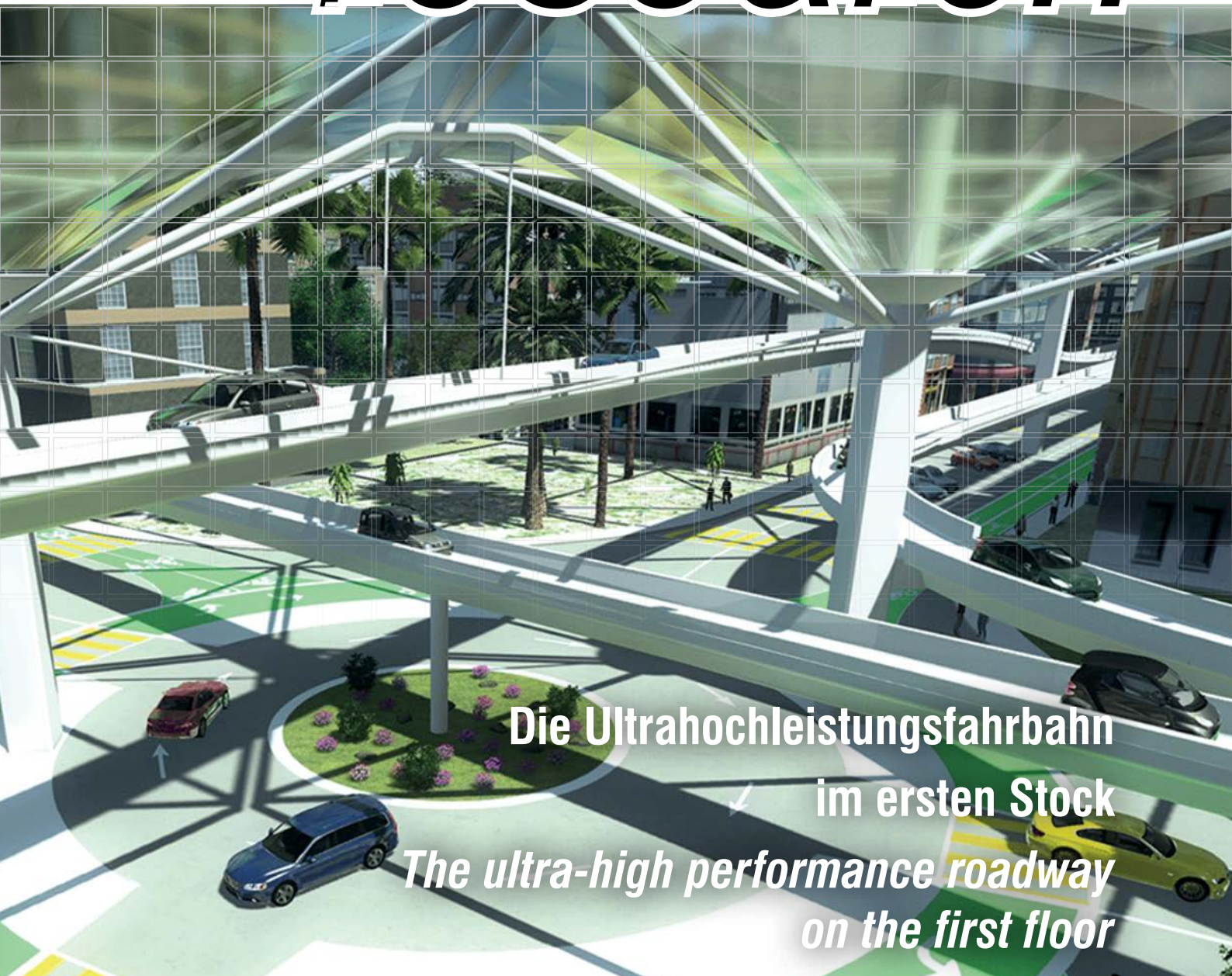


TU GRAZ *research*



**Die Ultrahochleistungsfahrbahn
im ersten Stock**
*The ultra-high performance roadway
on the first floor*

Nanowelt in 3D ■ BCI trifft NeuroIS: Neue Anwendungsfelder für Gehirn-Computer-Schnittstellen ■ Zuverlässige Drahtloskommunikation im Internet der Dinge ■ Von nanostrukturierten Materialien zur wirtschaftlichen Brennstoffzelle ■ Visionäre Perspektiven für die elektrischen Energiesysteme der Zukunft

Nanoworld in 3D ■ BCI meets NeuroIS: New applications for Brain-Computer Interfaces ■ Dependable wireless communications in the Internet of Things ■ Nanostructured materials for economic fuel cells ■ Visionary perspectives for electric energy systems of the future

Inhalt/Contents

3 Vorwort / Preface

On the Top

4 Die Ultrahochleistungsfahrbahn im ersten Stock *The ultra-high performance roadway on the first floor*



Fields of Expertise

WISSENSCHAFTERINNEN UND WISSENSCHAFTER PRÄSENTIEREN AUSGEWÄHLTE PROJEKTE UND FORSCHUNGSBEREICHE IM RAHMEN DER FÜNF FIELDS OF EXPERTISE (FoE)

SCIENTISTS PRESENT SELECTED PROJECTS AND RESEARCH AREAS IN THE FRAMEWORK OF THE FIVE FIELDS OF EXPERTISE (FoE)

10 Advanced Materials Science Peter Hadley, Maria Cecilia Poletti, Christof Sommitsch

11 Nanowelt in 3D *Nanoworld in 3D* Gerald Kothleitner

14 Human & Biotechnology Bernd Nidetzky, Gernot Müller-Putz

15 BCI trifft NeurolS: Neue Anwendungsfelder für Gehirn-Computer-Schnittstellen *BCI meets NeurolS: New applications for Brain-Computer Interfaces* Selina C. Wriessnegger

18 Information, Communication & Computing Oswin Aichholzer, Mihyun Kang, Kay Uwe Römer

19 Zuverlässige Drahtloskommunikation im Internet der Dinge *Dependable wireless communications in the Internet of Things* Carlo Alberto Boano

22 Mobility & Production Helmut Eichlseder, Franz Haas, Viktor Hacker

23 Von nanostrukturierten Materialien zur wirtschaftlichen Brennstoffzelle *Nanostructured materials for economic fuel cells* Alexander Schenk

26 Sustainable Systems Martin Fellendorf, Urs Leonhard Hirschberg, Christoph Hochenauer

27 Visionäre Perspektiven für die elektrischen Energiesysteme der Zukunft *Visionary perspectives for electric energy systems of the future* Udo Bachhiesl, Lothar Fickert, Klaus Krischan, Annette Mütze, Stephan Pack, Herwig Renner, Uwe Schichler, Heinz Stigler

Life

FORSCHUNG UND TECHNIK IM ALLTÄGLICHEN – WIE FORSCHUNGSERGEBNISSE AUF UNSER LEBEN WIRKEN UND ES VERBESSERN KÖNNEN

RESEARCH AND TECHNOLOGY IN EVERYDAY LIFE: HOW RESULTS OF RESEARCH AFFECT OUR LIVES AND CAN IMPROVE THEM

30 Zuckerschätze in der Muttermilch *Precious sugars in breast milk*

Cooperations

GEMEINSAM FORSCHEN UND ENTWICKELN – WIE SPEZIALISIERTE INTERDISZIPLINÄRE ZUSAMMENARBEIT IN ERFOLG UND WEITERENTWICKLUNG RESULTIERT

CONDUCTING RESEARCH AND DEVELOPMENT TOGETHER: HOW INTERDISCIPLINARY COOPERATION BETWEEN EXPERTS LEADS TO SUCCESS AND FURTHER DEVELOPMENT

33 Messen und Modellieren für die papierene Charakteroptimierung *Measuring and modelling for optimising the properties of paper*

Internationalisation

EXZELLENT FÖRDERTE FORSCHUNG STREBT NACH LEBENDIGEM AUSTAUSCH IN GLOBALEN NETZWERKEN – WIE DIE TU GRAZ DEN INTERNATIONALEN FORSCHUNGSDIALOG LEBT

EXCELLENT RESEARCH ASPIRES TO A LIVELY EXCHANGE IN THE GLOBAL NETWORK: GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND INTERNATIONAL RESEARCH DIALOGUE

36 Maschinen lernen sehen *Machines learn how to see*



Horst Bischof
Vize rektor für Forschung
Vice Rector for Research

**Liebe Kolleginnen und Kollegen, sehr geehrte Forschungspartnerinnen und -partner
und an unserer Forschung Interessierte!**

Dear colleagues, research partners and everyone interested in our research activities,

Die Forschung an der TU Graz blüht und gedeiht. Davon konnte ich mir in den letzten Monaten bei meinen Institutsbesuchen selbst ein Bild machen. Ich darf über den herausragenden Erfolg zweier TU Graz-Wissenschaftler berichten: Den Kollegen Stefan Mangard, Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie, und Gernot Müller-Putz, Institut für Neurotechnologie, ist es gelungen, zwei hochbegehrte ERC Consolidator Grants an unsere Universität zu holen. Wissend, wie hoch kompetitiv diese Ausschreibung ist, ist dies wieder ein beeindruckendes Beispiel für die hervorragende Forschung an der TU Graz. Ich möchte beiden Kollegen herzlich gratulieren.

In letzter Zeit hat sich wieder einiges im Bereich der Profilbildung getan: Nach der Umstellung des Infrastruktur- und Dienstleistungsbeitrags (IDB) bekommen nun die FoE direkt Geld aus diesen Beiträgen, das primär für die Anschubfinanzierung verwendet werden wird. Ein deutliches Signal, welchen hohen Stellenwert die Fields of Expertise an der TU Graz haben. Mit Jahresbeginn wurden die teils neu aufgestellten Leitungsteams der FoE eingesetzt: Im FoE „Advanced Materials Science“ folgen Christoph Sommitsch und Peter Hadley Ferdinand Hofer und Klaus Reichmann nach. Maria Cecilia Poletti bleibt im Leitungsteam. Matthäus Siebenhofer scheidet aus der Leitung des FoE „Mobility and Production“ aus. Helmut Eichlseder wird zukünftig von Franz Haas und Viktor Hacker unterstützt. Im FoE „Information, Communication and Computing“ bleibt Oswin Aichholzer im Leitungsteam – Johannes Wallner und Gernot Kubin scheiden aus. Neu sind Kay Uwe Römer und Mihyun Kang. Gleich bleibt die Leitung des FoE „Sustainable Systems“ mit Martin Fellendorf, Urs Leonhard Hirschberg und Christoph Hochenauer sowie des FoE „Human and Biotechnology“ mit Bernd Nidetzky und Gernot Müller-Putz. Ich möchte mich bei den ausgeschiedenen Leitern für ihre hervorragende (Aufbau-)Arbeit bedanken und den neuen Kolleginnen und Kollegen viel Glück bei ihrer Tätigkeit wünschen. Ich freue mich schon sehr auf eine konstruktive Zusammenarbeit. Auch im Bereich BioTechMed-Graz gibt es Veränderungen. Nach der erfolgreichen Aufbauarbeit während der letzten drei Jahre war es klar, dass es eine stringente Führungsstruktur braucht. Es wurde die Stelle des Director und Co-Director BioTechMed-Graz ausgeschrieben. Aus den zahlreichen Bewerbungen konnten Rudolf Zechner (Karl-Franzens-Universität Graz) als Director und Peter Holzer (Medizinische Universität Graz) als Co-Director gewonnen werden, beides ausgewiesene Wissenschaftler. Wesentlich sind in ihrem Arbeitsprogramm vor allem die Leuchtturmprojekte (ganz ähnlich unseren Leadprojekten), um fokussierte Forschung betreiben zu können.

Ich wünsche Ihnen und Ihren Familien einen erholsamen Sommer. Mögen Sie ein wenig Zeit finden, sich in die Lektüre dieses TU Graz research zu vertiefen.

Research at Graz University of Technology is flourishing and thriving. I could see this for myself when I visited the institutes in the last few months. I would like to report about the outstanding success of two TU Graz scientists. Our colleagues Stefan Mangard (Institute of Applied Information Processing and Communications) and Gernot Müller-Putz (Institute of Neural Engineering) have managed to win two highly coveted ERC Consolidator Grants for our university. In view of the highly competitive nature of this project application, this is yet another impressive example of the eminent research being carried out at TU Graz. I would like to congratulate both colleagues.

More has been happening lately in the field of our profile development. After changes to the Infrastructure and Service Contribution, these contributions will now provide funds for the FoE, which will be primarily used for start-up funding. This is a clear signal as to the high status the Fields of Expertise at TU Graz enjoy. At the beginning of the year, the in part newly established management teams of the FoE were appointed. In the FoE Advanced Materials Science Christoph Sommitsch and Peter Hadley succeed Ferdinand Hofer and Klaus Reichmann. Maria Cecilia Poletti remains in the management team. Matthäus Siebenhofer leaves the management of the FoE Mobility and Production. Helmut Eichlseder will in future be supported by Franz Haas and Viktor Hacker. In the FoE Information, Communication and Computing, Oswin Aichholzer will remain in the management team, while Johannes Wallner and Gernot Kubin will leave. Kay Uwe Römer and Mihyun Kang are new. The FoE Sustainable Systems will stay the same with Martin Fellendorf, Urs Leonhard Hirschberg and Christoph Hochenauer, as will the FoE Human and Biotechnology with Bernd Nidetzky and Gernot Müller-Putz. I would like to thank the outgoing heads for their outstanding development work, and wish our new colleagues all the best in their new activities. I'm looking forward to very constructive cooperation. There are also changes in BioTechMed-Graz. After the successful development over the last three years, it was evident that a clearer management structure was needed. The job of director and co-director of BioTechMed-Graz was advertised. From the numerous applications, Rudolf Zechner (University of Graz) was able to be acquired as director and Peter Holzer (Medical University of Graz) as co-director. Both of them are well-proven scientists. Included in their work programme are the very important flagship projects (very similar to our lead projects) to facilitate focused research.

I'd like to wish you and your families a restful summer break. And I hope that you can find some time to immerse yourselves in this issue of TU Graz research.

Horst Bischof



Die Ultrahochleistungsfahrbahn im ersten Stock

The ultra-high performance roadway on the first floor

Geht es nach der Vision des TU Graz-Projekts QUICKWAY, so werden wir in Zukunft in zentral gesteuerten, autonom fahrenden E-Bussen, E-Taxis und E-Privatautos in einem geschlossenen Fahrbahnsystem aus ultrahochfestem Beton befördert werden. Ein Blick in die Zukunft der nachhaltigen Mobilität.

Ultrahochfester Beton (Ultra High Performance Concrete – UHPC) ist mit einer erwarteten Haltbarkeit von über 200 Jahren das Baumaterial der Zukunft. Der Baustoff wird seit 17 Jahren an der TU Graz maßgeblich mit- und weiterentwickelt, einhergehend mit der steten Suche nach neuen Anwendungsmethoden. Nach dem erfolgreichen Bau einer Autobrücke im Kärntner Völkermarkt mit UHPC wandte sich der heute emeritierte Professor Lutz Sparowitz vom Institut für Betonbau mit einer Idee an das Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz: Er hatte die Vision eines neuen Mobilitätskonzepts, das eine wirkliche Alternative zum heute gängigen U-Bahn-Verkehr darstellen sollte. Die Idee war ein schlanker, aus UHPC gebauter Fahrweg ein bis zwei Levels über der Erde, auf dem sich ausschließlich zentral gesteuerte, autonome Fahrzeuge bewegen sollten. Im August 2013 wurde

If the vision of the TU Graz project QUICKWAY becomes reality, we will eventually travel in centrally controlled autonomous e-buses, e-taxis and private e-cars in a closed-loop roadway system built from ultrahigh performance concrete. So let's have a look at the future of sustainable mobility.

Ultrahigh performance concrete, UHPC for short, has a durability of more than 200 years and is already recognised as THE construction material of the future. As a significant contributor to the development of this construction material for the last 17 years, TU Graz has also been constantly searching for new application methods. Following the successful construction of a UHPC road bridge in Völkermarkt, Carinthia, Professor Lutz Sparowitz from the Institute of Structural Concrete, now retired, took this idea to the Institute of Highway Engineering and Transport Planning at TU Graz. His vision was to develop a new mobility concept, one that could be positioned as a genuine alternative for today's solution of choice, the underground. The idea was to build a slim UHPC roadway one to two levels above the ground on which only centrally controlled autonomous vehicles would travel.



© QUICKWAY – TU Graz

aus der Idee ein FFG-gefördertes Projekt namens QUICKWAY, an dem sich nunmehr das Institut für Betonbau (Viet Tue Nguyen), das Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft (Christian Hofstadler) und das Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (Bernhard Freytag) der TU Graz beteiligen. Nach drei Jahren Projektlaufzeit hält man heute ein umfassendes, zukunftsweisendes Mobilitätskonzept für sogenannte Megacities in Händen. Städte also, die zehn Millionen oder mehr Menschen beheimaten. Stimmen nämlich die aktuellen Prognosen für die Bevölkerungsentwicklung und hält der Trend zur Urbanisierung ungebrochen an, werden alleine bis zum Jahr 2050 zumindest 250 neue Megacities entstehen und anspruchsvolle Verkehrslösungen werden dringend nötig.

QUICKWAY TRAFFIC SYSTEM

An diesem Punkt setzt der Plan von Sparowitz und seinem Forschungsteam an. Das QUICKNET ist ein Netz einspuriger Hochfahrwege, das dank Verwendung von UHPC eine äußerst schlanke Struktur aufweist. „Wir benötigen einen Abstand von rund 30 Metern zwischen zwei Gebäuden, um unsere Fahrwege bauen zu können“, erklärt er. Die Hauptfahrbahn läuft auf Level 1 und 2, also im ersten und zweiten Stock über der Erde. Auf ihr soll der Fließverkehr mit Geschwindigkeiten zwischen 30 und 80 Kilometern pro Stunde geführt werden. „Damit können wir mit der Effizienz eines U-Bahn-Systems mithalten“, erklärt Martin Fellendorf, der sich im Subprojekt AVESTRA mit dem autonom fahrenden Verkehr und dessen Steuerung beschäftigt hat. Die Haltestellen werden auf Level 0 errichtet. Zu ihnen fahren aber jeweils nur die einzelnen Fahrzeuge, deren Passagiere auch wirklich an diesem Stopp aussteigen wollen. Pro Fahrzeug können, so die Vision, insgesamt zehn Personen transportiert werden, die zu maximal drei >

In August 2013, the idea had become an FFG (Austrian Research Promotion Agency) sponsored project under the name of QUICKWAY in which the Institute of Structural Concrete (Viet Tue Nguyen), the Institute of Construction Management and Economics (Christian Hofstadler) and the Laboratory for Structural Engineering (Bernhard Freytag) at TU Graz were participating. At the end of the three-year term of the project, they had come up with a comprehensive, future-oriented mobility concept for so-called megacities, i.e. cities with a population of 10 million or more. If the current demographic development forecasts are true and the trend towards urbanisation continues at the current rate, we will see at least 250 new megacities by the year 2050 that will urgently require complex transport solutions.

QUICKWAY TRAFFIC SYSTEM

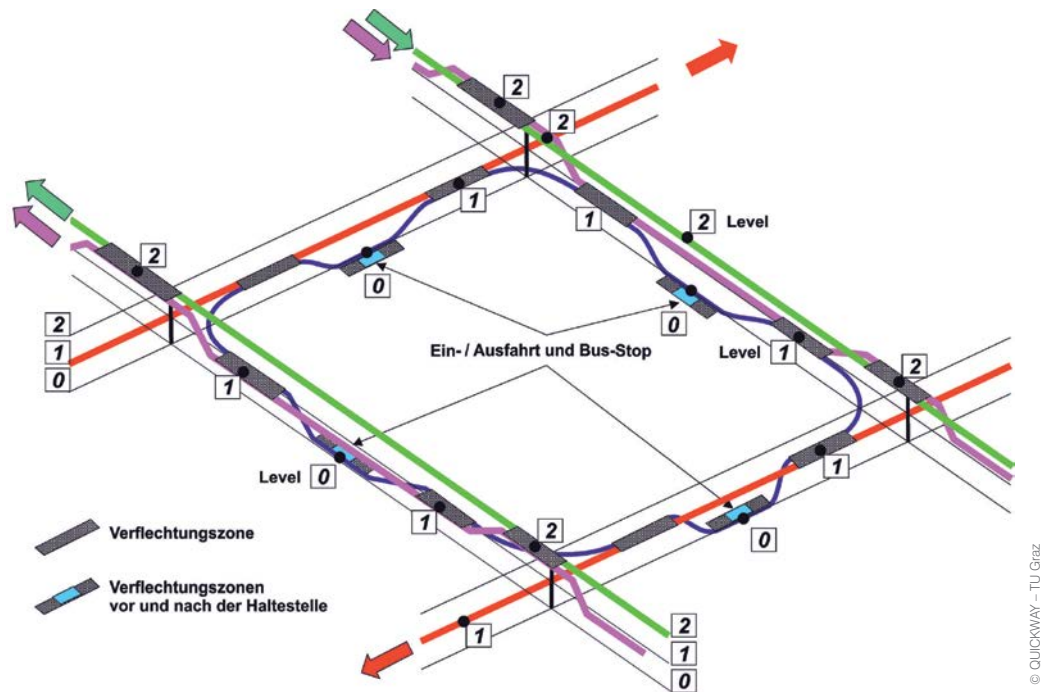
This is where the plan of Sparowitz and his team of researchers comes in. Built from UHPC, QUICKNET is a network of very slim elevated single traffic roadways. “We need a distance of approximately 30m between two buildings to be able to build our roadways,” says Sparowitz. The main roadway is on levels 1 and 2, that is on the first and second floor above ground. These roadways are intended for traffic that flows at a speed of 30 to 80 kilometres per hour. “This means that we are able to rival the efficiency of an underground train system,” explains Martin Fellendorf who studied the possibilities of autonomously driving vehicles and their control in the AVESTRA subproject. The stops will be built on level 0. But only selected vehicles with passengers who really want to get off at this particular stop will go there. According to the vision, 10 people wishing to travel to a maximum of three different stops will be in each vehicle. “The passengers will call their buses to the stop in advance by app, indicating their final destination. >

Abbildung 1:
Die Stadt der Zukunft? Energie soll
über die Fahrbahnüberdachung aus
Solarpaneelen gewonnen werden.

