

TU GRAZ research

**Eine Kooperation mit vielen PS:
Das FSI feiert sein 10-Jahr-Jubiläum**

***A Partnership with Sheer Horsepower:
The FSI Celebrates its Tenth Anniversary***

Von der Vermessung atomarer Freiräume zu neuen Materialien ■ Tatort Gehirn ■ Zufallsgraphen: Von der Natur zur Gesellschaft zum Gehirn ■ Klein wird grün: Forschende an der TU Graz reduzieren die Emissionen von Kleinmotoren ■ Erweiterte Parametrik: Unterstützung beim Entwerfen nachhaltiger Gebäude

From Measuring Open Spaces to Novel Materials ■ The Brain that Changes Itself ■ Random Graphs: from Nature to Society to the Brain ■ Small goes Green: Scientists at Graz University of Technology Push the Greening of Small Engines ■ Augmented Parametrics: Supporting the Design of Sustainable Buildings

Inhalt/Contents

3 Vorwort / Preface

On the Top

6

**Eine Kooperation mit vielen PS:
Das FSI feiert sein 10-Jahr-Jubiläum**

***A Partnership with Sheer Horsepower:
The FSI Celebrates its Tenth Anniversary***

Beate Mosing



Fields of Expertise

WISSENSCHAFTERINNEN UND WISSENSCHAFTLER PRÄSENTIEREN AUSGEWÄHLTE PROJEKTE UND FORSCHUNGSBEREICHE IM RAHMEN DER FÜNF FIELDS OF EXPERTISE (FoEs)

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

10 Advanced Materials Science
Klaus Reichmann, Leiter/Head of FoE „Advanced Materials Science“

11 Von der Vermessung atomarer Freiräume zu neuen Materialien
From Measuring Open Spaces to Novel Materials
Wolfgang Sprengel,
Roland Würschum

14 Human & Biotechnology
Bernd Nidetzky, Leiter/Head of FoE „Human & Biotechnology“

15 Tatort Gehirn
The Brain that Changes Itself
Reinhold Scherer

18 Information, Communication & Computing
Johannes Wallner, Leiter/Head of FoE „Information, Communication & Computing“

19 Zufallsgraphen: Von der Natur zur Gesellschaft zum Gehirn
Random Graphs: from Nature to Society to the Brain
Mihyun Kang

22 Mobility & Production
Helmut Eichlseder, Leiter/Head of FoE „Mobility & Production“

23 Klein wird grün: Forschende an der TU Graz reduzieren die Emissionen von Kleinmotoren
Small goes Green: Scientists at Graz University of Technology Push the Greening of Small Engines
Stephan Schmidt

26 Sustainable Systems
Urs Hirschberg, Leiter/Head of FoE „Sustainable Systems“

27 Erweiterte Parametrik: Unterstützung beim Entwerfen nachhaltiger Gebäude
Augmented Parametrics: Supporting the Design of Sustainable Buildings
Urs Hirschberg, Martin Kaftan,
Markus Manahl, Jiri Pavlicek,
Elmar Heß

Life

FORSCHUNG UND TECHNIK IM ALLTÄGLICHEN – WIE FORSCHUNGSENERGIE ERGEBNISSE 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

32 Architektonische Verjüngungskur ohne schmerzhaft Eingriffe
An Architectural Rejuvenation Cure without Painful Interventions
Doris Griesser

Co-operations

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

36 Fingerabdrücke des Stoffwechsels
Fingerprints of Metabolism
Werner Schandor

Internationalisation

EXZELLENT FÖRDERTE FORSCHUNG STREBT NACH LEBENDIGEM AUSTAUSCH IN GLOBALEM NETZWERK – 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

38 Großes Instrument für internationale Forschung an sehr kleinen Strukturen
Big Instrument for International Research on Very Small Structures
Annemarie Happe



Horst Bischof
Vizerektor 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,

Sie halten gerade das neue Forschungsjournal TU Graz *research* in Ihren Händen, das mit dieser Ausgabe optisch völlig neu gestaltet, aber auch inhaltlich neu aufgestellt wurde. Nach zehn Ausgaben (jeweils zwei für jedes FoE) und fünf Jahren war es Zeit für eine Erneuerung. Dies war Anlass, über ein Redesign nachzudenken. Da jeweils ein Forschungsjournal einem FoE gewidmet war, dauerte es immer lange, bis ein FoE wieder an der Reihe war. Dadurch erlaubte es das Format nicht, auf aktuelle Ereignisse zu reagieren. Mir war es ein besonderes Anliegen, dass jedes FoE seinen Platz in jedem TU Graz *research* hat. Weiters war es mir wichtig, dass auch der FoE-Leiter eine eigene Kolumne bekommt, damit er auf aktuelle Entwicklungen in seinem FoE reagieren kann. Damit sollen der Kontakt und die Kommunikation zwischen FoE-Leitung und den Mitgliedern verbessert werden und das Heft an Aktualität gewinnen. Wir haben aber auch erfolgreiche Formate beibehalten, so wird jedes TU Graz *research* weiterhin ein Thema (FoE) haben, das in der Coverstory präsentiert wird – diesmal ist es durch das 10-Jahr-Jubiläum FSI das FoE „Mobility and Production“.

Das neu gestaltete TU Graz *research* vereint alle drei Hauptziele, die sich das Rektorat gesteckt hat. Durch die Zweisprachigkeit (Deutsch/Englisch) drückt es die internationale Ausrichtung der Universität aus. Gerade im Bereich der Forschung führt kein Weg an der Internationalität vorbei. Dies spiegelt sich auch in der neu gestalteten Rubrik „Internationalisation“ im Heft wider. Kooperation ist ein ganz wesentliches Element der Strategie des Rektorates. Moderne Forschung ist durch Kooperationen auf allen Ebenen geprägt (zwischen Forschenden, zwischen Akademie und Wirtschaft etc.). Daher haben wir die Rubrik „Kooperationen“ beibehalten und werden hier herausragende Beispiele gelebter Forschungsk Kooperation darstellen. Als drittes Element der Rektoratsstrategie ist natürlich die Profilbildung in der Forschung ein ganz wesentlicher Pfeiler. Unser Forschungsjournal, das die fünf FoEs darstellt, ist das Sprachrohr dieser Strategie.

Damit Sie das neue TU Graz *research* jetzt in Händen halten können, hat eine Reihe von Personen ganz maßgeblich daran gearbeitet. Allen voran möchte ich mich ganz besonders bei Ines Hopfer-Pfister und dem Grafik-Team bedanken, das Wesentliches zur Gestaltung und zum neuen Bild von TU Graz *research* beigetragen hat. Aber auch den FoE-Leitern gilt mein Dank, die diese Mehrarbeit, die jetzt auf sie zukommt, gerne leisten.

Der Sommer und die Ferien stehen vor der Tür, daher wünsche ich Ihnen und Ihren Familien einen erholsamen Sommer. Mögen Sie ein wenig Zeit finden, sich in die Lektüre dieses neugestalteten Forschungsjournal zu vertiefen. In diesem Sinne wünsche ich bei der Lektüre dieses TU Graz *research* viel Freude.


Right now, you're holding the new research journal – TU Graz research – in your hands; not only does it have a completely new look, but its structure has been redesigned, too. After ten issues (two issues for each FoE) and five years, it was time for some revitalisation. And it was also time to rethink the design. Since each issue was dedicated to a particular FoE in rotation, it was always a considerable while before that same FoE resurfaced. In other words, the format did not allow us to react promptly to events. It is a matter of particular concern to me that each FoE should have a place in each issue of TU Graz research. Furthermore, it is important that the heads of the FoEs have their own columns so that they can respond to current developments in their respective FoEs. Because of this the contact and communication between the FoE heads and the members has improved and the magazine has gained more topicality. We have kept successful parts of the old format, however. Each edition of TU Graz research will continue to have a theme (FoE) which is presented in the cover story – this time it's the FoE Mobility and Production on the occasion of the 10-year anniversary of the FSI.

The newly designed TU Graz research draws together all three main aims of the Rectorate, and it expresses the international orientation of the University through a bilingual edition (German/English). The field of research is unthinkable without internationality. This is also reflected in the journal's redesigned "Internationalisation" section. Co-operation, too, is a very important element of the strategy of the Rectorate. Modern research is moulded by co-operation at all levels (among researchers, and between academia and business, etc.) For this reason we've kept the section on "Co-operations" and will use it to illustrate outstanding examples of research co-operation in action. The third element of the Rectorate's strategy is of course the research profile – this is an essential cornerstone. Our research journal, which represents the five FoEs, is the mouthpiece of this strategy.

A number of people have worked extremely hard for you to be able to hold this new issue of TU Graz research in your hands. Most notably, I'd like to thank Ines Hopfer-Pfister and the design team in particular, who contributed the vital elements to the design and new look of TU Graz research. My thanks also goes out to the heads of the FoEs, who gladly carry out all the extra work which falls to them in such a publication.

The summer and the vacation are just about to begin, so I'd like to wish you and your families a relaxing summer break. I hope that you can find the time to immerse yourselves in our newly designed journal, and in this spirit, I wish you much pleasure in reading this issue of TU Graz research.

Horst Bischof

A large industrial machine, possibly a press or a welding station, is shown in a close-up view. A bright red sheet of material is being processed by the machine. The machine has various metal components, including a large cylindrical part and a smaller one with a grid-like structure. The background is slightly blurred, showing more of the industrial environment.

Beate Mosing

Eine Kooperation mit vielen PS:
Das FSI feiert sein 10-Jahr-Jubiläum
*A Partnership with Sheer Horsepower:
The FSI Celebrates its Tenth Anniversary*

Entsprechend den Gesetzen der Physik kann man sich besondere Konzentration und Stärke erwarten, wenn Kräfte gebündelt werden. Dass dies auch für Wissenschaft und Wirtschaft seine Gültigkeit hat, haben die TU Graz und der Automobilzulieferer Magna mit der zehnjährigen Erfolgsgeschichte des FSI bewiesen. Die 2003 geschlossene Kooperation – die in Folge das FSI aus der Taufe hob – hat sich zu einer einzigartigen Einrichtung entwickelt, zu einem Exzellenzzentrum der europäischen Fahrzeugtechnologie.

According to the laws of physics, you can expect a special concentration of power when forces are combined. This also holds true for science and industry – as has been proved by Graz University of Technology and the automotive supplier Magna with their ten-year success story of the FSI. The partnership which was signed in 2003 – and which consequently gave birth to the FSI – has developed into a unique institute: a center of excellence of European vehicle technology.

**Abbildung 1:**

Presshärtevorgang: Mithilfe des Presshärtens werden Bauteile mit ultrahöchstfesten Eigenschaften – zum Beispiel B-Säulen – für die Automobilindustrie erzeugt.

Figure 1:

By using the press-hardening technique, component parts with ultra-high strength properties – for instance, for B-pillars – are produced for the automobile industry.

Wir haben es geschafft, zwei unterschiedliche Welten zu vereinen. Die Universität, die Grundlagenforschung und Lehre betreibt, und ein Automobilzulieferunternehmen in einem sich schnell ändernden Umfeld, das Auftragsforschung betreibt und auf die Anforderungen des Marktes reagieren muss“, sagt Günther Apfalter, President Magna Europe & Magna Steyr. Die Ziele haben sich erfüllt: „Universität und Unternehmen schaffen gemeinsam Wissen am Puls der Zeit und damit Know-how für Fahrzeugtechnologie auf höchstem Niveau“, so Harald Kainz, Rektor der TU Graz. Und auch die Zahlen sprechen für sich: 192 Abschlussarbeiten wurden seit 2005 an den FSI-Instituten verfasst. Die Zahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beläuft sich derzeit auf 90 und hat sich damit in diesem Zeitraum verdoppelt. 900 wissenschaftliche Berichte konnten in der zehnjährigen FSI-Geschichte publiziert werden.

Beste Performance

Der Idee einer „Private-Public-Partnership“ folgend, wurde das FSI bei der Gründung mit seinen eigenständigen Instituten in den Bereich Maschinenbau der TU Graz eingegliedert. Eingerichtet wurden die vier Institute Fahrzeugtechnik, Fahrzeugsicherheit, Werkzeugtechnik und spanlose Produktion (Tools and Forming) sowie Production Science and Management. In der Entwicklung hat sich die Struktur verändert: Heuer erfolgte die Konzentration auf die Institute Fahrzeugtechnik, Tools and Forming sowie Production Science and Management. Neu hinzu kam der Forschungsbereich Automotive Mechatronik. >

We've managed to bring together two different worlds. The University, which carries out basic research and teaching, and an automobile supplier which does contract research and has to react to the demands of the market in a fast-changing environment,” says Günther Apfalter, President of Magna Europe & Magna Steyr. The objectives have been fulfilled: “University and company generate knowledge together with their fingers on the pulse of the times, thus creating know-how for vehicle technology at the highest level,” asserts Harald Kainz, Rector of Graz University of Technology. And the figures speak for themselves: 192 theses have been written at the institutes of the FSI since 2005. The number of staff is at present 90 and has thus doubled during this time. 900 scientific reports were published in the ten-year history of the FSI.

Best performance

Following the idea of a private-public partnership, the FSI along with its independent institutes was integrated into the Faculty of Mechanical Engineering of Graz University of Technology when it was founded. Four institutes were set up – Automotive Engineering, Vehicle Safety, Tool Engineering and Forming as well as Production Science and Management. Its structure changed during its development. Currently concentration is directed to the Institutes of Automotive Engineering, Tools and Forming and Production Science and Management. A new addition was the research area of Automotive Mechatronics. >



© TU Graz/Lunghammer

Abbildung 2 und 3:
Das FSI in der Inffeldgasse
in Graz hat sich in seiner
zehnjährigen Erfolgsge-
schichte zu einem Exzellenz-
zentrum der europäischen
Fahrzeugtechnologie
entwickelt. Jedes Semester
sind rund 100 Studierende
am Masterstudiengang
„Production Science and
Management“ aktiv.

Figures 2 and 3:
In its 10-year success story,
the FSI at Inffeldgasse,
Graz, has developed into a
center of excellence of
European vehicle technology.
Some 100 students participate
in the master's course
Production Science and
Management each semester.



Seit Beginn legt man am FSI Augenmerk auf Internationalität, um die Absolventinnen und Absolventen optimal auf die Anforderungen einer immer globaler werdenden Wirtschaft vorzubereiten. Universitätsprofessor und FSI-Sprecher Ralf Kolleck erläutert am Beispiel des Instituts für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion: „Im Unterschied zu anderen Umforminstituten arbeiten wir sehr anwendungsorientiert. Bei der Entwicklung neuer Materialien bewerten wir im Vorfeld mit der Industrie die Bedeutung des Werkstoffs und klären, wie er in die Produktion integriert werden könnte. Dieser Ansatz findet international Anklang, wie die steigen-

Right from the beginning, emphasis was placed on an international orientation at the FSI to optimally prepare graduates for the demands of an increasingly globalized economy. Professor and spokesman for the FSI, Ralf Kolleck, explains using the example of the Institute of Tools and Forming: "In contrast to other forming institutes, we work in a very application-oriented way. During the development of new materials, we evaluate in the run-up together with industry the importance of the material and find out how it can be integrated into production. This approach goes down very well internationally, as the growing number of cooperation projects show. Cooperation with German companies has been going well for a long time. Currently, we're becoming more international and are strengthening contacts to non-German-speaking countries." The projects are going beyond the confines of the automotive sector. In stainless steel processing, the name of the game is to exploit material properties better. Parallel to this, worldwide connections are being made in teaching and further education. Researchers from the FSI give seminars in Mexico, Brazil, Beijing and Shanghai, among other places.

Highlights of research

The research successes of the FSI are as diverse as its worldwide contacts. "For example, we've built a prototype of an induction furnace for the automo-

den Kooperationen zeigen: Die Zusammenarbeit mit deutschen Firmen funktioniert schon lange sehr gut. Aktuell werden wir internationaler und stärken auch Kontakte ins nicht deutschsprachige Ausland.“ Die Projekte gehen über den Automobilbereich hinaus. In der Edelstahlverarbeitung gilt es, Materialeigenschaften besser auszunutzen. Parallel dazu laufen weltweite Verbindungen in Sachen Lehre und Fortbildung. Seminare der Grazer Forscherinnen und Forscher vom FSI gibt es u. a. in Mexiko, Brasilien, Peking und Schanghai.

Highlights der Forschung

Vielfältig wie die weltweiten Kontakte des FSI sind auch die Forschungserfolge der Einrichtung: „Wir haben zum Beispiel den Prototyp eines Induktionsofens für die Automobilindustrie gebaut. Dabei wird das gleiche Prinzip wie bei einem Induktionsherd in der Küche angewandt – Energie wird in Form eines elektromagnetischen Wechselfeldes übertragen und in Wärme umgewandelt“, erklärt Ralf Kolleck. Kommt das Prinzip der Induktion beim Erwärmen des Blechs beim Presshärten von Bauteilen in der Automobilindustrie zum Einsatz, könnte man schneller produzieren und das bei drastischen Energieeinsparungen. Bauteile aus dem innovativen Sandwich-Material CIMERA haben die Expertinnen und Experten des FSI gemeinsam mit der Firma 4a für das Konzeptfahrzeug CULT erprobt. In der Fahrzeugtechnik am FSI wird an neuen Mobilitätskonzepten für den urbanen Bereich geforscht, auch die Integration von Fahrerassistenzsystemen ist Thema. Patentiert wurde unter anderem die Idee für eine Absenkung des Aufliegers am Heck von Sattelzügen. Mit dieser Anpassung an die Beladung soll bei Lkws der Luftwiderstand enorm reduziert werden – aus wirtschaftlicher wie ökologischer Sicht interessant. Marktreif soll das System in zwei bis drei Jahren sein. Die Industrie 4.0 ist ebenso aktuelle Herausforderung für die Technikerinnen und Techniker: Die agile Produktion in der Fabrik der Zukunft ist Thema eines Forschungsprojektes mit Magna Steyr. Auch für mehr Komfort sorgt das FSI: Studierende arbeiten am „Boomer Seat“, einem neuen Autositz, der perfekt auf alle ab 47 Jahren zugeschnitten ist. (Für Menschen, die in der Zeit stark steigender Geburtenraten nach dem Zweiten Weltkrieg geboren wurden, gibt es die Bezeichnung Baby-Boomer-Generation, daher der Name.) In Sachen Sicherheit wurde in der zehnjährigen FSI-Geschichte ein weiblicher Crash-Test-Dummy ➤



© TU Graz/Lurhammer

bile industry. The same principle is applied as with an induction cooker in the kitchen – energy is transmitted in the form of an electromagnetic alternating field and converted into heat,” explains Ralf Kolleck. If this is used in the automobile industry for warming the metal sheet while press hardening parts, this could speed up production and make drastic energy savings. Trials involving parts made of the innovative sandwich material CIMERA have been carried out by experts at the FSI together with the 4a company for the CULT concept vehicle. Research on new mobility concepts for the urban environment is being carried out at the FSI, and the integration of driver assistance systems is also a research topic. Among other things, an idea to lower the semi-trailer at the rear end of articulated vehicles was also patented. By means of this adaptation to the load, the air resistance of the heavy goods truck should be enormously reduced – economically and ecologically interesting. The system should be ready for the market in two to three years. Industry 4.0 also represents a current challenge for the engineers. Agile production in the factory of the future is also a research project with Magna Steyr. And the FSI is also working on added comfort. Students are developing the “boomer seat”, a new car seat which is perfectly tailored to fit everyone older than 47. The name comes from the time when the birth rate increased considerably after World War II – ➤

Abbildung 4:
Studierende sorgen für mehr Komfort beim Autofahren:
Am FSI hat man den perfekten Autositz für alle ab 47 Jahren entwickelt.

Figure 4:
Students ensure added driving comfort: the perfect car seat for all those over 47 years of age was developed at the FSI.

