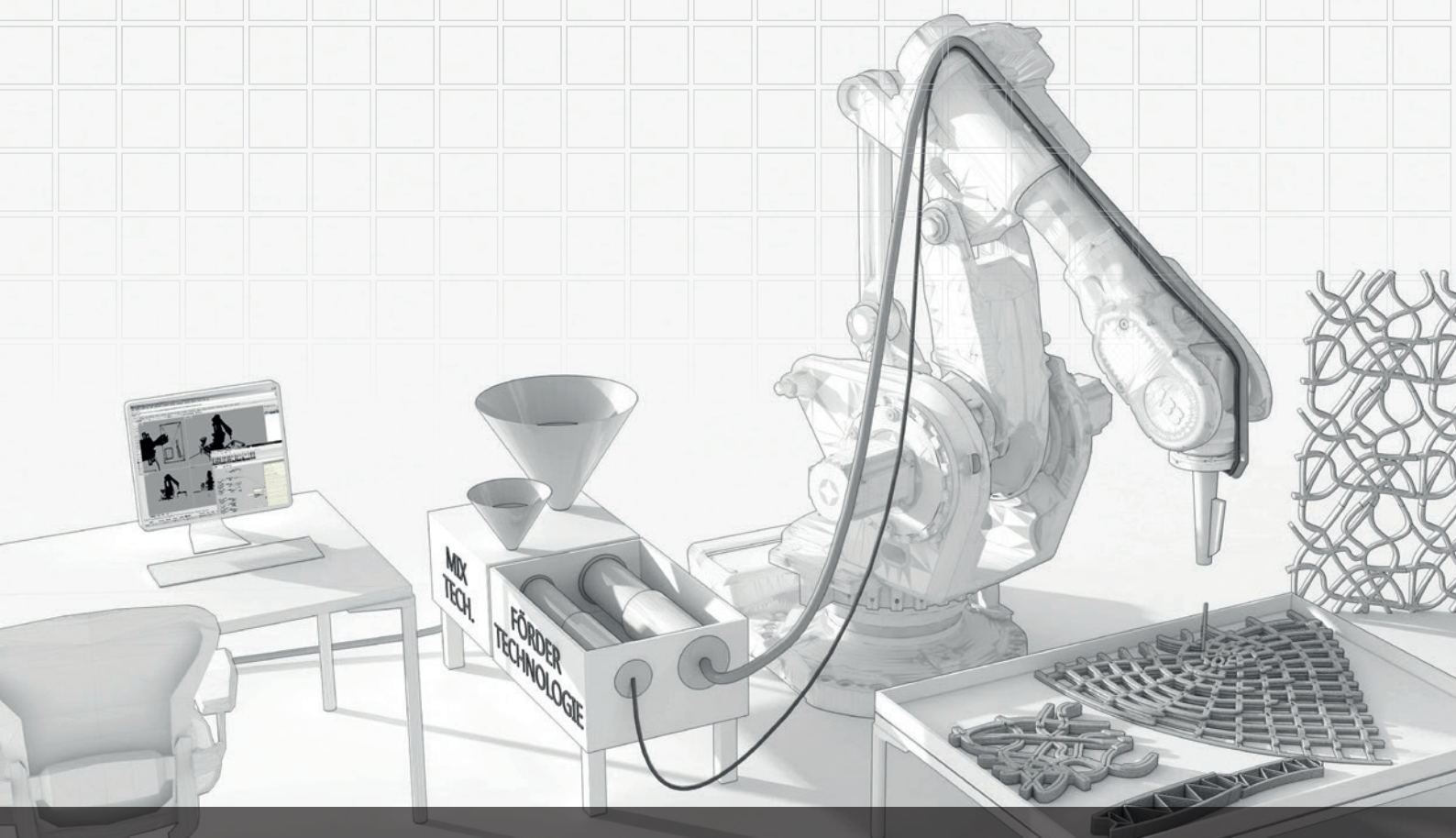


TU GRAZ research

Der 3D-Drucker lernt, Häuser zu bauen *3D-Printers Learn to Build Houses*



Projekt MNEMONIC: Magnetische poröse Biokomposite ■ Neue Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie: Projekt CONQUER ■ Mathematische Form- und Topologieoptimierung elektrischer Maschinen ■ Wenig bekannt, doch unverzichtbar: Surrogate ■ Optimierte Energiesysteme für Heizung und Kühlung

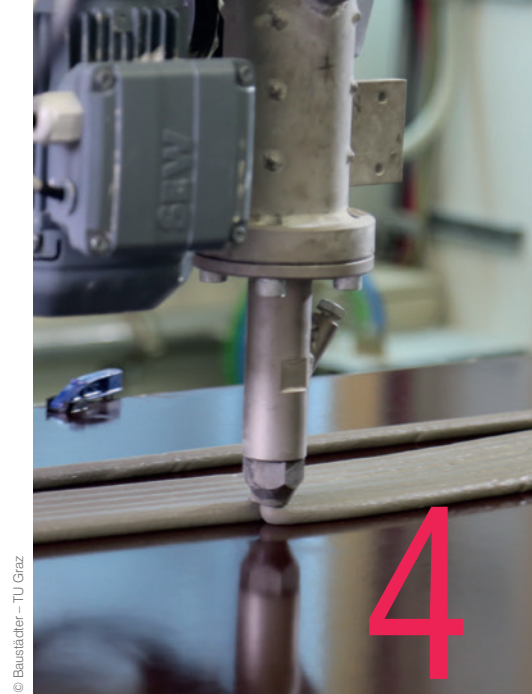
Project MNEMONIC: Magnetic Porous Bio-Composites ■ New Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging: Project CONQUER ■ Mathematical Shape and Topology Optimization of Electrical Machines ■ Fairly Unknown, yet Rather Indispensable: Surrogates ■ Optimised Energy Systems for Heating and Cooling

Inhalt/Contents

3 Vorwort / Preface

On the Top

4 Der 3D-Drucker lernt, Häuser zu bauen 3D-Printers Learn to Build Houses



© Baustädter – TU Graz

Fields of Expertise

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

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

10 Advanced Materials Science Cecilia Poletti

11 Projekt MNEMONIC: Magnetische poröse Biokomposite Project MNEMONIC: Magnetic Porous Bio-Composites Raffaele Ricco

14 Human & Biotechnology Bernd Nidetzky

15 Neue Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie: Projekt CONQUER New Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging: Project CONQUER Hermann Scharfetter

18 Information, Communication & Computing Kay Uwe Römer

19 Mathematische Form- und Topologieoptimierung elektrischer Maschinen Mathematical Shape and Topology Optimization of Electrical Machines Peter Gangl

22 Mobility & Production Helmut Eichlseder

23 Wenig bekannt, doch unverzichtbar: Surrogate Fairly Unknown, yet Rather Indispensable: Surrogates Thomas Wallek

26 Sustainable Systems Urs Leonhard Hirschberg

27 Optimierte Energiesysteme für Heizung und Kühlung Optimised Energy Systems for Heating and Cooling Hermann Schranzhofer, Andreas Heinz

Life

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

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

30 Virtual Reality macht Schule Virtual Reality is Catching On

Cooperations

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

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

33 Boxenstopp für Papiersäcke Pit Stop for Paper Bags

Internationalisation

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

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

36 Junge Haut dank Zucker Young Skin Thanks to Sugar



Horst Bischof
Vizekanzler für Forschung
Vice Rector for Research

**Liebe Kolleginnen und Kollegen, sehr geehrte Forschungspartnerinnen und -partner und
TU Graz-Forschungs-Interessierte!**

Dear colleagues, research partners and all those interested in the research of TU Graz,

Im letzten TU Graz *research* habe ich berichtet, dass wir mitten in den Leistungsvereinbarungsverhandlungen mit dem Ministerium stehen. Mittlerweile sind diese abgeschlossen und es sieht sehr positiv für die TU Graz aus: Das Budget wird deutlich steigen (aufgrund unserer hervorragenden Indikatoren) und das wiederum erlaubt uns, Akzente in der Forschung zu setzen. Damit können wir den Höhenflug, in dem wir uns befinden, weiter fortsetzen.

Aber nicht nur von den Verhandlungen gibt es Positives zu berichten, wir haben auch eine Reihe von Preisen und prestigeträchtigen Projekten gewonnen. Aus der Fülle möchte ich Oliver Hoffmann mit dem Startpreis am Institut für Festkörperphysik und Gustav Oberdorfer mit dem ERC Starting Grant im Rahmen von NAWI Graz ganz besonders hervorheben. Aber auch die Europäische Union zeigte sich beeindruckt von einer Technologieinnovation zur NOx-Vermeidung und verlieh jüngst den mit 1,5 Millionen Euro dotierten Horizon-2020-Preis der EU-Kommission in der Kategorie „Engine Retrofit for Clean Air“ an das Konsortium, bestehend aus der Führungsgesellschaft Amminex Emissions Technology, dem Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz, Johnson Matthey PLC und dem International Council on Clean Transportation Europe. Die Liste der Preise, die Daniel Gruss (Mitentdecker der Prozessorlücken, die als Meltdown und Spectre weltweit für Aufsehen gesorgt haben) für seine Dissertation einheimst, würde dieses Vorwort sprengen. Ich möchte allen Preisträgerinnen und Preisträgern, nicht nur den hier exemplarisch angeführten, auf das Allerherzlichste für ihren Einsatz danken.

Das nächste Jahr steht schon ante portas und es ist absehbar, dass wir an dieser Stelle weiter so positiv berichten können. Wir sind in der Endphase der Verhandlungen von einigen größeren Projekten, die zusätzliche Forschungsimpulse an der TU Graz setzen werden. Damit arbeiten wir uns Schritt für Schritt an die europäische Forschungsspitze heran.

Die Weihnachtszeit naht, ich hoffe, der vorweihnachtliche Stress hält sich in Grenzen – spätestens am 24. Dezember ist alles vorbei. Und dann, so hoffe ich, bleibt während der Feiertage auch etwas Zeit, in diesem TU Graz *research* zu schmökern. In diesem Sinne wünsche ich bei der Lektüre viel Freude und Ihnen und Ihren Familien frohe Weihnachten und einen guten Rutsch.

In the last issue of TU Graz research I reported that we were in the process of negotiating the performance agreement with the ministry. Talks have in the meantime been concluded, with a promising outlook for TU Graz. The budget will increase significantly (due to our excellent indicators) and in turn this will allow us to place emphasis on research. Consequently we can continue to ride the crest of the wave on which we currently find ourselves.

But it's not only the negotiations that have resulted in something positive to report, we have also won a range of prizes and prestigious projects. From this abundance of awards I would like to highlight Oliver Hoffman with the START prize at the Institute of Solid State Physics and Gustav Oberdorfer with the ERC Starting Grant in the framework of NAWI Graz. The European Union has also shown itself impressed by a technological innovation on NOx avoidance and recently awarded the Horizon 2020 prize of the EU Commission in the category of "Engine Retrofit for Clean Air", worth some 1.5 million euros, to the consortium composed of the lead company Amminex Emissions Technology, the Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics of TU Graz, Johnson Matthey PLC and the International Council on Clean Transportation Europe. The list of prizes that Daniel Gruss has garnered (co-discoverer of the processor loopholes known as Meltdown and Spectre which have attracted worldwide attention) is beyond the scope of this foreword. I would like to warmly thank all the prizewinners for their dedication – not only those who have been mentioned here as examples.

The next year stands before the gates so to speak, and it is anticipated that we will be able to continue reporting positively here. We are in the final stage of negotiations for several large projects which will generate additional research impulses at TU Graz. Thus, step by step, we are closing the gap on the highest level of European research.

Christmas is approaching, and I hope that any pre-seasonal stress is tempered by the knowledge that it will be over by 24th December at the latest. I hope you will then have time during the holidays to browse this issue of TU Graz research. In this spirit, I hope you enjoy reading this new issue, and I wish you and your families a merry Christmas and a good start to the new year.

Horst Bischof



Der 3D-Drucker lernt, Häuser zu bauen

3D-Printers Learn to Build Houses

Mit dem 3D-Drucker kann heute vieles einfach, schnell und kostengünstig produziert werden: Schmuck, Kleinteile und sogar Prototypen lassen sich nach den Vorgaben eines digitalen Modells in unterschiedlichen Materialien ausdrucken. Der Druck ganzer Häuser ist noch Zukunftsmusik. Derzeit. Denn auch an der TU Graz arbeitet man an der additiven Fertigung von Betonteilen mittels Druckroboters.

„Begonnen hat alles ganz klassisch: Mit einem neugierigen Studenten“, erzählt Andreas Trummer vom Institut für Tragwerksentwurf der TU Graz. „Einer unserer Studierenden hatte vom 3D-Betondruck gehört und wollte diesen in seiner Masterarbeit eingehend untersuchen.“ Jürgen Holl – damals im Masterstudium Architektur – nutzte das ABB-Roboter-Labor des Instituts für den prototypischen Aufbau einer Förder- und 3D-Printanlage. Er verbrachte Stunden und Tage damit, die Geheimnisse des Betondrucks zu erforschen. Und dann widmete sich das Institut einer noch größeren Frage: Wie kann man diese völlig neue Technologie im Bauwesen zukünftig nutzen?

Many things today can be produced simply, fast and cheaply using a 3D printer: jewelry, small components and even prototypes can all be printed in different materials based on the specifications of a digital model. But printing complete houses is still a long way off. For the moment, at least. But work is being done at TU Graz on additive manufacturing of concrete parts using printing robots.

“Everything began with a curious student,” recounts Andreas Trummer from the Institute of Structural Design at TU Graz. “One of our students had heard about 3D concrete printing and wanted to explore this in depth in his master’s thesis. Jürgen Holl – at the time doing his master’s in architecture – used the Institute’s ABB robot lab to develop a prototype of a conveyor and 3D printing plant. He spent hours and days researching the mysteries of concrete printing. And then the Institute asked itself an even bigger question: how can this completely new technology be used in the building industry?”

“In some areas the building industry has hardly changed over the last few decades,” explains

„In einigen Bereichen hat sich das Baugewerbe in den vergangenen Jahrzehnten kaum verändert“, erklärt Stefan Peters, Leiter des Instituts für Tragwerksentwurf. „Die Abläufe, nach denen heute Bauten entstehen, unterscheiden sich kaum von jenen, die ich als Jugendlicher bei Ferienjobs am Bau kennenlernte. Aus dem Wunsch, hier Neues zu schaffen, entstand 2015 das Projekt COEBRO (Additive Fabrication of Concrete Elements by Robots). Es wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft über das Bridge-Programm finanziert und getragen. Intention der Förder-schiene Bridge ist es, gemeinsam mit Institutionen und Unternehmen aus Industrie und Wissenschaft praxisnahe Grundlagenforschung zu betreiben und neue Forschungsfelder zu erschließen. Stefan Peters und Andreas Trummer leiten das Projekt COEBRO gemeinsam mit Bernhard Freytag vom Labor für Konstruktiven Ingenieurbau und Viet Tue Nguyen vom Institut für Betonbau. „Was uns antreibt, ist zum einen der feste Glaube, dass ein Technologiesprung im Bauwesen möglich ist“, erklärt Stefan Peters. „Und zum anderen glauben wir, dass diese Technologie genutzt werden kann, um effizienter und ressourcenschonender zu bauen.“

An der TU Graz sind im Bereich Planung, Organisation, Robotersteuerung und generelle Durchführung im Labor Robert Schmid, Georg Hansemann und Dominik Schraml beteiligt. Für das Engineering zeichnen Eva Pirker, Joshua Tapley und Christoph Holzinger verantwortlich. Für die Versuchsdurchführung und das Labor ist Valentino Sliskovic zuständig und im Bereich Betontechnologie Huy Hoang Kim.

Ressourcenschonender Bau

Im Projekt COEBRO hat man sich auf die Produktion von Betonfertigteilen spezialisiert. Das derzeit verbreitetste Herstellungsverfahren ist die Guss-technik: Dabei wird flüssiger Beton in eine bereits zuvor gebaute und angepasste Schalung gefüllt, wo er sich in der gewünschten Form verfestigt. So gefertigte Bauteile sind zwar äußerst robust, aber nicht immer effizient. Nur wenn aus einer Schalung immer gleiche Betonteile gefertigt werden, ist dieses System wirtschaftlich – egal, ob es nun notwendig ist, immer gleich viel Material zu verbauen, oder nicht. Individuelle oder geometrisch anspruchsvolle Schalungen sind teuer und oft nicht rentabel und werden daher nur sehr selten im Planungsprozess angedacht. Stefan Peters veranschaulicht das Dilemma an einem klassischen Deckenelement, das laut Peters europaweit für Millionen von Quadratmetern eingesetzt wird: Das Element ist an allen Stellen rund 30 Zentimeter dick, hat eine Spannweite von rund acht Metern und wird von Stützelementen getragen. >

Stefan Peters, head of the Institute of Structural Design. “The procedures by which buildings are made today hardly differ from those I got to know as a young person in my holiday jobs on building sites. The COEBRO project (Additive Fabrication of CONCRETE ELEMENTS BY ROBOTS) was launched in 2015 out of the desire to create something new in the field. It is funded and supported by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) and partners from science and business through the Bridge programme. The aim of the Bridge funding network is to carry out practical basic research and open up new research fields together with institutions and companies from industry and science. Stefan Peters and Andreas Trummer head the COEBRO project together with Bernhard Freytag from the Laboratory for Structural Engineering and Viet Tue Nguyen from the Institute of Structural Concrete. “What drives us, on the one hand, is a conviction that a leap in technology in the construction industry is possible,” explains Stefan Peters. “On the other hand, we think that this technology can be used to build more efficiently and in a more resource-saving way.”

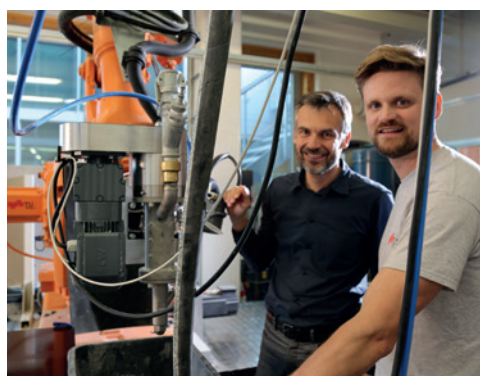


© Baustädter – TU Graz

Abbildung 1:
Zuständig für die richtige Beton-
mischung: Betontechnologe
Huy Hoang Kim.

Figure 1:
*Responsible for the right concrete
mix: concrete technologist
Huy Hoang Kim.*

Robert Schmid, Georg Hansemann and Dominik Schraml are involved in planning, organisation, robot control and general management of the laboratory at TU Graz. Eva Pirker, Joshua Tapley and Christoph Holzinger are responsible for engineering. Valentino Sliskovic is responsible for the laboratory and for carrying out experiments, and Huy Hoang Kim is responsible for the field of concrete technology.



© Baustädter – TU Graz

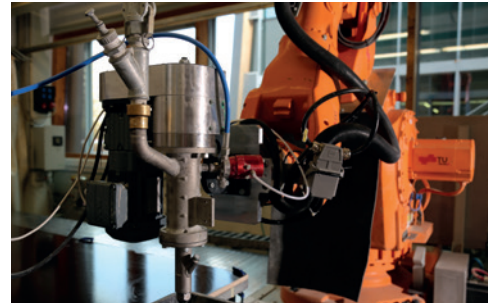
Abbildung 2:
Projektleiter Peters und Mitarbeiter
Hansemann beim ersten Druck-
versuch.

Figure 2:
*Project manager Peters and team
member Hansemann during the
first printing test.*

Resource-saving construction

The COEBRO project specialises in the production of prefabricated concrete parts. The currently >

Das ist relativ schnell zu planen, einfach umzusetzen und es kann eigentlich nicht wirklich etwas schiefgehen“, so Peters. „Effizient im Sinne einer Ressourcenschonung ist das aber nicht. Im Rahmen von COEBRO haben wir uns überlegt, an welchen Stellen des Deckenelements wir Beton einsparen könnten, ohne an Performance zu verlieren. So individuell geplante Elemente kann ein Druckroboter auf Basis eines digitalen Modells umsetzen.“



© Baustädter – TU Graz

Abbildung 3:
Für den Druck wurde gemeinsam mit einem Firmenpartner ein eigener Druckkopf entwickelt.

Figure 3:
Together with a company partner, a separate print head was developed for printing.

Aber warum ist das Betonsparen sinnvoll? Es ist vor allem eine Frage der Ressourcenschonung, wie Peters erläutert: „Heutigen Berechnungen zufolge sind die fossilen Rohstoffe Kohle und Öl nur noch gut 100 Jahre in der heutigen Form nutzbar – für die Zement- und Stahlproduktion braucht es aber eine Menge davon. Wir werden uns also bald ernsthaft die Frage stellen müssen, mit welchen Rohstoffen wir in Zukunft bauen können und wieweit die Stoffe wiederverwendbar sind, wenn sie einmal verarbeitet wurden. Hinzu kommt, dass die Herstellung der gängigen Baustoffe große Mengen an CO₂ freisetzen. Ein effizienterer Ressourceneinsatz könnte hier viel einsparen.“

Zukunft des Baues

Das Institut für Tragwerksentwurf arbeitet in COEBRO gemeinsam mit wissenschaftlichen Partnern der TU Graz – dem Institut für Betonbau und

most widespread manufacturing process is casting technology. In this technology, formwork or shuttering is built and adapted and is filled in with liquid concrete, which solidifies in the desired shape. Building parts prefabricated in this way, although extremely robust, are not always made efficiently. This system is only economical when the concrete parts are made in the same formwork, whether it is necessary to use the same amount of material with respect to stability or not. Individual or geometrically demanding formwork is expensive and often not cost effective, and is only rarely considered in the planning process. Stefan Peters illustrates this dilemma with a classical ceiling component, which according to Peters, is utilised throughout Europe for millions of square metres. The component is some 30 centimetres thick at all points, has a span of around eight metres and is held by supporting elements. “You can design it relatively fast, it’s easy to implement, and actually nothing can really go wrong,” says Peters. “But it is not efficient in terms of conserving resources. In the framework of COEBRO, we thought about where we could save concrete on the ceiling elements without loss of performance. A printing robot can implement such individually designed elements on the basis of a digital model.”

