: Was für eine Rolle spielen hierbei Theorien, Simulationen, Metaphern, Visualisierungen und Visionen?

Ansprechpartner: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Manfred Glesner,
Tel. 06151/16-4038,
E-Mail: glesner@mes.tu-darmstadt.de
www.mes.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Rechnersysteme

Das Hauptforschungsgebiet des Fachgebiets Rechnersysteme ist die Entwicklung von innovativen Methoden zur Hardware-Verifikation. Zum einen werden Verfahren zur Modellgenerierung für die System-Level Verifikation und andererseits neue Methoden für einen eigenschaftsbasierten Entwurf entwickelt.

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Hans Eveking,
Tel. 06151/16-2076,
E-Mail: eveking@rs.tu-darmstadt.de
www.rs.e-technik.tu-darmstadt.de

Literatur

- G. E. Moore. *Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics Magazine* 38: 114-117, 19 Apr. 1965.
- K. Keutzer, S. Malik, R. Newton, J. Rabaey, A. Sangiovanni-Vincentelli. *System Level Design: Orthogonalization of Concerns and Platform-Based Design. IEEE Trans. on Computer-Aided Design* 19(12): 1523-1543, Dec. 2000
- L. Benini, G. De Micheli. *Networks on chips: a new SoC paradigm. IEEE Computer* 35(1): 70-78, Jan. 2002
- R. E. Bryant, K.-T. Cheng, A. B. Kahng, K. Keutzer, W. Maly, R. Newton, L. Pileggi, J. M. Rabaey, and A. Sangiovanni-Vincentelli. *Limitations and Challenges of Computer-Aided Design Technology for CMOS VLSI. Proceedings of the IEEE* 89(3): 341-365, Mar. 2001.
- International Technology Roadmap for Semiconductors, 2005 Edition, 2006 Update. Executive Summary. http://www.itrs.net, Mar. 2006.*

1968

Karl Hasse discovers field-oriented control, thus laying the foundations for modern three-phase motors,

which can be found in high-speed trains or wind power generators.

Automatisierungstechnik und Mechatronik: Querschnittsgebiete der Ingenieurwissenschaften

Rolf Isermann/Jürgen Adamy/Ulrich Konigorski



Automatisierungsfunktionen sind wesentliche Bestandteile technischer Anlagen und Produkte. Ihre Komponenten bestehen aus Sensoren,

Automation functions are essential parts of technical processes or products. Components are sensors, actuators and analogue or digital controllers. The automatic functions comprise feedforward and feedback control, supervision and diagnosis and online optimization. Mechatronic systems are characterized by the synergetic integration of mechanical, electrical components and information processing. Modern products are increasingly developed by mechatronic design principles. The Institute of Automatic Control supports the development of these areas.

Aktoren und analogen oder digitalen Geräten. Die automatischen Funktionen umfassen Steuerungen, Regelungen, Überwachung und Diagnose sowie die Online-Optimierung. Die Mechatronik ist charakterisiert durch die synergetische Integration von mechanischen und elektrischen Komponenten und Informationsverarbeitung. Moderne Produkte werden zunehmend nach mechatronischen Entwurfsprinzipien entwickelt. Das Institut für Automatisierungstechnik trägt durch Lehre und Forschung zu den Entwicklungen dieser Gebiete bei.



1972

Der Erfinder der Funkuhr, Wolfgang Hilberg, wird an die TH berufen und entwickelt dort neue Elemente

und Prototypen, die eine wirtschaftliche Produktion ermöglichen.

MASCHINENBAU: OPTIMIERTE PROZESSE SICHERN KOSTEN



Mit drehzahlgeregelten Pumpen von KSB gelingt die perfekte Anpassung des Förderstroms an den jeweiligen Bedarf. Pumpe und Drehzahlregelung PumpDrive bilden eine Prozesseinheit mit großer Verantwortung: langfristige Prozesssicherheit und konstante Stückkosten.

Bei spanabhebenden Werkzeugmaschinen sind Kühlung und Schmierung der Schneidwerkzeuge sowie der Abtransport der Späne von entscheidender Bedeutung. Sie haben einen großen Einfluss auf die Standzeiten der Bohr- oder Fräsköpfe und damit auf die Herstellungskosten der zu bearbeitenden Werkstücke.

Maschinenstillstand treibt Stückkosten hoch

Ist der Kühlstrahl zu schwach, nimmt die Kühlwirkung ab und die Späne werden nicht vollständig abtransportiert. Dies führt zu Maschinenstillständen und damit zu hohen Ausfallkosten. Nur ein optimaler Druck des Kühlschmiermittels an der Aus-

trittsdüse führt zu einem effizienten Maschineneinsatz.

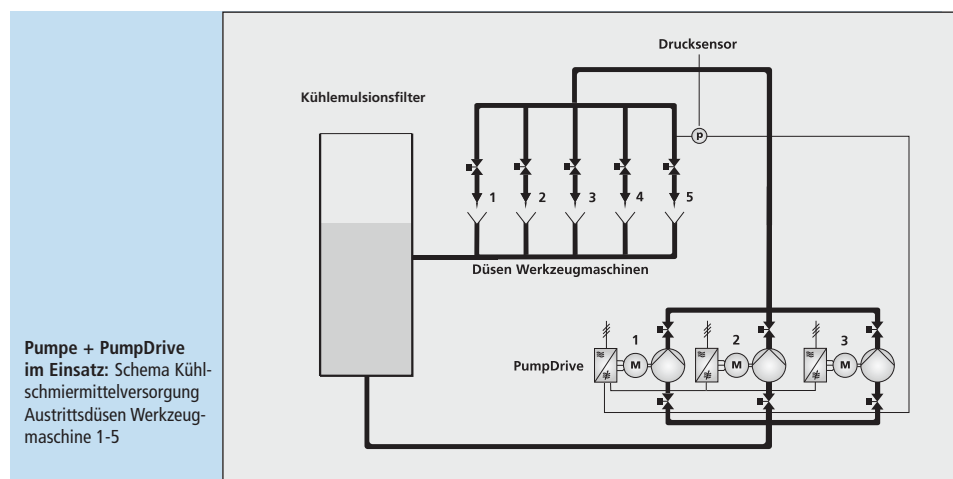
PumpDrive hält Druck und Kosten konstant

Mit Hilfe von drehzahlgeregelten Kreiselpumpen wird der Druck auch an der entferntesten Düse eines zentralen Kühlschmiermittelversorgungsnetzes konstant gehalten. Ein Drucksensor registriert jede Veränderung, die durch das Zu- oder Abschalten von Austrittsdüsen hervorgerufen wird. Er gibt seine Informationen an die Pumpe weiter, die sofort reagiert und ihre Drehzahl erhöht oder absenkt.

So ist sichergestellt, dass das Kühlschmiermittel jederzeit bei optimalem Druck und in ausreichender Menge auf das Werkstück spritzt. Außerdem sparen die Pumpen noch Strom, weil sie nur mit der erforderlichen Drehzahl laufen; die Wartungskosten sinken, da alle Komponenten nicht mehr als nötig belastet werden.

Mehr Informationen finden Sie auf unserer Internetseite und in unserer Broschüre „Pumpe + PumpDrive – die ideale Kombination“.

Einfach online bestellen unter www.ksb.de/pumpdrive-in



Automatisierungstechnik

Die Automatisierungstechnik umfasst die Gebiete Messtechnik, Stelltechnik, Steuerungstechnik, Regelungstechnik, Robotik, Überwachungs- und Sicherheitstechnik und die Prozesstechnik. Sie hat in Deutschland einen Umsatz von etwa 28 Mrd. EUR pro Jahr, 206.000 Beschäftigte, ein Wachstum von 6-8 % pro Jahr, eine Exportquote von 77 % und ist nach ZVEI innerhalb der elektrotechnischen Erzeugnisse der größte Wirtschaftszweig. Der Inlandsumsatz wird besonders im Zusammenhang mit dem Maschinenbau, der Elektroindustrie, der Energiewirtschaft, der Verfahrenstechnik und dem Fahrzeugbau erzielt.

Der Prozesszustand wird über *Sensoren*, wie z.B. für elektrischen Strom, Position, Drehzahl, Beschleunigung oder Füllstand erfasst. Die Sensorik befindet sich in einer kontinuierlichen Weiterentwicklung mit z.B. berührungslosen Bewegungssensoren, piezoelektrischen Messprinzipien und lokaler Signalverarbeitung durch hochintegrierte Schaltungen. Der automatische Eingriff in die Prozesse erfolgt über *Aktoren* bzw. Stellglieder mit elektrischer, hydraulischer oder pneumatischer Hilfsenergie. Neue Aktorprinzipien nutzen z.B. piezo-elektrische, magneto-striktive und elektro-rheologische Effekte mit integrierten digitalen Aktorregelungen und Diagnosefunktionen.

Steuerungs- und Regelungsgeräte sind außer in Analogtechnik mit Mikrorechnern, Mikrocontrollern oder Industrie-PC-Karten aufgebaut. Speicherprogrammierbare Steuerungen und digitale Regler werden in einem Gerät integriert, wobei Baukastensysteme entstehen. Die Mehrebenenstrukturen mit Feld- und Kommunikationsbussen erlauben eine flexible, zentrale und dezentrale Architektur mit standardisierten Schnittstellen (Bild 1). Die Software wird entweder in Assembler oder in höheren Sprachen, wie z.B. C realisiert. Wesentlichen Grundfunktionen sind in der Regel vorkonfiguriert mit Zusatzfunktionen in Form von Bausteinen. Die Validierung und der Test der Software nehmen einen relativ großen Umfang an mit zunehmenden Kosten für den Softwareanteil im Vergleich zur Hardware, zumindest bei kleineren Stückzahlen. In den letzten Jahrzehnten wurden viele verschiedene Regelungsmethoden entwickelt. In der Praxis sind PID-ähnliche Regler und Zweipunktregler vorherrschend. Aufwändigere Regelungsmethoden wie z.B. Zustandsregler

mit Zustandsbeobachter und prädiktive Regler benötigen in der Regel Prozessmodelle und sind vorteilhaft anzuwenden in Zusammenhang mit einem rechnergestützten Entwurf oder mit adaptiven Regelungen. Die *Überwachung* von technischen Prozessen erfolgt bisher meist durch Alarmmeldung bei Überschreiten von Grenzwerten kritischer Messgrößen. Modernere Methoden erlauben eine detaillierte Fehlererkennung und auch Fehlerdiagnose über die Erzeugung verschiedener Symptome, z.B. modellgestützt durch Parameterschätzmethoden oder Paritätsgleichungen.

Die *Bedienung* von automatisierten Anlagen orientiert sich an einer ergonomischen und bedienerfreundlichen Auslegung. Sie nützt in der Regel mehrere menschliche Sinne: optisch, akustisch, taktisch, haptisch und eventuell Sprache. Bei größeren Anlagen findet man eine Bedientechnik nicht nur über Tasten, sondern auch durch Berührungs-Bildschirme („touch-panels“).

Der Entwurf von *Automatisierungssystemen* erfordert für kompliziertere Prozesse ein systematisches Vorgehen von der Konzipierung über den Entwurf zur Projektierung, Implementierung und Inbetriebnahme. Von großem Vorteil kann die Verwendung von Prozessmodellen sein, zu deren Erstellung es softwarebasierte Tools gibt. Eine frühe Modellbildung und Simulation erlaubt eine schnellere Inbetriebnahme bzw. eine kleinere Anzahl von Prototypen bei integrierten Lösungen.