FSI-Sprecher Ralf Kolleck FSI-spokesman Ralf Kolleck



Seit Juli 2004 ist Universitätsprofessor Ralf Kolleck Leiter des Instituts für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion der TU Graz, seit Oktober 2004 ist er – mit Unterbrechung – auch Sprecher des FSI. Seine wissenschaftliche Karriere startete der in Krefeld geborene Deutsche an der Universität Dortmund mit dem Studium Maschinenbau, Fachrichtung Fertigungstechnik – Schwerpunkt Umformtechnik. An der Universität Cottbus war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung tätig. Seine Doktorarbeit „Finite-Element-Simulation wirkmedienbasierter Blechumformverfahren als Teil einer virtuellen Fertigung“ verfasste er 1999 an der Universität Dortmund.

Bei Schuler SMG baute Kolleck von 2000 bis 2003 als Leiter den Bereich „Neue Umformtechnologien“ auf. Bei ThyssenKrupp Umformtechnik in Bielefeld war er als strategischer Projektleiter für „Warmumformung“ tätig, bevor er 2004 an die TU Graz wechselte. Dort baute er die Struktur der „FSI-Koordination“ für kommerzielle und organisatorische Aspekte des FSI auf und koordinierte die Zusammenarbeit zwischen Magna International und TU Graz-Leitung. Kolleck war außerdem Mitglied im Strategieteam zur Verlängerung des Kooperationsvertrags bis 2019. Seit 2012 ist er Sprecher der Kurie Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften der TU Graz.

Professor Ralf Kolleck has been head of the Institute of Tools and Forming at Graz University of Technology since July 2004. With a small interruption, he has also been the spokesman for the FSI since October 2004. Born in Krefeld, Germany, his academic career began at the University of Dortmund, where he studied mechanical engineering in the field of manufacturing technology, with focus on forming technology. He was scientific employee at the Institute of Design and Manufacturing at the University of Cottbus. His doctoral thesis "Finite element analysis on active media-based metal forming processes as part of virtual manufacturing" was written at the University of Dortmund in 1999.

At Schuler SMG, Kolleck set up and headed the department of New Forming Technologies from 2000 to 2003. At ThyssenKrupp Umformtechnik in Bielefeld he was the strategic manager of the Hot Forming project before moving to Graz University of Technology in 2004. Here, he established the structure of the FSI coordination for commercial and organisational aspects of the FSI, and coordinated the cooperation between Magna International and the Graz University of Technology management. Ralf Kolleck was also a member of the strategy team concerning the extension of the cooperation agreement to 2019. Since 2012 he has been the spokesman of "Kurie Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften" of Graz University of Technology.

für Heckkollisionen entwickelt, die international anerkannte In-depth-Unfalldatenbank ZEDATU aufgebaut und durch die Expertinnen und Experten des FSI wurden die Leitschienen auf Autobahnen baulich verändert, um sicherer zu werden.

Ausbildung auf Top-Niveau

Zusätzlich wurde am FSI eine Ausbildung nach den Anforderungen der Industrie geschaffen – das viersemestrige, englischsprachige Masterprogramm „Production Science and Management“ entwickelt sich hervorragend. 18 Expertinnen und Experten mit unterschiedlichem industriellem Hintergrund sind Teil des Ausbildungsprogramms. Die TU Graz gewann Gastvortragende wie Helmut List (AVL), Siegfried Wolf (Russian Machines), Peter Mitterbauer (Miba) und Claus Raidl (OeNB). Rund 100 Studierende sind pro Semester aktiv. Für besonders begabte Studierende gibt es Stipendien. „Absolventinnen und Absolventen des FSI werden bei uns gerne gesehen. Magna beschäftigt an die 100 Studierende, Diplomandinnen und Diplomanden sowie Doktoratsstudierende in verschiedensten internationalen Positionen“, unterstreicht Karl-Friedrich Stracke, President Magna Steyr Fahrzeugtechnik & Engineering, den Wert der Ausbildung. Eine Vielzahl an Diplomarbeits- und Dissertationsergebnissen wurde bereits im Unternehmen umgesetzt, acht Patente gemeinsam mit den FSI-Instituten eingereicht. Seit 2004 habe man einige Millionen Euro in das FSI investiert, so Stracke.

Kooperation verlängert

Die Zusammenarbeit steht auch bei der Zukunftsausrichtung des FSI im Zentrum. Magna und die FSI-Institute verankerten durch die Vertragsverlängerung bis 2019 wichtige Forschungsschwerpunkte. „Wir kooperieren in einigen Ländern mit Universitäten, doch das FSI ist einzigartig. Nur hier haben wir ein langfristiges Commitment zur finanziellen Unterstützung und Forschungszusammenarbeit gegeben, das nun zehn Jahre übersteigt“, so Dave Pascoe, Vice President of Engineering and R&D Magna International. „Die Verlängerung des Vertrags zeigt, wie wertvoll das FSI für beide Seiten ist. Es spannt eine hervorragende Brücke zwischen Forschung und Automobilindustrie und ist essenziell für den Ausbau unseres Field of Expertise ‚Mobility & Production‘“, ergänzt Rektor Kainz. Das FSI ist beispielhaft für weitere Kooperationen: „Wir arbeiten an vergleichbaren Modellen und greifen auf die positiven Erfahrungen zurück“, so Kainz. ■

the so-called baby-boomer generation. In matters of safety – over the ten years of the FSI – a female crash-test dummy for rear-end collisions was developed, the internationally recognized ZEDATU in-depth accident database was set up, and motorway crash barriers were structurally modified to make them safer by FSI experts.

Top-level training

Additionally, a training program to meet the demands of industry was created at the FSI. The four-semester master's program in English "Production Science and Management" is coming along extremely well. 18 experts with various backgrounds in industry are part of the training program. Graz University of Technology managed to obtain guest speakers such as Helmut List (AVL), Siegfried Wolf (Russian Machines), Peter Mitterbauer (Miba) and Claus Raidl (OeNB). Some 100 students are actively involved in each semester. There are scholarships for especially talented students. "We welcome FSI graduates. Magna employs some 100 students, among them diploma and doctoral students, in various international positions," says Karl Friedrich Stracke, President of Magna Steyr Fahrzeugtechnik & Engineering, stressing the value of the training program. A great number of diploma and doctoral theses have been implemented up to now in the company, and eight patents submitted by us together with the FSI institutes. According to Stracke, several million euros have been invested in the FSI since 2004.

Cooperation extended

Cooperation is also part of the future focus of the FSI. An extension to the agreement until 2019 has enabled Magna and the FSI institutes to anchor important research focuses. "We are working together in several countries with different universities, but the FSI is unique. Only here have we undertaken a long-term commitment to financial support and research cooperation, which now has been going on for more than 10 years," according to Dave Pascoe, Vice President of Engineering and R&D Magna International. "The extension of the agreement shows how valuable the FSI is for both cooperation partners. It spans a bridge between research and the automobile industry and is essential for developing our FoE Mobility & Production," adds Rector Harald Kainz. The FSI is also exemplary for further partnerships. "We are working on comparable models and draw on our positive experiences," affirms Harald Kainz. ■



© TU Graz/Lunghammer

Abbildung 5:

Die Forschungsschwerpunkte an den FSI-Instituten reichen von der Industrie 4.0 und Erwärmungstechnologien bis zur Integration von Fahrerassistenzsystemen und urbanen Mobilitätskonzepten.

Figure 5:

Research focuses at the FSI institutes range from Industry 4.0 and heating technologies to the integration of driver assistance systems and urban mobility concepts.

Advanced Materials Science



Klaus Reichmann ist Leiter des FoE „Advanced Materials Science“
Klaus Reichmann is head of the FoE Advanced Materials Science.

Miteinander auf dem Spielfeld: Wettbewerb und Kooperation sind zwei gegensätzliche Begriffe, die als wesentliche Faktoren unser Leben als Forscher und Forscherinnen bestimmen. Wir sind es gewohnt, dass Forschungsmittel in kompetitiven Verfahren vergeben werden, und wir wissen, dass tragfähige Netzwerke unsere Chancen auf Zuerkennung einer Förderung erhöhen. Der sportliche Vergleich erscheint passend, denn wie die Ausschreibung

der Lead-Projekte – eine Strukturmaßnahme, die eine thematische Fokussierung durch die zusätzliche Förderung von exzellenten Forschungsbereichen erreichen soll – deutlich macht, können nur starke Teams den Meistertitel erringen.

Wettbewerb und Kooperation sind somit Elemente der Beziehungsbildung und als Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler wissen wir, dass die Beziehung zwischen Struktur und Eigenschaften, die wir letztendlich alle zu ergründen versuchen, von kompetitiven oder kooperativen Effekten bestimmt wird. Dabei habe ich gelernt, dass kooperative Effekte meist eine Synergie bewirken und am Ende ein „Mehr“ ergeben, während kompetitive Effekte vielfach in einem Trade-off, einem Kompromiss mit Abstrichen münden. Diese Erfahrung bestimmt meine Präferenz für Problemlösungsstrategien.

Erfolgreich war aus der Sicht des FoE „Advanced Materials Science“ die Zuerkennung von Projekten aus höchst kompetitiven Programmen. 16 Projekte wurden in diesem Jahr bereits gestartet, darunter fünf FWF-Projekte, zwei FFG-Projekte, ein EU-Projekt. Dazu möchte ich erwähnen, dass Stefan Freunberger vom Institut für Chemische Technologie von Materialien im Programm „Research Studios Austria“ ein Projekt gewinnen konnte. Er forscht an einer neuen, leistungsfähigeren Generation von Lithium- und Natriumbatterien. Damit sind wieder zwei der 17 Research Studios aus der letzten Ausschreibung an der TU Graz gelandet. Einen Beitrag zu Kooperation, Austausch und Netzwerkbildung leistete im April das Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik mit dem „European Workshop on Spatially-Resolved Electron Spectroscopy“, organisiert von Gerald Kothleitner und Ferdinand Hofer im Rahmen des europäischen ESTEEM2-Netzwerks.

In diesem TU Graz *research* finden Sie aus dem FoE „Advanced Materials Science“ Beiträge aus der Materialphysik und über die Analyse von Nanomaterialien im Synchrotron. Beide Themen illustrieren, wie durch Kooperation mit geeigneten Partnerinnen und Partnern ein weiterer Erfolgsfaktor, nämlich Kompetenz, synergistisch gestärkt wird.

*T*ogether on the playing field: Competition and co-operation are two opposite terms that are prominent elements of our scientific life. We are used to funds being competitively granted and we know that a solid network increases the chances of winning grants. The allusion to sports seems to fit because the call for lead projects, an initiative for focusing on topics by funding excellent research fields, makes it clear that only strong teams will win the championship.

Competition and co-operation are elements of relationship building and as material scientists we know that the relationship between structure and properties, which all of us finally want to explore, is governed by competitive and co-operative effects. I learned in my field that co-operative effects in most cases cause synergy and yield “more” in the final analysis, whereas competitive effects lead to a trade-off. This experience influences my decisions regarding problem-solving strategies.

From the point of view of the FoE Advanced Materials Science, securing grants from highly competitive programs was quite successful. 16 projects were launched this year, among them five FWF projects, two FFG projects and one project from the European Union Framework Program. Here I want to mention that Stefan Freunberger from the Institute for Chemistry and Technology of Materials was awarded a grant from the Research Studios Austria program. He will be studying new high-performance lithium and sodium batteries. Finally, two of the 17 Research Studios of the last call went to Graz University of Technology. The Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis contributed to co-operation, exchange and networking in April by hosting the European Workshop on Spatially-Resolved Electron Spectroscopy. This was organized by Gerald Kothleitner and Ferdinand Hofer in the context of the European esteem2-network.

In this issue of TU Graz research you will find from the FoE Advanced Materials Science contributions from materials physics and the analysis of nanomaterials in the synchrotron. Both topics illustrate how co-operation with suitable partners reinforces a further factor of success: namely, competence.

Von der Vermessung atomarer Freiräume zu neuen Materialien

From Measuring Open Spaces to Novel Materials

Wolfgang Sprengel, Roland Würschum

Viele Materialien des Alltags sind kristalline Festkörper. In ihnen sind die Atome für gewöhnlich dichtest gepackt. Für viele Eigenschaften neuer Materialien, sowohl funktioneller als auch struktureller Art, ist aber gerade die Abweichung von einer dichtesten Packung, also das Vorhandensein atomarer Freiräume und deren Verteilung im Festkörper entscheidend. Am Institut für Materialphysik der TU Graz werden die komplementären Methoden der Positron-Elektron-Zerstrahlung und der Dilatometrie zur Untersuchung solcher atomarer Freiräume eingesetzt und weiterentwickelt. Beispielhaft werden aktuelle Fragestellungen der Materialforschung beschrieben, die damit bearbeitet werden.

Kathoden von Lithium-Ionen-Batterien – ohne Leerstellen geht nichts

Aktuell ist die Erforschung neuer Materialien für nicht fossile Energieträger von großer Bedeutung. Hier spielen lithiumbasierte Oxide als Kathodenmaterial in modernen Batterien eine wichtige Rolle. Für die Effizienz einer solchen Batterie mitentscheidend ist, wie leicht Li-Ionen beim Betrieb in die Kathode eingebaut werden können. Hier kommen atomare Gitterlücken (sogenannte Leerstellen) ins Spiel, weil Li-Ionen in der Kathode darauf Platz finden und sich zudem über diese Leerstellen in der Kathode auch verteilen können (Abb. 1, links). Um eine Batterie reversibel zu betreiben, darf der Kathode beim Laden der Batterie allerdings nur ein Teil der Li-Ionen entzogen werden. Um die atomistischen Prozesse in der Kathode insbesondere an diesem Limit der Beladung zu untersuchen, wird die defekt-spezifische Methode der Positron-Elektron-Zerstrahlung eingesetzt, die am Institut eine lange Forschungstradition hat¹. Aktuell besteht hierzu auch eine Zusammenarbeit mit Kollegen der TU München, die dort einen Positronenstrahl mit der weltweit höchsten Intensität betreiben. >

Many materials of everyday use are based on crystalline solids, where atoms are mostly closed packed. However, many structural and functional properties of advanced materials rely on specific deviations from close packing, i.e. open space on an atomic scale plays a decisive role in determining material properties. The Institute of Materials Physics at Graz University of Technology employs and develops the complementary techniques of positron-electron annihilation and dilatometry to study such “free volume” on an atomic scale. In the following, examples of current research at the institute tackling the above topics will be given.

Cathodes of lithium-ion batteries – no action without vacancies

Current research and development on novel materials also contribute to the global aim of reducing the use of fossil energy carriers. Here, especially research on lithium-based oxides that serve as cathode material in modern Li-ion batteries are considered as an important contribution. A key aspect of the efficiency of such Li-ion batteries is the understanding of how Li ions are incorporated into the cathode material. This process strongly relies on the role of vacancies, i.e. vacant lattice sites by which the motion of Li ions is enabled, and which are necessary for their homogeneous distribution (Figure 1, left panel). For the reversible operation of a battery, only a certain amount of Li ions can be extracted during the charging process. In order to characterize these atomic processes inside the cathode material, especially on the edge of the charging limits, the defect specific techniques of positron-electron annihilation are applied¹. Expertise in these techniques has been established at the institute for decades. There is currently also a cooperation with colleagues from TU München who operate a mono-energetic positron beam with the worldwide highest intensity available. >



Wolfgang Sprengel arbeitet am Institut für Materialphysik auf dem Gebiet der Physik strukturell komplexer Materialien, zu denen neben nanostrukturierten Materialien auch intermetallische Verbindungen und metallische Gläser zählen.

Wolfgang Sprengel is with the Institute of Materials Physics and is working in the field of physics of structurally complex materials which besides nanostructured materials also comprises intermetallic compounds and bulk metallic glasses.



Roland Würschum ist Leiter des Instituts für Materialphysik. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen nanokristalline und nanoporöse Materialien sowie atomare Defekte.

Roland Würschum is head of the Institute of Materials Physics. His main area of research covers nanocrystalline and nanoporous materials as well as atomic defects.

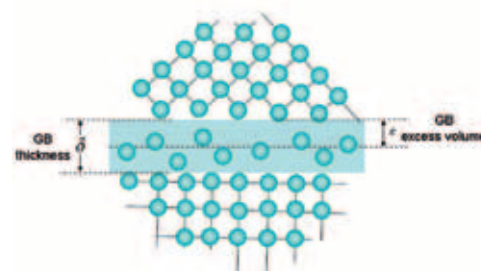
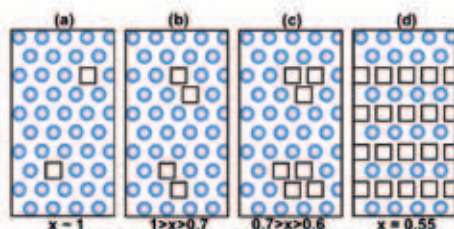
Ultrafeinkörnige Metalle – Grenzflächen bestimmen die Festigkeit

In Zusammenarbeit mit dem Erich Schmid Institut in Leoben, an dem durch starke plastische Verformung ultrafeinkörnige Metalle hergestellt werden können, wurden an diesen Materialien speziell die Eigenschaften sogenannter Korngrenzen, das sind die Übergangsgebiete zweier Bereiche unterschiedlicher Kristallorientierung, untersucht. Diese Korngrenzen, die auch Gebiete geringerer atomarer Packungsdichte darstellen, sind mit ein Grund für eine erhöhte Festigkeit ultrafeinkörniger Metalle. Hier konnte mit der Methode der Differenz-Dilatometrie zum ersten Mal direkt experimentell das Überschussvolumen, eine zentrale charakteristische physikalische Größe einer Korngrenze, bestimmt werden² (Abb. 1, rechts).

Ultrafine-grained metals – interfaces determine strength

In cooperation with the Erich Schmid Institut in Leoben where UFG metals can be prepared by techniques of severe plastic deformation, the properties of grain boundaries, which are the contact regions of crystals with different orientations, are investigated in ultrafine-grained (UFG) metals. In grain boundaries the atomic packing density is reduced and this feature is a major cause of the increased mechanical strength of ultrafine-grained metals. For the characterization of a grain boundary the excess volume is a physical key property. The method of difference-dilatometry was successfully applied to UFG metals and for the first time the excess volume of grain boundaries in pure nickel could be directly determined experimentally². (Figure 1, right panel).

Abbildung 1:
Schematische Darstellung unterschiedlicher Verteilung freier Volumen in einem Festkörper.
Links: Isolierte Leerstellen (□) und deren Agglomerate in Li:Co-Oxid-Batteriekathode je nach Li-Gehalt (x) (der Ladezustand der Batterie steigt von (a) nach (d)).
Rechts: Überschussvolumen einer Korngrenze, das dadurch entsteht, dass dichtest gepackte kristalline Bereiche aneinandergrenzen.



© TU Graz/Institut für Materialphysik

Figure 1:

Sketch of two possible ways for distributing volume in a solid.
Left panel: Isolated vacancies (□) and vacancy agglomerates in Li:Co-oxide battery cathode material as function of its Li content (x); the charge state increases from (a) uncharged to (d) fully charged.

Right panel: Excess volume of a grain boundary (GB) as formed when two densely packed crystalline regions with different orientations are in contact.

Metallische Gläser – gleichmäßig verteiltes freies Volumen ist schwer zu fassen

Metallische Gläser sind amorphe Metalle, und wie der Begriff „amorph“ schon andeutet, fehlt diesen Materialien jegliche kristalline Ordnung. Sie sind zwar dicht gepackt, beinhalten aber einen hohen Anteil an Freiräumen, sogenanntes freies Volumen, das im Unterschied zu den oben genannten Beispielen nicht lokalisiert in Leerstellen bzw. Korngrenzen vorliegen kann, sondern gleichmäßig im Festkörper verteilt ist. Metallische Gläser sind metastabil und nur bei niedrigen Temperaturen unterhalb der Glasübergangstemperatur anwendbar. Die für bestimmte Eigenschaften wichtige Kinetik atomarer Prozesse, an denen das freie Volumen nicht unmaßgeblich beteiligt ist, läuft daher auf langen Zeitskalen ab und um diese Prozesse zu untersuchen, bedarf es spezieller experimenteller Methoden. Dazu wird am Institut die spezifische und hochempfindliche Methode der Laser-Dilatometrie weiterentwickelt und das Phänomen des Glasübergangs untersucht³.