Figure 1:
City of the future? Electricity could
come from solar panels installed
above the roadway.

Abbildung 2:
Die Fahrbahn ist auf Level 1 und 2
angelegt, auf Level 0 wird es lediglich
Bushaltestellen geben.

Figure 2:
The main roadway is on levels 1 and 2;
bus stops are built on level 0.



unterschiedlichen Haltestellen wollen. „Die Passagiere bestellen ihre Busse vorab per App an die Haltestelle, geben dabei auch schon ihr Ziel an und können so einfach und effizient auf die einzelnen Fahrzeuge aufgeteilt werden“, erklärt Sparowitz. Aber auch an den Haltestellen werden die Fahrzeuge nicht vollständig zum Stillstand gebracht, sondern ähnlich wie heutige Gondelbahnen lediglich auf Schrittgeschwindigkeit gebremst, um das Ein- und Aussteigen möglich zu machen. So fallen auch die vielen öffentlichen Parkflächen auf Level 0 weg und können anderweitig genutzt werden. Der Zutrieb ist auf der rechten, der Ausstieg auf der linken Fahrzeugseite möglich, was Personenstaus verhindern soll. Hat das Fahrzeug das Ende des Bahnsteiges erreicht, beschleunigt es selbstständig wieder, fährt auf Level 1 und gliedert sich zurück in die Kolonne ein. Gesteuert wird der Verkehr zentral. „Diese zentrale Steuerung berechnet unter Berücksichtigung des Gesamtsystems für jedes Fahrzeug den optimalen Weg ans Ziel. Wir verhindern so Staus und optimieren die Fließgeschwindigkeit auf den Fahrwegen“, erklärt Fellendorf.

Momentan wird hier vor allem noch an der Maschendichte des Fahrbahnnetzes gearbeitet und optimiert. „Wir haben bereits Abstände von unter 400 Metern zur nächsten Haltestelle geschafft“, sagt Martin Fellendorf über den momentanen Stand der Forschung. Der große Vorteil des neuen Verkehrskonzepts: Aktuelle U-Bahn-Systeme erreichen solche und ähnliche Maschendichten zwar ebenfalls, aber fast ausschließlich in den Stadtzentren, je weiter es vom Stadtkern in Richtung Stadtrand geht, desto weiter sind die Wege bis zur nächsten Halte-

This will allow them to be assigned simply and efficiently to specific vehicles,” adds Sparowitz. But even at the stop the vehicles will not come to a complete standstill. Like today’s cableways they will only slow down to walking speed so that the passengers can get on and off. As passengers enter the vehicle on the right but exit it on the left, collisions between people are avoided. Once the vehicle has reached the end of the platform, it accelerates again by itself, drives up to level 1 and squeezes into the line of cars. The whole transport system is controlled centrally. “Central control calculates the best route to the destination for each vehicle in the system, taking into consideration the overall situation. This helps us avoid congestion and optimise the flow speed on the roadways,” explains Fellendorf.

The current main focus of optimization is the loop density of the roadway network. “We can already achieve distances of less than max. 400 metres to the next stop,” says Martin Fellendorf about the progress of the research project. This is a big advantage of the new transport concept. Although current underground systems reach the same and similar loop densities, they do so almost exclusively in the town centres. The further away you get from the centre and the more you approach the outskirts, the longer the distance to the nearest public transport stop will become. By contrast, QUICKWAY can be extended simply and quickly and is therefore also very suitable for the periphery.

On top of passenger transport, light goods transport (vehicle and payload less than seven tons) can also be carried out by means of QUICKWAY.

stelle des öffentlichen Verkehrs. QUICKWAY aber ist einfach und schnell erweiterbar und daher auch in der Peripherie gut ein- und umsetzbar.

Neben dem Personenverkehr soll über den QUICKWAY auch der leichte Gütertransport (Fahrzeug und Nutzlast gemeinsam leichter als sieben Tonnen) abgewickelt werden.

Baukastensystem

„Wir wollen pro Tag einen bis zwei Kilometer neue Strecke bauen“, erklärt Lutz Sparowitz das äußerst engagierte Vorhaben. Das Fahrbahnsystem besteht aus insgesamt rund 50 standardisierten Bauteilen, aus denen Straßenlayouts für so gut wie alle nur denkbaren Stadtformen zusammengesetzt werden können. Diese Bauteile werden in einer Art Baukastensystem aneinandergesteckt und können auch einfach wieder ab- und an einer anderen Stelle aufgebaut werden. „Es ist wie Legospielen“, sagt Fellendorf. Für die einzelnen Teile existiert je ein Musterstück, von dem ebenfalls aus Beton beliebig viele Schalungen abgeformt werden können. „Wir haben dann zum Beispiel 100 Betonschalungen, in denen parallel die Bauteile gegossen werden können, und können so unsere Baugeschwindigkeit immens erhöhen“, erklärt Sparowitz.

Ein Vorhaben, das natürlich auch von bauphysikalischer Seite her simuliert und geplant wurde: „Wir halten es für absolut möglich, diese Baugeschwindigkeit erreichen zu können.“ >

Modular system

According to Sparowitz, the ambitious plan is to build one or two kilometres of new roadways every day. The roadway system consists of a total of 50 standardised building blocks which can be combined to make road layouts for almost any conceivable urban configuration. These building blocks plug into each other like a modular system. Therefore they can also be taken out and put up elsewhere very easily. “It is like playing Lego,” says Fellendorf. There is one basic formwork for each component, which in turn can be used to cast many different derived formwork elements. “Thus we end up with say 100 concrete formwork elements in which we can cast the components simultaneously. Therefore we are able to increase the speed of construction immensely,” explains Sparowitz. “Of course we have simulated and planned the construction logistics of this approach, so we should realistically be able to achieve a very high construction speed.”

Individual transport from door to door

Apart from its use for public transport, QUICKWAY will also be able to accommodate individual transport with autonomously driving taxis or privately owned vehicles. These also travel in the autonomous system on the QUICKWAY roadways, but can leave the closed-loop system via special entry and exit ramps to enter the “normal” traffic system. Upon request, these vehicles can therefore take passengers from door to door. “This system caters for those who want to drive in their own privately owned car, but above all it caters for persons whose compromised mobility does not allow them to use public transport,” explains Fellendorf. “Such vehicles for mixed transport applications are developed worldwide by various manufacturers, for example the Google car or similar.” >

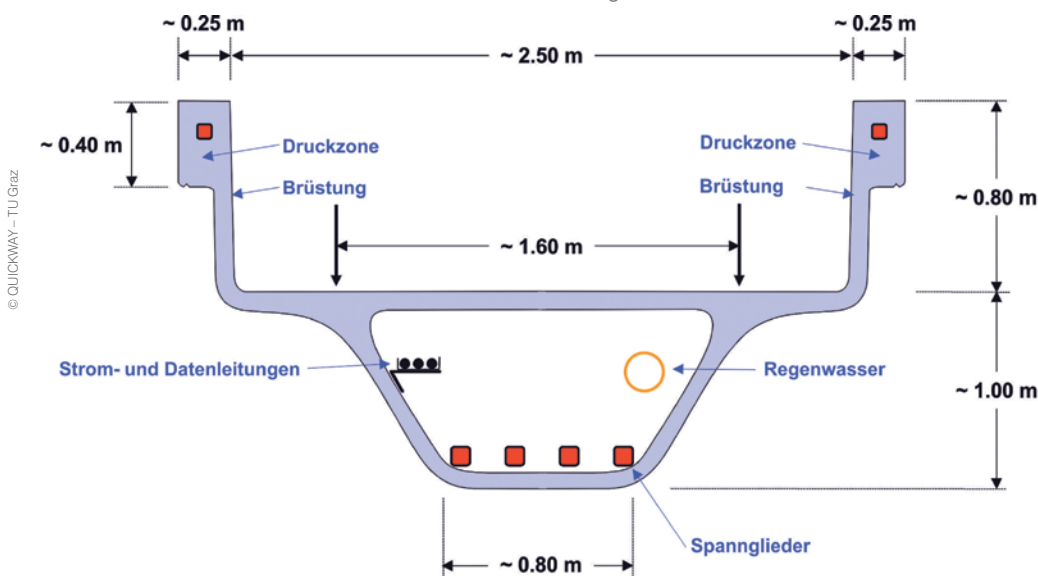


Abbildung 3:
Die Verwendung von UHPC
ermöglicht äußerst schlanke
Strukturen.

Figure 3:
The use of UHPC enables very lean
structures to be made.





Abbildung 4:
Das Musterstück für die
Betonschalungen für den Bau der
einzelnen Straßenelemente.

Figure 4:
*Sample piece for concrete formwork,
which in turn can be used to cast
different formwork elements.*



Advanced Materials Science

Wir freuen uns, der FoE-Leitung „Advanced Materials Science“ für die nächste Periode anzugehören. Unser FoE besteht aus rund 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 30 Instituten, die an mehr als 130 Projekten in folgenden Forschungsbereichen arbeiten:

Entwicklung von neuen Materialien und Verarbeitungstechnologien, Mikro- und Nanoanalyse und Multiskalenmodellierung von Werkstoffen. Detaillierte Informationen über das FoE kann man auf der neuen Website finden:

www.tugraz.at/forschung/fields-of-expertise/

Zwei unserer Ziele sind die Stärkung existierender interner und externer Werkstoff-Netzwerke sowie die Förderung neuer Kooperationen. Wir unterstützen die Leadprojekt-Initiative durch Information und Beratung, um einen erfolgreichen Antrag einzureichen. Der heurige Materials Day am 30. September 2016 ist unsere jährliche wissenschaftliche Veranstaltung, um interne Kooperationen zu stimulieren. Zusätzlich werden unter dem Jahr FoE-Treffen einberufen, inklusive Besichtigungen einzelner Laboratorien.

Die FoE werden in Zukunft durch ein Prozent der IDB-Rückflüsse finanziert. Der Großteil des Geldes wird zur Unterstützung der Anschubfinanzierung für das Einreichen hochqualitativer Forschungsanträge durch junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verwendet. In unserem FoE fördern wir alle Arten von Projekten ohne Einschränkung, die sich mit Materialien beschäftigen. Ein kleiner Anteil des Budgets wird für die Unterstützung von Publikationen wie etwa von herausragenden Promotions- und Habilitationsschriften in der Serienreihe „Advanced Materials Science“ im Verlag der TU Graz verwendet.

Wir hoffen, dass wir Sie für eine aktive Teilnahme im FoE begeistern können. Über Vorschläge zur weiteren Verbesserung und Stärkung unseres FoE würden wir uns freuen. Am 5. April veranstalteten wir unser erstes FoE-Treffen am Institut für Festkörperphysik. Unser nächstes Treffen mit Institutspräsentation ist für Mitte Juni am Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik geplant. Papier ist das einzige Material, das im großen Maße ungeschmolzen recycelt wird. Finden Sie heraus, wie Zellstofffasern separiert und alsdann wieder zusammengefügt werden können zu einem bemerkenswert starken und flexiblen Material.

We are happy to belong to the leadership team of the Field of Expertise Advanced Materials Science for the new period. Our FoE consists of 90 scientists in about 30 institutes working on more than 130 projects on the following topics: development of new materials and processes, micro and nano-analysis, and multiscale modelling of materials. Detailed information of the FoE can be found on the new webpage: www.tugraz.at/en/forschung/fields-of-expertise

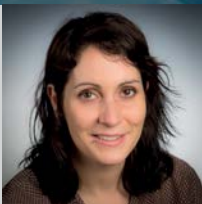
One of our objectives is to support existing internal and external materials science networks as well as to encourage new cooperations. We will support the Lead Project initiative by providing information and advice on how to create a successful proposal. To stimulate internal collaborations, we will hold Materials Day on September 30, 2016. In addition, general meetings will be held throughout the year with visits to different laboratories.

The FoE will be funded by 1% of the IDB. These funds will mainly be used for the "competitive initial funding program". This program supports young scientists while they are preparing funding proposals. Our FoE will promote any kind of projects relevant to materials without any specific restrictions. The 6th call for proposals is now open. A small amount of resources will be used for our book series "Advanced Materials Science". Exceptional PhD theses and habilitation theses on advanced materials are published in this series.

We encourage you to actively participate in the FoE activities. Suggestions on how to strengthen our FoE are welcome. Our first FoE general meeting with institute presentation took place on 5th of April at the Institute of Solid State Physics. Our next general meeting will take place at the Institute of Paper, Pulp and Fiber Technology in the middle of June. Paper is the only material that is recycled on a large scale that is not melted during recycling. Find out how paper fibers can be separated and then reassembled into a remarkably strong and flexible material.



Peter Hadley, Leitungsteam FoE „Advanced Materials Science“
Peter Hadley, executive team FoE Advanced Materials Science



Maria Cecilia Poletti, Leitungsteam FoE „Advanced Materials Science“
Maria Cecilia Poletti, executive team FoE Advanced Materials Science



Christof Sommitsch, Leitungsteam FoE „Advanced Materials Science“
Christof Sommitsch, executive team FoE Advanced Materials Science

Nanowelt in 3D

Nanoworld in 3D

Gerald Kothleitner

Ein detailliertes Verständnis vom atomaren Aufbau, der chemischen Zusammensetzung und den daraus resultierenden Materialeigenschaften ist das Um und Auf in der Erforschung und Anwendung neuartiger Materialien. Die Elektronenmikroskopie ist dabei ein essenzieller Grundpfeiler für den Erkenntnisgewinn und ermöglicht die umfassende Charakterisierung mit höchster Ortsauflösung in drei Dimensionen.

Atomare Defekte in halbleitenden und photonischen Materialien bestimmen deren optische und elektronische Eigenschaften, die gezielte Platzierung von Dotierstoffen entscheidet über die Leistung und Funktion von Transistoren oder spintronischen Bauteilen und Grenzflächenorientierungen sowie die Chemie metallischer Nanocluster definieren unter anderem deren katalytische Wirksamkeit. Der von Richard Feynman 1959 postulierten (Heraus-)Forderung, ein besseres Mikroskop zu bauen, mit dem man Atome identifizieren und deren Anordnung bestimmen kann, konnte erst in den letzten Jahren mit sogenannten aberrationskorrigierten Elektronenmikroskopen entsprochen werden. Dabei handelt es sich um extrem aufwendig konstruierte Geräte mit Linsensystemen, die Objektstrukturen kleiner als 100 Picometer auflösen können. Seit 2011 steht am Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz (ZFE) weltweit eines der leistungsfähigsten Mikroskope (ASTEM, Austrian Scanning Transmission Electron Microscope) dieser Art für die Materialforschung zur Verfügung, das gemeinsam mit dem TU Graz-Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik (FELMI) betrieben wird.

Elementspezifische Analytik – atomar aufgelöst

Mit geeigneten Detektionssystemen wie Röntgen- und Energieverlustspektrometern können auch analytische Informationen bereitgestellt werden. Die effiziente software- und hardwareseitige Implementierung dieser Techniken am ASTEM wurde in enger Kooperation mit der amerikanischen Firma Gatan über mehrere Jahre hinweg realisiert und >

Gaining detailed knowledge about atomic structure and chemical composition is paramount for a deeper understanding of the properties of matter and their potential applications in technology. Electron microscopy thus represents a key tool for the comprehensive characterization of materials at highest spatial resolution in three dimensions.

Atomic-scale defects already define electronic and optical properties of photonic and semiconducting materials, the location of dopant atoms determines the performance of silicon transistors and spintronic devices and the chemistry and orientation of surfaces and interfaces of metallic particles control their catalytic activity. Richard Feynman's challenge from 1959, to build a better microscope that allows for an identification of individual atoms in a chemical structure, could be tackled just recently with the realization of aberration-corrected electron microscopes. These sophisticatedly engineered systems consist of lens modules that can resolve object structures smaller than 100 picometer. The Center for Electron Microscopy (ZFE) Graz hosts one of these instruments (ASTEM, Austrian Scanning Transmission Electron Microscope) since 2011 and operates it together with the Institute for Electron Microscopy FELMI at the TU Graz. With its configuration it is one of the most capable and enabling devices for material research world-wide.

Elemental analysis at atomic scale

Element-specificity can be obtained with suitable detectors such as X-ray or electron energy-loss spectrometers (EELS) interfaced to the microscope. In order to properly incorporate and synchronize all physicochemical signals on the ASTEM, much effort went into the correct implementation of software and hardware. Tightly cooperating with the US company Gatan Inc. over many years, an efficient operating environment could be designed that carries the handwriting of the workgroup. With this unique configuration it was for the first time >



Gerald Kothleitner leitet die Arbeitsgruppe für analytische Transmissionselektronenmikroskopie am Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik. Seine Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf methodische Entwicklungen im Bereich der spektroskopischen Analytik sowie der Elektronentomographie und deren Anwendungen auf materialwissenschaftliche Fragestellungen.

Gerald Kothleitner is head of the working group for analytical transmission electron microscopy and electron tomography at the Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis. His research includes methodological developments for spectroscopic analysis and tomography and their application to problems in materials science.

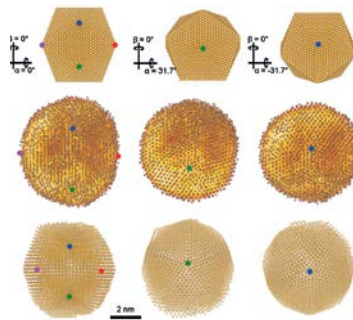


Abbildung 1:

Modell, Rekonstruktion und Simulation der Atompositionen im Nano-Cluster.

Oben: Modell eines modifizierten Iksaeters, von oben und entlang zweier fünfzähliger Symmetrieachsen betrachtet.
Mitte: Rekonstruktion der Atompositionen entlang dieser Richtungen.
Unten: Molekulardynamik-Simulationen. Fünfzählige Symmetriezentren sind als Punkte markiert.

Figure 1:

Model, reconstruction and simulation of atomic positions in the nanocluster.
Top: Model of a modified icosahedron seen from the top and along two different fivefold symmetry axes.
Middle: Reconstruction of atomic positions seen along the same directions.
Bottom: Molecular dynamics simulations. Fivefold symmetry centers are indicated as dots.

trägt stark die Handschrift der Arbeitsgruppe. So konnten erstmals Elementquantifizierungen mit atomarer Auflösung an einem Kristallgitter durchgeführt werden. In einer Forschungsarbeit, erschienen in „Physical Review Letters“, zeigte sich, dass die hierbei registrierten Intensitäten ausschließlich mit begleitenden Simulationsrechnungen verstanden werden können – ein Umstand, dem durch intensive Kontakte und Kooperationen mit Theoriegruppen in Melbourne (Australien) und Tokio (Japan) Rechnung getragen wird.

Die dritte Dimension – Elektronentomographie

Dreidimensionale Untersuchungstechniken in der Medizin eröffnen Einblicke in den menschlichen Körper, die konventionelle Verfahren wie die klassische Röntgenuntersuchung aufgrund ihres projektiven Charakters nicht geben können. Ähnlich verhält es sich mit durchstrahlbaren TEM (Transmissionselektronenmikroskop)-Proben, bei denen Detailstrukturen, aus nur einem Betrachtungswinkel aufgenommen, verborgen bleiben. Der Wiener Johann Radon legte vor ziemlich genau 100 Jahren die Grundlagen zur Tomographie, indem er zeigte, dass mit einer genügenden Anzahl von Projektionen und der inversen Radon-Transformation Objekte dreidimensional rekonstruiert werden können.