Die Automatisierungstechnik ist Bestandteil sehr vieler moderner Entwicklungen im Rahmen der *Natur- und Ingenieurwissenschaften*, wie man an vielen Beispielen von biochemischen Prozessen über Fahrzeuge bis zur Raumfahrt erkennen kann. Zusammenfassend

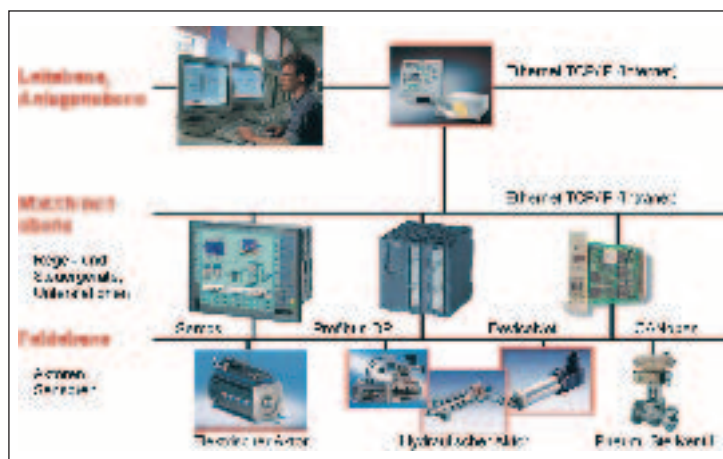


Bild 1: Dezentrale Automatisierung in verschiedenen Ebenen und Kommunikation über Bussysteme

Fig. 1: Decentralized automation in different levels and communication over bus systems

1972

Wolfgang Hilberg, the inventor of the radio-controlled clock, is appointed at TH Darmstadt, where he

develops new elements and prototypes, which make production economically possible.

lässt sich also aussagen, dass Automatisierungsfunktionen den „Kopf“ technischer Prozesse und Anlagen bilden.

Mechatronische Systeme

Mechatronische Systeme entstehen durch die Integration von Mechanik, Elektronik und Informationstechnik. Hierbei spielen automatisierungstechnische Funktionen eine entscheidende Rolle. Bei diesen mechatronischen Produkten ist die Automatisierungstechnik in das Produkt integriert und beeinflusst damit auch die Auslegung grundsätzlich. Hierzu existieren viele Beispiele aus dem Bereich der Fahrzeugtechnik, aber auch bei Produkten wie z.B. Kreiselpumpen, Hydraulikaggregate und elektrischen Antrieben. Bei Entwürfen von mechatronischen Produkten und Systemen kommt es auf einen gesamtgesellschaftlichen Entwurf von Hardware und Software nach mechatronischen Entwicklungsprinzipien an.

Forschungsarbeiten

Das Institut wurde 1956 als erstes Institut für Regelungstechnik der B.R. Deutschland durch Prof. Dr. Winfried Oppelt gegründet. 1973 wurde Prof. Dr. H. Tolle für das Fachgebiet Regelsystemtheorie und 1979 Prof. Dr. R. Isermann für das Fachgebiet Regelungstechnik berufen. Im Jahr 1998 übernahmen Prof. Dr. J. Adamy und 2006 Prof. Dr. U. Konigorski die jeweiligen Fachgebietsleitungen. Die derzeitigen Forschungsarbeiten sind:

Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik (Prof. Dr. U. Konigorski)

- Entwicklung und Optimierung von *Verfahren zur Systemanalyse* und gezielter *Systembeeinflussung* mit möglichst enger Orientierung an aktuellen und zukünftigen Anwendungsfeldern auf dem Gebiet der Mechatronik
- *Modellierung, Analyse und Regelung komplexer*



Global Players

Früh übt sich, wer Neuland entdecken will. Da kann man nicht rechtzeitig genug seinen Horizont erweitern und einen kritischen Blick hinter sämtliche Kulissen werfen.

Wir haben gelernt, über den Tellerrand des Tagesgeschäftes hinauszusehen, Entwicklungen anzustoßen, die die Welt von morgen mitgestalten. Die helfen, kommenden Generationen Perspektiven aufzuzeichnen, die es wert sind, gelebt und belebt zu werden.

Heute spielen wir auf dem internationalen Parkett eine interessante Rolle. für alle, die Lust auf morgen haben.

Wir machen weiter,

THOMAS
Dynamik aus Herdorf
MAGNETE



Thomas Magnete GmbH · San Fernando 35 · D-57562 Herdorf
Phone: +49 2744 929-0 · Fax: +49 2744 929-290
E-mail: info@thomas-magnete.com · Internet: www.thomas-magnete.com

Thomas Magnete USA, L.L.C. · 4465 North 124th Street, Unit F · Brookfield, WI 53005 USA
Phone: (262) 781-2900 · Fax: (262) 783-6845
Mobile Phone: (414) 364-9012 · E-mail: info.usa@thomas-magnete.com

1975

Gerhard Sessler, der in den USA gemeinsam mit James Edward West das Elektret-Mikrofon entwickelt hat, wird Leiter des Fachgebiets für Elektroakustik. Hier erfindet er in den 1980er Jahren die ersten Silizium-Kondensator-Mikrophone. Für seine grundlegenden

Forschungen erhält Sessler zahlreiche nationale und internationale Auszeichnungen und Würdigungen, u.a. durch die Aufnahme in die „National Inventors Hall of Fame“ der USA im Jahre 1999.



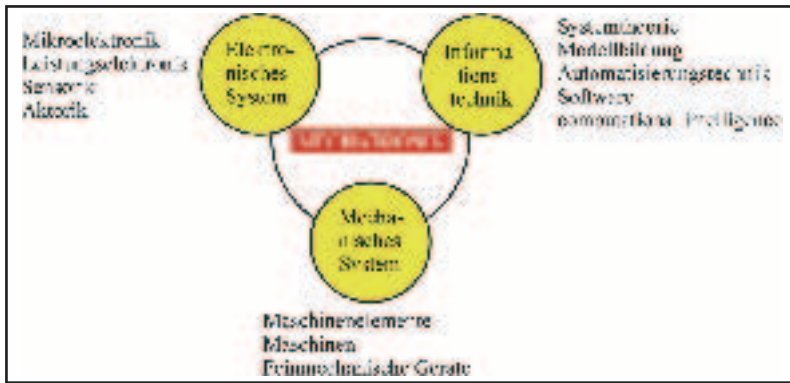


Bild 2: Mechatronik: synergetische Integration verschiedener Disziplinen

Fig. 2: mechatronics: synergistic integration of different disciplines

- mechatronischer Systeme* mit Anwendungsgebieten in der Automobilindustrie, in den klassischen Gebieten des Maschinenbaues, bei Medizintechnik, Luft- und Raumfahrttechnik sowie die Regelung und Optimierung von verfahrenstechnischen Anlagen
- Entwurf *robuster Regelungen*, *Multiratenabstastsystemen*, sowie *Iterativ Lernenden Regelungen*
 - *Fahrdynamikregelung*, Anwendung von *Walshfunktionen* in der Regelungs- und Steuerungstechnik sowie Entwicklung *linearer und nichtlinearer Mehrgrößenregelungen* basierend auf der Zustandsraummethodik
 - Modellierung, Analyse und Entwurf von *örtlich verteilten Systemen*.

Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik (Prof. Dr. J. Adamy)

Bild 3: FEM-Modell als Basis für die modellbasierte Regelung von Werkzeugmaschinen

Fig. 3: FEM model as basis for the model-based regulation of machine tools

- *Schnelle, robuste Regelung* mit nahezu zeitoptimaler Ausregelung und Robustheit gegenüber Streckenänderungen bei niedrigem Entwurfsaufwand. Anwendungsbeispiele sind Kranregelungen, Hydraulikregelungen, Magnetlagerregelungen und U-Bootregelungen.

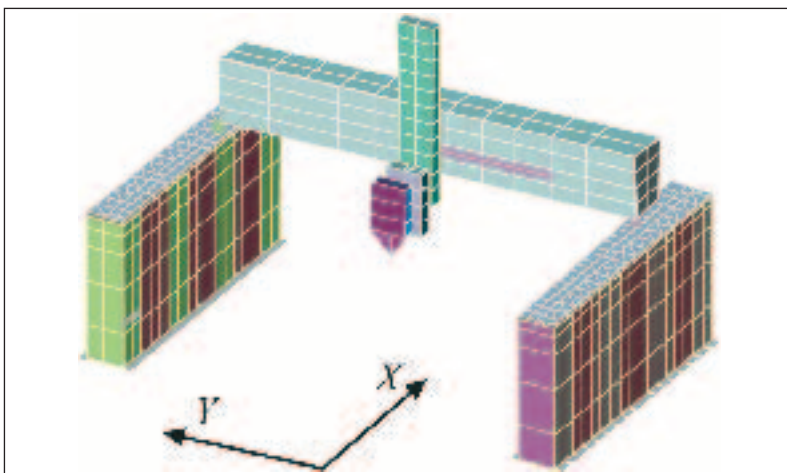


Bild 4: Roboterkopf

Fig. 4: robot head

Forschungsgruppe Regelungstechnik und Prozessautomatisierung

(Prof. Dr. R. Isermann)

- *Identifikation und Regelung* nichtlinearer Prozesse mit Neuro-Fuzzy-Methoden
- *Fehlerdiagnosemethoden* mit modellgestützter Symptomerzeugung und Inferenzmethoden Fahrdynamik-Regelungen mit Modellbildung und Simulation der Fahrzustände, Diagnose von modernen Fahrwerken, Fahrerassistenzsysteme mit aktivem Brems- und Lenkeingriff zur Unfallvermeidung (siehe Bild 5)
- *Verbrennungsmotor-Regelungen* mit Modellbildungs- und neuen Vermessungsstrategien, Ladedruck- und Abgasrückführ-Regelung von Dieselmotoren mit stellbaren Turboladern, Brennraumdruck-Regelung und Fehlerdiagnose für direkteinspritzende Benzin- und Dieselmotoren
- *Medizin-Technik* mit Bioimpedanz-Messung und Regelung bei der Dialyse

1975

Gerhard Sessler, who developed the Electret-Microphone in the USA in cooperation with James Edward West, is appointed as head of the Department of Electro-Acoustics, where he develops Silicium-Condensator Microphones during the 1980s. For his ground-

breaking research he is awarded numerous national and international awards and honors, e.g. he was inducted into the USA's "National Inventors Hall of Fame" in 1999.

*Um weiter zu kommen, als andere,
muss man seine Energie richtig einsetzen.*



Was übrigens nicht nur auf der Straße gilt. Willkommen bei Audi. Dem Erfinder von FSI®.

Mit FSI® haben wir eine bahnbrechende Technologie entwickelt, die Automobilen mit Otto-Motor sportliche Fahrleistungen bei niedrigem Verbrauch ermöglicht. Typisch für Audi – wir suchen stets nach ganzheitlichen Lösungen mit hohem innovativen Potenzial. Das gilt nicht nur für unsere technischen Innovationen, sondern auch für unsere Personalentwicklung und Unternehmenskultur.