Metallic glass – equally distributed volume, difficult to catch

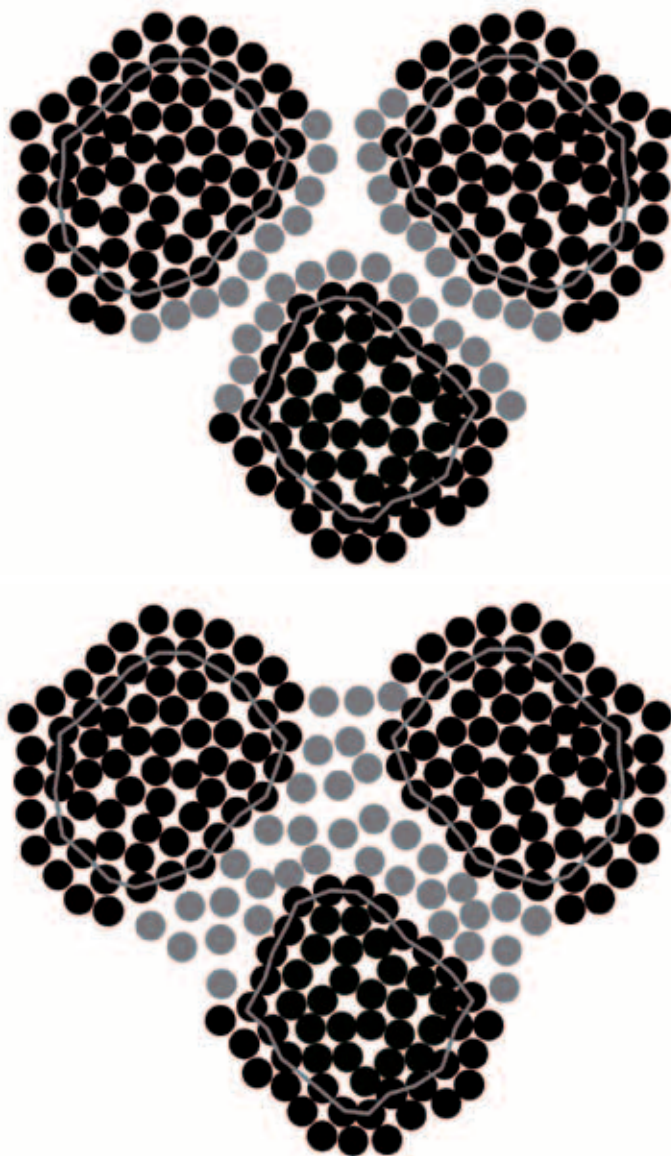
Metallic glasses are amorphous metals and as already indicated by the word “amorphous” they lack any kind of crystalline order. They are more or less dense packed, however, incorporate a high fraction of open space, so-called free volume. In an amorphous solid this free volume cannot be located at vacancies or grain boundaries but is equally distributed. Metallic glasses by their nature are metastable and can only be used below their glass transition temperature. Atomic processes necessary to establish distinct properties are governed by the free volume kinetics. Due to this fact, these processes occur in metallic glasses at low temperatures in long time scales. Special experimental methods are necessary to study them. For this reason the specific and highly sensitive method of laser dilatometry is being developed at the institute especially to study the still unresolved phenomenon of glass transition³.

Abbildung 2:

Schema eines metallischen Nanoglasses: In den Grenzflächen (symbolisiert durch graufarbige Atome) zwischen amorphen Nanopartikeln entsteht durch Relaxation (unten) atomares freies Volumen in Konzentrationen, die das von herkömmlichen kristallinen und amorphen Metallen deutlich übersteigt.

Figure 2:

Sketch of the structure of a nanoglass: By structural relaxation (see grey-coloured atoms), free volume in interfaces between amorphous nanoparticles is formed in abundance and considerably exceeds that found in conventional crystalline or amorphous metals.



© TU Graz/Institut für Materialphysik

Nanogläser – mehr Freiraum passt nicht in einen Festkörper

Das Konzept der Nanogläser treibt nun die Idee, „Freiräume“ in einem Festkörper zu erzeugen, ins Extreme. Kombiniert werden hier zwei Konzepte, nämlich das des freien Volumens in metallischen Gläsern und das des Überschussvolumens von Korngrenzen, und zwar, indem man aus amorphen metallischen Nanopartikeln einen Festkörper aufbaut. Die Grenzflächen, die sich zwischen den Nanopartikeln ausbilden, „relaxieren“ in einen Zustand, der noch weniger dicht gepackt ist als herkömmliche Korngrenzen zwischen kristallinen Körnern (Abb. 2). Erste Untersuchungen zum freien Volumen solcher Nanogläser mit der Methode der Positronenzerstrahlung wurden in Kooperation mit dem Karlsruhe Institut für Technologie durchgeführt⁴. Falls sich Prognosen bestätigen sollten, wonach Nanogläser mit atomarem freiem Volumen im 10%-Bereich hergestellt werden können, würde das den Weg zu neuartigen Materialeigenschaften eröffnen. ■

Nanoglass – towards maximum open space in a solid

Incorporating free volume into a solid is driven to its limits by the concept of a so-called nanoglass where the two phenomena, free volume in a metallic glass and excess volume of grain boundaries, are combined by building up a solid from amorphous nanoparticles. The interfaces formed between the nanoparticles will relax into a state by which they should additionally incorporate their excess volume equally distributed into the solid (Figure 2). First studies on the free volume of such materials have been performed using positron-electron annihilation with the cooperation of colleagues from the Karlsruhe Institute of Technology⁴. If, as forecasted, a nanoglass could accommodate free volume in the 10% range, entirely new material properties can be expected. ■

Literatur/References

- ¹ Charging induced defect formation in LiCoO_2 studied by the atomic sensitive method of positron annihilation spectroscopy, P. Parz, B. Fuchsichler, S. Koller, B. Bitschnau, F. A. Mautner, W. Puff, and R. Würschum, Appl. Phys. Lett. 102 (2013) 151901.
- ² Direct experimental determination of grain boundary excess volume in metals, E.-M. Steyskal, B. Oberdorfer, W. Sprengel, M. Zehetbauer, R. Pippan, and R. Würschum, Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 055504.
- ³ Specific volume study of a bulk metallic glass far below its calorimetrically determined glass transition temperature, M. Luckabauer, U. Kühn, J. Eckert, and W. Sprengel, Phys. Rev. B (2014), in print.
- ⁴ Atomic structure and structural stability of $\text{Sc}_{75}\text{Fe}_{25}$ nanoglasses, JX Fang U. Vainio, W. Puff, R. Würschum, XL Wang, D. Wang, M. Ghafari, F. Jiang, J. Sun, H. Hahn, H. Gleiter, Nano Letters. 12 (2012) 458.

Human- und Biotechnologien werden allgemein als Schlüsseltechnologien (Key Enabling Technologies) angesehen, die zur Lösung zentraler zukünftiger Herausforderungen in unserer Gesellschaft sowie in Industrie und Wirtschaft beitragen werden. Forschungs- und Entwicklungsstrategien auf europäischer Ebene, aber auch auf nationaler Ebene spiegeln diesen Trend in aktuellen Leitprogrammen wider.

Human & Biotechnology



Bernd Nidetzky ist Leiter des FoE „Human & Biotechnology“.
Bernd Nidetzky is head of the FoE Human & Biotechnology.

Die TU Graz bündelt ihre weitreichenden Kompetenzen in Human- und Biotechnologie in einem starken Field of Expertise. Eine dynamische Gruppe von Forscherinnen

und Forschern vor allem aus den Bereichen Biomedical Engineering und technische Biowissenschaften hat die konkrete fachliche Positionierung des FoE ermöglicht. Das FoE bietet somit eine ausgezeichnete Plattform für die verstärkte Sichtbarmachung der themenbezogenen Forschung in TU Graz-weitem Rahmen und trägt wesentlich zur markanten fachlichen Profilbildung der TU Graz bei. Intensivierung der Kooperation zwischen den Fachbereichen Biomedical Engineering und technische Biowissenschaften und Nutzung des hier vorhandenen synergetischen Potenzials sind wichtige aktuell verfolgte Aufgaben und Ziele des FoE.

Das FoE „Human & Biotechnology“ ist in die Standortprogramme BioTechMed und NAWI in Graz gestaltend eingebunden. Exzellenzprogramme wie das FWF-Doktorandenkolleg „Molekulare Enzymologie“, das COMET K2-Zentrum Austrian Centre of Industrial Biotechnology und das COMET K1-Zentrum Research Center Pharmaceutical Engineering werden von Forscherinnen und Forschern aus dem FoE „Human & Biotechnology“ erfolgreich getragen. Bereits erfolgreich durchgeführte oder aktuell laufende Berufungsverfahren in den Bereichen Bioinformatik, Computational Biotechnology, Biopharmazie und Technologie von Biomaterialien werden das FoE signifikant stärken und nach innen und außen vernetzen. Mit Jahreswechsel wurden Institute mit Schwerpunkt Biomedical Engineering (Medizintechnik; Healthcare Engineering mit Europaprüfstelle für Medizinprodukte; Biomechanik) der neu benannten Fakultät für Informatik und Biomedizinische Technik zugeordnet, die nun gemeinsam mit der Fakultät für Technische Chemie, Verfahrenstechnik und Biotechnologie die institutionellen Säulen des FoE bilden.

The human and biotechnologies are generally recognized as key enabling technologies of future development, contributing significantly to our ability to meet major challenges of society, industry and economy. National and in particular European strategies of research and development therefore focus strongly on these technologies in their current funding and initiative programmes.

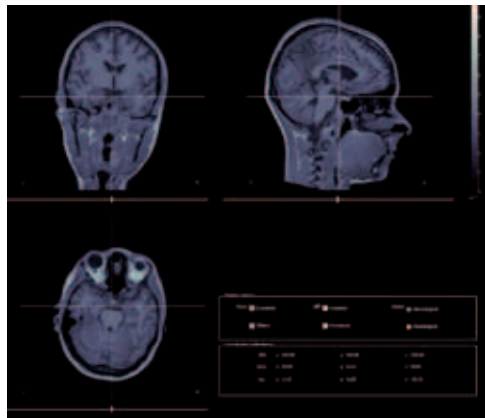
Graz University of Technology concentrates its broad competences in human and biotechnologies in a strong Field of Expertise (FoE). A dynamic group of researchers primarily from the areas of biomedical engineering and biotechnology generates critical mass and contributes to the clear positioning of the FoE. The FoE serves as an excellent platform for increasing the visibility of subject-related research activities at Graz University of Technology and contributes to the development of a strong research profile of the university as a whole. Intensification of the cooperation between biomedical engineering and biotechnology as well as the identification and promotion of synergistic interactions between the two areas are important current tasks and goals of the FoE.

The FoE Human and Biotechnology is involved in and contributes to shaping two major inter-university cooperation programmes in Graz, namely BioTechMed and NAWI Graz. Centres of excellence in research such as the FWF PhD programme Molecular Enzymology, the COMET K2 Centre acib (Austrian Centre of Industrial Biotechnology) and the COMET K1 Centre RCPE (Research Centre Pharmaceutical Engineering) show sustained development through contributions and support from research groups within the FoE. Successfully completed and currently running appointment procedures for professors in bioinformatics, computational biotechnology, biopharmacy and bio-based materials technology will result in significant strengthening of the FoE and will also contribute to a broadening of the FoE scientific network. Effective this year, several institutes forming the Centre of Biomedical Engineering (Biomechanics, Medical Engineering, Healthcare Engineering with European Testing Institute) were assigned to the newly named Faculty of Computer Science and Biomedical Engineering which, together with the Faculty of Technical Chemistry, Chemical and Process Engineering, Biotechnology serves as the main institutional pillar of the FoE.

Tatort Gehirn

The Brain that Changes Itself

Reinhold Scherer



© TU Graz

Das Gehirn kann die Folgen einer Schädigung (z. B. Beeinträchtigung der Gehfunktion infolge eines Schlaganfalles) durch kortikale Reorganisation zum Teil kompensieren. Am Institut für Semantische Datenanalyse werden durch die Kombination unterschiedlicher bildgebender Verfahren die dazugehörigen Prozesse erstmals bei Schlaganfallpatientinnen und -patienten im Verlauf der motorischen Gangrehabilitation erforscht.

Bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) haben die Gehirnforschung revolutioniert. Mithilfe dieser Methoden ist es möglich, ohne jeglichen invasiven Eingriff Einblicke in die Funktion des Gehirns lebender Menschen zu erhalten. Dem Potenzial dieser Methoden stehen jedoch auch Nachteile gegenüber. Das fMRT erlaubt es, neuronale Prozesse nur indirekt zu erfassen, und kann, bedingt durch seine Bauweise (Probanden müssen möglichst ruhig im Gerät liegen), nur ein sehr begrenztes Bewegungsrepertoire untersuchen. Aktive Gehirnregionen können jedoch identifiziert und räumlich exakt zugeordnet werden. Das Elektroenzephalogramm (EEG) hingegen ermöglicht es, neuronale Prozesse in Echtzeit zu erfassen, erschwert allerdings eine möglichst exakte Lokalisation kortikaler Aktivität und der dazugehörigen Quellen. Zudem sind EEG-Signale sehr störanfällig und haben ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis. >

Function associated with damaged brain tissue, for example, due to stroke, is affected to a greater or lesser degree; in the worst case even lost. The Institute of Knowledge Discovery at Graz University of Technology is researching medical imaging techniques to study cortical reorganization, i.e. the capacity of the brain to regain lost function by changing neural pathways and synapses.

Non-invasive imaging techniques such as functional magnetic resonance imaging (fMRI) have revolutionized brain research. Imaging methods allow the living and behaving human brain to be observed in action. Despite the potential of such methods, there are also downsides. fMRI only captures an indirect measure of neuronal activity. Moreover, due to its construction (persons typically lie on their back during the measurement), it allows only a very limited repertoire of movements to be studied. Active brain areas, however, can be clearly identified and precisely located. In contrast, the use of the non-invasive electroencephalogram (EEG) allows neuronal processes to be measured in real-time. An exact localization of cortical sources, however, is difficult. Additionally, EEG signals are very interference prone and have a low signal-to-noise ratio. >



Abbildung 1:
Aus anatomischen MRT-Scans werden 3-D-Computermodelle generiert. EEG-Elektrodenmesspositionen sind als Punkte dargestellt.

Figure 1:
Individual 3D model of a head generated by anatomical MRT scans. EEG electrode coordinates are marked as dots.



Reinhold Scherer ist Assistenzprofessor am Institut für Semantische Datenanalyse. Seine Forschungsinteressen liegen in der statistischen und adaptiven Signalverarbeitung, den EEG- und ECoG-basierten Brain-Computer Interfaces sowie dem strukturell-funktionalen Gehirn-Monitoring.

Reinhold Scherer is assistant professor at the Institute of Knowledge Discovery at Graz University of Technology. His research interests include direct brain-computer interfacing based on EEG and ECoG signals, statistical and adaptive signal processing, and functional brain mapping and robotics-mediated rehabilitation.

Multimethodaler Ansatz

Die Kombination von MRT und EEG ermöglicht es, die bioelektrische Gehirnaktivität in hoher Zeitauflösung bestimmten kortikalen Arealen zuzuordnen. Information aus dem EEG und der MRT werden mittels der Methode der EEG-Quellenrekonstruktion verknüpft. Die EEG-Quellenrekonstruktion ermöglicht es auf Basis der an der Kopfoberfläche gemessenen bioelektrischen Potenziale, kortikale Stromdichteverteilungen mithilfe von strukturellen MRT-Scans zu berechnen. Dadurch können zeitlich hochaufgelöste, funktionelle Topografien der Gehirnaktivität nichtinvasiv rekonstruiert werden. Hierzu wird ein realistisches 3-D-Computermodell des Gehirns und der Geometrie der Kopfoberfläche anhand von T1-gewichteten anatomischen MRT-Scans erstellt. Dabei werden der Kortex, die inneren und äußeren Schädelknochenoberflächen sowie die Kopfoberfläche segmentiert. Basierend auf diesem Kopfmodell sowie den elektrischen Leitfähigkeiten der spezifischen Gewebe werden die elektromagnetischen Zusammenhänge zwischen dem Kortex und den EEG-Elektrodenmesspositionen beschrieben (Abb. 1). Anhand dieses mathematischen Zusammenhangs können die kortikalen Quellen der gemessenen EEG-Potenziale mit der Anwendung von inversen Methoden rekonstruiert werden.

Neue Wege in den Neurowissenschaften

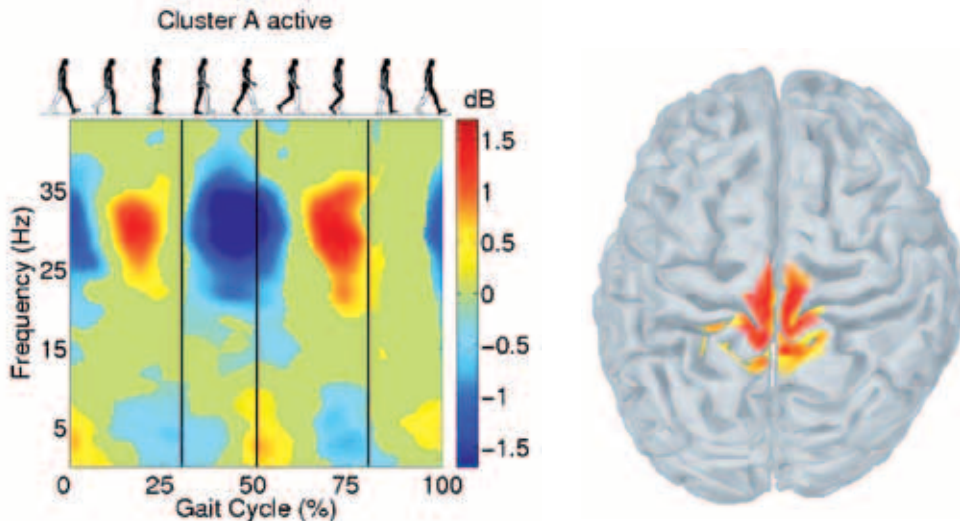
Der Großteil der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet fokussiert, bedingt durch die eingangs erwähnten methodischen Einschränkungen, bislang auf die Modellierung isolierter Bewegungen einzelner Muskelpaare. Wir sind im Gegensatz dazu an funktionellen Bewegungen und an der synergistischen Aktivierung mehrerer Muskeln interessiert. Dies kommt den natürlichen physiologischen Prozessen deutlich näher und ermöglicht, ein umfassenderes Bild der Gehirnfunktion bei komplexen Bewegungsabläufen (wie beim Gehen) zu liefern. Zudem verspricht dieser Ansatz ein verbessertes Verständnis der neurophysiologischen Korrelate erfolgreicher Neurorehabilitation zu geben. Ein Modell, welches das Verhalten aufrechtes, aktives Gehen anhand von EEG-Dynamiken beschreibt, wurde im Rahmen des EU-FP7-Projekts „BETTER“ und des Land-Steiermark-Human-Technology-Interface-Projekts „bci4rehab“ an gesunden Probanden erstellt (Abb. 2).

Multi-methodical approach

To get a more detailed view of ongoing brain activity, it seems reasonable to combine information from MRT (location) and EEG (temporal dynamics). The method of EEG source imaging combines both aspects. Cortical current densities (sources) are reconstructed based on bioelectrical potentials recorded from the scalp (EEG) and structural MRI scans. Realistic 3D models of the brain and the head surface are computed from T1 MRI scans. For example, the boundary element model in Figure 1 consists of four layers, cortical surface, inner and outer skull and the head surface. Taking into account specific tissue conductances, it is possible to calculate the electromagnetic relation between cortical sources and the head surface, i.e. the EEG electrodes. EEG electrode positions are localized in space and co-registered with the 3D model based on anatomical landmarks (e.g. nasion and preauricular bone). Based on this mathematical model the cortical sources can then be reconstructed from EEG signals by applying inverse methods. As a result, the method provides functional topographies in high temporal resolution.