Die experimentell sehr aufwendige Elektronentomographie hat erst in den letzten 15 Jahren Einzug in die Untersuchung von Materialsystemen gehalten. Seit 2009 ist die Arbeitsgruppe auf diesem hochaktuellen Forschungsgebiet tätig. Neben der Entwicklung experimenteller Methoden befasst sie sich auch mit dem komplexen Gebiet der signalabhängigen Rekonstruktionsoptimierung und der Verschränkung von 3D-Daten mit theoretischen Konzepten, die die Aussagekraft darin enthaltener physikalischer Informationen steigern können. Zwei Beispiele aus Kooperationen mit dem Institut für Experimentalphysik der TU Graz und dem Institut für Physik der Karl-Franzens-Universität Graz seien genannt.

Metallische Nanocluster

Die im Magazin „Nature Communications“ veröffentlichte Studie behandelt die gezielte Herstellung und Untersuchung von metallischen Nanoclustern aus suprafluidem Helium. Um die Frage des Wachstums, der Morphologie und der Zusammensetzung der Strukturen zu beantworten, wurden von Georg Haberfehlner Aufnahmetechniken erarbeitet, die minimales Bildrauschen und geringste Bildverzerrung garantieren. Durch Einsatz verschiedener Rekonstruktionsalgorithmen konnten dann sowohl die Atompositionen als auch die Spezies der

possible to study elemental concentrations on a specific crystallographic lattice site. The work, published in the magazine *Physical Review Letters*, revealed that the recorded analytical intensities can only be understood by complementary simulations. These calculations are carried out by cooperation partners in theory groups located in Melbourne (Australia) and Tokyo (Japan).

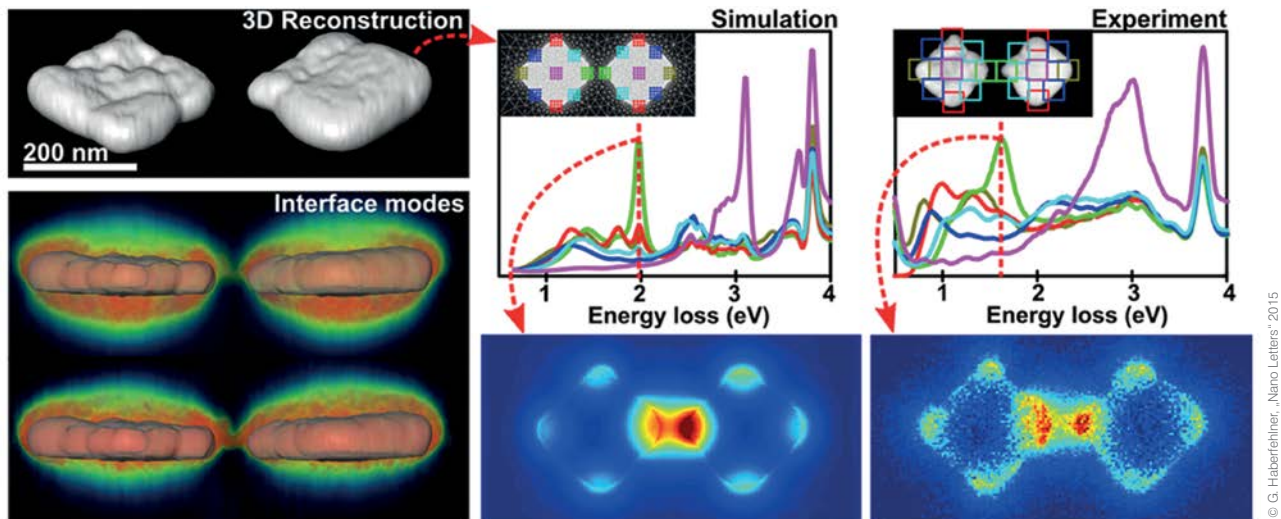
Electron tomography – the third dimension

Three-dimensional diagnostic tools have given insights into the human body, which classical X-ray imaging cannot deliver. In analogy, structural details from a thin and transparent TEM (transmission electron microscopy) specimen sample can also remain obstructed when observed from a single projection only. Approximately 100 years ago, the Viennese Johann Radon laid down the mathematical basis for tomography by showing that a sufficient number of projections taken from different viewing angles enable the three-dimensional reconstruction of an object when subject to an inverse Radon transformation.

Electron tomography in the physical sciences, being experimentally rather challenging, only became popular about 15 years ago. We started our research in this highly dynamic field in 2009. Besides developing new experimental approaches, the workgroup deals with the complex problem of optimizing and adjusting reconstruction algorithms for the respective microscope signals and how to correlate theoretical information with 3D data such that more physically meaningful information can be extracted from the experiment. This shall be exemplified in two co-operation projects with the Institute of Experimental Physics at TU Graz and the Institute of Physics at the University of Graz.

Metallic nanoclusters

A study published in the magazine *Nature Communications* is dealing with the synthesis and characterization of metallic nanoclusters in superfluid Helium. The issues under question were the growth mechanism, and the structure and chemical composition of these clusters. To answer this, our post-doc Georg Haberfehlner first developed a novel acquisition scheme that minimized image noise and scan distortions. Applying different reconstruction algorithms to the optimized projections then enabled the extraction of atomic positions and the chemical make-up from the obtained core-shell object. From the 3D visualization, valuable conclusions about material properties and possible uses could be derived.



erhaltenen Kern-Schalen-Struktur in 3D sichtbar gemacht werden, woraus wiederum Schlüsse auf deren Eigenschaften und mögliche Anwendungen gezogen werden konnten.

Plasmonik

Eine weitere Einsatzmöglichkeit für die Elektronen-tomographie liegt im Forschungsgebiet der Plasmonik. Hier wird Licht an nanometergroße Strukturen (Gold, Silber...) gekoppelt. Abhängig von Größe, Form, Umgebung und Material bilden sich resonant schwingende Elektronenwolken aus, sogenannte Oberflächenplasmonen. Bereits im Mittelalter wurde dieser Effekt unbewusst zur Färbung von Kirchenfenstern eingesetzt, indem man nanometergroße Goldpartikel ins Glas einschmolz. Ein TEM bietet genug Auflösung, um Bilder der Feldverteilung dieser Schwingungen aufzunehmen. Elektronen in der Umgebung der Probe erfahren Energieverluste, die spektroskopisch gemessen werden können. Aus Kippserien kann dann die räumliche und energetische Verteilung von Oberflächenplasmonen rekonstruiert und in Relation zu theoretischen Berechnungen gesetzt werden (publiziert im Magazin „Nano Letters“).

Physikalisch-chemische Materialforschung

Die analytische Elektronenmikroskopie findet ein weites Anwendungsgebiet in der physikalisch-chemischen Materialforschung. Der Vielzahl an Methoden steht ein beträchtlicher apparativer Aufwand gegenüber, der großes Expert/innenwissen, intensiven Austausch mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie eine enge internationale Vernetzung erfordert. Das FELMI-ZFE ist daher in ein europaweites Netzwerkprojekt namens ESTEEM eingebettet, das die Forschungskompetenz der 14 führenden elektronenmikroskopischen Labore in Europa zusammenführt. ■

Plasmonics

Another application for electron tomography lies in the field of plasmonics. Light or electromagnetic radiation is coupled onto nanometer-sized structures (for instance, gold or silver). Depending on shape, size, environment and chemistry of the object, so-called surface plasmons are formed, which are resonances of the metal electrons, responding to the incoming radiation. During the Middle Ages, glass-makers unknowingly used this phenomenon when they produced colored church windows by adding tiny gold particles to the melt. A TEM offers enough spatial and spectral resolution to resolve such modes. Microscope beam electrons, running by these structures in close proximity, loose energy and this can be measured spectroscopically. If this is carried out for each tilt-angle, the full 3D energetic distribution of the modes can be reconstructed and related to theoretical calculations (published in the magazine "Nano Letters").

Physical science research

Analytical electron microscopy is a versatile tool in physical science research and offers many ways to characterize exciting materials. The multitude of possibilities require considerable expenditure on equipment, expertise and intense exchange of knowledge with other scientists at an international level. Consequently, the FELMI-ZFE is embedded into an international consortium of 14 toplevel electron microscopy facilities throughout Europe, called ESTEEM, aiming to aggregate microscopy research know-how. ■

Abbildung 2:
Dreidimensionale
Rekonstruktion und Simulations-
rechnungen der Feldverteilung
von Oberflächenplasmonen in
gekoppelten Silber-Nano-
cuboiden.

Figure 2:
Three-dimensional reconstructions and simulations of localized surface plasmon resonances in coupled silver nano-cuboids.

Human & Biotechnology



Bernd Nidetzky, Leitungsteam FoE
„Human & Biotechnology“

*Bernd Nidetzky, executive team FoE
Human & Biotechnology*



Gernot Müller-Putz, Leitungsteam FoE
„Human & Biotechnology“

*Gernot Müller-Putz, executive team FoE
Human & Biotechnology*

Für das Field of Expertise „Human & Biotechnology“ an der TU Graz bringt die neue Leistungsvereinbarungsperiode erfreuliche Kontinuität, signifikante Chancen und natürlich auch eine Reihe von wichtigen Aufgaben. Grundsätzlich haben sich die FoE gut entwickelt und sind breit anerkannt. Ihre

Bedeutung für unsere Universität ist unbestritten und soll in der Zukunft sogar noch verstärkt werden. Identifikation mit den FoE im Inneren und Erhöhung ihrer Sichtbarkeit nach außen sind daher wesentliche Ziele für

die Entwicklung der kommenden Jahre. Der aus unserer Sicht sehr gelungene neue Webaufttritt stellt hierfür einen ersten wichtigen Schritt dar. Neben allgemeinen Informationen über das FoE werden aktuelle Projekte mit professioneller Unterstützung effektiv ins Rampenlicht gestellt. Wir würden uns daher über Vorschläge aus dem FoE freuen, welche Projekte man als Nächstes vorstellen könnte.

Eine Steigerung der Anzahl der registrierten FoE-Mitglieder und die damit verbundene Erhöhung der Dynamik in personeller und fachlicher Hinsicht sind wichtige weitere Aufgaben des FoE für die Zukunft. Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sollten über das FoE Bescheid wissen und durch ihre Mitgliedschaft im FoE integriert sein. Mit einem eigenen FoE-Tag, geplant für den Herbst 2016, wollen wir unserem FoE „Human & Biotechnology“ eine neue Plattform der Darstellung und des Miteinanders bieten.

Mit der interuniversitären Initiative BioTechMed-Graz bleibt ein zentrales Standortprojekt bestehen, das für das FoE „Human & Biotechnology“ prägende Bedeutung hat. In der Ausrichtung auf Spitzenforschung trägt BioTechMed-Graz auch zu einem der zentralen Ziele unseres FoE bei. Die Verleihung eines ERC Consolidator Grants an Gernot Müller-Putz Ende des vergangenen Jahres ist ein sehr schönes Erfolgsbeispiel.

Das bewährte Instrument der Anschubfinanzierung wird innerhalb des FoE beibehalten. Finanziert durch Rückflüsse aus dem IDB von Projekten, welche fachspezifisch dem FoE zuzuordnen sind, soll die Anschubfinanzierung weiterhin zur Incentivierung von Antragsforschung an der TU Graz dienen. Alle Forscherinnen und Forscher unseres FoE sind aufgefordert, dieses Instrument breit zu nutzen, um die Umsetzung von individuellen und kooperativen Projektideen in konkrete Anträge zu erleichtern.

The new performance agreement term at our university will involve a gratifying continuity for the Field of Expertise Human & Biotechnology. In addition it will bring new opportunities as well as significant tasks and challenges for our FoE. Overall, the development of the FoE has been considered to have been promising in the previous term. The FoE are now widely and well recognized within our university. They play a central role in representing the research of TU Graz, and their role is even expected to gain in importance in the future. To strengthen the identification with the FoE internally and to increase the visibility of the FoE externally constitute important goals of development in our FoE in the next years. The new web appearance of the FoE was very successful in our opinion and it represents a first important step for improving the communication of activities within the FoE. Besides providing general information about the FoE, three projects are introduced effectively in a professional layout. We would be pleased to receive suggestions for new projects that are of interest to be introduced next on the FoE website.

One immediate goal in the FoE Human & Biotechnology will be to increase the number of registered members. This is expected to enhance the dynamics within the FoE regarding both the people and the science performed by them. Researchers at TU Graz should be informed about the FoE and its goals. Membership is one important way of integrating them. By organizing a special event entitled "FoE Day", planned for the fall of 2016, we would like to create an additional platform for researchers in the FoE to meet and discuss.

The inter-university collaboration project BioTechMed-Graz represents an important lead activity for the FoE Human and Biotechnology. In being oriented towards top-class research, BioTechMed-Graz clearly contributes to one of the central aims of our FoE. The award of an ERC Consolidator Grant to Gernot Müller-Putz at the end of the last year represents an important success for our FoE.

The initial funding program was previously well accepted and will therefore be continued. It will be supported from the financial return into the FoE from the "IDB" of projects that are thematically assigned to the FoE. The initial funding should serve as an incentive to promote increased project acquisition activity and is available equally for projects of basic and applied research. We encourage all researchers in the FoE to make use of the initial funding to facilitate the development of project ideas into stand-alone or cooperative project applications.

BCI trifft NeuroIS: Neue Anwendungsfelder für Gehirn-Computer-Schnittstellen

BCI meets NeuroIS: New applications for Brain-Computer Interfaces

Selina C. Wriessnegger

„Neuro Information Systems“ – NeuroIS – ist eine Teildisziplin der Wirtschaftsinformatik, die neurowissenschaftliche Methoden einsetzt, um das menschliche Verhalten bei der Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) zu beschreiben.

Dies wurde bislang hauptsächlich mittels Befragung oder Beobachtung erforscht. Da insbesondere Befragungsdaten erheblichen Verzerrungen unterliegen können, ist der komplementäre Einsatz neurowissenschaftlicher Methoden vorteilhaft. Im Speziellen ist eine Gehirn-Computer-Schnittstelle eine vielversprechende Methode, die Gehirnaktivität direkt zu messen und zu klassifizieren. Ein Forschungsschwerpunkt am Institut für Neurotechnologie widmet sich der Anwendbarkeit von Gehirn-Computer-Schnittstellen auf spezielle Konstrukte der NeuroIS-Forschung, wie zum Beispiel (un-)bewusste Entscheidungen und Technostress.

Klassifikation (un-)bewusster Entscheidungen

Eine klassische Gehirn-Computer-Schnittstelle stellt eine Verbindung zwischen Gehirn und Computer dar und erzeugt durch Messung von Gehirnströmen Steuersignale, die nur durch mentale Vorstellung beeinflusst werden können. In den letzten zehn Jahren sind diese Systeme auch für andere Forschungsrichtungen interessant geworden. Vor allem passive Gehirn-Computer-Schnittstellen, bei denen die Gehirnaktivierung von der Maschine kontinuierlich analysiert wird, gewinnen zunehmend an Attraktivität. So werden momentane Aufmerksamkeitszustände oder kognitive Belastungen der Nutzer anhand ihrer Gehirnaktivität aufgezeichnet und in Echtzeit rückgemeldet. Diese Funktionalität könnte genutzt werden, um Benutzeroberflächen in Echtzeit immer wieder iterativ an die individuellen Nutzerinnen und Nutzer anzupassen, um zu einer deutlichen Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion beizutragen. In den letzten Jahren zeigte sich auch im Bereich Marketing ein zunehmendes Interesse an derartigen Systemen, da Personen >

Neuro-information systems (NeuroIS) investigates the neuro-physiological foundations related to the design, use and impact of information and communication technology (ICT).

A major advantage of NeuroIS research is its ability to examine human behaviour at the underlying neuro-physiological level reducing self-reporting biases in survey research. It specifically deals with designing and deploying IT tools, technology adoption and use, human-computer-interaction and decision-making. For this purpose EEG-based BCI technology is a very promising tool since it enables the use of brain signals related to human behaviour without relying on indirect measures based on observation or other physiological signals. A research focus at the Institute of Neural Engineering is dedicated to the applicability of brain-computer interfaces and especially constructs of neuroIS research, such as (un)conscious decision-making and technostress.

Classification of (un)conscious decision-making

A brain-computer interface (BCI) translates physiological brain signals into an output that reflects the user's intent, providing users with a new, non-muscular channel for communication and control. In the last ten years BCI technology has become more interesting for a broader community of researchers, especially the passive BCIs. A passive BCI is a system that derives its outputs from arbitrary brain activity arising without the purpose of voluntary control, for enriching a human-machine interaction with implicit information on the actual user state. Additionally, in recent years marketing researchers have also been interested in using brain imaging tools instead of simply asking persons about their preferences. This arises from the assumption that people often cannot fully explain their preference when explicitly asked, and for this reason neuro-imaging tools are used to assess information about the consumer's brain. EEG in particular may provide hidden information about the consumer >

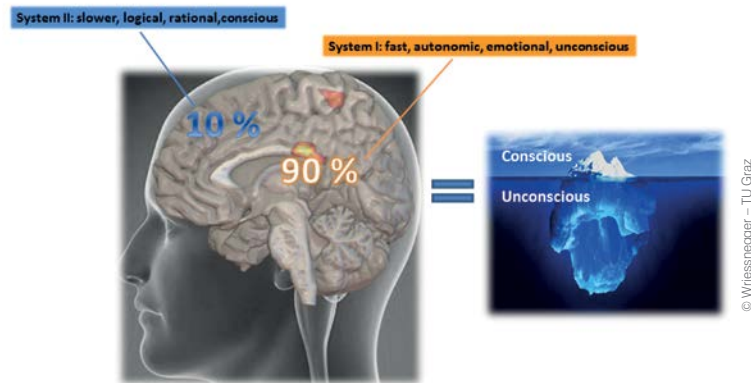


Selina C. Wriessnegger arbeitet am Institut für Neurotechnologie. Mittels verschiedener neurowissenschaftlicher Methoden (EEG, fMRT, fNIRS) untersucht sie die neuronalen Korrelate der Bewegungsvorstellung zur Verbesserung mentaler Strategien von Gehirn-Computer-Schnittstellen sowie deren Einsatz in neuen Anwendungsfeldern wie z.B. Neuro Information Systems (NeuroIS).

Selina C. Wriessnegger is with the Institute of Neural Engineering. Using different neuroscientific methods (EEG, fMRI, fNIRS) she investigates the neural correlates of motor imagery improving mental strategies for Brain-Computer Interfaces and their application in new fields like neuro-information systems (NeuroIS).

Abbildung 1:
Entscheidungsfindung und das
Eisberg-Konzept.

Figure 1:
Decision making systems and the
Iceberg Concept.



meist nicht in der Lage sind, eine Entscheidung vollständig zu erklären, wenn man sie direkt danach fragt. Aus diesem Grund werden verstärkt neurowissenschaftliche Methoden wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) oder Elektroenzephalographie (EEG) eingesetzt, um unbewusste Prozesse in der Entscheidungsfindung zu entdecken. Es gibt eine Reihe von Studien, die zeigen konnten, dass Entscheidungen bereits Sekunden vor deren bewusstem Erleben getroffen werden.

Um dies zu untersuchen, ist vor allem ein passives BCI-System eine geeignete Methode – was wir in mehreren EEG-Studien bereits nachweisen konnten. Wir haben bei Personen die unterschiedlichen Aktivierungsmuster bei der Betrachtung verschiedener Autodesigns aufgezeichnet und klassifiziert (Abb. 2). Nach entsprechender Datenanalyse zeigte sich ein signifikanter Unterschied in den frühen ereigniskorrelierten Potenzialen (<250 ms) zwischen dem Autodesign, das den Teilnehmerinnen und Teilnehmern am besten gefiel, und allen anderen. Das heißt, wir konnten, ohne die Teilnehmenden direkt zu fragen, bereits in der Analyse ihrer Gehirnsignale eine Unterscheidung zwischen favorisiertem Autodesign und allen anderen machen. Diese Anwendung einer Gehirn-Computer-Schnittstelle könnte vor allem auch im Neuromarketing interessant sein, um unbewusste neuronale Prozesse der Präferenzen von Konsumentinnen und Konsumenten oder Produktgestaltungsprinzipien zu untersuchen.