But why is it important to make savings on concrete? It is principally a matter of conservation of resources, as Peters explains: “According to modern calculations, the fossil raw materials coal and oil are only usable for another 100 years in their present form – and cement and steel production need a lot of them. We will soon have to seriously ask ourselves the following question: what raw materials can we build with in the future and to what extent are the materials recyclable after they have been used? On top of this, the manufacture of common building materials releases huge quantities of CO₂. A more efficient use of resources could make a lot of savings here.”

Future of building

The Institute of Structural Design works in the COEBRO project alongside scientific partners of TU Graz – the Institute of Structural Concrete and the Laboratory for Structural Engineering – and a number of other partners from industry, including the energy and automation technology multinational ABB, the special-purpose machinery supplier HAGE, the chemicals company Sika, formwork and scaffolding maker Perl and prefab specialist Kirchdorfer. “We deliberately got companies on board which in their totality mirror the complete production path of a prefabricated concrete part,” explains Trummer, who is also a key player. “In this way, on the one hand, we got important insights into the real specifics of the construction industry. In



© Baustädter – TU Graz

Abbildung 4:
Mit dem Ergebnis zufrieden: Das Druckteam nach dem erfolgreichen Druck des Prototyps.

Figure 4:
Satisfied with the result: the printing team after the successful printing of the prototype.

dem Labor für konstruktiven Ingenieurbau – und mit zahlreichen Partnern aus der Industrie: dem Energie- und Automatisierungstechnikkonzern ABB, der Anlagenbaufirma Hage, dem Chemieunternehmen Sika, dem Schalungs- und Gerüstbauer Peri und dem Fertigteilsspezialist Kirchdorfer. „Wir haben uns ganz bewusst Unternehmen ins Boot geholt, die in ihrer Gesamtheit den gesamten Produktionsweg eines Betonfertigteils abbilden“, erklärt Trummer, der ebenfalls zentral in das Projekt involviert ist. „So erhielten wir einerseits wichtige Einblicke in die realen Gegebenheiten der Baubranche. Die Unternehmen wiederum können aus den Forschungsergebnissen Erkenntnisse für die Zukunft der Branche ableiten.“ Ist der 3D-Betondruck erst einmal ausgereift, hat diese Technologie das Potenzial, den Betonbau von Grund auf zu ändern: „Das wäre ein Paradigmenwechsel.“

Case Studies

Um die neue Bautechnik zu überprüfen, hat man sich im Projekt COEBRO die Realisierung von zwei Fertigteilen vorgenommen: zum einen das oben angeführte Deckenelement mit entsprechenden Aussparungen, zum anderen ein aufwendig verschnörkeltes Fassadenteil, das in einer Schalung so nicht produzierbar wäre.

Mitte November fanden die lange erwarteten ersten Druckversuche im Institut für Konstruktiven Ingenieurbau statt – mit Erfolg, wie sich Stefan Peters heute freut: „Das ist gerade ein wirklich schöner Moment.“

Bis dahin war es aber kein leichter Weg: Der Realisierungsprozess gestaltet sich äußerst aufwendig und forderte ein großes Team an Projekt- und Universitätsassistent/innen sowie Diplomand/innen täglich aufs Neue heraus: Zu Beginn wurden die beiden Elemente eingehend rechnerisch untersucht, alle Einsparmöglichkeiten erörtert und überprüft. Anschließend mussten die Fahrwege des Roboters, der die Elemente produziert, analysiert werden: „Wenn ich eine Schalung in einer bestimmten Form habe, dann brauche ich den Beton nur reinzukippen und alles ist gut“, erklärt Peters. „Wenn ich das Element aber drucken will, muss ich die Fahrwege des Druckroboters zuvor ganz genau berechnen. Im Grunde genommen ist das so, als würde ich ein Haus zeichnen, ohne dabei den Stift abzusetzen.“

Auf Basis der Ergebnisse wurde gemeinsam mit den Industriepartnern ein geeigneter Druckkopf für den Roboter entwickelt. „Zu Beginn haben wir den Beton noch mit der Hand angerührt und über einen Trichter aufgebracht“, denkt Trummer schmunzelnd an die Projektanfänge zurück. Heute wird eine Schneckenpumpe eingesetzt und die Betonmischung trocken in einem Big-Bag-Sack aufbewahrt. >

turn, the companies can extract knowledge for the future of the industry from the research results.” When 3D concrete printing has been perfected, this technology will have the potential to transform concrete construction from the ground up: “It would be a game changer.”

Case Studies

To check the new building technology, two prefabricated parts were realised in the COEBRO project. On the one hand, the above-mentioned ceiling component with appropriate cavities. On the other hand, a complicated, ornate facade part which would be almost impossible to produce using form-work.



© Baustädter – TU Graz

In mid-November, the long awaited first printing tests took place in the Laboratory for Structural Engineering - with success, as Stefan Peters is pleased to report today: “This is a really nice moment.

Until then, however, it was not an easy path. The implementation process was extremely complex and challenged a big team of project and university assistants as well as degree candidates on a daily basis. To begin with, both elements were thoroughly investigated using calculations, and all savings potentials were discussed and checked. Finally, the pathways of the robot which produces the elements had to be analysed: “If I have formwork in a particular shape, then all I have to do is to tip the concrete into it and everything works,” explains Peters. “But if I want to print out the element, I have to calculate the pathways of the robot very precisely beforehand. In fact, it’s like drawing a house without lifting the pencil off the paper.” >



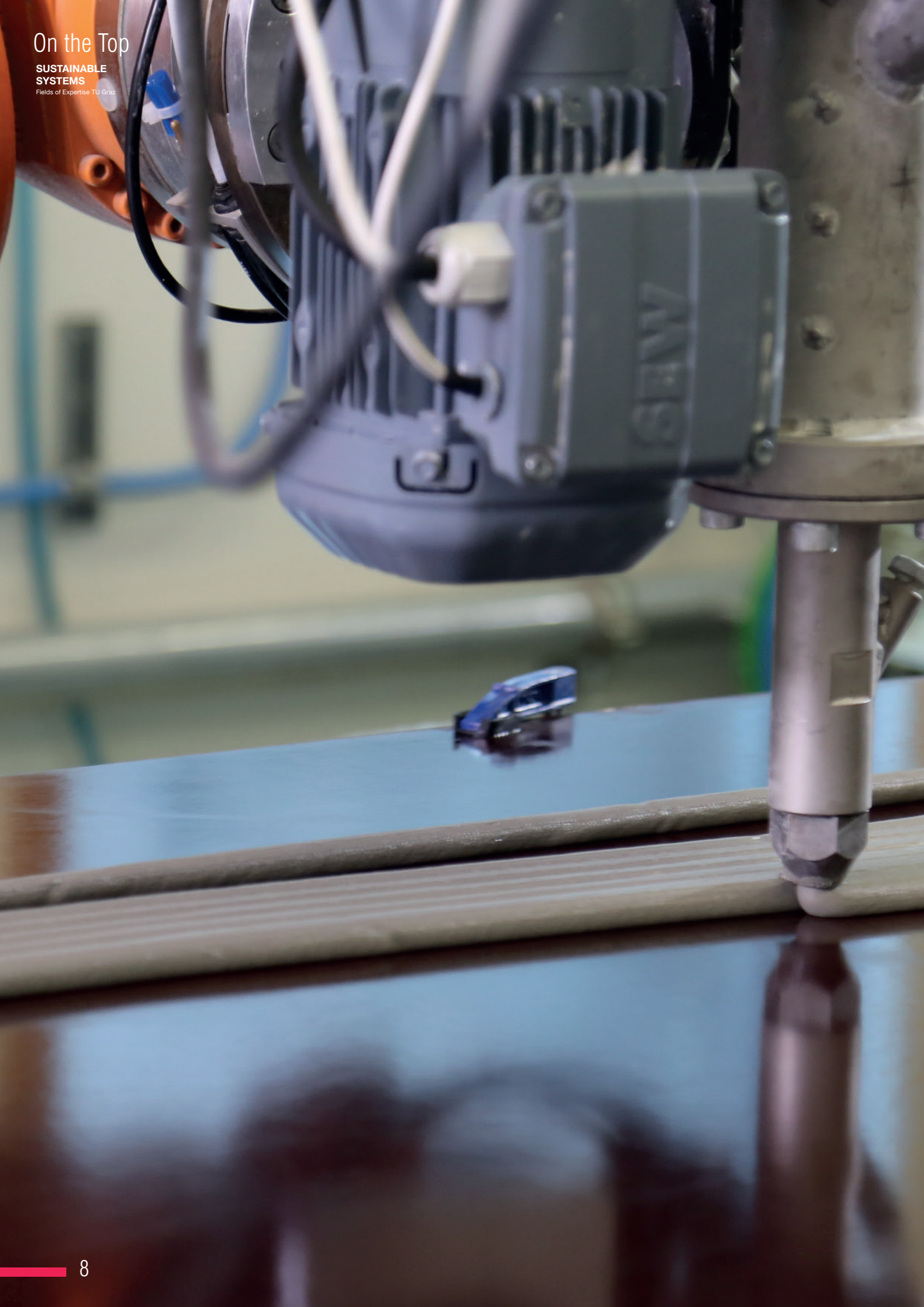
© Baustädter – TU Graz

Abbildung 5:
Voller Druckerfolg – der Druck-roboter druckt die filigrane Struktur gekonnt aus.

Figure 5:
Complete printing success - the printing robot skillfully prints out the filigree structure.

Abbildung 6:
Nach dem Druck verbinden sich die einzelnen Schichten und sind nicht mehr voneinander zu unterscheiden.

Figure 6:
After printing, the individual layers combine and can no longer be distinguished from each other.



A close-up photograph of a concrete printing nozzle, showing its metallic structure and the fine mesh at the tip. The background is blurred, showing other parts of the machine and the construction site.

Ein entsprechend langer Schlauch transportiert den Beton dann bis zum Printkopf, der den Beton in Bahnen ablegt.

Herausforderung Beton

Eine große Herausforderung stellte die Optimierung der druckbaren Betonmischung dar. „Beim Betondruck muss dieser beim Fluss durch die Druckdüse noch transportfähig sein und darf auch bei kurzen Pausen nicht verkleben. Gleichzeitig darf er, an seinem Bestimmungsort angekommen, aber nicht mehr verrinnen und muss mit der zuvor aufgetragenen Schicht eine Bindung eingehen“, erklärt Andreas Trummer. „Vor allem die Pumpbarkeit machte uns zu schaffen. Mittlerweile haben wir aber eine gute Mixtur gefunden.“ Dabei handelt es sich um eine besonders feine Betonmischung, deren größte Teile nur maximal drei Millimeter groß sind.

Auch die Verbindung zwischen den einzelnen Betonbahnen war anfangs ein großes Problem, wie Trummer weitererzählt: „Zu Beginn konnte man die Bahnen einfach voneinander trennen. Heute ist das nicht mehr so, wir haben einen sehr homogenen Querschnitt der einzelnen Lagen Beton.“

Zukunftsmusik

Bis es nun aber möglich ist, einfach einen Betondrucker in den Garten zu stellen und auf das fertige Haus zu warten, wird es noch einige Zeit dauern – da sind sich alle beteiligten Expertinnen und Experten einig. „Unser Projekt ist nur ein sehr kleiner Ausschnitt aus diesem großen Forschungsbereich. Derzeit arbeiten viele Forschungsteams weltweit an diesem Thema – und alle stehen vor ähnlichen Problemen: Welche Zusammensetzung muss der Beton haben? Welche Maschine kann man für den Druck einsetzen?“, erklärt Peters. „Wir als TU Graz sind aber ganz vorne dabei, wenn es um die zukünftigen Einsatzfelder der neuen Technologie geht. Denn darüber haben sich bisher nur sehr wenige Gedanken gemacht.“

Nachfolgeprojekte, die auf die Erkenntnisse von COEBRO aufbauen, sind bereits in Planung.

Text: Birgit Baustädter ■

On the basis of the results, a suitable printing head for the robot was developed together with the industrial partners. “At the beginning, we still stirred the concrete by hand and applied it using a funnel,” Trummer remembers, thinking back to the start of the project with a smile. Today a spiral pump is used and the dry concrete mix is stored in a big bag. A suitably long tube transports the concrete to the printing head, which lays down the concrete in rows.

Challenge of concrete

Optimising the printable concrete mix is a big challenge. “When printing concrete, it has to be transportable through the printing nozzles and shouldn’t clog up even with short pauses. At the same time, it has to arrive at its destination and not trickle away, and it has to bind to the layer which was applied before,” explained Andreas Trummer. “In particular, pumpability was a big problem. In the meantime, though, we’ve found a good mixture. It’s a particularly fine concrete mixture whose coarsest particles are only three millimetres big.

The connection between the individual rows of concrete was a big problem at the beginning, as Trummer explains: “At the beginning, we could simply separate the rows from each other. But it’s no longer like that today; we have a very homogeneous section of individual layers of concrete.”

Future vision

It will take some time before it is possible to just put a concrete printer in the garden and wait for it to make a prefabricated house – on this all the experts are agreed. “Our project is just a small section of this big research area. Many research teams are currently working worldwide on this topic and they are all encountering similar problems: What consistency should the concrete have? What machines can be used for printing?” explains Peters. But TU Graz is right at the forefront when it’s a matter of future fields of application of the new technology. Because very few people have thought about this up to now.”

Follow-up projects built on the findings of COEBRO are already in the planning stage.

Text: Birgit Baustädter ■

Abbildung 7:
Die ersten Lagen Beton für die Prototypen werden erfolgreich gedruckt.
Figure 7:
The first layers of concrete for the prototypes are successfully printed.



ADVANCED MATERIALS SCIENCE

Fields of Expertise TU Graz

© Lunghammer – TU Graz



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

Obwohl viele Festkörper undurchdringlich scheinen, ist oft der Transport von Material oder Energie durch einen Festkörper ein wichtiger Teil der Funktionalität dieses Festkörpers. Solarzellen haben keine beweglichen Teile, aber ihre Funktion hängt davon ab, wie sie den Fluss von Licht, Elektrizität und Wärme, der durch sie hindurchgeht, lenken. Eine zentrale Komponente einer Brennstoffzelle ist eine Polymermembran, die den Durchtritt von Protonen ermöglicht. In Batterien diffundieren Li-Ionen durch feste Elektroden, wenn die Batterie geladen und entladen wird. Zu verstehen, wie sich Wärme, Licht, Elektrizität und Atome durch einen Festkörper ausbreiten, ist ein zentrales Thema der Materialwissenschaft. In einem kürzlich eingerichteten Christian Doppler Labor wird der Transport ein zentrales Thema sein. Karin Zojer wird ein CD-Labor für Massentransport in Papier leiten, um die Effizienz und Geschwindigkeit des Transports von Gasen und Partikeln durch Papierbögen zu untersuchen. Während Luft durch die Poren des Papiers strömt, tendieren bestimmte Arten von Partikeln dazu, den Fasern zu folgen und somit einen längeren Weg zum Durchdringen des Papiers zu nehmen. In diesem Projekt wird maschinelles Lernen verwendet, um die verschiedenen Transportarten zu verstehen. Der maschinelle Lernansatz ist notwendig, weil Papier ungeordnet ist. Wenn dies gelingt, könnte maschinelles Lernen auch auf die Bewegung von Energie und Atomen durch andere ungeordnete Materialien angewendet werden.

Das jährliche Treffen des Field of Expertise, der Advanced Materials Day 2018, fand am 21. September statt. Es gab zwei Hauptvortragende. Werner Luschnig erzählte uns von der Gründung der Silicon Austria Labs auf dem TU Graz-Campus Inffeldgasse und Roland Würschum hielt einen Vortrag zum 10-jährigen Bestehen des Masterstudiums „Advanced Materials Science“. Elf Präsentationen wurden von Empfängerinnen und Empfängern von Anschubfinanzierung gegeben. Auf die mündlichen Sitzungen folgte eine Poster-Session mit fast 60 Beiträgen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Wir hatten alle die Gelegenheit, in entspannter Atmosphäre mit Kolleginnen und Kollegen zu diskutieren und die hohe Qualität und Vielfalt der vorgestellten Forschung zu genießen. Die Abstracts der Vorträge und Poster finden Sie unter ams.tugraz.at/AMD2018/.

Although many solids seem impenetrable, often the transport of material or energy through a solid is an important part of that solid's functionality. Solar cells have no moving parts but their function depends on how they direct the flow of light, electricity, and heat through themselves. A central component of a fuel cell is a polymer membrane that allows the flow of protons through it. In batteries, Li ions diffuse through solid electrodes as the battery is charged and discharged. Understanding how heat, light, electricity, and atoms move through a solid is a central issue in materials science. In a recently established Christian Doppler Laboratory, transport will be a central theme. Karin Zojer will lead a CD laboratory on mass transport in paper to examine the efficiency and speed of transport of gases and particles through paper sheets. While air flows through the pores in paper, certain types of particles tend to follow the fibers and thus take a longer route to cross the paper. This project will use machine learning to understand the different transport modes. The machine learning approach is necessary because of the disordered nature of paper. If successful, machine learning might also be applied to the movement of energy and atoms through other disordered materials.

The annual meeting of the Field of Expertise, Advanced Materials Day 2018, was held on the 21st of September. There were two keynote speakers. Werner Luschnig told us about the establishment of Silicon Austria Labs on the TU Graz Inffeld Campus and Roland Würschum gave a talk commemorating 10 years of the master's programme "Advances in Materials Science". Eleven presentations were given by recipients of Initial Funding grants. The oral sessions were followed by a poster session of almost 60 contributions from young scientists. We all had the opportunity to discuss with colleagues in a relaxed atmosphere, and to enjoy the high quality and diversity of the presented research. The abstracts of the talks and posters are available at: ams.tugraz.at/AMD2018/



Projekt MNEMONIC: Magnetische poröse Biokomposite

Project MNEMONIC: Magnetic Porous Bio-Composites

Raffaele Ricco

Metall-organische Gerüste, auch MOFs (metal-organic frameworks) genannt, sind interessante poröse Materialien mit großen Auswirkungen; sowohl auf die Grundlagen- als auch auf die angewandte Forschung. Das TU Graz-Institut für Physikalische und Theoretische Chemie erhielt 2017 die Marie Skłodowska Curie Fellowship, um die Kombination von MOFs, magnetischen Nanopartikeln und Enzymen für die zukünftige Entwicklung smarter Biokatalysatoren zu erforschen.

MOFs sind die neueste Generation poröser Materialien. Wie Fachwerk in der Architektur enthalten die aus mit organischen Molekülen verbundenen metallischen Zentren bestehenden Netzwerke eine Menge leeren Raum. Und genau das macht sie für kristalline Strukturen so attraktiv. Die Oberfläche von MOFs kann bis zu 1.000 Quadratmeter pro Gramm betragen; ein Teelöffel davon kann so die gleiche Oberfläche wie ein Fußballfeld aufweisen. Wegen dieser außergewöhnlichen Eigenschaften können MOFs Gase, Dämpfe und andere chemische Spezies in Lösungen speichern und, je nach physikochemischen Eigenschaften, verschiedene Einzelteile abtrennen. Das hat große Auswirkungen auf die angewandte Forschung – zum Beispiel in den Bereichen Energie, Umwelt, Pharmazie und Geräteherstellung.

Meine Forschung

Eines meiner Forschungsthemen geht auf meine Postdoc-Zeit am CSIRO in Melbourne, Australien, zurück. Es beinhaltet die Kombination von magnetischen Nanopartikeln und MOFs. Das Einbinden von Nanopartikeln in MOFs ist einfacher, als ein spezifisches poröses Material zu untersuchen, da es die Eigenschaften der einzelnen Komponenten vereint. Dafür gibt es im Falle von magnetischen Systemen zwei Hauptgründe: dynamische Lokalisation und Hyperthermiebehandlung. Dynamische Lokalisation ist die Möglichkeit, die Materialposition extern zu kontrollieren – beispielsweise >

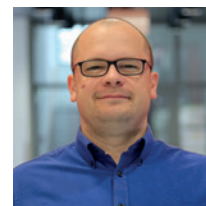
Metal-Organic Frameworks, also known as MOFs, are attractive porous materials with huge implications for both basic and applied research. TU Graz's Institute of Physical and Theoretical Chemistry was awarded a Marie Curie fellowship in 2017 to study the combination of MOFs, magnetic nanoparticles, and enzymes, for the future development of smart bio-catalysts.

Basics

MOFs are the latest generation of porous materials. Like space frames in architecture, the resulting network, made of metal centers linked together with organic molecules, contains a lot of empty space, and that is the main reason these crystalline structures are so attractive. Their surface area can extend to thousands of square meters per gram; one tablespoon of MOF can easily cover the same surface area as a soccer field. Thanks to this outstanding property, MOFs can store gases, vapors, and other species in solutions and, depending on the physicochemical properties, separate different compounds. This is having tremendous implications in many fields of applied research involving energy, environment, catalysis, drug research, and device fabrication.