New directions in neuroscience

During the past decades most research has focused on modelling isolated movements, i.e. movements that only involve individual pairs of muscle. This was due to the earlier mentioned methodical limitations of the different imaging techniques. However, we are interested in studying functional movements and the synergistic co-activation of several muscles (such as upright gait). This should better reflect natural physiological processes and hence allow the acquisition of more comprehensive picture of brain function during complex motor behavior. Moreover, by aiming at functional movements, we should gain a better understanding of neurophysiological correlates that are related to successful neurorehabilitation. By studying brain activity and connectivity in individuals that undergo comparable interventions with different outcomes (good recovery vs. no recovery) and by identifying similarities and differences between and within outcome groups, a more comprehensive theory on brain functioning and cortical reorganization (aka. neuroplasticity) induced by interventions can be developed. Computational models that characterize the behavior of upright walking in able-bodied individuals (Figure 2) have been developed as part of the EC FP7 project “BETTER” and the Land Steiermark HTI Project “bci4rehab”.



© sec reference 1

Motorisches Lernen und motorische Kontrolle

Im Rahmen des HTI-Nachfolgeprojekts „rE(EG) map!“ wird dieses Modell nun in Kooperation mit der Medizinischen Universität Graz und dem Rehabilitationszentrum Judendorf-Straßengel um Daten von Schlaganfallpatientinnen und -patienten erweitert. Dadurch kann die Funktion der unterschiedlichen Gehirnrhythmen noch gezielter erforscht werden. Ziel der Forschung ist es, das Grundlagenwissen zur motorischen Kontrolle über das komplexe Verhalten des Gangs und zum motorischen Lernen zu vertiefen. Motorisches Lernen, angeregt durch gezielte Neurorehabilitation, könnte die funktionelle Auswirkung von Hirnschädigungen durch einen Schlaganfall limitieren. Um die dazugehörigen Prozesse zu beleuchten, wird zum einen die Gehirnfunktion von Schlaganfallpatientinnen und -patienten im Verlauf der motorischen Gangrehabilitation in der Klinik untersucht und zum anderen Änderungen der sogenannten Ruhenetzwerke charakterisiert. Ruhenetzwerke beschreiben die grundlegenden funktionellen Verbindungen des Gehirns, wenn keine spezifische Aufgabe („Ruhe“) ausgeführt wird. Durch die Analyse von Kopplungsmaßen (Phasensynchronisation und Amplitudenkorrelation neuronaler Oszillationen) ist es möglich, den Informationstransfer zwischen den unterschiedlichen Gehirnarealen, die bei der Ausführung beziehungsweise beim Wiedererlernen der Gangbewegung ausschlaggebend sind, als auch der Ruhenetzwerke zu untersuchen.

Aufgrund der Komplexität der Methodik und der Interdisziplinarität des Ansatzes gibt es weltweit nur wenige Gruppen, die die Kombination der unterschiedlichen Methoden technisch anwenden und einen derartigen Ansatz auch in einer klinischen Kohorte testen können. Das Institut für Semantische Datenanalyse gehört zu den weltweit federführenden Gruppen, die sich mit derartigen Fragen beschäftigen. ■

Motor learning and motor control

In the framework of the HTI follow-up project “rE(EG) map!” this model is being extended by using data from stroke patients in cooperation with the Medical University of Graz and the Judendorf-Strassengel rehabilitation center. This allows the function of different brain rhythms to be explored more closely. The aim of research activities is to improve knowledge about motor control and motor learning. Motor learning, encouraged by specific neurorehabilitation, should contribute to limiting the impact of brain tissue damage on functional effects. To this end, firstly, brain activity from stroke survivors that participate in an inpatient gait rehabilitation program is studied and, secondly, changes in default-mode or resting-state networks are characterized. The resting-state network is active when individuals are not engaged in goal-directed cognitive or motor tasks. Connectivity analysis, such as phase synchronization or amplitude correlation between neuronal oscillations, allows studying spatiotemporal interactions in local and large-scale cortical networks. Hence information transfer between cortical regions during motor execution and motor learning, as well as for the resting-state networks, can be studied and linked to functional outcome.

The complexity and interdisciplinarity of this research are major challenges. The Institute of Knowledge Discovery at the Graz University of Technology is among the leading groups world-wide able to address this challenging research question in clinical environments. ■

Abbildung 2: EEG-Messung während der automatisierten Therapie in der robotischen Gangorthese Lokomat (Hocoma, Volketswil, Schweiz) in der Klinik Judendorf-Straßengel bei Graz. Aktive Gehirnregionen sind im 3-D-Kopfmodell rot markiert. Oszillationen in diesem Bereich werden vom Gangzyklus moduliert. Die Graphik links zeigt Leistungs- und -abnahmen in spezifischen Frequenzbändern als Funktion des Gangzyklus¹.

Figure 2: EEG recordings from an individual while walking in the Lokomat gait orthosis (Hocoma, Volketswil, Switzerland). Active brain regions are marked in red in the 3D model. Oscillations in the active region are modulated by the gait cycle. The time-frequency map shows significant spectral power density increase and decrease as function of the gait cycle¹.

Literatur/References

¹ J. Wagner, T. Solis-Escalante, P. Grieshofer, C. Neuper, G. Müller-Putz and R. Scherer: Level of participation in robotic-assisted treadmill walking modulates midline sensorimotor EEG rhythms in able-bodied subjects, *Neuroimage*, 63(3):1203-11, doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.08.019.

Information, Communication & Computing



Johannes Wallner ist Leiter des FoE „Information, Communication and Computing“.

Johannes Wallner is head of the FoE Information, Communication and Computing.

Das Field of Expertise „Information, Communication and Computing“ der TU Graz darf von einem großen Erfolg berichten, nämlich von der Besetzung einer von drei Professuren, die im Rahmen der Fields of Expertise vom Rektorat finanziert werden. Unter den von uns übermittelten Vorschlägen wurde derjenige mit dem Titel „Computational Topology and Geometry“ ausgewählt und befürwortet. Es handelt sich um eine Professur nach § 98 UG, deren dauerhafte Finanzierung nach vier Jahren von der Fakultät für Technische Mathematik und Technische Physik übernommen wird.

Das Verfahren zur Besetzung ist bereits in Gang, inklusive der Änderung des Entwicklungsplans von Universitätsrat und Senat. Der bereits nominierten Berufungskommission gehören die drei Leiter des Field of Expertise an.

Das Gebiet „Computational Topology and Geometry“ ist im Bereich der Mathematik und Informatik angesiedelt. Es geht dabei um das qualitative (Topologie) und quantitative (Geometrie) Verständnis von großen und unstrukturierten Daten, um Algorithmen und natürlich um den mathematischen Hintergrund dazu. Unser Vorbild ist das Computational Topology Project in Stanford, das von Kolleginnen und Kollegen aus Informatik, reiner Mathematik und Statistik ins Leben gerufen wurde, in dem Doktorandinnen und Doktoranden sowie Postdocs an fachübergreifenden Themen arbeiten. Dieses Projekt hat ein sehr erfolgreiches Spin-off hervorgebracht, das mit „find meaning in your data“ und „solving the world's most complex problems“ wirbt. Die algebraische Topologie, einst fest in der reinen Mathematik verankert, ist mittlerweile eine angewandte Disziplin geworden. Sie ist für viele Bereiche relevant, z. B. auch für die Werkstoffwissenschaften.

Eine zurzeit laufende Aktivität des Field of Expertise ist die Vorbereitung von Anträgen für die bis Oktober 2014 offene Ausschreibung von Leadprojekten, wo auf kompetitive Weise eine Förderung in größerem Ausmaß an ein thematisch zusammengehöriges Konsortium vergeben wird. Auch wenn in diesem frühen Stadium der Verlauf und Erfolg dieser Arbeit noch nicht absehbar sind, sind wir trotzdem zuversichtlich, dass wir auch in diesem Bereich mindestens einen überzeugenden Antrag werden vorlegen können.

It is a pleasure to report a great success in the Field of Expertise Information, Communication and Computing. We were awarded one of three new full professor positions which are to be funded within the framework of the Fields of Expertise. One of our proposed topics was chosen and approved by the Rectorate, namely Computational Topology and Geometry. This is a full professorships according to Section 98 of the University Act (UG) whose funding is guaranteed by the Rectorate for four years, and by the Faculty of Mathematics and Physics after that. The procedure for filling the position is well under way: the necessary decisions were taken by the University Council and the Senate, and a hiring committee has been nominated which includes the three heads of our Field of Expertise.

Computational Topology and Geometry is part of both mathematics and computer science. It deals with the qualitative (topology) and quantitative (geometry) analysis of data, especially big and unstructured data. Algorithms and, of course, mathematical foundations, are an essential part. The choice of this topic was inspired by the Stanford Computational Topology Project, founded by colleagues from pure mathematics, computer science and statistics. They advise the work of Ph.D. students and post-docs, and have already produced a very successful spin-off company which is advertising itself under the slogans “Find meaning in your data” and “Solving the world's most complex problems”. Algebraic topology, once part of pure mathematics, is now firmly established as an applied discipline relevant in many places and even in some unexpected ones, such as material science.

Currently our Field of Expertise is most active in preparing proposals for the lead project call which is open until October 2014. These lead projects are awarded competitively, and provide a substantial amount of funding for a thematically coherent collection of proposals. It is of course too early in the process to know anything definite, but we are confident that also in this area, our Field of Expertise will supply at least one very convincing proposal.

Zufallsgraphen: Von der Natur zur Gesellschaft zum Gehirn

Random Graphs: from Nature to Society to the Brain

Mihyun Kang

Der folgende Beitrag beleuchtet die Entwicklung des Gebiets der Zufallsgraphen in den letzten 50 Jahren. Einerseits hat sich gezeigt, dass die Theorie der Zufallsgraphen dafür geeignet ist, komplexe Strukturen zu beschreiben und zu analysieren, die in der Natur, der Gesellschaft und sogar im Gehirn auftreten. Andererseits motivieren diverse Anwendungen zur weiteren Untersuchung von Zufallsgraphen. Die Ausbreitung der Theorie der Zufallsgraphen und deren vielfältige Anwendungen zeigen immer wieder, wie viel wir aus abstrakten mathematischen Ideen über die „reale“ Welt lernen können.

Zufallsgraphen

Im Jahr 1959 veröffentlichten Erdős und Rényi einen Artikel mit dem Titel „On random graphs I“ und begründeten damit die Theorie der Zufallsgraphen. Ein Jahr danach entdeckten sie dann, dass Zufallsgraphen eine drastische Änderung in der Größe der größten Komponente erleben, von logarithmischer zu sublinearer und dann zu linearer Größe, wenn die Anzahl der Kanten über die halbe Anzahl der Knoten hinauswächst.

Seit dem Entstehen der Zufallsgraphentheorie vor fünf Jahrzehnten sind verschiedene Modelle für Zufallsgraphen eingeführt und untersucht worden, z. B. gerichtete Zufallsgraphen, inhomogene Zufallsgraphen, planare Zufallsgraphen und Zufallsgraphenprozesse. Zufallsgraphen sind eng verwandt mit anderen zufälligen diskreten Strukturen, wie z. B. zufälligen Flächen, zufälligen Matrizen, zufälligen Erfüllbarkeitsproblemen, dem Ising- und dem Pottsmodell und der Perkolation. Die Theorie der Zufallsgraphen hat mittlerweile auch in anderen Wissenschaften Einzug gehalten – als reiche Quelle für Modelle zur Beschreibung grundlegender Aspekte eines breiten Spektrums von komplexen Phänomenen. >

This brief article gives a flavour of how the field of random graphs has evolved over the last 50 years. On one hand, the theory of random graphs has proven to be appropriate for the description and analysis of complex structures arising everywhere from nature to society, even the brain. On the other hand, diverse applications continue to motivate and inform the study of random graphs. The expansion of random graph theory and its applications shows us again how much abstract mathematical ideas can teach us about the ‘real world’.

Random graphs

Erdős and Rényi initiated the theory of random graphs in their paper entitled “On random graphs I” published in 1959, in which they addressed, among other things, the questions of the probability of a random graph being connected, and the probability that the largest component of a random graph covers almost all vertices. One year later, Erdős and Rényi discovered that a random graph undergoes a drastic change in the number of vertices contained in the largest component, from logarithmic to sub-linear and then to linear order, when the number of edges passes through half the number of vertices.

Since the foundation of the theory of random graphs by Erdős and Rényi five decades ago, various random graph models have been introduced and studied. Examples include random hypergraphs, random directed graphs, random graphs with a given vertex degree sequence, inhomogeneous random graphs, random planar graphs, and random graph processes. Random graphs are closely related to other random discrete structures such as random surfaces, random maps, random matrices, random satisfiability problems, Ising and Potts models, and percolation. Random graph theory has meanwhile found its way into other sciences as a rich source of models describing fundamental aspects of a broad range of complex phenomena. >

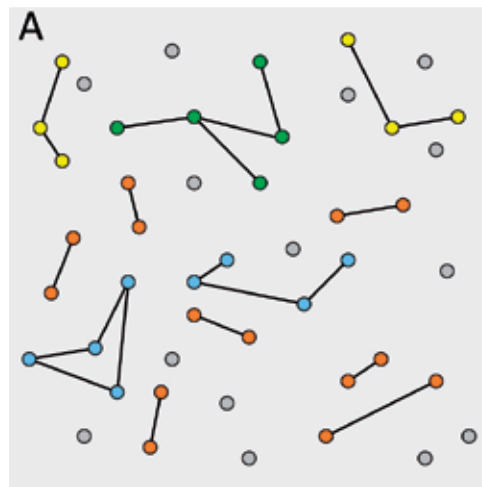


Mihyun Kang leitet das Institut für Optimierung und Diskrete Mathematik. Ihre Forschungsthemen umfassen Zufallsgraphen, Zufallsgraphenprozesse und planare Zufallsgraphen. Kang untersucht deren asymptotische Eigenschaften und Grenzverhalten sowie deren strukturelle, abzählende und algorithmische Aspekte, durch das Zusammenspiel der Methoden aus der Probabilistik und Graphentheorie und Methoden der analytischen Kombinatorik.

Mihyun Kang is head of the Institute of Optimization and Discrete Mathematics. Her research areas include random graphs, random graph processes, random planar graphs. Kang studies their asymptotic properties and limit behaviour as well as their structural, enumerative and algorithmic aspects, through the interplay between methods from probability theory, graph theory and analytic combinatorics.

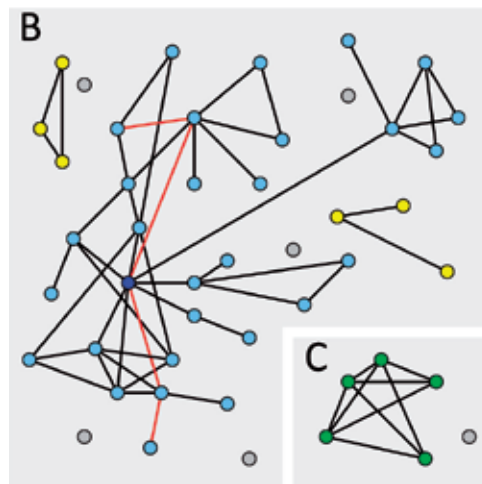
Wenn die Anzahl der Kanten klein ist, besteht der Zufallsgraph aus vielen kleinen Komponenten.

When the number of edges is small, the random graph consists of many small components.



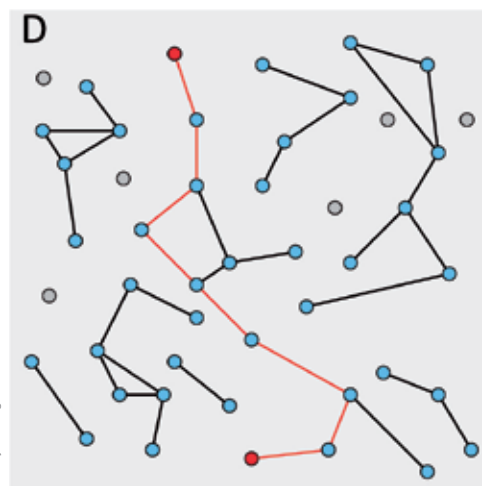
Wenn mehr Kanten hinzugefügt werden, taucht eine „GIANT“-KOMponente auf (blau).

As more edges are added, a GIANT COMPONENT emerges (blue).



Ein PLANARER GRAPH kann so in der Ebene dargestellt werden, dass sich keine Kanten schneiden.

A PLANAR GRAPH can be drawn in plane so that its edges do not cross.



© Mhyun Kang

Abbildung 1:

Zufallsgraphen und deren Struktur.

- Der GRAD EINES KNOTENS ist die Anzahl der benachbarten Knoten. Der dunkelblaue Knoten in B hat den größten Grad neun.
- Die GRÖSSE EINER KOMPONENTE ist deren Knotenanzahl. Die blaue Komponente in B hat Größe 30, die gefärbten Komponenten in A haben Größe vier (blau), drei (gelb), zwei (orange) und eins (grau).
- Der DURCHMESSER eines Graphen ist der größte minimale Abstand zwischen zwei Knoten. Die größte Komponente in A hat den Durchmesser drei, in B vier, in C zwei und in D acht.
- In einem „SMALL-WORLD“-Netzwerk ist der typische kürzeste Abstand zwischen zwei beliebigen Knoten in der größten Komponente „klein“, d. h. die größte Komponente hat einen kleinen Durchmesser (markiert durch die roten Linien in B und D).
- Ein „hohes“ KLUSTERING bedeutet, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass je zwei Nachbarknoten eines Knotens auch benachbart sind, wie in der grünen Komponente in C.
- „Reale“-Welt-Netzwerke haben oft einen kleinen DURCHMESSER und zeigen hohes KLUSTERING.

Figure 1:

Random graphs and their structure.

- The DEGREE OF A VERTEX is the number of adjacent edges. The darkblue vertex in B has the largest degree 9.
- The ORDER OF A COMPONENT is the number of vertices it contains. The blue component in B has order 30, the coloured components in A have order 4 (blue), 3 (yellow), 2 (orange) and 1 (grey).
- The graph DIAMETER is the longest minimum distance between any two vertices. The largest component in A has a diameter three, in B four, in C two, and in D eight.
- In a SMALL-WORLD network, the typical shortest distance between any two vertices in the large component is “short”, i. e., the largest component has a small diameter (marked by a red line in B and D).
- High CLUSTERING means that any neighbours of a vertex are also very likely to be connected, as in the green component in C.
- Real-world networks often have a small DIAMETER and exhibit high CLUSTERING.

Biowissenschaften

Der Boom in den Biowissenschaften in den letzten Jahren hat große Mengen von Daten erzeugt: Das Erbgut ganzer Organismen ist entschlüsselt; Proteine sowie deren Interaktionsmuster sind identifiziert; metabolische Netzwerke, die biochemische Reaktionen erklären, sind erforscht. Es wird erwartet, dass die detaillierte Analyse von Genen, Protein-Interaktionen und metabolischen Netzwerken mittels Methoden aus der Graphentheorie dabei hilft, die Eigenschaften der Netzwerke zu verstehen, die vorrangig auf großskaligen Strukturen beruhen und im Wesentlichen nicht von physikalischen oder chemischen Details der individuellen Interaktionen abhängig sind.

Sozialwissenschaften

Die Graphentheorie ist für die Analyse der menschlichen Kommunikation von großer Bedeutung. Eines der ältesten und bekanntesten Beispiele ist das „six degrees of separation“-Phänomen, das vor Jahrzehnten beschrieben wurde: Zwei beliebige Menschen können durch eine Kette von Bekanntschaften mit einer durchschnittlichen Pfadlänge von sechs verbunden werden. Das heißt, ähnlich wie die Erdős-Rényi-Zufallsgraphen hat der Bekanntschaftsgraph einen kleinen Durchmesser oder in anderen Worten: Er ist ein „small-world“-Netzwerk. Dennoch, im Unterschied zu den Erdős-Rényi-Zufallsgraphen hat er einen großen „Clustering“-Koeffizienten. Viele weitere Netzwerke der „realen“ Welt haben diese Struktur, zum Beispiel auch das Netzwerk, das Mathematiker mit dem Begriff Erdős-Zahl in Verbindung bringen: In diesem werden die Autorinnen und Autoren wissenschaftlicher Artikel in Beziehung gesetzt, wenn eine gemeinsame Publikation vorliegt.