Reduktion von Technostress

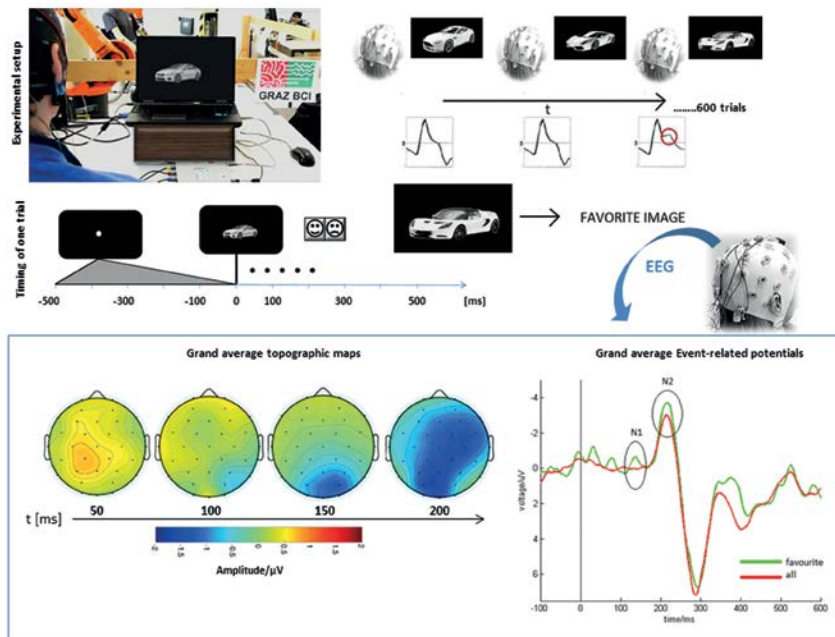
Ein weiterer neuer Anwendungsbereich der sogenannten passiven Gehirn-Computer-Schnittstellen ist deren Einsatz zur Reduktion von Technostress. Unter Technostress versteht man ein Phänomen, das durch die direkte Interaktion mit fehlerhafter ICT entsteht. Zum Beispiel verursacht ein Textverarbeitungsprogramm, das ständig abstürzt, deutlichen Stress bei den Anwenderinnen

experience and decision-making which is mediated by thought processes that occur “below the surface” (Fig. 1). From several neuroscience studies we know that like/dislike decisions are made seconds before we are really aware of them. That is, milliseconds before we make a conscious choice about a product, we have already made it unconsciously.

In our studies we investigated the decisions of people regarding the design of different cars (Fig. 2). A sample of different cars was presented for just 100 ms on a computer screen. The task of the participants was to carefully watch them and count silently whenever their previously selected favourite car was presented. After pre-processing and analysis of the data we were able to isolate a specific waveform in the EEG which only reflects the neural response to the favourite car. That is, without asking the participants about their favourite choice we already know it milliseconds after its presentation just by analysing their brain activity. This application could be very interesting in the field of neuromarketing identifying consumer’s unconscious needs and could thus create more attractive packaging, pricing decisions and product designs.

Reduction of technostress

Another novel application of BCI technology is related to “technostress”. Technostress is a phenomenon that can for example arise from direct human interaction with malfunctioning information and communication technology (ICT). Most of the studies investigating the effects of technostress have used biological measures namely electromyogram (EMG), heart rate variability (HRV) and electrodermal activity (EDA). In a future project of our lab we will additionally use electroencephalography (EEG) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) to investigate the neural correlates of technostress (Fig.3). We will develop an online EEG-based BCI system which will be applied to reduce technostress.



© Wriessneggner – TU Graz

Abbildung 2:

Oben: Aufbau und Timing eines Experiments. Unten: Durchschnittliche Aktivität im Gehirn bei der Betrachtung des Lieblingsautos. Links: Topografische Karte der erhöhten Gehirnaktivität (in Blau) nach Präsentation des Stimulus. Rechts: Frühe, auf das Ereignis bezogene Potenziale zwischen 130 und 230 ms zeigen das unbewusste Verarbeiten visueller Information bei der Betrachtung des Lieblingsautos.

Figure 2:

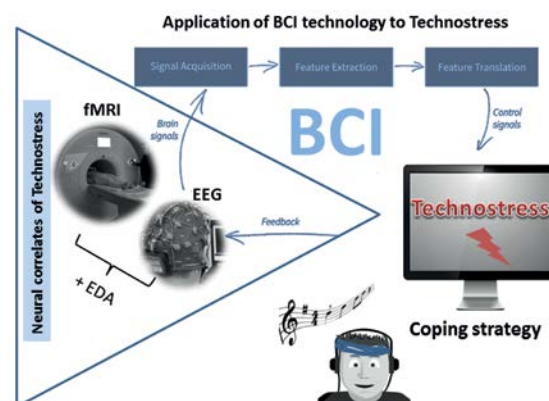
Top: Overview of experimental setup and timing of one trial. Bottom: Grand average results of the brain activity elicited by the favourite car image. Left: Topographic maps showing increased activity (indicated in blue) after stimulus presentation. Right: Early event-related potentials between 130 ms and 230 ms reflecting unconscious visual information processing of the favourite car image.

und Anwenden. In der Vergangenheit wurden die Auswirkungen von Technostress vor allem mittels Muskelspannung, Hautleitfähigkeit und Herzratenvariabilität untersucht. In einem zukünftigen Projekt werden wir zusätzlich zur Messung der Hautleitfähigkeit auch das EEG und fMRT aufzeichnen. Ziel ist es, die Gehirnaktivität bei Technostress zu untersuchen und über eine Gehirn-Computer-Schnittstelle geeignete Bewältigungsstrategien (zum Beispiel Abspielen der Lieblingsmusik) zu starten, sobald ein erhöhter Stresslevel detektiert wird (Abb. 3). Durch dieses Neurofeedback werden selbstregulierende Mechanismen gestartet, die augenblicklich eine Reduktion des Stresslevels zur Folge haben. Da laut Statistik arbeitsbedingter Stress am häufigsten zu Erkrankungen führt, könnte diese Gehirn-Computer-Schnittstelle wesentlich zum Wohlbefinden der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer beitragen.

The BCI system continuously records the user's EEG and if the stress level of the person is high, the system detects this and starts with a certain coping strategy (e.g. favourite music, mental imagery). The reduction of stress by self-regulating mechanisms due to neurofeedback may increase human well-being in working situations. Statistics on work stress show that the costs to the health care system are immense and that "work-related stress" is among the most commonly reported causes of illness by workers. Against this background, it is essential that future studies seek to specify the costs and underlying cortical mechanisms of technostress to find solutions to cope with it.

"BCI meets NeuroIS" is a close cooperation with the University of Applied Sciences Upper Austria, Institute of Business Informatics, which has been running for many years. ■

Im Sinne von „BCI trifft NeuroIS“ wird dieses Projekt in Kooperation mit dem Institut für Wirtschaftsinformatik an der FH Oberösterreich durchgeführt. ■



© Wriessneggner – TU Graz

Abbildung 3:

Schematischer Überblick über die zukünftigen Anwendungen von BCI zur Reduktion von Technostress.

Figure 3:

Schematic overview of the future application of BCI technology to reduce technostress.

Information, Communication & Computing



Oswin Aichholzer, Leitungsteam FoE
„Information, Communication & Computing“
*Oswin Aichholzer, executive team FoE
Information, Communication & Computing*



Mihyun Kang, Leitungsteam FoE
„Information, Communication & Computing“
*Mihyun Kang, executive team FoE
Information, Communication & Computing*



Kay Uwe Römer, Leitungsteam FoE
„Information, Communication & Computing“
*Kay Uwe Römer, executive team FoE
Information, Communication & Computing*

Mit Oswin Aichholzer (Institut für Softwaretechnologie), Mihyun Kang (Institut für Diskrete Mathematik) und Kay Römer (Institut für Technische Informatik) hat das FoE „Information, Communication & Computing“ seit Jänner 2016 ein neues Leitungsteam. Unser Ziel ist es, die erfolgreiche

Arbeit unserer Vorgänger (Dank an Johannes Wallner und Gernot Kubin) nicht nur fortzuführen, sondern das FoE „Information, Communication & Computing“ weiterzuentwickeln und noch nutzbringender und sichtbarer zu machen. So haben wir vor, die FoE-Treffen mit einem

Kolloquium zu verknüpfen, bei dem hochkarätige Vortragende thematische Brücken zwischen den FoE-Fachrichtungen schlagen. Weiters wollen wir die Forschung im FoE einmal jährlich unseren Partnerinnen und Partnern und der Öffentlichkeit im Rahmen eines FoE-Tages vorstellen. Dabei sollen gerade die jüngeren Kolleginnen und Kollegen in den Mittelpunkt gerückt werden, sodass sie neben der Vorstellung ihrer Forschungsthemen auch wichtige Kontakte knüpfen können. Dass ein großes Interesse an den Themen des FoE „Information, Communication & Computing“ existiert, hat die gemeinsame Veranstaltung mit dem Forum Technik und Gesellschaft unter dem Motto „Cyber-Physical Systems“ am 8. März 2016 gezeigt, bei der mehr als 100 Teilnehmende die Diskussion mit FoE- und Firmenvertreterinnen und -vertretern über das offizielle Ende der Veranstaltung hinaus noch bis in den späten Abend weitergeführt hätten, wäre da nicht das Buffet gewesen ...

Als ein bewährtes Erfolgsmodell soll die Anschubfinanzierung für Forschungsprojekte weitergeführt werden. Hier wurden in den vergangenen drei Jahren 24 Projekte mit einem Gesamtvolumen von 186.479 Euro genehmigt. Getreu dem FoE-Motto der interdisziplinären Vernetzung möchten wir in Zukunft besonders Anträge fördern, an denen mehrere Institute des FoE „Information, Communication & Computing“ oder internationale Partnerinnen und Partner beteiligt sind. Auch unsere sehr erfreuliche „Erbschaft“ in Form der FoE-Professur „Computational Topology and Geometry“ und des LEAD-Projektes „Verlässlichkeit im Internet der Dinge“ soll als Kristallisationspunkt für weitere interdisziplinäre Aktivitäten dienen.

Es freut uns besonders, dass in dieser Ausgabe zwei ausgezeichnete junge Kollegen ihre Arbeit vorstellen. Zum einen präsentiert Thomas Pock (Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen) seine mit einem ERC Starting Grant gekrönte Arbeit im Bereich der Bildverarbeitung, zum anderen stellt Carlo Alberto Boano (Institut für Technische Informatik) seine Sub-auspiciis-praesidentis-Promotion im Bereich Internet der Dinge vor.

With Oswin Aichholzer (Institute of Software Technology), Mihyun Kang (Institute of Discrete Mathematics) und Kay Römer (Institute of Technical Informatics), the FoE Information, Communication & Computing has had a new executive team since January 2016. Our goal is not only to continue the successful work of our predecessors (many thanks to Johannes Wallner and Gernot Kubin), but to further develop the FoE Information, Communication & Computing and make it even more beneficial and visible. To this end, we will combine the FoE meetings with a colloquium where distinguished speakers will build bridges between the different FoE topics. We will also be presenting FoE research to our partners and the public during an annual FoE Day, where younger colleagues not only present their work, but also network with peers. The significant interest in FoE research was evident during a joint event with Technology and Society Forum on 8 March entitled "Cyber-physical systems", where more than 100 participants would have continued the discussion with FoE and industry representatives until late into the night, but were stopped by the buffet.

We would like to continue the initial funding programme, which has proved a great success. During the past three years, 24 projects were funded to a total amount of 186,479 euros. True to the FoE slogan of interdisciplinary collaboration, we will especially support applications involving more than one FoE institute or international partners. Also our great "heritage" in the form of the FoE professorship Computational Topology and Geometry as well as the lead project "Dependable Internet of Things in Adverse Environments" will act as seeds for further interdisciplinary collaborations in the FoE.

We are delighted that two award-winning young colleagues are presenting their labours in this issue. Firstly, Thomas Pock (Institute of Computer Graphics and Vision) will present his work in the field of image processing, which was awarded an ERC Starting Grant. Secondly, Carlo Boano (Institute of Technical Informatics) will present his doctoral thesis Sub Auspiciis Presidentis in the field of the Internet of Things.

Zuverlässige Drahtloskommunikation im Internet der Dinge

Dependable wireless communications in the Internet of Things

Carlo Alberto Boano

Die Temperatur hat einen starken Einfluss auf den Betrieb aller elektrischen und elektronischen Komponenten. Unter anderem können Temperaturschwankungen die Effizienz von Low-Power-Funkmodulen beeinflussen und die drahtlose Konnektivität beeinträchtigen. Ein tiefes Verständnis dieses Einflusses ist notwendig, um Lösungen zu erarbeiten, die die Zuverlässigkeit der Kommunikation zwischen drahtlosen Geräten im Internet der Dinge erhöhen können.

Netzwerke von batteriebetriebenen Funksensoren in intelligenten Objekten sind ein integraler Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden und werden in der Zukunft in Anwendungsbereichen mit strengen Anforderungen an die Zuverlässigkeit, wie der intelligenten Produktion (Industrie 4.0), den Smart Cities oder vernetzten Autos, eingesetzt werden. Um diese attraktiven Anwendungen zu ermöglichen, muss die Störanfälligkeit von eingebetteten Funkgeräten beseitigt werden.

Tatsächlich spielt häufig die Umgebung, in die drahtlose Sensornetze eingebettet werden, eine entscheidende Rolle, insbesondere hinsichtlich der Zuverlässigkeit ihrer Kommunikation. Ein Beispiel für solche Umgebungseinflüsse sind Temperaturschwankungen. Neben dem Einfluss auf die Taktzeiten und die Kapazität der Batterien (die zu einem Verlust der zeitlichen Synchronisation und zu Stromausfällen führen können) können Temperaturschwankungen insbesondere die Effizienz von batteriebetriebenen Funkmodulen drastisch reduzieren und eine Verringerung der Qualität der drahtlosen Verbindung verursachen. Dies kann die drahtlose Verbindung zwischen Geräten stark beeinträchtigen.

Fallstudie

In unserer Arbeit haben wir gezeigt, dass schon die täglichen Temperaturschwankungen, die häufig im Freien auftreten, die Konnektivität in einem drahtlosen Netzwerk beeinträchtigen können. Im Rahmen des EU-Projekts RELYonIT haben wir einen >

Temperature has a strong impact on the operations of all electric and electronic components. Among other things, temperature variations may affect the efficiency of low-power radios and compromise wireless connectivity between devices. Shedding light on this impact is essential to derive solutions that can increase the dependability of communications between wireless devices in the Internet of Things.

Networks of low-power wireless sensors and smart objects are becoming an integral part of our daily lives and are envisioned to be soon employed in application domains imposing strict dependability requirements on network performance, such as smart production (Industry 4.0), smart cities, or connected cars. An essential challenge that needs to be solved in order to enable these attractive applications is the vulnerability of embedded wireless devices to the surrounding environment.

The environment in which wireless sensor nodes are embedded, indeed, often plays a critical role for their performance, especially with respect to the dependability of their communications. An example of environmental impact is temperature variation. Besides affecting the speed of clocks and the capacity of batteries (potentially causing loss of synchronization and early power outages), temperature variations may also drastically decrease the efficiency of low-power radios and cause a degradation in the wireless link quality that compromises the wireless connectivity among devices.

Case study

We have shown in our recent work that even the daily temperature fluctuations commonly found outdoors may compromise the connectivity in a wireless network. In the context of the EU-project "RELYonIT" we carried out a pilot outdoor deployment of a wireless sensor network near Madrid, Spain, in order to monitor how well the insulating materials used for the construction of buildings reduce >



Carlo Alberto Boano ist seit Juli 2015 Assistenzprofessor am Institut für Technische Informatik. Hauptthema seiner Forschung ist der Entwurf von zuverlässigen vernetzten, eingebetteten Systemen, mit Schwerpunkt auf Energieeffizienz und Robustheit von drahtlosen Kommunikationsprotokollen.

Carlo Alberto Boano has been an assistant professor at the Institute of Technical Informatics since July 2015. His research focus is on the design of dependable, networked, systems, with emphasis on the energy efficiency and reliability of low-power wireless communications protocols.

Feldversuch in der Nähe von Madrid, Spanien, durchgeführt, um mit einem drahtlosen Sensornetz zu überwachen, wie gut die Baumaterialien die Wärmeübertragung reduzieren. Wie Abbildung 1 zeigt, wurden drahtlose Sensorknoten an den Gebäudefassaden installiert und damit dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Trotz der Einhaltung des letzten Stands der Technik erwies sich die gesamte Kommunikationsleistung als sehr unzureichend, mit dem Empfang von nur 61 Prozent der gesendeten Nachrichten. Das Netzwerk arbeitete während der Nacht allerdings problemlos. Lediglich tagsüber, genauer gesagt, wenn die Temperatur der Sensorknoten Werte über 60 °C als Folge der Sonneneinstrahlung erreichte, wurden die meisten Nachrichten nicht mehr empfangen.

Abbildung 1:
Testgebäude in Madrid und
verwendete drahtlose Sensorknoten.

Figure 1:
Buildings in Madrid's test facility and
wireless sensor node used in our
pilot deployment.



Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen der gemessenen Temperatur der Sensorknoten und der Paketempfangsrate: Während des Tages, durch die Erhöhung der Temperatur der Knoten aufgrund der normalen Sonneneinstrahlung, bricht die Verbindung (die während der Nacht perfekt funktioniert) völlig zusammen.

Diese Anfälligkeit auf Temperaturschwankungen kann wesentlich die Entwicklung von Internet-of-Things-Systemen beeinflussen: Wie sollen Entwickler/innen mit dem Internet der Dinge intelligente Städte realisieren, wenn Parkplatzbelegungs- und Schadstoffkonzentrationssensoren nicht in der Lage sind, während der heißesten Zeit des Tages zu kommunizieren?

Unsere Strategie zur Lösung dieses Problems ist die Analyse der Temperatureinflüsse auf der Hardware-Plattform, um dann genaue Modelle zu entwickeln, die vorhersagen, wie das verwendete Kommunikationsprotokoll betroffen ist.

heat transfer. Wireless sensor nodes were installed on the building façades and exposed to direct sunshine, as shown in Figure 1. Despite using state-of-the-art communication protocols, the overall communication performance turned out to be highly insufficient, with only 61 percent of the packets sent in the network being actually received. The network, however, operated flawlessly during nighttime. It was only during daytime, and more precisely, once the on-board temperature of the sensor nodes reached values higher than 60°C as a result of sun exposure that most of the packets were not received.

Figure 2 shows the relationship between the recorded on-board temperature of the nodes and the packet reception rate: during daytime, the increase in on-board temperature caused by normal exposure to sunshine completely breaks what is a perfect wireless link during nighttime.

This vulnerability to temperature variations can significantly affect the design of Internet of Things applications: how can developers create smart city solutions if they know that parking spots occupancy and pollution concentration sensors may not be able to communicate during the hottest times of the day?

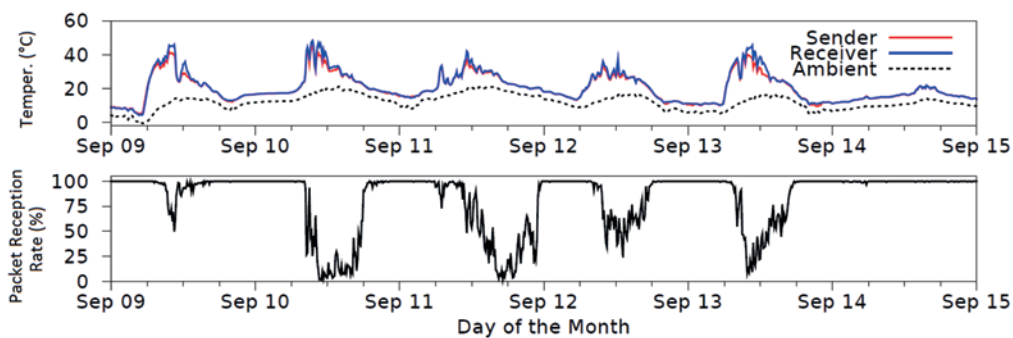
Our strategy to provide solutions to this problem is to first obtain a deeper understanding of the impact of temperature on the hardware platform in use and to then devise accurate models that can anticipate how the employed communication protocol is in turn going to be affected.

Customized testbeds

To systematically study the performance of wirelessly networked embedded devices as a function of temperature variations, we have designed a testbed infrastructure that is able to reproduce the same on-board temperature profiles encountered in the real-world directly on the wireless devices hardware. Such testbed infrastructure, based on remotely controlled, infrared heating lamps placed on top of tens of wireless sensor nodes (see Figure 3) allows experiments to be rerun under identical environmental conditions and shortcomings of state-of-the-art communication protocols to be revealed and debugged.

Compensating for the impact of temperature

We are using this testbed facility to benchmark different wireless transceivers embedded in common IoT devices and to devise accurate mod-



© Carlo Alberto Boano

Abbildung 2:
Hohe Temperaturen haben einen negativen Einfluss auf die Paketempfangsrate von batteriebetriebenen Funkgeräten.

Figure 2:
High temperature has a strong negative effect on the packet reception rate of low-power wireless devices.

