

Wissen • Technik • Leidenschaft

TU GRAZ research

2009-1 | Nr. 1



18112011
200 JAHRE TU GRAZ

An die Zukunft denken
Nachhaltige Forschung an der TU Graz

Thinking of the future
Sustainable research at TU Graz



Content

Preface p. 4

■ Face to Face

We ask well-known experts for a statement on our main topic

An interview with State Minister Kristina Edlinger-Ploder on sustainability p. 6

■ Focus: Sustainable Energy Systems

Guest Comment: Sustainable Energy Systems of Tomorrow p. 11
Brigitte Bach

“Graz-Cycle” and “Substitute Natural Gas” p. 13
New Technologies for Sustainable Power and Heat production
Jürgen Karl, Franz Heitmeir

ATLANTIS p. 16
Model of the European Electricity Industry
Heinz Stigler, Christoph Gutsch, Udo Bachhiesl

Plant-associated microorganisms as potential solutions to problems in world agriculture p. 19
Gabriele Berg

Sustainable Construction at Graz University of Technology p. 22
Peter Maydl

Landscape Transformations. A Matter of Sustainability p. 25
Bianca M. Rinaldi

■ Life

Research and technology in everyday life – how results of research affect our life and can improve it

Research into intelligent robots p. 28
Why it cannot always live up to expectations ... but will be crowned with success in the long run
Gerald Steinbauer

■ Cooperations

Conducting research & development together – how interdisciplinary co-operation between experts leads to success and further development

Scientific Cooperation p. 32
NIH-Project in Biomechanics at Graz University of Technology
Gerhard A. Holzapfel

■ Innovation in teaching & research

What's new in teaching and research – how TU Graz is proving and distinguishing itself as a hotbed of ideas

Research-guided teaching as a basis for success in innovation p. 36
Lothar Fickert

TU Graz research

Inhalt

Vorwort	S. 4
<hr/>	
■ Face to Face <i>Wir bitten namhafte Experten um ein Statement zum Schwerpunktthema</i>	
Landesrätin Kristina Edlinger-Ploder im Gespräch zum Thema Nachhaltigkeit	S. 6
<hr/>	
■ Focus: Sustainable Energy Systems	
Gastkommentar: Nachhaltige Energiesysteme der Zukunft <i>Brigitte Bach</i>	S. 11
„Graz-Cycle“ und „Substitute Natural Gas“ Neue Technologien für eine nachhaltige Strom- und Wärmeerzeugung <i>Jürgen Karl, Franz Heitmeir</i>	S. 13
ATLANTIS Modell der europäischen Elektrizitätswirtschaft <i>Heinz Stigler, Christoph Gutsch, Udo Bachhiesl</i>	S. 16
Pflanzen-assoziierte Mikroorganismen als mögliche Lösungen für die landwirtschaftliche Produktion weltweit <i>Gabriele Berg</i>	S. 19
Nachhaltiges Bauen an der TU Graz <i>Peter Maydl</i>	S. 22
Landschaftstransformationen. Eine Frage der Nachhaltigkeit <i>Bianca M. Rinaldi</i>	S. 25
<hr/>	
■ Life <i>Forschung und Technik im Alltäglichen – wie Forschungsergebnisse auf unser Leben wirken und es verbessern können</i>	
Die Forschung an intelligenten Robotern Warum sie manchmal die Erwartungen enttäuschen muss ... und langfristig doch erfolgreich sein wird <i>Gerald Steinbauer</i>	S. 28
<hr/>	
■ Cooperations <i>Gemeinsam forschen und entwickeln – wie die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten in Erfolg und Weiterentwicklung resultiert</i>	
Wissenschaftliche Kooperation NIH-Projekt in der Biomechanik an der TU Graz <i>Gerhard A. Holzapfel</i>	S. 32
<hr/>	
■ Innovation in teaching & research <i>Neues aus dem Bereich Lehre und Forschung – wie sich die TU Graz als erfolgreiche „Ideenschmiede“ bewährt und auszeichnet</i>	
Forschungsgeleitete Lehre als Erfolgsfaktor für Innovationen <i>Lothar Fickert</i>	S. 36



Liebe Kolleginnen und Kollegen,
sehr geehrte Forschungspartner und
an unserer Forschung Interessierte!

Dear colleagues,
research partners and others
interested in our research,



Franz Stelzer, Vizerektor für
Forschung und Technologie

Franz Stelzer, Vice President
Research & Technology

Forschung an der TU Graz – ein spannendes und mitreißendes Thema, von „DER österreichischen Innovationsuniversität“ darf man sich da einiges erwarten!

In der letzten Ausgabe unseres *TU Graz research* – dem ersten Heft im neuen Design – haben wir versucht, unsere wichtigsten Forschungsbereiche, die Fields of Expertise (FoE) überblicksartig vorzustellen. Diese Ausgabe gibt nun „tiefere Einblicke“ in eines dieser Kompetenzfelder: in das FoE „Sustainable Energy Systems“.

Im heurigen Winter wurde uns wieder gezeigt, wie nachhaltig – „sustainable“ – eine Energieversorgung wirklich ist, die auf fossilen Energieträgern beruht. Das illustriert, wie wichtig und aktuell nachhaltige Energieforschung ist, und dass der Bedarf an der Entwicklung nachhaltiger Rohstoff- und Energiequellen immens ist. Auch in den Programmen der EU nimmt Nachhaltigkeitsforschung einen herausragenden Stellenwert ein. Untrennbar mit dem Thema „Nachhaltigkeit“ ist die Forschung nach höherer Energieeffizienz in allen Bereichen unseres Lebens präsent. Womit wir wieder zu unserem Kompetenzfeld „Sustainable Energy Systems“ zurückgekehrt wären.

Um diesen gesellschaftspolitischen Herausforderungen einerseits sowie den Bedürfnissen der Wirtschaft andererseits entgegenzukommen, und um die Vorreiterrolle Europas als „innovativster Kontinent“ bzw. „innovativster Wirtschaftsraum“ (siehe Lissabonziele der EU) zu festigen, wurde von der EU das EIT – das European Institute of Innovation and Technology – gegründet. Die Aktionsfelder dieses EIT werden durch so genannte „Wissens- und Innovationsgemeinschaften“ (Knowledge and Innovation Communities – KICs) dargestellt. Die ersten drei Prioritätsthemen dieser zehn geplanten KICs wurden am 2. April 2009 zu den Themen „Sustainable Energy“, „Climate Change Mitigation and Adaptation“ sowie „Future Information and Communication Society“ ausgeschrieben.

research at Graz University of Technology – an exciting and powerful subject. But with regard to “THE Austrian innovation university”, of course expectations are high!

In the last issue of *TU Graz research* – in its brand new design – we gave a brief introduction to our most important research areas – the Fields of Expertise (FoE). The current issue will provide a deeper insight into one of the Fields of Expertise “Sustainable Energy Systems”.

In this year’s winter, we were shown once again how “sustainable” an energy supply based on fossil fuels really is. This illustrates how important and how topical sustainable energy research really is, and that the need for developing sustainable raw materials and fuels is second to none. In the various EU programmes, too, sustainable research is being accorded outstanding weight. Inseparable from the topic of “sustainability”, research into higher energy efficiency is ubiquitous in all aspects of our lives. Which takes us back to our FoE – “Sustainable Energy Systems.”

In order to meet social challenges on the one hand and the needs of industry on the other and to consolidate the pioneering role of Europe as the “most innovative continent” or the “most innovative economic area” (see the EU Lisbon objectives), the EU has founded the EIT – the European Institute of Innovation and Technology. The fields of action of EIT are represented by so-called Knowledge and Innovation Communities – KICs). The call for proposals for the first three priority themes of the ten envisaged KICs was issued on 2nd April 2009 in the form of “Sustainable Energy”, “Climate Change Mitigation and Adaptation” and “Future Information and Communication Society”.

For a university such as Graz University of Technology, which is oriented to research-guided teaching integrated with sustainable continuing

Für eine Universität wie die TU Graz, die auf forschungsgeleitete Lehre verbunden mit nachhaltiger Weiterbildung und Innovation ausgerichtet ist, war es daher selbstverständlich, sich in dieses Geschehen rasch und direkt einzuklinken. Unter der Federführung von Brigitte Hasewend vom Büro für Internationale und Strategische Partnerschaften und dank des Engagements unserer Forscherinnen und Forscher aus 30 Instituten wurde bereits vor einem Jahr mit den Vorbereitungen für die Bewerbung um eine KIC für die Bereiche „Nachhaltige Energien und Vermeidung der Folgen des Klimawandels“ begonnen. Der TU Graz ist es gelungen, sowohl in Österreich (mit TU Wien, JR, AIT – ehem. ARC) als auch europaweit große Forschungs- und Innovationspartner für unseren Antrag zu gewinnen. Der Themenbogen ist breit gefächert: Er beginnt bei erneuerbaren Ressourcen und endet bei der Entwicklung neuer Technologien zur Einschränkung des Energiekonsums. Einige Aspekte sollen in dieser Ausgabe des *TU Graz research* präsentiert werden.

Darüber hinaus gibt es aber auch andere aktuelle Highlights aus unseren Forschungsbereichen, die ihren Niederschlag sowohl im Entwicklungsplan als auch in der Antragsszene finden: Als Beispiel seien hier das „Center of Biomedical Engineering“, insbesondere die Industrielle Biotechnologie genannt.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen und eine ideenreiche Lektüre!

Ihr Franz Stelzer

PS: Für ganz aktuelle Forschungsinformationen darf ich Sie auf die „F&T News“ hinweisen, die vom Büro für Forschung und Technologie regelmäßig elektronisch versandt werden.

education and innovation, it was self-evident that the university should get involved in events fast and directly. Under the aegis of Brigitte Hasewend of the Office for International and Strategic Partnerships, and thanks to the commitment of our researchers from 30 institutes, preparations were started as early as one year ago regarding the application for a KIC in the fields of “Sustainable Energies and Prevention of the Consequences of Climate Change”. Graz University of Technology managed to attract powerful research and innovation partners for its application both from within Austria (including TU Vienna, JR, AIT – formerly ARC) and within Europe. Demonstrating a wide range of subjects, it starts from renewable resources and finishes with the development of new technologies for limiting energy consumption. A few of these aspects are presented in this current issue of *TU Graz research*.

Furthermore, there are also other current highlights from our research fields which are considered both in the development plan and in the application stage. To name one example: the “Centre of Biomedical Engineering” and industrial biotechnology in particular.

I hope you enjoy this current issue of research and I wish you an interesting read.

Franz Stelzer

PS: For the very latest research information may I refer you to “F&T News”, which is regularly distributed by email by the Research and Technology Office.

Die eigenen Stärken stärken!

Strengthening Your Own Strengths!

Ines Hopfer

Kristina Edlinger-Ploder ist steirische Landesrätin für Forschung und Verkehr, Wissenschaft und Technik. Sie studierte Rechtswissenschaften in Graz und ist seit 2003 in der steirischen Landesregierung tätig.

Kristina Edlinger-Ploder is the Styrian Minister of Research and Transport, Science and Technology. She studied law at Graz and has been a member of the State Government of Styria since 2003.

Forschung nachhaltig zu gestalten heißt für die steirische Landesrätin für Wissenschaft & Forschung, Kristina Edlinger-Ploder, bewusst und konsequent auf die eigenen Stärken zu setzen – und zwar nicht erst in Zeiten der (Budget-)Krise. Die TU Graz sieht den Herausforderungen der Zukunft aktiv ins Auge und bewirbt sich um ein europäisches Kompetenzzentrum für die Bereiche „Nachhaltige Energien und Vermeidung der Folgen des Klimawandels“. Mit dieser Bewerbung befindet sich die TU Graz auf dem richtigen Weg in die Zukunft, davon ist Kristina Edlinger-Ploder überzeugt.

Frau Landesrätin, wie sehen Sie die TU Graz innerhalb der österreichischen Forschungslandschaft positioniert bzw. darüber hinaus?

Die Technische Universität Graz ist sicher ein Leuchtturm in der österreichischen, aber auch in der europäischen Wissenschaftslandschaft. Mit der Bezeichnung Leuchtturm meine ich, dass es die TU Graz geschafft hat, als Universität unheimlich rasch auf die neuen Erfordernisse des UG 2002 zu reagieren. Dadurch hat sie sich einen Spitzenplatz innerhalb der österreichischen Universitäten eingeräumt. Daneben setzt die TU Graz bewusst und konsequent auf ihre Stärken. Das war früher eine gute Strategie und ist es auch heute noch. Eine Positionierung der Stärkefelder bedeutet für mich das zu tun, was man gut kann.

Wo sehen Sie die Stärken der TU Graz?

Beispielsweise in der Etablierung der sieben Fields of Expertise. Ich betone, dass Stärke im Besonderen auch mit den Personen zusammenhängt, die an der TU Graz tätig sind. Forscherinnen und Forscher, die nicht nur selbst hervorragend sind, sondern es auch als ihre Aufgabe sehen, junge Leute zu fördern. Insofern ist diese Zusammengehörigkeit, dieses Gemeinschaftsgefühl an der TU Graz ganz besonders hervorzuheben. Das ist eine Stärke und wirkt nachhaltig.

For the Styrian Minister of Science & Research, Ms Kristina Edlinger-Ploder, doing research in a sustainable way means consciously and consistently relying on your own strengths – and not only during times of (budget) crisis. Graz University of Technology (TU Graz) is confronting the challenges of the future head on and is applying for a European competence centre in the fields of “Sustainable Energies and Preventing the Consequences of Climate Change”. Kristina Edlinger-Ploder is convinced that Graz University of Technology’s application is a step in the right direction.

Minister, how well positioned is Graz University of Technology in the Austrian research community and beyond?

Graz University of Technology is definitely a shining light in the scientific landscape of not only Austria but also Europe. I mean shining light in the sense that TU Graz as a university managed to react incredibly fast to the new demands of the University Act 2002. By doing so it has achieved a top position among Austrian universities. Apart from this, Graz University of Technology uses its strengths consciously and consistently to good purpose. This used to be a good strategy, and still is. Positioning fields of expertise for me means doing what you’re good at.

In your opinion, what are the strengths of Graz University of Technology?

Well, in establishing seven fields of expertise, for instance. I would like to emphasise that strength is particularly also associated with persons working at TU Graz. Researchers who have not only achieved excellence themselves but who see it as their task to nurture young people. Insofar as this belongingness, this sense of community at TU Graz should be specially highlighted, it is a strength. And this strength will have a sustainable effect.



© TU Graz/Frankl

Der Begriff Nachhaltigkeit ist in aller Munde. Wie sehen Sie die Rolle von nachhaltiger Forschung & Entwicklung innerhalb der Forschungslandschaft?

Ich verbinde damit zweierlei: Zum einen, Forschungsarbeit strukturell nachhaltig zu gestalten, beispielsweise Schwerpunktsetzungen, Netzwerke und eine Infrastruktur zu schaffen, die es ermöglichen, eine Stärke konsequent zu verfolgen - nicht nur im Zeitpunkt des Erfolges. Zum anderen, die Forschungsarbeit an Nachhaltigkeitsthemen, wie Energie, Umwelt, oder Rohstofffrage. Ich glaube, beides ist wichtig. Die gesamte Landesregierung ist in dieser Sache mit ihrer Arbeit gefragt: Welche Themen und welche Ressourcen brauchen wir, um nachhaltig arbeiten zu können?

Wofür steht Nachhaltigkeit in Bezug auf Ihr Ressort Wissenschaft & Forschung?

Wir bieten viele Produkte im Bereich der Förderpolitik an, die nachhaltig wirken: Stipendien, Reisekostenzuschüsse und vieles mehr. Das sind traditionelle Förderschienen, die wir bewusst weiterführen. Daneben bemühen wir uns auch mit den Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen mitzuziehen: Wenn etwas Neues entsteht, wenn Schwerpunkte verstärkt werden, dann versuchen wir sie zu unterstützen. Als Forschungsregion wuchsen viele Erfolge auf dem – in der Steiermark sehr ausgeprägten – Klima der Kooperationsbereitschaft und der steirischen Netzwerke. Als Verwaltung eines Landes sind wir nicht

The term sustainability is on everybody's lips. How do you see the role of research & development within the research community?

In a dual sense: On the one hand, to design research work in a structurally sustainable way, for instance, setting priorities and creating networks and an infrastructure which enables a strength to be consistently pursued – not only at the time of success. On the other hand, research on sustainability themes – in other words, energy, environment, raw materials and so on. I think both are important. This issue also challenges the work of the whole state government: what topics and resources do we need in order to work sustainably?

What does sustainability stand for in relation to your state ministry of Science & Research?