Das Gehirn

Die Graphentheorie kann helfen, die vielleicht komplexeste Struktur der Natur zu verstehen: das Gehirn. Das Netzwerk der miteinander verknüpften Nervenzellen des Gehirns wurde als Zufallsgraph mit anderen Eigenschaften modelliert, z. B. als skalenfreie Netzwerke. Die Art und Weise, wie die Nervenzellen miteinander vernetzt sind und aufeinander einwirken, entscheidet über die Funktionalität des Gehirns. Experimentelle Untersuchungen spontaner Gehirnaktivitäten produzieren häufig Ergebnisse, die durch die Potenzgesetz-Verteilung beschrieben werden können. Dies hat zur Vermutung geführt, dass sich das Gehirn möglicherweise als ein Netzwerk von Nervenzellen im kritischen Bereich beschreiben lässt, also in einem Zustand in der Nähe des Phasenübergangs. ■

Life sciences

The recent boom in life sciences has generated huge amounts of data: genomes of whole organisms have been sequenced; proteins and patterns of their interactions have been identified; and metabolic networks relating the biochemical reactions have been mapped. Detailed analysis of genes, protein interaction and metabolic networks using the methods of graph theory is expected to help us to understand the properties of the network that are determined by its large-scale structure rather than by the physical or chemical details of individual interactions.

Social sciences

Analysis of human communication by means of the theory of graphs is a useful tool in the social sciences. One of the oldest and best-known examples is the 'six degree of separation' phenomenon described decades ago: any two people can be connected by a chain of acquaintances on average six persons long. This means that, similarly to the Erdős-Rényi random graph, the graph of human acquaintanceship has a small diameter; it is a 'small-world' network. However, unlike the Erdős-Rényi random graph, it has a high clustering coefficient. Many real-world networks have this structure, for example, the scientific co-authorship network, known to mathematicians by the concept of the Erdős number.

The brain

The theory of graphs can help us to understand also perhaps the most complex structure found in nature: the brain. The network of interconnected neurons in the brain has been modelled as a random graph with different properties (for example, scale-free network). The way the neurons are connected and interact with each other largely determines the brain functionality. The experimental studies of spontaneous brain activity often produce results that can be described by power-law distributions. This has led to a hypothesis that the brain, viewed as a network of neurons, may be operating at a critical state, a state close to a phase transition. ■

Mobility & Production



Helmut Eichlseder ist Leiter des FoE „Mobility and Production“. Helmut Eichlseder is head of the FoE Mobility and Production.

Das Ziel der langfristigen Gewährleistung von Mobilität und Produktion ist vor dem Hintergrund der weltweit kontinuierlich steigenden Transport- und Produktionsleistung eine Herausforderung, die in der Forschung eine breite interdisziplinäre und vernetzte Behandlung erfordert. Seit vielen Jahren bearbeiten zahlreiche Institute und Forschungseinrichtungen der TU Graz zugehörige Forschungsthemen auf dem Gebiet der Fahrzeugantriebe, aktiver und passiver Sicherheit, Verkehr und Um-

welt sowie der zukünftigen Energieträger und der Produktionstechnik. Entsprechend der großen Breite der Forschungsthemen und der Anzahl der involvierten Institutionen – derzeit sind es 20 – ist deren Vernetzung eine wesentliche Rolle dieses FoE. Eine Voraussetzung dafür ist zunächst die Kenntnis der Forschungsgebiete, Möglichkeiten und Einrichtungen der an der TU Graz angesiedelten Institutionen. Die regelmäßig stattfindenden FoE-Sitzungen wurden auch dazu genutzt, jeweils ein Institut zu besichtigen und so dessen hervorragende und für viele nicht bekannte Möglichkeiten und experimentelle Einrichtungen kennenzulernen.

Eine weitere Maßnahme zur Vernetzung und Profilbildung ist die finanzielle Förderung von Projektanträgen durch das Rektorat, die sogenannte Anschubfinanzierung. Neben der Förderung aufwendiger Projektanträge neuer Professorinnen und Professoren sowie junger Forscher ist bei der Anschubfinanzierung im FoE „Mobility & Production“ auch die Beteiligung mehrerer Institutionen des FoE ein Kriterium zur Auswahl und Befürwortung. Von den zehn bereits bisher zugesprochenen „Anschüben“ haben bereits einige zu den angestrebten Förderprojekten geführt. Für die darüber hinaus überlegte Beantragung einer §99-Professur wurden mehrere Ausrichtungen diskutiert, ein finaler Beschluss wird demnächst fallen. Auch die Bemühungen zur Formulierung eines Leadprojektes sind noch nicht abgeschlossen, sie werden derzeit intensiv geführt.

Etwa 75 Projekte können derzeit dem FoE „Mobility & Production“ zugeordnet werden. Im vorliegenden Heft werden zwei sehr erfolgreiche Aktivitäten als Beispiele für die übergreifende Kooperation und internationale Sichtbarkeit auf dem Gebiet des FoE vorgestellt, die bereits in der Vergangenheit erfolgreich waren und deren Fortführung gerade abgesichert wurde.

The aim of a long-term guarantee of mobility and production poses a challenge, especially in the light of worldwide steadily increasing transport and production capacities, and necessitates a broad interdisciplinary and cross-linked scientific research treatment. For many years, numerous institutes and research institutions of Graz University of Technology have been focusing on research topics in the field of propulsion systems, active and passive safety, traffic and environment as well as of future energy carriers and production technology. According to the wide range of research topics and the large number of involved institutions – 20 at the moment – networking plays an essential role in the FoE. An initial requirement for this is information about research areas, possibilities and facilities of institutions located at Graz University of Technology. The regular FoE meetings have also been used to visit respective institutes and to become more familiar with the excellent and often as yet unknown possibilities and experimental equipment.

A further measure for networking and formation of a university's profile is the funding of project proposals by the Rector's Office – so-called start-up funding. Apart from the funding of new associate professors and young scientists for the preparation of complex project proposals, the start-up funding of the FoE Mobility and Production also includes the involvement of several institutions of the FoE as a criterion for selection and approval; some of the ten recently granted start-ups have already led the intended funded research projects. Over and above this, the duly considered application for a Section 99 professorship has been discussed in several approaches and will soon lead to a final decision. The endeavors of formulating a lead project have not yet been completed, but are currently being conducted in intensive dialogues.

At present, approximately 75 projects can be assigned to the FoE Mobility and Production. Two very effective activities which were successfully conducted in the past and which can serve as examples for the comprehensive co-operation and international visibility in the FoE, have just received a guaranteed continuation and will be presented in this current TU Graz research journal.

Klein wird grün: Forschende an der TU Graz reduzieren die Emissionen von Kleinmotoren

Small goes Green: Scientists at Graz University of Technology Push the Greening of Small Engines

Stephan Schmidt

Im neu genehmigten K-Projekt ECO-PowerDrive-2 entwickeln Grazer Forscherinnen und Forscher Methoden zur Reduktion von Emission und Kraftstoffverbrauch kleiner Antriebsaggregate unter realen Betriebsbedingungen. Das internationale Forschungskonsortium unter der Führung der TU Graz besteht aus acht Unternehmens- und vier wissenschaftlichen Partnerinnen und Partnern und behandelt Antriebe für Zweiräder, kleine Automobile sowie handgehaltene Arbeits- und Gartengeräte.

Standardtests versus reale Betriebsbedingungen

Es ist eine bekannte Tatsache, dass das Segment der kleinen, nicht-automotiven Antriebssysteme in die weltweiten Bestrebungen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauches und klimarelevanter und umweltschädlicher Emissionen einbezogen werden muss. Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen konnte das Emissions- und Kraftstoffverbrauchsniveau dieser Motoren in den letzten Jahren signifikant gesenkt werden, jedoch zielten diese Bemühungen durch gesetzliche Vorgaben auf standardisierte Betriebsbedingungen und übliche Kraftstoffe ab. In letzter Zeit wurden jedoch reale Betriebsbedingungen als ein wesentlicher Einfluss auf die tatsächliche Emission und den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch erkannt. Während dies zu neuen gesetzlichen Regelungen für Lastkraftwagen und geplanten Forschungen bei Pkw führte, sind bis jetzt keine wesentlichen Untersuchungen für kleine Antriebssysteme im nicht-automotiven Bereich durchgeführt worden. Dies gilt auch für die Untersuchung des Einflusses alternativer Kraftstoffe in diesem Anwendungssegment.

Konzertierte und konzentrierte Forschung im ECO-PowerDrive-2

Das K-Projekt ECO-PowerDrive-2 zielt auf eine Reduktion der reglementierten Emissionen und des Kraftstoffverbrauches von Motoren für kleine automotiv und Zweirad-Antriebsstränge sowie für >

In the newly approved k-Project ECO-PowerDrive-2 scientists from Graz develop methods for the reduction of emission and fuel consumption of small powertrains under real world operating conditions. The international research consortium, led by Graz University of Technology, consists of eight company partners and four scientific partners and focuses on propulsion units for two-wheelers, small passenger cars as well as hand-held working and garden tools.

Standard test versus real world operating conditions

It is a well-known fact that the segment of non-automotive and small engine propulsion systems has to be included in the worldwide ambitions to reduce fuel consumption and the emission of climate-relevant and environmentally harmful gases. Due to intense research and development, the emission and fuel consumption level of engines for these applications has been significantly lowered over the last years. These efforts have been focused on standardized operating conditions, as defined by the current legislative regulation specifications, and standard fuel types. However, in recent times it turned out that real world operating conditions do have a major influence on emissions and fuel consumption. While this finding led to legislative regulations for heavy duty vehicles and the beginning of research on passenger cars, up to now no substantial investigations have been performed in the area of non-automotive and small propulsion systems. The same is true for the investigation of alternative renewable fuels in these engine segments.

Coordinated and concentrated research in ECO-PowerDrive-2

For this reason, the k-Project ECO-PowerDrive-2 aims at a reduction of regulated gaseous emissions and fuel consumption for small automotive and two-wheeler applications as well as hand-held tools and garden equipment. This covers research on extremely downsized compression ignition engines, hybrid-powertrain concepts, spark ignition >



Stephan Schmidt beschäftigt sich mit der Forschung und Entwicklung von Verbrennungskraftmaschinen und hybriden Antriebssträngen für Fahrzeuge. Sein spezieller Fokus liegt auf Antrieben für Zweiräder, Freizeitfahrzeuge und Arbeitsgeräte.

Stephan Schmidt's interests are in the research and development of internal combustion engines and hybrid powertrains for vehicles. Special focus is on propulsion units for two-wheelers, powersport vehicles and hand-held tools.



© TU Graz/Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik

Abbildung 1:
Das „Projekthaus“ des
ECO-PowerDrive-2 mit den
Einzelprojekten und der
Technologie und Methoden-
plattform ECO-Tool.
Figure 1:
The “project house” of
ECO-PowerDrive-2 showing
the single research projects
and the technology and
method base ECO-Tool.

handgehaltene Arbeits- und Gartengeräte. Dies beinhaltet Forschungen an extrem hubraumreduzierten Dieselmotoren, Hybridantriebsstrangkonzepthen, schnelllaufenden Ottomotoren und alternativen Kraftstoffen mit Fokus auf den Realbetrieb. Für die Methoden und Lösungen wird eine mittelfristige Umsetzungsperspektive angestrebt. Explizit strategisch definierte Forschungsprojekte umfassen Querschnittsthemen, wie zum Beispiel die Entwicklung von dediziertem Motormanagement und Regelungsfunktionen für diese Motoren.

Aufbauend auf dem Konsortium des Vorgänger-K-Projektes ECO-PowerDrive wurde ein erweitertes Konsortium aus acht Unternehmens- und vier wissenschaftlichen Partnerinnen und Partnern unter der Leitung des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz gegründet. Die wissenschaftlichen Partnerorganisationen – das Institut für Chemie der Karl-Franzens-Universität Graz, das Institut für elektrische Messtechnik und Messsignalverarbeitung der TU Graz und die Fachhochschule Wels – werden dabei von den Unternehmenspartnern AVL, BMW, BRP-Powertrain, Emitec, Heraeus, OMV, Stihl und Viking unterstützt.

engines and alternative fuel applications with the main focus on real-world operating conditions. The targeted solutions have a mid-term perspective to be implemented in market products. Explicitly defined strategic research projects cover cross-sectional research topics, for example the investigation of dedicated electronic motor management and control functions of these engines.

Based on the well-established research consortium of the actual call-2 k-Project ECO PowerDrive, an extended consortium consisting of the University of Graz Institute for Chemistry, Graz University of Technology's Institute for Electrical Measurement and Measurement Signal Processing as well as the Upper Austrian University of Applied Sciences and the company partners AVL, BMW, BRP-Powertrain, Emitec, Heraeus, OMV, Stihl and Viking has been formed under the guidance of the consortium leader, the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics of Graz University of Technology.

The research program spans 4 years and is split into three Areas: Combustion & Emission for Small Spark Ignition Engines, Combustion & Emission for Small Compression Ignition Engines and Hybrid Powertrain for Small Engine Applications with eight specific research topics in total.

Special focus was placed on strategic project topics with a long-term implementation perspective. The research will be carried out mainly at the sites of the scientific partners; an intensive participation of the company partners in the research is seen as an essential success factor. ■



Das Forschungsprogramm ist auf vier Jahre ausgelegt und in drei Bereiche unterteilt: „Combustion & Emission for Small Spark Ignition Engines“, „Combustion & Emission for Small Compression Ignition Engines“ und „Hybrid Powertrain for Small Engine Applications“. Diese Bereiche umfassen acht Einzelprojekte, wobei besonderes Augenmerk auf strategische Projektthemen mit einer langfristigen Umsetzungsperspektive gelegt wurde.



Abbildung 2:
Das Forschungskonsortium
des ECO-PowerDrive 2.

Figure 2:
The Research Consortium
of ECO-PowerDrive 2.

Sustainable Systems



Urs Hirschberg ist Leiter des FoE „Sustainable Systems“.

Urs Hirschberg is head of the FoE Sustainable Systems.

Vor Kurzem hat das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) den fünften Bericht zum Klimawandel vorgelegt. Die globale Erwärmung ist der Fakt, der Klimawandel ist real: Seit vierzig Jahren steigt die Temperatur der Erdoberfläche, die letzten drei Jahrzehnte waren die wärmsten je gemessenen.

Als Folge davon schmelzen die Gletscher in den Bergen und das Eis an den Polen. Der Bericht lässt auch keinen Zweifel daran, dass die Erwärmung maßgeblich durch

die erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre verursacht wurde. Deren Emission einzudämmen, ist trotz eindringlicher Warnungen vor den Folgen bisher nicht gelungen. Laut dem Bericht hat etwa die Hälfte der gesamten Emissionen seit 1750 in den letzten vierzig Jahren stattgefunden.

Sucht man in dem Bericht nach positiven Nachrichten, dann findet man wenig, aber doch immerhin, dass sich Technologien, die zu einer Verminderung des Klimawandels beitragen können wie zum Beispiel im Bereich der erneuerbaren Energien, erfreulich schnell entwickelt haben und dass etwa im Bereich der Gebäude (einem großen und noch dazu schnell wachsenden Verursacher von Kohlendioxid ausstoß) durch neue Energie-Standards wenigstens eine Stabilisierung möglich erscheint. Häufig wird erwähnt, dass das, was theoretisch technisch machbar ist, und das, was auch praktisch umgesetzt wird, nicht dasselbe ist und dass es große Anstrengungen und vor allem einer Bereitschaft, ganzheitlich zu denken und mit anderen zu kooperieren, bedarf, um etwas zu bewegen.

Dieser Geist der Kooperation wird auch im Field of Expertise (FoE) „Sustainable Systems“ an der TU Graz gelebt. Die Erforschung nachhaltiger Systeme ist ein disziplinenübergreifendes Projekt. Forscherinnen und Forscher sämtlicher Fakultäten sind im FoE vertreten. Viele dieser Forschungen finden in enger Kooperation mit der Industrie statt. Der Großraum Graz mit seiner hohen Dichte an Green-Tech-Firmen und Forschungseinrichtungen ist ja auch bereits als „Green Tech Valley“ bekannt. Das Setzen auf nachhaltige Technologien wird hier auch als wirtschaftliche richtige Strategie gesehen. Bei aller Ernüchterung durch die im IPCC dargestellten Szenarien: Das systemische, ganzheitliche Denken, das derzeit Raum greift, und das Etablieren von Kooperationen zwischen Institutionen über die eigenen Fachgrenzen hinweg sind positive Konsequenzen der Klimaproblematik.

Recently the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC has published its fifth report. Global warming is a fact, climate change is happening: for the last forty years the temperature of the earth has steadily risen with the last three decades being the warmest ever recorded. As a consequence we see a melting of glaciers in the mountains and of ice at the poles. The report leaves no doubt that the warming is caused by the increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Efforts to curb their emission have been unsuccessful despite the insistent warnings. According to the IPCC report, about half of cumulative anthropogenic CO₂ emissions between 1750 and 2010 have occurred in the last 40 years.

If one tries to find positive news in the dire report, there isn't much, but there is still some: the panel notes that technologies to mitigate climate change have developed very rapidly, for example in the area of renewable energies. It also mentions that advances in technologies, know-how and policies provide opportunities to stabilize or reduce energy use in the buildings sector (responsible for a large and fast growing portion of carbon dioxide output) by mid-century. The report often mentions that not everything that is technically feasible is implemented in practice and that vast efforts and, moreover, a readiness to think holistically and to cooperate with others is needed to move forward.

This spirit of cooperation is very much alive in the FoE Sustainable Systems at Graz University of Technology. Research into what makes our modern world sustainable is a trans-disciplinary endeavor. Researchers of all the University faculties are part of the FoE. Many research projects are also pursued in close collaboration with industry. The Graz area with its high density of green tech firms and research institutions has been nicknamed "green tech valley". Investing in sustainable technologies here has been recognized as a strategy that is also economically viable. For all the bleak scenarios the IPCC report presents: the systemic, holistic thinking that it promotes and the new cooperation between institutions across disciplines it has spawned must be seen as the positive consequences of our climate problems.

Erweiterte Parametrik: Unterstützung beim Entwerfen nachhaltiger Gebäude

Augmented Parametrics: Supporting the Design of Sustainable Buildings

Urs Hirschberg, Martin Kaftan, Markus Manahl, Jiri Pavlicek, Elmar Heß

Architektur muss stets auf eine Vielzahl von Kriterien Rücksicht nehmen. Ein neues Gebäude soll funktional und gestalterisch gute Räume aufweisen und sowohl städtebaulich als auch wirtschaftlich überzeugen. In jüngster Zeit wird die Komplexität dieser sich oft gegenseitig widersprechenden Forderungen aber noch größer: Immer neue Richtlinien und Anforderungen, insbesondere was die Ressourceneffizienz und den Energieverbrauch angeht, müssen beim Bauen berücksichtigt werden. Deshalb setzen heute schon viele Architekturbüros auf die Möglichkeiten des parametrischen Entwerfens.

Während traditionelle CAD(computer-aided design)-Programme eine Art digitaler Zeichenstift waren, entsteht durch das parametrische Entwerfen ein Paradigmenwechsel: Statt dass ein Gebäude in seiner geometrischen Form fixiert wird, erlaubt das parametrische Entwerfen, komplexe Abhängigkeiten zwischen geometrischen Parametern und den daraus generierten Formen festzulegen. Statt einer einzelnen Form wird eine Art Möglichkeitsraum unterschiedlicher Formen aufgespannt.

Gebäudeoptimierung durch erweiterte Parametrik

Das Erstellen eines parametrischen Modells bedeutet einen Mehraufwand, aber sobald es fertig ist, sind Variantenstudien leicht machbar. Dennoch sind die derzeit verwendeten Werkzeuge noch nicht in der Lage, die Entwürfe im Bezug auf Energieverbrauch, Tragwerk, Tageslicht, Kosten usw. zu optimieren. Das liegt daran, dass die heute gängigen integrierten Analyseverfahren auf einer statischen Repräsentation des Entwurfs basieren und ihre Resultate nicht direkt mit parametrischen Modellen rückgekoppelt werden können. Architektinnen und Architekten können ihre Entwürfe deshalb nur iterativ verändern – auf Basis momentaner Analysewerte, ihrer Erfahrung und ihres Wissens über den Einfluss von Änderungen am Entwurf – und ihnen bleibt nichts anderes übrig, als diesen Kreislauf von Analyse und Modifikation zu wiederholen, bis ein bestimmtes Entwurfsziel erreicht ist. Die Optimierung von Entwürfen ist deshalb eine >

Architecture always has to take many criteria into account. New buildings ought to have functional and aesthetically pleasing spaces, they are expected to last and to be urbanistically as well as economically viable. But lately, the complexity of these often contradictory demands is increasing even more. New codes and requirements, especially regarding the efficient use of material resources and energy, have to be taken into account. Due to increasing complexity, many architecture offices have come to embrace the possibilities of parametric design approaches.