Neue Testumgebungen

Um systematisch die Leistung von drahtlos vernetzten, eingebetteten Geräten in Abhängigkeit von Temperaturschwankungen zu untersuchen, haben wir eine neue Testumgebung entwickelt, die den Temperaturverlauf drahtloser Geräte in der realen Welt im Labor exakt reproduzieren kann. Eine solche Testumgebung, die mithilfe von ferngesteuerten Infrarotwärmelampen am Institut für Technische Informatik aufgebaut wurde (wie in der Abb. 3 gezeigt), erlaubt das wiederholte Durchführen von Experimenten unter identischen Umgebungseinflüssen, um die Schwächen von etablierten Kommunikationsprotokollen aufzuzeigen und zu beheben.

Kompensation der Temperatur-Auswirkungen

Wir nutzen die Testumgebung, um verschiedene drahtlose Funkmodule zu bewerten und um genaue Modelle über die Auswirkungen der Temperatur auf eine spezifische Hardwareplattform zu entwickeln. Für die meisten batteriebetriebenen Funkmodule kann die Verschlechterung der Verbindungsqualität in Abhängigkeit von Temperaturschwankungen auf eine Dämpfung der Signalstärke im Verstärker des Empfangszweigs beziehungsweise des Sendezweigs zurückgeführt werden.

Ein einfaches lineares Modell, das durch Laborexperimente parametrisiert wird, kann zur Erweiterung und Rekonfiguration der Kommunikationsprotokolle verwendet werden, sodass sie jeden durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Fehler kompensieren können. Mit der Kenntnis über die Temperaturänderungen an den Nachbarknoten kann jeder drahtlose Sensorknoten autonom die Temperatureinflüsse auf die Kommunikationsleistung vorhersagen und Protokollparameter wie den Clear-Channel-Assessment(CCA)-Schwellenwert so einstellen, dass Störungen kompensiert werden. Dies ermöglicht eine Verbesserung der Zuverlässigkeit von drahtlosen Funkverbindungen und die Kompensation von Umwelteinflüssen durch intelligente, adaptive Kommunikationsprotokolle. ■

els capturing the impact of temperature on each specific hardware platform. In most low-power radios, for example, the degradation in link quality as a function of temperature is due to the signal strength attenuation at the low-noise amplifier during reception and at the power amplifier during transmission.

A simple linear model parametrized through lab experiments can be used to extend and correct communication protocols such that they can anticipate any fault introduced by temperature variations. With knowledge of the node temperature changes in the neighborhood, wireless sensor nodes can autonomously predict the impact that temperature can have on communication performance and compensate for it by adjusting protocol parameters such as the clear channel assessment threshold. In this way, we can significantly increase the dependability of low-power wireless communications and seamlessly mitigate the environmental impact by means of adaptive communication protocols. ■



© Carlo Alberto Boano

Abbildung 3:
Heizlampe in unserer Testumgebung, um drahtlose Sensorknoten zu erhitzen.

Figure 3:
Heating lamp used to heat wireless sensor nodes in our testbed infrastructure.

Mobility & Production

Neben den zahlreichen Forschungsaktivitäten gibt es aktuell auch eine organisatorische Änderung, über die zu berichten ist: Nach dem Auslauf der ersten Funktionsperiode aller FoE-Leitungsteams setzt sich das Leitungsgremium des Field of Expertise „Mobility & Production“ mit Wirkung vom 1. Jänner 2016 neu zusammen.

Für die an Umfang und Bedeutung zunehmenden Produktionsthemen wird zusätzlich Franz Haas (Institut für Fertigungstechnik) eine stellvertretende FoE-Leitungsrolle übernehmen.

Anstelle des bisherigen stellvertretenden Leiters Matthäus Siebenhofer (Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik) nimmt Viktor Hacker (Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik) diese Funktion ein. Die FoE-Leitung wird weiterhin von Helmut Eichlseder (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik) wahrgenommen.

Nachdem im letzten TU Graz research bereits über die Besetzung der Stiftungsprofessur „Advanced Manufacturing“ mit Rudolf Pichler berichtet worden ist, läuft derzeit ein Berufungsverfahren zu einer weiteren Stiftungsprofessur „Innovative Werkstoffe und Fertigungstechniken mit Schwerpunkt Luftfahrt“. Das Ende der Bewerbungsfrist war bereits im Mai, eine frühestmögliche Besetzung ist Anfang nächsten Jahres vorgesehen.

Aus unserer Sicht ist es sehr erfreulich, dass die Anschubfinanzierung auch weiterhin gesichert ist. Diese Erfolgsgeschichte geht mittlerweile in die sechste Runde und kommt vorzugsweise Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie institutsübergreifenden Projekten zugute. Die Ausschreibungsfrist endete ebenfalls bereits im Mai. Bei den bisher fünf Ausschreibungsrunden konnten insgesamt 24 Projektanträge gefördert werden. Von den 18 bisher eingereichten Anträgen führten sechs unmittelbar zu größeren Förderprojekten (Gesamtsumme 1,26 Millionen Euro), drei Anträge sind noch in Begutachtung.

Ein sehr gutes Beispiel für die Aktivitäten innerhalb des Field of Expertise „Mobility & Production“ ist der folgende Beitrag von Alexander Schenk: Er beschreibt grundlegende Untersuchungen zur Polymerelektrolytbrennstoffzelle, die emissionsfreie, effiziente und nachhaltige elektrische Energieerzeugung sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen ermöglicht.

A part from the numerous research activities, there is also an organisational change. After the first term of all the FoE executive teams came to an end, a new executive team of the FoE Mobility & Production was installed as of 1 January 2016. For production topics, increasingly rising in extent and importance, Franz Haas (Institute of Production Engineering) will take over as new FoE deputy head. Instead of the previous deputy head Matthäus Siebenhofer (Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology), Viktor Hacker (Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology) will assume this function. Helmut Eichlseder (Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics) will carry on leading the FoE Mobility & Production.

Having already informed you in the last issue of TU research about the endowed professorship Advanced Manufacturing being filled by Rudolf Pichler, an announcement procedure for a further endowed professorship – Innovative Materials and Fabrication Technologies for Aviation – is currently being carried out. The application deadline ended in May and the earliest possible occupation date will be the beginning of 2017.

From our point of view, it is remarkable and encouraging that start-up financing will continue. This success story is already in its sixth round and is mainly aimed at junior scientists and cross-institutional projects. The present tender procedure also ended in May. In the preceding tendering procedures, 24 project applications could be supported and six out of 18 submitted proposals led directly to larger research projects (in sum 1.26 million euros). Three project applications are still being assessed.

A very good example of the activities carried out in the FoE Mobility & Production is the contribution of Alexander Schenk. He describes fundamental investigations for the polymer electrolyte fuel cell, enabling emission-free, efficient and sustainable electric energy production for mobile as well as stationary applications.



Helmut Eichlseder, Leitungsteam FoE
„Mobility & Production“
*Helmut Eichlseder, executive team FoE
Mobility & Production*



Franz Haas, Leitungsteam FoE
„Mobility & Production“
*Franz Haas, executive team FoE
Mobility & Production*



Viktor Hacker, Leitungsteam FoE
„Mobility & Production“
*Viktor Hacker, executive team FoE
Mobility & Production*

Von nanostrukturierten Materialien zur wirtschaftlichen Brennstoffzelle

Nanostructured materials for economic fuel cells

Alexander Schenk

Zur effizienten und emissionsarmen Umwandlung von chemischer in elektrische Energie mit Brennstoffzellen bedarf es langlebiger, korrosionsbeständiger und elektrochemisch hochaktiver Materialien. Die gegenwärtig verwendeten platinbasierten Katalysatorsysteme werden zur Kostenminimierung mit Übergangsmetallen kombiniert. Diese Herangehensweise ermöglicht die Steigerung der katalytischen Aktivität und damit die Stromproduktion, bezogen auf die eingesetzte Menge an Platin.

Um die Energieversorgung trotz begrenzter Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe und gleichzeitiger verbindlicher umweltpolitischer Vorgaben zur Reduktion von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen auch in Zukunft sicherzustellen, bedarf es neuer Technologien zur Steigerung der Effizienz der Energieumwandlung. Die Polymerelektrolytbrennstoffzelle ermöglicht die emissionsfreie, effiziente und nachhaltige elektrische Energieerzeugung für mobile, portable und stationäre Anwendungen. Zur Beschleunigung der Markteinführung und zur Ressourcenschonung stehen neue, kostengünstige Katalysatorsysteme für Brennstoffzellen im Fokus der Entwicklung.

Die Polymerelektrolytbrennstoffzelle

Brennstoffzellen gehören zu den galvanischen Zellen und sind vom Prinzip her ähnlich den Batterien aufgebaut: Zwei Elektroden (Anode, Kathode) sind durch den Elektrolyt getrennt. Der Elektrolyt leitet Ionen, aber keinen elektrischen Strom. An der Anode wird der Brennstoff, zum Beispiel Wasserstoff (H_2), umgesetzt und bildet in der Katalysatorschicht das protonierte Wassermolekül Oxonium (H_3O^+ , gebräuchlich: H^+) und Elektronen. Die Elektronen (e^-) fließen über den äußeren Stromkreis und treiben dort den elektrischen Verbraucher an. Die Ionen wandern durch den Elektrolyten und reagieren an der Kathode mit Elektronen und Luftsauerstoff (O_2) zu Wasser (H_2O) als Reaktionsprodukt. >

The direct and efficient conversion of chemically stored energy into electrical energy using fuel cells requires durable, corrosion-resistant and electrochemically highly active materials. State-of-the-art platinum catalysts are combined with other transition metals in order to decrease material costs. This approach enhances the catalytic activity and thus increases the output of electrical energy based on the amount of platinum used.

Limited availability of fossil fuels and binding environmental requirements for the reduction of pollutants and greenhouse gases are key issues in today's energy supplying industries. To ensure a continuous power supply in the future, it is necessary to increase the efficiency of energy conversion, distribution and usage. The polymer electrolyte fuel cell enables the emission-free, efficient and sustainable production of electrical power for mobile, portable and stationary applications. For the widespread uptake of fuel cell technology and the conservation of resources at the same time, major efforts are devoted to the development of novel and cost-efficient catalyst systems.

The polymer electrolyte fuel cell

Fuel cells are galvanic cells and in their principle comparable to batteries: two electrodes (anode, cathode) are separated by an electrolyte. The electrolyte conducts ions but is an electric insulator. Within a polymer electrolyte fuel cell, the fuel e.g. hydrogen (H_2) is supplied to the cell on the anode, where it forms oxonium cations (H_3O^+ , usually denoted as H^+) and electrons in the catalyst layer. The electrons are transported through an external circuit and utilized to power an external load. The oxonium ions migrate through the electrolyte and react at the cathode with electrons from the external circuit and oxygen (O_2) from ambient air. The only reaction product is water (H_2O). >



Alexander Schenk ist Postdoc am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik. Seit 2015 leitet er im Brennstoffzellenlabor das Projekt MEA Power zur Reduktion der Platinbeladung in Brennstoffzellen für die kombinierte Strom- und Wärmegegewinnung.

Alexander Schenk is post-doctoral researcher and member of the Fuel Cell Systems Laboratory at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology. Since 2015, he has directed the FFG-funded project MEA Power to reduce the platinum loading in fuel-cell based combined heat and power production.

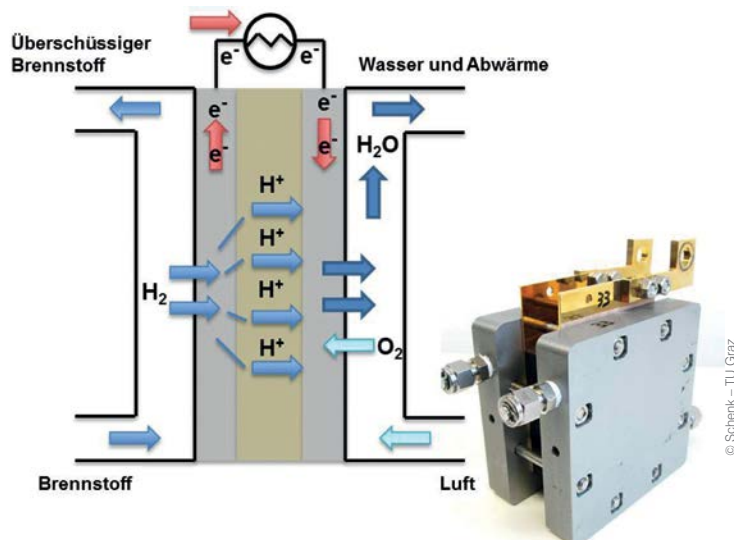


Abbildung 1:
Das Funktionsprinzip
einer Polymerenlektrolytbrenn-
stoffzelle.
Figure 1:
The principle of the polymer
electrolyte fuel cell.

Die Sauerstoffreduktionsreaktion

Die derzeit eingesetzten platinbasierten Nano-Katalysatoren erzielen außerordentlich hohe Reaktionsraten zur Wasserstoffoxidation an der Anode in der Brennstoffzelle. Die deutlich niedrigere Reaktionskinetik der Sauerstoffreduktion an der Kathode limitiert sowohl die Leistungsdichte als auch den Umwandlungswirkungsgrad. Um die Sauerstoffreduktionskinetik an die Wasserstoffoxidation anzupassen, werden an der Kathode derzeit bis zu 10-fach höhere Mengen an Platin-Katalysatoren eingesetzt. Der Großteil der Kosten der Brennstoffzelle entfallen dadurch auf den Kathodenkatalysator.

Die Entwicklung neuer Katalysatorsysteme für Brennstoffzellen erfolgt unter den Randbedingungen der ausreichenden Verfügbarkeit, hoher Aktivität unter den korrosiven und oxidierenden Bedingungen an der Kathode, langer Lebensdauer und guter Skalierbarkeit der Produktionsmethoden. Zur Wahl der geeigneten Materialien bedarf es jedoch des Verständnisses der fundamentalen Vorgänge an der Platinoberfläche der eingesetzten Nano-Katalysatoren während der Sauerstoffreduktion, des Einflusses der Katalysatorstruktur und des Verständnisses unterschiedlicher Fertigungsmethoden.

Neue Katalysatoren für die Brennstoffzelle

Die Bandbreite möglicher Elemente für den Einsatz als Katalysator in Polymerenlektrolytbrennstoffzellen ist überschaubar; neben Platin sind nur noch Gold und Iridium in ihrer Bulkform bei Potenzialen höher als 0,9 V thermodynamisch stabil. Daher beschäftigt sich der Großteil der Forschungsvorhaben mit der Steigerung der Aktivität von Platin gegenüber der Sauerstoffreduktion. Studien zeigten, dass eine 2- bis 4-fache Steigerung der Massenaktivität, also der katalytischen Aktivität bezogen auf die eingesetzte Menge an Platin, ausreichend wäre, um diese Brenn-

The oxygen reduction reaction

At the anode, hydrogen is oxidized at very high rates when state-of-the-art platinum-based nanoparticle catalysts are used. However, at the cathode, the slow reaction kinetics of the oxygen reduction limits the power density of fuel cells and their conversion efficiency. Thus, currently up to 10-fold higher platinum loadings are used on the cathode in order to enable a reasonable performance, leaving the cathode catalyst to be the dominant factor to determine the costs of polymer-electrolyte fuel cell systems.

For the development of novel fuel-cell catalyst systems, it is necessary to consider the abundance of possible materials as well as their activity and stability under the corrosive and oxidizing environment of the fuel-cell cathode. The identification of eligible materials demands an understanding of the structure of nanoparticle catalysts and of all fundamental processes, which occur on their surfaces during oxygen reduction. Furthermore, the facile scale-up for producing innovative fuel cell catalyst systems is anticipated, thus requiring a broad knowledge of manufacturing methods.

Novel catalysts for fuel cells

The range of possible materials is limited. Apart from platinum, only gold and iridium are thermodynamically stable in their bulk form at potentials greater than 0.9 V. Therefore, many research activities are focused on enhancing the activity of platinum towards oxygen reduction. Studies showed that a 2- to 4-fold increase in mass activity, i.e. the catalytic activity based on the amount of platinum used, would be sufficient to make the fuel cell economically viable. However, a higher worldwide consumption of platinum due to increasing fuel-cell production will affect the price of platinum. Today's assumptions suggest that ultimately a 4- to 10-fold increase in mass activity will be necessary to enable the widespread commercial success of fuel cell technology.

The targeted enhancement of the oxygen-reduction mass activity is achieved by synthesizing catalysts with so-called core-shell nanostructures. Typically, the shell is a platinum layer on the surface of platinum alloyed with a less noble 3d metal, such as iron, cobalt, nickel or copper. The platinum shell protects the alloys kinetically against the dissolution of the less noble metal components. The alloy core alters the electronic properties of the shell, resulting in an enhanced oxygen reduction activity of the alloy catalysts in comparison to pure platinum. Before introducing these new catalysts in a real application, they are characterized ex situ, i.e. outside of the fuel

stoffzelle wirtschaftlich zu machen. Jedoch wird eine steigende Nachfrage nach Platin durch die Brennstoffzellenproduktion den Platinpreis beeinflussen, sodass im Endeffekt eine 4- bis 10-fache Steigerung der Massenaktivität für den kommerziellen Erfolg dieser Brennstoffzellentechnologie notwendig sein wird.

Die angestrebte Steigerung der Massenaktivität wird durch Katalysatoren mit Kern-Schalen-Strukturen geschaffen. Die Schale ist dabei eine Platinschicht an der Oberfläche der Katalysator-Nanopartikel. Der Kern besteht zumeist aus einer Legierung von Platin mit weniger edlen 3d-Metallen, wie Eisen, Kobalt, Nickel oder Kupfer. Die Platinschale stabilisiert die Legierungen kinetisch gegen das Herauslösen der weniger edlen Komponenten, während der Legierungskern die elektronischen Eigenschaften der Platindeckschicht ändert und die Sauerstoffreduktionsrate an der Platinoberfläche steigert. Die Charakterisierung der Katalysatorsysteme erfolgt zuerst *ex situ*, also außerhalb der Brennstoffzelle, in sogenannten Halbzellen; das heißt, es wird für die Sauerstoffreduktion nur die Kathode untersucht. Wenige Mikrogramm des hergestellten Katalysators werden dazu auf eine rotierende Scheibenelektrode (englisch: rotating disk electrode, RDEs) aufgebracht und anschließend wird deren Aktivität und Stabilität bestimmt. Zeigt der Katalysator die gewünschten Eigenschaften, werden Gasdiffusionselektroden gefertigt und das Katalysatorsystem in der Brennstoffzelle auf Leistung und Lebensdauer getestet.

Die Elektroden mit den im Brennstoffzellenlabor entwickelten Katalysatorsystemen werden in Brennstoffzellenstapeln des Industriepartners eingesetzt und erfolgreich getestet. Dabei konnte die Platinbeladung gegenüber kommerziell verwendeten Elektroden in Brennstoffzellen bei gleichbleibender Leistung und Lebensdauer um 20 Prozent reduziert werden.

Brennstoffzellenforschung

Neben der Katalysatorentwicklung werden am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik in der Arbeitsgruppe von Viktor Hacker die Einflüsse auf die Lebensdauer von Polymerelektrolytbrennstoffzellen (SecondAct, FC-Diamond, PEMREX S), der Einsatz von flüssigen Energieträgern in Niedertemperatur-Brennstoffzellen (e!polycat, H₂-Speicher) und, basierend auf einem patentierten Prozess, die Wasserstoffproduktion und Wasserstoffreinigung (HyStorm, Mestrex, OSOD) im Rahmen von nationalen und internationalen Forschungsprojekten untersucht. ■

cell, in half-cell measurements, only investigating the cathode. For this, a few micrograms of the synthesized catalysts are deployed on rotating disk electrodes and subjected to activity and stability testing. After confirming the required properties, the catalysts are implemented in gas-diffusion electrodes and tested in fuel-cell set-ups.

Electrodes containing the catalyst systems developed by the team of the Fuel Cell Systems Laboratory were successfully used in fuel-cell stacks of industrial partners. Through this, a reduction of the platinum loading by 20% in comparison to state-of-the-art fuel cell electrodes was achieved, while maintaining high performance and durability at the same time.