We offer many products in the field of funding policy which have a sustainable effect: scholarships, travel cost benefits and many others. These are traditional funding networks which we are intentionally continuing with. Alongside this, we endeavour to do our part with scientific and research facilities: if something new starts or when priorities are strengthened, we do our best to support them. As a research region, much success has come from the atmosphere of co-operation, which is very strong in Styria – and of course from the networks which we have in Styria. As the state's administrative body, we are not a player who can galvanise others into action; we're too small for that. For us, good contacts with the uni-



der Player, der von sich aus aktiv werden kann, dafür sind wir zu klein. Uns ist der gute Kontakt zu den Universitäten und zu den Forschungseinrichtungen immens wichtig, um auch zu wissen, wo wir erfolgreiche Akzente setzen können.

An der TU Graz passiert einiges, insbesondere im Bereich Nachhaltigkeit. Wir bewerben uns beispielsweise um ein europäisches Kompetenzzentrum für die Bereiche „Nachhaltige Energien und Vermeidung der Folgen des Klimawandels“ im Rahmen des European Institute of Innovation and Technology (EIT). Wie beurteilen Sie als Landesrätin diese Bewerbung?

Allein die Möglichkeit, als ernstzunehmender Bewerber gehandelt zu werden, und das ist tatsächlich der Fall, spricht schon für eine gewisse Kompetenzsammlung in dieser Frage in der Steiermark. Ich denke, wir haben gute Chancen. Selbst wenn wir den Zuschlag nicht bekommen sollten, dann ist allein dieser Schritt hin zur Bewerbung etwas Nachhaltiges. Weil es ein Anlauf war, diese Kompetenzen und Expertisen sichtbar zu machen, die Leute zu benennen, Aufgaben, Ziele und Fragen zu formulieren, die man gemeinsam lösen will. Ich hoffe sehr, dass wir in die nächste Runde kommen.

Also es ist der richtige Weg in die Zukunft?

Auf alle Fälle. Man geht manchmal Wege und weiß nicht immer ganz genau, wohin sie einen führen werden. Mein persönliches Motto heißt „Solvitur ambulando“, das bedeutet, „Im Gehen lösen sich die Probleme“. Manchmal muss man seinen Standort verlassen, um eine bessere Perspektive zu bekommen. Und so entwickeln sich auch Institutionen wie die TU Graz weiter. Forscher müssen in dieser Hinsicht ja auch Zukunftswitterer sein, hier hat natürlich vieles mit Gespür und Intuition zu tun.

Sie sprechen von Forschern als „Zukunftswitterer“. Zukunftsorientiert zu sein, bedeutet auch nachhaltig zu forschen. In der gegen-

versities and research facilities are of immense importance – particularly in order to find out where exactly we can be successful.

Quite a lot of things are happening at TU Graz, especially in the area of sustainability. For instance, we are applying for a European competence centre, under the umbrella of the European Institute of Innovation and Technology (EIT), for the areas of “sustainable energies and prevention of climate change effects”. As a state minister, how do you think about this application?

Even to be considered as a serious candidate, which is here the case, speaks in favour of having acquired expertise on this topic in Styria. I think the chances are good. Even if we don't win the game, the step towards by the application is itself something sustainable, because it is an attempt to make these areas of expertise visible, to name people, to formulate tasks, objectives and questions which we want to solve together. I really do hope that we get into the next round.

So, is it the right path to take?

Absolutely. Sometimes you go in a certain direction without knowing precisely where it will take you. My personal motto is “Solvitur ambulando”, which means problems are solved by the process of moving on. Sometimes you have to move away from where you are to get a better perspective. And establishments like Graz University of Technology, too, continue to develop like this. In this respect, researchers also have to sense the future. This area has a lot to do with feeling and intuition.

You spoke of the necessity of researchers having to sense the future. Being future oriented also means carrying out research in a sustainable way. In the current situation, however, top Styrian researchers are coming together, like Forum Forschung (Forum Re-



wärtigen Situation formieren sich allerdings steirische Spitzenforscher wie das Forum Forschung, um auf die Kürzungen der Finanzierung der Grundlagenforschung aufmerksam zu machen. Was sagen Sie dazu?

Ich beurteile diese Situation durchaus angespannt. Ich habe mich sehr darüber gefreut, dass sich dieses Forum Forschung gebildet hat. Es ist notwendig, auf die Situation der Forscherinnen und Forscher aufmerksam zu machen. Und ich hoffe, dass die Stimmung laut genug ist und genug Unterstützung findet. Den einzelnen Menschen ist es oft zu wenig bewusst, was Forschungsarbeit für jeden von uns leistet. Ich habe auch versucht, in Richtung Bund klare Worte zu finden, dass die angesprochene Kontinuität auf keinen Fall leiden sollte.

Tatsache ist: Forschung, auch nachhaltige Forschung, kostet. Kann man sich in Zeiten knapper Kassen Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Forschung überhaupt noch leisten?

Genau das Gegenteil ist für mich der Fall: Kann man sich Ausgaben, die nicht nachhaltig wirken, überhaupt noch leisten? Die budgetäre Situation ist bekanntermaßen eng. Letztlich ist im Bereich der Universitäten durch zähe Verhandlungen einiges gelungen. Natürlich könnte es mehr sein, aber es sind durchaus akzeptable Ergebnisse. Die Töpfe der FFG, des Forschungsfonds, der Nationalbank, machen mir allerdings mehr Sorgen. Aber auch hier kann ich nur betonen, dass man Nachhaltigkeit in dem Sinne praktizieren muss, dass man das, was man angegangen ist, zumindest halten muss. Beispielsweise das große Projekt NAWI Graz deswegen runterzuschrauben oder zu verlangsamen, das wäre vollkommen falsch. Also auch in diesem Sinne: Stärken stärken. In besseren Zeiten kann man versuchen, Schwächen zu kompensieren. Aber im Moment hat Stärken stärken die Priorität Eins A. Und ist auch nachhaltig.

search), to draw attention to cuts in funding basic research. Have you anything to say on this?

I think the situation is quite strained. I'm very happy that Forum Forschung was established because it is necessary to draw attention to the situation of researchers. And I hope that the voice is loud enough and that it draws enough support. People are too little aware of the benefits of research for our community. I have also found clear words for the federal government in favour of a continuation of research support.

The fact is: research costs money and sustainable research costs money as well. When money is scarce, can we actually afford sustainability or sustainable research at all?

For me, exactly the opposite is the case. Can we afford expenses which don't have a sustainable effect at all? Everyone knows the budgetary situation is tight. Finally, quite a lot has been achieved by the universities by tough bargaining. Of course it could be more, but the results are respectable. It's the reserves of The Austrian Research Promotion Agency (FFG), the Austrian Sciences Fund (FWF), the Oesterreichische Nationalbank, that make me more concerned. But even here I can only emphasize that one has to practise sustainability by continuity. For instance, the big NAWI Graz project – to shrink it or to slow it down would be absolutely wrong. So even in these terms: to strengthen strengths. In better times one can try to compensate for weaknesses. But at the moment, strengthening strengths has A1 priority. And, what's more, it's sustainable.



Nachhaltige Energiesysteme der Zukunft

Sustainable Energy Systems of Tomorrow

Brigitte Bach

Die Verknappung fossiler Ressourcen und die Bedrohung durch den Klimawandel stellen die Forschung weltweit vor die zentrale Herausforderung, innovative Lösungen für die nachhaltige Bereitstellung von Strom und Wärme zu entwickeln. Der Paradigmenwechsel im europäischen Energiesystem hat bereits voll eingesetzt und auch auf politischer Ebene wurden im letzten Jahr die Weichen in eine nachhaltige Energiezukunft gestellt. In ihren „20/20/20“-Klimaschutzziele hat sich die Europäische Union verpflichtet, bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von Treibhausgasen um 20 Prozent zu senken, den Anteil der erneuerbaren Energiequellen auf 20 Prozent zu steigern und die Energieeffizienz um 20 Prozent zu erhöhen. Um diese ehrgeizigen Ziele zu realisieren, sind Forschungsanstrengungen entlang der gesamten Energiekette notwendig – von der umweltfreundlichen Energieumwandlung über die ausfallsichere Verteilung bis hin zur effizienten Nutzung. Als Universitätsrätin der TU Graz finde ich es sehr begrüßenswert, dass das neu geschaffene Field of Expertise „Sustainable Energy Systems“ das gesamte Spektrum abdeckt.

Von besonderer Bedeutung für die Zukunft ist die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bringt, da sie nicht nur den CO₂-Ausstoß senkt, sondern auch die Unabhängigkeit von Energieimporten gewährleistet und die regionale Wertschöpfung stärkt. Neben Photovoltaik, Solarthermie und Windenergie ist hier in Österreich vor allem die CO₂-neutrale Biomasse eine vielversprechende Alternative zu fossilen Ressourcen, wie auch die in dieser Ausgabe des Forschungs-journals angesprochene Erzeugung von synthetischem Erdgas aus Biomasse beweist. Mit der steigenden dezentralen Erzeugung werden sich aber auch die Anforderungen an die elektrischen

The growing shortage of fossil resources and the threat posed by global climate change provide international research with the challenge to develop innovative solutions for the sustainable supply of power and heat. The shift of paradigm in the European energy system has already started and political decisions at the European level have set the course for a sustainable energy future. The European Union has defined stringent “20-20-20” targets for 2020, i.e. a 20 percent cut in emissions of greenhouse gases, a 20 percent share of renewables in the energy mix, and a 20 percent increase in energy efficiency. Intensive research efforts along the entire energy chain will be needed to achieve these ambitious goals – from environmentally friendly energy conversion to secure distribution and efficient use. As a member of the University Council of Graz University of Technology, I very much welcome the newly established Field of Expertise “Sustainable Energy Systems” to cover this entire range of research.

The energy system of tomorrow will largely rely on the use of renewable energy sources, which provides both ecological and economic benefits by cutting CO₂ emissions, reducing dependence on energy imports and strengthening regional economies. In addition to photovoltaics, solar thermal and wind energy, Austria can draw on a wealth of CO₂-neutral biomass resources which present a promising alternative to fossil fuels, as demonstrated by the production of synthetic natural gas from biomass and addressed in this issue of the TU Graz research journal. The expected increase in distributed generation will, however, also place new demands on the power distribution network. The electricity industry thus requires new models – such as ATLANTIS, which is also described in this issue – to be able to model the complex system interactions and simulate different energy scenarios. An essential link at the end



*Brigitte Bach
ist seit 2008 Universitätsrätin
der TU Graz und Leiterin des
Department Energy, Austrian
Institute of Technology (AIT).*

*Brigitte Bach
has been a member of the
University Council since 2008
and is head of Department
Energy, Austrian Institute of
Technology (AIT).*



© fotolia.com

Versorgungsnetze verändern. Die Elektrizitätswirtschaft benötigt daher neue Modelle, wie das ebenfalls in diesem Heft vorgestellte ATLANTIS, um die komplexen Systemzusammenhänge abbilden und verschiedenste Energieszenarien simulieren zu können. Ein wichtiges Glied am Ende der Energiekette ist schließlich der Gebäudesektor, der derzeit noch für rund 40 Prozent des Endenergieverbrauchs in der EU verantwortlich ist. Die Gebäude der Zukunft werden nicht nur energieeffizienter sein, sondern durch die integrierte Nutzung erneuerbarer Energie in der Gebäudehülle – quasi als „Kleinkraftwerk“ – selbst Strom und Wärme produzieren und in die Versorgungsnetze einspeisen.

Als wichtiger österreichischer Player auf dem Gebiet nachhaltiger Energiesysteme hat die TU Graz nun mit ihrer Bewerbung um eines der geplanten Kompetenzzentren des Europäischen Innovations- und Technologieinstituts den nächsten logischen Schritt gesetzt. Mit dem EIT – ENERGY KIC soll Österreich als europäischer Kompetenzknoten für erneuerbare Energie etabliert werden. Zusammen mit zahlreichen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen und Unternehmen beteiligt sich auch das Department Energy des AIT an dieser zukunftssträchtigen Initiative, um die Innovationskraft der österreichischen Forschung und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft zu stärken.

of the energy chain is the building sector, which currently accounts for around 40 percent of final energy consumption in the European Union. The building of tomorrow will not only be more energy efficient, but will also have renewable energy systems integrated: a building as a small power plant that generates power and heat both for the building's own use and for network supply.

Graz University of Technology is an Austrian key player in the field of renewable energy systems and has now taken the next logical step by applying for one of the planned competence centres of the European Innovation and Technology Institute. The EIT – ENERGY KIC is designed to establish Austria as a European hub of expertise in renewable energy. The AIT Department Energy participates in this forward-looking initiative together with numerous national and international research institutions and companies to strengthen the innovative thrust of Austrian research and thus the competitiveness of our economy.

„Graz-Cycle“ und „Substitute Natural Gas“

Neue Technologien für eine nachhaltige Strom- und Wärmeerzeugung

“Graz-Cycle” and “Substitute Natural Gas”

New Technologies for Sustainable Power and Heat production

Jürgen Karl, Franz Heitmeir

Das Institut für Wärmetechnik und das Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik untersuchen die CO₂-freie Stromerzeugung aus Kohle sowie neue Methoden für eine effiziente Nutzung von regenerativen Energien. Mit innovativen Verfahren wie dem „Graz-Cycle“ und der Erzeugung von „Substitute Natural Gas“ aus Biomasse werden an diesen beiden TU Graz-Instituten Schlüsseltechnologien für eine klimaverträgliche Strom- und Wärmeerzeugung in dezentralen Kleinanlagen und in innovativen Großkraftwerken entwickelt.

Die Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung mithilfe konventioneller Verfahren sind begrenzt. Nichtsdestotrotz steigt der weltweite Energiebedarf dramatisch. Zum Einsatz kommen dennoch weiterhin konventionelle Technologien für die Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung, vor allem mit fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl und Erdgas. Das bedeutet: CO₂-Emissionen werden weiterhin steigen, fossile Ressourcen werden immer knapper. Politische und militärische Konflikte sind dadurch vorprogrammiert. Doch eine Minderung von Treibhausgasemissionen und politischen Abhängigkeiten kann nur durch den Einsatz neuer Technologien für die Energiewirtschaft Wirklichkeit werden. Das Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik und das Institut für Wärmetechnik setzen dabei vor allem auf zwei Alternativen: Erstens auf die Entwicklung neuer Verfahren für die dezentrale Nutzung erneuerbarer Energien und zweitens auf die Erforschung innovativer Methoden für die CO₂-freie Nutzung von Kohle. Dezentrale Verfahren für die Strom- und Wärmeversorgung stützen die regionale Wertschöpfung und sind notwendige Voraussetzungen für den Einsatz erneuerbarer Energien. Sonne, Wind und Biomasse fallen mit geringer Energiedichte

The Institute of Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics and the Institute of Thermal Engineering investigate the CO₂-free production of power from coal and new technologies for an efficient use of renewable energies. The TU-Graz institutes develop key technologies such as the “Graz-Cycle” and the conversion of biomass into “Substitute Natural Gas” for a sustainable supply of heat and power in decentralized applications as well as innovative large scale power plants.

Options for saving energy and increasing efficiency with conventional technologies are usually limited. Nevertheless, the worldwide energy consumption is increasing. Thus conventional technologies for power, heat and cooling, based largely on fossil resources like coal, oil and natural gas, will continue to be utilized. That means CO₂ emissions will continue to rise, and shrinking resources will provoke political and military conflicts. For this reason reduction of green house gases and dependence on fossil resources require inevitably the development of new technologies for the energy system. The Institute of Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics and the Institute of Thermal Engineering focus mainly on two alternatives: the development of new techno-



Jürgen Karl

promovierte und habilitierte an der TU München. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die energetische Nutzung von Biomasse, Brennstoffzellen und die CO₂-freie Stromerzeugung aus Kohle. Seit 2007 ist er Vorstand am Institut für Wärmetechnik.

Jürgen Karl

was awarded his doctorate and habilitation at the Technical University of Munich and focused on biomass conversion, fuel cells and CO₂-free power-plant technologies. Since 2007 he has been head of the Institute of Thermal Engineering.

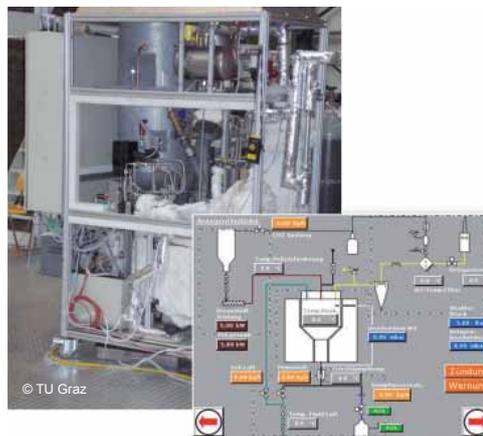


Abb. 1: Allothermer Labor - Vergaser für die Erzeugung biogener Synthesegase am Institut für Wärmetechnik.

Fig 1: Allothermal lab-scale gasifier for the generation of biogenous syngas at the Institute of Thermal Engineering.



Franz Heitmeir arbeitete von 1987 – 2001 bei MTU Aero Engines in München in den Bereichen Forschung, Entwicklung, Versuch und Marketing. Zuletzt war er Programm- und Entwicklungsleiter für die Triebwerke RB 199 (Tornado Kampfflugzeug) und MTR 390 (Tiger Hubschrauber). Seit 2001 ist er Vorstand des Instituts für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik und ist Partner in zahlreichen EU-Projekten zur Triebwerksforschung.