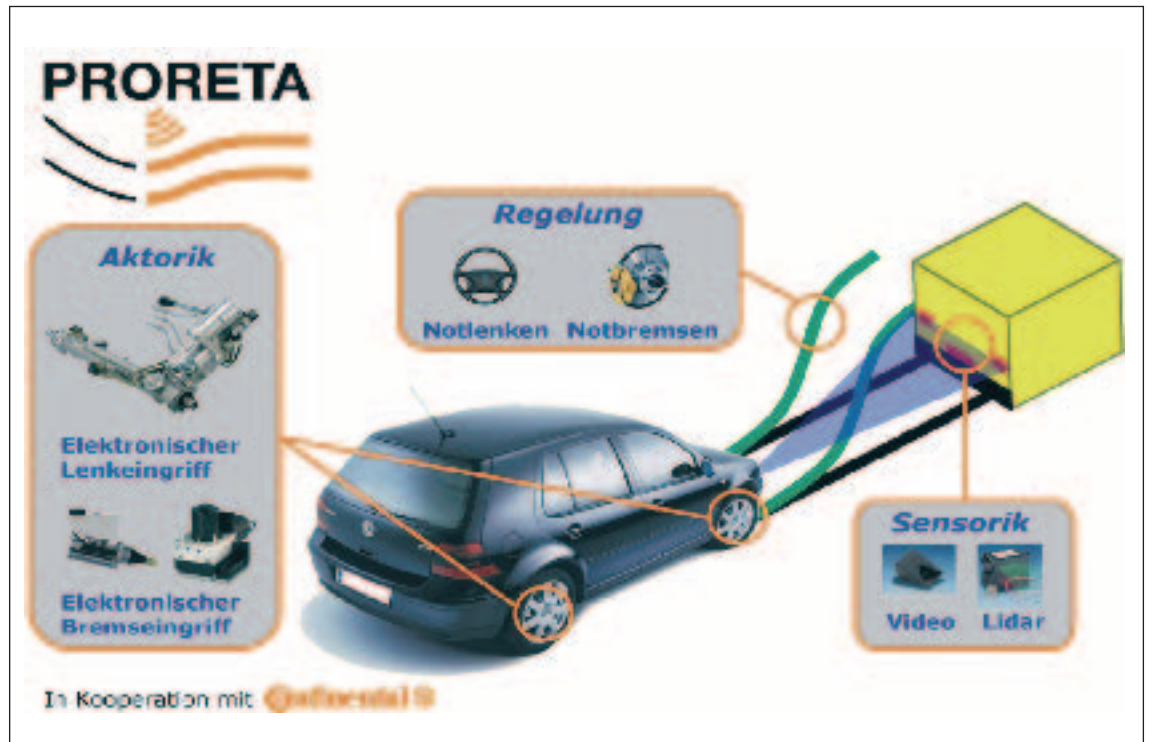
Ihnen als Berufseinsteiger eröffnen sich dadurch ungewöhnliche Chancen. In welcher Position Sie nach dem erfolgreich absolvierten Hochschulstudium auch bei uns anfangen: Durch eigenständige Arbeit im Team bzw. in Projekten übernehmen Sie vom Start weg Verantwortung und können sich mit Ihren Ideen optimal einbringen. Wo und wie Sie Ihren Weg bei uns am besten beginnen, hängt ganz von Ihren Zielvorstellungen ab. Informieren Sie sich im Detail unter www.audi.de/karriere

Meine Zukunft bei Audi. Absolventen gesucht.



Bild 5: Auf dem Weg zum unfallvermeidenden Fahrzeug

Fig. 5: On the way to the accident-avoiding vehicle



Automation and Mechatronics: Interdisciplinary Engineering Areas

Automatic control

Automatic control comprises feedforward and feedback control, supervision, robotics, diagnosis and online optimization. In Germany, the annual sales are about 28 Mrd. EUR. The area has about 206.000 employees, a growth of 6-8 % per year, an export rate of 77 % and according to ZVEI, it is the largest branch of industry within electro-technical products.

Sensors are used to detect the process conditions, e.g. electric current, position, speed, acceleration or liquid level. The sensor technology continuously develops with, e.g. contactless movement sensors, piezoelectric measurement principles and local signal processing by highly integrated circuits. The automatic interference with the process is made by actuators with electrical, hydraulic or pneumatic auxiliary energy. New actuator principles are used, e.g. piezoelectric, magneto-strictive and electro-rheologic effects with integrated digital actuators and diagnosis functions.

Except for analog techniques control devices are constructed with microcomputers, microcontrollers or industrial PC cards. Programmable controllers and digital controllers are implemented into a device, herewith developing modular construction systems. The multi-level structures with field and communication busses allow a flexible, central and decentralized architecture with standardized interfaces. The software is realized either in Assembler or in higher languages such as C. Important basic functions are usually preconfigured with additional functions in the form of components. Validating and testing of the software plays a significant role and causes increasing costs for the software in comparison to the hardware, at least for smaller production numbers. In the last decades many different control methods have been developed. In practice, PID-like controllers and two-step controllers are dominating. More complex control methods such as state space controller with state observer and predictive control usually require process models and are usually applied to computer-aided design or to adaptive control.



1977

Rolf Isermann erhält den Lehrstuhl für Regelungstechnik und Prozessautomatisierung. Er betreibt die Fortentwicklung der analogen Regelungstechnik zur digitalen Automatisierungstechnik und wird zu einem

der weltweit führenden Köpfe der Mechatronik. Aufgrund seiner Leistungen auf diesem Gebiet wird er 2003 vom Massachusetts Institute of Technology in die „Top Ten“ der Zukunftstechnologien gewählt.

Within the automatic control of technical systems, supervisory functions serve to indicate undesired or not permitted process states, and to take appropriate actions in order to maintain the operation and to avoid damage or accidents. Modern fault-diagnosis procedures allow a detailed fault detection and diagnosis, e.g. by applying parameter estimation or parity equations.

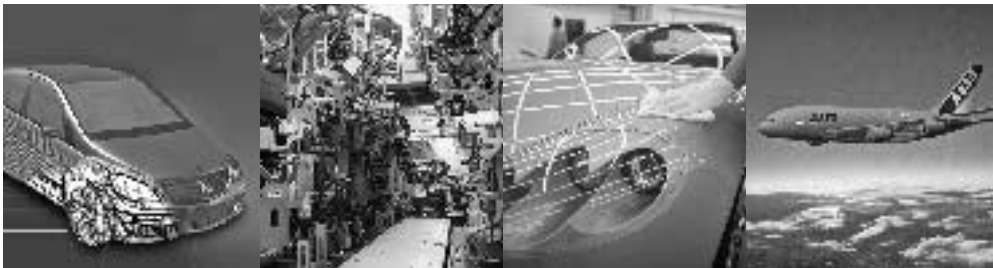
The operation of automated plants orients itself at an ergonomic and user-friendly interpretation. It usually makes use of several human senses: optical, acoustic, tactical, haptical and even speech. With larger plants one finds a control technology not only over keys, but also by contact screens („touch panels“).

For complex processes, the design of automation systems requires a systematic approach from first design steps towards project planning, implementation and system start-up. The use of process models designed by software-based tools is a large advantage. Early modelling and simulation allow a fast start of operation and a small number of prototypes.

Automatic control is part of many modern developments in engineering science, as can be seen in biochemical processes, in automobiles, aerospace science and many more. In summary, it may be stated that automatic control is the “head” of technical processes and plants.

Mechatronic Systems

Mechatronic systems are characterized by the synergistic integration of mechanical, electrical components and information processing. These mechatronic devices are integrated into the products and influence the design in a basic way. There exist many examples for mechatronic systems, e.g. in automobiles, but also in centrifugal pumps, hydraulic generators and electrical drives. Of major importance are simultaneous design of mechanics and electronics, hardware and software and embedded control functions resulting in an integrated component or system.



EDAG Engineering + Design AG
Reesbergstraße 1 · 36039 Fulda
Tel.: ++ 49 (0) 6 61-60 00-6 63
personalmarketing@edag.de
www.edag.com

EDAG – Partner der internationalen Mobilitätsindustrie

Als weltweit größter unabhängiger Engineering-Partner entwickelt EDAG fertigungsoptimierte Konzepte und Lösungen für die Mobilitätsbedürfnisse der Zukunft. Von der Gesamtfahrzeugentwicklung bis zum Anlagen-Engineering und Anlagenbau – wir haben die Kompetenz zur vernetzten Entwicklung von Produkt und Produktion. Diesem Anspruch fühlen sich unsere 4.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an weltweit 33 Standorten verpflichtet. Der Name EDAG steht damit für technisch und wirtschaftlich erfolgreiche Produkte der Automotive- und Luftfahrtindustrie.

Elektrik/Elektronik (EE)

EDAG begegnet den wachsenden Anforderungen im Bereich Fahrzeugelektrik/-elektronik mit einem umfassenden Spektrum an Entwicklungsleistungen, innovativen Konzepten und Instrumenten zum Test und zur Validierung. Mit der Durchführung von umfassenden Test- und Prüfprozeduren sowohl im Bereich der Hard- und Softwarekomponenten als auch im Gesamtsystem stellt EDAG sicher, dem Kunden serienreife Lösungen anbieten zu können.

Kenn-Nr. 916

Auszug EE-Leistungsspektrum:

- » EE-Kompetenz vor Ort:
Fulda, Wolfsburg, Rüsselsheim,
Ingolstadt, Sindelfingen,
München, Köln
- » Fahrzeugintegration
- » HW/SW-Entwicklung/Validierung
- » Licht-/Sichtentwicklung

1977

Rolf Isermann is appointed to the Chair of Control Engineering and Process Automatization. He advances the development of analogue control technology into the direction of digital automatization technology

and becomes one of the world's leading scientists in the field of Mechatronics. As a result of his achievements, in 2003 he is elected to the Top Ten in future technologies by MIT.

Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik des Instituts für Automatisierungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Konigorski leitet das Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik des Instituts für Automatisierungstechnik. Das Fachgebiet beschäftigt sich mit Fragen der Modellbildung und Automatisierung komplexer dynamischer Systeme. Der zentrale Forschungsschwerpunkt liegt dabei auf dem Gebiet der Modellierung, Analyse und Regelung mechatronischer Systeme. Anwendungsgebiete sind neben der Automobilindustrie auch klassische Gebiete des Maschinenbaues wie die Regelung und Steuerung von Werkzeugmaschinen, Produktionsanlagen und Prüfständen. Hinzu kommen neue Forschungsgebiete wie die Medizintechnik sowie die Regelung und Optimierung von verfahrenstechnischen Anlagen.

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Konigorski
Institut für Automatisierungstechnik
Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik
Tel.: 06151/16-3014
E-Mail: rtn@iat.tu-darmstadt.de
www.rtm.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik des Instituts für Automatisierungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Adamy leitet das Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik des Instituts für Automatisierungstechnik. Die Forschungsaktivitäten des Fachgebietes liegen in drei Kernfeldern: 1. Schnelle, robuste Regelung, bei der eine nahezu zeitoptimale Ausregelung und Robustheit gegenüber Streckenänderungen bei niedrigem Entwurfsaufwand erzielbar ist. 2. Computational Intelligence, insbesondere rekurrenten Fuzzy-Systemen, zur Nachbildung von menschlichen Denkprozessen mit Dynamik und ihrem industriellen Einsatz in Automatisierungssystemen. 3. Kognitive Systeme für Roboter, die es Robotern durch Nachbau und Simulation von Gehirnstrukturen, z.B. beim Hören und Sehen, ermöglichen, mit ihrer Umwelt zu interagieren. Insbesondere die Entwicklung humanoider Roboter und ihrer mentalen Fähigkeiten sind eines der großen Abenteuer der Ingenieurwissenschaften.

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Adamy
Institut für Automatisierungstechnik
Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik
Tel.: 06151/16-3442
E-Mail: adamy@rtr.tu-darmstadt.de
www.rtr.tu-darmstadt.de

Forschungsgruppe Regelungstechnik und Prozessautomatisierung des Instituts Automatisierungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Rolf Isermann leitet die Forschungsgruppe Regelungstechnik und Prozessautomatisierung des Instituts für Automatisierungstechnik. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschungsgruppe ist die wissenschaftliche Forschung und anwendungsorientierte Entwicklung auf folgenden Gebieten: Identifikation und Regelung nichtlinearer Prozesse mit Neuro-Fuzzy-Methoden, Fehlerdiagnosemethoden mit modellgestützter Symptomerzeugung und Inferenzmethoden, Fahrdynamik-Regelungen mit Modellbildung und Simulation der Fahrzustände, Diagnose von modernen Fahrwerken, Fahrerassistenzsysteme mit aktivem Brems- und Lenkeingriff zur Unfallvermeidung, Verbrennungsmotor-Regelungen mit Modellbildungs- und neuen Vermessungsstrategien, Ladedruck- und Abgasrückführ-Regelung von Dieselmotoren mit stellbaren Turboladern, Brennraumdruck-Regelung und Fehlerdiagnose für direktinspritzende Benzin- und Dieselmotoren und Medizin-Technik mit Bioimpedanz-Messung und Regelung bei der Dialyse.