Fuel cell research

Aside from catalyst development, the Fuel Cell Systems Group of Viktor Hacker investigates influences on the lifetime of polymer-electrolyte fuel cells (SecondAct, FC-Diamond, PEMREX S), the utilization of liquid fuels (e!polycat, H₂-Speicher) as well as the production and purification of hydrogen (HyStorm, Mestrex, OSOD), based on a recently patented process. ■

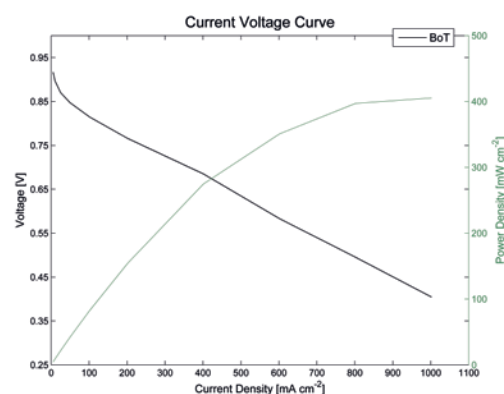
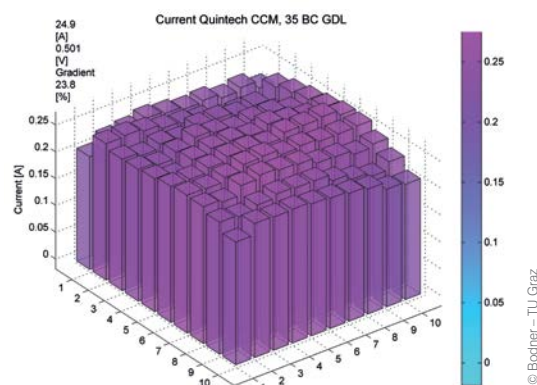


Abbildung 2:
Strom-Spannungs-Charakteristik einer Polymerelektrolytbrennstoffzelle und die zugehörige Stromverteilung über die Fläche bei einer Stromdichte von 1 A cm⁻².

Figure 2:
The current-voltage characteristics of a polymer electrolyte fuel cell and the corresponding spatial current distribution at a current density of 1 A cm⁻².



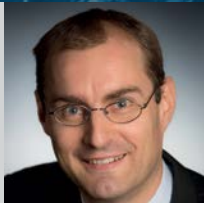
Sustainable Systems



Urs Leonhard Hirschberg,
Leitungsteam FoE „Sustainable Systems“
*Urs Leonhard Hirschberg,
executive team FoE Sustainable Systems*



Martin Fellendorf,
Leitungsteam FoE „Sustainable Systems“
*Martin Fellendorf,
executive team FoE Sustainable Systems*



Christoph Hochenauer,
Leitungsteam FoE „Sustainable Systems“
*Christoph Hochenauer,
executive team FoE Sustainable Systems*

In der neuen Leistungsperiode ist das Leitungsteam des Field of Expertise „Sustainable Systems“ das gleiche geblieben – siehe nebenstehende Fotos. Dass die Einzelpersonen des Leitungsteams aus unterschiedlichen Fakultäten stammen, ist ein Spiegel der interdisziplinären Vernetzung,

die wir anstreben. Allerdings sind die drei Fakultäten für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften, Bauingenieurwissenschaften und Architektur beileibe nicht die einzigen Fakultäten, die sich intensiv mit

dem Thema Nachhaltigkeit befassen. Forschungsprojekte, die sich unserem FoE zuordnen, gibt es quer durch alle Fakultäten, wobei wir von drei Schwerpunkten sprechen: von der Stadt- und Mobilitätsplanung, nachhaltigem Bauen und zukunftsfähigen Energiesystemen.

Die erste Mitgliederversammlung des FoE in der neuen Leistungsperiode fand im April statt. Die nächste Runde der Anschubfinanzierung, bei der instituts- beziehungsweise fakultätsübergreifende Projekte bevorzugt werden, wurde vorgestellt. Daneben waren auch alle drei Schwerpunktthemen auf der Tagesordnung. Michael Monsberger, der seit verganginem Oktober als FoE-Professor für „Integrated Building Systems“ an der TU Graz tätig ist, hat sein Forschungsprogramm im Bereich Nachhaltiges Bauen vorgestellt – in der letzten Ausgabe von TU Graz research hat er bereits darüber berichtet.

Über zukunftsfähige Energiesysteme sprach Udo Bachhiesl. Er berichtete von der EnInnov 2016, dem in diesem Februar bereits zum 14. Mal durchgeführten Symposium Energieinnovation – mit 723 Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein Großevent. Um „Smart and Green Transitions in Cities and Regions“ ging es in der Anfang April an der TU Graz abgehaltenen 2. eseia-Konferenz, von der Martin Fellendorf berichtete.

Der für den 16. Juni geplante erste FoE Day wird ebenfalls dem Thema Stadt- und Mobilitätsplanung gewidmet sein. Internationale Referentinnen und Referenten werden Vorträge zum Thema Urban Systems halten. In der Aula wird eine Poster-Ausstellung mit einschlägigen Forschungsprojekten an der TU Graz aufgebaut. Am Abend sind Expertinnen und Experten aus Politik und Wirtschaft eingeladen, mit uns über die Herausforderungen der urbanen Zukunft zu diskutieren.

In dieser Ausgabe von TU Graz research werden ab Seite 27 Energiesysteme der Zukunft vorgestellt. Ganz im Sinne unseres Strebens nach Interdisziplinarität zeigt die Coverstory „On the top“, dass neue Ideen für die Mobilitätsplanung durchaus auch etwas mit neuen Bautechnologien zu tun haben können.

In the new performance period, the leadership of the Field of Expertise Sustainable Systems is unchanged – see photographs. The fact that all three of us represent different faculties mirrors the interdisciplinary networking we try to achieve. But the three Faculties of Mechanical Engineering and Economic Sciences, Civil Engineering and Architecture are by no means the only departments that focus intensively on issues of sustainability in their research. There are research projects that identify with this FoE across all seven departments of TU Graz, but mainly around three main themes: Urban and Mobility Planning, Sustainable Construction and Future-Oriented Energy Systems.

The first assembly of members of the FoE in the new performance period took place in April. The next round of seed funding, for which projects reaching across institutes and departments will be preferred, was presented. All three of the main themes were also present on the agenda. Michael Monsberger, who has been serving as professor of “Integrated Building Systems” since last October, was talking about his research plans in Sustainable Construction – he already wrote about them in the last issue of TU Graz research.

Future-Oriented Energy Systems were the topic of Udo Bachhiesl's talk about EnInnov 2016 – the Symposium on Energy Innovation, which was held this February for the fourteenth time, and with 723 participants was a very large event. Martin Fellendorf reported on the second eseia Conference, entitled Smart and Green Transitions in Cities and Regions, held in early April.

The first FoE Day, planned for June 16th, will also be about Urban and Mobility Planning. International lecturers are invited to speak about urban systems and an exhibition in the Aula will show ongoing research about this topic at TU Graz. In the evening representatives from government and industry will discuss the challenges and possible synergies between research and practice posed by our urban future.

This issue of TU Graz research also features a presentation of new energy systems on pages 27 to 29. True to our quest for interdisciplinarity, the cover story On the Top shows that new ideas for mobility planning can be intimately linked with new construction technologies.

Visionäre Perspektiven für die elektrischen Energiesysteme der Zukunft

Visionary perspectives for electric energy systems of the future

Udo Bachhiesl, Lothar Fickert, Klaus Krischan, Annette Mütze, Stephan Pack, Herwig Renner, Uwe Schichler, Heinz Stigler - www.energiezentrum.tugraz.at

Die Verringerung der Importabhängigkeit Europas sowie die Einhaltung des 2-Grad-Zieles der letzten Weltklimakonferenz in Paris kann nur durch energische Maßnahmen erreicht werden. Die Lösungsansätze müssen neben der Ausgestaltung zukunftsfähiger Elektrizitätsmärkte die Energieaufbringung, Energieübertragungs- und -verteilungssysteme, aber vor allem auch Effizienzmaßnahmen sowie die Mobilität betreffen.

Gesamtsystem und Regulierung

Durch die erhöhte Nutzung erneuerbarer Energien wird künftig der Anteil volatiler, dargebotsabhängiger Energieerzeugung jenen der bedarfsgerechten Erzeugung überwiegen. Die erforderlichen Antworten weisen einerseits auf die Entwicklung von Speichern im großtechnischen Umfang, andererseits auf eine weitere Flexibilisierung des Verbrauchs hin. Zudem stellen sich durch die weiträumige Trennung der Orte der Erzeugung und des Verbrauchs bedeutsame Transportaufgaben. Das Gesamtsystem der Erzeugung und die Flexibilisierung des Verbrauchs werden künftig enorme Anforderungen an ein „intelligenteres“ Stromsystem stellen. Die Marktorganisation muss sich an die neuen Gegebenheiten anpassen: einerseits in der Kostenabgeltung für die erneuerbaren Energien, die nur Fixkosten, aber keine variablen Kosten aufweisen, andererseits in der Kostenabgeltung für die erforderlichen bedarfsgerechten Kraftwerke. Die Regulierung bezüglich Energieeffizienz, Emission Trading und Förderungssystemen muss dabei konsistent erfolgen. Vorabanalysen der Wirkungen von Markteingriffen sind wesentliche Voraussetzungen für eine gedeihliche Entwicklung und am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation wurde mit dem Projekt ATLANTIS ein entsprechendes Instrument entwickelt. (Abb. 1)

Zukunftsfähige Stromübertragung

Abhilfe für die steigende Zahl an Engpässen im aktuellen Hochspannungsübertragungsnetz wird durch Netzoptimierung und Netzausbau sowie durch die Errichtung von HGÜ-Übertragungsleitungen geschaffen. In Europa ist die Weiterentwicklung zu einem HGÜ-Übertragungsnetz >

The reduction of Europe's dependency on importing energy and the achievement of the two-degree target of the recent world climate conference in Paris need drastic measures. Solutions have to include future-proof electricity markets, the production side, the transmission and distribution system but primarily also efficiency measures and the mobility sector.

Overall system and regulation

Due to the increased use of renewable energies the share of volatile supply-dependent electricity production will be higher than the share of production from conventional power plants. The necessary answers lead to the development of large-scale storage systems on the one hand, and to a higher degree of flexibilisation of the demand side on the other. Moreover, the wide-ranging dislocation of production and demand will require important transport tasks. The overall system of production and the flexibility of consumption will make enormous demands on a "smarter" power system in the future. The organization of the market has to adapt to the new circumstances: on the one hand, to the cost of compensation for renewable energy, but having only fixed costs and no variable costs, on the other hand to the cost of compensation for the necessary backup power plants. Regulation concerning energy efficiency, emissions trading and promotion systems must be carried out consistently. Preliminary analysis of the effects of market interventions are essential prerequisites for a successful development, and an appropriate instrument called project ATLANTIS has been developed at the Institute of Electricity Economics and Energy Innovation. (Fig. 1)

Sustainable electrical power transmission

Remedies for the increasing number of bottlenecks in the current high-voltage transmission system is provided by network optimization and network expansion as well as the construction of HVDC transmission lines. In Europe, the development of a HVDC transmission grid is being considered as, a possibility for connecting electric power hybrid >



Udo Bachhiesl
Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation
Udo Bachhiesl
Institute of Electricity Economics and Energy Innovation



Lothar Fickert
Institut für Elektrische Anlagen
Lothar Fickert
Institute of Electrical Power Systems



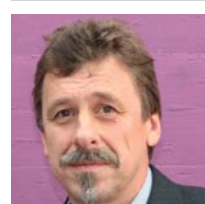
Klaus Krischan
Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen
Klaus Krischan
Electric Drives and Machines Institute



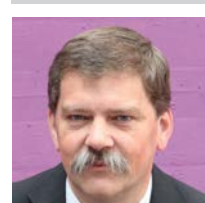
Annette Mütze
Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen
Annette Mütze
Electric Drives and Machines Institute



Stephan Pack
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Stephan Pack
Institute of High Voltage Engineering and System Performance



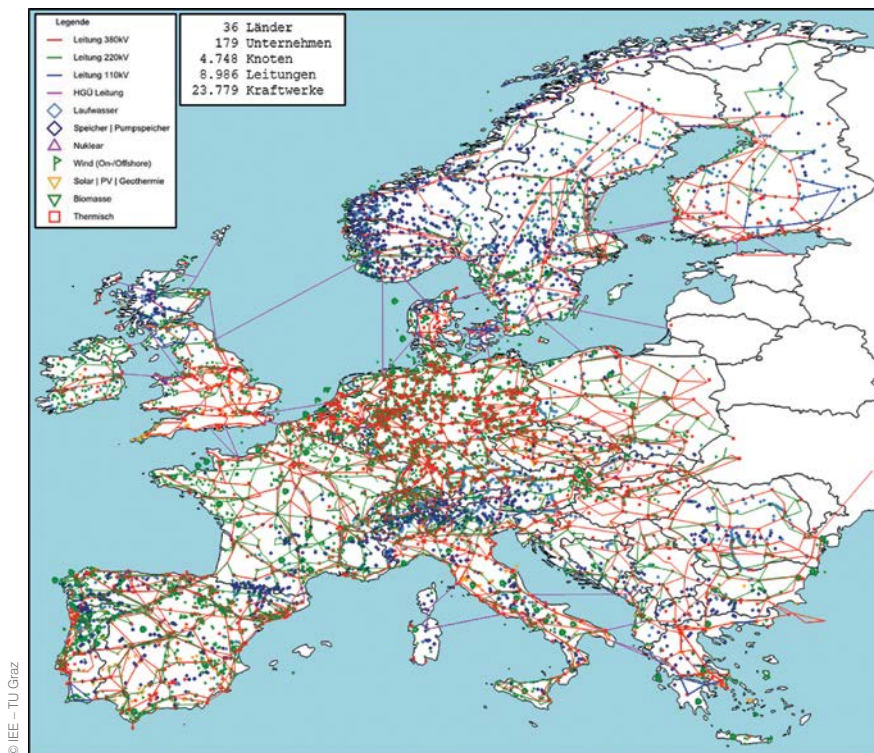
Herwig Renner
Institut für Elektrische Anlagen
Herwig Renner
Institute of Electrical Power Systems



Uwe Schichler
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Uwe Schichler
Institute of High Voltage Engineering and System Performance



Heinz Stigler
Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation
Heinz Stigler
Institute of Electricity Economics and Energy Innovation



© IEE – TU Graz

Abbildung 1:
ATLANTIS – Simulationsmodell
der europäischen
Elektrizitätswirtschaft.

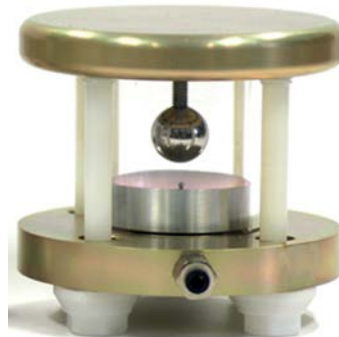
Figure 1:
ATLANTIS – a simulation model
of the European
electricity economy.

angedacht, wobei die Möglichkeit der Verbindung von Hybridnetzen unterschiedlicher Frequenzen und Nennspannungen auch den Aufbau eines zukünftigen globalen Supergrids erlaubt. Das Supergrid der Zukunft erfordert eine Optimierung der Betriebsmittel sowie die Entwicklung neuer Technologien wie zum Beispiel modularer Multilevel-Konverter und gasisolierter HGÜ-Übertragungsleitungen. Aktuelle Forschungsgegenstände am Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement betreffen die Optimierung elektrischer Isoliersysteme sowie die Entwicklung von Diagnoseverfahren für die Zustandsüberwachung von HGÜ-Betriebsmitteln. (Abb. 2)

Abbildung 2:
Versuchsgefäß und NoDi-
Teilentladungsmuster.

Figure 2:
Test cell and NoDi partial
discharge pattern.

© IHS – TU Graz



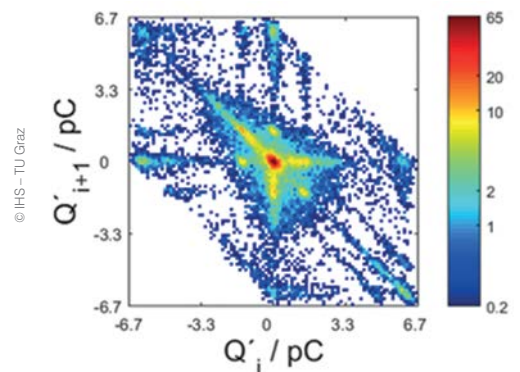
Sichere Übertragungs- und Verteilnetze

Erzeugungsseitig gewinnen zukünftig neben Synchronmaschinen vor allem Wechselrichter im Zusammenhang mit Photovoltaikanlagen und Vollumrichter-Windkraftanlagen an Bedeutung. Diese weisen ein von der klassischen Synchronmaschine

networks of different frequencies and nominal voltages as well as the installation of a future global supergrid. The supergrid of the future requires an optimization of electrical equipment and the development of new technologies, such as modular multilevel converter and gas-insulated HVDC transmission lines. Current research topics at the Institute of High Voltage Engineering and System Performance include optimizing electrical insulation systems and the development of diagnostic methods for monitoring the condition of HVDC equipment. (Fig. 2)

Secure transmission and distribution systems

Besides the classical synchronous generator, future generation systems will be based on inverter technology, especially in the case of photovoltaic and full-converter wind turbines. The characteristics of both differ significantly from the synchronous generator. The latter contribute by their inherent electromechanical properties to the voltage support (due to rather low sub-transient impedance) and to frequency stability (by the rotating mass). To ensure grid stability in the future, the behaviour of inverter based generation must be adapted accordingly. This is covered by the research topic "virtual inertia", utilizing energy storage systems for fast active power exchange according to frequency gradients. For monitoring the dynamic grid characteristics, a wide area monitoring system has been implemented in recent years, allowing the development of innovative control and protection functionalities (Fig. 3). In the lower voltage levels new protection schemes will be necessary due to fluctuating short-circuit capacity and new smart-grid-concepts, leading to challenges in grid planning and operation and creating research incentives.



© IHS – TU Graz

Energy-efficient electric drives and machines

The consumer side is characterized by strong changes within the electrical industry. Modern, power-electronics based systems play a major role in this. For many applications, such drives not only offer increased efficiencies and power densities at reduced

deutlich abweichendes Verhalten auf. Letztere tragen aufgrund ihrer elektromechanischen Eigenschaften sowohl zur Spannungsstützung (kleine Innenimpedanz) als auch zur Frequenzstabilisierung (rotierende Massen) bei. Um in Zukunft die Netzstabilität gewährleisten zu können, muss das Verhalten wechselrichterbasierter Einspeiser entsprechend angepasst werden. Ein daraus abgeleitetes Forschungsthema ist der Bereich „Virtual Inertia“, wobei aus Speichern durch entsprechende Regler eine schnelle Leistungsabgabe bzw. -aufnahme aktiviert wird. Zur Überwachung der netzdynamischen Eigenschaften wurde in den letzten Jahren ein „Wide Area Measurement System“ aufgebaut (siehe Abbildung 3), das die Entwicklung neuartiger Regel- und Netzschutzaufgaben erlaubt. In den unteren Spannungsebenen sind wegen der stark fluktuierenden Kurzschlussleistungsverhältnisse einerseits und durch die Smart-Grid-Konzepte andererseits neue Schutzkonzepte erforderlich, die ebenfalls in Netzplanung und -betrieb zu neuen Forschungsaufgaben führen.

Energieeffiziente elektrische Antriebe und Maschinen

Die Verbraucher/innenseite ist stark von den Veränderungen in der Elektroindustrie geprägt. Moderne, auf Leistungselektronik basierende drehzahlvariable elektrische Antriebe bieten im Vergleich zu ihren konventionellen Vorfahren bedeutende Vorteile zum Beispiel durch erhöhte Wirkungsgrade und größere Flexibilität im Design. Dadurch kann der Energieverbrauch erheblich gesenkt werden. Ein Beispiel für solche Entwicklungen sind elektrische Hilfsantriebe, wie sie in modernen Fahrzeugen eingesetzt werden. Diese Antriebe unterliegen stark einschränkenden Anforderungen und müssen unter härtesten Umgebungseinflüssen funktionieren. Abbildung 4 zeigt die Herstellung eines Läufers eines von der Firma Mechatronic Systems GmbH und dem Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen gemeinsam entwickelten, modernen, integrierten Lüfterantriebs (Außenläufermaschine). Ein weiteres Beispiel für den Einsatz moderner Antriebe ist in der Realisierung von Aktuatoren für Hochtemperaturanwendungen gegeben. Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit der Permanentmagnete sind hier bevorzugt permanentmagnetfreie Topologien von Interesse. Abbildung 5 zeigt die Läufer von für eine solche Anwendung realisierten Prototypen. ■

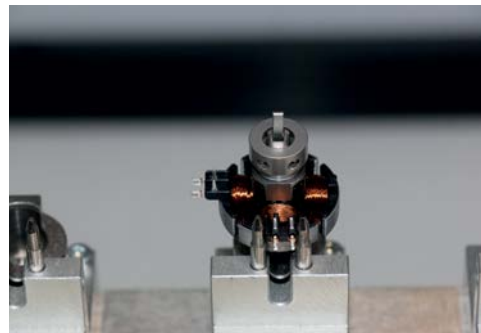


© IFEA – TU Graz

Abbildung 3:
Labortest eines „Wide Area Measurement System“ im analogen Netzmodell.