Franz Heitmeir worked at MTU Aero Engines in Munich, a leading gas turbine manufacturer in Germany, in the fields of research, development, testing and marketing from 1987 until 2001. His last position was program head and development head for the two engine programs RB 199 (Tornado fighter airplane) and MTR 390 (Tiger helicopter). Since 2001 he has been head of the Institute of Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics and partner in several EU projects on jet engines.

dezentral an und erfordern daher kleinskalige Technologien.

Neben den langjährigen Forschungsschwerpunkten in den Bereichen „Haustechnik und Gebäudeoptimierung“ sowie „Klimatechnik“ steht am Institut für Wärmetechnik vor allem die effiziente Nutzung von Biomasse im Vordergrund. Eine Schlüsseltechnologie ist hier die thermische Vergasung. Bei der so genannten allothermen Vergasung entstehen hochwertige Synthesegase, die sich nach einer geeigneten Brenngasaufbereitung effizient in Brennstoffzellen oder für nachgeschaltete Synthesen nutzen lassen. Mit der Einrichtung eines Brennstoffzellenlabors werden derzeit Grundlagen für Langzeituntersuchungen zur Umsetzung biogener Gase in SOFC-Brennstoffzellen gelegt. Ideale Synergien ergeben sich dabei auch für ein weiteres Forschungsfeld des Instituts, die Erzeugung von synthetischem Erdgas (so genanntem Substitute Natural Gas, SNG) aus Biomasse. Bei der Methanierung von Holz kommen, wie in SOFC-Brennstoffzellen, nickelbasierte Katalysatoren zum Einsatz, die ähnliche Anforderungen an Gasreinigung und Versuchsausstattung stellen.

Neben dezentralen Technologien werden in der Energiewirtschaft weiterhin auch große zentrale Kraftwerkseinheiten eingesetzt. Kohle ist weltweit ohne Beschränkung auf regionale Krisenherde nach wie vor vorrätig und wird auch in Zukunft in großen Mengen verwendet werden. Umso wichtiger ist es daher, innovative Methoden für die CO₂-freie Verstromung von Kohle verfügbar zu machen. Eines der international am meisten zitierten Konzepte hierfür ist der am Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik entwickelte „Graz-Cycle“.

Der „Graz-Cycle“ kombiniert die Wirkungsvorteile hocheffizienter GUD-Prozesse mit der so genannten „Oxyfuel“-Verbrennung. Durch die

logies for decentralized conversion of renewable energies and new technologies for a CO₂-free conversion of coal.

In addition to the traditional focus on thermal building design and air conditioning the Institute of Thermal Engineering mainly investigates the efficient conversion of biomass. Thermal gasification is here a key technology. So-called indirect or allothermal gasification produces a particularly valuable syngas which is exceptionally suitable for use in fuel cells. With the installation of a fuel cell lab, the foundation has been laid for long-term investigations of the conversion of biogenous gases in solid oxide fuel cells. This field of research also provides ideal synergies for another focus of the institute – the synthesis of methane from biomass and the conversion of biomass into so-called “Synthetic Natural Gas” (SNG). Methanation of wood needs nickel-based catalysts and these cause similar demands on gas purification and experimental equipment as solid oxide fuel cells.

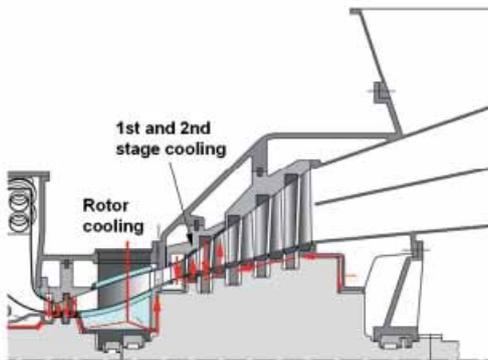
In addition to distributed generation the energy economy will further rely on large scale power plants.

Coal and Lignite are available worldwide without any restriction on regional hot spots and they will continue to be used in large quantities. Thus it is becoming increasingly important to provide “CleanCoal”-Technologies for a CO₂-free power production from coal.



Abb. 2/ Fig. 2

© TU Graz/Institut für Wärmetechnik

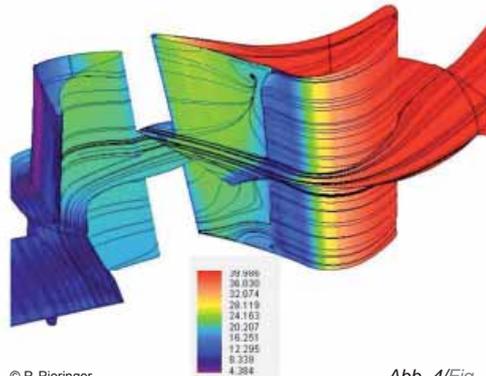


© E. Göttlich

Abb. 3/Fig. 3

Verbrennung eines aus Kohle erzeugten Brenngases mit reinem Sauerstoff entsteht ein CO₂-Wasserdampf-Gemisch, aus dem der Wasserdampfanteil durch Kondensation einfach abgetrennt werden kann. Übrig bleibt reines CO₂, für dessen Endlagerung heute eine Vielzahl nachhaltiger Konzepte erprobt werden. Das Kernproblem der Sauerstoffverbrennung – die hohen Verbrennungstemperaturen – löst der „Graz-Cycle“ durch eine besonders intelligente Rezirkulation des Arbeitsmediums bestehend aus CO₂ und Wasserdampf. Dieses neuartige Arbeitsmedium verlangt allerdings die Entwicklung neuer Turbinen und Kompressoren für den „Graz-Cycle“. Abbildung 3 zeigt den Entwurf der Hochtemperaturturbine, die mit dem Arbeitsmedium von 40 bar und 1400°C beaufschlagt wird. Die roten Pfeile zeigen die Kühldampfströme. Diese Entwicklungen werden durch ein weiteres Arbeitsgebiet des Institutes, der CFD-Modellierung von Strömungen in thermischen Turbomaschinen, unterstützt. Abbildung 4 zeigt Druckverlauf und Stromlinien für die erste Stufe der Hochtemperaturturbine.

Die Sauerstoffverbrennung in Kohlestaub- und Wirbelschichtfeuerungen wird auch am Institut für Wärmetechnik in enger Kooperation mit dem Industriepartner Austrian Energy & Environment bearbeitet. Daneben ist auch die Methanierung eine vielversprechende Option für eine CO₂-freie Nutzung von Kohle. Im Sommer 2009 startet dazu das vom Institut für Wärmetechnik koordinierte EU-Projekt mit dem Titel „CO₂freeSNG“.



© P. Pieringer

Abb. 4/Fig. 4

One of the internationally most renowned concepts for such power plants is the so-called „Graz-Cycle.“ The Graz-Cycle combines the high efficiency of combined cycle plants with the advantages of oxyfuel combustion. Combustion of gas from coal gasification with pure oxygen generates a steam/carbon-dioxide mixture. Condensation separates the steam, thus resulting in pure carbon dioxide. The Graz-Cycle solves the key problem of oxyfuel combustion – the extraordinary high combustion temperature – by means of a particularly sophisticated recirculation of the working medium consisting of steam and carbon dioxide. But this unconventional working medium demands the development of new turbines and compressors. Fig. 3 shows the layout of the high temperature turbine which is fed by the working medium at 40 bar and 1400°C. The red arrows indicate the paths of the cooling steam. The turbomachinery design is supported by another research area of the institute: CFD simulation of flows in thermal turbomachines. Fig. 4 shows the pressure distribution and the stream lines for the first stage of the high temperature turbine.

The Institute of Thermal Engineering investigates oxyfuel combustion mainly in pulverized coal and fluidized-bed combustion systems in close cooperation with Austrian Energy & Environment. Another promising option for a sustainable conversion of coal is methanation. Summer 2009 will see the launch of the „CO₂freeSNG“ EU Project coordinated by the Institute of Thermal Engineering.

Abb. 2: Wirbelschichtverbrennungsanlage des Instituts für Wärmetechnik für die CO₂-freie Stromerzeugung.

Abb. 3: Hochtemperaturturbine des „Graz-Cycle“.

Abb. 4: CFD-Ergebnis für die erste Stufe der Hochtemperaturturbine.

Fig 2: Fluidized-bed combustion plant for CO₂-free power generation at the Institute of Thermal Engineering.

Fig. 3: High-temperature turbine of the Graz Cycle.

Fig. 4: CFD result of the flow in the first stage of the high-temperature turbine.

ATLANTIS

Modell der europäischen Elektrizitätswirtschaft

ATLANTIS

Model of the European Electricity Industry

Heinz Stigler, Christoph Gutschi, Udo Bachhiesl



Heinz Stigler studierte Elektrotechnik an der TU Wien sowie Betriebswirtschaftslehre an der WU Wien. Nach seiner Tätigkeit als Universitäts-Assistent am Institut für Energiewirtschaft der TU Wien wechselte Stigler in die Verbundgesellschaft. Im Jahr 2000 wurde Heinz Stigler als Universitätsprofessor für das Fach Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation an die TU Graz berufen.

Heinz Stigler studied electrical engineering at TU Vienna and economics at WU Vienna. After his engagement as research assistant at the Institute of Energy Economics at TU Vienna he worked at Verbundgesellschaft in Vienna. In 2000 Heinz Stigler was appointed Professor of Electricity Economics and Energy Innovation at Graz University of Technology.

Am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (IEE) der TU Graz wurde ein Szenariomodell entwickelt, welches die Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse zur gedeihlichen langfristigen Entwicklung der europäischen Elektrizitätswirtschaft ermöglicht. Im Beitrag werden die Ausgangslage, der Modell-aufbau und -ablauf sowie mögliche Untersuchungsgegenstände dargestellt.

Die europäische Energie- und Elektrizitätswirtschaft steht vor großen Herausforderungen: Der fortschreitende Klimawandel und die bedrohlich steigende Energieimportabhängigkeit erfordern konkrete gegensteuernde Strategien, wobei zahlreiche Maßnahmen bereits im Rahmen der aktuellen EU-Energiestrategie 2020 verfolgt werden. Für den Bereich der Elektrizitätswirtschaft stellt sich aufgrund der Besonderheiten der elektrischen Energie (z.B. nicht-Speicherbarkeit, Netzgebundenheit, Langlebigkeit und Kapitalintensität) die Frage, welche gesamtsystemischen Wirkungen diese Maßnahmen entfalten.

Seit sieben Jahren arbeitet das Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation an der realitätsnahen Abbildung der europäischen Elektrizitätswirtschaft in realwirtschaftlicher, nominalwirtschaftlicher und organisatorischer Dimension. Mit einem Einsatz von rund 21 Personenjahren aus den Disziplinen Energiewirtschaft, Elektrotechnik, Maschinenbau, Kraftwerkstechnik, Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft, Operations Research, Informatik und Recht wurde ein umfassendes Modell der europäischen Elektrizitätswirtschaft erstellt.

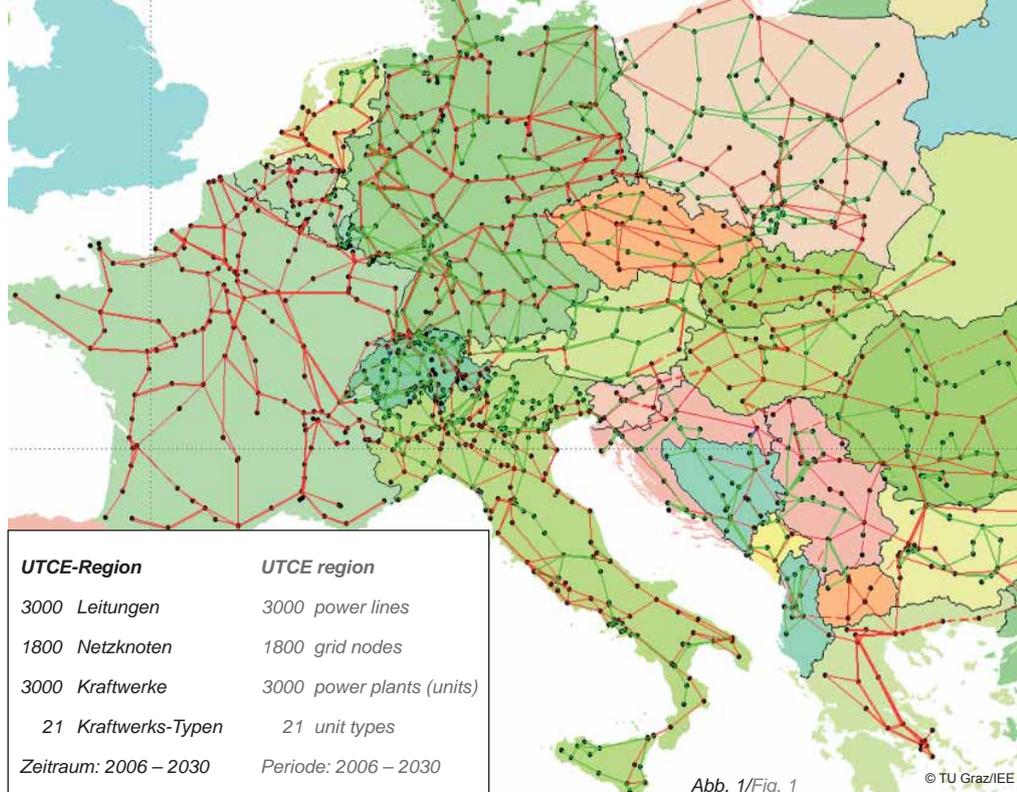
Das Szenarienmodell ATLANTIS bildet die gesamte Elektrizitätswirtschaft im UCTE-Gebiet (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) mit ihren grundlegenden Gegebenheiten und Systemzusammenhängen ab. Wesentliche Elemente der realwirtschaftlichen Seite des

The Institute of Electricity Economics and Energy Innovation (IEE) of Graz University of Technology has developed a scenario model which allows scientific findings to be gained in order to contribute to a long-term positive development of the European electricity industry. This article explains the basic conditions, structure and function of the model as well as possible research areas.

The European energy and electricity industry faces huge challenges. Ongoing climate change and an alarming increase of dependency on energy imports require tangible counteractive strategies, despite a number of measures having already been included in the present European energy strategy for 2020. Systemic impacts have to be investigated especially regarding the electricity industry because of the characteristics of electrical energy (e.g. non-storable, grid bound, longevity and capital intensity).

For seven years, the Institute of Electricity Economics and Energy Innovation has been working on a realistic model of the European electricity industry which covers all relevant aspects of real economy, nominal economy and organisation. About 21 person years have been invested in developing a comprehensive model of the European electricity industry by integrating many different disciplines, such as energy economics, electrical engineering, power engineering, business and administration, economics, operations research, informatics and law.

The scenario model ATLANTIS represents the whole electricity industry in the UCTE area (Union for Co-ordination of Transmission of Electricity), including the basic conditions and systemic interrelations. Important elements of the real economic part of the model are the European transmission network (400/220 kV level), the European power plant infrastructure and time series



Modells sind der europäische Kraftwerkspark, das übergeordnete europäische Verbundnetz (400/220-kV-Ebene) sowie der regionalisierte Bedarf der Endkunden (siehe Abbildung 1).

Auf der nominalwirtschaftlichen Seite des Modells werden relevante europäische Elektrizitätsunternehmen mit ihren Bilanzen und Gewinn- und Verlustrechnungen abgebildet. Die modellrelevanten Informationen wurden mittels detaillierter Untersuchungen erhoben und in eine Datenbank integriert, welche das zentrale Element des Modells darstellt und sowohl der Verwaltung der Basisdaten als auch der Rechenergebnisse dient.

In Abbildung 2 (Seite 18) wird der schematische Ablauf von Simulationsrechnungen dargestellt. Nach der Definition eines konkreten Untersuchungsszenarios (Marktgebiete, Brennstoffpreise, Verbrauchszuwachsraten, Bauprojekte ...) wird zu Beginn jedes simulierten Jahres untersucht, ob das System für den Zeitpunkt der Jahreshöchstlast über ausreichende Kraftwerks- und Netzkapazitäten verfügt und gegebenenfalls entsprechender Ausbaubedarf aufgezeigt und berücksichtigt. Im nächsten Schritt erfolgt die Ermittlung der monatlichen Energiedeckung für die Peak- und Off-Peak-Periode und der Erzeugungskosten zur Deckung des Verbrauchs, wobei auch die saisonalen Besonderheiten dargebotsabhängiger Kraftwerke auf Basis erneuerbarer Energien berücksichtigt werden. Überschüssige Erzeugungskapazitäten der Elektrizitätsunternehmen werden an einer Börse angeboten, bzw. günstigere Kapazitäten zugekauft. Ergeben sich Engpässe im Übertragungsnetz, so werden diese mit Hilfe

of the power demand of end users with geographical breakdown (see figure 1).