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Rolf Isermann
Institut für Automatisierungstechnik
Forschungsgruppe Regelungstechnik und Prozessautomatisierung
Tel.: 06151/16-2114
E-Mail: risermann@iat.tu-darmstadt.de

Anschrift für alle Fachgebiete: Landgraf-Georg-Straße 4 · 64283 Darmstadt

1988

Ottmar Kindl und Werner Langheinrich entwickeln die CMOS-Niedrigsttemperatur-Technologie für die Kameras des Infrared Space Observatory (ISO) der ESA.

Wir suchen für die Übernahme zukünftiger Fach- und Führungsaufgaben

TRAINEES

für die Bereiche

- Konstruktion
- Technischer Vertrieb
- Elektrotechnik/
Automatisierung
- Entwicklung
- Service

Wir bieten vielfältige Einsatz- und Entwicklungsmöglichkeiten im Rahmen eines zwölfmonatigen Traineeprogramms (inkl. Auslandsaufenthalt).

Wir fördern und fordern Engagement, Flexibilität und die aktive, eigenverantwortliche Nutzung von Gestaltungsräumen.

Wir erwarten einen überzeugenden ingenieurwissenschaftlichen Hochschulabschluss (Diplom, Master, Bachelor). Sie verfügen über hohe Einsatzbereitschaft, Teamfähigkeit, Kommunikationsstärke, Belastbarkeit und Bereitschaft zur Übernahme von Verantwortung. Sie beherrschen die gängigen MS-Office-Tools und besitzen gute Englischkenntnisse.

Haben wir Ihr Interesse geweckt?
Dann freuen wir uns auf Ihre Bewerbung.

Bitte senden Sie Ihre vollständigen Unterlagen an das Personalwesen Hilchenbach.



Die SMS Demag ist weltweit mit einem Geschäftsvolumen von rund 1,5 Mrd. EUR führend auf dem Gebiet der Hütten- und Walzwerkstechnik für die Stahl- und NE-Industrie. Das Unternehmen gehört zur SMS group (Hütten- und Walzwerkstechnik, Rohr-, Profil- und Schmiedetechnik, Kunststofftechnik), die mit rund 9.250 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einen Umsatz von ca. 2,33 Mrd. EUR erwirtschaftet.

SMS DEMAG AG

Personalwesen Hilchenbach
Herrn Dirk Zöller
Wiesenstraße 30
57271 Hilchenbach
Telefon: +49 (0) 2733 29-2788
E-Mail: dirk.zoeller@sms-demag.com

Internet: www.sms-demag.com

MEETING your EXPECTATIONS



Basistechnologie Elektro- und Informationstechnik

Ralf Steinmetz/Hans Evekking/Andreas Haun/Wolfgang Johannsen



Achievements in research always depend on excellent people, very good international relationships and a focused approach. To meet the challenges of today we extend our approach to become even more interdisciplinary by incorporating progresses made in the "neighborhood" of electrical engineering and information technology.

Education of engineers also meets new challenges. A new Bachelor-/Master-Curriculum adds skills from management and also required soft-skills to the existing scientific education. The new curriculum is setting the standard for the future.

Forschungserfolge waren immer von exzellenten Wissenschaftlern, ihren guten Verbindungen untereinander und von fokussierter Arbeit abhängig. Den Herausforderungen von heute ist nur mit noch mehr Interdisziplinarität als schon bisher zu begegnen, auch um den Fortschritt in den „Nachbarwissenschaften“ durch Vernetzung mit ihnen Rechnung zu tragen.

Die Lehre bringt gleichfalls neue Herausforderungen mit sich. So muss ein neues Bachelor-/Master-Curriculum mit zusätzlichen Inhalten wie Management und zugehörigen „Soft-Skills“ umgesetzt werden. Das neue Curriculum setzt den Standard für die Zukunft der Lehre.

1988

Ottmar Kindl and Werner Langheinrich develop the CMOS-Minimum Temperature technology for the

cameras of ESA's Infrared Space Observatory (ISO).

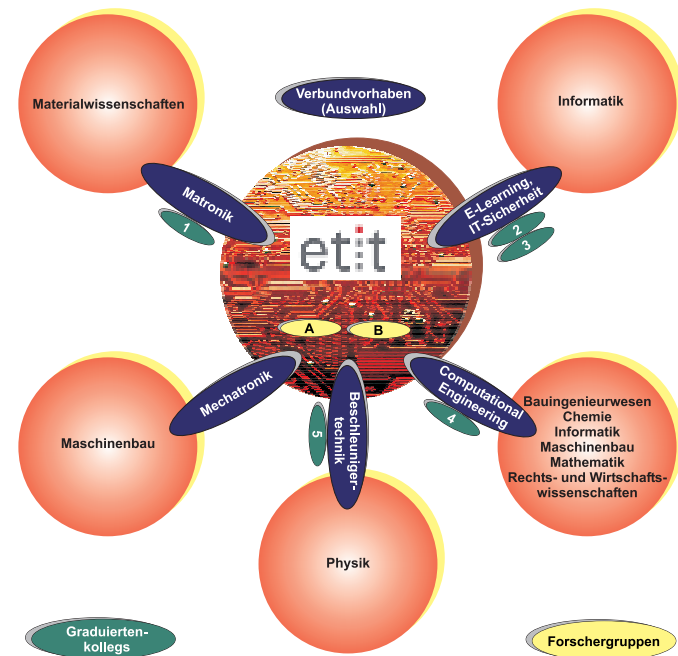
„Für uns im Fachbereich ETiT war interdisziplinäre und vernetzte Arbeit immer eine Selbstverständlichkeit. Dies liegt schon in den Netzeigenschaften des elektrischen Stroms“, so augenzwinkernd eine Mitarbeiterin. Und natürlich war Technologieforschung und -lehre immer auf die Vernetzung von Wissen angewiesen. Nur so lassen sich Spitzenplätze in Forschung, Technologie und Wirtschaft weiter ausbauen.

Forschung

Die interdisziplinäre, lokale Vernetzung gestalten wir bei ETiT mit drei Modellen – Verbundprojekte, Graduiertenkolleg und Forschergruppen (vgl. Abbildung 1).

Verbundvorhaben

Verbundvorhaben führen Wissen und Erfahrung aus verschiedenen ETiT-Bereichen und darüber hinaus durch gemeinsame Forschungsschwerpunkte zusammen.



- 1: Steuerbare, integrierbare Komponenten der Mikrowellentechnik und Optik
- 2: Qualitätsverbesserung im E-Learning durch rückgekoppelte Prozesse
- 3: Cooperative, Adaptive and Responsive Monitoring in Mixed Mode Environments
- 4: Modellierung, Simulation und Optimierung von Ingenieur Anwendungen
- 5: Physik und Technik von Beschleunigern

- A: Verbesserung der Qualität von Peer-to-Peer-Systemen
 B: Höherfrequente Parasitäreffekte in umrichter gespeisten elektrischen Antrieben

Abbildung 1: Vernetzung in der Forschung

Verbundpartner Maschinenbau

Ein schon klassisches interdisziplinäres Gebiet ist die **Mechatronik**, also die Verbindung zwischen Maschinenbau, Feingerätetechnik, Elektrotechnik und Informatik, wie sie sich beispielhaft im Forschungsschwerpunkt **Integrierte Verkehrssysteme** zeigt. Auch das **Biotechnik-Zentrum** der TU Darmstadt mit den Gebieten Bionik, Biomedizintechnik und Biomechanik gehört in diesen Bereich.

Verbundpartner Informatik

Die enge Kooperation mit der Informatik auf dem Gebiet der Informationstechnologie wird an zwei Forschungsschwerpunkten deutlich:

- **IT-Sicherheit** als eine der Grundvoraussetzungen für den Wachstumsprozess der Informations- und Kommunikationstechnik (IT) Das Darmstädter Zentrum für IT-Sicherheit wurde 2007 für „Deutschland - Land der Ideen“ ausgewählt.

- Mit dem Forschungsschwerpunkt **E-Learning** ist eine enge Vernetzung mit den Bereichen Pädagogik und Psychologie entstanden und die Basis für intensiven Innovationstransfer geschaffen.

Verbundpartner Materialwissenschaft

Im Forschungsschwerpunkt **Funktionale Werkstoffe** werden in der neuen Disziplin **Matronik** mit Hilfe der Nanoelektronik neuartige elektronische Bauelemente sowie die dazugehörigen Prozesstechniken entwickelt.

Verbundpartner Physik

Beschleunigertechniken, mit deren Hilfe Elementarteilchen untersucht werden, stehen im Mittelpunkt von „ETiT-Physik“. Der Forschungsschwerpunkt **Kern- und Strahlungsphysik** und ein angeschlossener Sonderforschungsbereich kooperieren eng mit Großforschungseinrichtungen wie der Darmstädter GSI.

Verbundpartner Natur-, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Mathematik, Bauingenieurwesen

Numerische Simulationsmethoden sind Gegenstand des *hier angesiedelten* Forschungsschwerpunktes **Computational Engineering**. Die Forschung liegt in den Bereichen Materialmodelle, Strömungen, Optimierung und gekoppelte, multiphysikalische Probleme.

1989

Mit der Berufung des Leibnizpreisträgers Thomas Weiland wird das Fachgebiet Theorie der elektromagnetischen Felder begründet. Hier werden numerische Methoden zur Feldberechnung erforscht und weiter-

entwickelt, die u.a. die Vorausberechnung elektromagnetischer Strahlung an industriellen Bauteilen ermöglichen.

Forscherguppen

Forscherguppen – als Verbundvorhaben – sind enge Arbeitsbündnisse zwischen herausragenden Wissenschaftlern. Sie bieten – gefördert durch die Deutsche Forschungsgesellschaft, DFG – Entfaltungsmöglichkeiten für Nachwuchsgruppen und helfen, die internationale Zusammenarbeit zu intensivieren.

Zwei Forschergruppen wurden von uns initiiert und sind erst kürzlich entstanden:

- Verbesserung der Qualität von Peer-to-Peer-Systemen.
- Höherfrequente Parasitäreffekte in umrichter-gespeisten elektrischen Antrieben.

Graduiertenkollegs

Von der DFG geförderte Graduiertenkollegs – gleichfalls als Verbundvorhaben zu verstehen – sollen Forschung und eine interdisziplinäre Graduiertenausbildung verbinden. Unsere ETiT-Wissenschaftler sind an fünf Graduiertenkollegs beteiligt:

- Das Graduiertenkolleg *Steuerbare integrierbare Komponenten der Mikrowellentechnik und Optik* beschäftigt sich u.a. mit elektronisch steuerbaren Antennen und bildgebender Radarsensorik.
- Das DFG-geförderte Graduiertenkolleg *Qualitätsverbesserung im E-Learning durch rückgekoppelte Prozesse* ist auf E-Learning ausgerichtet.
- Die Graduate School *Cooperative, Adaptive and Responsive Monitoring in Mixed Mode Environments* verfolgt Aufgabenstellungen u.a. auf den Gebieten Navigation und Koordination autonomer Fahrzeuge.
- Das Graduiertenkolleg *Modellierung, Simulation und Optimierung von Ingenieur Anwendungen* ist im Bereich Computational Engineering (s.o.) aktiv.
- Die Forschung des Graduiertenkollegs *Physik und Technik von Beschleunigern* konzentriert sich auf das Gebiet der Elementarteilchenphysik.