Figure 3:
Test set-up for a wide area measurement system in an analog grid model.

cost compared to their conventional ancestors, but also significant advantages with respect to design flexibility. Thus, the energy consumption can be significantly reduced. Examples of such developments are auxiliary drives as they are used in today's vehicles. Such drives are typically subject to some fairly restrictive operating conditions. Figure 4 shows a rotor of an integrated fan that was developed jointly by Mechatronic Systems GmbH and the EAM Institute (outer rotor machine). Actuators for high temperature applications are another example for the use of such modern drives. Permanent magnet-free machines provide a suitable alternative at such high-temperature operation, without the risk of demagnetisation. Figure 5 shows the rotors of two different prototype machines designed for such an application. ■



© Firma Mechatronic Systems GmbH

Abbildung 4:
Herstellung des Läufers eines integrierten Lüfterantriebs (Außenläufermaschine).

Figure 4:
Manufacture of a rotor of an integrated fan. (Outer rotor machine).



© in Zusammenarbeit mit Kristi, Seitz & Co GmbH

Abbildung 5:
Läufer einer synchronen Reluktanzmaschine (links) und einer Asynchronmaschine (rechts) für Hochtemperatur-Aktuatoranwendungen.

Figure 5:
Rotors of a synchronous reluctance machine (left) and of an induction machine (right), both designed for a high-temperature actuator application.

Zuckerschätze in der Muttermilch

Precious sugars in breast milk

Muttermilch enthält den optimalen Mix für die gesunde Entwicklung des Säuglings. Einen maßgeblichen Beitrag dafür leisten bestimmte Mehrfachzucker namens humane Milch-Oligosaccharide. Wie diese zukünftig industriell produziert werden können, wird am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik der TU Graz in Zusammenarbeit mit dem Austrian Center of Industrial Biotechnology (acib) erforscht.

Im Hinblick auf die gesunde Entwicklung des Säuglings ist Muttermilch in ihrer Zusammensetzung unübertroffen. Neben den eigentlichen Nährstoffen Lipiden, Kohlenhydraten und Proteinen enthält sie auch unzählige immunologisch sowie prä- und probiotisch wirksame Substanzen. Darunter finden sich in großen Mengen sogenannte humane Milch-Oligosaccharide (HMOs). Bis jetzt wurden mehr als 200 verschiedene HMOs identifiziert, die immer mehr ins wissenschaftliche Rampenlicht rücken. Denn Ergebnisse aus klinischen Studien deuten auf mannigfaltigen Gesundheitsnutzen beim Menschen hin: Sie unterstützen die Entwicklung der Darmflora, indem sie als Präbiotika nützlichen Darmbakterien als Futter dienen und so ihr Wachstum und ihre Aktivität steigern. Ein weiterer positiver Effekt auf die Darmflora ist durch die bakterienhemmende Wirkung einiger HMOs gegeben. Sie haben gleiche „Andockstellen“ wie die Schleimhautzellen im Magen-Darm-Trakt, an die sich infektiöse Bakterien als ersten Schritt zur Infektion binden. In den Körper eingedrungene Bakterien unterscheiden nicht zwischen den Andockstellen von HMOs und jener der Schleimhautzellen, und werden so durch HMOs geködert und ausgeschieden. Weiters gelangen HMOs

Breast milk contains the optimal mix of nutrients for a healthy development of the baby. Certain complex carbohydrates known as human milk oligosaccharides are among the most important contributors. The Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering at TU Graz is researching in cooperation with the Austrian Center of Industrial Biotechnology (acib) how these might be produced industrially.

When it comes to the healthy development of a baby, breast milk and its ingredients are without rival. In addition to lipids, carbohydrates and proteins as genuine nutrients, it also contains countless immunological as well as prebiotically and probiotically active substances. These include large amounts of so-called human milk oligosaccharides (HMOs). So far more than 200 different HMOs have been identified and are increasingly in the focus of science. This is because the results of clinical studies indicate that they are beneficial for human health in numerous ways. As prebiotics they support the development of the intestinal flora by feeding beneficial intestinal bacteria, stimulating their growth and increasing their activity. Another advantage for the intestinal flora is the antibacterial effect of some HMOs. Their “docking points” are the same as those of the mucosal cells in the gastrointestinal tract where infectious bacteria attach in the first step towards infection. Bacteria entering the body are unable to distinguish between the docking points of HMOs and those of mucosal cells. Offering their docking points as a lure, HMOs proceed to capture the bacteria and ultimately excrete them. HMOs also enter the bloodstream and circulate in the body. It is assumed

Abbildung 1:
Muttermilch enthält den optimalen Mix für eine gesunde Entwicklung des Säuglings.

Figure 1:
Breast milk contains the optimal mix of nutrients for a healthy development of the baby.

in den Blutstrom und zirkulieren im Körper. Man geht davon aus, dass sie so auch vor Infektionen in anderen Körperbereichen wie der Lunge schützen. Zudem sind bestimmte HMOs wichtige Bausteine für die neuronale Entwicklung.

HMOs für „Flaschenkinder“

Was die Konzentration und Vielfalt an HMOs betrifft, kann die humane Muttermilch nicht einfach durch die Milch von Kühen und anderen Säugetieren ersetzt werden. Die derzeitige industriell hergestellte Säuglingsnahrung enthält zwar oft pflanzliche Oligosaccharide, die auch präbiotisch wirken. Sie unterscheiden sich jedoch in Struktur und Komplexität deutlich von den Oligosacchariden der menschlichen Muttermilch. Wie kommen nun „Flaschenkinder“ in den Genuss der positiven Effekte von HMOs? Der Nachbau der HMOs durch chemische Synthese im großen Stil stellte sich als schwierig und kostspielig heraus. Und die Isolierung von HMOs aus Muttermilch kommt aufgrund der begrenzten Ausgangsressource für die industrielle Großproduktion nicht in Betracht.

Der biotechnologische Weg

Hier kommt nun die Biotechnologie ins Spiel: Bernd Nidetzky und seine Forschungsgruppe am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik der TU Graz erforschen, wie sich die humanen Milch-Oligosaccharide im Labor mit biotechnologischen Methoden synthetisieren lassen. In Zusammenarbeit mit dem Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib) haben sie sich auf zwei Gruppen von HMOs fokussiert, die in hohen Konzentrationen in humaner Muttermilch vorherrschen: fucosylierte Oligosaccharide und sialylierte Oligosaccharide. Genauer wollen sie herausfinden, wie man Enzyme, die die Verbindungsreaktion zwischen den einzelnen Oligosaccharid-Bausteinen in Gang bringen (Glycosyltransferasen), in ausreichender Menge mit Hilfe von Mikroorganismen gewinnt und diese effektiv einsetzt.

„Die gute Nachricht ist, dass alle humanen Milch-Oligosaccharide auf nur fünf Zucker-Grundbausteinen basieren, die mithilfe von Enzymen zu den komplexen Strukturen verknüpft werden können“, erklärt Barbara Petschacher, die in Bernd Nidetzky's Team zu diesem Thema forscht.

Einen großen Erfolg konnten die Forschenden an der TU Graz und des acib bereits vergangenes Jahr verzeichnen: Es gelang ihnen, ein Enzym aus der Gruppe der Sialyltransferasen so zu verändern, dass es zwei unterschiedliche HMOs herstellen kann. Beide HMOs bestehen aus Sialinsäure und Laktose, die jedoch an unterschiedlichen >



© farmeldman – Fotolia.com

that this allows them to provide protection against infections in other parts of the body and the lung. Finally, certain HMOs are important building blocks for the neuronal development of the baby.

HMOs for bottle-fed babies

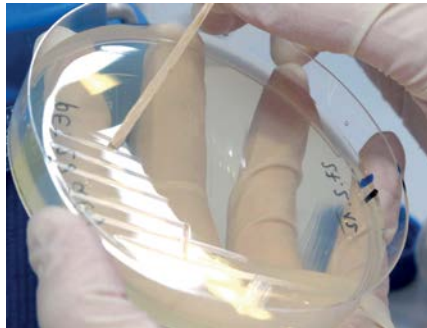
In terms of concentration and sheer variety of HMOs, the milk of cows and other mammals cannot replace human breast milk. Although industrially manufactured baby food nowadays often contains plant-based oligosaccharides with a certain prebiotic effect, their structure and complexity differs considerably from that of the oligosaccharides in human breast milk. So how can we make sure that bottle-fed babies also benefit from the positive effect of HMOs? The reconstruction of HMOs by means of large-scale chemical synthesis was found to be both difficult and costly. Isolating HMOs from breast milk is not an option because of the limited availability of the resource for industrial volume production.

The biotechnological approach

This is where biotechnology comes into play: Bernd Nidetzky and his team of researchers at the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering at TU Graz are searching for possibilities to synthesise human milk oligosaccharides in the laboratory by biotechnological means. In cooperation with the Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib) they focused on two groups of HMOs that occur in high concentration in human breast milk – fucosylated oligosaccharides and sialylated oligosaccharides. Their aim is to find out how to produce a sufficient amount of the enzymes that catalyse the linking reaction between the individual oligosaccharide components (glycosyltransferases) with the aid of microorganisms, and how to >

Abbildung 2:
Gesundheitsnutzen von humanen Milch-Oligosacchariden (HMOs).
Figure 2:
Beneficial health effects of human milk oligosaccharides (HMOs).

Molekülstellen miteinander verbunden werden. „Dies ist insofern beachtenswert, als das Enzym normalerweise sehr spezifisch ist und in der unveränderten Form die Moleküle nur auf eine Art miteinander verknüpft“, so Katharina Schmölzer vom acib, die bei dieser Studie federführend war.



© acib

Abbildung 3:

Am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik der TU Graz wird in Zusammenarbeit mit acib erforscht, wie sich HMOs mit biotechnologischen Methoden synthetisieren lassen.

Figure 3:

Researchers at the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering at TU Graz in cooperation with acib are searching for possibilities to synthesise HMOs in the laboratory by biotechnological means.

Nächster Schritt: Metabolic Engineering

Im nächsten Schritt in Richtung industrieller Herstellung von HMOs werden Mikroorganismen so verändert, dass sie bestimmte Oligosaccharide herstellen. Barbara Petschacher nimmt dabei das Bakterium *Escherichia coli* unter die Lupe. *E. coli* ist in der Lage, den aktivierten Zucker GDP-L-Fucose herzustellen. Dieser Zucker ist ein Zwischenprodukt auf dem Weg zu einem Bestandteil der Bakterienzellwand. „Unser Ziel ist es, den Syntheseweg von GDP-L-Fucose mit der Produktion einer Glycosyltransferase so zu koppeln, dass das Bakterium gezielt fucosylierte HMOs produziert“, erklärt Petschacher.

Die Ergebnisse der Forschung an der TU Graz in Zusammenarbeit mit dem acib, die vom österreichischen Kompetenzzentrenprogramm COMET gefördert wird, sind nicht nur für die Herstellung von Säuglingsnahrung, sondern auch für die Entwicklung von Functional Foods für ältere Kinder und Erwachsene bedeutend. Synthetisch hergestellte HMOs könnten etwa in therapeutischen Nahrungsmitteln eingesetzt werden, die die Behandlung von schwerwiegenden Erkrankungen unterstützen und das Risiko einer Infektion mit multi-resistenten Krankenhauskeimen reduzieren.

effectively use them. “The good news is that all human milk oligosaccharides are based on just five basic sugar building blocks that can be linked by enzymes to form complex structures,” says Barbara Petschacher from Bernd Nidetzky’s team who is investigating this particular subject.

Last year the researchers at TU Graz and acib already reached a major milestone. They succeeded in modifying an enzyme from the group of sialyltransferases so that it is able to produce two different HMOs. Both HMOs consist of sialic acid and lactose but these are linked at different molecule positions. “This is notable in that the enzyme is normally very specific. If unmodified it will only connect the molecules in one way,” explains Katharina Schmölzer from acib, the leading partner in this study.

Next step: Metabolic Engineering

In the next step towards the industrial production of HMOs, microorganisms are modified to make them produce certain oligosaccharides. Barbara Petschacher concentrates her attention on the bacterium *Escherichia coli*. *E. coli* is capable of producing the activated sugar GDP-L fucose. This sugar is an intermediate product of a metabolic pathway, at the end of which it becomes a component of the bacterium’s cell wall. “What we are trying to do is couple the synthesis pathway of GDP-L fucose with the production of a glycosyltransferase to get the bacterium to ultimately produce fucosylated HMOs,” reveals Petschacher.

The results of the research at TU Graz in cooperation with acib, supported by the Austrian Competence Centre Programme COMET, are not only significant for the production of baby food but also for the development of functional foods for older children and adults. As an example, synthetically produced HMOs could be used in therapeutic foodstuffs that support the treatment of severe diseases and reduce the infection risk with multi-resistant hospital germs.

Text: Ulrike Keller ■

Abbildung 4:

Barbara Petschacher am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik der TU Graz.

Figure 4:

Barbara Petschacher at the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering at TU Graz.

Text: Ulrike Keller ■



© Keller – TU Graz

Messen und Modellieren für die papierene Charakteroptimierung *Measuring and modelling for optimising the properties of paper*

Papier ist ein äußerst wandelbarer Werkstoff für unzählige Anwendungen. Um den multifunktionalen Alleskönner aus der Natur für seine vielen Spezialaufgaben fit zu machen, muss man allerdings sein Innerstes genau kennen. Im neuen „Christian-Doppler-(CD-)Labor für Faserquellung und deren Effekt auf die Papiereigenschaften“ werden die einzelnen Fasern vermessen und analysiert, um so das Verhalten der nächsten Papiergenerationen zu designen.

Die fortschreitende Digitalisierung ist für Druckereien und Druckerproduzent/innen eine enorme Herausforderung. Es gibt allerdings eine Drucktechnologie, die im Gegensatz zu allen anderen für Zuwachsraten sorgt: der Hochgeschwindigkeits-Inkjet-Druck. Der große Vorteil dieser Technologie ist ihre enorme Arbeitsgeschwindigkeit: In kaum einer halben Sekunde ist ein Blatt bedruckt und die Tinte getrocknet. Da beim Inkjet-Druck keine Druckform hergestellt werden muss, kann man ohne zeitraubende Vorlaufarbeiten und damit auch kleine Auflagen schnell und kostengünstig drucken. Er ist deshalb die optimale Drucktechnologie für den wachsenden Print-on-Demand-Markt. Zum Hemmschuh auf dem Erfolgsweg kann allerdings das bedruckte Papier werden, wenn es nicht schnell genug trocknet und so zum Verschmieren von Schrift und Bildern führt.

Füreinander geschaffen

Um Spezialpapiere wie jenes für den Hochgeschwindigkeits-Inkjet-Druck zu designen, wurde an der TU Graz vergangenes Jahr das „Christian-Doppler-(CD-)Labor für Faserquellung und deren Effekt auf die Papiereigenschaften“ >

*P*aper is an extremely versatile material and can be used for countless applications. To make the natural, multifunctional all-rounder suitable for its special tasks, it's necessary to know about its inner life. In the new "CD Laboratory for Fiber Swelling and Paper Performance", the individual fibres are measured and analysed in order to design the behaviour of the next generation of paper.

Ever-increasing digitalisation is an enormous challenge for printing shops and printer manufacturers. But there is one print technology which is growing – in contrast to all the others: high-speed ink-jet printing. The great advantage of this technology is its amazing speed. It hardly takes half a second for a sheet to be printed and dried. Since no printing plate has to be produced for ink-jet printing, one can print small runs without any time-consuming preliminary work and at low cost. For this reason it's the technology of choice for the growing print on demand market. One obstacle to this road to success, however, can be the paper. If it doesn't dry fast enough, it can lead to images and texts being smudged.

Made for each other

To design special paper, as for high-speed ink-jet printing, the CD Laboratory for Fiber Swelling and Paper Performance was set up at TU Graz last year. One of its aims is to develop high speed ink-jet compatible paper and thus also to prepare the ground for the production of optimised printers. "We've been working more than 15 years on improving the printability of paper for a variety of printing methods," explains the head of the CD Lab, Ulrich Hirn. The researcher has managed to win over two important international >

Abbildung 1:
Die mechanischen Eigenschaften einzelner Papierfasern (Länge 1–3 mm, Breite 15–30 µm) werden vermessen und zur Erstellung mechanischer Modelle des Fasernetzwerkes genutzt.

Figure 1:
The mechanical properties of single paper fibres (length 1–3 mm, thickness 15–30 µm) are measured and used to create mechanical models of fibre networks.

eingerrichtet. Eines seiner Ziele ist es, Inkjet-taugliche Papiere zu entwickeln und damit auch die Grundlage für die Herstellung optimierter Drucker zu legen. „Wir arbeiten seit über 15 Jahren an der Verbesserung der Bedruckbarkeit des Papiers für verschiedene Druckverfahren“, erklärt Laborleiter Ulrich Hirn. Für das neue CD-Labor hat der Forscher zwei große, international agierende Kooperationspartner gewinnen können: Mondi Uncoated Fine and Kraft Papers, ein Papierkonzern mit Sitz in Wien, und die Firma Océ Technologies, ein holländisches Tochterunternehmen von Canon, das Digitaldruckmaschinen für den Weltmarkt produziert.

Charakterbild einer Faser

Bei der Entwicklung der für den Inkjet-Druck geeigneten Papiere spielen Simulationen eine zentrale Rolle. Dafür aber müssen Modelle erarbeitet werden, für die zunächst viele einzelne Papierfasern genau zu charakterisieren sind. „Die Papiereigenschaften hängen von den Eigenschaften der einzelnen Fasern ab“, erläutert Ulrich Hirn. „Je nachdem, wie der Rohstoff ist und wie die Fasern behandelt werden,

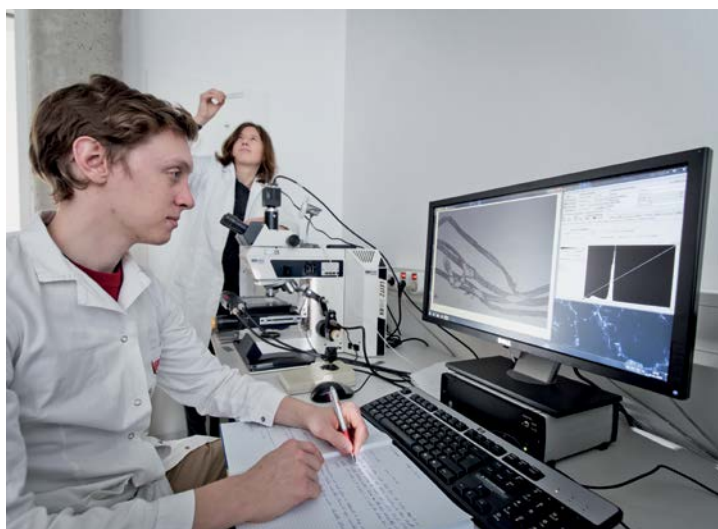
cooperation partners for the new CD lab. One is Mondi Uncoated Fine and Kraft Papers, a paper group with head office in Vienna, and Océ Technologies, a Dutch subsidiary of Canon, which produces digital printers for the world market.

Characterising fibres

Simulations play a central role in the development of ink-jet suitable paper. Mechanical models have to be worked out for which many single paper fibres have to be characterised in the first place. „The characteristics of the paper depend on the characteristics of the individual fibers,“ explains Ulrich Hirn. „The paper depends on the raw material and how the fibers are treated.“ The individual fibres are also responsible for the printing characteristics. If they're stiff, for instance, a bulky sheet is obtained. However at the same time, the bending stiffness is increased at the expense of the tensile strength, and absorption of liquid is improved. The Fiber swelling properties of individual fibres must be exactly investigated so that changes can be made to the paper to satisfy demands.

Abbildung 2:
Das Quellungsverhalten der
Papierfasern beeinflusst die Festigkeit
und die Verformung des Papiers beim
Drucken.

Figure 2:
Fiber Swelling has an effect on
strength and deformation of paper
during printing.



© Linghammer – TU Graz

verhält sich dann auch das Papier.“ Auch für die Druckeigenschaften sind die Einzelfasern verantwortlich. Sind diese beispielsweise steif, bekommt man ein voluminöses Blatt. Damit steigt aber die Biegesteifigkeit, die Zugfestigkeit geht zurück und die Flüssigkeitsabsorption wird besser. Die Quellungseigenschaften der Einzelfaser müssen exakt ermittelt werden, um das Druckpapier so verändern zu können, dass es den Anforderungen genügt.