In the nominal economic part of the model relevant European electricity utilities have been modelled including their balance sheets and income statements. The required data has been gathered in detailed investigations and has been integrated in a database which is the central element of the whole model and manages the basic data, calculations and simulation results.

Figure 2 (page 18) shows the flowchart of a simulation run. The simulation starts with the definition of the scenario parameters (market areas, fuel prices, demand growth rates, infrastructure projects,...). At the beginning of each simulated year a system adequacy analysis is performed to identify requirements for new power plants or lines. In the next step the energy balances for the peak and off-peak period of each month and the production costs of each unit are calculated, and fluctuating renewable energy sources are also considered. Additionally, a power exchange is simulated for the trade of electricity between the utilities. Congestions on transmission lines are handled by a power plant redispatch algorithm. With the resulting expenditures and revenues of the power plant operation, the income statement for each utility in the model can be calculated. The results of the calculations, like power plant dispatch, load flows, fuel consumption and carbon emissions of the utilities and development of the balance sheets, are depicted graphically, stored in the database and thus made available for interpretation and discussion.



Christoph Gutschi studierte an der TU Graz Verfahrenstechnik/Anlagentechnik und verfasste am IEE seine Dissertation zum Themengebiet „Interdisziplinäre Beiträge zur Effizienzsteigerung im Energiesystem durch Energiespeicherung und Kraft-Wärme-Kopplung“. Er ist derzeit wissenschaftlicher Assistent am IEE.

Christoph Gutschi studied process engineering at Graz University of Technology and wrote his dissertation on energy storage and CHP at the Institute of Electricity Economics. Currently he is engaged as research assistant and project manager at the Institute of Electricity Economics.

Abb. 1: Modellhafte Abbildung des realwirtschaftlichen europäischen Elektrizitätssystems in ATLANTIS.

Fig. 1: Schematic representation of the technical part of the European electricity system in the ATLANTIS model.



Udo Bachhiesl studierte an der TU Graz Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau im Studienzweig Energie- und Umwelttechnik, und verfasste seine Diplomarbeit zum Thema „Technoökonomische Analyse der Biomasse-Zufuehrung in Großkraftwerken“. Als einer der ersten Assistenten am IEE dissertierte er im Bereich der Energieinnovation und befindet sich derzeit im Habilitationsstadium.

Udo Bachhiesl studied mechanical engineering and business economics in the branch of energy and environmental technology at TU Graz and wrote his master's thesis "Techno-economic analysis of biomass co-combustion in large power plants". As one of the first research assistants at IEE he wrote his dissertation in the field of energy innovation and is now working on his habilitation.

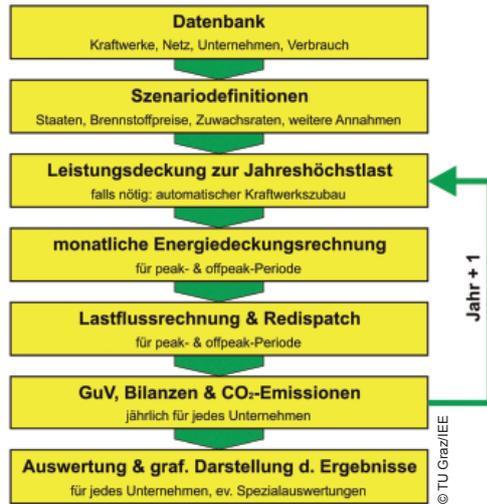


Abb. 2: Schematische Darstellung des Simulationsablaufes.

eines Kraftwerks-Redispatch aufgelöst. Die aus dem Kraftwerkseinsatz resultierenden Aufwendungen und Erträge werden in den Gewinn- und Verlustrechnungen der Erzeugungsunternehmen abgebildet. Die Ergebnisse wie beispielsweise Kraftwerkseinsatz, Lastflüsse, Brennstoffkosten und CO₂-Emissionen der Unternehmen, Entwicklung der Unternehmensbilanzen usw. werden abschließend grafisch dargestellt, als Szenario in der Datenbank gespeichert und stehen somit für Interpretationen und Diskussionen zur Verfügung. Mit ATLANTIS durchführbare Untersuchungen sind zum Beispiel die Entwicklung regionaler Strompreise, Quantifizierung des volkswirtschaftlichen Nutzens von Leitungs- und Kraftwerksbauten, Erfordernisse hinsichtlich Infrastrukturentwicklung, Szenarioanalysen für die Integration erneuerbarer Energien, Systemgrenzkosten erneuerbarer Energien, Stresstests zur Simulation von Energieverknappungen, Wirkungen von Power-Demand-Side-Management, Vorab-Analysen von verschiedenen Regulierungen und Marktorganisationen (z.B. neue Richtlinien, CO₂-Regelungen) und vieles andere mehr. Das Simulationsmodell ATLANTIS wurde entwickelt, um basierend auf Szenarioanalysen, wissenschaftlich fundierte Aussagen treffen zu können und mit diesem Erkenntnisgewinn einen entsprechenden Beitrag zur gedeihlichen Entwicklung der europäischen Energie- und Elektrizitätswirtschaft zu leisten.

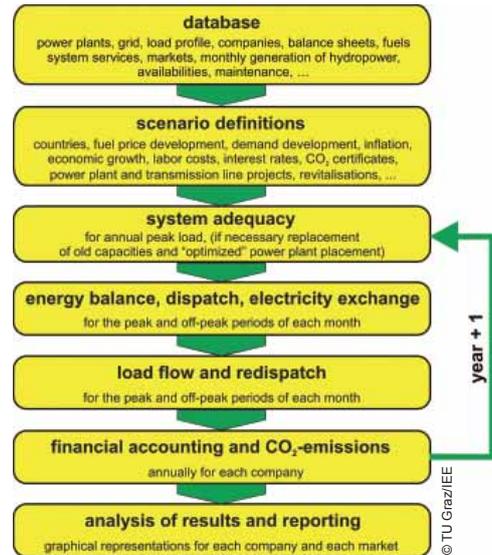


Fig. 2: Schematic flow chart of a simulation run.

ATLANTIS allows a wide variety of scientific investigations such as development of regional electricity prices, quantification of economic welfare due to new transmission lines and power plants, infrastructure development, scenarios for the integration of renewable energies, long run marginal costs of renewable energies, stress tests for fuel shortages, effects of power-demand-side-management, dry-run tests of different regulations and market design approaches (e.g. new directives, CO₂-policies) and many others more. The ATLANTIS simulation model has been developed in order to achieve scientifically founded conclusions, based on scenario analyses, and can be used to make a contribution to a prosperous development of the European energy and electricity industry.

Pflanzen-assoziierte Mikroorganismen

als mögliche Lösungen für die landwirtschaftliche Produktion weltweit

Plant-associated microorganisms

as potential solutions to problems in world agriculture

Gabriele Berg

Eine der wesentlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts ist eine umweltfreundliche und nachhaltige landwirtschaftliche Produktion. Nicht nur zur Sicherung des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln, sondern auch für nachwachsende Rohstoffe und Energielieferanten. Die derzeitigen Produktionsmethoden haben allerdings zu vielfachen Umwelt- und Gesundheitsproblemen geführt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, alternative Strategien für die Landwirtschaft zu entwickeln, die z.B. auf biologischen Prozessen und Interaktionen basieren.

Alle Pflanzenorgane, insbesondere der Wurzelraum, sind dicht mit Mikroorganismen besiedelt. Pflanzenassoziierte Mikroorganismen erfüllen wichtige Funktionen nicht nur für die Pflanze selbst, sondern auch für den Boden und das gesamte terrestrische Ökosystem. Diese umfassen das Pflanzenwachstum und die -gesundheit. Sie erhöhen die Stresstoleranz der Pflanzen, bewirken eine Resistenz gegenüber Krankheitserregern, erhöhen die Nährstoffverfügbarkeit und fördern die Biodiversität. Ein Anteil bis zu zwei Drittel der Mikroorganismen verfügt über positive Eigenschaften gegenüber der Wirtspflanze. Hierbei gibt es zwei generelle Möglichkeiten, diesen Anteil in landwirtschaftlichen Produktionssystemen zu fördern: 1) durch die Zugabe von organischen oder anorganischen Bodenhilfsstoffen und 2) durch den Einsatz pflanzenwachstums- und gesundheitsfördernder Mikroorganismen. Durch neue Forschungsergebnisse konnten die Wirksamkeit und die Effizienz von mikrobiellen Präparaten gesteigert und somit die Popularität und das Marktpotenzial erhöht werden.

In den letzten Jahren wurden innovative molekulare und mikroskopische Techniken entwickelt, die eine Untersuchung der gesamten Mikroorganismengemeinschaft ermöglichen. Im Gegensatz dazu konnten bis dahin nur max. drei Prozent der

One of the major challenges of the 21st century will be environmentally friendly and sustainable crop production. Enhanced production is necessary not only for sufficient food, but also for the production of renewable energy and basic compounds in industrial processes. Current agricultural production methods have contributed to a long list of environmental and health problems. Altogether, there is a growing demand for efficient, sound and biologically-based strategies in agriculture.

All parts of the plant, especially the root, are densely colonized by microbes. Plant-associated microorganisms fulfil important functions not only for plants but also for soil and the terrestrial ecosystem. This includes effects on plant health and growth; they enhance stress tolerance, provide disease resistance, aid nutrient availability and uptake, and promote biodiversity. Up to two thirds of microbial populations are known for their beneficial plant-microbe interaction. In general, there are two ways of promoting this potential: 1) by influencing the indigenous microbial communities, e.g. by organic or inorganic amendments, and 2) by applying autochthonous microorganisms as biocontrol or plant-growth promoting agents. In recent years, the popularity and market potential of microbial inoculants has increased substantially, while at the same time extensive and systematic research has enhanced their effectiveness and consistency.

During the last decade, new techniques based on molecular and microscopic techniques which allow the investigation of whole microbial communities have been developed. Up to the end of the last century only a very small part (up to 3%) could be analyzed by cultivation. Using these techniques, it is possible to analyse plant-associated microbial communities and to understand their structural and functional diversity. We



Gabriele Berg
war Heisenberg-Stipendiatin der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2003-2005). Seit 2005 Professorin für Biotechnologie und Leiterin des Instituts für Umweltbiotechnologie an der TU Graz. Forschungsschwerpunkte: Pflanzen-assoziierte Mikroorganismen und deren biotechnologische Nutzung.

Gabriele Berg
was recipient of the Heisenberg scholarship of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (2003-2005). Since 2005 Professor of Biotechnology and head of the Institute of Environmental Biotechnology at Graz University of Technology. Main field of research is on plant-associated microorganisms and applications in biotechnology.

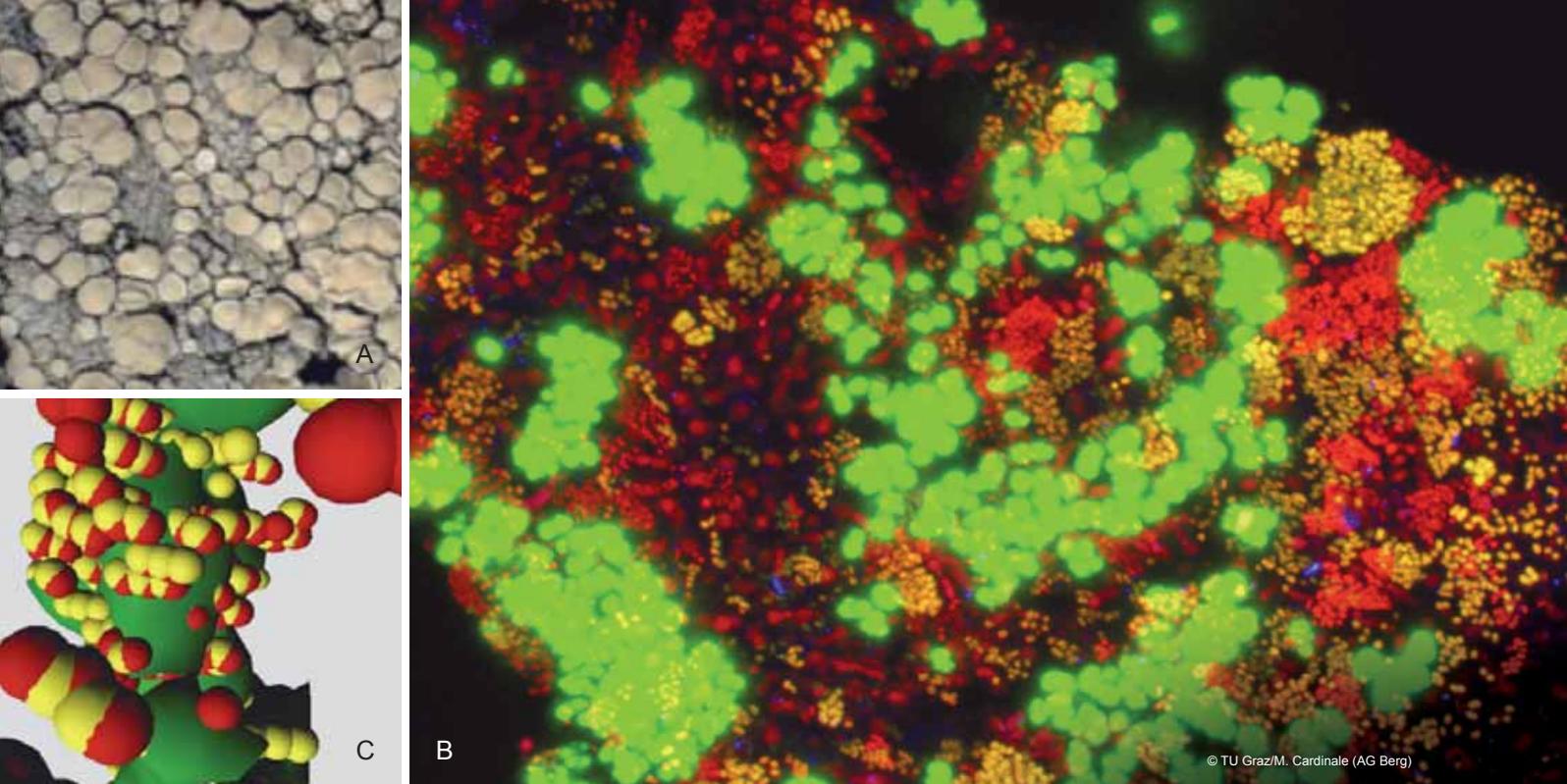


Abb. 1: Bakterien assoziiert mit der Flechte *Lecanora polytropa* (A), angefärbt mit molekularen Sonden in gelb und rot (B) zwischen grünen Algenzellen im konfokalen Lasermikroskop sowie 3-dimensionale Rekonstruktion des Konsortiums (C).

Fig. 1: Bacteria associated with the lichen *Lecanora polytropa* (A), visualized with molecular probes in yellow and red (B) between green algal cells in confocal laser scanning microscope, and 3-dimensional reconstruction of the consortium (C).