Lehre

Nur an den Universitäten fließen aktuelle Forschungsergebnisse direkt in die Lehre ein. Dies macht die universitäre Ausbildung modern und attraktiv. Die Kernstudiengänge „Bachelor und Master Elektrotechnik und Informationstechnik“ sowie die internationalen Master-Studiengänge „Electrical Power Engineering“ und „Information and Communication Engineering“ sind stark forschungsorientiert. Die Vernetzung der Forschung schafft neue, interdisziplinäre Studiengänge (vgl. Abbildung 2).

Die Initiative der europäischen Bildungsminister, europaweit Bachelor-/Master-Studiengänge einzuführen, gab zusätzlichen Schwung zu einer grundlegenden „Studienreform“. Über die inhaltliche Neugestaltung der Studiengänge hinaus rückten die Anpassung des Prüfungswesens, intensiviertes interdisziplinäres Arbeiten und eine Stärkung der „Soft-Skills“ in den Blickpunkt. Dies prägte den Gestaltungsprozess des neuen Bachelor-/Master-Studiengangs Elektrotechnik und Informationstechnik wesentlich.

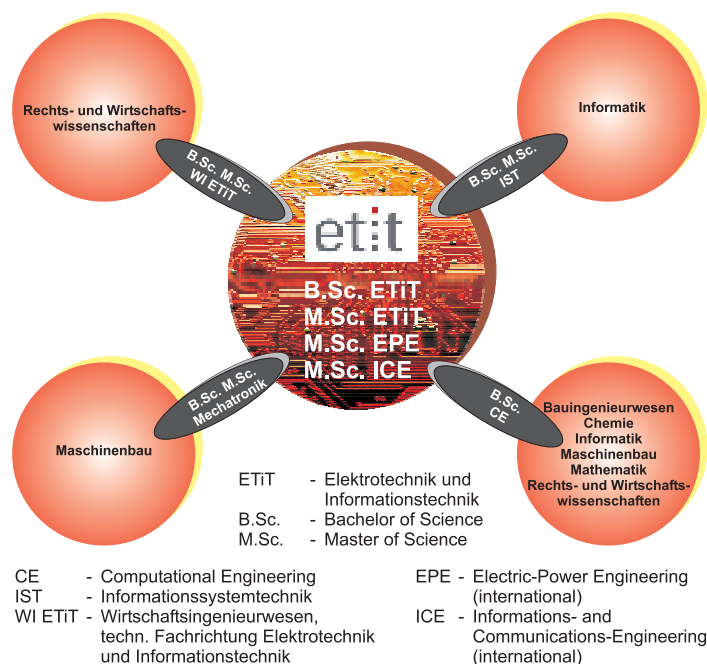


Abbildung 2: Vernetzung in der Lehre

Neben den Grundkenntnissen in Mathematik, Physik, Elektrotechnik und Informationstechnik wurden „Schlüsselkompetenzen“ etabliert. Dazu zählen einerseits systemtheoretische Fächer, andererseits nicht-technische Grundlagenfächer.

1989

The appointment of Thomas Weiland, holder of the Leibnizpreis, establishes the Department of Theory of Electromagnetic Fields. Numeric methods of field calculation are studied and developed further in this

department. This research can be used to predict the amount of electromagnetic radiation of industrial component parts.

Heute erwerben Studierende schon ab dem ersten Semester grundlegende Fähigkeiten in:

- Projekt- und Zeitmanagement, Lerntechniken, Präsentationstechniken
- Betriebswirtschaft, etc.
- Sprachen.

Bereits ab dem ersten Semester werden Laborpraktika durchgeführt, die in engem Zusammenhang mit der übrigen Lehre stehen. Auch die für den Ingenieur elementaren Fähigkeiten - systemorientierte Denkweise und ausgewogener Einsatz von Eigen- und Teamarbeit - werden von Anfang an gefördert.

Das Studium wird flankiert von unterstützenden Maßnahmen, insbesondere:

- Orientierungswoche vor Studienbeginn und Orientierungseinheiten in jedem Semester
- Betreuung durch Mentoren – die Professoren stehen während des gesamten Studiums beratend zur Seite; und

- Fachstudienberatung nach Bedarf.

Das Bachelorstudium wird durch wählbare Seminare bzw. Projektseminare und die Thesis abgerundet. Die gestellte Aufgabe muss ebenso sehr mit fachlichem Geschick wie mit der Fähigkeit, systematisch und problemorientiert zu arbeiten, gelöst werden.

Auch wenn der Bachelorabschluss grundsätzlich berufsbefähigend ist, muss man klar sehen, dass das universitäre Studium seine Qualität und Effizienz in vollem Maße erst durch das Masterstudium entfaltet. Dabei stellt ein integrierter Auslandsaufenthalt an einer unserer Partner-Universitäten einen echten „Mehrwert“ dar.

Die vollzogene Restrukturierung des Prüfungswesens in Verbindung mit der Einführung des ECTS-Credit-Systems ermöglicht grenzüberschreitende und einfache Anerkennungsverfahren.

Wir fördern Talente für steile Karrieren.

An **Hessen** führt kein Weg vorbei.

— **Junge Talente** sind bei uns nicht nur herzlich willkommen, sondern kommen auch hoch hinaus – egal ob experimenteller Künstler, Existenzgründer oder hoffnungsvoller Forscher. Ob das an unserer weltoffenen Art liegt oder an unseren hervorragenden Talentschmieden, können Sie selbst entscheiden. **An Hessen führt kein Weg vorbei.** www.hessen.de



1990

Das an der TH Darmstadt entwickelte Elektrofahrzeug *Pinky* gewinnt die Weltmeisterschaft der Solar-

mobile 1990, 1991 und 1992. *Pinky* steht heute im Deutschen Museum in München.



Eine von der Industrie geschätzte Zusatzqualifikation stellt ein Doppel-Abschluss dar. Die Programme dafür wurden von Universitäten im TIME-Netzwerk (Top Industrial Managers Europe) ins Leben gerufen. Ein Kandidat mit Doppel-Abschluss erhöht seine fachliche, sprachliche und interkulturelle Kompetenz wesentlich und damit natürlich auch seine berufliche Qualifikation.

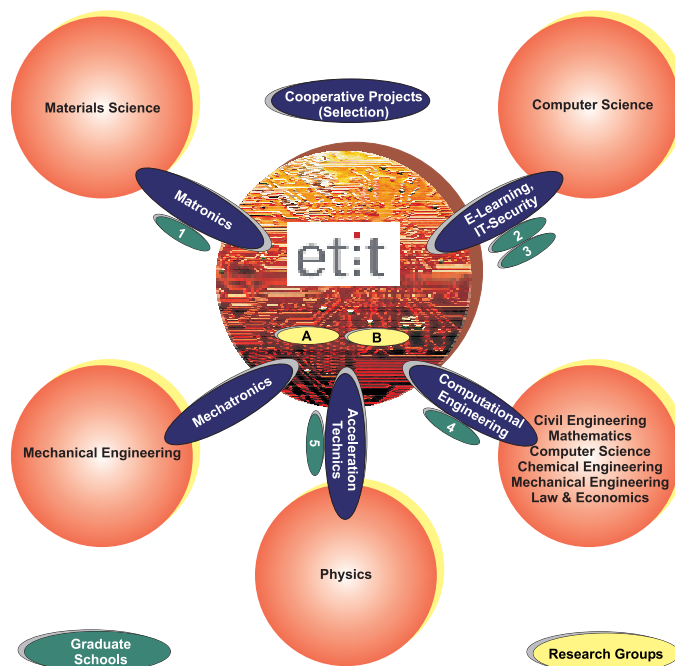
Für die Zukunft planen wir die direkte Unterstützung von ausgewählten Studenten auf ihrem Weg in die Selbständigkeit durch eine „Startup-Factory“. Absolventen, die in ihrem Studium die Vorteile und Chancen einer breiten Ausbildung auf hohem Niveau genossen haben, werden im Beruf immer wieder zu maßgeblichen Innovationsträgern, die den Unternehmen zukunftsweisende Richtungen weisen können.

Basic technology electrical engineering and information technology

“For us interdisciplinary work and networking has always been a matter of course. That’s already because of the intrinsic network characteristics of electricity”, says an associate of ETiT with a twinkle in her eye. And, of course, that’s the only way to further consolidate top positions in research, technology and economy.

Research

We at ETiT organize interdisciplinary local interlinking using three models – Cooperative Projects, Graduate Schools and Researcher Groups that basically bundle together competences and foster interdisciplinarity (cf. figure 1):



- 1: Operational & integrated compor hyperfrequency technics and opt
- 2: Quality improvement of e-learnin through positive feedback proces
- 3: Cooperative, adaptive and respo monitoring in Mixed Mode Enviro
- 4: Modeling, simulation and optimiz of engineering applications
- 5: Physics and technics of accelera

- A: Improvement of the Quality of Peer-to-Peer Systems
- B: Higher-frequency parasitic effects of converter-fed electrical propulsions

Figure 1: Interdisciplinarity in research

Cooperative partner and cooperative projects

Cooperative projects are bringing together the knowledge and experience of different ETiT areas as well as through working on different research focus areas with cooperative partners.

Mechanical Engineering

A classical interdisciplinary area is Mechatronics, meaning the combination of Mechanical Engineering, Precision Engineering, Electrical Engineering and Computer Science as demonstrated exemplarily in the research focus area Integrated Traffic Systems. The recently established Biotechnology Centre also belongs to this area.

Computer Science

The close cooperation with the faculty of Computer Science in the field of information technology can be illustrated by the research focus areas, IT Security and E-Learning, both fields where TUD is on the forefront of innovation and contributes with innovation transfer.

1990

The electric vehicle Pinky, which was developed at TH Darmstadt, wins the world championship of solar

powered vehicles in 1990, 1991 and 1992. Today, Pinky is on exhibit at the Deutsches Museum, München.

Materials Science

In the research focus area Functional Materials new electronic components are developed by means of Nanoelectronics within the new discipline Matronic.

Physics

Accelerator technologies to investigate elementary particles are in the centre of interest of "ETiT physics". The research focus area Nuclear and Radiation Physics and a connected special research area closely cooperate with large-scale research facilities such as the GSI in Darmstadt.

Natural Science, Economics, Legal Science, Mathematics, Civil Engineering

The research focus area Computational Engineering is concerned with numerical simulation methods. Research is done in the fields material models, flow analysis, optimization and coupled multiphysical problems.

Researcher Groups

Researcher groups as cooperative Projects are close working alliances between outstanding scientists. Promoted by the German Research Foundation, DFG, they offer opportunities for the development of young talent groups and help to intensify international collaboration.

Two researcher groups have recently been created in the area of "Quality of Peer-to-Peer Systems" and of "Higher-Frequency Parasitic Effects of Converter-fed Electrical Propulsions".

Graduate Schools

DFG promoted Graduate Schools - also to be understood as Cooperative projects - are meant to connect research and interdisciplinary advanced studies. Our ETiT scientists participate in five Graduate Schools:



Wir bieten interessierten Studenten und Absolventen, insbesondere angehenden Ingenieuren/innen der Elektrotechnik, Innovation und Hightech pur.

Pepperl+Fuchs ist ein weltweit tätiges Unternehmen auf dem Gebiet der elektronischen Automatisierungs- und Prozesstechnik mit Standorten in Mannheim, Berlin, Bühl, Darmstadt, Esslingen, Tuttlingen und Weinheim. Überzeugen Sie sich selbst! Nutzen Sie die Chance und lernen Sie uns kennen bei:

- **Praktikum**
- **Studienarbeit**
- **Diplomarbeit**
- **CONNECT Studenten-Förderprogramm**
- **Traineeprogramm**
- **Direkteinstieg**

Sie sind jung, motiviert und haben Spaß an Technik? Wir informieren Sie gerne über die vielfältigen Einstiegsprogramme. Besuchen Sie uns im Internet oder rufen Sie uns einfach an:

Pepperl+Fuchs GmbH

Personalwesen/Petra Breubeck
 Königsberger Allee 87 • 68307 Mannheim • Tel.: 0621-776-1173
 pbreubeck@de.pepperl-fuchs.com • www.pepperl-fuchs.com



1996

Der erste Lehrstuhl Deutschlands für Regenerative Energien wird eingerichtet.