While traditional CAD programs were for the most part merely a substitute for the traditional drafting board, parametric design introduced a true paradigm shift: instead of expressing the static geometry of a building, it is now possible to control its design methodology. Parametric design allows complex relationships to be formulated between geometric parameters and a generated shape. Instead of fixing a single form, a solution space of many different forms is created.

Building optimization and augmented parametrics

Developing parametric models means extra work, but it opens up the possibility to study many variations very quickly. Nevertheless, currently available parametric design tools still cannot be used for automatic optimizations of buildings in terms of energy consumption, structure, daylight, cost and so >



Martin Kaftan ist Projektassistent am Institut für Architektur und Medien und Doktorand an der Tschechischen Technischen Universität Prag.

Martin Kaftan is project assistant at the Institute of Architecture and Media and PhD candidate at Czech Technical University Prague.



Markus Manahl ist Projektassistent und Doktorand am Institut für Architektur und Medien.

Markus Manahl is project assistant and PhD candidate at the Institute of Architecture and Media.

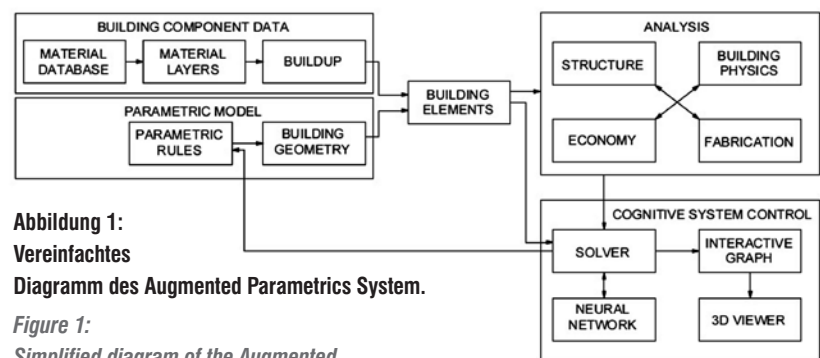
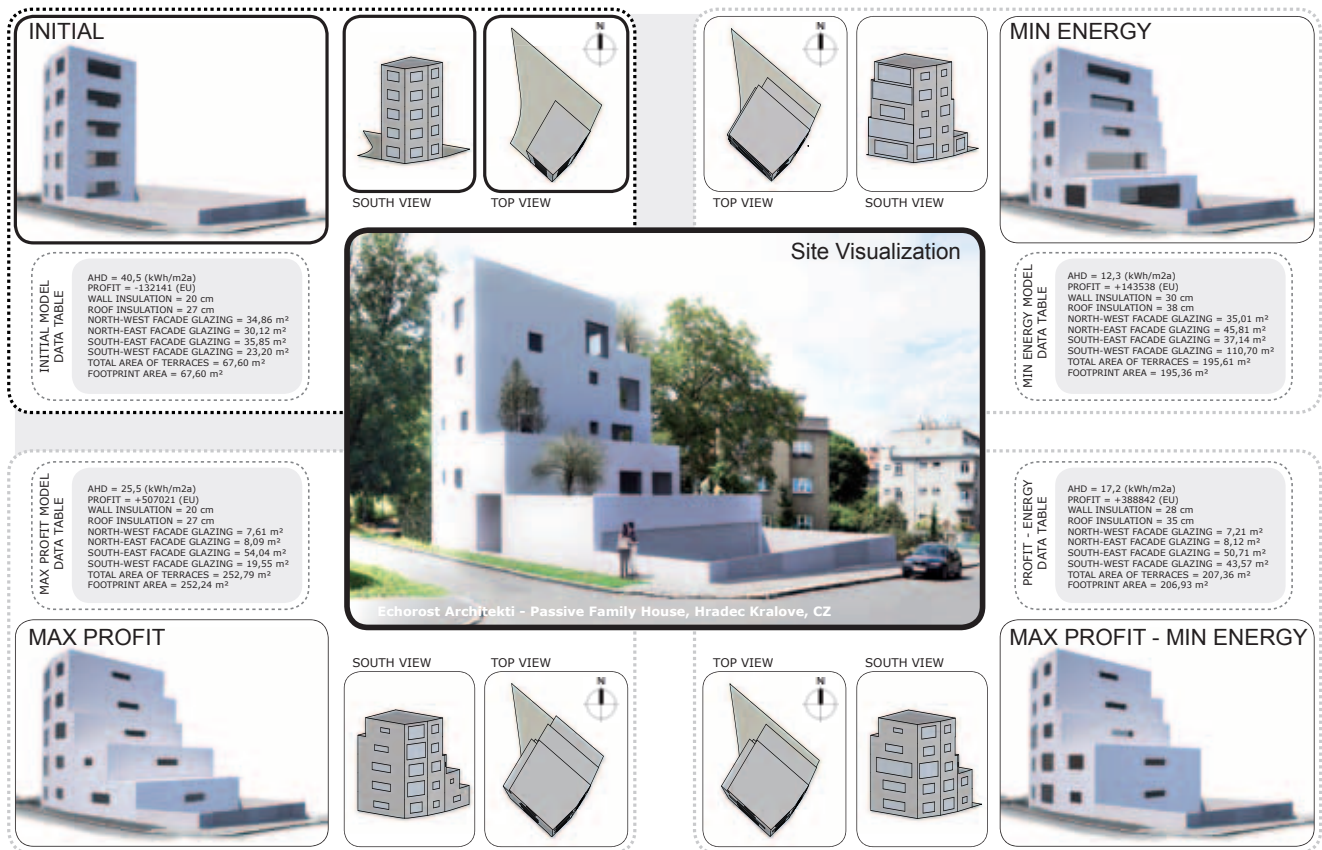


Abbildung 1:
Vereinfachtes
Diagramm des Augmented Parametrics System.

Figure 1:
*Simplified diagram of the Augmented
Parametrics system.*

Bi-Directional Parametrics: Simulation-Based Performative Optimizations



© Projektteam

Abbildung 2:
Performative Optimierungen der
Gebäudehülle eines Wohnhauses
basierend auf thermischen und
ökonomischen Simulationen.

Figure 2:
Performative optimizations of the
envelope of an apartment building
based on thermal and economic
simulations.

langwierige Angelegenheit. Hinzu kommt, dass was unter dem performativen Aspekt ein Gewinn ist, sich negativ auf einen anderen auswirkt. So kann beispielsweise die Dicke der Isolation Energieverluste und damit Haltungskosten reduzieren, auf der anderen Seite bewirkt sie höhere Gebäudekosten und geringere Flächen. Speziell bei geometrisch komplexen Entwürfen, bei denen oft schwer vorherzusagen ist, wie sich Entwurfsänderungen auf performative Charakteristiken auswirken, ist die „händische“ Optimierung beinahe unmöglich.

Unser Forschungsansatz, den wir als erweiterte Parametrik bezeichnen, nimmt sich dieses Problems an. Wir entwickeln ein parametrisches System, das einerseits durch die Integration detaillierter physikalischer Simulationen performanzbasiertes Modellieren erlaubt und andererseits einen einfachen Zugang zu hochentwickelten Optimierungswerkzeugen bietet. Wir erweitern also traditionelle parametrische Systeme durch simultan laufende Simulationsmodule, die bidirektional mit Optimierungsalgorithmen gekoppelt werden.

Das Forschungsprojekt ist in drei Teile strukturiert: erstens in ein Datenpaket, in dem die gesamten Informationen, die für die Analyse eines parametrischen Entwurfs benötigt werden, gesammelt werden. Zweitens in ein Analysepaket mit mehreren rechnerisch effizienten Simulationskomponenten, die modular kombiniert werden können. Dabei entwickeln wir Simulationen für die energietechnische

on. This is because the embedded analytic processes are currently based on static representations of the design and their results do not directly feed back into the parametric model. Architects are therefore only able to modify their design iteratively, based on their personal experience and knowledge about the impact of design changes. They are forced to repeat the modification and/ or analysis cycle until a design criterion is met. For this reason, the optimization of a building is a tedious procedure. What's more, gain for one design criterion often means loss for some other criteria. For example, increasing the thickness of wall insulations on one hand can save a lot of energy and thus decrease maintenance costs; on the other hand, this increases building costs and also reduces floor area. Especially with geometrically complex designs, where predictions about how a change in the design will impact its performance, doing optimizations "by hand" is almost impossible.

Our research approach, which we refer to as Augmented Parametrics, addresses this problem. We are developing a parametric system that supports performance-based modelling by integrating detailed physical simulation modules that also take construction issues into account, while at the same time providing easy access to high-level optimization approaches. Thus we augment traditional parametric systems with multiple concurrent simulation modules that are linked to optimization algorithms in a bi-directional fashion.

Analyse, Tageslichtanalyse, Kostenkontrolle und die statische Effizienz von Gebäudeentwürfen. Den dritten Teil bildet die Cognitive System Control (CSC) – der Optimierungskern, also jene Algorithmen, welche die Parameter eines Modells verändern, um zu einer optimalen Konfiguration zu gelangen. Die CSC beinhaltet außerdem das Interaktionsmodell, das es Benutzerinnen und Benutzern erlaubt, den Optimierungsprozess in einer transparenten Art und Weise zu kontrollieren.

Die Software kann (und soll) nicht „entwerfen“

Selbstverständlich lassen sich nicht alle für die Architektur relevanten Kriterien quantifizieren und es ist nicht die Absicht unseres Programms, die gestalterische Hoheit der Architektinnen und Architekten infrage zu stellen. Im Gegenteil: Die erweiterte Parametrik soll ihnen nur die langweilige Rechenarbeit abnehmen und ihnen dadurch neue gestalterische Freiräume schaffen, ohne dass die wichtigen Fragen der Nachhaltigkeit im Bauen dabei auf der Strecke bleiben. Ein zentraler Aspekt unseres Projekts ist es, Werkzeuge zu schaffen, die schon in frühen Entwurfsphasen einsetzbar sind – nämlich dann, wenn Entwurfsentscheidungen den größten Einfluss auf die Performanz eines Gebäudes haben. Mit den kommenden Herausforderungen, den Energiebedarf und die CO₂-Emissionen in der Baubranche drastisch senken zu müssen, ist es nur logisch, parametrische Modelle als numerisch definierte, dynamische Entwurfsmodelle mit dem Potenzial numerischer Optimierungsverfahren zu vereinen und von ersten Entwurfsphasen an in den Entwurfsprozess zu integrieren. Wir glauben, dass bidirektionale parametrische Systeme, wie wir sie zurzeit entwickeln, einen signifikanten Beitrag zu einer nachhaltigeren Baupraxis leisten können.

Das Forschungsprojekt „Erweiterte Parametrik“ wird durch den Österreichischen Forschungsfonds (FWF) gefördert (Förder-Nummer TRP 268-N23).

Projektteam:

- Urs Hirschberg
- Elmar Heß
- Markus Manahl
- Martin Kaftan
- Jiri Pavlicek ■

The research is structured around three main parts: first, a data package that collects the information required from a parametric model for the analysis of a design. Second, an analysis package composed of several computationally efficient building performance simulation components that can be combined in a modular fashion. We are developing analysis components for thermal building performance, daylight analysis, building cost control and structural efficiency. The third part is the Cognitive System Control (CSC), which contains the optimization and reconciliation engine – the algorithmic way in which the system “plays” with any given set of parameters in order to arrive at recommendations for improving a design. The CSC also contains an interaction model by which the user can steer and control the optimization process in a transparent fashion.

The software cannot “design” (and isn’t supposed to)

Of course not all criteria relevant to architecture can be quantified and it is not the intention of our program to question the design authority of the architects that use it. On the contrary, augmented parametric functionality is meant to support architects in managing the complex (but boring) aspects of design that can easily be quantified so as to free them up to concentrate on formal explorations while at the same time keeping the important aspects of resource efficiency in check. A central point of our project is to create a workflow that is applicable in the early design stages, when design decisions clearly have the greatest impact on building performance. Given the challenges of radically reducing energy consumption and CO₂ emissions in the building sector that lie ahead, it’s just a logical next step to pair parametric models as numerically driven, dynamic design representations with the capabilities of numerical optimization methods from earliest design stages. We believe that bidirectional parametric systems such as the one we are developing can make a significant contribution towards a more sustainable building practice.

The research project Augmented Parametrics is funded by the Austrian Science Foundation (FWF) under grant TRP 268-N23.

Project team:

- Urs Hirschberg
- Elmar Heß
- Markus Manahl
- Martin Kaftan
- Jiri Pavlicek ■



Urs Hirschberg ist Leiter des Instituts für Architektur und Medien, stellvertretender Dekan an der Fakultät für Architektur und Leiter des FoE „Sustainable Systems“.

Urs Hirschberg is head of the Institute of Architecture and Media, deputy dean at the Faculty of Architecture and head of the FoE Sustainable Systems.



Jiri Pavlicek ist Projektassistent am Institut für Architektur und Medien und Doktorand an der Tschechischen Technischen Universität Prag.

Jiri Pavlicek is project assistant at the Institute of Architecture and Media and PhD candidate at Czech Technical University Prague.



Elmar Heß ist Projektassistent am Institut für Architektur und Medien und Zivilingenieur für Bauwesen in Graz.

Elmar Heß is project assistant at the Institute of Architecture and Media and is a member of the Austrian Chamber of Chartered Engineers in Graz

Architektonische Verjüngungskur ohne schmerzhaft Eingriffe

An Architectural Rejuvenation Cure without Painful Interventions

Doris Griesser

Sie verkörpern die architektonische Erbschuld des 20. Jahrhunderts: die vielgeschoßigen Wohnbauten der 1960er- bis 1980er-Jahre. Ein Erbe, das heute nicht nur in ästhetischer, sondern auch in ökologischer Hinsicht Kummer bereitet. Am Beispiel eines Leobener „Siedlungsbaus“ wollen Forscherinnen und Forscher sowie Praktikerinnen und Praktiker zeigen, wie aus diesen Bauten attraktive, umweltfreundliche und den heutigen Wohnbedürfnissen angepasste Lebensräume werden können.

Zwischen sieben und elf Stockwerke sind die Häuser im Leobener Stadtteil Judendorf hoch, der immer gleiche Grundriss der Wohnungen ist auf die klassische Zwei-Kind-Familie ausgerichtet: ein in den 1970er-Jahren konzipierter „Siedlungsbau“ wie aus dem Bilderbuch. Der Großteil aller aus dieser Zeit stammenden Wohnbauten in sämtlichen mittelgroßen Städten Europas ist nach diesem Schema gebaut. Damals haben solche Häuser den Bedürfnissen der Menschen entsprochen, mittlerweile aber erfüllen sie weder die sozialen noch die ökologischen Mindestanforderungen. Nur noch ein Drittel der Europäer und Europäerinnen lebt heute in einer Familie, die Mehrheit geht zumindest phasenweise als Single durch sehr unterschiedliche Lebensformen. Dadurch ändern sich auch die jeweiligen Wohnansprüche. Im Rahmen des Projekts STELA (Smart Tower Enhancement Leoben Austria) wollen Expertinnen und Experten aus verschiedensten Disziplinen einen dieser typischen 1970er-Jahre-Bauten auf eine Weise adaptieren, dass einerseits die Wohnungsgröße an die Bedürf-

They embody the architectural ancestral sin of the 20th century: the multi-storey buildings from the 1960s to the 1980s. An ancestral sin in the form of a modern eyesore – not only in an aesthetic sense but also from an ecological point of view. Using the example of a housing development in Leoben, researchers and those with a more practical bent want to show how to turn these buildings into attractive, eco-friendly habitats adapted to today's living requirements.

The buildings in the Leoben district of Judendorf are between seven and eleven storeys high. The floor plan, which is always the same, was oriented to the notional two-child family. A housing development designed in the 1970s – as if straight out of a picture book. Most of the buildings from this period in all the medium-sized towns of Europe were built according to this scheme. In those days, such houses satisfied people's needs; in the meantime, however, they fulfil neither the social nor the ecological minimum demands. Only a third of Europeans live in a family today. In the course of their lives, most of them experience very different lifestyles as singletons – at least in phases. This means that the relevant living requirements have changed. In the framework of the STELA project (Smart Tower Enhancement Leoben Austria), experts from various disciplines have come together to adapt one of these typical 1970s buildings in such a way that, first, the size of the dwelling can be adjusted to meet the needs of the current users, and, second, CO₂ emissions are considerably reduced and incentives for soft mobility created. The question is, how to

Abbildung 1:
Visualisierung der zukünftigen Wohnungen.

Figure 1:
Visualisation of the future apartments.



©TU Graz/Institut für Gebäudelehre

nisse der aktuellen Nutzerinnen und Nutzer angepasst werden kann, andererseits aber auch deutlich niedrigere CO₂-Emissionen erzielt und Anreize zur sanften Mobilität geschaffen werden. Wie das alles unter einen Hut bzw. ein Dach zu bringen ist? „Indem wir unsere Lösungsansätze nicht nur auf der technischen Ebene ansiedeln, sondern ein ganzheitliches Konzept entwickeln“, betont Projektkoordinator und Leiter des Instituts für Gebäudelehre Hans Gangoly. „Dazu ist nicht zuletzt eine intensive Kooperation der unterschiedlichen Expertinnen und Experten mit den städtischen Einrichtungen erforderlich.“

Ein eleganter neuer Mantel

Konkret geht es neben einer Flexibilisierung der Wohnungsgrundrisse auch um die Errichtung einer thermischen Pufferzone als Alternative zu konventionellen Wärmedämmverbundsystemen sowie die Einrichtung einer sogenannten E-Lobby im Erdgeschoß des Gebäudes. Wie hat man sich diese „thermische Pufferzone“ vorzustellen? Grundsätzlich handelt es sich dabei um eine neue Gebäudehülle aus einer Stahl-Holz-Konstruktion mit Glas- und Photovoltaik-Elementen. „Zwischen der neuen Außenhaut und der alten Fassade entsteht dadurch ein Zwischenraum von einer Breite zwischen 60 Zentimetern und drei Metern“, erläutert Hans Gangoly. Dadurch kann je nach Bedarf zusätzlicher Wohnraum gewonnen werden. Durch verschiebbare Glaselemente lässt sich dieser Zwischenraum in der warmen Jahreszeit in eine Terrasse, in der kalten Saison in einen Wintergarten verwandeln. Anstelle eines Geländers sollen Hybridmodule mittels Photovoltaik nachhaltig Strom erzeugen. Integrierte Solarthermielelemente schützen den Raum vor Überhitzung und kühlen im Bedarfsfall die Photovoltaik, um ihren Wirkungsgrad zu erhöhen. >

Abbildung 3: Luftbild des Projektgebiets.

Figure 3: Aerial view of the project area.