Langwierige Analysearbeit

Da jede Faser eine eigene komplexe Geometrie und unterschiedliche mechanische Eigenschaften

Tedious analysis

Since each fibre has its own complex geometry and different mechanical properties, its characterisation is an extremely time-consuming matter. „To mechanically test tensile strength, elastic-plastic behaviour and creep behavior upon moisturing, we need several months to examine a single fiber grade,“ reports Ulrich Hirn. A group of highly specialised experts is solely responsible for these time-consuming tests. After years of many gruelling unsuccessful attempts, maybe you can provide a detailed characterisation of several hundred paper fibres for different pulp grades.

aufweist, ist ihre Charakterisierung eine äußerst zeitintensive Angelegenheit. „Um Zugfestigkeit, elastisch-plastisches Verhalten oder das Kriechverhalten bei Feuchtigkeit mechanisch zu testen, brauchen wir für die Untersuchung einer einzigen Fasersorte mehrere Monate“, berichtet Ulrich Hirn. Eine Gruppe hoch spezialisierter Expertinnen und Experten ist ausschließlich für diese aufwendigen Tests zuständig. Sie können schließlich nach Jahren und vielen zermürenden Fehlversuchen das tiefenscharfe Charakterbild von einigen 100 Papierfasern der verschiedenen Zellstoffsorten liefern.

Simulierte Drucker

„Es sind vor allem die Druckmaschinenhersteller, die solche Modelle brauchen“, erklärt der Papierforscher. „Denn damit können sie eine neue Druckmaschine simulieren und optimieren, bevor sie in der Werkshalle gefertigt wird.“ Um die Entwicklungszeiten der Druckmaschinen zu verringern, wird das Zusammenwirken von Maschine und Papier sinnvollerweise vor der Produktion in Simulationen durchgespielt. Gibt es als Folge der Faserquellung etwa Unebenheiten im Papier, kann es leicht am Druckkopf anstreifen, sodass die Tinte verschmiert. Diese Gefahr ist gerade bei Highspeed-Inkjet-Druckern hoch, da der Abstand zwischen Druckkopf und Papier nur etwa einen Millimeter beträgt. Um Probleme solcher Art zu vermeiden, werden die Drucker schon in der Konstruktionsphase an die Eigenschaften des Papiers angepasst. Da der Werkstoff Papier auch starke „innere Verspannungen“ aufweist, müssen auch diese in das Simulationsmodell einfließen. „Diese Verspannungen sind für viele unerwünschte Reaktionen wie etwa das Einrollen bei der Trocknung des Papiers verantwortlich“, so Ulrich Hirn.

Stärkung für papierene Schwerarbeiter

Neben dem Druckpapier werden im Grazer CD-Labor auch Sackpapiere, wie sie beispielsweise für Zementsäcke eingesetzt werden, bis in ihr Innerstes durchleuchtet.

Forschungsziel ist eine verbesserte Reißfestigkeit dieser Schwerarbeiter-Papiere bei gleichzeitiger Senkung der Produktionskosten. Das ist alles andere als eine triviale Aufgabenkombination – aber die findet man bei interessanten Forschungsprojekten ohnehin nie.

Text: Doris Griesser ■



© Linghammer – TU Graz

Simulated printing presses

“It’s primarily the printing press manufacturers that need such models,” explains the paper researcher. “Because then they can simulate and optimise a new press before manufacturing it in the production shop.” To reduce the development time of printing presses, interaction between press and paper is simulated by means of simulations before production. If paper buckling occurs, the paper may rub, the paper can rub against the print head and smudge the ink. In the case of high-speed ink-jet printers, the danger of this is high since the distance between print head and paper is only around one millimetre. To avoid such problems, the printers are adapted to the characteristics of the paper in the design phase. Since the raw material paper also has strong “internal tensions”, these also have to be included in the simulations. “These tensions are responsible for many unwanted reactions, like paper curl during drying,” says Ulrich Hirn.

Reinforcement for heavy duty papers

Apart from paper for printing, papers for bags, like those used in cement bags, will also be examined in depth.

The research aim is to achieve an improved tear strength in these heavy duty papers while at the same time lowering costs. This is anything but an easy combination of tasks – but you never find them in any other interesting research projects.

Text: Doris Griesser ■

Abbildung 3:

Die Struktur des Papiers wird analysiert, um den Prozess des mechanischen Versagens unter Belastung besser zu verstehen.

Figure 3:

The paper structure is analyzed to understand the process of mechanical failure under load.

Abbildung 4:

Inkjet Printer: Der High-Speed-Inkjet-Druck ersetzt zunehmend traditionelle Druckverfahren wie den Offset-Druck.

Figure 4:

Inkjet printer: high-speed inkjet printing is increasingly replacing traditional printing methods, such as offset printing.



© Océ Technologies



Maschinen lernen sehen *Machines learn how to see*

Wie funktioniert Sehen? Wie unterscheidet man gute von schlechten Bildern? Wie filtert man aus Bildsignalen jene Informationen, die für das Erkennen wesentlich sind? Diese Fragen beschäftigen sowohl Hirnforscher/innen als auch Computerwissenschaftler/innen wie Thomas Pock, die in internationalen Kooperationen die Bildverarbeitung vorantreiben.

Thomas Pock hat seit 2014 eine AIT-Stiftungsprofessur für „Mobile Computer Vision“ am Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen (ICG) inne. In seinen Forschungsarbeiten, bei denen er unter anderem mit Kollegen in New York und Paris kooperiert, beschäftigt er sich mit mathematischen Modellen, um „gute“ von „schlechten“ Bildern zu unterscheiden. Im Einzelnen geht es darum, aus den Bildsignalen, die Maschinen liefern, jene visuellen Informationen zu filtern, mit denen sich ein möglichst detailreiches bzw. aussagekräftiges Bild rekonstruieren lässt.

Forschungskooperation mit New York

In einer seiner aktuellen Arbeiten entwickelt Thomas Pock mathematische Methoden, um aus Magnetresonanztomographie-Signalen (MRT-Signalen) zweidimensionale Bilder zu rekonstruieren. Das Ziel: Mit so wenig Signaldaten wie möglich zu bestmöglichen Ergebnissen zu kommen. Denn je weniger Daten man benötigt, umso kürzer sind die Scanzeiten im MRT, umso mehr Patientinnen und Patienten können an einem Tag auf einer Maschine untersucht werden. Das senkt die Kosten.

In einer Forschungskooperation mit Florian Knoll und Daniel K. Sodickson

How does seeing work? What is a good image, and what is a bad image? How do we filter out the essential information from an image – the information we need to recognise what we see? These are key questions for brain researchers as well as computer scientists, such as Thomas Pock, who is always looking for international cooperation to achieve progress in image processing.

Since 2014, Thomas Pock has held an AIT-endowed professorship for Mobile Computer Vision at the Institute for Computer Graphics and Vision (ICG). His research work, developed in co-operation with colleagues from New York and Paris, focuses on mathematical models to distinguish between “good” images and “bad” images. Ultimately the objective is to filter machine-supplied image signals, extracting only the visual information that is absolutely essential for the reconstruction of a meaningful image with maximum detail.

Research cooperation with New York

One of Thomas Pock’s current projects is to build mathematical models for the reconstruction of two-dimensional images from magnetic resonance imaging signals (MRI signals). His aim is to get the best possible result from the smallest possible amount of signal data. If you need less data, you automatically shorten the scanning time in the MRI, which in turn allows you to increase the number of patients who can be scanned with the machine in one single day and thus reduces costs.

In a research co-operation with Florian Knoll and Daniel K. Sodickson from the Department of Radiology at New York

vom Department of Radiology an der New York University – School of Medicine hat Thomas Pock zusammen mit seiner PhD-Studentin Kerstin Hammernik einen Algorithmus entwickelt, der genau diese Aufgabe erfüllt: qualitativ hochwertige Bilder aus den unterabgetasteten MRT-Signaldaten zu rekonstruieren, die in lediglich einem Sechstel der Scanzeiten von bisherigen MR-Scans hergestellt werden können. Von den Forschungspartnern in den USA stammen die MR-Daten, die zur Entwicklung der Methode benötigt wurden, und das Know-how der Physik und Arbeitsweise der MR-Geräte. Thomas Pock und Kerstin Hammernik haben in Graz das mathematische Modell entwickelt, das aus den unterabgetasteten MRT-Signaldaten die Bilder rekonstruiert.

Ein Grundproblem der maschinellen Bilderkennung besteht in der schier unermesslichen Anzahl möglicher Bilder. Thomas Pock: „Wenn man alle theoretischen Bildvariationen allein bei einer Bildgröße von nur 65 mal 65 Pixel und einem Tonumfang von lediglich 256 Graustufen errechnet, dann ergeben sich daraus potenziell viel mehr verschiedene Bilder, nämlich $256^{65 \times 65} \approx 10^{10000}$, als es schätzungsweise Atome im Universum gibt, nämlich 10^{80} .“ Diese unvorstellbar große Zahl an möglichen Bildern erklärt, warum einfache Bildvergleichsdatenbanken zwangsläufig versagen müssen.

Maschinelles Lernen in Fusion mit Bildverarbeitung

„Als Menschen wissen wir, wie Bilder mit hoher Abbildungsqualität aussehen“, führt Thomas Pock aus. „Und das ist es auch, was wir Computern beibringen wollen: dass sie innerhalb von Sekundenbruchteilen Bilder erkennen und einordnen können.“ Während man früher quasi per Hand nach geeigneten mathematischen Modellen gesucht hat, um diese Aufgabe rechnerisch zu bewältigen, kombiniert Thomas Pock neue Methoden des maschinellen Lernens mit solchen der Bildverarbeitung. Konkret entwirft er Bildmodelle mit sehr vielen Freiheitsgraden, die – im ständigen Abgleich mit dem Idealbild – aus den Signaldaten zweidimensionale Bilder rekonstruieren können.

Thomas Pock: „In dem Lernproblem gibt es eine Loss-Funktion, die den Verlust feststellt und berechnet, wie sehr die momentan rekonstruierte Lösung von der Zielvorstellung abweicht – also davon, wie das Gewebe aussieht, das sich >



© TU Graz, data courtesy of Florian Knoll, NYU

Abbildung 1:
Schichtbild einer klinischen
MRT-Aufnahme eines Knies.
Figure 1:
Slice of the clinical MRI scan
of a knee.

University School of Medicine, Thomas Pock and his PhD student Kerstin Hammernik developed an algorithm that does precisely that: it builds high-quality images from the undersampled MRI signal data, taking just one sixth of the scan time of previous MRI scans. The research partners in the USA provide the MRI data that are needed to develop this method as well as the know-how in physics and the operating principles of the MRI devices, while Thomas Pock and Kerstin Hammernik devised the mathematical model that reconstructs the images from the undersampled MRI signal data in Graz.

One fundamental problem of machine-based image recognition is the sheer endless number of possible images. "If you calculate all theoretical image variations for an image size of no more than 65 times 65 pixels and 256 grey scales, you obtain potentially many more different images than there are atoms in the universe, namely $256^{65 \times 65} \approx 10^{10000}$ versus 10^{80} ." This unimaginably large number of possible images explains simple comparison-based databases cannot work," explains Thomas Pock.

Machine learning combined with image processing

"As human beings we know what high-quality images look like," says Thomas Pock. "Now we want computers to do the same – to be able to recognise and classify images within fractions of a second." In the past, we used to look for mathematical models capable of coping with this massive computing task virtually by hand. Now Thomas Pock combines new methods of machine learning with image processing methods. He designs image models with a large number of degrees of freedom that are able >

in den MRT-Daten spiegelt. Die Loss-Funktion stellt den Unterschied zum Soll fest und propagiert den Fehler zurück in das Modell. Das geschieht über die Berechnung des Gradienten der Verlustfunktion, der in die Richtung der stärksten Änderung zeigt. Auf diese Weise kann man die Modellparameter in eine Richtung lenken, sodass der Fehler kleiner wird. Das macht man so lange, bis keine Verbesserung mehr feststellbar ist.“

to reconstruct two-dimensional images from the signal data, constantly comparing the result with the ideal image.

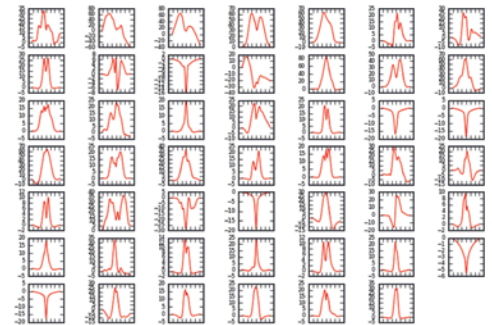
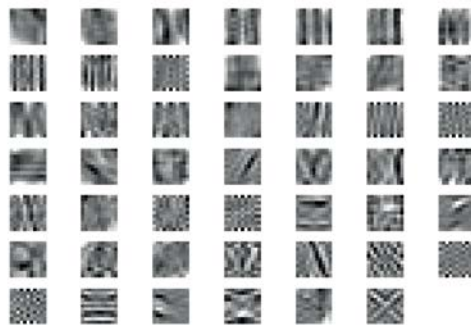
Thomas Pock adds: “The learning problem involves a loss function that measures the loss and calculates how much the momentarily reconstructed solution differs from the target image, i.e. the appearance of the tissue as reflected in the MRI data. This error

Abbildung 2:
Auszug aus den gelernten Modellparametern.

Links die Filterkerne und
rechts die Bewertungsfunktionen.

Figure 2:

Extract from the learned model parameters. Filter cores on the left, evaluation functions on the right.



© TU Graz

Abbildung 2 zeigt einen Auszug aus den gelernten Modellparametern, die im Prinzip aus einer großen Anzahl von verschiedenen Filterkernen und Bewertungsfunktionen bestehen.

is in turn back propagated into the model. This is done by calculating the gradient of the loss function which points in the direction of the strongest change. In this manner the model parameters can be varied to make the mistake smaller. Then you let the process continue until no detectable improvement can be achieved any more.”

Figure 2 shows an extract from the learned model parameters which basically consist of a large number of different filter cores and evaluation functions.

Der Designschrift in den von Pock und Hammernik entworfenen mathematischen Modellen mit ihren Tausenden von freien Parametern ist von neuronalen Netzwerken inspiriert und basiert auf den Erkenntnissen aus mehr als 50 Jahren Forschung. Ausgeführt wird die Berechnung auf einem Hochleistungsrechner der TU Graz an der TU Graz. Für die Forschungsarbeiten am TU Graz-Institut wurde in Kooperation mit dem Zentralen Informatikdienst (ZID) ein Großrechner angeschafft, der mit 16 der leistungsfähigsten Grafikkarten bestückt ist, von denen jede rund vier TeraFLOPS an Rechenleistung aufweist, das heißt, jede dieser Grafikkarten kann ca. vier Billionen (4×10^{12}) Rechenoperationen pro Sekunde ausführen.

The design step in Pock and Hammernik’s mathematical models, with its thousands of free parameters, is inspired by neuronal networks and based on the findings of more than 50 years of research. The calculation is carried out on a high performance computer of TU Graz. For the research work at the TU Graz institute it was decided in co-operation with the Central IT Service to purchase a supercomputer equipped with 16 of the most powerful graphic boards, each having a processing power of approximately four TeraFLOPS, meaning that each of these graphic boards is able to perform approximately four billion (4×10^{12}) computer operations per second.

US-Patent

„Mit unserer Methode haben wir es geschafft, in sehr kurzer Zeit MRT-Aufnahmen zu rekonstruieren, die eine ähnlich gute Qualität haben wie die derzeit erzeugten Bilder, aber wir brauchen dafür nur ein Sechstel der Aufnahmezeit“, freut sich Pock.

US patent

Pock’s method reconstructs MR images of comparable quality to that of currently generated images, but in a very short time – it only needs one sixth of

Abbildung 3 zeigt den klaren Vorteil der gelernten Methode bei sechsfach beschleunigter Scanzeit.

Ein US-Patent für diese neue Methode ist vorangemeldet, auch ein Produzent der MR-Scanner zeigt bereits starkes Interesse.

Aufsatz in „Acta Numerica“

Seine bisherigen theoretischen Erkenntnisse hat Thomas Pock vor Kurzem in einem ausführlichen Review-Artikel festgehalten, den er zusammen mit Antonin Chambolle, Professor am Centre de Mathématiques Appliquées an der Ecole Polytechnique in Paris, verfasst hat. Titel der Arbeit: „An Introduction to Continuous Optimization for Imaging“. Erscheinen wird die Arbeit in der derzeit renommiertesten Zeitschrift für Mathematik, dem in Cambridge herausgegebenen Journal „Acta Numerica“.

Text: Werner Schandor ■

the sampling time. Figure 3 shows the clear advantage of the learned method, in which the sampling time is reduced by a factor of six. A US patent for this new method is pending, and one particular manufacturer of MRI scanners has already shown strong interest.

Paper in Acta Numerica

Thomas Pock recently summarized his theoretical insights in a comprehensive review article written jointly with Antonin Chambolle, professor at the Centre de Mathématiques Appliquées at the Ecole Polytechnique in Paris. His paper with the title “An introduction to continuous optimization for imaging” will be published in the Cambridge journal “Acta Numerica”, currently the world’s top-cited journal in the field of mathematics.

Text: Werner Schandor ■

Abbildung 3:

Rekonstruktion eines MRT-Schichtbildes mit Beschleunigungsfaktor 6. Links das Ergebnis einer herkömmlichen Methode, die zu starken Artefakten führt, in der Mitte die Rekonstruktion mit der entwickelten Methode und rechts als Vergleich die Rekonstruktion aus den vollständigen Daten.

Figure 3:

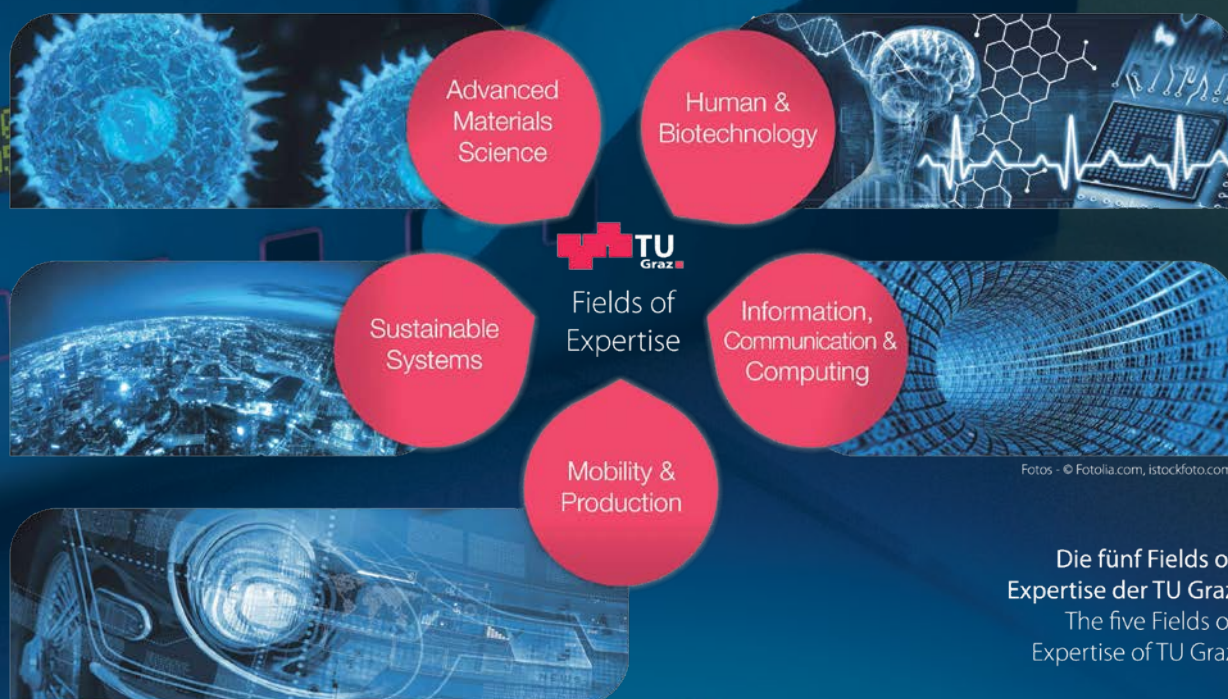
The reconstruction of an MRI slice with an acceleration factor of 6. On the left, the result using a traditional method, which here leads to too many artifacts. In the centre, a reconstruction using the developed method; on the right, a reconstruction from the complete data as a comparison.



research

ISSN 2074-9643

© Verlag der Technischen Universität Graz 2016, www.ub.tugraz.at/Verlag



Die fünf Fields of Expertise sind Kompetenzbereiche, die zu einzigartigen Markenzeichen der TU Graz im 21. Jahrhundert werden sollen. Gestärkt werden die Fields of Expertise durch thematisch neue Professuren und Investitionen sowie intensive Zusammenarbeit mit Industrie und Wirtschaft in Form von zahlreichen gemeinsamen Beteiligungen an wissenschaftlichen Kompetenzzentren und Forschungsnetzwerken. Kooperationen mit wissenschaftlichen Partnereinrichtungen wirken als weiterer Motor zum Erfolg.

Five Fields of Expertise will become distinctive hallmarks of Graz University of Technology in the 21st century. They will be strengthened by new professorships in new areas and investments as well as intensive co-operation with business and industry in the form of numerous shared participations in competence centres and research networks. Cooperations with scientific partner institutes represent a further dynamo to success.