My research

One of my research topics dates back to the post-doctoral period at CSIRO in Melbourne, Australia, and involves the combination of magnetic nanoparticles and MOFs. Embedding nanoparticles into MOFs is easier than researching a specific porous material because it unifies the properties brought by the single components. In the case of magnetic systems, there are two main reasons behind this: dynamic localization and hyperthermia treatment. Dynamic localization means the possibility to externally control the position of the material, for example in a reactor or, in a more specialized way, in a microfluidic device. This would overcome most of the issues arising from the immobilization and growth of MOFs in the desired positions of a system. >



© TU Graz

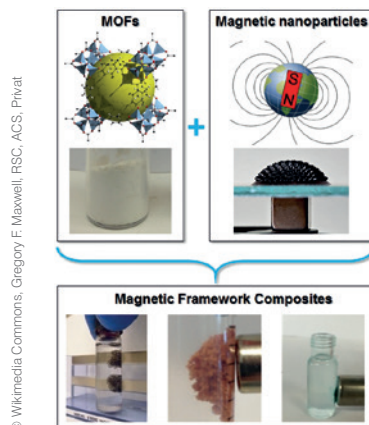
Raffaele Ricco ist Universitätsassistent am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie an der TU Graz und ist auf Synthese und Optimierung von innovativen MOF-Verbundstoffen für die Katalyse, Sensorik und Applikation spezialisiert.

Raffaele Ricco is a university assistant at the Institute of Physical and Theoretical Chemistry at TU Graz, and specializes in the synthesis and optimization of innovative MOF composite materials for catalysis, sensing, and delivery.



Abbildung 1:
Magnetic Framework Composites (MFCs) erhält man, in dem man MOFs mit nanometergroßen Magnetit-Partikeln oder anderen magnetischen Stoffen kombiniert. Sie können einfach gesammelt und manipuliert werden.

Figure 1:
Magnetic Framework Composites (MFCs) are obtained by combining MOFs with nanometer-sized particles of magnetite or any other type of magnetic species. They can be easily collected and manipulated.



© Wikimedia Commons, Gregory F. Maxwell, RSC, ACS, Privat

in einem Reaktor oder spezialisierter in einem mikrofluiden Gerät. Das würde viele der Probleme lösen, die durch Immobilisierung und Wachstum der MOFs an gewünschter Position eines Systems entstehen. Mithilfe eines Magneten können MOF-Kristalle oder -Pulver ganz einfach wo nötig angesiedelt werden und auch danach wiedergewonnen werden.

Bei der Hyperthermiebehandlung werden hohe Temperaturen genutzt, um Zellen zu töten – besonders bei der Behandlung von Krebs. Bringt man superparamagnetische Nanopartikel, die in einer spezifischen Größe hergestellt wurden, in ein wechselndes Magnetfeld, dann kann sich deren Temperatur um mehrere dutzend Grad erhöhen, sodass der Tumor buchstäblich „verbrennt“. Umgelegt auf MOFs, kann dies bei Bedarf die Freisetzung von Medikamenten veranlassen, die vorher im porösen Material gespeichert wurden – insbesondere wenn nicht-spezifische Medikamente den Patienten aufgrund ihrer nicht zielgerichteten Zytotoxizität besonders belasten würden.

In meinem Team habe ich mich mit den Möglichkeiten beschäftigt, magnetische MOF-Verbundstoffe zur Überwachung der Umweltverschmutzung einzusetzen. Wie ich herausfand, kann ein System auf Aluminiumbasis mit Eisenoxid-Nanopartikeln eingesetzt werden, um toxische Blei-Ionen mit einer Aufnahme von annähernd 0,5 Gramm Blei pro Gramm Verbundstoff herauszufiltern – einer der höchsten Werte unter ähnlichen Materialien. Zusätzlich kann das System die Ionen mithilfe des oben beschriebenen Magnetfeldprozesses in Wasser freisetzen.

Gleichzeitig haben wir entdeckt, dass MOFs auch Biomakromoleküle – entweder Proteine oder Stücke von DNA – beherbergen können in einem Prozess, den wir biomimetische Mineralisation nennen. Er ähnelt dem natürlichen Vorgang, in dem sich weiche Organismen gegen Feinde oder unwirtliche Umweltbedingungen schützen – mittels harter und meist anorganischer Schale. Diese 2015 publizierte

Indeed, thanks to the action of a magnet, MOF crystals or powders can be simply located where needed, and also recovered afterwards. Hyperthermia treatment involves the use of high temperature to kills cells, especially for cancer cures. When super-paramagnetic nanoparticles, prepared with a specific size, are immersed in an alternate magnetic field, they can increase the temperature several tens of degrees, in this way literally “burning” the tumor. Applied to MOFs, this can trigger on demand the release of drugs previously stored within the porous material, especially in cases when non-specific drugs cause discomfort to the patient due to their indiscriminate cytotoxicity.

In the team I was working in, I studied the possibility of using magnetic MOF composites for pollution control, discovering that an aluminium-based system with iron oxide nanoparticles could be used to harvest toxic lead ions with an uptake approaching 0.5 grams of lead per gram of composite, one of the highest figures among similar materials. Additionally, the system could release the ions in water by means of the above-mentioned magnetic field process.

In the same period we discovered that MOFs can also host biomacromolecules, either a protein or a piece of DNA, in a process that we called “biomimetic mineralization”, because it resembled a natural process in which soft organisms protect themselves from predators or inhospitable conditions by means of a hard, and mostly inorganic, shell. This research, published in 2015, used only aqueous solutions and thus was more compatible to biological systems than the methods available at the time using organic solvents. Moreover, the reaction is very fast in this way and can be applied to a wide range of systems, such as proteins, enzymes, nucleic acids, and even living cells.

The MNEMONIC project

At Graz University of Technology, working in the group of Paolo Falcaro, I started thinking about how to combine the previously gained know-how into one successful project. I was awarded an initial funding from the Research and Technology House to start planning future activities, and this eventually developed into the recently granted Horizon 2020 Marie Curie project MNEMONIC (acronym of “MagNetic Enzyme Metal OrgaNIc framework Composites”). The aim is to produce efficient, long-lasting, robust, and repositionable bio-catalysts. The porous MOF coating protects an enzyme from organic solvents, unfavorable pH, the presence of inhibitors, while permitting a selective exchange of substrates and products through the cavities. At the same time, the magnetic particles permit the system to be placed in specific locations, for example



© Privat

Abbildung 2:
Eine BET-Maschine wird verwendet, um die Oberfläche verschiedener Materialien, von denen MOFs den höchsten Wert besitzen, zu untersuchen, indem man die Poren mit Stickstoff füllt und die Menge misst, die bei jedem Druckpunkt absorbiert wird.

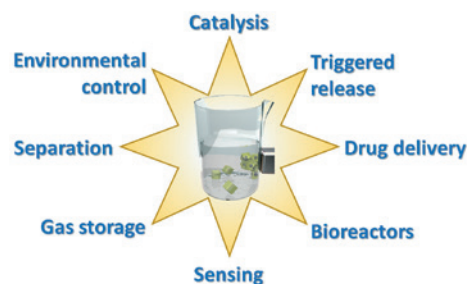
Figure 2:
A BET machine is used to investigate the surface area of several materials, among which Metal-Organic Frameworks show the highest values, by filling the pores with nitrogen and measuring the amount that is adsorbed for each pressure point.

Forschung nutzte ausschließlich wässrige Lösungen und war deshalb besser mit biologischen Systemen kompatibel als andere damals verfügbare Methoden, die organische Lösungsmittel nutzten. Darüber hinaus ist diese Reaktion sehr schnell und kann auf ein breites Spektrum an Systemen angewandt werden – wie zum Beispiel auf Proteine, Enzyme, Nukleinsäuren und sogar lebende Zellen.

MNEMONIC-Projekt

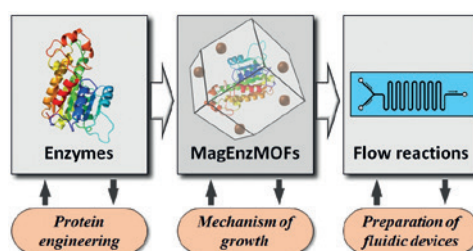
An der TU Graz arbeite ich in der Gruppe von Paolo Falcaro. Dort begann ich darüber nachzudenken, wie das zuvor gewonnene Wissen zu einem erfolgreichen Projekt kombiniert werden kann. Von der TU Graz bekam ich eine Anschubfinanzierung zugesprochen, um meine künftigen Aktivitäten zu planen. Schlussendlich wuchs daraus das kürzlich genehmigte Horizon-2020-Marie-Curie-Projekt MNEMONIC (für „MagNetic Enzyme Metal OrgaNic framework Composites“). Ziel ist es, effiziente, langlebige, robuste und repositionierbare Biokatalysatoren zu produzieren. Die poröse MOF-Hülle schützt ein Enzym vor organischen Lösungsmitteln, ungünstigem pH-Wert und Eindringlingen, während sie den selektiven Austausch von Substraten und Produkten durch die Hohlräume erlaubt. Gleichzeitig erlauben es die magnetischen Partikel, das System an bestimmten Stellen zu platzieren – zum Beispiel in den Kanälen eines mikrofluidischen Geräts. Dieses einfache, aber innovative Dreifachsystem zielt darauf ab, die Anforderungen eines recycelbaren und robusten Katalysators mit der Selektivität eines Enzyms zu verbinden, um in Batch- und kontinuierlichen industriellen Prozessen Chemikalien mit hohem Ertrag zu produzieren – insbesondere in der enzymatischen Produktion von APIs (Advanced Pharmaceutical Ingredients).

Natürlich gibt es noch einige andere Forschungsthemen und viele Aspekte werden derzeit in diesem Feld untersucht. Nichtsdestotrotz wird die MOF-Forschung immer faszinierender und attraktiver. Erst kürzlich konnte man das am Start des Leadprojekts Porous Materials@Work sehen, mit dem das MNEMONIC-Projekt eng verbunden ist. Unser Team, auch ein zentraler Teil von Porous Materials@Work und ebenfalls von Paolo Falcaros ERC Grant unterstützt, besteht aus drei Postdoc-Forschern und einem PhD-Studenten. Alle Positionen wurden international ausgeschrieben und zogen viele qualifizierte Bewerberinnen und Bewerber an – ein klarer Indikator dafür, dass die TU Graz ein attraktiver Ort für Early-stage- Researchers aus der ganzen Welt ist. ■



© RSC, Privat

into the channels of a microfluidic device. This simple but innovative ternary system aims to satisfy the requirements for recyclable and robust catalysts which are as highly selective as enzymes can be, are suitable in batch and in continuous industrial processes, and produce chemicals with high yield, especially in the enzymatic production of APIs (Advanced Pharmaceutical Ingredients).



© Wikimedia Commons, Boghog, Privat

Abbildung 3:

MFCs sind für mehrere Anwendungen geeignet – zum Beispiel als wiederverwendbarer Katalysator, recycelbares Absorptionsmaterial für den Umweltschutz und als effizientes Medikamentenverabreichungssystem.

Figure 3:

MFCs are suitable for several applications, for example as reusable catalysts, recyclable sorbents for environmental control, and as efficient drug delivery species.

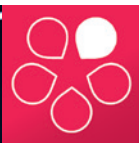
Abbildung 4:

Das Projekt MNEMONIC wird die Kombination von Enzymen mit magnetischen Nanopartikeln und MOFs untersuchen. Dieses Dreifachsystem (MagEnzMOFs) wird für die Fließfertigung von Spezialchemikalien in fluide Geräte integriert.

Figure 4:

The MNEMONIC project will study the combination of enzymes with magnetic nanoparticles and MOFs. These ternary systems (MagEnzMOFs) will be integrated into fluidic devices for the continuous production of specialty chemicals.

Of course, there are several other research topics, and many aspects still under investigation, in this field. Nevertheless, MOF research is increasingly fascinating and trending more and more every year. This had a recent positive outcome with the recently kicked-off lead project Porous Materials@Work with which the MNEMONIC grant is interconnected. Our team, also a key component of the Porous Materials@Work and further endowed with Paolo Falcaro's ERC grant, is currently composed of three postdoc researchers and one PhD student. All these positions were internationally advertised and gained a wide response from many qualified applicants, a clear indication of the attractiveness of TU Graz for early stage scientists from around the world. ■



**HUMAN &
BIOTECHNOLOGY**
Fields of Expertise TU Graz

In dieser neuen Ausgabe legt TU Graz *research* speziellen Fokus auf zwei europäische Projekte aus dem Horizon 2020-Programm, die unter Koordination von Forschenden aus dem Field of Expertise „Human & Biotechnology“ durchgeführt werden. Das FET Open Project CONQUER wurde an dieser Stelle bereits vorgestellt und ist nun in einer Phase, in der von interessanten Resultaten berichtet werden kann. Das Innovation Action Project CARBAFIN ist 2018 gestartet. Es wird vom Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib) als koordinierende Institution geleitet und die TU Graz ist Partnerin in einem gemeinsamen akademisch-industriellen Konsortium. Wir kennen den beträchtlichen Zeitaufwand und auch die Risiken, die mit der Rolle des Koordinators bzw. der Koordinatorin eines Projektantrags im Rahmen der europäischen Förderprogramme verbunden ist. Trotzdem finden wir, dass Forscher/innen aus dem Field of Expertise „Human & Biotechnology“ dazu ermuntert werden sollten, öfter die Initiative als Koordinator/in solcher Projektanträge zu ergreifen. Wir haben daher diskutiert, dass von TU Graz-Forscherinnen und -Forschern koordinierte Anträge, die in eine zweite Evaluierungsstufe gekommen sind, mit spezieller Priorität Förderung aus dem Programm der Anschubfinanzierung bekommen sollten.

This new issue of TU Graz research focuses on two European projects from the Horizon 2020 program which were coordinated by researchers from the Field of Expertise Human & Biotechnology. The FET Open project CONQUER was introduced in this magazine previously and is now at a stage showing interesting results. The Innovation Action project CARBAFIN only started in 2018. It has the Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib) as the coordinating institution and involves TU Graz as partner in a joint academic-industrial consortium. We recognize the considerable time spent, and also the risks involved, in acting as coordinator of a European project application. Nonetheless, we feel that researchers from the FoE Human & Biotechnology should be encouraged to take the initiative more often. It was therefore decided in discussions that applications coordinated by TU Graz reaching the second stage of evaluation should be prioritized to receive support from the initial funding programme.

The position of Professor of Bioinformatics (Section 98) was advertised and the selection process is currently ongoing. Research colloquia are expected between February 11th and 15th in 2019.

Readers may have noticed the award of this year's Nobel Prize in Chemistry to Frances Arnold for "the directed evolution of enzymes". In Frances Arnold's own words, directed evolution is "basically breeding, similar to mating cats or dogs to bring out desired traits, but at the level of molecules. The aim is to create new and better biological material in the form of enzymes, which are proteins that catalyze chemical reactions. And this allows us to use greener biological manufacturing processes to make the fuels, chemicals and materials we use in our daily lives." Besides the outstanding importance that directed evolution has had on the development of industrial enzymes for organic synthesis and other applications, Frances Arnold has, directly and indirectly, influenced the research in (molecular) biotechnology at our university. In particular, Anton Glieder did postdoctoral research in the Arnold lab at Caltech in the early 2000s. On returning, he continued his own development of method and applications in this field here in Graz. Frances Arnold was in Graz for a personal and scientific visit only three years ago.

Das Berufungsverfahren für eine Professur in Bioinformatik (§ 98) wurde gestartet und der Auswahlprozess ist aktuell im Gange. Forschungskolloquien sind für die Zeit vom 11. bis 15. Februar 2019 geplant.

Leser/innen werden die Verleihung des diesjährigen Nobelpreises in Chemie an Frances Arnold für die gerichtete Evolution von Enzymen mitbekommen haben. In Frances Arnolds eigenen Worten ist gerichtete Evolution „basically breeding, similar to mating cats or dogs to bring out desired traits, but at the level of molecules. The aim is to create new and better biological material in the form of enzymes, which are proteins that catalyse chemical reactions. And this allows us to use greener biological manufacturing processes to make the fuels, chemicals and materials we use in our daily lives.“ Neben der überragenden Bedeutung, die die gerichtete Evolution für die Entwicklung von industriellen Enzymen für organische Synthese und andere Anwendungen gehabt hat, hat Frances Arnold die Forschung in (molekularer) Biotechnologie an unserer Universität direkt und indirekt beeinflusst. Besonders erwähnenswert ist, dass Anton Glieder einen postdoktoralen Forschungsaufenthalt im Arnold-Labor am Caltech in den frühen 2000er-Jahren durchgeführt hat. Nach seiner Rückkehr hat er die Methode und die Anwendungen der gerichteten Evolution in eigenen Entwicklungen vorangebracht. Frances Arnold war erst vor drei Jahren auf persönlichem und wissenschaftlichem Besuch in Graz.

© Lurhammer – TU Graz



Bernd Nidetzky, Leitungsteam FoE
„Human & Biotechnology“
Bernd Nidetzky, executive team FoE
Human & Biotechnology

Neue Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie: Projekt CONQUER

New Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging: Project CONQUER

Hermann Scharfetter

Das von der Europäischen Kommission über drei Jahre finanzierte Projekt CONQUER wurde Ende August 2018 erfolgreich abgeschlossen. Das internationale Forschungsteam konnte zeigen, dass neuartige Kontrastmittel für Magnetresonanztomographie (MRT) auf Basis der quantenmechanischen Quadrupol-Relaxations-Verstärkung (QRE) durch ^{209}Bi -Kerne entwickelt werden können.

MRT ist als bildgebende Diagnostikmethode aus der modernen Medizin aufgrund der ausgezeichneten Bildauflösung, der hohen Eindringtiefe und des hervorragenden Gewebekontrasts bei gleichzeitigem Verzicht auf ionisierende Strahlung nicht mehr wegzudenken. Der Bildkontrast entsteht durch gewebeabhängige Dichte und Relaxationseigenschaften der enthaltenen Protonen. Während die Methode bei der morphologischen und funktionellen Bildgebung extrem erfolgreich ist, gibt es im Bereich molekularer Bildgebung aber noch einiges an Luft nach oben. Auf molekulare Prozesse sensitive und gleichzeitig biokompatible Kontrastmittel könnten es ermöglichen, Pathologien und biologische Abläufe auf dieser Ebene abzubilden, und unzählige neue Möglichkeiten in der medizinischen Diagnostik eröffnen. Im Projekt CONQUER haben Chemiker/innen, Materialwissenschaftler/innen, biomedizinische Techniker/innen, Quantenphysiker/innen und Toxikolog/innen in einem interdisziplinären, internationalen Forschendenteam genau an dieser Idee gearbeitet.

Idee

Die Grundidee zeigt Abbildung 1: Wassermoleküle mit transversal magnetisierten Protonen (blau) nähern sich einem Quadrupol-Kern (QK), bis magnetische Dipol-Dipol-Kopplung auftritt (1). Bei langsamer Rotation des Komplexes kann ein Magnetisierungstransfer vom Proton zum QK stattfinden (2), wodurch der Protonenspin schneller als gewöhnlich relaxiert, weil die Magnetisierung über den QK an die Umgebung weitergegeben wird (3). >

The FETopen CONQUER project launched at TU Graz three years ago was successfully completed by August 31st 2018. CONQUER has shown the feasibility of a completely new mechanism for designing responsive contrast agents (CAs) for Magnetic Resonance Imaging (MRI) in the context of molecular imaging. The mechanism relies on quadrupole relaxation enhancement (QRE) using Bismuth (^{209}Bi) nuclei.

Magnetic resonance imaging (MRI) has become indispensable in modern medicine. It is an extremely powerful diagnostic tool with high spatial resolution, penetration depth and superb soft tissue contrast without the use of harmful ionizing radiation. Contrast in MRI is essentially obtained through differences in local proton density and relaxation times in the tissues of interest. Though extremely successful in morphological and functional imaging, MRI still suffers from low sensitivity when addressing molecular imaging. However, the development of molecular probes responsive to various pathologies and biological processes is opening up unique possibilities for medical diagnostics, and the development of corresponding non-toxic and biocompatible relaxation enhancers is thus highly desirable for MRI. The CONQUER project was motivated with this in mind, and involved a highly interdisciplinary and international team of experts in chemical engineering, material sciences, biomedical engineering, quantum physics and toxicology. CONQUER was coordinated at TU Graz at the Institute of Medical Engineering.

Basic Idea

The basic idea is illustrated in Figure 1: Water molecules with protons in transversely magnetized state (blue) approach a quadrupolar nucleus (QN) close enough so that magnetic dipole-dipole coupling is established (1). In case of appropriately slow rotational motion of the complex, magnetization can be transferred to the QN (2) which then relaxes comparatively fast, passing the magnetization >

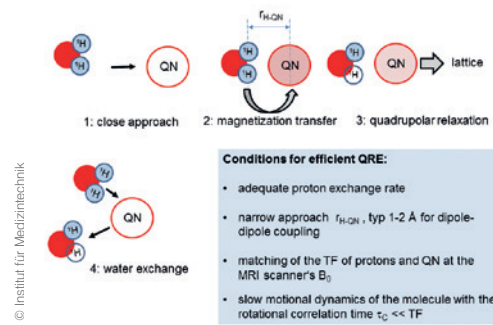


© Lünghammer – TU Graz

Hermann Scharfetter ist ao. Universitätsprofessor und stellvertretender Leiter des Instituts für Medizintechnik.

Hermann Scharfetter is vice head and associate professor at the Institute of Medical Engineering.