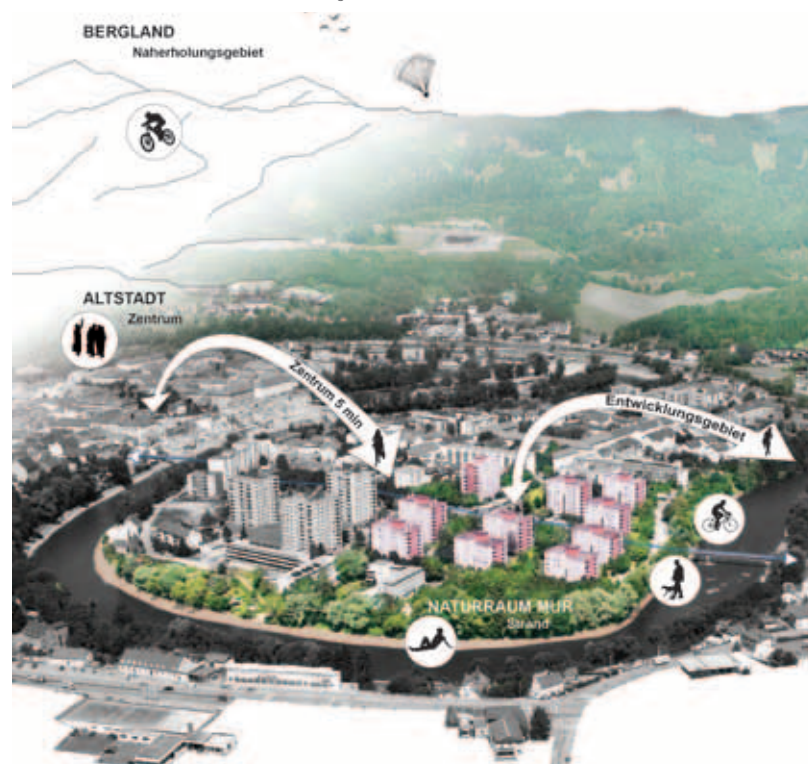
achieve these aims at the same time? “By not offering a purely technological solution, but rather developing a holistic concept,” stressed the project coordinator and head of the Institute of Design and Building Typology, Hans Gangoly. “And high up among the priorities is an intensive co-operation between various experts and the city authorities.”

An elegant new coat

In specific terms, apart from adjusting the floor plan of the dwellings, a thermal buffer zone as an alternative to a conventional thermal insulation composite systems will be constructed – as well as a so-called e-lobby on the ground floor of the building. But what exactly is this “thermal buffer zone”? It’s basically a new building envelope in a steel and wood construction with glass and photovoltaic elements. “Between the new external skin and the old façade there will >

Abbildung 2: Visualisierung der E-Lobby.

Figure 2: Visualisation of the e-lobby.



©TU Graz/Institut für Gebäudelehre



Abbildung. 4:
Axonometrischer Schnitt Haustechnik.

Figure 4:
Axonometric profile of building services engineering.

be an intermediate space with a breadth varying from 50 centimetres to three metres," explains Hans Gangoly. This means that additional living space can be gained if needed. By means of sliding glass elements, this intermediate space can be transformed into a terrace during the warm seasons and into a conservatory in the colder seasons. Instead of a balustrade, hybrid photovoltaic modules will generate electricity sustainably. Integrated solar-thermal elements will protect the space from overheating and, if necessary, will cool the photovoltaic modules in order to raise their degree of efficiency.

E-Lobby für sanfte Mobilität

Da die Wohnungen im Modell-Haus wie alle anderen in Leoben über ein Fernwärmesystem mit Abwärme der Voestalpine beheizt werden, kann die überschüssige Energie aus den Photovoltaikmodulen für eine zukunftsweisende Gemeinschaftseinrichtung im Erdgeschoss des Hauses genutzt werden: die E-Lobby. „Das ist eine Kombination aus Eingangsbereich und Elektro-Mobilitätszentrale, wo man E-Bikes oder kleine Elektroautos mieten kann“, beschreibt Hans Gangoly das dritte große Forschungsthema des Projekts. „Indem man diese E-Lobby im Eingangsbereich unterbringt, soll den Menschen im Haus bzw. im gesamten Viertel der Zugang zu einer nachhaltigen Form der Mobilität nahegebracht und so leicht wie möglich gemacht werden.“ Der auf sanfte Mobilität spezialisierte Projektpartner „VeloVital Consulting“ hat dabei die Aufgabe, Akzeptanz und Nutzerverhalten zu analysieren. Durch das geplante Monitoring der eingesetzten E-Fahrzeuge erhofft man sich auch neue Erkenntnisse im Bereich der Akku-Entwicklung.

Ganzheitliches Konzept

Um dem Thema der nachhaltigen Sanierung im städtischen Umfeld in seiner Komplexität gerecht zu werden sowie ganzheitliche und dauerhafte Lösungskonzepte anbieten zu können, ist ein transdisziplinäres Team aus Architektinnen und Architekten, Bauökologinnen und Bauökologen, Energieexpertinnen und -experten, Soziologinnen und Soziologen etc. mit der Umsetzung des STELA-Projekts beschäftigt. Immerhin ist es Teil eines gelenkten, tiefgreifenden Transformationsprozesses, der die wachsenden europäischen Städte in den nächsten Jahren zu menschen- und umweltfreundlichen Lebensräumen machen soll: ihre Umwandlung in „Smart Cities“. Dies kann nur funktionieren, indem bestehende Stadtstrukturen verdichtet, die Gebäude in Hinblick auf Energieeffizienz und Wohnqualität saniert und Pendlerströme eingeschränkt werden. Denn Lebensqualität hängt von einer vertretbaren Luftgüte, geringer Lärmbelastung oder der Verfügbarkeit von unverbauten Erholungslandschaften und Agrargebieten ebenso ab wie von adäquatem Wohnraum. „Im Rahmen unseres Projekts werden Ansätze formuliert, wie sich nachhaltige und attraktive Alternativen zum Einfamilienhaus am Stadtrand denken lassen“, so Hans Gangoly. „Es schlägt Räume für Wohnen, Arbeit und Erholung vor, deren Umgebung nicht mehr vornehmlich für Autos, sondern wieder für Menschen gestaltet wird.“ ■

E-lobby for soft mobility

Since the apartments in this model house, like all the others in Leoben, are heated by a district heating system with the heat produced by Voest, the superfluous energy from the photovoltaic modules can be used for a pioneering community facility on the ground floor of the building: the e-lobby. "It's a combination of entrance area and electro-mobility headquarters, where you can rent e-bikes or small electric cars," describes Hans Gangoly, indicating the third big research topic of the project. "By accommodating this e-lobby in the entrance area, access to a sustainable form of mobility could be brought to the people in the building or even in the wider neighbourhood in a very simple way." The project partner specialising in soft mobility – Velo Vital Consulting – has the task of analysing acceptance and user behaviour. Due to the planned monitoring of the deployed e-vehicles, it is hoped that new insights will be gained in the field of battery development.

Holistic concept

To live up to the topic of sustainable renovation in all its complexity in the urban environment and to be able to offer holistic and lasting solutions, a transdisciplinary team of architects, building ecologists, energy experts and sociologists are occupied with implementing the STELA project. The project is part of a directed, far-reaching transformation process which is meant to turn growing European towns into people-friendly and eco-friendly habitats in the next few years, aiding their transformation into "smart cities". This can only work when existing urban structures are compacted, buildings renovated with regard to energy efficiency and indoor environmental quality, and numbers of commuters restricted, since quality of life depends on an acceptable air quality, low noise pollution and the availability of unspoilt recreational landscapes and agricultural areas as well as suitable living space. "In the context of our project, approaches are being formulated which conceive of sustainable and attractive alternatives to the one-family house on the periphery," adds Hans Gangoly. "Spaces for living, working and recreation are being proposed, whose surroundings are not primarily designed for cars, but rather once more for people." ■



© reimag - Fotolia.com

Fingerabdrücke des Stoffwechsels *Fingerprints of Metabolism*

Werner Schandor

Metabolomics befasst sich mit dem analytischen Nachweis von Stoffwechselzwischenprodukten, den Metaboliten. Anhand des Metabolit-spiegels lassen sich Abläufe im Stoffwechsel auf niedermolekularer Ebene nachzeichnen, aber auch Abweichungen vom Sollzustand erkennen, etwa bei Krebszellen. Eine Forschungsgruppe der TU Graz widmet sich seit 2011 der Metabolit-Bestimmung und kooperiert dabei mit Joanneum Research und der MedUni Graz.

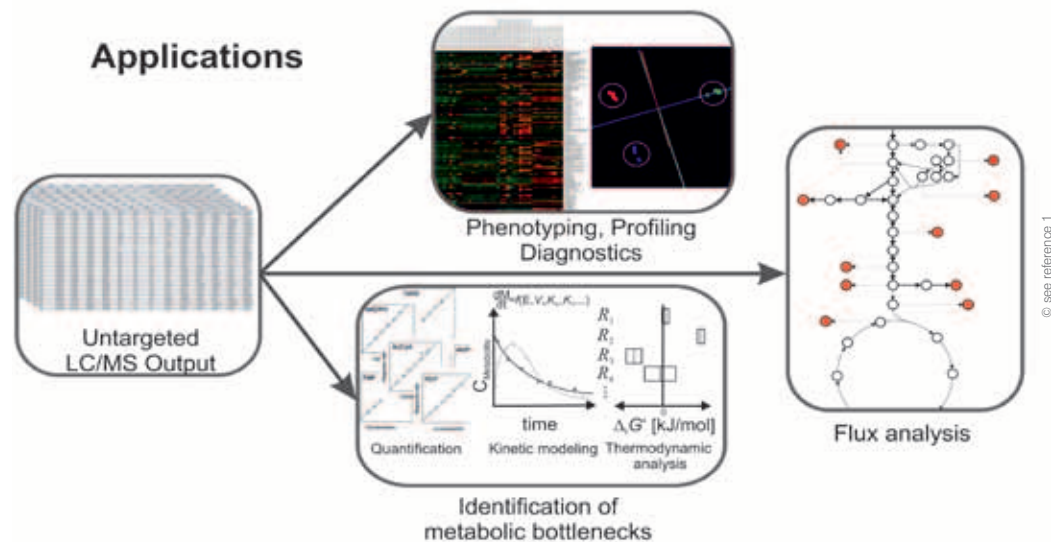
Die Zeitschrift „The Scientist“ beschreibt Metabolomics als „systematische Erhebung der individuellen chemischen Fingerabdrücke, die spezifische Zellabläufe des Stoffwechsels hinterlassen“. Weit über 1000 Metaboliten lassen sich als Zwischenstufen des Stoffwechsels in einer einzigen Zelle erkennen. Weltweit wurden bisher mehrere Hunderttausend Metaboliten analysiert und in internationalen Metabolit-Datenbanken erfasst. Die TU Graz gehört zu den wenigen Einrichtungen in Österreich, die sich mit dem noch jungen Forschungszweig Metabolomics befassen. Am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik möchte man sich mit verbesserter Methodik und neuen Anwendungen profilieren: einerseits in der Stammoptimierung für die Biotechnologie, andererseits im Bereich der Biomarker-Forschung. Hier wird die TU Graz in Kooperation mit dem Institut für Molekularbiologie und Biochemie der Medizinischen Universität Graz Glioblastomzellen (Hirntumorzellen) untersuchen. Die Metabolomics-Aktivitäten an der TU Graz werden von Mario Klimacek geleitet. Er kam während eines Postdoc-Aufenthaltes an der ETH Zürich mit dem Forschungsfeld in Kontakt. Um Metabolomics zu erklären, muss er >

Metabolomics deals with the analytic proof of metabolic intermediate products known as metabolites. Using metabolite levels, metabolic processes can be traced at a submolecular level, as can also deviations from the normal state, such as with cancer cells. A research group at Graz University of Technology is dedicated to detecting metabolites and has been working jointly with Joanneum Research and the Medical University of Graz since 2011.

“The Scientist” journal describes metabolomics as a “systematic survey of individual chemical fingerprints which leave behind traces of specific cell processes of metabolism”. More than 1,000 metabolites have been detected as intermediate metabolic stages in a single cell. Worldwide, up to several hundred thousand metabolites have been analysed up till now and entered in international metabolite databases. Graz University of Technology is one of the few institutions in Austria which deals with the still young research branch of metabolomics. At the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering, scientists want to raise the profile of their improved methodology and new applications specifically in two areas: the optimization of microbes for biotechnology and the field of biomarker research. Here, Graz University of Technology in cooperation with the Institute of Molecular Biology and Biochemistry at the Medical University of Graz will investigate glioblastoma cells (brain tumour cells). The metabolomics activities at Graz University of Technology are led by Mario Klimacek. He came into contact with this research field during a post-doc stay at ETH Zurich. Explaining metabolomics involves explaining how everyday reality extends >

Abbildung 1:
Mögliche Applikationen der
Metabolitanalyse im Bereich der
Biotechnologie und Biomedizin

Figure 1:
Potential applications of
metabolite analysis in
biotechnology and biomedicine.



ausholen, wobei der Weg von der lebensweltlichen Realität auf die molekulare Ebene führt: von der Nahrung, die wir zu uns nehmen, zum Zucker, der in unseren Zellen im Rahmen des Stoffwechsels weiterzerlegt wird. „Die Metabolitspiegel, die sich während dieses Prozesses ergeben, sind typisch für die Eigenschaften einer Zelle“, erläutert Klimacek: „Ein Beispiel ist der Blutglukosespiegel, der auch ein Metabolit ist: Ist dieser zu hoch, ist das ein Hinweis auf Diabetes.“

Metabolitprofil als Indikatoren

Je besser man die komplexen Abläufe im Metabolismus kennt, desto zuverlässiger lassen sich auch Abweichungen erkennen, zum Beispiel im Metabolitspiegel von gesunden Zellen im Vergleich zu Tumorzellen. „Unterschiede in den Metabolitprofilen können in Folge wertvolle Hinweise für Therapieansätze liefern“, sagt Klimacek. „Oder sie könnten in der Stammoptimierung für die Biotechnologieforschung, die immer auf der Suche nach Stämmen ist, die schneller, besser und effizienter arbeiten, Hinweise darauf geben, wo die Flaschenhälse sitzen.“ (Siehe Abb. 1.) Auf dem langen Weg zu diesen Zielen sind mehrere große Hürden zu bewältigen. Zu den größten zählen: 1.) die aufwendige Aufbereitung der Proben, 2.) die Probenauswertung inkl. Verfügbarkeit bzw. Kostenintensität der dazu nötigen Instrumente und 3.) die riesigen Datenmengen, die bei der Analyse anfallen. Die Bewältigung aller drei Punkte verlangt unterschiedliche Kompetenzen, die nur durch Kooperationen erfüllt werden können. Die Basis für die erfolgreiche Implementierung von Metabolomics an der TU Graz war die Kooperation mit dem Institut HEALTH von Joanneum Research (JR). Die JR-Forschungsgruppe Bioanalytik und Metabolomics unter der Leitung von Christoph Magnes stellt in dieser Kooperation nicht nur das Massenspektrometer zur Verfügung, sondern brachte in hohem Ausmaß auch ihre Fachkenntnis in Sachen Analytik und primäre Datenauswertung ins Projekt ein. Dadurch ließ sich für Mario Klimacek und sein Team, das derzeit aus drei Master-Studierenden besteht, Hürde Nr. 2 problemlos meistern.

to the molecular level: from the nourishment we take, to the sugar which is further metabolically broken down in our cells. “The levels of metabolites which exist during this process are typical for the properties of a cell,” explains Klimacek. “An example of this is the blood glucose level, which is also a metabolite. If it’s too high, this is an indication of diabetes.”

Metabolite profiles as indicators

The better we know the complex processes of metabolism, the more reliably we can detect deviations – for instance, in the metabolite level of healthy cells in comparison to tumour cells. “Differences in metabolite profiles can consequently provide valuable pointers for therapeutic approaches,” says Klimacek. “Or regarding the optimization of microbes in biotechnology research, which is always on the look for strains which are faster, better and work more efficiently, clues can be given as to where the bottlenecks are.” (See Figure 1.) But there are many hurdles to overcome on the way to these goals. As regards the big figures: 1.) The elaborate preparation of samples. 2.) The evaluation of samples including availability and costs of the necessary instruments. And 3.) the huge amounts of data that accrue during analysis. Accomplishing all three points demands different sets of expertise, which can only be fulfilled in co-operation projects. The basis for the successful implementation of metabolomics at Graz University of Technology was the co-operation with Joanneum Research’s “Institute HEALTH”. The Joanneum Research (JR) research group Bioanalytics and Metabolomics headed by Christoph Magnes doesn’t only make their mass spectrometer available in this co-operation project, but also contributes expertise in the fields of analysis and primary data evaluation to a high degree. This means that for Mario Klimacek and his team of three master’s students, hurdle number two has been mastered smoothly. And hurdle number one has also been managed: the preparation of samples, whose method of handling yeasts, bacteria and glioblastoma cells first has to be established in Graz. Expressed in simple terms, to be able to rep-

Literatur/References

¹ Datentabellen und principal component analysis, G. Libiseller (JR, HEALTH); Heatmap, E. Zügner (JR, Health; TU Graz, IBB; MedUni Graz, IMBB).

Tables and principal component analysis, G. Libiseller (JR, HEALTH); heatmap, E. Zügner (JR, HEALTH; TU Graz, IBB; MedUni Graz, IMBB).

² Massenspektren, G. Libiseller (JR, HEALTH); Inserts: *S. cerevisiae*, <http://foodists.ca/wp-content/uploads/2009/10/budding.yeast.jpg-460x460.jpg>; *E. coli*, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/EscherichiaColi_NIAID.jpg; Glioblastomazellen, E. Bernhart (MedUni Graz, IMBB).

Mass spectra, G. Libiseller (JR, HEALTH); Inserts: *S. cerevisiae*, <http://foodists.ca/wp-content/uploads/2009/10/budding.yeast.jpg-460x460.jpg>; *E. coli*, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/EscherichiaColi_NIAID.jpg; Glioblastoma cells, E. Bernhart (MedUni Graz, IMBB).

Geschafft ist auch Hürde Nr. 1: die Probenaufbereitung, deren Protokolle für Hefe, Bakterien und Glioblastomzellen in Graz erst etabliert werden mussten. Um ein Metabolitprofil abbilden zu können, muss, vereinfacht gesprochen, der Metabolismus der Zelle gestoppt, die Zellen aufgebrochen und Enzyme deaktiviert werden. – Insgesamt ein komplexer Prozess, der in Sachen Temperaturkonstanz und Proben-Empfindlichkeit herausfordernd für Klimacek's Team war. Als Spin-off dieser Tätigkeiten ist am TU Graz-Institut für Medizintechnik eine Bachelorarbeit zur Entwicklung von automatisierten Probennahmesystemen in Arbeit.

Durchblick im Datenwust

Ist die Zellprobe aufbereitet, werden die chemischen Bausteine im Massenspektrometer erhoben, wodurch sich derzeit in Graz pro Messung beachtliche 200 bis 250 Metaboliten eindeutig bestimmen lassen. Die eigentliche Messung ist relativ rasch erledigt: Die Daten liegen innerhalb weniger Stunden vor und stellen die Forscherinnen und Forscher vor die nächste Aufgabe – nämlich, sie auszuwerten (Abb. 1 und 2). „Am Anfang steht die Frage nach den Eigenschaften einer Zelle: warum sie etwas macht. Am Ende steht ein riesiger Datensatz mit ein paar Tausend Zeilen und Hunderten Kolonnen“, schildert Klimacek. „Erst aus der Analyse und dem Verständnis der Eigenschaften heraus, die in dieser Datenmenge abgebildet sind, lässt sich das System der Metaboliten verstehen.“ Aktuell arbeiten Klimacek und sein Team daran, die laufenden Aktivitäten zu finalisieren und die Ergebnisse zu publizieren. In einem nächsten Schritt soll eine Methodik entwickelt werden, mit der metabolische Flussverteilungen, basierend auf der zeitaufgelösten Inkorporation von ^{13}C -markierten Substraten, gemessen werden können. Erste Aktivitäten dazu wurden im Mai 2014 gestartet. ■

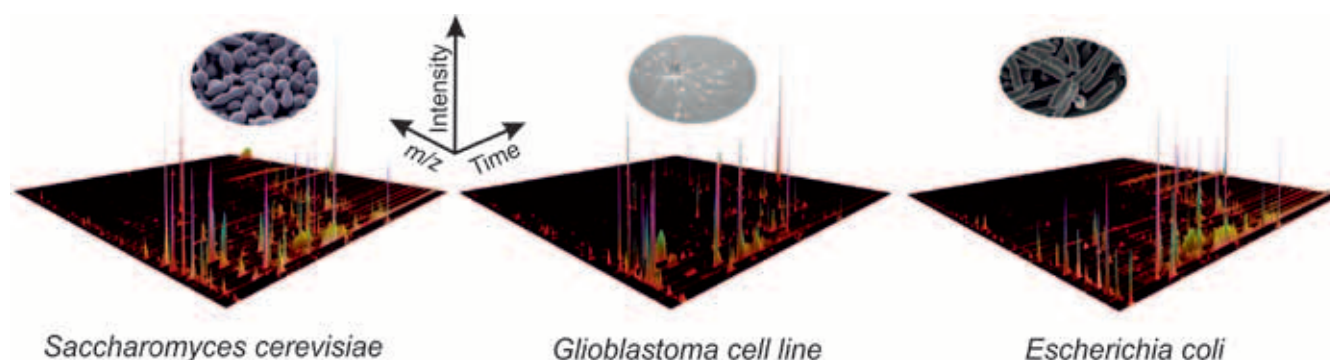
resent a metabolite profile, the cell metabolism has to be stopped, the cells broken open and enzymes deactivated. Altogether, this is a very complex process and was extremely challenging for Klimacek's team regarding temperature constancy and sample sensitivity. As a spin-off from these activities, a bachelor thesis is being written on the development of automated sampling systems at Graz University of Technology, Institute of Medical Engineering.