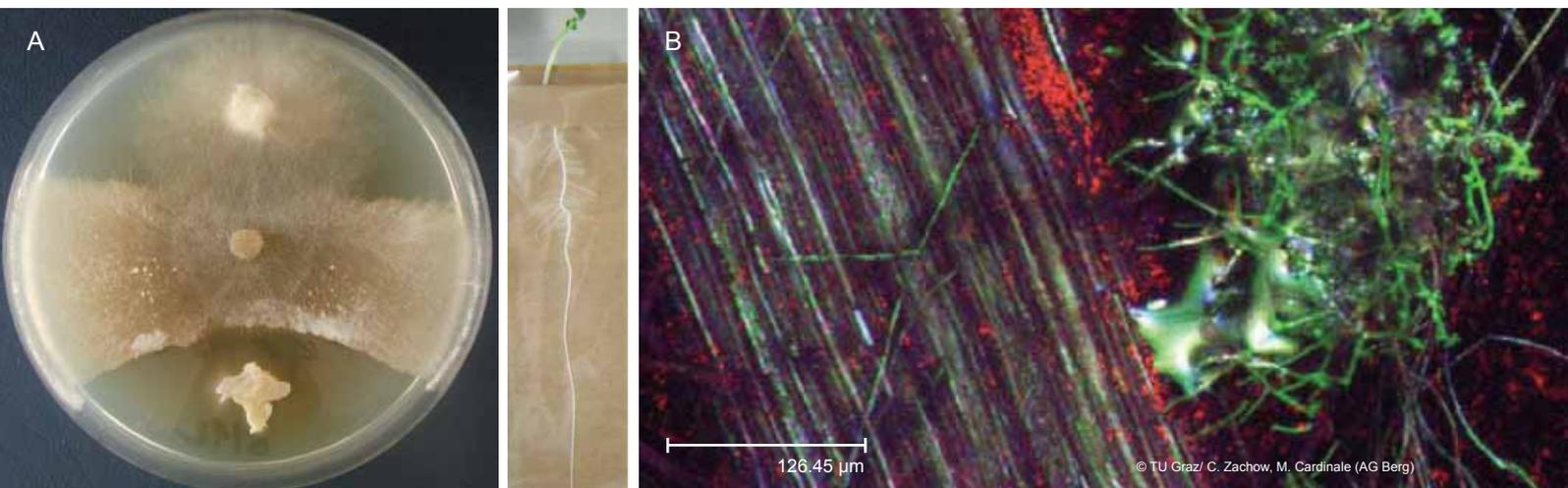
Mikroorganismen durch Kultivierung untersucht werden. Durch Nutzung dieser Techniken ist es nun möglich, pflanzenassoziierte Mikroorganismen hinsichtlich ihrer strukturellen und funktionellen Diversität zu verstehen. So konnten wir eine hohe Spezifität für Mikroorganismen jeder Pflanzenart feststellen, die hauptsächlich durch den pflanzlichen Sekundärstoffwechsel bedingt ist. Dieses Wissen hat große Auswirkungen auf Prozesse in der Landwirtschaft, denn jede Pflanze sollte hier als Einheit mit den assoziierten Mikroorganismen betrachtet werden, da Mikroorganismen stark an der Pflanzengesundheit und -qualität beteiligt sind. Weiters sollte die Pflanzenspezifität bei Fruchtfolgen, Mischkulturen und Pflanzenschutzstrategien Beachtung finden. Durch den Einsatz molekularer Techniken konnten auch neue Bioressourcen wie Moose und Flechten entdeckt werden: in der Abbildung 1 wurden die Flechten-assoziierten Mikroorganismen durch molekulare Sonden im konfokalen Laserscanning-Mikroskop sichtbar gemacht. Diese waren bis dato unbekannt. Flechten galten nur als Symbiosen zwischen Pilzen und Algen/Cyanobakterien.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschungsarbeiten ist die detaillierte Untersuchung spezifischer Pflanzen-Mikroorganismen-Interaktionen. Diese sind wichtig, um einerseits Strategien zu optimieren, die sich mit umweltbiotechnologischen Fragestellungen beschäftigen, andererseits dienen sie auch dem Auffinden neuer bioaktiver Substanzen wie Antibiotika, Enzyme und Osmoprotektiva.

discovered that plant-associated microbial communities show specificity for each plant species – mainly due to specific secondary metabolism. This has a broad impact on agricultural applications: it is important to consider the crop species in the context of their associated microorganisms since the latter fulfil important functions for plant growth, health and quality. This fact should be exploited in breeding strategies as it is in resistance against phytopathogenic microbes. Furthermore, the plant-dependent composition has to be considered in crop rotations, mixed cropping strategies, soil treatments and biocontrol strategies. Also for issues of nature conservation and biodiversity, it is important to recognize that plant-specific microbes exist.

In addition, using genomics techniques, novel microbial bio resources have been detected, for example in mosses and lichens. In Fig. 1, lichen-associated microbial communities were visualized by confocal laser scanning microscopy in combination with molecular probes. These communities were newly described; before, lichens were defined as symbiosis only between fungi and algae/cyanobacteria.

Another focus of our research is the detailed analysis of specific plant-microbe interactions. This is important in the optimization of biotechnological strategies for both the environment and agriculture as well as in detecting new bioactive substances (e.g. antibiotics, enzymes, osmoprotectants) which can be integrated in the latter.



Auf Basis positiver Effekte auf die Pflanze durch Mikroorganismen ist es möglich, mikrobielle Produkte zu entwickeln. Diese Produkte können, abhängig von ihrem Wirkmechanismus, als Biodüngemittel, Pflanzenstärkungsmittel oder biologische Pflanzenschutzmittel kategorisiert werden. In den letzten Jahren wurden von unserer Arbeitsgruppe ein biologisches Pflanzenschutzmittel gegen bodenbürtige Pathogene und zwei Pflanzenstärkungsmittel auf der Basis von *Bacillus subtilis* und *Pseudomonas trivialis* entwickelt. Zusammen mit anderen Arbeitsgruppen wurde ein Bakterium – *Pseudomonas extremorientalis* – zur Stärkung des Pflanzenwachstums in versalzten Böden selektiert. Aktuelle Projekte beschäftigen sich mit der Entwicklung von Schutzstrategien gegen die späte Rübenfäule (vgl. Abb. 2) und mit den Krankheiten des Steirischen Ölkürbisses. Ein weiteres Projekt ist die Verbesserung des Erdbeeraromas mit natürlich vorkommenden Mikroorganismen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass pflanzen-assoziierte Mikroorganismen und die Ausnutzung und Umsetzung ihrer positiven Interaktion mit der Wirtspflanze in biotechnologischen Strategien viel versprechende und umweltfreundliche Lösungen für die konventionelle als auch für die biologische Landwirtschaft weltweit bieten.

Based on these beneficial plant-microbe interactions, we develop microbial inoculants for biotechnological applications. Dependent on their mode of action and effects, these products can be used as biofertilizers, plant strengtheners and biopesticides. In the last decade, a product on the basis of the bacterium *Serratia plymuthica* against soil-borne diseases and two plant strengtheners based on *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas trivialis* have been developed. Together with other researchers, a bacterium – *Pseudomonas extremorientalis* – was selected for plant growth promotion in salinated soils. Current projects focus on the development of biocontrol strategies to protect sugar beets against late sugar beet rot (Fig. 2) and the Styrian pumpkin against serious pathogens. Furthermore, we are developing a project to improve the flavour of strawberries using naturally occurring microorganisms.

Altogether, the use of plant-associated microorganisms and the exploitation of beneficial plant-microbe interactions in biotechnology offer promising and environmentally friendly strategies for conventional and organic agriculture world-wide.

Abb. 2: Biologische Kontrolle der späten Rübenfäule: In vitro Antagonismus gegen das Pathogen *Rhizoctonia solani* (A: Mitte Pathogen) und Besiedlung der Wurzel durch zwei Antagonisten (B: rot *Pseudomonas*, grün *Trichoderma*).

Fig. 2: Biological control of late sugar beet root rot: in vitro antagonism towards the pathogen *Rhizoctonia solani* (A: in the centre pathogen), and colonisation by two antagonists (B: *Pseudomonas* in red and *Trichoderma* in green).

Nachhaltiges Bauen an der TU Graz

Sustainable Construction at Graz University of Technology

Peter Maydl



Peter Maydl

leitet das Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie.

Maydls Forschungsinteressen liegen im Bereich Nachhaltiges Bauen (u.a. ökologische Bewertung von Bauprodukten, Life Cycle Design, Lebensdauer von Bauprodukten, Dauerhaftigkeit von Mineralischen Baustoffen).

Peter Maydl

is head of the Institute of Testing and Technology of Building Materials (IMBT). His research interests lie in the field of sustainable construction (among others, ecological validation of building products, life cycle design, service life of building products, durability of mineral construction materials).

Nachhaltiges Bauen entwickelt sich zunehmend zu dem Megatrend für die Bauwirtschaft. Ein Paradigmenwechsel für den gesamten Bausektor: die ganzheitliche Betrachtung ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Aspekte über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Integrale Planung sowie die interdisziplinäre Erarbeitung von langfristig wirksamen und verträglichen Lösungen von Bauaufgaben stellen nicht nur neue Herausforderung für Forschung und Entwicklung, sondern auch für die Ausbildung künftiger Architekten und Bauingenieure dar.

Die TU Graz hat frühzeitig auf diese Entwicklung reagiert: So ist das Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie (IMBT) an der seit zwei Jahren jährlich an unterschiedlichen Standorten stattfindenden Sommerakademie „Nachhaltiges Bauen“ (in Kooperation mit der Universität Stuttgart, der ETH Zürich und der TU Delft) beteiligt. Ein postgradualer Lehrgang zu diesem Thema ist – neuerdings in Zusammenarbeit mit der TU Wien – in Vorbereitung. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Nachhaltiges Bauen“ wurden im Auftrag der Stein- und keramischen Industrie die Potentiale des Massivbaus in einer Machbarkeitsstudie untersucht, ebenso die Stärken und Schwächen der Stahlbauweise im Hochbau. Weiters wurden im Auftrag des Landes Steiermark Vorschläge für eine Ökologisierung der Wohnbauförderung erarbeitet.

Die Europäische Kommission setzt seit einigen Jahren starke Akzente, um nachhaltiges Wirtschaften auch im Bausektor zu forcieren. Neben einer Thematischen Strategie für städtische Umwelt wurde auch ein Mandat an das europäische Normungsinstitut CEN erteilt, ein europäisches Regelwerk zum Thema „Sustainability of Construction Works“ zu erarbeiten, das 2010/2011

Sustainable construction is increasingly establishing itself as the megatrend in the construction sector. Tantamount to a paradigm change for the entire construction sector, it consists essentially of the holistic consideration of ecological, economic and socio-cultural aspects throughout the life cycle. Integral planning as well as the interdisciplinary development of solutions of construction tasks that are both effective in the long term and compatible present a new challenge for research and development, but also for the training of future architects and civil engineers.

Graz University of Technology (TU Graz) responded to this development in time. For instance, the Institute of Testing and Technology of Building Materials (IMBT) participates in the “Sustainable Construction” summer academies which, starting two years ago, have been taking place every year at different sites and are organized in co-operation with the University of Stuttgart, the Swiss Federal Institute of Technology of Zurich and the Delft University of Technology. A post-graduate course about this subject – now also in co-operation with Vienna University of Technology – has already entered the preparatory stage. Within the framework of the research focus on “Sustainable Construction”, the potentials of solid construction were investigated in a feasibility study on behalf of the stone and ceramic industry, as were the strengths and weaknesses of steel structures in building construction. Furthermore, proposals were developed on behalf of the Styrian government to integrate a stronger ecological component in the area of housing subsidies.

The European Commission has been taking strong action for several years to promote sustainable practices in the construction sector, too. In addition to the adoption of a thematic strategy



fertiggestellt sein soll. Mit verschiedenen Begleitmaßnahmen wie z.B. der Lead-Market-Initiative „Sustainable Construction“ soll der Wettbewerb nicht nur in Planung und Errichtung von nachhaltigen Gebäuden, sondern auch unter den Erzeugern von Bauprodukten stimuliert werden.

Dieser Entwicklung kann sich auch die österreichische Baustoffindustrie nicht entziehen, weshalb unter aktiver Mitwirkung der TU Graz das Forschungsprogramm „Nachhaltigkeit – massiv“ gestartet wurde, das ca. 15 Einzelprojekte umfasst. Das IMBT untersucht unter anderem die ökologischen Transportrucksäcke von Bauprodukten und entwickelt ein Modell zur Abschätzung der Lebensdauer von Bauprodukten im Rahmen von lebenszyklusorientierten Nachhaltigkeitsbewertungen von Bauprodukten und Gebäuden.

Auch die Steiermärkische Landesregierung hat die Bedeutung dieses Themas frühzeitig erkannt und im Jahr 2006 das Strategieprogramm NBS, „Nachhaltig Bauen und Sanieren Steiermark 2015“, beschlossen. Mit Förderung durch den Zukunftsfonds des Landes Steiermark wurden vom IMBT Planungsleitlinien für die Phase der Projektentwicklung zur Anwendung auf geförderte Wohnbauvorhaben sowie auf den kommunalen Hochbau erarbeitet. Nachhaltiges Bauen hat aber nicht nur eine ökologische und ökonomische Dimension, für die entsprechende Technologien zu entwickeln sind. Es darf auch die soziokulturelle Dimension nicht zu kurz kommen, die nicht nur im Rahmen der Erhaltung des Gebäudebestandes Fragen zur Denkmalpflege und zur Altstadterhaltung berücksichtigen soll, sondern auch zeitgemäßer Architekturqualität einen angemessenen Stellenwert geben muss. Daher kommt einer kreativen Zusammenarbeit von Architekten und Bauingenieuren künftig eine noch viel stärkere Bedeutung zu. Diesem Trend wird durch die Landesbaudirektion Rechnung

for the urban environment, the European Standardization Institute CEN was requested to develop a body of rules and regulations regarding the “Sustainability of Construction Works”. This is to be completed by 2010/2011. With several accompanying measures such as the lead market initiative “Sustainable Construction”, it is intended to stimulate competition in the areas of planning and construction of sustainable buildings, but also among the manufacturers of construction products.

As this development will necessarily affect the Austrian construction materials industry, the research programme “Sustainability – solid”, which comprises approximately 15 individual projects, was started with the active participation of TU Graz. Among other activities, the IMBT investigates ecological transport backpacks for construction products and develops a model for the assessment of the service life of construction products within the framework of life cycle-oriented sustainability assessments of construction products and buildings.

The Styrian government has recognized the importance of this issue at a very early stage. In 2006, it adopted the so-called NBS strategy programme (in English: Sustainable Construction and Refurbishment Styria 2015). Supported by the ‘Future Fund’ of the provincial government of Styria, the IMBT elaborated planning guidelines for the project development phase for application to subsidised housing construction and municipal buildings. However, sustainable construction goes beyond the ecological and economic dimension for which appropriate technologies have to be developed. The socio-cultural dimension must not be neglected, either. It should not only consider issues related to the preservation of historical monuments and the old town as part of the protection and care of the existing stock of buildings,

*Abb. 1: Unsere Welt.
Wir haben nur eine!*

*Fig. 1: Our world.
It's the only one we've got!*

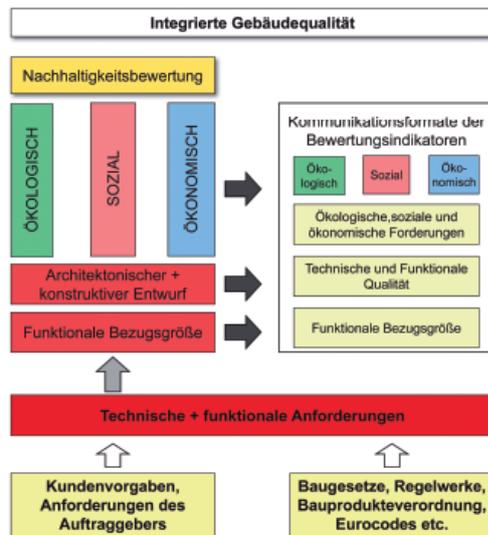


Abb. 2/ Fig. 2

© TU Graz/IMBT

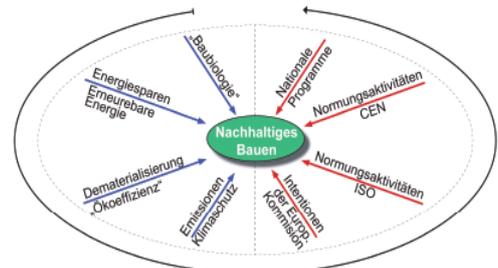


Abb. 3/ Fig. 3

© TU Graz/IMBT



Abb. 4/ Fig. 4

© TU Graz/IMBT

Abb.2: Schema der künftigen europäischen Gebäudebewertung.

Abb. 3: Stufen der Entwicklung zum nachhaltigen Bauen.

Abb.4: Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes.

Fig.2: Schematic diagram of the future European building valuation.

Fig. 3: Stages of development towards sustainable construction.

Fig.4: Phases in the life cycle of a building.

getragen: Die Aktivitäten des Baukultur-Reports und die genannte Strategie NBS sollen bis Jahresende zusammengeführt und umfassende Planungsleitlinien für den vom Land mitfinanzierten Hochbau geschaffen werden.

Daher kommt dem Field of Expertise „Design and Construction Science“, dem gemeinsamen Forschungsschwerpunkt der Fakultäten für Architektur und Bauingenieurwissenschaften, eine strategische Bedeutung zu. Zum Auftakt dieser neuen gemeinsamen Aktivitäten fand am 20. Mai 2009 ein gemeinsamer, international besetzter Workshop namens „Stadt statt Energie“ statt, in dem künftige Trends und der damit zusammenhängende Forschungsbedarf diskutiert wurden. Neue Akzente in der interdisziplinären Forschung wurden dadurch gesetzt. Dies stellt auch eine richtungsweisende Ergänzung für das von der TU Graz initiierte EIT-Energy-KIC im Rahmen des European Institute of Innovation and Technology dar. In dem vor über einem Jahr gestarteten Kompetenzzentrum „Multifunktionale Plug & Play Fassade“ (wiss. Leitung: Institut für Wärmetechnik) ist das IMBT für den Bereich „Nachhaltigkeit“ zuständig. Mit diesem k-Projekt wird ein weiterer Meilenstein gesetzt, die TU Graz auch im Baubereich zur „Graz University of Sustainable Technologies“ weiterzuentwickeln und sich im Bereich Forschung und Lehre im internationalen Wettbewerb an vorderster Stelle zu positionieren.

but must also give an appropriate value to quality in contemporary architecture. As a result, a creative co-operation of architects and civil engineers will be of much higher importance in the future. In line with this trend, the provincial building management will bundle the activities of the building culture report and the stated SCM strategy by the end of the year and create comprehensive planning guidelines for building construction projects co-financed by the provincial government. In view of this, the field of expertise “design and construction science” – the joint research focus of the Faculties of Architecture and Civil Engineering Sciences – acquires major strategic importance. To kick off these new joint activities, a joint international workshop with the title of “Town Instead of Energy” was celebrated on 20 May 2009. This workshop discussed future trends and the relevant research requirements in order to stimulate interdisciplinary research. This is also an important additional facet of the TU Graz-initiated EIT-Energy-KIC within the framework of the European Institute of Innovation and Technology. In the “Multifunctional Plug & Play Façade” competence centre (scientific lead: Institute of Thermal Engineering), initiated more than one year ago, the IMBT is responsible for the area of “sustainability”. This k-project marks a further milestone on the way to establishing TU Graz as the “Graz University of Sustainable Technologies” in the field of construction and helps to position it at the forefront of today’s internationally competing research and science institutions.