Abbildung 1:
Funktion eines auf QRE basierenden
MRT-Kontrastmittels.
Figure 1:
*Basic mechanism of a QRE-based
contrast agent.*

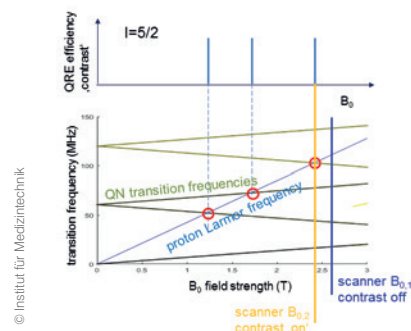


Bei kontinuierlichem Austausch von Wassermolekülen kann so viel Magnetisierung abgegeben werden, dass es zu einer Kontrastverstärkung im MRT-Bild kommt (4).

Ein ähnlicher Prozess ist von etablierten, paramagnetischen Kontrastmitteln bekannt, wo aber ungepaarte Elektronen statt der QK involviert sind und der Verstärkungsmechanismus im Gegensatz nicht sehr magnetfeldabhängig ist. QRE hingegen kann nur bei bestimmten Magnetfeldern B_0 auftreten, bei denen die Übergangsfrequenzen (ÜF) von Protonenspins und Kernspins übereinstimmen. In Abbildung 2 sind mehrere ÜF eines QK in Abhängigkeit von B_0 dargestellt, die sich an bestimmten Stellen mit der Protonenfrequenz kreuzen (rote Kreise). Durch Verschieben der Feldstärke des MR-Scanners von $B_{0,1}$ (blau) zu $B_{0,2}$ (orange) kann QRE eingeschaltet werden. In Abbildung 3 verschiebt sich die ÜF durch eine kleine Veränderung der chemischen Struktur des Kontrastmittels, zum Beispiel nach Bindung an ein Zielgewebe. Dadurch wandert ein Kreuzungspunkt zum B_0 des Scanners, was den Kontrast aktiviert; dies ist ein Schlüsselmechanismus für molekulare Bildgebung.

Abbildung 2:
Ein QN (hier Spin 5/2) hat mehrere
TFs (grün), die von B_0 abhängen und
zu Kreuzungspunkten mit der
Protonen-Larmor-Frequenz (rot)
führen. Die QRE-Effizienz kann hoch
sein und Kontrast erzeugen. Wird
das Scanner-Feld von $B_{0,1}$ (blau) zu
 $B_{0,2}$ (orange) verschoben,
ist der QRE ein.

Figure 2:
*A QN (here spin 5/2) has several TFs
(green) which depend on B_0 and
can lead to several matching points
with the proton Larmor frequency
(red), where QRE efficiency may be
high and give contrast. Switching
the scanner field from $B_{0,1}$ (blue)
to $B_{0,2}$ (orange) activates the
matching and thus QRE.*



Damit die Partikel in Lösung langsam genug rotieren, müssen die QK-Moleküle auf Nanopartikel > 5 nm gebunden werden. Komplexe, in CONQUER entwickelte quantenmechanische Simulationsprogramme sagen eine theoretisch erreichbare Relaxationsverstärkung um den Faktor 5 bis 10 für eine Kontrastmittel-Konzentration von 10 mM im Vergleich

irreversibel zu der Umgebung ('lattice') (3). Wenn es eine kontinuierliche Austausch von Wassermolekülen, führt dies zu einem erheblichen Abfluss von transverser Magnetisierung aus dem Bulk-Wasser, was zu einer Kontrastverstärkung in der MRT führt (4).

Ein ähnlicher Prozess ist von etablierten paramagnetischen Kontrastmitteln bekannt, wo aber ungepaarte Elektronen statt der Nukleonen involviert sind und der Verstärkungsmechanismus im Gegensatz nicht sehr magnetfeldabhängig ist. QRE hingegen tritt nur bei bestimmten Magnetfeldern B_0 auf, bei denen die Übergangsfrequenzen (ÜF) von Protonenspins und Kernspins übereinstimmen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, hat ein QN mehrere ÜFs, die von B_0 abhängen und zu mehreren Übereinstimmungspunkten (rote Kreise) führen. Wenn das Scannerfeld von $B_{0,1}$ (blau) zu $B_{0,2}$ (orange) verschoben wird, wird die Übereinstimmung aktiviert und somit die QRE. In Abbildung 3 verschieben sich die ÜFs des QN durch eine kleine Veränderung der chemischen Struktur des Kontrastmittels, zum Beispiel nach Bindung an ein Zielgewebe. Dadurch wandert ein Kreuzungspunkt zum B_0 des Scanners, was den Kontrast aktiviert; dies ist ein Schlüsselmerkmal für molekulare Bildgebung.

Um langsam genug in Lösung zu rotieren, müssen die QN-Kernverbindungen an Nanopartikel mit einem Durchmesser von > 5 nm gebunden sein. Komplexe quantenmechanische Simulationsprogramme, die in CONQUER entwickelt wurden, sagen eine theoretische Relaxationsverstärkung von 5-10 im Vergleich zu Wasser für 10 mM Kontrastmittelkonzentration nach vollständiger Optimierung aller anderen Parameter. Diese Zahlen machen QRE tatsächlich für praktische Anwendungen nützlich. Daher wurde eine Familie von Bi-aryl-Verbindungen mit mehreren Substituenten synthetisiert, und eine äußerst vielseitige Strategie für das kovalente Binden von ihnen an verschiedene NPs wurde entwickelt. Kernquadrupolenspektroskopie (NQRS) offenbarte Resonanzfrequenzen, die nahe den Zielwerten für klinische Scanner lagen. Eine Reihe von hochbiokompatiblen funktionellen NPs auf Polysaccharid (PS), insbesondere Ethylcellulose und Dextran, wurden synthetisiert. Dann wurden Komposit-NPs mit ausgewählten Bi-Verbindungen sowie polymerbeschichtete Bi-Aryl-Nanokristallite hergestellt.

Proof of concept

Nach umfassender Materialcharakterisierung wurden Promising-Samples für QRE durch Fast Field Cycling (FFC) NMR Relaxometrie untersucht. Für die QRE-Bildgebung wurde ein klinischer 3T-MRT-Scanner an der TU Graz mit einem Insert für FFC ausgestattet, um B_0 von dem nominalen Wert abzuweichen. Mit dieser Ausrüstung wurde die Fähigkeit, Kontrast aus B_0 -abhängiger Relaxivität zu erzeugen, zum ersten Mal bei 3T bewiesen.

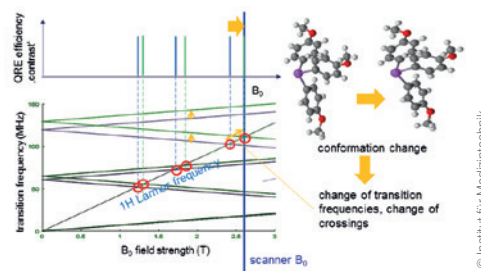
zu purem Wasser voraus, was praktische medizinische Anwendung ermöglichen würde. Eine Reihe von Bi-Aryl-Verbindungen wurde synthetisiert und eine extrem flexible Technik zur kovalenten Bindung von ^{209}Bi -Verbindungen auf Nanopartikel konnte entwickelt werden. Nuklear-Quadrupol-Resonanz-Spektroskopie hat gezeigt, dass deren ÜF sehr nahe an den Zielfrequenzen für klinische MRT-Scanner liegen. Eine Vielzahl von biokompatiblen, funktionellen Nanopartikeln basierend auf Polysacchariden wurde produziert. Daraus wurden Verbund-Nanopartikel mit ausgesuchten Bi-Verbindungen sowie polymerbeschichtete Nanokristallite hergestellt.

Proof of Concept

Nach umfangreicher Materialcharakterisierung wurden vielversprechende Proben in einem Fast-Field-Cycling(FFC)-NMR-Relaxometer untersucht. Um auch Tests an einem klinischen MR-Scanner durchzuführen, wurde außerdem ein 3T-Forschungs-MR-Scanner der TU Graz mit einem Insert ausgestattet, das erlaubt, die Scanner-Feldstärke zu verschieben. Damit konnte gezeigt werden, dass Bildkontraste auf Basis feldstärkenabhängiger Relaxation um 3T möglich sind.

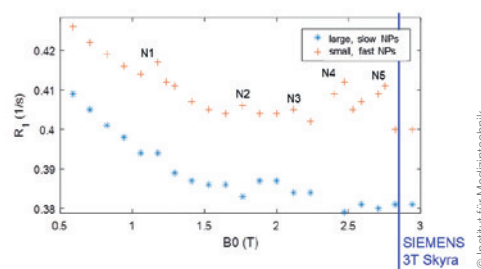
Schließlich konnte QRE erstmals in einer wässrigen Dispersion ^{209}Bi -haltiger Nanokristalle nachgewiesen werden (Abb. 4). Obwohl der Effekt noch zu schwach für die Bildgebung ist, stellt dessen Nachweis einen Durchbruch in der Kontrastmittelforschung dar und motiviert Folgeprojekte, um die Nanopartikel hinsichtlich ihrer Effizienz zu optimieren. Parameter wie Wasseraustausch, strukturelle Ordnung der QRE-Moleküle und die Quadrupol-Relaxations-Eigenschaften sind Stellgrößen, die den QRE-Effekt in die klinische Anwendung bringen könnten. In CONQUER wurden nötige Schlüsselemente wie umfangreiches Wissen, Simulationsverfahren und Synthesestrategien für Bi-Komponenten sowie Nanopartikel geschaffen. Somit ist das Fundament für die Optimierung der Relaxations-Beschleunigung gelegt.

Ein europäisches Patent wurde eingereicht, um damit ein europäisches Alleinstellungsmerkmal zu generieren. Technologieangebote für potenzielle Industriepartner wurden erstellt. Für weiterführende Informationen siehe: www.conquer.at ■



© Institut für Medizintechnik

Finally QRE could indeed be proven in liquid dispersions of the Bi-Aryl nanocrystallites (see Figure 4). Though this effect was still too small for imaging, its observation is a remarkable breakthrough beyond state of the art and motivates further projects to optimize the NPs for size, water approach and exchange rate, structural order and quadrupolar parameters to push QRE towards a clinically applicable CA. To reach maximum contrast enhancement as predicted by theory, CONQUER has provided a unique and comprehensive knowledge-base, powerful numeric models, a generic synthetic concept for the Bi-compounds and the bonding strategy as well as unique experience in the preparation of the most promising NPs.



© Institut für Medizintechnik

A patent has been submitted to the European Patent Office as an important step for the exploitation of the new technology and technology offers have been prepared to identify potential end-users, such as high-potential pharmaceutical companies. Generating and protecting the respective IP has created a unique European selling proposition. General information can be found on the Webpage <http://www.conquer.at>. ■

Abbildung 3:

Ändern sich die ÜF des QRE-aktiven Moleküls, zum Beispiel durch eine leichte Veränderung der Molekülstruktur oder durch Bindung an eine andere Substanz, verändert sich auch die Lage der Kreuzungspunkte. Durch Veränderung von Violett nach Grün verschiebt sich auch der oberste, rot eingekreiste Kreuzungspunkt genau auf die Scanner-Frequenz. Somit wird erst durch eine chemische Änderung die Kontrastverstärkung aktiv.

Figure 3:

The TFs of the QN change due to a subtle change of the molecular structure of the CA, e.g. after binding to a certain tissue. The uppermost matching point is shifted towards the scanner B_0 and hence switches on the contrast.

Abbildung 4:

QRE-Peaks (N1–N5), beobachtet bei bestimmten Feldstärken B_0 in zwei verschiedenen Nanopartikel-Präparationen. Die großen und damit langsameren Partikel zeigen eine größere Relaxationsverstärkung. Peak N5 ist bereits recht nahe der gewünschten Feldstärke für einen klinischen 3T-MRT-Scanner (blaue, vertikale Linie).

Figure 4:

QRE peaks N1 – N5 observed at distinct field strengths B_0 in two different samples of NPs. The large, slow particles show more pronounced QRE while the fast, small NPs yield significant smoothing. N5 is close to the scanner B_0 of a clinical 3T MRI system (blue line).



INFORMATION, COMMUNICATION & COMPUTING

Fields of Expertise TU Graz

© Lunghammer – TU Graz



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

Aus Forschungssicht ist die Universitätsfinanzierung ein Segen für die TU Graz und insbesondere für das FoE „Information, Communication & Computing“. Nicht nur werden insgesamt deutlich mehr Ressourcen in die im internationalen Vergleich nicht gerade üppig ausgestatteten Universitäten Österreichs investiert, sondern die Verteilung erfolgt neu anhand von quantitativen Kriterien, die die TU Graz recht gut erfüllt. Dadurch kann in den nächsten Jahren im FoE „Information, Communication & Computing“ mit den Schwerpunkten Elektronik und Informatik ein deutlicher Schub nach vorne erwartet werden. So weit, so gut. Dieses neue Finanzierungssystem mit seinen quantitativen Kriterien wird es aber auch mit sich bringen, dass wir in Zukunft angehalten werden, unser Handeln an diesen Kriterien zu orientieren. Das ist natürlich politisch so gewollt, Universitäten als Horte schlauer Menschen sind aber auch in der Lage, Systeme konsequent so zu optimieren, dass sie bezüglich bestimmter Kriterien herausragend dastehen, was aber nicht unbedingt gleichbedeutend mit einer herausragenden Gesamtleistung ist. Als Beispiel können hier einige asiatische Universitäten herhalten, die es in kürzester Zeit geschafft haben, eine Rallye durch die Rankings nach oben hinzulegen, indem sie sich konsequent auf die den Rankings zugrundeliegenden Kriterien optimiert haben. Was lässt das für uns erwarten? Hierzu vielleicht eine Anekdote. Einen Kollegen, der viele Jahre an einer deutschen Universität tätig war und den ich als Wissenschaftler und Lehrenden schätze, hat es beruflich an eine englische Universität verschlagen. Dort werden bekanntlich Studiengebühren erhoben (knapp 10.000 Pfund pro Jahr), die einen beträchtlichen Anteil der Unifinanzierung ausmachen. Der Kollege hat nun die Studierenden nach seinen aus Deutschland mitgebrachten Maßstäben geprüft – fallweise auch mit nicht ausreichendem Ergebnis. Nachdem dies einige Male passiert war, hatte der Kollege eine Einladung zum Dean, der ihm nahegelegt hat, doch dafür zu sorgen, den Prüfungserfolg der Studierenden zu maximieren, um nicht die finanzielle Grundlage der Fakultät zu gefährden. Ohne dies hier werten zu wollen, zeigt es doch deutlich das Spannungsfeld zwischen der Optimierung von Kriterien wie „möglichst viele und schnelle Studienabschlüsse“ (nun auch in Österreich eines der Kriterien für die Geldvergabe an die Unis) einerseits und den Ansprüchen an die Qualifikation der Absolvent/innen andererseits auf. Hier sollten wir mit Bedacht handeln.

Passend zum Thema Optimierung stellt in dieser Aufgabe von TU Graz *research* Peter Gangl vom Institut für Angewandte Mathematik sein Arbeitsgebiet vor. In einem zweiten Beitrag aus dem FoE „Information, Communication & Computing“ spricht Johanna Pirker vom Institute of Interactive Systems and Data Science über ihre Arbeit im Bereich Game Development. Viel Spaß beim Lesen!

From a research perspective, the new financing system for universities in Austria is a blessing for TU Graz and especially FoE Information, Communication & Computing. Beyond investing significant additional resources in Austria's universities – which are not exactly overfunded in comparison to leading international universities – the allocation of resources is now based on quantitative criteria which TU Graz matches quite well. For this reason, we can expect a boost for FoE Information, Communication & Computing in the coming years, with a focus on electronics and informatics. So far so good. But this new financing regime also implies that we will be expected to adjust our behavior towards these criteria. This is of course the political intention behind it, but universities – being home to smart people – are sufficiently competent to optimize systems such that they match certain criteria extremely well, without necessarily having an outstanding overall performance. One example of this are certain Asian universities which managed to run a rally to the top of the rankings within a very short time by rigorously optimizing for the criteria underlying these rankings. What might this mean for us? Let me illustrate this with an anecdote. A colleague who worked for a long time at a German university and whom I appreciate as a scientist and teacher, moved to an English university. There, tuition fees (about 10,000 pounds per year) make up a notable share of the university budgets. The colleague held students up to the criteria he knew from Germany during examinations – which led to an increase in fails. After this happened a number of times, he was summoned to the Dean, who suggested he maximize the examination success of the students in order to not put the budget of the faculty at risk. Without further judgement, this clearly highlights the tension between optimization of criteria such as “maximize number of final degrees with short duration of study” (now also one criterion for budget allocation to universities in Austria) and the level of qualification of graduates. Here we should act with great care.

Corresponding to the topic of optimization, Peter Gangl of the Institute of Applied Mathematics presents his work area in this issue of TU Graz research. In a second article originating from FoE Information, Communication & Computing, Johanna Pirker of the Institute of Interactive Systems and Data Science talks about her work on Game Development. Enjoy reading!



Mathematische Form- und Topologie- optimierung elektrischer Maschinen

Mathematical Shape and Topology Optimization of Electrical Machines

Peter Gangl

Elektrische Maschinen sind heutzutage in unserem Leben allgegenwärtig. Um Maschinen zu gestalten, die – je nach konkreter Anwendung – ihre Aufgaben so gut wie möglich erfüllen, können Verfahren zur mathematischen Optimierung der Geometrie der Maschinen verwendet werden. Solche Verfahren können auch zu neuen Designs führen, die man so eventuell nicht erwartet hätte.

Elektrische Maschinen sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Immer wenn wir einen Stecker in die Steckdose stecken und dadurch ein Gerät in Bewegung versetzen – sei es ein Mixer, ein Staubsauger oder eine Waschmaschine –, ist ein Elektromotor im Spiel (siehe Abbildung 1), der elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt. Auch in industriellen Anwendungen sind Elektromotoren weitgehend unverzichtbar, Industrie-Elektromotoren verbrauchen sogar mehr als 40 Prozent der weltweit produzierten elektrischen Energie. Es ist also offensichtlich, dass die Optimierung solcher elektrischen Maschinen ein großes Potenzial zur Einsparung von Energie darstellt.

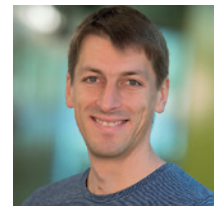
Bei der Auslegung elektrischer Motoren muss neben grundsätzlichen Fragen wie nach der Art, Größe oder nach den verwendeten Materialien auch die genaue Gestalt des Motors bestimmt werden, die einen idealen Magnetfluss erlaubt. Da der Magnetfluss im Eisen besser ist als in Luftbereichen des Motors, kann man ihn durch geschicktes Einfügen von Löchern bzw. Luftbereichen in eine gewünschte Richtung leiten (siehe Abbildung 2) und so das gesamte Verhalten des Elektromotors verändern. Dieser Designprozess geschieht häufig durch Intuition und Erfahrung von Elektroingenieur/innen. Durch nachträgliche Optimierung bezüglich geometrischer Parameter wie Längen oder Orientierung von Teilen des Motors kann dieser weiterverbessert werden. Hierbei können jedoch nur Designs erhalten werden, die dieselbe Gestalt haben wie das gewählte Anfangsdesign. >

Nowadays, electrical machines are ubiquitous in our lives. In order to design machines which – depending on the concrete application – perform as well as possible, mathematical methods for the optimization of the geometry of the machines can be used. These methods can yield designs which one might not have expected beforehand.

Electrical machines have become an integral part of our everyday lives. Whenever we put a plug into a power socket and thereby initiate the movement of a device – be it a blender, a vacuum cleaner or a washing machine – there is an electric motor involved (see Figure 1) which converts electrical energy into mechanical energy. Electric motors are almost indispensable also in industrial applications as industrial electric motors consume more than 40% of the electrical energy produced worldwide. Therefore, it is obvious that the optimization of such electrical machines has a large potential for saving energy.

When designing electric motors, besides answering fundamental questions about the type, size or materials used, the exact shape of the motor which allows for an ideal magnetic flux also has to be determined. Since the magnetic flux is better in iron than it is in air regions of the motor, it is possible to guide the flux in a desired way by introducing holes or air regions in a smart way (see Figure 2). In this way, the overall performance of the motor can be influenced. This design process is often done based on the intuition and experience of electrical engineers. Additional optimization with respect to geometric parameters, such as lengths or orientations of parts of the motor, can further improve its performance. However, this kind of optimization can only yield designs which are of the same type as the chosen initial design.

In my research, I am dealing with the question of how to choose the inclusions of air (or the distribution of material) inside a motor in an optimal >



© Claudia Boerner

Peter Gangl ist Universitätsassistent am Institut für Angewandte Mathematik der TU Graz.

Peter Gangl is a university assistant at the Institute of Applied Mathematics at TU Graz.

Optimierung

In meiner Forschung beschäftige ich mich mit der Frage, wie man die Lufteinschlüsse (beziehungsweise die Materialverteilung) in einem Motor in einer optimalen Art wählen kann, beispielsweise so, dass der Motor ein möglichst hohes mittleres Drehmoment oder eine möglichst hohe Laufruhe besitzt. Hierbei sollen keine Restriktionen an die Form und Anzahl der Lufteinschlüsse gesetzt werden, sodass auch neue, innovative Designs erzielt werden können. Diese praktische Aufgabenstellung lässt sich als ein mathematisches Problem der Form- bzw. Topologieoptimierung formulieren. Es geht also darum, die Gestalt eines Gebiets Ω (also eines gewissen Teils des Elektromotors) zu finden, für die eine gewisse Zielfunktion (zum Beispiel Drehmoment oder Laufruhe) maximiert wird.



© Linz Center of Mechatronics GmbH,
Hannig Elektro-Werke GmbH & Co. KG

Abbildung 1:
Elektromotor.
Figure 1:
Electric motor.