- Tunable integrable components in microwave technology and optics;
- Quality improvement in e-learning through feedback processes;
- Cooperative, Adaptive and Responsive Monitoring in Mixed Mode Environments;
- Modelling, simulation, and optimization of engineering applications; and
- Physics and technology of accelerators.

Teaching

Only universities are able to integrate directly leading research results into teaching. This is why university studies are modern and attractive. The key courses „Bachelor and Master of Electrical Engineering and Information Technology“ as well as the international master courses „Electrical Power Engineering“ and „Information and Communication Engineering“ are strongly research-oriented. The interlinking of research also creates further new interdisciplinary courses of study (cf. figure 2).

The initiative of the European education ministers to introduce European-wide bachelor/master courses of study gave an additional impetus to a fundamental „academic reform“. Accordingly, examination procedures had to be adjusted and intensified interdisciplinary working and the strengthening of soft skills have become new challenges.

Today, from the first semester on, the students acquire basic skills in project and time management, learning and presentation techniques, business administration and languages.

In the first semester already, laboratories are carried out, which are in close connection with the rest of teaching. System-oriented thinking and well-balanced use of own work and team work – crucial skills for engineers – are encouraged from the very beginning as well.

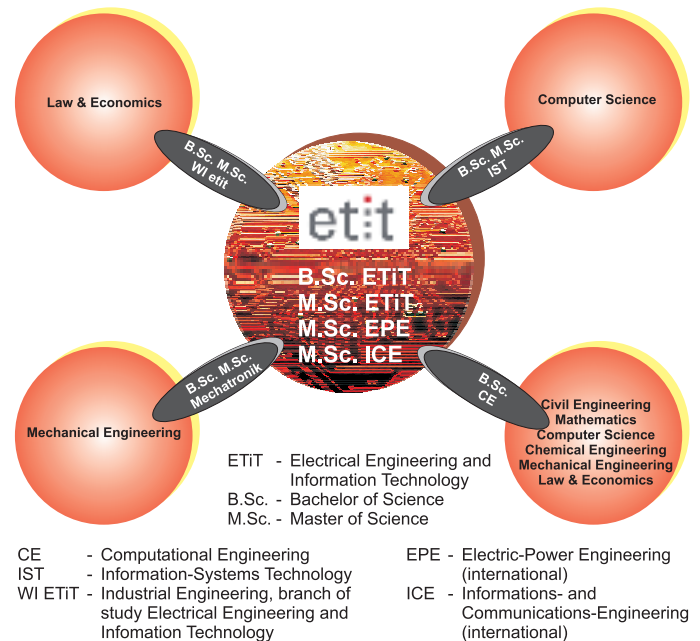


Fig 2: Interdisciplinarity in teaching

Supporting measures, specifically orientation weeks, support from tutors and special academic advising flanks the studies.

Although the bachelor's degree is in principle professionally qualifying. It has to be pointed out that university studies only develop their quality and efficiency to the full extent when completing the master's degree.

The performed reorganisation of the examination procedure together with the introduction of the ECTS credit system allows establishing international and simple acceptance procedures.

Industry appreciates a double diploma. These programs were launched by the TIME-network of European universities. Starting 2007, we also plan to support directly selected students on their way to establish their own company by a „start-up factory“.

Graduates, who have enjoyed the advantages and opportunities of a widespread education at a high level, often become decisive innovation carriers in professional life, able to point the way to the future to the companies.

1996

Germany's first Chair of Regenerative Energies is established at TH Darmstadt.

Fachgebiet Multimedia Kommunikation

Forschungsschwerpunkte:

- Ubiquitäre und mobile Kommunikationsdienste: VoIP, Sensornetze, hybride Architekturen, zellulare Systeme, ad hoc - Netze, Selbstorganisation, Mesh-Netze.
- Netz- und IT-Architekturen: Dienstgüte, Network Calculus, Peer-to-Peer Networking, Overlay Netze, Routing, Serviceorientierte Architekturen (SoA), Workflow-Mechanismen
- Knowledge Media: Autorensysteme für E-Learning, Repurposing, Management des Lebenszyklus von Medienobjekten, autonome Medienobjekte, Vernetzte Spiele.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Ralf Steinmetz,
Tel. 06151/16-6150,
E-Mail:
ralf.steinmetz@KOM.tu-darmstadt.de
www.kom.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Rechnersysteme

Forschungsschwerpunkte:

- Entwurfsmethodik digitaler Schaltungen und Systeme.
- Fehlerfreier Entwurf integrierter Bausteine.
- Verifikationsverfahren und -algorithmen.

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Hans Eveking,
Tel. 06151/16-2076,
E-Mail: eveking@rs.tu-darmstadt.de
www.rs.e-technik.tu-darmstadt.de

Literatur

R. Blanchet, R. Lambrech, A. Haun, J. Stenzel: Case study of a French/German Double-Diploma in Electrical Engineering; Beitrag zur 10. Jahreskonferenz der European Association for Education in Electrical and Information Engineering, 17.-20. Mai 1999, Capri/Italien.

Oliver Heckmann, Ralf Steinmetz, Nicolas Liebau, Alejandro Buchmann, Claudia Eckert, Jussi Kangasharju, Max Mühlhäuser and Andreas Schürr: Qualitätsmerkmale von Peer-to-Peer-Systemen; Technical Report KOM-TR-2006-03, Multimedia Kommunikation, Mai 2006.

1999

M. Anders, E. Andresen und A. Binder entwickeln den Linearantrieb des Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA) der NASA.



125
YEARS



Es gibt Geräusche,
die am **Image** kratzen.



Selbst winzige Ursachen entfalten oft große Wirkung. Eine kleine Unwucht entpuppt sich auf diese Weise schnell als Geräuschbelästigung im Alltagsbetrieb und zum Makel eines ansonsten tadellosen Produkts. Ob groß oder klein – bei einer Vielzahl von Komponenten lassen sich durch Auswuchten störende Vibrationen von Anfang an vermeiden. Dank der Auswuchtlösungen von Schenck RoTec. www.schenck-rotec.de

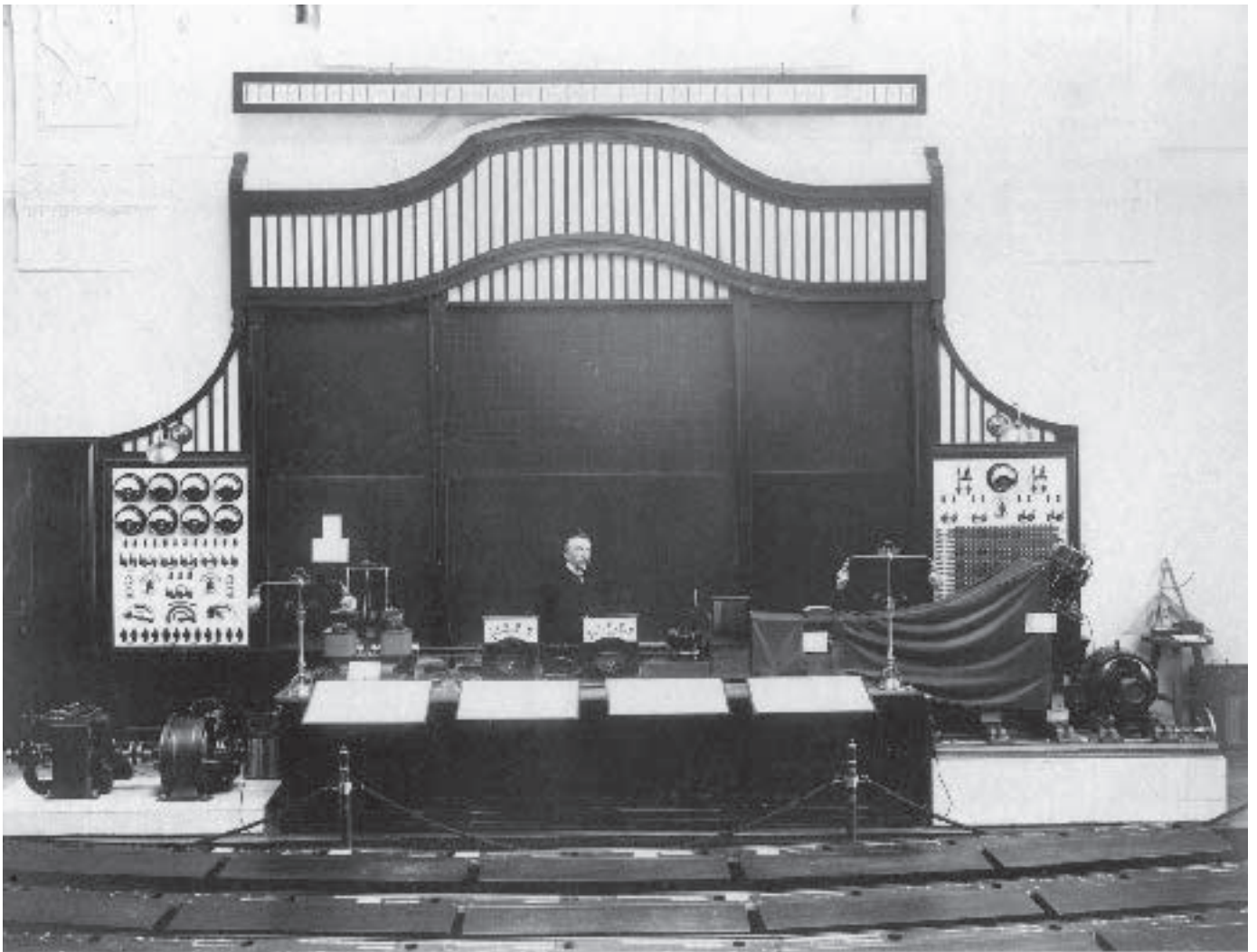
 **SCHENCK**
THE ART OF ROTATION

The  Group

RA4041

Erasmus Kittler – Elektrotechnik als Disziplin und Beratungspraxis

Andreas Göller/Dieter Schott



The essay elaborates the specific imprint, which Erasmus Kittler gave to Darmstadt Electrical Engineering by creating a close nexus between teaching, research and consulting practices in the field of electrification. The pioneering role of Darmstadt in being one of the first German cities with a public power station as well as the well-developed representation of Darmstadt graduates in leading positions of electrical industry are primarily down to the way Kittler successfully shaped the 'Darmstadt Model'.

Der Beitrag verdeutlicht die spezifische Prägung der von Erasmus Kittler etablierten Darmstädter Elektrotechnik in engem Konnex zwischen Lehre, Forschung und Beratungspraxis im Feld privater wie öffentlicher Elektrifizierung. Die Vorreiterrolle der Stadt Darmstadt in der öffentlichen Elektrifizierung, wie auch die starke Verankerung von Darmstädter Absolventen in Führungspositionen der Elektrizitätswirtschaft geht wesentlich auf Kittlers Prägung des ‚Darmstädter Modells‘ zurück.