Landschaftstransformationen

Eine Frage der Nachhaltigkeit

Landscape Transformations

A Matter of Sustainability

Bianca M. Rinaldi

Es ist heute wohl kein Geheimnis mehr, dass Nahrungsmittel zu Treibhausgasemissionen und damit zur Klimaerwärmung beitragen. Der Einkauf und Konsum von exotischen Lebensmitteln oder nicht saisonalem Obst hat einen nicht unbeträchtlichen Einfluss auf den Klimawandel: Wird zum Beispiel ein Kilo Kirschen aus Argentinien nach Graz transportiert, bedeutet das einen Transportweg von ca. 12.000 Kilometern. Das Flugzeug verbraucht dafür ca. sechs Kilo Treibstoff, das entspricht wiederum einer CO₂-Emission von ca. 16 Kilo. Noch schlechter fällt die Bilanz aus, wenn ein Kilo Trauben von Chile per Flugzeug nach Graz transportiert wird: Die CO₂-Emissionen in die Atmosphäre betragen in diesem Fall ca. 17 Kilo.

Um den sich beschleunigenden Klimawandel einzudämmen und die CO₂-Emissionen zu verringern, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Nachhaltigkeitstheorien entwickelt. Eine der erfolgreichsten ist die „Hundred Mile Diet“, die auf den Konsum lokal produzierter Nahrungsmittel ausgerichtet ist, um die für den Transport benötigte Energie zu verringern.

Ökologisch nachhaltige Lösungen erfordern nicht nur neue und effiziente Technologien und die Entwicklung innovativer Produktionsstrategien, sondern auch die Schaffung von völlig neuen urbanen Formen. Worin könnte diese Umwandlung der urbanen Landschaft bestehen? Welche Rolle könnte Landschaft in der Gestaltung der modernen Stadt und im Schutz, der Erhaltung und Wiederherstellung der natürlichen Ressourcen spielen?

Die Gestaltung eines nachhaltigen urbanen Raums schafft produktive Landschaften, in denen Architektur, Landschaft, Städtebau und Ökologie im Streben nach Energie und Nahrung koexistieren und kooperieren. In diesem Zusammenhang wird Landnutzung zum zentralen Thema in der Stadtplanung. Die Vermeidung von unnötigen

That eating, too, contributes to global warming and to greenhouse gas emissions is no longer something new. Depending on food supply chains, eating non-seasonal or exotic food influences climate change. For instance, to transport 1 kg cherries from Argentina to Graz – that’s a distance of about 12,000 km – a plane burns approx. 6 kg petrol, corresponding to emissions of approx. 16 kg of CO₂. And even worse, shipping 1 kg grapes from Chile to Graz involves emissions of approx. 17 kg of CO₂ into the atmosphere.

In an attempt to curb the accelerated climate change, sustainability theories have been proposed during the past few years. Among those aiming at decreasing CO₂ emissions, the ‘Hundred Mile Diet’ gained immediate success. It is based on eating locally grown food as a way of reducing energy consumed during transport. Ecologically sustainable solutions require not only new and efficient technologies and the development of production strategies but also the creation of radically new urban forms. What could these transformations of the urban landscape consist of? What could be the role of landscape in shaping the contemporary city while protecting, sustaining, and restoring the natural resources?

The design of sustainable urban environments leads to the creation of productive landscapes, where architecture, landscape, urban design and ecology coexist and cooperate in the pursuit of energy and food. In this context, land-use management becomes a central issue in the design. If avoiding unnecessary transportation and distribution suggests, for instance, the idea of concentrating urban farms and orchards within the rural-urban fringe – they would lead to local food production, help redesign the fragmented periphery and could offer new possibilities for leisure activities – the productive function of landscape also considers aspects dealing with energy provi-



Bianca Maria Rinaldi ist seit Jänner 2009 Universitätsassistentin am Institut für Architektur und Landschaft. Ihre Forschungsaktivitäten fokussieren sich u.a. auf die Beziehungen zwischen Architektur und Landschaftsarchitektur.

Bianca Maria Rinaldi has been postdoctoral assistant at the Institute of Architecture and Landscape since January 2009. Her research interests include interrelations between architecture and landscape architecture.



Abb. 1/ Fig. 1

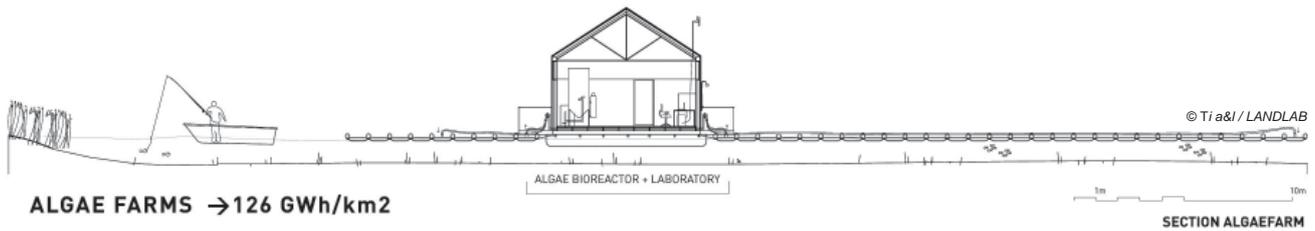


Abb. 1: Die Vision für die Landschaftstransformation der Lagune von Venedig (2007).

Abb. 2: Algenfarm: Algen werden für die Produktion von Biodiesel gezüchtet.

Abb. 3: Solarfarm: Muschel- und Krabbenkulturen wachsen dank Solarenergie.

Abb. 4: Solarfelder, Algenfarmen und Barena-Kristalle: die Elemente des Landschaftswandels.

Fig. 1: Vision for the landscape transformation of the Lagoon in Venice (2007).

Fig. 2: Algae farm, where algae are grown for the production of biodiesel.

Fig. 3: Solar farm, where mussels and crab cultures will develop thanks to the solar energy.

Fig 4: Solar fields, algae farms and barene crystals: the elements of the landscape change.

Transportwegen könnte beispielsweise zu einer Konzentration von urbanen Farmen und Obstbaubetrieben im ländlich-urbanen Randgebiet führen, was wiederum die heimische Nahrungsmittelproduktion sichern, die Neugestaltung stark fragmentierter Peripherien erleichtern und neue Möglichkeiten für Freizeitaktivitäten schaffen würde. Die produktive Funktion von Landschaft beinhaltet somit auch Aspekte der Energieversorgung und Nutzung von erneuerbaren Ressourcen. Das ideale Ziel ist es, autarke Landschaften zu schaffen, die in der Lage sind, die von ihnen benötigte Energie auch selbst zu produzieren.

Das Institut für Architektur und Landschaft (ia&l) der Technischen Universität Graz untersucht die Herausforderungen, die Planung und Bau einer nachhaltigen Stadt an zeitgemäße Architektur und Landschaft stellen. Seit zwei Jahren werden am ia&l sowie in Forschungsprojekten am LANDLAB, dem Forschungslabor des ia&l, alternative Methoden zu den klassischen Planungsszenarien gesucht. Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung neuer Gestaltungsmethoden für den urbanen Raum und fokussiert die Problematik der Nachhaltigkeit, der nachhaltigen Energieversorgung sowie der Nutzung erneuerbarer Energien. Studierende erarbeiten Gestaltungsprozesse für große, komplexe Gebiete, um Interaktionen zwischen Ökologie, Architektur und Landschaft zu untersuchen.

Das Projekt für die Lagune von Venedig (2007) ist ein Beispiel dafür, wie diese Interaktion neue Begriffe für die heutigen urbanen Herausforderungen

and the utilization of renewable sources. The ideal aim is the creation of self-sufficient landscapes, capable of generating by themselves the energy they require.

The Institute of Architecture and Landscape (ia&l) of Graz University of Technology explores the challenges of contemporary architecture and landscape in building the sustainable city. Looking for alternative approaches to the classical planning scenarios, design studios at the ia&l as well as research projects conducted at the LANDLAB (the ia&l's research laboratory – center of expertise), have been focusing in the past two years on the investigation of new design methods for the urban environment, concentrating on the problematics of the utilization of renewable resources, sustainable energy provision, and sustainability. Through a design process based on the development of design scenarios and on landscape development over time, students are working on large scale and complex sites exploring new interaction between ecology, architecture and landscape.

An example of how this interaction might suggest new possible vocabularies for contemporary urban challenges and landscape transformations is offered by the project for the Lagoon in Venice (2007).

Invoking the special qualities of the site and making use of existing biodiversities, dynamics and resources, the vision of the Lagoon archipelago aimed at creating a new productive landscape where natural processes, public life, human activity and technology interact.

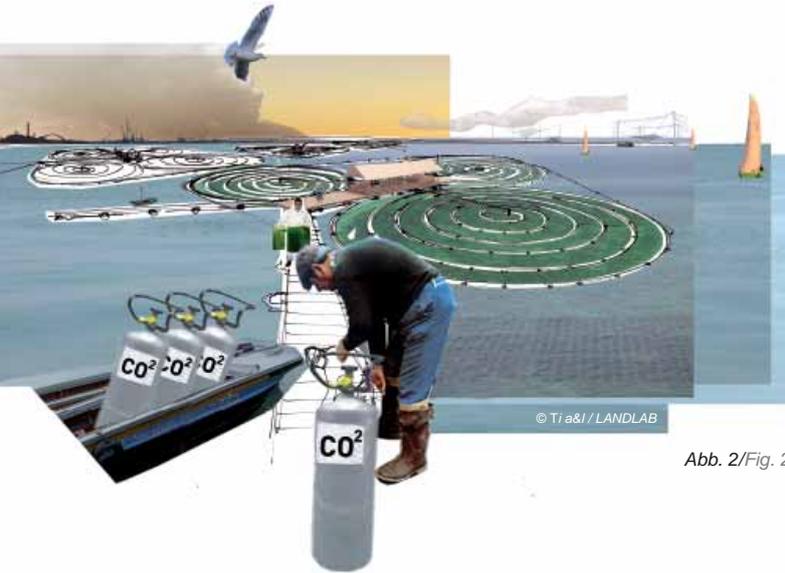
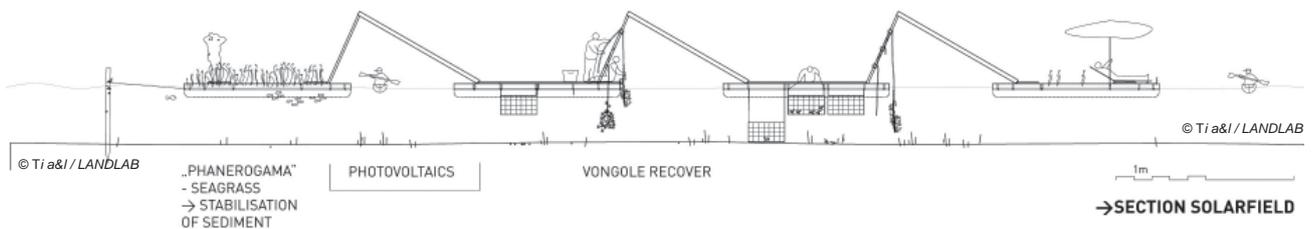


Abb. 2/ Fig. 2



Abb. 3/ Fig. 3



runen und Landschaftsumwandlungen schaffen könnte. Die Vision für die Lagune hatte die Schaffung einer neuen produktiven Landschaft zum Ziel, in der natürliche Prozesse, öffentliches Leben, menschliche Aktivitäten und Technologie interagieren, indem die besonderen Qualitäten der Inseln und die bestehende Artenvielfalt, Dynamik und Ressourcen genutzt werden.

Mit Algenfarmen wird ein zweifaches Ziel erreicht – die Algen nehmen CO₂ aus der Luft auf und werden darüber hinaus für die Produktion von Biodiesel genutzt. Solarfarmen produzieren als oberirdische Photovoltaikfelder die gesamte Energie für die Muschel- und Krabbenkulturen, die von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die Region sind. Barena-Kristalle, ein neues Verfahren zum Rückhalt von Sediment im Gezeitensystem, verstärken, schützen und erhalten die bestehende Kulturlandschaft und das Ökosystem der Salzwiesen (Barene), die einen wichtigen regulierenden Einfluss auf den Wasserstand der Lagune haben, jedoch durch die Klimaveränderungen stark gefährdet sind.

Mit umfassenden Aktivitäten, die sich an regional vorhandenem Wissen und Traditionen orientieren, zielt das Projekt auf die Umwandlung der Lagune in ein autarkes System, einen integrierten und stabilen Organismus ab. Das Ergebnis ist eine ökologisch funktionierende Landschaftsumwandlung, die als Prototyp für neue urbane Regionalsysteme dienen soll.

Through a system of Algae farms, the double goal is achieved of recycling CO₂ – essential for the algae to develop – and producing biodiesel with the algae as main ingredient. Solar farms functioning as photovoltaic fields on the surface generate the whole energy needed for mussels and crab cultures – very important for the regional economy. Barene-crystals, new devices to catch sediments within the tidal system, reinforce, protect and preserve the existing cultural landscape and ecosystem of the Barene, which is endangered by climate change, and have an essential regulatory effect on the water level of the lagoon.

The project aimed at transforming the lagoon into a self-sustaining system, an integrated and environmentally stable organism through a comprehensive program of activities applied to local knowledge and tradition. The result is an ecologically performing landscape transformation, intended as a prototype for new metropolitan regional systems.

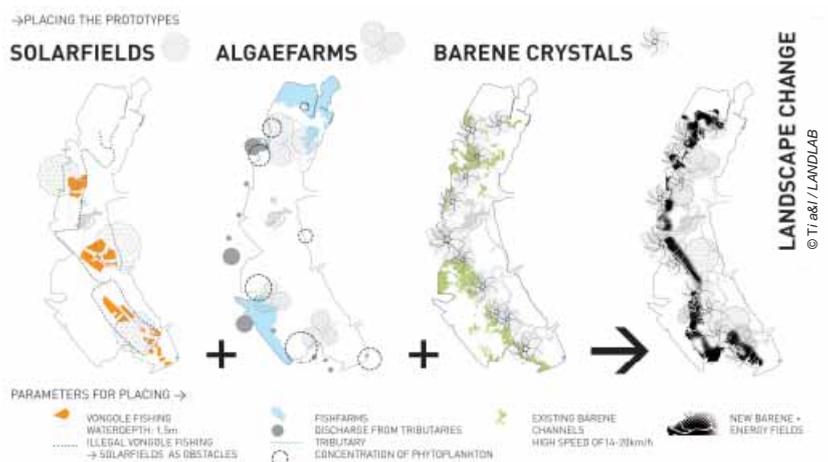


Abb. 4/ Fig. 4

Die Forschung an intelligenten Robotern

Warum sie manchmal die Erwartungen enttäuschen muss ...
... und langfristig doch erfolgreich sein wird

Research into intelligent robots

Why it cannot always live up to expectations ...
...but will be crowned with success in the long run

Gerald Steinbauer



Gerald Steinbauer ist am Institut für Softwaretechnologie der TU Graz beschäftigt und RoboCup-Koordinator für Österreich. Forschungsschwerpunkte: RoboCup, Robuste Intelligente Steuerung, Autonome Mobile Roboter, Cognitive Robotics.

Gerald Steinbauer is employed at the Institute of Software Engineering at Graz University of Technology and is the RoboCup co-ordinator for Austria. Chief research areas: RoboCup, robust intelligent control, autonomous mobile robots, cognitive robotics.

Forschung an intelligenten Robotern hat einen entscheidenden Vor- und Nachteil. Sie ist bis zu einem gewissen Grad äußerst sexy. Fast jeder kennt den vierbeinigen Roboter Aibo oder die Roboter Spirit und Opportunity, die seit Jahren auf dem Mars nach Spuren von Leben suchen. Oder kennen Sie ohne Suche mit Google das Forschungsgebiet der letzten Nobelpreisträger in Chemie?