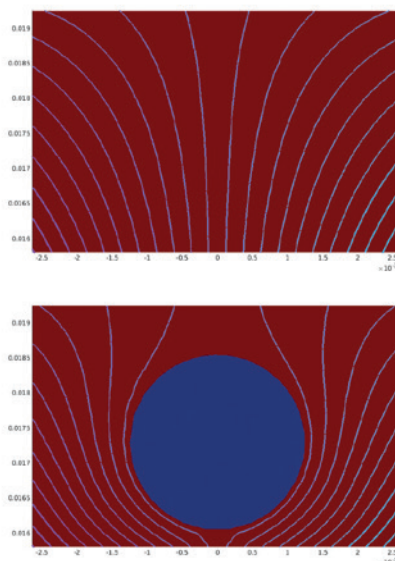
In diesem Optimierungsproblem ist die Unbekannte also nicht ein Vektor von reellen Zahlen oder eine Funktion in einem Funktionenraum, sondern eine Menge Ω , die die Geometrie eines Teils des Motors repräsentiert (siehe Abbildung 3, links). Insbesondere liegt in diesem Fall keine Vektorraumstruktur vor, wir können also beispielsweise nicht zwei Mengen addieren oder subtrahieren. Um gradientenbasierte Optimierungsverfahren verwenden zu können, benötigen wir jedenfalls Ableitungsinfo-

way, e.g., such that the motor achieves a torque which is as high as possible or such that it rotates as smoothly as possible. Here, there should not be any restrictions on the shape and number of air inclusions, allowing for new and innovative designs to arise. This practical task can be reformulated into a mathematical problem of shape or topology optimization. Thus, the task is to find the shape of a domain Ω (representing a certain part of the electric motor) which maximizes a given objective function (e.g. torque or smoothness of rotation).

For this optimization problem, the unknown is not a vector of real numbers or a function in a function space, but a set Ω which represents the geometry of a part of the motor (see Figure 3 left). In particular, here we do not have a vector space structure and, therefore, cannot simply add or subtract two sets. In order to utilize gradient-based optimization methods, we need sensitivity information, i.e. information about the change of the objective function when the set Ω changes. We distinguish between two kinds of geometry changes: on the one hand, the deformation of the boundary of a domain in the direction of a vector field (see Figure 3 center), and on the other hand the modification of the geometry by the introduction of a hole in the interior (see Figure 3 right). The corresponding sensitivities are called shape derivative and topological derivative, respectively.

Using this information, it is possible to gradually improve the geometry until a (locally) optimal design has been reached. In topology optimization, one could introduce a small hole in every optimization step at that position where the topological derivative attains the largest value. Similarly, using the shape derivative it is possible to determine in every iteration a vector field which yields an improvement of the objective function when deforming the domain Ω in the direction given by this vector field.

Figure 4 (right) shows the result of a combination of these two approaches. Starting out from the design in Figure 4 (left), the design areas are modified in such a way that the rotation of the motor is as smooth as possible. We can see that, in this way, we could find new optimized machine designs without any expertise in electrical engineering, just using geometric sensitivity information. In order to obtain designs which can be used in practical applications in industry, several additional factors would have to be included. Usually it is not enough to perform optimization only with respect to one objective functional. For instance, in addition to the elec-



© Peter Gangl

Abbildung 2:
**Magnetfluss in Eisen ohne
und mit Lufteinschluss.**
Figure 2:
*Magnetic flux in iron without
and with air hole.*

mation, also Information über die Änderung der Zielfunktion bei einer Änderung der Menge Ω . Wir unterscheiden zwei Arten von Geometrieänderungen: einerseits die Verformung des Randes eines Gebiets in Richtung eines Vektorfelds (siehe Abbildung 3, Mitte) und andererseits die Veränderung der Geometrie durch Einfügen eines Loches im Inneren (siehe Abbildung 3, rechts). Die entsprechenden Ableitungsinformationen heißen Formableitung beziehungsweise topologische Ableitung.

Mithilfe dieser Informationen ist es nun möglich, ähnlich wie bei einem Gradientenverfahren, schrittweise die Geometrie zu verbessern, bis man ein (lokal) optimales Design erreicht hat. In der Topologieoptimierung könnte man beispielsweise in jedem Optimierungsschritt ein kleines Loch an jener Stelle einfügen, an der die topologische Ableitung den größten Wert annimmt. Ähnlich kann man mithilfe der Formableitung in jeder Iteration ein Vektorfeld bestimmen, sodass eine Verformung des Gebiets in Richtung des Vektorfelds eine Verbesserung des Zielfunktions nach sich zieht.

Maschinendesign

Abbildung 4 (rechts) zeigt das Ergebnis einer Kombination dieser beiden Zugänge. Ausgehend vom Design in Abbildung 4 (links) werden die Designgebiete so modifiziert, dass die Laufruhe des Motors maximiert wird. Wir sehen, dass sich auf diese Weise ohne elektrotechnisches Vorwissen nur mithilfe geometrischer Ableitungsinformation neue, optimierte Maschinendesigns finden lassen. Für praktische Anwendungen in der Industrie müssten jetzt noch einige weitere Faktoren berücksichtigt werden. So reicht es üblicherweise nicht, für die Optimierung nur eine Zielfunktion zu betrachten. Beispielsweise müssen neben elektromagnetischem Verhalten auch die Kosten des Motors berücksichtigt werden. Es gibt dann nicht eine optimale Lösung, sondern eine Menge von Pareto-optimalen Designs. Weitere Faktoren sind mechanische Festigkeit, thermisches Verhalten und auch die Produzierbarkeit des Designs. Außerdem soll das im Computermodell erstellte optimale Design in der Realität robust gegenüber kleinen Abweichungen, wie sie etwa bei der Fertigung auftreten, sein.

Das Thema der Optimierung elektrischer Maschinen kann also als ein mathematischer Spielplatz gesehen werden, der eine Vielzahl mathematischer und technischer Disziplinen miteinander verbindet und noch genügend Herausforderungen für weitere mathematische und interdisziplinäre Forschung zu bieten hat. ■

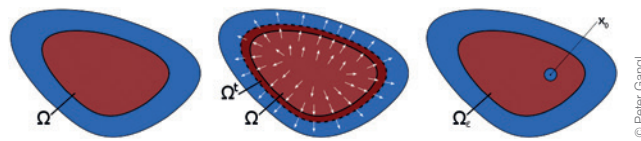


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Menge Ω , die den Eisen-
teil des Motors repräsentiert (links). Verformung von Ω in
Richtung eines Vektorfelds (Mitte). Veränderung von Ω
durch Einfügen eines Loches (rechts).

Figure 3:
Set Ω representing the iron
parts of the electric motor
(left). Deformation of Ω in
direction of a vector field
(center). Modification of Ω
by introduction of air hole
(right).

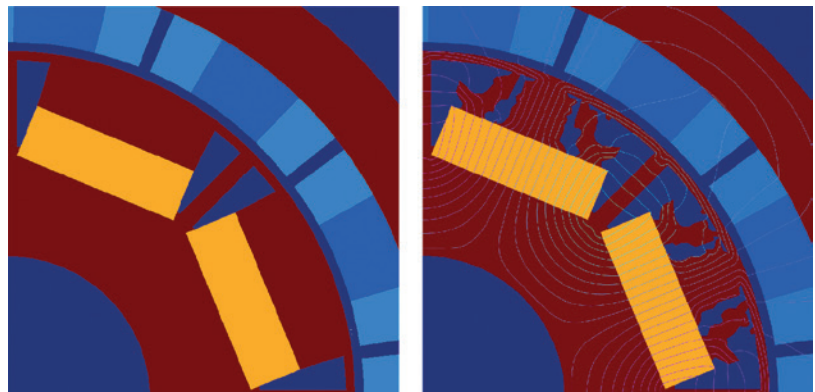


Abbildung 4: Anfangsgeometrie (links) und
optimierte Geometrie (rechts)
mit maximaler Laufruhe.

Figure 4:
Initial geometry (left) and
optimized design (right) with
maximally smooth rotation.



Eine eindrucksvolle Darstellung der Aktivitäten und des Partnernetzwerks bei unserem Schwerpunkt Produktion erfolgte im Rahmen der vom Institut für Fertigungstechnik organisierten Tagung „Production Engineering Graz 2018“ am 13. September. Diese Veranstaltung wurde gleichzeitig als FoE-Tag Mobility & Production 2018 ausgerichtet. Hochkarätige Vortragende referierten zu den Themen „Printing in 3D“, „Efficiency“ und „Grinding“ in den gleichnamigen Einzelsessions. Etwa 70 Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind der Einladung des Instituts gefolgt und konnten sich auch im Rahmen der begleitenden Fachaussstellung im Foyer des Hörsaals „Santner“ der TU Graz über aktuelle Produkte aus dem Bereich Fertigungstechnik und Messtechnik informieren.



© Jungthamer – TU Graz

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

Zum Schwerpunkt Mobilitätsforschung gibt es zwei sehr erfreuliche Neuigkeiten: Zum einen konnte von einem Forschungskonsortium, an dem das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik einen wesentlichen Anteil hatte, der mit 1,5 Millionen Euro dotierte Horizon-2020-Preis der EU-Kommission in der Kategorie „Engine Retrofit for Clean Air“ errungen werden. Der Preisgeldanteil der TU Graz liegt bei rund einem Drittel. Das internationale Konsortium hat eine Technologie vorgestellt, die großes Potenzial bietet, Stickoxidemissionen von Dieselfahrzeugen im Realbetrieb signifikant zu reduzieren. Zum anderen wurde mit dem „RC-LowCAP – Research Centre for Low CO₂ Special Powertrain“ im Rahmen des Comet-Programms ein Projekt genehmigt, das Forschungsansätze zur Reduzierung des Carbon-Impacts von Kleinmotoren verfolgt und entwickelt. Mit zehn Unternehmens- und vier wissenschaftlichen Partnern und der Konsortialführung des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik wird mit einem Forschungsvolumen von sechs Millionen Euro in vier Jahren eine hervorragende Möglichkeit für wissenschaftliche Arbeiten geschaffen.

Eine wesentliche Aufgabe der Mobilitätsforschung sind zukünftige Kraftstoffe, vom Wasserstoff über elektrische Energie bis hin zu (erneuerbaren) Kohlenwasserstoffen. Am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik wird zum Thema Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe deren Abbildung in Form von Surrogaten intensiv bearbeitet. Im folgenden Beitrag werden diese Forschungsarbeiten, die vor allem für den Einsatz von erneuerbaren biogenen Kraftstoffen, den „Design Fuels“, bis hin zu sogenannten E-Fuels von hoher Bedeutung sind, beschrieben.

An impressive presentation of activities and partner networking focusing on production took place at the Production Engineering Graz 2018 (PEG) conference, organised by the Institute of Production Engineering, on September 13th. This event was simultaneously aligned with the FoE day Mobility & Production 2018. Top-class lecturers gave talks on the topics “Printing in 3D”, “Efficiency” and “Grinding technology” in the eponymous sessions. 70 participants took up the invitation from the Institute and caught up on the latest products in the field of production engineering and measurement technology in the accompanying trade exhibition in the foyer of the “Santner” lecture hall at TU Graz.

Mobility research can report two very gratifying items of news. First of all, a research consortium whose major share is held by the Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics was given the Horizon 2020 award of the EU commission in the category “Engine retrofit for clean air” to the amount of EUR 1.5 million. The share of TU Graz amounts to one third. The international consortium has introduced a technology that offers a high potential to significantly reduce nitric oxides in diesel vehicles. Second, “RC-LowCAP – Research Centre for Low CO₂ Special Powertrain” was accredited as a project within the framework of the Comet programme and pursues and develops research approaches on the reduction of carbon impact on small-power engines. With ten company partners and four scientific partners under the consortium leadership of the Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics and a research volume of EUR 6 million in the upcoming four years, an excellent possibility for scientific activities is being established.

An essential task of mobility research focuses on future fuels, covering hydrogen, electric energy and (renewable) hydrocarbons. The Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology is deeply involved in the area of hydrocarbon fuels and their depiction as surrogates. The following contribution illustrates this research work, which is especially designated to the use of renewable biogenic fuels ranging from “design fuels” to so-called e-fuels.

Wenig bekannt, doch unverzichtbar: Surrogate

Fairly Unknown, yet Rather Indispensable: Surrogates

Thomas Wallek

Surrogate sind Ersatzmischungen, bestehend aus einigen wenigen chemischen Komponenten, die die physikalisch-chemischen Eigenschaften realer Gemische aus mehreren hundert oder tausend Komponenten möglichst gut nachbilden sollen. Insbesondere im Bereich der Motorenentwicklung stellen Treibstoff-Surrogate einen unverzichtbaren Baustein zur Simulation und experimentellen Validierung der innermotorischen Verbrennung und Abgasbehandlung dar.

Die Entwicklung immer effizienterer Verfahren im Bereich der innermotorischen Verbrennung und Abgasbehandlung erfordert den Einsatz hochkomplexer Simulationsmethoden und deren experimentelle Validierung am Prüfstand.

Kommerzielle Kraftstoffe bestehen aus hunderten chemischen Komponenten und unterliegen zudem deutlichen Schwankungsbreiten in der Zusammensetzung, abhängig vom zugrundeliegenden Rohöl, von der Raffinierung und den verwendeten Additiven, die regional und saisonal unterschiedlich sein können. Zudem sollen Motoren weltweit mit Kraftstoffen verschiedenster Normen funktionieren und ihre Leistungs- und Abgaswerte einhalten. Eine weitere Herausforderung besteht darin, Motoren auch heute schon für den weiteren Zusatz biogener Komponenten fit zu machen und deren Auswirkungen auf Leistungs- und Abgaswerte abzuschätzen.

Die Herausforderung:

Reduktion der Vielfalt auf das Wesentliche

Unter diesen Gesichtspunkten sind kommerzielle Kraftstoffe aus mehreren Gründen nur bedingt als Grundlage der Motorenentwicklung einsetzbar. So können beispielsweise die zur Simulation der innermotorischen Verbrennung entwickelten Reaktionsmechanismen nur etwa 40 chemische Komponenten berücksichtigen. Des Weiteren setzt die Anwendung rigoroser thermodynamischer Modelle in Simulationsprogrammen in der Regel die Verfügbarkeit physikalisch-chemischer Stoffdaten wie >

Surrogates are substitute mixtures comprising just a few chemical compounds that emulate the physicochemical properties of real mixtures which may consist of several hundreds or thousands of compounds. Particularly in the field of engine development, fuel surrogates are an indispensable component for the simulation and experimental validation of internal engine combustion and exhaust gas treatment.

The development of increasingly efficient processes in the area of internal engine combustion and exhaust gas treatment requires the use of highly complex simulation methods and their experimental validation on the test bench.

Commercial fuels are made up of hundreds of chemical components and are subject to significant compositional variation, depending on the underlying crude oil and the refining process and additives used, which may vary regionally and seasonally. In addition, engines all over the world should work with fuels of various standards and comply with their performance and emission standards. Another challenge is to make engines fit for the further addition of biogenic components today and to estimate their effects on performance and exhaust emissions.

The challenge:

reducing diversity to the essentials

From these points of view, commercial fuels can only be used to a limited extent as a basis for engine development for a number of reasons. For example, the reaction mechanisms developed to simulate internal engine combustion can only consider about 40 chemical components. Furthermore, the application of rigorous thermodynamic models in simulation programs typically requires the availability of physicochemical data such as density, boiling point, transport properties, or cetane/octane number. However, only for a fraction of the components found in a real fuel these data are experimentally available or can reliably be estimated. Finally, the number >



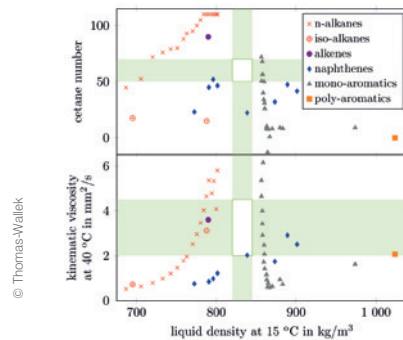
© privat

Thomas Wallek forscht und lehrt am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik und leitet die Arbeitsgruppe „Prozesstechnik und Gemischthermodynamik“.

Thomas Wallek conducts research and teaches at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, and heads the working group "Process technology and thermodynamics of mixtures".

Abbildung 1:
Dichte, kinematische Viskosität und Cetanzahl typischer Kraftstoffkomponenten zusammen mit den zugehörigen Spezifikationen für europäische Dieselmotorkraftstoffe (grün hinterlegt). Der mittlere Bereich kennzeichnet den für beide Eigenschaften nach DIN EN 590 simultan zu erfüllenden Bereich. Dieser muss vom resultierenden Surrogat getroffen werden.

Figure 1:
Density, kinematic viscosity and cetane number of typical fuel components together with the associated specifications for European diesel fuels (highlighted in green). The middle area indicates the area to be fulfilled simultaneously for both properties according to DIN EN 590. This must be hit by the resulting surrogate.



Dichte, Siedepunkt, Transporteigenschaften oder Cetan- bzw. Oktanzahl voraus, die aber nur für einen Bruchteil der in einem realen Kraftstoff vorkommenden Komponenten bekannt sind oder verlässlich abgeschätzt werden können. Zu guter Letzt ist die Anzahl der in Computersimulationen verwendeten chemischen Komponenten aus Rechenzeit-Gründen stark eingeschränkt.

Daher war es Ziel der Arbeitsgruppe, Treibstoffsurrogat mit reproduzierbaren Eigenschaften zu entwickeln, die aus lediglich fünf bis zehn chemischen Komponenten bestehen, für die verlässliche Stoffdaten und geeignete Reaktionsmechanismen verfügbar sind und die somit in Computersimulationen und auf Prüfständen zur Abbildung des realen Verhaltens kommerzieller Kraftstoffe eingesetzt werden können.

of chemical components used in computer simulations is severely limited for computation time reasons.

Therefore, the aim of the working group was to develop fuel surrogates with reproducible properties consisting of only 5-10 chemical components for which reliable property data and appropriate reaction mechanisms are available and which can therefore be used in computer simulations and test rigs to map the real behavior of commercial fuels.

From crude oil to diesel and petrol

Starting from crude oil, an algorithm for the optimization of surrogates was developed, and this was gradually extended to include diesel and gasoline. The algorithm is based on an optimization calculation in which the bulk properties of the real fuel are specified as target variables, and the composition of the surrogate is adjusted accordingly for optimal matching with these properties. Such targets include thermophysical properties such as density, viscosity and boiling curve, which are important for spray formation and other physical processes in the engine. On the other hand, further properties are taken into account for the characterization of ignition behavior and combustion, such as octane/cetane number, carbon-to-hydrogen ratio, calorific value or the threshold sooting index. Figure 1 illustrates the "target area" for two such criteria to be simultaneously met by the surrogate, along with the contributions of the substance groups used.

The algorithm uses a selection of about 100 typical chemical substances in the form of a database from which the surrogates can be assembled. Through close cooperation with the Dortmund Data Bank, the world's largest factual database for thermophysical property data, comprehensive experimental data and estimation methods for determining the required pure component properties are available.

Since optimization calculations can use different strategies to determine the optimal composition, such as "F to Enter" and "F to Remove," the computational burden of optimizing a surrogate can be up to a month, which is why these calculations use a Linux cluster provided by the Central IT Services of Graz University of Technology (see Fig. 2).

Special emphasis was placed on assessing the addition of additives and biogenic components to fossil fuels. In the case of petrol, these are different alcohols and ethers; in diesel, fatty acid esters are added in the form of biodiesel. Predicting the effects of such additions using the algorithm is the basis

Abbildung 2:
„Number Cruncher“ zur Surrogat-Optimierung: Der „dCluster“ des Zentralen Informatikdienstes der TU Graz.

Figure 2:
"Number cruncher" for surrogate optimization: the "dCluster" provided by the IT Services of Graz University of Technology.



Vom Rohöl über Diesel zum Benzin

Ausgehend von Rohöl wurde ein Algorithmus zur Optimierung von Surrogaten entwickelt, der schrittweise auf Diesel und Benzin erweitert wurde. Der Algorithmus basiert auf einer Optimierungsrechnung, bei der als Zielgrößen die Eigenschaften des realen Kraftstoffs vorgegeben werden und die Zusammensetzung des Surrogats zur optimalen Übereinstimmung mit diesen Eigenschaften entsprechend angepasst wird. Solche Zielgrößen beinhalten zum einen thermophysikalische Eigenschaften wie Dichte, Viskosität und Siedekurve, die für Spraybildung und weitere physikalische Vorgänge im Motor wichtig sind. Zum anderen werden Stoffwerte zur Charakterisierung von Zündverhalten und Verbrennung berücksichtigt, wie etwa Octan- oder Cetanzahl, Kohlenstoff-zu-Wasserstoff-Verhältnis, Heizwert oder

Rußindex. Abbildung 1 veranschaulicht den „Zielbereich“ für zwei solche Kriterien, der vom Surrogat zu treffen ist, zusammen mit den Beiträgen der verwendeten Stoffgruppen.

Dem Algorithmus steht eine Auswahl von etwa 100 typischen chemischen Stoffen in Form einer Datenbank zur Verfügung, aus dem die Surrogate zusammengesetzt werden können. Durch enge Zusammenarbeit mit der Dortmund Data Bank, der weltweit größten Faktendatenbank für thermophysikalische Stoffdaten, stehen umfangreiche Messdaten sowie Abschätzmethoden zur Bestimmung der erforderlichen Reinstoffeigenschaften zur Verfügung.