Als Erasmus Kittler 1882 auf den ersten speziell für Elektrotechnik gewidmeten Lehrstuhl berufen wurde, geschah dies in einer akuten Krise der TH Darmstadt. Im Zeichen der Rezession seit Ende der 1870er Jahre war die Studierendenzahl von 237 (1875) auf nur noch 98 (1881/82) zurückgegangen, man hatte schon die Schließung der Hochschule erwogen. Aber die Einrichtung der Elektrotechnik und die Berufung Kittlers, damals ein erst 30 Jahre alter Physiker, der sich bei der Internationalen Elektrizitätsausstellung in München 1882 als Assistent von Oskar von Miller profiliert hatte, erwies sich als Geniestreich zur Rettung der TH. Bereits 1888 studierte ein Drittel der dann wieder 279 Darmstädter Studenten Elektrotechnik, 1900 waren es zwei Fünftel der mittlerweile über 1500 Studenten. An der Erfolgsgeschichte der TH Darmstadt als erstrangige Ausbildungsstätte für Ingenieure hatte die Elektrotechnik also erheblichen Anteil. Besonders wichtig an Kittlers Wirken war aber seine Ausstrahlung über die TH hinaus im Sinne von Technologietransfer und Projektierungsarbeit. Die Stadt Darmstadt, die Kittlers Lehrstuhl mit für damalige Zeiten beträchtlichen 6.000 M jährlich mitfinanzierte, erhielt erhebliche Impulse. Kittlers akademische Vorlesungen – wie Hörer übereinstimmend berichten, war er ein ausgezeichnete Lehrer - fanden in den ersten Jahren auch ein breites nicht-studentisches Publikum. Elektrotechnik war die ‚high technology‘ der 1880er und 1890er Jahre; in der Öffentlichkeit verbanden sich mit Elektrizität überschäumende Hoffnungen, die Technik könne zur Überwindung damals aktueller sozialer und ökologischer Probleme des Industriesystems beitragen. (Schott 1999b)

Kittler setzte sich sehr rasch erfolgreich für die öffentliche Elektrifizierung in Darmstadt und Umgebung ein: Er beriet den Großherzog hinsichtlich der als dringend empfundenen Umstellung der Theaterbeleuchtung auf Elektrizität. Erst Anfang der 1870er Jahre war das Hoftheater wegen eines Defekts des Gaslichtes niedergebrannt, Theaterbrände waren in dieser Periode recht häufig. Zugleich wirkte Kittler als Experte für die städtische Gasdeputation, die die Einrichtung einer elektrischen „Centralstation“ prüfen sollte. Mit Verhandlungsgeschick und Überzeugungskraft konnte er beide Projekte kombinieren und mit Verweis auf das Theater als Großkunden die Stadtverordneten überzeugen, im Juni 1887 die Zustimmung zum Bau eines Kraftwerks samt Versorgungsnetz zu geben. (Schott 1999) Finanziell war das bei zunächst projektierten Kosten von 400.000 Mark ein Großprojekt für Darmstadt, dessen ordentlicher Haushalt bei nur 1,7 Mio Mark lag. Bereits Ende 1888 ging das in der Schuchardstrasse von der Firma Siemens in Gleichstromtechnik erbaute Kraftwerk ans Netz; Darmstadt zählte damit zu den Pionieren der öffentlichen Stromversorgung, vor allem, weil die politischen Eliten der Landeshauptstadt demonstrativ modern sein wollten und nicht zuletzt dank des geschickten Agierens des Experten Kittler; ein dringender Bedarf industrieller oder privater Kunden lag damals nicht vor. Als „Elektrifizierungsberater“ (König 1987) profilierte sich Kittler auch in den folgenden Jahren. Kittler entwickelte das ‚Darmstädter Modell‘: Die Verknüpfung von Lehre und Forschung mit Beratertätigkeit bei der Projektierung von privaten

wie öffentlichen Elektrizitätswerken im ganzen Reich (Hübschmann 1986). Kittler lieferte aber nicht nur die ‚Blaupausen‘, sondern vermittelte auch das Personal, sorgte dafür, dass die Absolventen des Darmstädter Studiengangs auf Führungspositionen in den von Kittler projektierten Kraftwerken oder in der entstehenden Elektro-Industrie unterkamen. Beispiele sind etwa Hermann Passavant, Assistent Kittlers, der 1890 zur AEG, 1891 dann zu den Berliner Elektrizitätswerken ging oder Michael von Dolivo-Dobrowolski, dessen Entwicklung des Drehstrommotors bei der AEG das Feld revolutionieren sollte. In der Region wurde Kittler als Elektrifizierungsberater auch in Mannheim (1886/87) und beim Bau des Kraftwerks im Rheinauhafen 1897-99 tätig, in Mainz beriet Kittler federführend die Stadt bei der Planung des städtischen Kraftwerks (1897/98).

Ein öffentliches Kraftwerk in Darmstadt als Demonstrationsobjekt und Praxisfeld ‚vor der Haustür‘ zu haben, war für Kittlers Lehrtätigkeit ein großer Vorteil, das TH-eigene Kraftwerk, auch von Kittler projektiert, wurde erst 1895 fertig gestellt.

Auch wenn Kittler bestrebt war, unparteiisch und vorurteilsfrei zu beraten, so läßt sich seine wissenschaftliche Prägung in der Periode der Gleichstromtechnik nicht ganz verleugnen: In den Debatten über die Elektrifizierung Darmstadts erwähnte er die – damals noch sehr junge – Wechselstromtechnik mit keinem Wort; Kittler betonte in seinem Bericht an die Stadtverordneten-Versammlung, es sei möglich, „das Alte neben dem Neuen bestehen (zu) lassen, wie in jeder Industrie, in welcher ganz alte und neue Maschinen zu gleichem Zwecke friedlich nebeneinander arbeiten.“ (Kittler 1887) Tatsächlich erwies sich das Gleichstromsystem und die dadurch bedingte zentrale Lage des Kraftwerks bereits im frühen 20. Jahrhun-

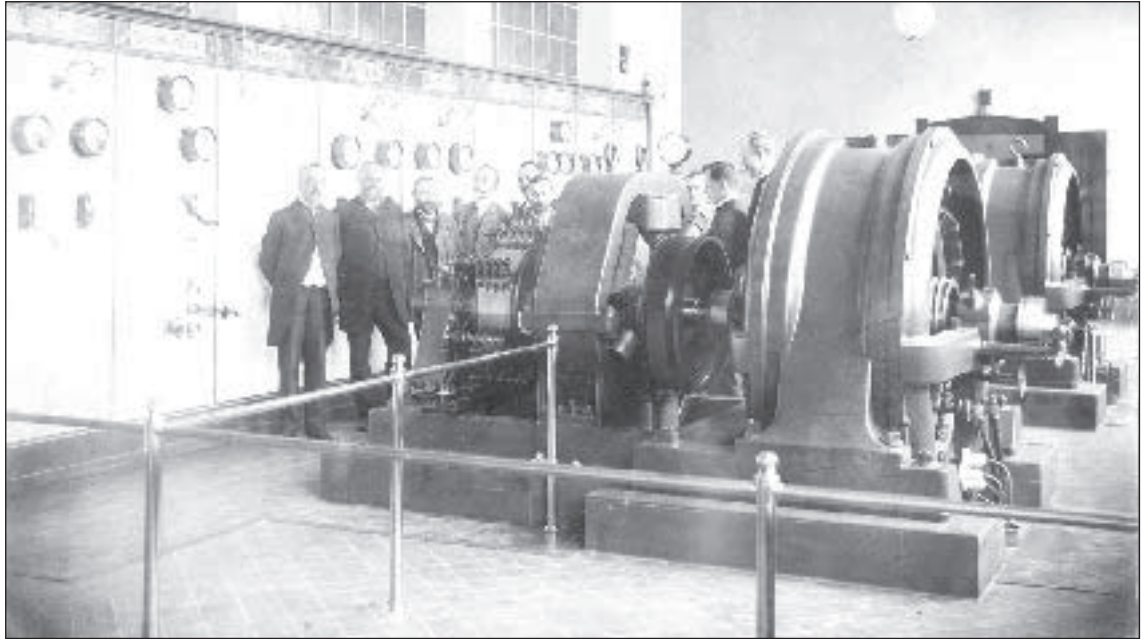


Kittler im Kreis seiner Schüler (aus 1880er Jahren).

Kittler in the circle of its pupils (from 1880er years).

Kittler mit Studierenden beim Besuch eines Kraftwerks (ca. 1900-1905).

Kittler with studying with the attendance of a power station (approx. 1900-1905).



dert als Problem, seit Bau des Drehstrom-Kraftwerks am Dornheimer Weg 1911 musste Darmstadt über mehrere Jahrzehnte mit einem Misch-System leben: Gleichstrom in den Innenstadt-Bezirken, Wechselstrom/Drehstrom in den Außenbezirken. Auch in der Beratertätigkeit für Mainz zeigt sich, dass er das enorme Potential einer Elektrifizierung der Industrie, ein gewichtiges Argument für den Drehstrom, nicht wirklich antizipierte. (Schott 1999)

Für die akademische Elektrotechnik leitete die Ära Kittler die Institutionalisierung im Kanon der wissenschaftlichen Fächer an den noch jungen Technischen Hochschulen des Reiches ein. Schon kurz nach Kittlers Berufung entstand 1883 mit der Elektrotechnischen Schule erstmals ein eigenständiger organisatorischer Rahmen für das neue Fach, mit dem es aus dem Schatten der etablierten naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen, allen voran der Physik und des Maschinenbaus, treten konnte. Aus Elektrotechnikern wurden Elektroingenieure, 1900 dann Diplom-Ingenieure der Elektrotechnik. 1902 folgte die erste Darmstädter Promotion zum Doktor-Ingenieur. Das Studium wurde auf vier Jahre angelegt und bestach durch einschlägige praxisbezogene

Komponenten. Neben den elektrotechnischen Übungen in den Experimentiersälen der Hochschule bildeten regelmäßige Exkursionen einen Schwerpunkt in der praktischen Ausbildung. Schon 1884 besuchte Kittler mit Studenten Beleuchtungsanlagen im Raum Frankfurt, aber auch die elektrische Eisenbahn Sachsenhausen – Offenbach und verdeutlichte damit die Potentiale der Innovationstechnologie für Versorgung und Verkehr der Zukunft. Qualität und Professionalisierung verhalfen der Darmstädter Elektrotechnik zu einem rasanten Aufschwung. (König 1995) Die ständig wachsenden Studierendenzahlen brachten einen bemerkenswerten Ausbau des Faches: 1895 erhielten das Elektrotechnische und das Physikalische Institut ein neues Gebäude samt Kraftwerk, 1908 bezog man gemeinsam mit dem Fach Maschinenbau die neue Maschinen- und Kraftwerkshalle. Hinzu traten auch im Bereich der Schwachstromtechnik moderne Forschungseinrichtungen, wie die von Karl Wirtz betreute Radiotelegraphische Versuchsstation. Als Kittler 1915 den aktiven Dienst verließ, war die Elektrotechnik an der Hochschule fest etabliert. Sein Nachfolger, Waldemar Petersen, gehörte bereits einer neuen Generation an, die selbst ein elektrotechnisches Studium bis zur Habilitation absolviert hatte.

Erasmus Kittler – Electrical Engineering as a Discipline and Consulting Practice

The appointment of Erasmus Kittler on the first chair specifically devoted to Electrical Engineering in 1882 rescued TH Darmstadt from threatening closure due to lack of students. In the wake of recession, student numbers had declined by 60% since the mid-1870s but Electrical Engineering under Kittler then contributed to a rapid rise in overall student numbers and to the growing international reputation of TH as a first class institution for the training of engineers.

A particularly important aspect of Kittler's work was his presence also outside academia by promoting techno-

logy transfer and acting as a consultant. The City of Darmstadt had supported Kittler's chair with the considerable sum of 6.000 Marks p.a. and benefited from Kittler through his expertise in the electrification of the city. Electricity – the 'high technology' of the 1880s and 1890s, drew extensive interest from all walks of life and was linked with far-reaching promises to overcome deficits of industrial capitalism.

By advising the Grand-Duke on the electrification of the Court Theatre for reasons of fire-safety – the the-

atre had already burnt down due to a defect of gas illumination – and the gas committee of the City of Darmstadt on the advantages of a public power station, Kittler managed to combine both projects and get the approval of the Town Council for a public power station. In late 1888 this started operations, constructed by Siemens as a dc-network with the central station located in Schuchardstrasse, close to the city centre.