Dass sich Forschung im Bereich Robotik einer breiten Öffentlichkeit leicht „verkaufen“ lässt, ist für die Forscher sicherlich ein Vorteil. Andererseits verleitet diese Leichtigkeit auch zur Oberflächlichkeit und verhindert manchmal ernsthafte und langfristige Grundlagenforschung, die manchmal eben nicht so sexy ist. Zusätzlich stimulieren solche oberflächlichen Präsentationen auch Erwartungen an die Forschung, die momentan nicht und später nur mit solider Grundlagenforschung erfüllt werden können. Dazu ein ernstes Beispiel aus der unmittelbaren Vergangenheit. Wir alle haben die Schreckensmeldungen des Einsturzes des Stadtarchivs in Köln gelesen. Es wurden - neben dem entstandenen erheblichen Sachschaden - unersetzbare Dokumente zerstört und der Vorfall kostete zwei Menschen das Leben. Was in den Medien nur am Rande Erwähnung fand, war, dass zwei renommierte Spezialisten für Such- und Rettungsroboter, Prof. Robin Murphy aus den USA und Prof. Satoshi Tadokoro aus Japan, mit ihren Robotern eingeflogen wurden, um bei der Suche und dem Sondieren der Lage behilflich zu sein. Der Vorteil des Einsatzes von solchen Robotern liegt klar auf der Hand. Zum einen müssen sich die Bergungsmannschaften zum Suchen nicht in die Gefahr einer instabilen Ruine begeben und zum anderen kann ein Roboter mit seiner Kamera in kleinste Hohlräume schauen, in die ein Retter oder auch ein Suchhund eventuell nicht mehr vordringen kann. Die Geschichte in Köln endete allerdings so, dass die Roboter

Research into intelligent robots has a pivotal advantage and disadvantage. Up to a certain point, it is very sexy. Nearly everyone knows Aibo, the four-legged robot, or the two robots called Spirit and Opportunity which have been searching for traces of life on Mars for years. Or are you the kind of person who knows the research field of the last Nobel Prize winner in chemistry without googling it?

The fact that research in robotics can be easily “sold” to a broad public is definitely an advantage for researchers. On the other hand, this easiness can also lead to superficiality and sometimes hinders serious and long-term not-so-sexy basic research. Such superficial presentations additionally stimulate expectations from research which cannot be fulfilled at the moment, nor even later without solid basic research. Let me give you a serious example from the recent past. We all read the shocking news story about the collapse of the Cologne City Archives. Apart from considerable damage to property, irreplaceable documents were destroyed and the whole incident cost the lives of two persons. But what was hardly mentioned in the media was that two renowned specialists for search and rescue robots, Prof. Robin Murphy from USA and Prof. Satoshi Tadokoro from Japan, were flown in along with their robots to help with searching and scanning the site. The advantage of missions with such robots is obvious. First, rescue teams do not have to enter unstable ruins to carry out their search; secondly, a robot and its camera can carry out searches in the smallest of cavities inaccessible to rescuers and search and rescue dogs. However, the story ended with the robots not actually being used in the mission. The remains of the City Archives were too difficult even for robots, and the brick dust was so compacted due to pressure and wetness as to preclude access to the cavities – even for a robot snake. For present-day rescue



© TU Graz/Bergmann

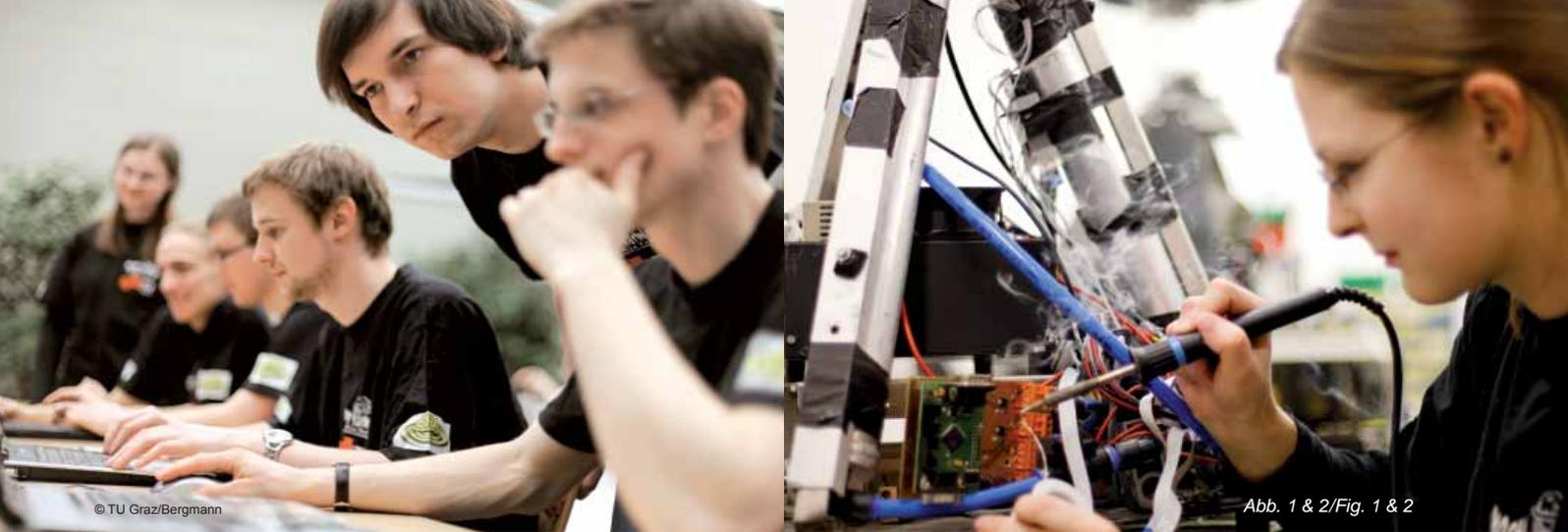
schlussendlich nicht zum Einsatz kamen. Die Ruine des Stadtarchivs war zu schwierig, um sie mit Robotern zu befahren, und der Ziegelstaub war durch Druck und Nässe so verdichtet, dass selbst für eine Roboterschlange der Zugang zu Hohlräumen unmöglich war. Hier erscheint es vorerst für Rettungskräfte unsinnig sich mit solchen (noch nicht praxistauglichen) Technologien zu beschäftigen, da die Erwartungen vorerst enttäuscht werden. Initiativen wie RoboCup Rescue arbeiten jedoch daran, allgemein anerkannte Testmethoden für Such- und Rettungsroboter zu entwickeln und stimulieren den Austausch von Ideen und Anforderungen zwischen den Rettungskräften und den Forschern. Dies ermöglicht eine solide langfristige Entwicklung. Zumindest können heute Einsatzkräfte mit ferngesteuerten Robotern schon verdächtige Pakete öffnen, ohne sich in die Gefahr von Giften oder Sprengstoff zu begeben.

Ein aktueller Trend in der Forschung an intelligenten Robotern ist die Arbeit an Humanoiden Robotern. Falsche Erwartungen werden hier von der menschenähnlichen Form zweibeiniger Roboter geweckt. Das vertraute Äußere und die bekannten Bewegungsmuster verleiten oft dazu, sensorische und kognitive Fähigkeiten von Menschen auf die Maschine zu projizieren. Dies führt zu überzogenen Erwartungen, die die Forschung momentan klarerweise noch nicht erfüllen kann. Andererseits würde aber auch niemand nur auf Grund eines sympathischen Äußeren von einem CD-Player erwarten, dass er Klavier spielen kann. Ein CD-Player bleibt was er ist. Nichtsdestotrotz ist die Beschäftigung mit dieser (neuen) Form von Robotern überaus sinnvoll und zukunftsweisend. Zum einen ermöglichen diese Roboter neue Formen der Mensch-Maschine Kommunikation und zum anderen bieten sie neue Möglichkeiten der Bewegung und der Interaktion mit Objekten, die Roboter in Zukunft zu wesentlich komplexeren Aufgaben befähigt.

teams, it seems useless to deal with such new (not yet practical) technologies since expectations will be disappointed for the time being. Initiatives such as RoboCup Rescue, however, work at developing generally recognised test methods for search and rescue robots and stimulate the exchange of ideas and requirements between rescue teams and researchers. This facilitates a solid, long-term development. At least today rescue teams can open suspicious packages using radio-controlled robots without exposing themselves to the dangers of poison or explosives.

A current trend in research into intelligent robots is work on humanoid robots; false expectations, however, are raised by the humanoid shape of two-legged robots. The familiar appearance and the known pattern of movement often tempt people to project sensory and cognitive capabilities of humans onto machines. This leads to excessive expectations, which obviously cannot yet be met by research. On the other hand, no-one would expect a CD-player to be able to play the piano just by virtue of its congenial looks. A CD-player remains what it is. Nevertheless, work with this (new) species of robots makes a lot of sense and is forward looking. First of all, these robots enable new forms of human-machine communication, and what's more, they offer new possibilities of movement and interaction with objects, enabling robots in the future to perform considerably more complex tasks.

It is nevertheless difficult for robotics researchers to fulfil both their own and others' expectations since their work is constantly compared to the highest-end product of evolution – humankind. Without being aware of it, much of what we perform in our daily lives is at the moment almost impossible to achieve for a machine like a robot. Even primitive animals are far superior to current robot systems. And it is here, in my opinion, where the biggest stumbling blocks in robotics lie, as well as the greatest potential for basic research.



© TU Graz/Bergmann

Abb. 1 & 2/ Fig. 1 & 2

Abb. 1 & 2: Schrauben, löten, programmieren: Vorarbeiten für den Wettkampf im RoboCup-Labor der TU Graz.

Abb. 3: Der vierbeinige Roboter Aibo beim Robocup. Mit dem Aibo leistete Sony Pioneerarbeit für die Einführung von Robotern in Haushalten.

Abb. 4: Mars Exploration Rover (MER) der Nasa bei der automatischen Erkundung unseres Nachbarplaneten.

Fig. 1 & 2: Bolting, soldering and programming: preliminary work for the championship in the RoboCup lab of TU.

Fig. 3: Aibo the four-legged robot at the RoboCup. In the shape of Aibo, Sony did pioneer work for introducing robots into the household.

Fig. 4: NASA's Mars Exploration Rover (MER) automatically reconnoitring our planetary neighbour.

Für die Robotikforscher ist es auch deshalb schwierig, die eigenen oder die Erwartungen anderer zu erfüllen, da ihre Arbeit stets mit dem High-End Produkt der Evolution verglichen wird – dem Menschen. Vieles, das wir im täglichen Leben leisten, ohne dass es uns eigentlich bewusst wird, ist für eine Maschine wie einen Roboter momentan fast unmöglich zu leisten. Selbst primitive Tiere sind den aktuellen Robotersystemen noch bei weitem überlegen. Und hier liegen meiner Meinung nach auch einerseits die größten Stolpersteine der Robotik, andererseits auch die größten Potentiale für seriöse Grundlagenforschung. Wahrnehmung und Kognition gelingt uns scheinbar mühelos. Für uns ist es ein Leichtes, uns in einen vollkommen unbekanntem Raum zu begeben und mit einem Blick die Objekte im Raum, deren Funktion und Zusammenhänge zu erkennen. Dass ein Objekt ein Tisch ist, dass ein anderes Objekt ein Glas ist und dass, wenn ich das zweite auf das erste stelle, dieses nicht zu Boden fällt, ist uns im Bruchteil einer Sekunde vollkommen klar. Für einen Roboter, der seine Umgebung durch Sensoren wie Kameras wahrnimmt, ist es momentan fast unmöglich eine Szene vollkommen zu verstehen, noch allgemeine Schlüsse daraus zu ziehen. Für uns ist es eine Welt voller Objekte mit bestimmten Eigenschaften und Relationen. Für einen Roboter ist es eine Welt mit Zahlenreihen, Farbflächen oder geometrischen Figuren. Ich bin überzeugt, dass wir die technischen Probleme der Roboter, wie Leistungsfähigkeit von Batterien und Rechnern und stabiles Gehen, in den nächsten Jahren relativ leicht lösen können. An den sensorischen und kognitiven Fähigkeiten, die es uns erlauben wirklich zuverlässige und intelligente Roboter zu bauen (die uns vielleicht in fernerer Zukunft den Geschirrspüler einräumen), werden wir noch länger kauen und so manche Erwartung – vorerst noch – enttäuschen müssen.

We manage perception and cognition seemingly effortlessly. For us it is a simple thing to go into a completely unknown space and with one glance to recognise the objects in the room, their uses and their interconnections. That one object is a table and that another object is a glass, and that if I place the second object on top of the first, it will not fall to the ground, is obvious to us in a fraction of a second. For a robot that perceives its surroundings by means of camera-like sensors, it is nearly impossible to completely comprehend such a scene at present, nor to draw general conclusions from it. For us, it is a world full of objects with particular features and relations. For a robot, it is a world with columns of numbers, colour spots and geometrical figures. I'm convinced that we will solve the engineering problems of robots, such as the operating efficiency of batteries and computers and stable ambulation, relatively easily in the next few years. Figuring out the sensory and cognitive capabilities, however, which will allow really reliable robots to be built (the ones which in the more distant future will perhaps load the dishwasher), will take much longer. Thus we cannot deliver on some expectations at least for the time being.

Due to its dedication to the RoboCup, Graz University of Technology is very well positioned in the research into intelligent robots. It uses the platform of the RoboCup skilfully for both serious basic research and high-class teaching. This dedication will be crowned this year by the city of Graz being host to the RoboCup 2009. The Styrian capital will be transformed into the international hub of robotics research for one week in July. Here, too, one robot or another may well be a disappointment, yet it will – ultimately – stimulate a long-term vision of research.



Abb. 3/Fig. 3

© TU Graz



Abb. 4/Fig. 4

© NASA Jet Propulsion Laboratory

Die Technische Universität Graz ist in der Forschung an intelligenten Robotern durch ihr Engagement im RoboCup sehr gut aufgestellt. Sie nutzt die Plattform RoboCup geschickt für seriöse Grundlagenforschung wie auch für hochklassige Lehre. Gekrönt wird dieses Engagement heuer durch die Ausrichtung des RoboCup 2009 in Graz, der die steirische Landeshauptstadt im Juli für eine Woche zum internationalen Nabel der Robotikforschung macht. Auch hier wird der eine oder andere Roboter so manche Erwartung enttäuschen, aber schlussendlich über eine langfristige Vision die Forschung stimulieren.

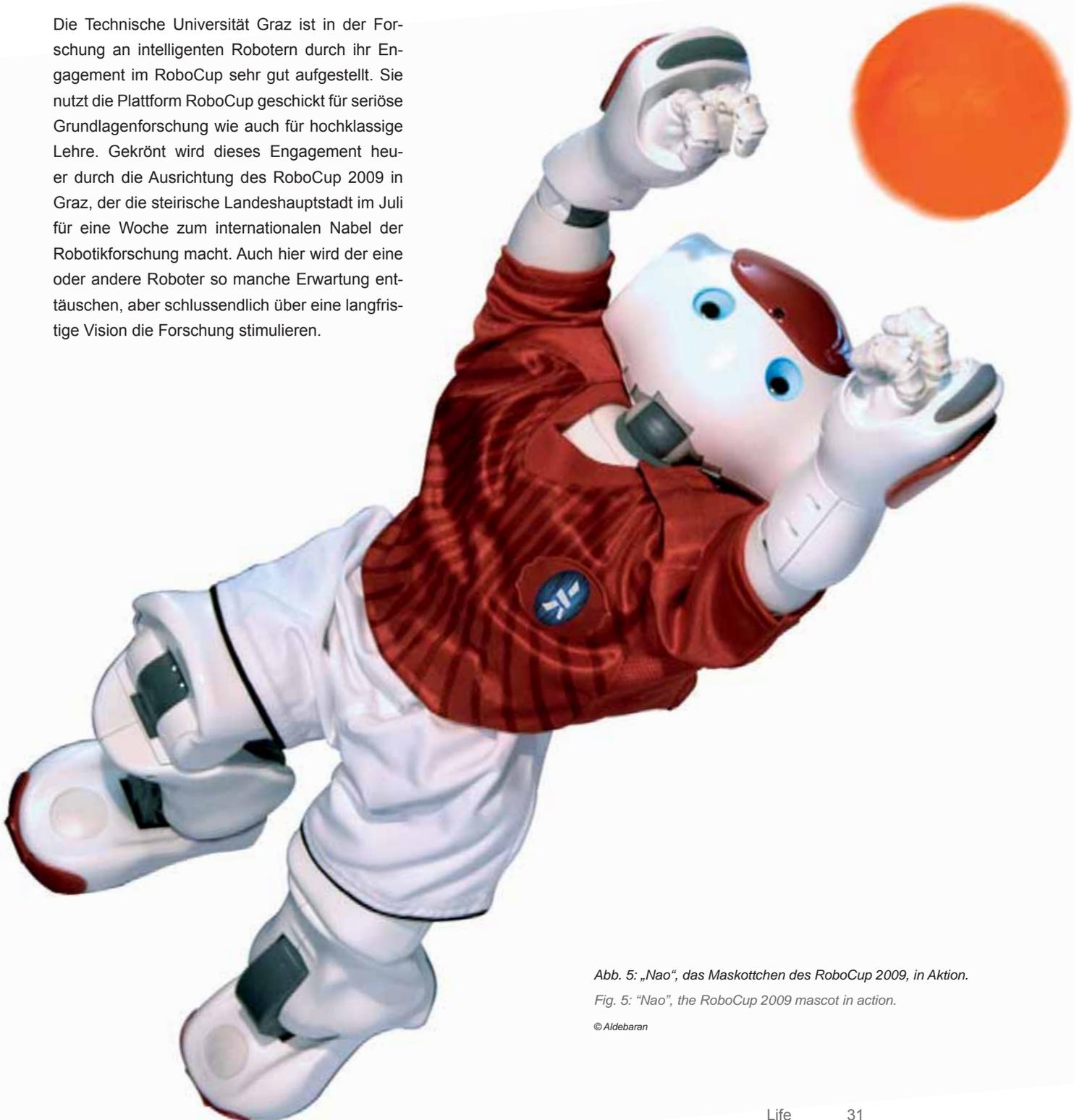


Abb. 5: „Nao“, das Maskottchen des RoboCup 2009, in Aktion.