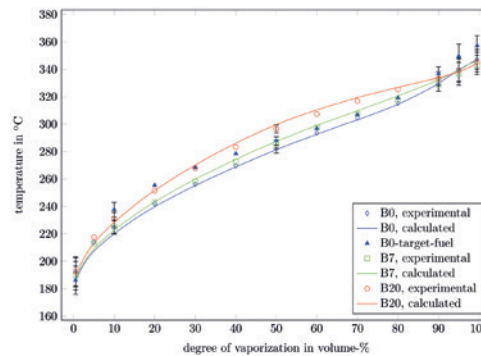
Da die Optimierungsrechnungen verschiedene Strategien zur Bestimmung der optimalen Zusammensetzung einschlagen können, wie beispielsweise „F to Enter“ & „F to Remove“, kann der Rechenaufwand für die Optimierung eines Surrogats bis zu einem Monat betragen, weshalb für diese Rechnungen ein Linux-Cluster des Zentralen Informatikdienstes der TU Graz genutzt wird (siehe Abbildung 2).

Besonderer Wert wurde auf die Beurteilung der Zugabe von Additiven und biogenen Komponenten zu fossilen Kraftstoffen gelegt. Bei Ottokraftstoffen sind dies verschiedene Alkohole und Ether, bei Diesel werden Fettsäureester in Form von Biodiesel zugegeben. Die Vorausberechnung der Auswirkungen solcher Zugaben mithilfe des Algorithmus ist die Grundlage zur weiteren Steigerung biogener Anteile in kommerziellen Treibstoffen und zur Entwicklung sogenannter „Design Fuels“. Am Beispiel von Biodiesel veranschaulicht Abbildung 3 die Änderung der Siedekurve mit steigendem Biodieselanteil von 0 Prozent bis 20 Prozent.

Ein Ausblick auf die Weiterentwicklung der Methode ist die direkte Koppelung von CFD (Computational Fluid Dynamics)-Software zur Simulation des Sprayverhaltens (siehe Abbildung 4) sowie Reaktionskinetik-Software zur Simulation des Zündverhaltens mit dem Surrogat-Algorithmus, um dessen Vorhersagegenauigkeit weiterzusteigern. Dies wurde in einem ersten interdisziplinären Projekt zusammen mit dem Kompetenzzentrum Virtual Vehicle (VIF) bereits erstmals umgesetzt.

Ein „Nachteil“ von Treibstoffsurrogaten soll nicht verschwiegen werden: Da diese aus hochreinen Chemikalien zu Apothekenpreisen zusammengemischt werden, kann der Literpreis eines Surrogats mehrere hundert Euro betragen – ein echter „Premium-Kraftstoff“ sozusagen! ■

for further increasing biogenic shares in commercial fuels and developing so-called “design fuels”. Using the example of biodiesel, Figure 3 illustrates the change in the boiling curve with increasing biodiesel content from 0% to 20%.

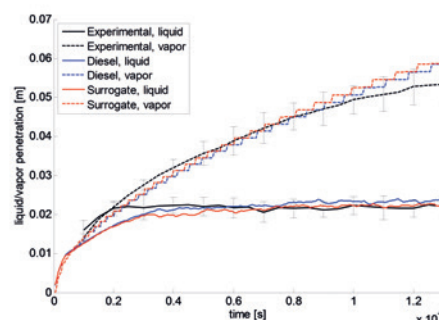


© Thomas-Wallek

Abbildung 3: Siedekurve ASTM D86 (äquivalent zu EN ISO 3405) von Dieseldieselfuel mit 0 Prozent (B0), 7 Prozent (B7) und 20 Prozent (B20) Biodieselanteil, zur Veranschaulichung der Änderung des Siedeverhaltens mit zunehmender Biodiesel-Beimischung.

Figure 3: Boiling curve ASTM D86 (equivalent to EN ISO 3405) of diesel fuel with 0% (B0), 7% (B7) and 20% (B20) biodiesel content, illustrating the change in boiling behavior with increasing biodiesel share.

An outlook for the further development of the method is the direct coupling of CFD (computational fluid dynamics) software for simulation of spray behavior (see Figure 4) and reaction kinetics software for simulation of the ignition behavior with the surrogate algorithm in order to further increase its predictive accuracy. This was already implemented for the first time in a first interdisciplinary project together with the Competence Center Virtual Vehicle (VIF).



© VIF

Abbildung 4: Ergebnisse von CFD-Simulationen für das Dampf-flüssig-Sprayverhalten eines Dieseldieselfuels.

Figure 4: Results of CFD simulations for the vapor-liquid spray penetration behavior of a diesel fuel.

One “disadvantage” of fuel surrogates should not be concealed. Since they are mixed together from high-purity chemicals at pharmacy prices, the liter price of a surrogate can amount to several hundred euros – a real “premium fuel”, so to speak! ■



**SUSTAINABLE
SYSTEMS**
Fields of Expertise TU Graz



© Lunghammer – TU Graz

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



Anfang Oktober hat sich das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mit einem dringenden Appell an die Weltöffentlichkeit gewandt, um vor den enormen Konsequenzen zu warnen, die eine Klimaerwärmung um zwei Grad Celsius bedeuten würde, und um dafür zu plädieren, dass es Ziel sein muss, die Erwärmung nicht auf mehr als 1,5 Grad ansteigen zu lassen. Schon jetzt, wo die Erwärmung bei durchschnittlich einem Grad gegenüber vorindustriellen Zeiten liegt, sind die Auswirkungen in Form von immer häufigeren und verheerenderen Stürmen und Überschwemmungen deutlich – im vergangenen Sommer gab es kaum eine Woche ohne entsprechende Katastrophenberichte in den Medien.

Statt den CO₂-Ausstoß weltweit bis 2030 um 20 Prozent zu reduzieren, wie das den IPCC-Berechnungen zufolge für das 2-Grad-Ziel notwendig wäre, ist für 1,5 Grad im gleichen Zeitraum eine Reduktion um 45 Prozent notwendig. Bis 2050 muss die CO₂-Bilanz gar auf null reduziert werden. „Wir zeigen, dass das innerhalb der Gesetze der Physik und Chemie möglich ist“, sagt das IPCC dazu und spielt den Ball an die Politik weiter. Am Ende sei es eine Frage „des politischen Willens“. Daneben ist es natürlich auch eine Frage des technischen Fortschritts. Denn die politischen Weichenstellungen sind bekanntlich umso leichter durchzusetzen, je weniger Kosten sie verursachen. Hier leisten Forschung und Entwicklung wichtige Beiträge. Gerade beim Umstieg auf alternative Energien sind, wie auch das IPCC einräumt, unerwartet große Fortschritte gemacht worden. Aber natürlich noch längst nicht genug.

Um ressourcenschonende Lösungen zu finden, bedarf es ganzheitlichen Denkens. Dieses versuchen wir im Rahmen des Field of Expertise Sustainable Systems zu fördern. Mit der Anschubfinanzierung unterstützen wir Projekte mit einem ganzheitlichen, interdisziplinären Ansatz. Bei Veranstaltungen wie unserem Buildings and Energy Day am 14. Juni diskutieren wir aktuelle Forschungsthemen öffentlich mit kompetenten Referentinnen und Referenten, so war der für seine vielen Beiträge zum nachhaltigen Bauen weltbekannte Werner Sobek Keynote Speaker. Im September sind wir dem Climate KIC (Knowledge and Innovation Community) beigetreten und werden hoffentlich schon bald mit anderen durch diese „Innovationsgemeinschaft“ verbundenen Forschungsinstitutionen gemeinsam Projekte bearbeiten, die zur Erreichung der vom IPCC formulierten Ziele einen Beitrag leisten.

Inzwischen lesen Sie ab Seite 27 über optimierte Energiesysteme für Wärme und Klima und ab Seite 4 die Coverstory dieser Ausgabe über das Projekt COEBRO.

This October the Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) made an urgent appeal to the public to warn of the dire consequences a rise of 2 degrees Celsius in the global average temperature would have. The IPCC argued for a change of course in order to limit the rise to 1.5 degrees. With current averages at about 1 degree above pre-industrial levels, we are already seeing a higher frequency of ever more devastating storms and floods around the world – as anyone following the news during the past months knows.

Instead of reducing global CO₂ emissions by 20 percent by 2030 as would be necessary for the 2 degree corridor according to IPCC calculations, if we want to stay within 1.5 degrees, a cut of 45 percent is necessary in the same time frame. And by 2050 net emissions have to go down to zero. “We can show it can be done within the laws of physics and chemistry” the IPCC insists and puts the ball in the court of governments by adding that in the end it is “a question of political will.” Of course it’s also a question of technological progress. Taking the necessary political decisions is much easier if the associated economic costs can be brought down. In this area research and development are making significant contributions. Especially in the adoption of renewable energy, as also the IPCC contends, unexpectedly good progress has been made. But of course not nearly enough.

In the Field of Expertise “Sustainable Systems” we believe that finding resource-efficient solutions requires holistic thinking. With our seed funding for young researchers we promote proposals with a holistic, interdisciplinary approach. At events such as our Buildings and Energy Day on June 14th we publicly discuss urgent research topics with very qualified speakers – such as Werner Sobek, world renowned for his contributions to sustainable construction, who gave the keynote speech at the event. In September we joined the Climate KIC, the Knowledge and Information Community dedicated to Climate research, within which we hopefully soon will be partnering with institutions to jointly work on projects that contribute to the goals that the IPCC promotes.

Meanwhile in this issue on page 27 you can read about Optimized Energy Systems for Heating and Climate, and on page 4 the cover story of this number about the COEBRO project.



Optimierte Energiesysteme für Heizung und Kühlung *Optimised Energy Systems for Heating and Cooling*

Hermann Schranzhofer, Andreas Heinz

Die gleichnamige Arbeitsgruppe am Institut für Wärmetechnik beschäftigt sich seit ca. 20 Jahren mit dem Thema „Energieeffiziente Gebäude“. Der inhaltliche Bogen reicht dabei von der Entwicklung gebäudetechnischer Einzelkomponenten bis hin zur Konzeptionierung und Optimierung komplexer energietechnischer Gesamtanlagen für die Heizung und Kühlung von Gebäuden und ganzen Siedlungsgebieten.

Dem Gebäudebereich kommt für die Erreichung der energie- und klimapolitischen Zielsetzungen Österreichs eine zentrale Rolle zu. Ein Drittel des Endenergieverbrauchs wird für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Kühlung in Gebäuden aufgewendet. Die für die Energieversorgung verwendeten Systeme bestehen bei Einbindung erneuerbarer Energieträger fast immer aus mehreren Wärmeerzeugungssystemen (zum Beispiel Sonnenkollektoren, Wärmepumpe, Kessel) und weiteren Komponenten (Wärmespeicher, Rohrleitungen, Ventile etc.). Die Grundlage für einen niedrigen Energieverbrauch ist der Einsatz von effizienten Wärmeerzeugern. Jedoch zeigen die Ergebnisse vieler Forschungsprojekte über Feldmessungen und Simulationen, dass auch hocheffiziente Einzelkomponenten oft ihre Vorteile in komplexen Gesamtsystemen nicht ausspielen können, wenn die einzelnen Teilsysteme nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. Über thermische Gebäude- und Anlagensimulationen können derartige Systeme inklusive Regelung detailliert abgebildet, bewertet und optimiert werden (siehe Abbildung 1).

Die Arbeitsgruppe war und ist in einer Vielzahl von Projekten an der Entwicklung und Optimierung von gebäudetechnischen Komponenten wie zum Beispiel Sonnenkollektoren, Wärmespeicher und Wärmepumpen beteiligt. Methodisch kommen dabei vor allem Simulationen mit detaillierten numerischen Modellen, unterstützt durch experimentelle Arbeiten im Labor, zum Einsatz (siehe Abbildung 2). >

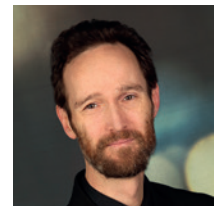
The working group "Energy efficient buildings" at the Institute of Thermal Engineering has been working in this area for about 20 years. The scope ranges from the development of individual building technology components to the design and optimization of complex overall energy systems for the heating and cooling of buildings and entire residential areas.

The building sector plays a central role in achieving Austria's energy and climate policy objectives. One third of the final energy consumption is used to provide space heating, hot water and cooling in buildings. The systems used for the energy supply almost always consist of several heat-generation systems (e.g. solar collectors, heat pump, boiler) and further components (thermal energy storages, pipes, valves etc.) when renewable energy sources are integrated. The basis for low-energy consumption is the use of efficient heat generators. However, the results of many research projects concerning field measurements and simulations show that even highly efficient individual components are often not able to fully use their advantages in complex overall systems, if the individual subsystems are not optimally coordinated. Thermal building and system simulations can be used to model, evaluate and optimize such systems, including their control, in detail (Figure 1).

The working group was and is involved in a large number of projects in the development and optimization of technical building components such as solar collectors, thermal energy storages and heat pumps. Methodically, simulations with detailed numerical models supported by experimental work in the laboratory are used (Figure 2).

Phase-change materials

In recent years, for example, various research projects have focused on the topic of >



© Foto Furgler

Hermann Schranzhofer ist Projekt-Senior-Scientist in der Arbeitsgruppe „Energieeffiziente Gebäude“ am Institut für Wärmetechnik.

Hermann Schranzhofer is project senior scientist in the working group "Energy-efficient buildings" at the Institute of Thermal Engineering.



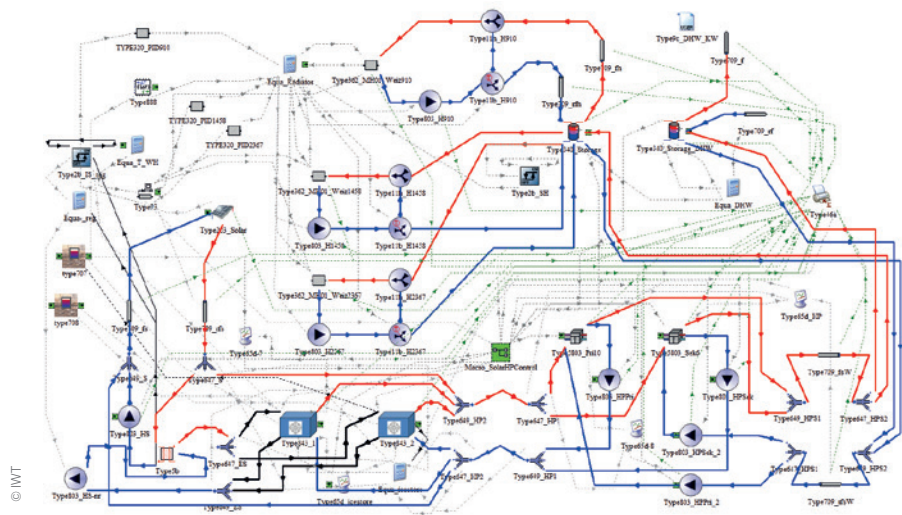
© privat

Andreas Heinz ist Senior Scientist in der Arbeitsgruppe „Energieeffiziente Gebäude“ am Institut für Wärmetechnik.

Andreas Heinz is senior scientist in the working group "Energy-efficient buildings" at the Institute of Thermal Engineering.

Abbildung 1:
Ansicht einer thermischen Anlagen-
simulation in der Benutzer/innenober-
fläche einer am Institut verwendeten
Simulationsumgebung.

Figure 1:
View of a thermal plant simulation in
the user interface of a simulation
environment used at the institute.



Phasenwechselmaterialien

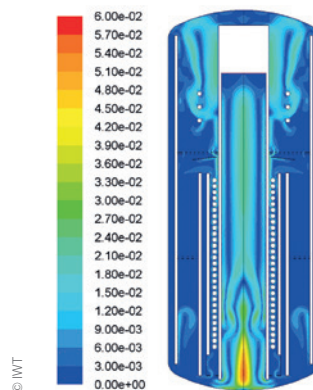
In den letzten Jahren wurde beispielsweise in unterschiedlichen Forschungsprojekten zum Thema Wärmespeicherung mit sogenannten Phasenwechselmaterialien (Phase Change Material, PCM) geforscht. Diese Materialien durchlaufen im angewendeten Temperaturbereich einen Phasenwechsel (fest/flüssig), wodurch über die Schmelzwärme eine höhere Speicherdichte erreicht werden kann. Im mittlerweile abgeschlossenen EU-Projekt COMTES wurde die Eigenschaft der Unterkühlung eines PCM ausgenutzt, um Wärme über einen längeren Zeitraum nahezu verlustfrei zu speichern (siehe Abbildung 3). Bekannt ist dieser Unterkühlungseffekt von den am Markt erhältlichen Handwärmern (kleine, mit PCM gefüllte Kunststoffpackchen mit Aktivierung über Metallplättchen).

heat storage with so-called phase-change materials (PCM). These materials undergo a phase change (solid/liquid) in the applied temperature range, whereby a higher storage density can be achieved via the heat of fusion. In the completed EU project COMTES, the supercooling of a PCM was utilized to store heat almost loss-free over a longer period of time (Figure 3). This supercooling effect is known from the hand warmers available on the market (small plastic packs filled with PCM with activation via a small metal disc).

For the evaluation of systems with heat pumps, a semi-physical model has been developed in recent years, which is particularly suitable for simulations of long time periods. In comparison to empirical characteristic curve models, which are typically used for this purpose, a much more detailed consideration of the heat pump and its control in the system is possible, since different configurations of the refrigerant circuit as well as different refrigerants, speed-controlled compressors etc. can be simulated. In the HybridHeat4San and Energieschwamm projects, it is currently being investigated in cooperation with heat pump manufacturers as to how the energy consumption from the grid and the operating costs can be minimized by adjustment of the electrical power consumption of the heat pump in dependence on currently available photovoltaic yield and electricity tariffs.

Abbildung 2:
Simulation der Strömung in
einem Wärmespeicher.

Figure 2:
Computational fluid dynamics
simulation of a heat storage
system.



Zur Bewertung von Systemen mit Wärmepumpen wurde in den letzten Jahren ein semiphysikalisches Modell entwickelt, das sich vor allem für Simulationen über lange Betrachtungszeiträume eignet. Im Vergleich zu dafür sonst üblichen empirischen Kennlinienmodellen wird eine wesentlich detailliertere Betrachtung der Wärmepumpe und deren Regelung im System ermöglicht, da sowohl verschiedene Schaltungen des Kältemittelkreislaufs als auch unterschiedliche Kältemittel, drehzahlge-regelte Kompressoren etc. simuliert werden können. Aktuell wird in Zusammenarbeit mit Wärmepum-

Experiments

For experiments at the building level, two identical test buildings were erected on Campus Inffeldgasse of Graz University of Technology. In an already completed project (MPC-BOXES) different control concepts for thermally activated building systems (TABS) were investigated. In particular, the innovative approach of a model predictive control (MPC) was the focus of the investigations in which a direct comparison with conventional control approaches was made possible via the thermally identical buildings.

penherstellern in den Projekten HybridHeat4San und Energieschwamm untersucht, wie der Strombezug aus dem Netz bzw. die Betriebskosten durch gezielte Leistungsanpassung der Wärmepumpe abhängig von aktuell vorhandenem Photovoltaikstrom und Stromtarifen minimiert werden können.

Experimentelle Arbeiten

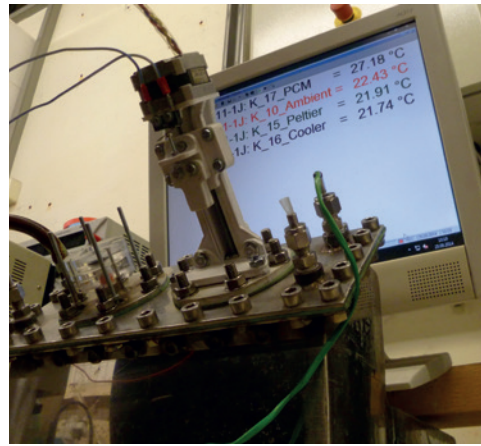
Für Experimente auf Gebäudeebene wurden am Campus Inffeldgasse der TU Graz zwei baugleiche Versuchsgebäude errichtet. Hier wurden in einem bereits abgeschlossenen Projekt (MPC-BOXES) unterschiedliche Regelungskonzepte für thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS) untersucht. Vor allem der innovative Ansatz einer modellprädiktiven Regelung (MPC) stand hier im Zentrum der Untersuchungen, wobei über die thermisch identischen Gebäude ein direkter Vergleich mit konventionellen Regelungsansätzen ermöglicht wurde.

Im derzeit laufenden Projekt COOLSKIN wird ein aktives Fassadenelement zur dezentralen Kühlung und teilweisen Beheizung von Büroräumen an diesen Gebäuden getestet. Die an der Fassade auftreffende Sonnenstrahlung wird dabei über Photovoltaikmodule in elektrische Energie umgewandelt, die direkt oder zeitversetzt zum Antrieb einer kleinen integrierten Wärmepumpe verwendet wird, die den angrenzenden Raum je nach Bedarf kühlt oder beheizt (siehe Abbildung 4).

Im Research Studio EnergySimCity werden Methoden entwickelt, mit denen ganze Stadtteile über Simulationen energetisch untersucht werden können. Hier werden – wie auch im Projekt ÖkoOptQuart – mehrere Simulationsumgebungen über einen Co-Simulationsansatz gekoppelt, um Regelung, Wärmenetz und Gebäude samt Gebäudetechnik abzubilden. Dadurch lassen sich die Stärken verschiedener Simulationswerkzeuge in einer Gesamtsimulation nutzen, um Schwächen in anderen zu kompensieren.