As ‚electrification consultant‘ (König 1987) Kittler developed the so-called ‚Darmstadt Model‘: A close linkage between teaching and research with consulting practice in planning public as well as private networks all over Germany and in many parts of Europe (Hüb-schmann 1986). But Kittler did not just deal in blueprints, he also supplied human capital, recommended his Darmstadt graduates for leading posts in the power stations he had planned or for corporations of electrical engineering. Hermann Passavant, to become director of the Berliner Elektrizitätswerke or Michael von Dolivo-Dobrowolski, the inventor of the polyphase-motor at AEG, are just two examples.

Closer at home Kittler played a leading role for instance in putting up the power station at Rheinau near Mannheim, later to become a node in regional networks, and in projecting the Mainz power station (1897/98).

For electrical engineering as an academic discipline Kittler's chair brought the institutionalization of the subject among the range of academic disciplines at the still young technical universities in the German Empire. By setting up a School for Electrical Technology the new discipline could emancipate itself from the traditional disciplines of Physics and Mechanical Engineering which had hitherto dealt with electricity. From 1900 the Darmstadt graduates were called ‚Diplom-Ingenieure der Elektrotechnik‘, 1902 the first Ph-D in electrical engineering was awarded. The study programme was structured in four years and excelled in components relevant for practical work. Besides laboratory courses Kittler took his students frequently to field-trips studying power stations, networks or 1884 the newly established electrical railway Sachsenhausen – Offenbach near Frankfurt.

Due to rapid growth in student numbers the School could move into a new building in 1895, and in 1908 the new power station and machine hall, jointly used with Mechanical Engineering, was inaugurated.

When Kittler left active service in 1915, Electrical Engineering was firmly and prominently established at TH Darmstadt. His successor Waldemar Petersen, later a major figure in the electrical industry, already belonged to a new generation having himself studied Electrical Engineering up to habilitation.

Einsteigen bitte!

Wenn Sie mehr gestalten wollen als das Design eines Kühlergrills: Zur Verstärkung des Engineerings unserer Division Locomotives in Zürich suchen wir kreative, vom Lokomotivbau faszinierte Entwicklungs- und Projekt-ingenieure (m/w) der Fachrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik oder Wirtschaftsingenieurwesen. Willkommen sind sowohl Berufsanfänger als auch erfahrene Ingenieure. Ein Muss: verhandlungssicheres Englisch. Ein Plus: gute Deutsch- und weitere Sprachkenntnisse.

Bombardier baut Europas erfolgreichste Elektro- und Diesellokplattform Bombardier TRAXX.

Ihre vollständigen Unterlagen richten Sie bitte an:

Bombardier Transportation (Switzerland) AG
Human Resources – Herrn Iwan Schmidt
Brown-Boveri-Strasse 5
8050 Zürich / Schweiz
www.transport.bombardier.com



Bombardier Transportation ist ein weltweit führender Hersteller von Schienenverkehrstechnik und Service-Dienstleistungen. Zur Produktpalette zählen Fahrzeuge für den Stadt-, Regional-, Intercity- und Hochgeschwindigkeitsverkehr ebenso wie Lokomotiven, Drehgestelle, Antriebs-, Steuer- und Sicherheitstechnik.

BOMBARDIER

The Global Leader in Rail Technology

Literatur

Werner Hübschmann (1986), Die Bedeutung von Prof. Kittler und seiner Schüler für die Entwicklung der wissenschaftlichen Starkstromtechnik, in: Horst A. Wessel (Hrsg.), Elektrotechnik im Wandel der Zeit, Berlin/Offenbach, S. 37-48

Erasmus Kittler (1887), Errichtung einer Centralstation für elektrische Beleuchtung in Darmstadt (Beschlussvorlage für die Stadtverordnetenversammlung vom 15.6.1887) HEAG-Archiv, S. 15.

Wolfgang König (1986), Erasmus Kittler und die Frühzeit der Elektrotechnik, (Einführung zu:) Erasmus Kittler, Handbuch der Elektrotechnik. 2 Bde., Stuttgart 1886-90, Reprint Düsseldorf, S. XV-XLIII

Wolfgang König (1987), Hochschullehrer und Elektrifizierungsberater Erasmus Kittler, das „Darmstädter Modell“ und die frühe Elektrifizierung im Spiegel seiner Briefe aus den Jahren 1888/89, in: Technikgeschichte 54, S. 1-14

Wolfgang König (1995), Technikwissenschaften. Die Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1914, Chur

Programme der Grossherzoglich Hessischen Technischen Hochschule zu Darmstadt, Darmstadt 1882-1916.

Dieter Schott (1999), Die Vernetzung der Stadt. Kommunale Energiepolitik, öffentlicher Nahverkehr und die "Produktion" der modernen Stadt. Darmstadt – Mannheim – Mainz 1880-1918, Darmstadt

Dieter Schott (1999b), Das Zeitalter der Elektrizität: Intentionen – Visionen – Realitäten, in: Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte, 2/1999, S. 31-49

Universitätsarchiv der Technischen Universität Darmstadt:

Das Universitätsarchiv verwahrt die historische Überlieferung der TU Darmstadt und ihrer Vorläufereinrichtungen seit 1836. Zu den Beständen aus dem Bereich Elektrotechnik zählen u.a. eine Photosammlung zu Erasmus Kittler, Dekanats- und Prüfungsakten, eine Studentenkartei und die Personalakten der frühen Professoren des Faches.

Leiter: Andreas Göller M. A.
Universitätsarchiv der TU Darmstadt
Karolinenplatz 3
64289 Darmstadt
Telefon: 06151/16-3129
E-Mail: goeller@ulb.tu-darmstadt.de

Institut für Geschichte der Technischen Universität Darmstadt Fachgebiet Neuere Geschichte

Das Fachgebiet beschäftigt sich mit der Stadt- und Umweltgeschichte Deutschlands und Europas im 19. und 20. Jahrhundert. Besonderes Augenmerk gilt den Wechselwirkungen zwischen Städten und ihren jeweiligen ‚Umwelten‘, der Frage, wie Städte historisch und aktuell die für Ihre Reproduktion notwendigen Ressourcen in einem umfassenden Sinn erschlossen, genutzt und wieder entsorgt haben.

Schwerpunkte der Forschungsarbeiten im Fachgebiet liegen auf folgenden Themen:

- Die Beziehungen zwischen europäischen Städten und ihren Flüssen
- Umweltgeschichte des Lärms
- Geschichte städtischer Energie- und Verkehrssysteme
- Stadtentwicklung und Luftverkehr
- Entwicklung von Bauordnungen als Instrumente von Stadtentwicklung
- Stadterneuerung und Bürgerprotest

Ansprechpartner: Prof. Dr. Dieter Schott
Professor für Neuere Geschichte, Schwerpunkt Stadt- und Umweltgeschichte
Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften
Institut für Geschichte
Fachgebiet Neuere Geschichte
Marktplatz 15
64283 Darmstadt
Telefon: 06151/16-2044
E-Mail: schott@pg.tu-darmstadt.de
www.geschichte.tu-darmstadt.de/1525/

BOOST YOUR TALENT WITH A CAREER IN ENERGY



Mit 58.000 Mitarbeitern/-innen, Niederlassungen in 40 Ländern und einem Vertriebsnetz, das mehr als 100 Länder abdeckt, bietet AREVA ihren Kunden zuverlässige technologische Lösungen für CO₂-freie Energieerzeugung sowie die Energieübertragung und -verteilung.

Zur AREVA-Gruppe gehört die AREVA NP, ein Unternehmen von AREVA und Siemens, mit rund 14.000 Mitarbeitern/-innen. Von unseren Standorten in Frankreich, Deutschland und den USA aus arbeiten wir in allen Teilen der Welt.

»» Technologieführerschaft hat bei uns Tradition

Forschung und Entwicklung sind seit jeher Garanten für unseren Unternehmenserfolg. Nur deshalb können wir heute die modernsten und sichersten Reaktordesigns anbieten und schlüsselfertig für unsere Kunden bauen. Dies wird auch in Zukunft so bleiben. Es gilt, Gutes noch besser zu machen und den weltweit anerkannten Sicherheitsstandard unserer Reaktoren weiter zu erhöhen. Von uns gebaute Kernkraftwerke erzeugen in elf Ländern kostengünstig und CO₂-frei Strom. Immer mehr Betreiber setzen auf das Know-how unserer Teams und auf unsere hochspezialisierten Tools, um ihre Anlagen noch wettbewerbsfähiger zu machen.

»» Menschen – Ideen – Karrieren

Wer sich für uns entscheidet, findet interessante Aufgabenfelder. Bei einem Global Player zu arbeiten verlangt neben Fachwissen und Kreativität auch Offenheit und Verständnis für andere Kulturen. Die von uns entwickelten und angemeldeten Patente belegen Jahr für Jahr unsere herausragende Kompetenz. Mit neuartigen Reaktoren wollen wir der Kernenergie in den nächsten Jahrzehnten neue Einsatzgebiete in der Energiewirtschaft erschließen. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den unterschiedlichen technischen und wissenschaftlichen Disziplinen arbeiten bereits heute an diesen Herausforderungen von morgen. Auch für Sie eröffnen sich einmalige Karrierechancen.

Möchten Sie an diesen herausfordernden Aufgaben mitarbeiten und Ihre Fähigkeiten einbringen?

An unseren Standorten in Deutschland, z.B. Erlangen, Offenbach, Karlstein, Lingen und Duisburg, geben wir Ihnen jederzeit die Gelegenheit zum Einstieg.

Wir suchen mehrere Ingenieure, Techniker und technische Assistenten (m/w), gerne auch mit gleichwertigem ausländischen Abschluss, mit Schwerpunkt in einer der folgenden Fachrichtungen:

- **Maschinenbau/Verfahrens-/Kerntechnik**
- **Naturwissenschaften (Physik, Chemie)**
- **Elektrotechnik/Informatik**
- **Werkstoff-/Materialwissenschaften**
- **Bauwesen**
- **Wirtschaftsingenieurwesen**

Darüber hinaus bieten wir Studierenden dieser Fachrichtungen

- **Jobs als Werkstudent/in**
- **Praktikumsplätze**
- **Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten**

Wir freuen uns darauf, Sie kennen zu lernen.



Bitte bewerben Sie sich vorzugsweise online unter www.aveva-np.com oder nehmen Sie Kontakt mit uns auf:
AREVA NP GmbH, Zentrales Recruiting, Frau Bernhild Pflanzler, Kaiserleistr. 29, 63067 Offenbach
Für mehr Informationen: www.aveva.com



Unsere Energie. Ihr Antrieb.

EnBW Energie Baden-Württemberg AG – dahinter stehen ca. 21.000 Mitarbeiter, die sich für Strom, Gas und energienahe Dienstleistungen stark machen. Heute sind wir Deutschlands drittgrößtes Energieunternehmen und nutzen auch in Mittel- und Südosteuropa unsere Chancen.

Sie brennen darauf, Erlerntes in die Tat umzusetzen? Dann übernehmen Sie bei uns frühzeitig Verantwortung als **Praktikant (w/m)**, **Werkstudent (w/m)**, **Diplomand (w/m)** der Fachrichtungen Wirtschaftswissenschaften, (Wirtschafts-)Ingenieurwesen oder (Wirtschafts-)Informatik. Wir freuen uns auf Studierende, die Impulse aufnehmen, aber auch Impulse geben!

Informationen rund um die EnBW als Arbeitgeber, zu unseren vielseitigen Einstiegs- und Förderprogrammen sowie aktuelle Jobangebote finden Sie unter www.enbw.com/karriere.

Mit Energie in Ihre Zukunft. Jetzt!



Energie
braucht Impulse