Keeping a perspective in the data jungle

Once the cell sample has been prepared, the chemical building blocks are ascertained in the mass spectrometer. Currently in Graz, an astounding 200 to 250 metabolites are determined per measurement. The actual measurement is carried out rather quickly. The data become available within a few hours, and the researchers then brace themselves for the next task – which is to evaluate it (see Figures 1 and 2). „At the beginning, the properties of each cell are questioned. Why it does something in particular. At the end, there is a huge dataset with a couple of thousand lines and hundreds of columns,“ reports Klimacek. „Only from the analysis and a knowledge of the properties which are depicted in the data can the system of metabolites be understood.“ Klimacek and his team are currently working on finalising ongoing activities and publishing the results. The next step involves developing a methodology to be able to measure metabolic flow distributions based on the time-resolved incorporation of ^{13}C -labeled substrates. The first activities in this direction were initiated in May 2014. ■

Abbildung 2:
Metabolom Analyse von *S. cerevisiae*, Glioblastoma und *E. coli* Zellen, gewachsen auf Glukose unter aeroben Bedingungen.

Figure 2:
Metabolome analysis of *S. cerevisiae*, Glioblastoma and *E. coli* cells grown on glucose under aerobic conditions.



Großes Instrument für internationale Forschung an sehr kleinen Strukturen *Big Instrument for International Research on Very Small Structures*

Annemarie Happe

Teilchenbeschleuniger zählen zu den größten Anlagen, die Forschenden zur Verfügung stehen. In ihnen können Elektronen auf extrem hohe Geschwindigkeiten beschleunigt und zur Nanostrukturforschung herangezogen werden. Am Synchrotron Elettra in Triest werden zwei wichtige Messplätze, sogenannte Beamlines, von der TU Graz betreut – österreichische Universitäten und Unternehmen profitieren davon.

In einem Synchrotron werden Elektronen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit durch mehrere Ablenkstationen unter Zuhilfenahme von extrem starken Magnetfeldern im Kreis geführt. Dabei verlieren sie Energie in Form von intensiver Synchrotronstrahlung, die das ganze Frequenzspektrum von Infrarot- bis zur harten Röntgenstrahlung abdeckt. Am rund 260 Meter langen Elettra-Speicherring in Triest wird die Strahlung in Form von Lichtwellen an zurzeit 26 Stellen, den sogenannten Beamlines, kontrolliert „abgezapft“ und für Experimente genutzt.

Die im Synchrotron erzeugte Röntgenstrahlung ist millionenfach stärker als jene von herkömmlichen Röntgenstrahlenquellen. Das ist enorm wichtig, wenn man kleinste Materialmengen charakterisieren möchte: Mit dem außergewöhnlich intensiven und brillanten Licht lassen sich der Aufbau und elektronische sowie magnetische Eigenschaften von Mikro-

Particle accelerators are among the biggest devices available to researchers. Inside them, electrons can be accelerated to extremely high speeds and their emitted radiation is used for research into nanostructures. Two important measuring stations – so-called “beamlines” – are overseen by Graz University of Technology at the Elettra Synchrotron in Trieste, much to the benefit of Austrian universities and companies.

In a synchrotron, electrons travelling at almost the speed of light are circulated around a ring using a number of deflectors with extremely strong magnetic fields. As they circulate, they lose energy in the form of intense synchrotron radiation, which covers the whole frequency spectrum from infrared to hard X-rays. At the approximately 260-metre-long Elettra storage ring in Trieste, the radiation is “tapped” in a controlled way at the 26 beamlines, each optimized for a specific experiment.

The X-rays produced in the synchrotron are millions of times stronger than those from traditional X-ray sources. This is extremely important if you want to characterise the tiniest quantities of material. The structure and electronic and magnetic properties of micro- and nanostructures can be investigated in detail using the extraordinarily intense and brilliant light. And while doing so, not only a wide range of materials at molecular resolution, but also dynamic processes in the very smallest of time scales can be investigated, explains Heinz Amenitsch from Graz University of Technology. Along with a staff of four, he supervises the two Austrian beamlines in the research facility situated on the Karst Plateau north of Trieste. “Here, enormous instruments are used for top international research on extremely small structures,” says Amenitsch.

Abbildung 1:
Wissenschaft ohne Grenzen: die TU Graz-Außenstelle in Triest.

Figure 1:
Science without borders: Graz University of Technology outpost in Trieste.

Abbildung 2:
**Der Hochleistungs-
Röntgendetektor wird
präsentiert: Heinz Amenitsch
mit seinen beiden italieni-
schen Mitarbeiterinnen.**

Figure 2:
**The presentation of the
high-performance X-ray
detector: Heinz Amenitsch
with his two Italian staff.**

© TU Graz/Lunghammer



und Nanostrukturen im Detail untersuchen. Und dabei können nicht nur verschiedenste Materialien mit molekularer Auflösung, sondern auch dynamische Prozesse in kleinsten Zeitskalen festgehalten werden, schildert Heinz Amenitsch von der TU Graz. Er betreut mit seinen vier Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Forschungsanlage am Karstplateau nördlich von Triest die beiden österreichischen Beamlines. „Hier geschieht internationale Spitzenforschung an enorm großen Instrumenten für extrem kleine Strukturen“, so Amenitsch.

TU Graz-Außenstelle im Triestiner Karst

„Die Anlage bietet hervorragende Möglichkeiten für Wissenschaft und Industrie“, schildert der Forscher, der seit 20 Jahren ein Pendlerleben zwischen Graz und Triest führt. „Der dauerhafte, regelmäßige Zugang über eine Forschungsstelle an einer Großforschungsanlage wie Elettra ermöglicht es, Experimente zu entwickeln, die über das übliche Maß der Zusammenarbeit hinausgehen und somit über normale Antragsforschung für Strahlzeit unmöglich wären“, so der 50-Jährige, der seit dem Vorjahr der TU Graz-Außenstelle in Triest vorsteht. Nahezu seit Beginn von Elettra vor 18 Jahren betreibt Österreich die SAXS-Röntgen-Kleinwinkel-Beamline. Werden dünne Proben mit extrem feiner und zugleich harter Röntgenstrahlung beleuchtet, liefern sie ein Streubild, dessen Analyse Rückschlüsse auf ihre Struktur erlaubt. Das macht man sich in den Materialwissenschaften oder auch in der molekularbiologischen Grundlagenforschung zunutze. In der Materialforschung werden aktuell z. B. spezielle Aluminiumlegierungen für den Flugzeugbau untersucht.

Zwei Beamlines für Wissenschaft und Industrie

„Die österreichische SAXS-Strahlführung wurde konzipiert, um schnelle Strukturumwandlungen wie Phasenübergänge in organischen und anorganischen Membranen, Selbststrukturierung von Nanomaterialien, Nanoteilchen usw. mit zeitaufgelösten Messungen zu verfolgen. Damit können die grundlegenden Prinzipien dieser Prozesse aufgeklärt werden“, erläutert Amenitsch. Der im Vorjahr neu angekaufte Röntgendetektor macht nun auch Studien zu Prozessen „in der Zeitskala von Millisekunden und Submillisekunden, in der Zukunft auch Nanosekunden“ durchführbar.

Graz University of Technology outpost on the Triestine karst

“The synchrotron offers marvellous opportunities for science and industry,” explains the researcher, who has been living a commuter life between Graz and Trieste for 20 years. “Enduring, regular access to a research position on a large-scale research facility such as Elettra makes it possible to develop experiments which go beyond the usual degree of co-operation and which would not be possible through applications for beam time,” adds the 50-year-old, who has been head of the Graz University of Technology outpost for two years. Austria has operated the SAXS (Small Angle X-ray Scattering) beamline since the beginning of Elettra 18 years ago. If thin samples are illuminated with extremely fine and hard X-rays, they provide a scattering image whose analysis allows conclusions to be drawn about their structure. This knowledge is put to good use in the materials sciences or in molecular biology. Currently, for example, special aluminium alloys are being investigated for aircraft construction in materials research.

Two beamlines for science and industry

“The Austrian SAXS beam guidance was conceived to pursue fast structural changes, such as phase transitions in organic and inorganic membranes, self structuring of nanomaterials, nanoparticles, etc using time-resolved measurements. In this way, the basic principles of these processes could be explained,” explains Amenitsch. The new X-ray detector bought in the previous year now makes studies on processes possible “in the time scale of milliseconds and sub-milliseconds, and in the future, also of nanoseconds”.

International research

Researchers throughout the world use the Austrian beamlines for basic research – for instance in the fields of electronics, materials sciences and materials technology, pharmacy and medicine – an essential contribution also to the internationalisation and profiling of Graz University of Technology. About a third of the measuring and working time of about 5,000 hours has been explicitly made over to Austrian researchers. But before this, they have to face an international jury. Some 70 measurement projects were carried out at the Austrian stations last year. For this reason they are among the most desired beamlines of Elettra.

Internationale Forschung

Forscherinnen und Forscher weltweit nutzen die österreichischen Beamlines für Grundlagenforschung etwa im Bereich der Elektronik, der Materialwissenschaften und der Werkstofftechnik, der Pharmazie und Medizin – und leisten somit einen wesentlichen Beitrag zur Internationalisierung und Profilbildung der TU Graz. Rund ein Drittel der Mess- und Arbeitszeit von jährlich etwa 5.000 Stunden steht explizit österreichischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zur Verfügung. Zuvor müssen sie sich einer internationalen Jury stellen. Etwa 70 Messprojekte wurden im Vorjahr an den österreichischen Stationen durchgeführt. Damit zählen diese zu den begehrtesten Beamlines von Elettra überhaupt.

Seit 2011 betreuen die heimischen Forscherinnen und Forscher auch die DXRL-Beamline, die die Herstellung dreidimensionaler Nanostrukturen mithilfe von Röntgentiefenlithografie ermöglicht. „Hier werden keine Strukturen untersucht, sondern es werden Strukturen im Größenbereich von 200 nm bis zu 100 μm gemacht“, so der Grazer Koordinator. Dabei wird das Phänomen der Strukturveränderung von Materialien aufgrund der Lichteinwirkung genutzt. Die Röntgenstrahlung dieser Beamline kommt aber auch zur Beschleunigung bzw. Initiierung photochemischer Prozesse zum Einsatz. So können über die Belichtung durch Schablonen neue Materialien hergestellt und diese auch gleichzeitig fixiert werden.

Für industrielle Partnerinnen und Partner sind die österreichischen Beamlines zu einer wertvollen Facility geworden: So gibt es u. a. eine Kooperation mit dem Messtechnik-Unternehmen Anton Paar. Diese habe sich laut Amenitsch in Hinblick auf die Entwicklung innovativer Messmethoden als „eine Bereicherung für beide Seiten“ erwiesen. Schon nach dem ersten Jahr in der Obhut der TU Graz zeichne sich nun ab, dass es aufgrund der Wirtschaftskontakte der Universität in den nächsten Jahren zu einem deutlichen Ausbau der Kooperationen mit Unternehmen kommen werde.

Die beiden Beamlines wurden im Zuge der Restrukturierung der ÖAW im Vorjahr der TU Graz (Institut für Anorganische Chemie) zugeordnet. Betrieb und Personal werden vom Wissenschaftsministerium im Rahmen der Leistungsvereinbarung abgegolten. Zurzeit laufen die letzten Verhandlungen für ein zentraeuropäisches Forschungsinfrastruktur-Konsortium C-ERIC, in das sich Österreich über die TU Graz mit den beiden Beamlines einbringen will. ■

Abbildung 3:

Als einzigartiger Teilchenbeschleuniger bietet das Elektronensynchrotron Elettra in Triest faszinierende Analyseinstrumente für Forschung und Industrie. Forschende aus nahezu allen Bereichen der Naturwissenschaften und Technik nutzen die Großforschungsanlage für ihre wissenschaftlichen Experimente.

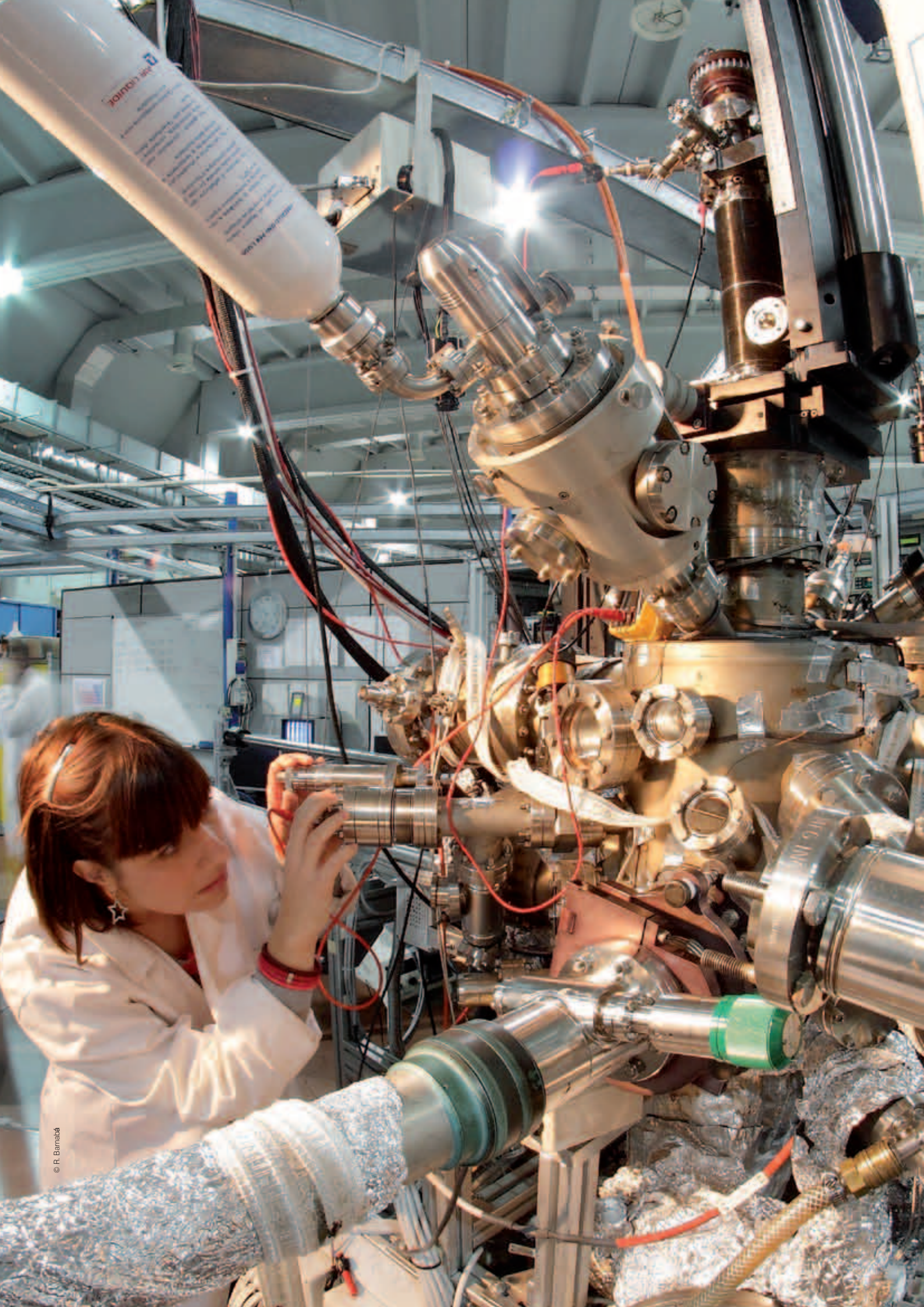
Figure 3:

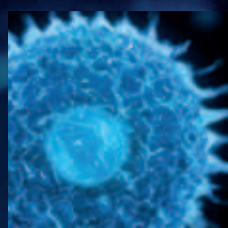
A unique particle accelerator, the Elettra electron synchrotron in Trieste offers fascinating analytic instruments for research and industry. Researchers from almost all areas of science make use of the large-scale research facility for their scientific experiments.

Since 2011, the team of Austrian researchers have also supervised the DXRL beamline, which enables three-dimensional nanostructures to be made using deep X-ray lithography. "Here, structures are not investigated, but rather created - in sizes from 200 nm to 100 μm ." says the co-ordinator from Graz. At the same time, the phenomenon of the structural change of materials based on the effects of light is used. X-rays from this beamline are also employed for accelerating or initiating photochemical processes. Thus, by means of exposure to them using templates, new materials can be produced and at the same time fixed.

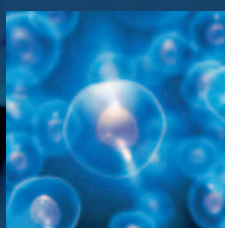
The Austrian beamlines have become a valuable facility for industrial partners. An example of this, among other things, is a joint project with the measurement technology company Anton Paar. As regards the development of innovative measuring methods, this has proved to be a true benefit for both parties. After the first year in the charge of Graz University of Technology, it emerged that due to the University's contacts with industry a definite co-operation with companies would be developed in the next few years.

Both beamlines were assigned to Graz University of Technology (Institute of Inorganic Chemistry) in the course of restructuring the Austrian Academy of Sciences (ÖAW) in the previous year. The operation and the staff are remunerated by the Ministry of Science in the framework of the performance agreement. Final negotiations are currently being carried out for a Central European Research Infrastructure Consortium (C-ERIC), in which Austria in the form of Graz University of Technology wants to participate with the two beamlines. ■

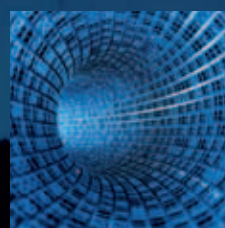




Advanced
Materials Science



Human &
Biotechnology



Information,
Communication &
Computing

FOE

Fields of
Expertise

Mobility & Production



Sustainable Systems



Bilder: © istockphoto.com

Fünf zukunftssträchtige Bereiche in Forschung und Lehre bilden den unverwechselbaren Fingerabdruck der TU Graz auf dem Weg zur Exzellenz. Diese 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 the future in research and teaching go to form the unmistakable fingerprint of Graz University of Technology on its path to excellence. These 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. Co-operations with scientific partner institutes represent a further dynamo to success.

TU GRAZ research

**Eine Kooperation mit vielen PS:
Das FSI feiert sein 10-Jahr-Jubiläum**

***A Partnership with Sheer Horsepower:
The FSI Celebrates its Tenth Anniversary***

Von der Vermessung atomarer Freiräume zu neuen Materialien ■ Tatort Gehirn ■ Zufallsgraphen: Von der Natur zur Gesellschaft zum Gehirn ■ Klein wird grün: Forschende an der TU Graz reduzieren die Emissionen von Kleinmotoren ■ Erweiterte Parametrik: Unterstützung beim Entwerfen nachhaltiger Gebäude

From Measuring Open Spaces to Novel Materials ■ The Brain that Changes Itself ■ Random Graphs: from Nature to Society to the Brain ■ Small goes Green: Scientists at Graz University of Technology Push the Greening of Small Engines ■ Augmented Parametrics: Supporting the Design of Sustainable Buildings