Aktuell

Eine derzeit sehr aktuelle Aufgabenstellung besteht darin, die Einbindung erneuerbarer Energieträger in Wärmenetze zu forcieren. Durch den Einsatz von thermischen Anlagensimulationen können hier wesentliche Potenziale aufgezeigt werden. In urbanDH-extended werden Systeme untersucht, die man in Wärmenetze integrieren kann. Hier sind vor allem Modellkomponenten für große Speicher (zum Beispiel Erdbeckenspeicher), Solarkollektorfelder und Wärmepumpen von Interesse. Ein Untersuchungsschwerpunkt ist hier die Einsatzreihenfolge der unterschiedlichen Technologien, um im Gesamtsystem den entscheidenden Vorteil zu liefern. ■



© IVT

In the current COOLSKIN project, an active facade element for decentralized cooling and partial heating of offices is being tested in these buildings. The solar radiation incident on the facade is converted into electrical energy by photovoltaic modules, and is used directly or with time delay to supply a small integrated heat pump that cools or heats the adjoining room as required (Figure 4).



© IVT

In the EnergySimCity research studio, methods are being developed through which entire city districts can be energetically investigated using simulations. Here – as in the ÖkoOptQuart project – several simulation environments are coupled using a co-simulation approach in order to model the control system, heating network and buildings as well as their HVAC systems. In this way, the strengths of different simulation tools can be used in an overall simulation to compensate for weaknesses in others.

Current task

A current task is to accelerate the integration of renewable energy sources in heating networks. Essential potentials can be pointed out by the use of thermal system simulations. In the urbanDH-extended project, systems which can be integrated into heating networks are being investigated. In particular, model components for large thermal storages (e.g. pit storages), solar collector fields and heat pumps are of interest. One focus of research here is the sequence of application of the different technologies in order to provide the decisive advantage in the overall system. ■

Abbildung 3:
Versuchsaufbau zur Funktionsprüfung von unterschiedlichen Mechanismen für die Auslösung der Kristallisation eines unterkühlten PCM.

Figure 3:
Experimental setup for the functional testing of different mechanisms for triggering crystallization of a supercooled PCM.

Abbildung 4:
Identische Versuchsgebäude am Campus Inffeldgasse der TU Graz.

Figure 4:
Identical test buildings at Campus Inffeldgasse of TU Graz.

Virtual Reality macht Schule

Virtual Reality is Catching On

MAROON ist ein virtuelles Labor und ein Learning Management System. Die Lern-Software lässt Userinnen und User mittels Virtual Reality direkt in die Lernumgebung einsteigen. Dadurch können Erfahrungen gemacht werden, die sonst nicht möglich wären. Und: Menschen mit geringer Aufmerksamkeitsspanne können so konzentrierter lernen. Anfang 2019 läuft eine erste Testphase in mehreren Schulen an.

Am Schreibtisch von Johanna Pirker liegt neben drei Monitoren, Tastatur und Maus auch ein Virtual Reality Equipment: ein HTC Vive Headset mit zwei Controllern. Man merkt, hier prallen die virtuelle und reale Welt aufeinander – mit erstaunlichen Ergebnissen bei Lernerfolgen. Aber eine Frage vorweg: Braucht man zum effektiven Lernen Virtual Reality (VR)?

Leichter fokussieren

„Die Generation Z, geboren zwischen 1995 und 2010, kennt seit ihrer Geburt Mobiltelefone und ist eine sehr abgelenkte Generation“, erzählt Pirker, die an der TU Graz am Institute of Interactive Systems and Data Science in der Motivational Media Technologies Group (MMTG) arbeitet. Die sehr schnelllebige Generation ist ständig einer Nachrichtenflut ausgesetzt und hat eine geringe Aufmerksamkeitsspanne. Hier kann VR Abhilfe schaffen, denn mit ihr kann man direkt in eine ganz andere Umgebung eintauchen (Immersion). So ist wieder eine fokussierte, konzentrierte Lernerfahrung ohne äußere Ablenkungen möglich. „Bei VR wird die reale Welt durch jegliche gewünschte, virtuelle Welt komplett ersetzt – das Maß der Stimuli, die auf die Lernenden einprasseln, ist also steuerbar“, betont Pirker und ergänzt:

MAROON is a virtual laboratory and learning management system. Learning software allows users to access the learning environment directly by means of virtual reality. In this way experiences can be had which otherwise would not be possible. Also, persons with low attention spans can learn in a more concentrated way. A test phase will run in several schools at the beginning of 2019.

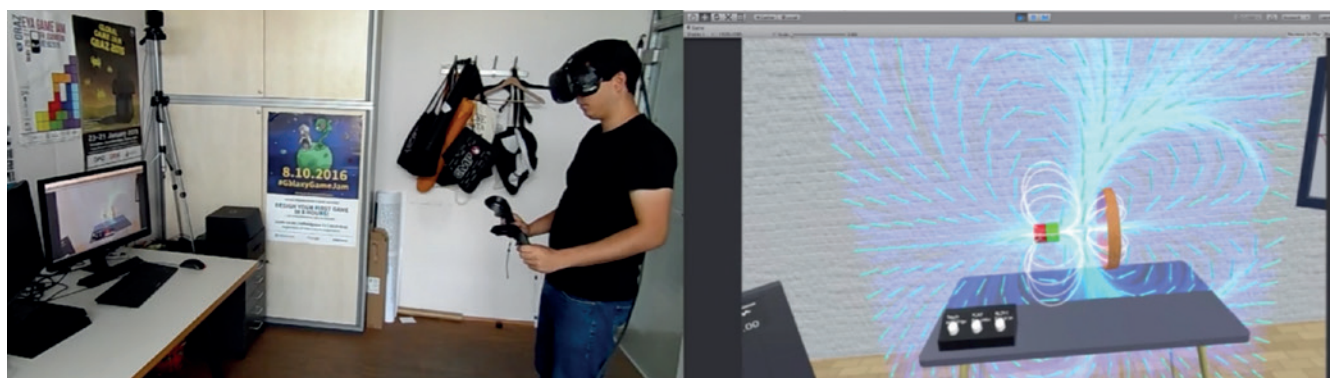
On Johanna Pirker's desk there are three monitors, a keyboard and mouse and virtual reality equipment: an HTC Vive headset with two controllers. It is noticeable here that the virtual and real worlds are colliding – with astounding results in learning success. But, first of all, a question: Is virtual reality (VR) necessary for effective learning?

Focusing more easily

“Generation Z, born between 1995 and 2010, have been familiar with mobile phones since their birth, and it is a very distracted generation,” explains Pirker. This very fast moving generation is constantly exposed to a flood of messages and has a low attention span. Here, VR can provide help, because through it one can immerse oneself in a completely different environment. A focused and concentrated learning experience without external distractions is once again possible. “With VR the real world is completely replaced by any virtual world one wishes. The mass of stimuli bombarding the learner is controllable,” emphasises Pirker and adds: “If, for example, you have to concentrate very much and carry out an experiment, then VR is perfect. You can completely ‘leave the world’ for a certain amount of time and work at high concentration.”

Abbildung 1:
Johanna Pirker arbeitet mit Maroon –
einer Laborumgebung in der virtuellen
Realität.

Figure 1:
Johanna Pirker works with Maroon –
a laboratory environment in virtual reality.



© Michael Holly

„Wenn man beispielsweise ein Experiment sehr konzentriert abhalten muss, dann ist VR perfekt. Man kann für eine gewisse Zeit komplett ‚aussteigen‘ und hochkonzentriert arbeiten.“

Am Anfang war TEAL

„Begonnen hat alles mit meiner Masterarbeit bei Christian Gütl von der TU Graz und John Belcher am MIT (Anm.: Massachusetts Institute of Technology)“, erzählt Pirker. Belcher realisierte im Jahr 2000 ein Physiklabor für ca. 1,5 Mio. Dollar, in dem Studierende eine spezielle Lernerfahrung machen konnten: Statt mit frontalen Vorlesungssituationen wurde hier in Dreiergruppen gearbeitet, in denen Studierende mit unterschiedlichsten Kenntnissen und Wissensständen zusammentrafen. Eine Lehrperson, Computer sowie jede Menge Tafeln und Projektoren unterstützten sie dabei bei Bedarf. Das Ergebnis nannte sich TEAL (Technology-Enabled Active Learning) und John Belcher bewies, dass Studierende mit diesem Lernkonzept eigenständiger und auch besser lernen konnten. Johanna Pirker nahm im Jahr 2013 diese Idee in ihre Masterarbeit auf und übertrug TEAL in eine Software – Virtual TEAL World, eine Software für virtuelle kooperative Physikexperimente.

Weiterentwicklung

Wir springen ins Jahr 2017 und zu Pirkers Doktorarbeit. „Die ursprüngliche TEAL-Software war, als ich mit meiner Doktorarbeit begann, bereits sehr veraltet. Ich wollte damals alles neu aufsetzen und verwendete dazu die Unity Game Engine (eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Spiele) für bessere Performance und die Möglichkeit zur Gamification“, erinnert sich Pirker. Das erste Ergebnis war jedoch „wenig sexy“, wie sie selbst schmunzelnd einräumt: „Es gab kaum Mehrwert und das Programm war recht unflexibel.“ Doch dann kam das Oculus Rift Development Kit (ein erstes erschwingliches VR-Headset) auf den Markt und es funktionierte mit der Unity Game Engine. Heute besteht MAROON aus verschiedenen Komponenten, die sowohl mit einem VR-Headset als auch >

In the beginning was TEAL

“Everything began with my master’s thesis with Christian Gütl from TU Graz and John Belcher at MIT (Massachusetts Institute of Technology),” explains Pirker. In 2000, Belcher built a physics lab for approx. 1.5 million dollars in which students could undergo a special learning experience. Instead of frontal teaching situations, people worked in groups of threes in which students with differing knowledge and know-how came together. One teacher, computer, and many boards and projectors supported them as required. The result was named TEAL (Technology Enabled Active Learning) and John Belcher showed that with this learning concept students were able to learn better and more independently. In 2013 Johanna Pirker took this idea up in her master’s thesis and translated it into a software – Virtual Teal World, a software for collaborative physics experiments.



© Michael Holly

Further development

We jump to 2017 and to Pirker’s doctoral thesis. “When I started my doctoral thesis, the original TEAL software was already outdated. I wanted to set everything up from scratch and for this I used the Unity game engine (a run-time and development environment for games) for better performance and the possibility of gamification,” Pirker remembers. The first results, though, were “not very sexy”, as she admits herself with a smile: “There was hardly any added value and the programme was very inflexible.” But then the Oculus Rift Development Kit (the first really affordable VR headset) came onto the >

Abbildung 2:

In der virtuellen Laborumgebung navigieren die Userinnen und User mit einem Virtual-Reality-Set. So können Experimente einfach und sicher durchgeführt werden.

Figure 2:

In the virtual laboratory environment, users navigate with a virtual reality set. In this way, experiments can be carried out easily and safely.

Abbildung 3:

Ein Blick in die mögliche Zukunft des Lernens: Ein Virtual-Reality-Headset, das die Nutzerin oder den Nutzer mit einem handelsüblichen Smartphone das virtuelle Labor betreten lässt.

Figure 3:

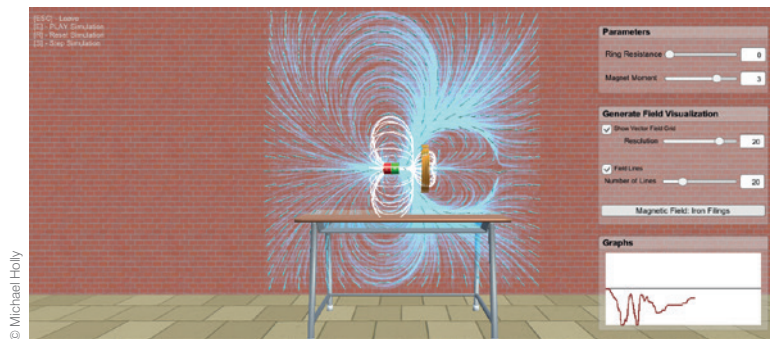
A look into the possible future of learning. A virtual reality headset that lets the user enter the virtual laboratory with a standard smartphone.

im Webbrowser laufen. Es gibt aber auch eine mobile Variante (VR Mobile).

MAROON im Detail

Während TEAL ein „social environment“ ist, spricht man bei MAROON von einem „virtual environment“. Man kann verschiedene Module erstellen und User/innen können sich diese Inhalte gezielt in die Lernstation laden. Erst dann wird man in einen Lernraum teleportiert, in dem man Zugriff auf die zuvor gewählten Module erhält. Die Userin oder der User steht dann in einem Labor, das man allerdings nur mit VR-Brille sehen kann.

Plötzlich kann man zum Beispiel Dinge sehen, die man sonst nicht sieht, wie etwa Magnetfeldlinien. „Es eignet sich für alle Experimente, die sonst zu teuer, zu gefährlich oder zu komplex wären“, fasst die Forscherin zusammen.



© Michael Holly

Abbildung 4:
In der virtuellen Lernumgebung können einerseits Experimente hautnah erlebt werden, die sonst zu gefährlich oder kostspielig wären, und andererseits Zusatzinformationen eingeblendet werden, die in der „echten“ Realität nicht möglich wären.

Figure 4:
In the virtual learning environment, experiments can be experienced close up that would otherwise be too dangerous or costly and additional information can be displayed that would not be possible in "real" reality.

Prototypen in Schulen

Eine erste Testphase mit Prototypen läuft ab Anfang 2019 in mehreren steirischen Schulen. Equipment wird zu den ausgewählten Schulen gebracht, Experimente hergezeigt und anschließend gleich getestet, ob die Schülerinnen und Schüler besser, gleich oder motivierter lernen als in einem traditionellen Set-up. Aktuell wird ein Physiklabor simuliert, an weiteren Fächern wie Chemie und Computer Science wird bereits gearbeitet.

Schule der Zukunft

In naher Zukunft könnte der Einsatz von VR mobile Realität sein. Johanna Pirker zeichnet zum Abschluss noch ein Zukunftsszenario: „Jede Schule hat ja jetzt schon ein Physiklabor, ein Chemielabor und Ähnliches. Für die Zukunft könnte ich mir zwei Szenarien vorstellen: Entweder es gibt ein eigenes VR-Labor, in dem raumgroße VR-Set-ups umgesetzt werden können, wie wir es von VR-Cafés zum Beispiel schon heute kennen. Oder eine kostengünstigere Variante, bei der Schülerinnen und Schüler gemeinsam mit der Lehrperson das eigene Smartphone nutzen, um mittels Headsets in die virtuelle Realität einzusteigen und im Labor alleine oder in Gruppen Experimente durchzuführen.“

Text: Ingo Suppan ■

market and it worked with the Unity game engine. Today, MAROON consists of a variety of components which all run both with a VR headset and in a web browser. There is even a mobile variant (VR Mobile).

MAROON in detail

Whereas TEAL is a „social environment“, MAROON is spoken of as a „virtual environment“. Various modules can be created and users can deliberately load this content into the learning station. Only then are you teleported into a learning space where you receive access to the modules chosen beforehand. The user then stands in a laboratory which, however, can only be seen using VR glasses.

Suddenly, for example, you can see things which you don't normally see, for instance magnetic field lines. „It is suitable for all experiments which would otherwise be too expensive, too dangerous or too complex,“ the researcher summarises.

Prototypes in schools

An initial test phase with prototypes is starting in several Styrian schools at the beginning of 2019. Equipment will be brought to selected schools, experiments demonstrated and, finally, whether the students learn with more motivation, less motivation or the same as in a traditional set up will be tested. A physics laboratory is currently being simulated for which subjects such as chemistry and computer science are in the pipeline.

Future schools

In the near future, the use of VR mobile could be a reality. To finish off, Johanna Pirker outlines another future scenario: „Every school already has a physics lab and a chemistry lab, and so on. I can imagine two scenarios in the future. Either, there is an independent VR lab in which room-sized VR setups can be implemented, as we already know from VR cafés today, for example. Or, there is a cheaper variant in which students together with teachers use their own smart phones to enter virtual reality by means of headsets and carry out experiments in the lab alone or in groups.“

Text: Ingo Suppan ■

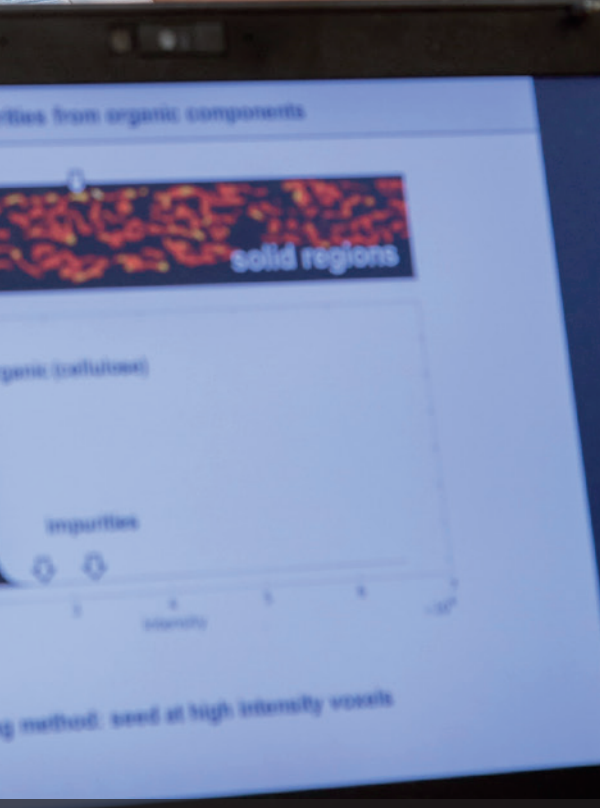


Abbildung 1:
 Karin Zojer leitet das Christian Doppler Labor (CD-Labor) für Stofftransport durch Papier.

Figure 1:
 Karin Zojer heads the Christian Doppler Laboratory (CD Laboratory) for Mass Transport through Paper.

© Lughammer – TU Graz

Boxenstopp für Papiersäcke Pit stop for paper bags

Einen Zementsack industriell zu befüllen, hat etwas von einem Boxenstopp in der Formel 1: Drei Sekunden dauert es in der Zementfabrik, bis ein 25 kg fassender Papiersack gefüllt ist. Zu lange, findet der Verpackungs- und Papierhersteller Mondi und hat die TU Graz beauftragt, den Materialstrom zu untersuchen, der bei diesem Vorgang wirkt. Dabei soll auch ein Simulationsmodell für den Stofftransport durch Papier herauskommen, um das Wissen über „die Papiersäcke“ auch auf andere Verpackungsanwendungen zu übertragen.

Es ist natürlich kein herkömmlicher Papiersack, der auf dem Prüfstand steht, sondern ein sogenanntes Sackkraftpapier, das dafür ausgelegt wurde, dem Fülldruck beispielsweise in einer Zementabfüllanlage standzuhalten, ohne zu zerreißen. Bei einer Befüllung mit Zement wird zu 80 Prozent Luft in den Sack geblasen. Diese kann durch Poren an der Papieroberfläche entweichen. Das von Mondi an der TU Graz initiierte Christian Doppler Labor (CD-Labor) für Stofftransport durch Papier möchte den Dingen nun auf den Grund gehen und Simulationsmodelle entwickeln, um die Durchlässigkeit poröser Papierstrukturen zu optimieren, ohne dass zum Beispiel die Reißfestigkeit darunter leidet.

Was beispielsweise im Autobau gang und gäbe ist – nämlich Materialien und ihr Verhalten in der realen Welt am Computer zu simulieren –, dafür gibt es im Stofftransport noch kaum Entsprechungen, wenn Naturprodukte wie Papier im Spiel sind. „Wir werden keinen virtuellen Zwilling eines Papiers am Computer schaffen können“, schränkt >

What does industry-scale cement bag filling have in common with a pit stop in Formula 1? Filling a 25kg paper bag with cement in the factory takes about three seconds, about as long as a pit stop. But packaging and paper manufacturer Mondi reckons this is too long. They asked TU Graz to study the material flow that is at work in this process. One of the deliverables is a simulation model for material transport through paper so that the knowledge of the “paper bags” can also be applied to other packaging applications.

Of course, the test piece on the rig is not conventional paper but so-called sack kraft paper designed to resist the filling pressure it is exposed to, for example in a cement filling line, without bursting. When a bag is filled with cement, up to 80 percent air is blown into the bag. This air can escape through pores on the paper's surface. The Mondi-initiated Christian Doppler Laboratory (CD-Laboratory) for Mass Transport through Paper at TU Graz is now exploring these phenomena and developing simulation models to optimize the permeability of porous paper structures without compromising tear resistance.

Although firmly established in the automotive industry, computer simulations of material transport through real-world materials are still in their infancy, especially if natural products such as paper are involved. “We will not be able to create a virtual clone of a paper type on the computer,” CD lab coordinator Karin Zojer admits. The physicist at the Institute of Solid State Physics is an expert for the mathematical >



CD-Laborkoordinatorin Karin Zojer ein. Die Physikerin am Institut für Festkörperphysik ist Expertin für die mathematische Simulation von Materialien und weiß: „Papier ist in seiner Faserstruktur derart heterogen, das könnte man nur mit unendlich vielen Daten nachbilden. Für Plastikfolien existieren bereits Materialmodelle, mit denen man den Stofftransport am Computer simulieren kann; für Papier noch nicht.“

Das CD-Labor

Im Rahmen des CD-Labors haben die Forscherinnen und Forscher nun die Gelegenheit, die Materialeigenschaften von Papierverpackungen grundlegend zu erforschen und in mathematische Modelle zu gießen. Im Jänner 2018 hat das neue Christian Doppler Labor seinen Betrieb aufgenommen. Es fungiert – wie alle Christian Doppler Labore – als Brückenkopf zwischen Wirtschaft und Wissenschaft und ist prinzipiell auf eine Laufzeit von sieben Jahren ausgerichtet. Alle zwei Jahre werden die Ergebnisse evaluiert.

Was das CD-Labor für Stofftransport durch Papier für die Forscherinnen und Forscher interdisziplinär sehr spannend macht, ist der Umstand, dass die auf Zellulose basierenden Fasern des Papiers mit der Umgebung leicht in Wechselwirkung treten. Einerseits ändern sich die Strukturen bei Nässe, andererseits zeigen die Fasern an der Oberfläche chemische Funktionalitäten, die mit im System vorhandenen Substanzen in Wechselwirkung treten können – zum Beispiel die Wechselwirkung mit Duft- oder Aromastoffen, wie sie Lebensmittel abgeben. Die Arbeitsgruppe von Erich Leitner am Institut für Analytische Chemie und Lebensmittelchemie ist solchen Stoffen im Papier auf der Spur.

Die Arbeitsgruppe um Karin Zojer untersuchte in einem ersten Schritt mittels Röntgentomographie, wo sich Teilchen in den Papierstrukturen ablagern können. In Zusammenarbeit mit Ulrich Hirn und Wolfgang Bauer vom Institut für Papier- und Zellstofftechnik können solche Messungen der Mikrostruktur maßgeschneidert für Papier geplant und interpretiert werden. Die Expert/innen des Industriepartners Mondi unterstützen das Forschungsteam der TU Graz mit ihrem vertieften Wissen um die Fasertechnik und die Produktionsvorgänge bei der Papiererzeugung. Gleichzeitig helfen sie den Forscherinnen und Forschern, zielführende mathematische Annahmen zu formulieren, die in künftige Simulationsmodelle einfließen sollen.

„Ziel dieser Modellierung ist die Vorhersage, wie die einzelnen Transportvorgänge von der zugrunde liegenden Porenstruktur bestimmt werden“, erklärt Karin Zojer. „Solche Vorgänge umfassen beispielsweise den Sauerstoffaustausch unter Lagerbedin-

simulation of materials and explains: “As the fibre structure of paper is enormously heterogeneous, it would take no end of data to simulate it in its full complexity. While material models already exist for plastic films to simulate the material transport on the computer, so far there are none for paper.”

The CD-Laboratory

Researchers can now intensely research the material properties of paper packaging in the CD-Laboratory, to cast them into mathematical models. The new Christian Doppler Laboratory became operative in January 2018. Like all Christian Doppler Laboratories it builds a bridge between the worlds of business and science and in principle spans a term of seven years. The results are evaluated at two-year intervals.

The CD lab for Mass Transport through Paper is an exciting proposition for researchers from many disciplines because cellulose-based fibres of the paper interact readily with the environment. To begin with, the structures change in the presence of moisture, but the fibre surfaces also exhibit chemical functionalities that may interact with substances in the system (for example the interaction with fragrances or flavourings released by food products). These substances are just what Erich Leitner's working group at the Institute of Analytical Chemistry and Food Chemistry is looking for.

Karin Zojer's working group used x-ray tomography in the first stage to identify the sites where particles can potentially be deposited inside paper structures. In co-operation with Ulrich Hirn and Wolfgang Bauer from the Institute of Paper, Pulp and Fibre Technology, it is possible to plan and interpret such measurements of the microstructure specifically for paper. The experts of industrial partner Mondi support the research team of TU Graz with their in-depth knowledge in fibre technology and paper-making production procedures. They also help the researchers to formulate target-oriented mathematical assumptions for integration in future simulation models.

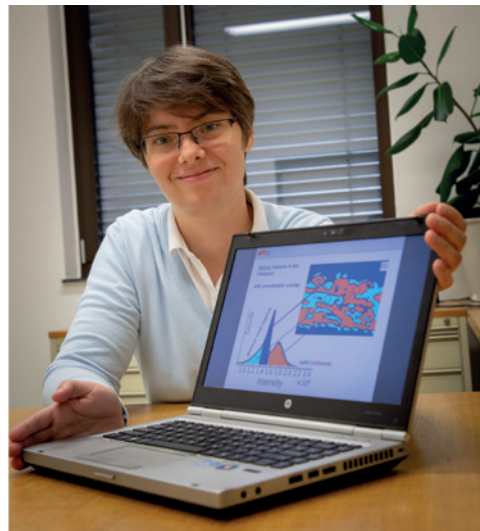
“The purpose of building these models is to predict how the underlying pore structure determines the transport processes,” Karin Zojer explains. “Examples of such processes include the oxygen transport in storage conditions, the drying speed of ink droplets during printing, or the air displacement processes that take place when paper bags are filled with bulk materials. In this way it is possible to pinpoint and predict the key properties of the pore structure. Consequently methods to measure these properties are also developed as part of this research project.”

gungen, die Trocknungsgeschwindigkeit von Tintentropfen während der Bedruckung oder Entlüftungsvorgänge bei der Befüllung von Schüttgut in Papiersäcke. In der Folge können damit die für eine gewünschte Verpackungsanwendung entscheidenden Eigenschaften der Porenstruktur benannt beziehungsweise vorhergesagt werden. Daher werden im Rahmen dieses Forschungsprojekts auch gezielt Methoden zur Messung dieser Eigenschaften entwickelt.“

Die Forschungsgruppe von Clemens Kittinger vom Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin der Medizinischen Universität Graz soll als Projektpartnerin des CD-Labors „mikrobiologische Modelle und Techniken in die Simulation der Transportvorgänge durch die vorliegenden Porenstrukturen einbringen, um diese – von einer völlig anderen wissenschaftlichen Seite betrachtet – besser zu verstehen und besser zu modellieren“, sagt Karin Zojer.

Die im CD-Labor an der TU Graz gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen die Entwicklung von Konzepten zur Modifikation von Papier – zur Verbesserung bestehender Anwendungen oder für gänzlich neue Produkte. Und vielleicht auch dafür, die Befüllung von Zementsäcken in Zukunft noch einen Hauch schneller werden zu lassen. Lewis Hamilton wird noch vor Neid erblassen. Seine Boxenstopp-Bestzeit: 2,33 Sekunden.

Text: Werner Schandor ■



© Linghammer – TU Graz

Abbildung 3:
Gemeinsam mit Firmenpartner
Mondi erforschen die Wissen-
schafterin und ihr Team den
Materialstrom bei der Befüllung
von Zementsäcken in der Fabrik.
Figure 3:
Together with company partner
Mondi, the scientist and her
team are investigating the
material flow during the filling
of cement bags in the factory.

As a project partner of the CD lab, Clemens Kittinger's research team from the Institute of Hygiene, Microbiology and Environmental Medicine at the Medical University of Graz is "to contribute micro-biological models and techniques to the simulation of the transport processes through the existing pore structures so that they – by looking at them from a totally different scientific angle – can ultimately be better understood and modelled," says Karin Zojer.

The knowledge gained in the CD-Laboratory at TU Graz culminates in the development of concepts to modify paper – either to improve existing applications or to create entirely new products. And perhaps also to fill cement bags just that little bit faster. Lewis Hamilton will turn green with envy. His fastest pit stop so far was 2.33 seconds.

Text: Werner Schandor ■

Abbildung 3:
Mit den im Projekt gewonnenen
Erkenntnissen möchte man
Konzepte für die Modifikation
von Papier entwickeln.
Figure 3:
With the knowledge gained in
the project, concepts for the
modification of paper are to
be developed.



© Linghammer – TU Graz.com

Junge Haut dank Zucker

Young Skin Thanks to Sugar

Seit Ende 2017 die EU-Zuckermarktordnung gefallen ist, zeichnet sich eine neue Herausforderung ab: Der Weltmarktpreis ist niedrig, die Zuckerlager sind voll. Um den Zuckerberg abzubauen, erforscht ein internationales Projektkonsortium seit Jänner 2018, wie man die Bestandteile der Saccharose in industriellem Maßstab biotechnologisch neuen Verwertungen zuführen kann.

Auf bis zu 300.000 Tonnen wird der Überschuss an Zucker geschätzt, der sich Jahr für Jahr in Europa auf türmen wird. Die Chance für die Zuckerbauern: Aus Saccharose lässt sich nicht nur Süßes machen, sondern man kann mit biochemischen Methoden aus den Zuckerbestandteilen Glukose und Fruktose auch verschiedenste Komponenten für Kosmetika, Reinigungsmittel und Bioplastik erzeugen.

„Es geht beim Projekt CARBAFIN darum, vorhandene biotechnologische Kenntnisse und Methoden auf einen industriellen Maßstab zu skalieren und zu prüfen, ob sich die Prozesse wirtschaftlich rentieren“, sagt Christiane Luley. Die Biochemikerin ist Expertin für Enzymtechnologie und Projektmanagerin von CARBAFIN. Geleitet wird das EU-Projekt von TU Graz-Professor Bernd Nidetzky, dem wissenschaftlichen Leiter des K2-Kompetenzzentrums acib (Austrian Centre of Industrial Biotechnology) in Graz. Mit an Bord sind Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus Deutschland, der Schweiz, Belgien und den Niederlanden – und auch mehrere Forschungsgruppen der TU Graz, deren Projektaktivitäten von Barbara Petschacher vom Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik koordiniert werden.

Since the EU sugar quota was liberalised at the end of 2017, a new challenge has been emerging. The world market price is low, and sugar stocks are full. To reduce the sugar mountain, an international project consortium has been conducting research since January 2018 on how sucrose can be valorized using new biotechnological methods on an industrial scale.

Up to 300,000 tonnes of sugar per year is estimated to be piling up in Europe. The fact that not only sweet things can be made from sucrose is an opportunity for sugar growers. Using biochemical methods a wide range of components for cosmetics, cleaning agents and bioplastics can be made from the sugar constituents glucose and fructose.

“The CARBAFIN project is about scaling available biotechnological knowledge and methods to an industrial level and to find out whether the processes are economically viable,” says Christiane Luley. The biochemist is an expert in enzyme technology and the project manager of CARBAFIN. The EU project is being led by TU Graz Professor Bernd Nidetzky, the scientific head of the K2-competence centre “acib” (Austrian Centre of Industrial Biotechnology) in Graz. Also on board are research institutions and companies from Germany, Switzerland, Belgium and the Netherlands. Part of the team are also several research groups at TU Graz whose project activities are coordinated by Barbara Petschacher from the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering.

Glycosylation as basis

The CARBAFIN project team will develop

Abbildung 1:
Versuche im Labor des Instituts für Biotechnologie und Bioprozesstechnik.

Figure 1:
Experiments are being carried out in the laboratory of the Institute of Biotechnology and Biochemical Engineering.

Glukosylierung als Basis

Das CARBAFIN-Projektteam wird bis Ende 2021 eine Plattformtechnologie entwickeln, mit der Glukose und Fruktose im Industriemaßstab innovativ verwertet werden kann. Die Basis dafür ist der biokatalytische Prozess der Glukosylierung: Mithilfe von Enzymen, die von der Universität Gent verbessert werden, kann Glukose mit anderen Molekülen verbunden werden. Die entstehenden Glykoside können vielseitig eingesetzt werden: je nach beteiligter Stoffgruppe als funktionelle Zusätze in Kosmetika oder als Faser- beziehungsweise Ballaststoffe in Nahrungs- und Tierfuttermitteln, langfristig auch als oberflächenaktive Substanzen in Reinigungsmitteln. Der deutsche CARBAFIN-Partner bitop mit Sitz in Dortmund hat das Potenzial von Glukosylierung im Hinblick auf Kosmetika erkannt. Bitop hat auf Glycerinbasis einen glykosidischen Naturstoff nachgebaut, der imstande ist, die Zellalterung der Haut zu bremsen (Glycoin natural®).

Fruktose, die bei der von Saccharose ausgehenden Glukosylierung als Nebenprodukt anfällt, ist ein alternatives Süßungsmittel in Lebensmitteln. Fruktose wird aber auch zunehmend für industrielle, nicht-lebensmittelbezogene Bereiche interessant. Denn aus diesem zweiten Zuckerbestandteil lässt sich Hydroxymethylfurfural (HMF) gewinnen, das in Harzen, Farben, Klebstoffen, Biokraftstoffen und Biopolymerprodukten – also Bioplastik – zum Einsatz kommt. Hier ist mit dem Schweizer Unternehmen AVA Biochem ein Unternehmen an Bord, das in Sachen HMF-Produktion Weltmarktführer ist.

Hoher Technologiereifegrad

„CARBAFIN hat einen hohen Technology-Readiness-Level und es wird im Zuge des Projekts zu einer Anwendungsdemonstration bei den beteiligten Firmen kommen. Akademisch betrachtet steigen wir mit großem Vorwissen ein, was die Biokatalyse betrifft, und konzentrieren uns mehr auf die wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung der Reaktions- und Prozessführung“, sagt Barbara Petschacher. Dabei spielt die Arbeitsgruppe von Alexander Passer vom TU Graz-Institut für Materialprüfungen und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung eine wichtige Rolle, denn diese evaluiert die technischen Strategien der Glukosylierung. „Einem neuen Ansatz folgend, beziehen wir die Lebenszyklus- und Kostenanalyse schon früh in die Entwicklung ein“, führt Petschacher aus. „Dabei geht es um die Optimierung der künftigen Verfahren sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht.“ Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Prozessentwicklung >

a platform technology by the end of 2021 through which glucose and fructose can be innovatively exploited on an industrial scale. The basis for this is the biocatalytic process of glycosylation. With the help of enzymes which are being improved by Ghent University, glucose can be combined with other molecules. The resulting glucosides have a wide range of uses. Depending on the relevant involved substances, these include functional additives in cosmetics or as fibre or bran in foodstuffs and animal feed, and in the longterm as surface-active substances in detergents. The German CARBAFIN partner bitop, based in Dortmund, has already recognised the potential of glycosylation with respect to cosmetics. bitop is producing a natural glycosidic substance on a glycerine basis which is capable of slowing down cell ageing in the skin (Glycoin natural®).



© Lunghammer – TU-Graz

Fructose, which accumulates as a side product in glucosylation based on sucrose, is an alternative sweetener in food. Fructose, however, is garnering increasing interest for industrial, non-food-related areas. Because from this second component of sugar, hydroxymethylfurfural (HMF) can be obtained, which can be used in resins, paints, glues, biofuels and biopolymer products – in other words bioplastics. And here, a Swiss company called AVA Biochem – a world market leader in HMF production – is on board.



© Lunghammer – TU-Graz

High degree of technological maturity

“CARBAFIN has a high technology readiness level and in the course of the project an application demonstration will be done by the companies involved. From the academic point of view, we >

Abbildung 2:

**Das CARBAFIN-Leitungsteam:
Christiane Luley, Bernd Nidetzky
und Barbara Petschacher.**

Figure 2:

**The CARBAFIN management team:
Christiane Luley, Bernd Nidetzky
and Barbara Petschacher.**

Abbildung 3:

**Ziel des Projekts CARBAFIN ist es,
eine Plattformtechnologie zu
entwickeln, mit der Glukose und
Fruktose im Industriemaßstab
innovativ verwertet werden kann.**

Figure 3:

**The aim of the CARBAFIN project is
to develop a platform technology
through which glucose and fructose
can be innovatively valorised on an
industrial scale.**

ist die Einhaltung von EU-Richtlinien, speziell für Produkte im Lebensmittelbereich, die vom Projektpartner GALAB kontrolliert wird.

Das CARBAFIN-Pflichtenheft umfasst einundzwanzig Meilensteine, aufgeteilt in zahlreiche Arbeitspakete. Die ersten Maßnahmen nach dem Projektstart im Jänner 2018 waren von der Europäischen Kommission vorgegeben: Wie bei allen Projekten, die im Rahmen von Horizon 2020 gefördert werden, galt es, eine Plattform für den offenen Zugang zu den Forschungsdaten zu schaffen. Demnächst folgt ein Plan für die Verbreitung und Verwertung von Projektergebnissen. „Wir wollen eine Glukosylierungsplattform einrichten“, sagt Christiane Luley. „Was wir im Rahmen von CARBAFIN an Techniken entwickeln, wird später für viele verschiedene Anwendungen zur Verfügung stehen. Bei der Verwertung der Technologie werden wir von PNO Consultants unterstützt.“

Intensive Zusammenarbeit

„Das Projekt erlangt durch die internationale Kooperation von Forschungspartnerinnen und Forschungspartnern und Unternehmen eine europäische Tragweite“, sagt Barbara Petschacher. „Und es ist natürlich eine ganz andere Sichtweise, ob man einen Prozess im Tonnenmaßstab oder im Milligrammbereich im Auge hat. Damit die Entwicklung in die richtige Richtung geht, ist es wichtig, einen guten Austausch zu pflegen.“

Zwei Mal im Jahr treffen sich die fast 30 am Projekt involvierten Personen an einem der Partnerstandorte. Das erste Projekttreffen fand im Juni 2018 in Graz statt. Im November 2018 steht ein Treffen in der Nähe von Köln beim Projektpartner Pfeifer & Langen, dem drittgrößten deutschen Zuckerhersteller, auf dem Programm. Und im November 2019 wird man auf dem „European Summit of Industrial Biotechnology“ in Graz ein sehr großes Fachpublikum bereits über die Ergebnisse der ersten Projektperiode informieren können.

Text: Werner Schandor ■

are entering the field with a high level of previous knowledge of biocatalysis, and we will be concentrating more on the commercially viable implementation of reaction and processes engineering, says Barbara Petschacher. Alexander Passer's working group at TU Graz's Institute of Technology and Testing of Construction Materials will play an important role because it will evaluate the technical strategies of glycosylation. "Following a new approach, we integrate the life-cycle and cost analysis into the development at an early stage," says Petschacher. "This optimises the future process both ecologically and economically." Another important aspect of developing the process is compliance with EU guidelines, in particular for food products; this will be monitored by our project partner GALAB.

The CARBAFIN description of actions comprises 21 milestones, which are assigned to a number of work packages. Initial measures after the project launch in January 2018 were set by the European Commission. As in all projects which are funded in the framework of Horizon 2020, it was necessary to create a platform with open access to the research results. Next, there will be a plan for dissemination and exploitation of project results. "We want to set up a glycosylation platform," says Christiane Luley. "What we develop in terms of techniques in the context of CARBAFIN, will be available later for many different applications. We will be supported by PNO Consultants in the exploitation of the technology."

Intensive cooperation

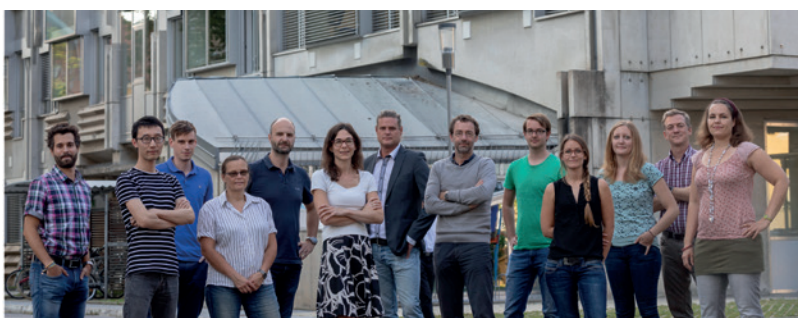
"Through the international cooperation of the research partners and companies, the project obtains a European dimension," says Barbara Petschacher. "And of course, whether you have in mind a process on the scale of tons or on the scale of milligrams, involves quite a different approach. To ensure the development goes in the right direction, it is important to cultivate a good exchange of information."

Twice a year the almost 30 persons who are involved in the project meet up at one of the partner locations. The first project meeting took place in Graz in June 2018. A meeting near Cologne at the site of project partner Pfeifer & Langen – Germany's third biggest sugar producer – is set for November 2018. A large expert audience will be informed about the results of the first interim report of the project at the European Summit of Industrial Biotechnology in Graz in November 2019.

Text: Werner Schandor ■

Abbildung 4:
Das CARBAFIN-Projektteam in Graz.
Mit den internationalen Kooperations-
partnerinnen und -partnern trifft man
sich regelmäßig.

Figure 4:
The CARBAFIN project team in Graz.
The international cooperation partners
meet up regularly.



Forschung @ www.tugraz.at: Bleiben Sie auf dem Laufenden! *Research @ www.tugraz.at: Keep up to date!*



TU GRAZ RESEARCH MONTHLY

Mit dem Forschungsnewsletter erhalten Sie jeden Monat ausgewählte Beiträge rund um aktuelle Forschungsthemen an der TU Graz – verpackt in News, Geschichten, Interviews und Blogbeiträge. Zudem informieren wir Sie über die nächsten Event-Highlights in den Bereichen Wissenschaft und Forschung an der TU Graz. Die Anmeldung ist ab sofort über die TU Graz-Website möglich:

> www.tugraz.at/go/research-monthly

TU GRAZ RESEARCH MONTHLY

Research highlights straight to your mailbox

The monthly research newsletter provides you with selected news, stories, interviews and blog posts from the world of research at TU Graz. We will also be informing you about upcoming events in science and research at TU Graz.

You can subscribe to "TU Graz research monthly" by following this link:

> www.tugraz.at/go/research-monthly-en



PLANET RESEARCH

Erfahren Sie, woran die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Graz in den Fields of Expertise und darüber hinaus forschen und wie sich ihre Ergebnisse auf unser Leben auswirken. Lernen Sie junge Forschungstalente kennen und informieren Sie sich über die Forschungsinfrastruktur der TU Graz:

> www.tugraz.at/go/planet-research

PLANET RESEARCH

See what our researchers are doing in the Fields of Expertise and other areas, and learn about how their results will affect our lives. Get to know young research talent and keep informed about research infrastructure at TU Graz:

> www.tugraz.at/go/planet-research-en



FIELDS OF EXPERTISE

Erfahren Sie mehr über die fünf Fields of Expertise und aktuelle Forschungsprojekte:

> www.tugraz.at/go/foe

FIELDS OF EXPERTISE

Find out more about the five Fields of Expertise and current research projects:

> www.tugraz.at/go/fields-of-expertise



Fields of Expertise der TU Graz Fields of Expertise of TU Graz



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

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