Fig. 5: “Nao”, the RoboCup 2009 mascot in action.

© Aldebaran

Wissenschaftliche Kooperation

NIH-Projekt in der Biomechanik an der TU Graz

Scientific Cooperation

NIH-Project in Biomechanics at Graz University of Technology

Gerhard A. Holzapfel



Gerhard A. Holzapfel ist Professor für Biomechanik an der TU Graz, Adjunct Professor am Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm, und Gastprofessor an der University of Glasgow. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen mitunter die experimentelle und numerische Biomechanik; Analysen von Wachstum und Remodellierung; Arterienmechanik (atherosklerotische Läsionen, Aneurysmen).

Gerhard A. Holzapfel is Professor of Biomechanics at TU Graz, Adjunct Professor at the Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm, and Visiting Professor at the University of Glasgow. The focus of his research embraces experimental and computational biomechanics; analyses of growth and remodeling; arterial mechanics (atherosclerotic plaques, aneurysms).

Zu Johann Wolfgang von Goethes Zeiten war der Netzwerkgedanke in den Wissenschaften nicht relevant: Einzelkämpfertum prägte den Forscheralltag. Zusammenarbeit und Vernetzung der Wissenschaften sind heute eine Notwendigkeit geworden, um interdisziplinäre Fragestellungen zu beantworten. Mit diesem Hintergrund hat ein vierjähriges Forschungsprojekt des amerikanischen National Institutes of Health (NIH) mit Beteiligung der TU Graz zum Ziel, das Wachstumsverhalten von Aneurysmen in der Bauchaorta zu klären.

Thomas Young (1773-1829) wird als "Der letzte Mann, der alles wußte" bezeichnet¹. Er war ein Universalgelehrter, der bewies, dass Newton irrtete, der erklärte, wie das Sehen zustande kommt, der mit Champollion den Stein von Rosetta entzifferte und der nicht zuletzt biologische Experimente in der mathematischen Physik einführte, um physiologische und pathologische Vorgänge besser zu verstehen (siehe Abbildung 1). Schließlich geht auch der Elastizitätsmodul ("Young's modulus" auf Englisch) auf ihn zurück: ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der jedem Studenten der Ingenieurwissenschaften bekannt ist. Young war quasi Forschungskoooperation in sich selbst.

Etwa 200 Jahre später leben wir im Zeitalter der Vernetzung und der Globalisierung, in dem der einzelne Mensch wenig vermag. Thomas Young hätte es in unserer heutigen Spezialisierung wahrscheinlich nicht leicht gehabt. Die Wissenschaft von heute sucht, gerade wegen dieser Spezialisierung, Interdisziplinarität, in der die Zusammenarbeit der Spezialisten das gegenseitige Weiterkommen fördert und dies gilt besonders für die technischen Wissenschaften. Mit Zusammenarbeit meine ich hier sowohl Kooperation zwischen Forschungseinheiten verschiedener Universitäten, national und international, als auch innerhalb einer interdisziplinären For-

At the time of Johann W. von Goethe, network thinking was not relevant in science; an individual fighting spirit characterized the everyday life of a scientist. Cooperation in engineering science has become a necessity today in order to provide answers to interdisciplinary issues. Against this background, a four-year research project of the American National Institutes of Health (NIH) with the participation of Graz University of Technology (TU Graz) has been started, with the aim of understanding issues of abdominal aortic aneurysm growth.

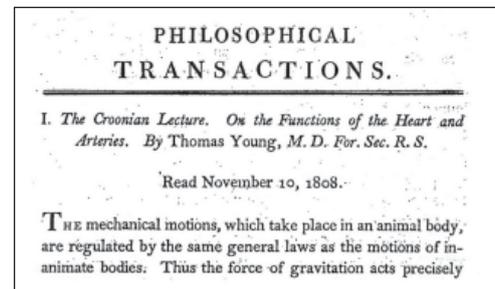


Abb. 1/ Fig. 1

Thomas Young (1773-1829) is called as "The Last Man Who Knew Everything"¹. He was a polymath who proved Newton wrong, explained how we see, deciphered the Rosetta Stone together with Champollion, and recognized the importance of combining mathematical physics with biological experiments to better understand physiological and pathological processes (see Figure 1). He was also the person who developed the Young's modulus, a material parameter in materials science named after him and known by every student of engineering science. Quite literally, Young's research cooperation was with himself.

About 200 years later we are living in a period of networking and globalization, in which a single person may achieve very little by himself. Thomas Young probably would not have found it very easy in our present degree of specialization. Today's



© TU Graz/Bergmann

schungsgruppe "im eigenen Haus" sozusagen. Robert S. Langer, Pionier der Gewebezüchtung am Massachusetts Institute of Technology und Preisträger des 2002 Charles Stark Draper Prize (gilt als der Nobelpreis der Ingenieurwissenschaften), ist wahrscheinlich das beste Beispiel für den Erfolg einer kooperativen Bemühung in einer technischen Disziplin. Langer hat sein eigenes Forschungsinstitut aufgebaut, in dem Ingenieure mit Ärzten, Mathematikern, Genetikern, Materialwissenschaftlern, Zellbiologen, Chemikern und Physikern sehr erfolgreich zusammenarbeiten³. Die internationale Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung erweitert die Arbeit jeder Technischen Universität, die sich den globalen Herausforderungen der heutigen komplexen Welt stellt. Diese Zusammenarbeit wird durch die elektronischen Medien sehr vereinfacht. Unsere Technische Universität Graz kooperiert erfolgreich in Forschung und Lehre mit zahlreichen Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Firmen. Die TU Graz zeichnet sich durch zahlreiche akademische Kooperationsabkommen, strategische Partnerschaften und durch aktive Präsenz auf beinahe allen Kontinenten aus⁴. Ein aktuelles Beispiel einer internationalen Forschungsk Kooperation der TU Graz mit amerikanischen Universitäten ist ein vierjähriges NIH-Projekt (NIH ist eine Behörde des US Departments of Health and Human Services), das am 1. März 2009 startete und sich dem Thema "Biomechanical Simulation of Evolving Aortic Aneurysms for Designing Intervention" widmet. Kooperationspartner an der TU Graz ist das Institut für Biomechanik. Neben der TU Graz sind die Stanford University (Prof. CA Taylor, Department of Bioengineering), die University of Pittsburgh (Prof. DA Vorp, Center for Vascular Remodeling and Regeneration) und die Texas A&M University (Prof. JD Humphrey, Department of Biomedical Engineering) beteiligt, siehe Abbildung 3 (Seite 35).

science seeks an interdisciplinary approach precisely because of this specialization; an interdisciplinary approach in which the cooperation of experts promotes reciprocal advances, and this particularly holds true for engineering sciences. By cooperation I mean here both, cooperation between research units of different universities, national and international, and within an in-house interdisciplinary research group. Robert S. Langer, pioneer of tissue engineering at the Massachusetts Institute of Technology and laureate of the 2002 Charles Stark Draper Prize (considered as the Nobel Prize of engineering science), is probably the best example of the success of a cooperative endeavor in a technical discipline. Langer set up his own research institute, where engineers with medical doctors, mathematicians, geneticists, materials scientists, cell biologists, chemists and physicists are working together very successfully³. International cooperation in research and development enhances the work at every university of technology that is willing to face the global challenges of today's complex world. This cooperation is greatly facilitated by electronic communication. Graz University of Technology successfully cooperates in research and teaching with several universities, extramural research facilities and companies. TU Graz has numerous academic cooperation agreements and strategic partnerships and an active presence on nearly all continents⁴. A very recent example of an international research cooperation of Graz University of Technology with American Universities is a four-year NIH-Project (NIH is an authority of the US Departments of Health and Human Services). The project commenced on March 1st this year and investigates the topic "Biomechanical Simulation of Evolving Aortic Aneurysms for Designing Intervention". The cooperation partner at TU Graz is the Institute of Biomechanics. Apart from TU Graz, Stanford

Abb. 1: Thomas Young (1773-1829) war der "letzte Universalgelehrte", der die Wichtigkeit biologischer Experimente in der mathematischen Physik erkannte. Er war ein wissenschaftlicher Einzelkämpfer der die legendäre "Croonian Lecture. On the functions of the heart and arteries"² in den Philosophical Transactions publizierte, die älteste englischsprachige Fachzeitschrift der Welt.

Fig. 1: Thomas Young (1773-1829) was the "last polymath" who recognized the importance of biological experiments in mathematical physics. He was a scientific lone fighter who published the legendary "Croonian Lecture. On the functions of the heart and arteries"² in the Philosophical Transactions, the oldest scientific journal printed in the English-speaking world.

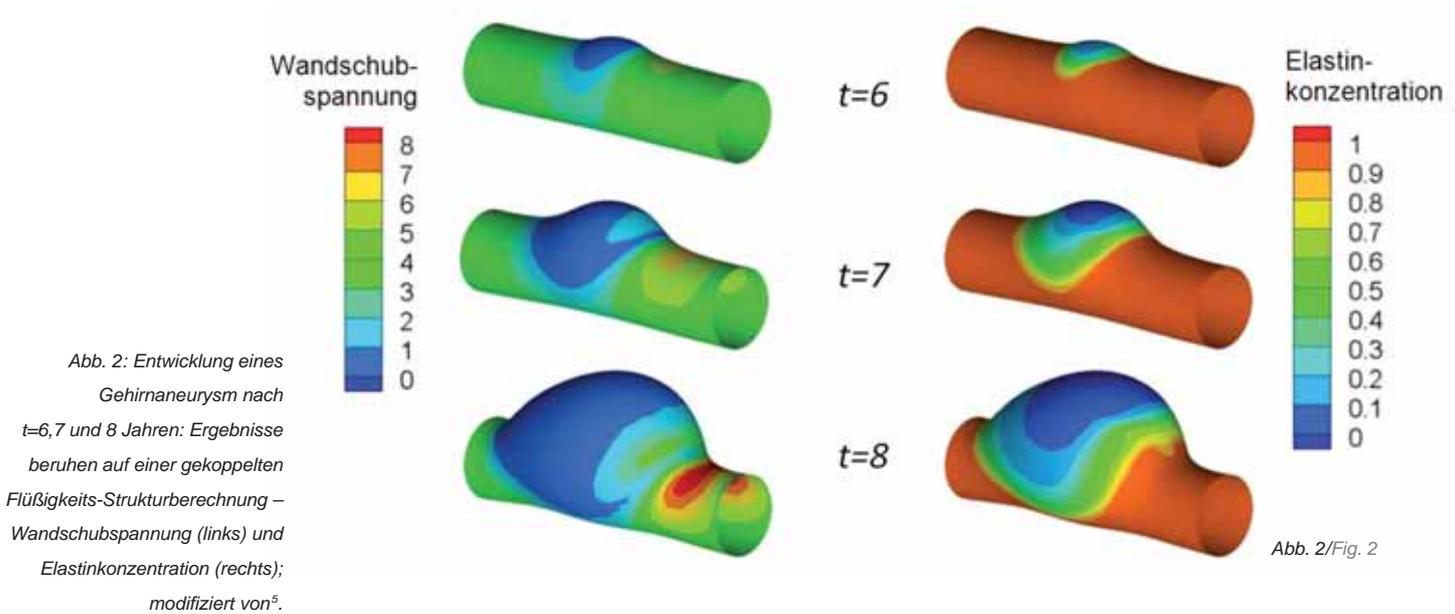


Abb. 2: Entwicklung eines Gehirnaneurysm nach $t=6,7$ und 8 Jahren: Ergebnisse beruhen auf einer gekoppelten Flüssigkeits-Strukturberechnung – Wandschubspannung (links) und Elastinkonzentration (rechts); modifiziert von⁵.

Abb. 2/ Fig. 2

Abb. 3: NIH-Projekt an der TU Graz mit dem Thema "Biomechanical Simulation of Evolving Aortic Aneurysms for Designing Intervention". Beteiligte Partner sind die Stanford University, TU Graz, University of Pittsburgh und Texas A&M University.

Fig.2: Development of a cerebral aneurysm after $t=6,7$ and 8 years: results are based on a coupled fluid-structure simulation – wall shear stress (left) and elastin concentration (right); modified from⁵.

Fig.3: NIH-Project at TU Graz on the topic "Biomechanical Simulation of Evolving Aortic Aneurysms for Designing Intervention". Participating partners are from Stanford University, TU Graz, University of Pittsburgh and Texas A&M University.

Ziele dieses Forschungsprojektes sind unter anderem die Rupturgefahr von Bauchaortenaneurysmen und ihr Verhalten bei chirurgischen Eingriffen besser einzuschätzen. Es ist allgemein bekannt, dass es durchaus mechanische Faktoren sind, die eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Bauchaortenaneurysmen und deren Reaktionen auf Behandlung spielen. Das Projekt kombiniert erstmals verschiedene Protagonisten, die an der Entstehung und Entwicklung eines Aneurysmas beteiligt sind: die Arterienwand (TU Graz), den Blutstrom (Stanford), das Wachstum und die Remodellierung (Texas A&M) sowie das 3D Blutgefäßsystem, abgebildet durch realistische anatomische Modelle (Pittsburgh). Jede beteiligte Forschungseinheit hat langjährige Erfahrung und Expertise auf dem zu bearbeitenden Gebiet, was ein entscheidender Punkt ist, um die Zielsetzungen zu erreichen. Das Projekt soll auch als Grundlage für eine neue Generation von Berechnungsmodulen dienen, um verschiedene kardiovaskuläre Erkrankungen besser zu verstehen und interventionelle Therapievorhaben zu planen, wie z.B: die Behandlung von atherosklerotischen Arterien, chirurgische Wiederherstellung bei Aortenisthmusstenose und Lungenhochdruck, Entwicklung von geeigneten Bypassgeometrien, Herzkammerschrittmachern, Gewebersatz durch tissue engineering und endovaskuläre Behandlung von Gehirnaneurysmen. Abbildung 2 zeigt neue Simulationsergebnisse der Vergrößerung eines Gehirnaneurysmas nach sechs bis acht Jahren mit der Verteilung

University (Prof. CA Taylor, Department of Biomechanical Engineering), the University of Pittsburgh (Prof. DA Vorp, Center for Vascular Remodeling and Regeneration) and the Texas A&M University (Prof. JD Humphrey, Department of Biomedical Engineering) are also involved, see Figure 3 (page 34). One aim of this research project is the advancement of our ability to predict better the rupture-potential of evolving abdominal aortic aneurysms and eventually their responses to interventions. It is generally agreed that mechanical factors play key roles in the history of abdominal aortic aneurysms and their response to treatment. This project combines different aspects involved in the formation and development of aneurysms for the first time: the aortic wall (TU Graz), the blood flow (Stanford), the growth and remodeling (Texas A&M) and the three-dimensional reconstruction of the vasculature with realistic models (Pittsburgh). Each research unit involved has long-standing experience and expertise in the area of research for which they are responsible, which is an essential ingredient for a successful outcome of the project. The project should also serve as a basis for developing a new generation of computational tools that will help advance understanding of the diverse cardiovascular pathologies and inform the design of interventional strategies: these include, for example, treatment of atherosclerotic arteries, surgical repair of aortic coarctations and pulmonary hypertension, endovascular treatment of cerebral aneurysms, design of appropriate bypass geometries, left ventricular assist devices,

von Wandschubspannung (links) und Elastinkonzentration (rechts). Dieses Projekt soll entscheidend zu den Zielen des NIH National Center SIMBIOS beitragen⁶. SIMBIOS wurde an der Stanford University eingerichtet und ist ein Teil der NIH Initiative, eine Infrastruktur für biomedizinische Berechnungen zu entwickeln (jährliches NIH Budget: 29 Mrd. US-\$; das sind ca. 28% der gesamten Ausgaben für biomedizinische Forschung in den USA). Dieses NIH Center entwickelt Simulationen biologischer Strukturen (SIMBIOS) und Funktionen unter Verwendung von physikalischer und mathematischer Modellierung vom Atom zum Gewebe bis hin zum Organismus.

tissue engineered constructs, and endovascular treatment of cerebral aneurysms. Figure 2 shows novel simulation results of the development of a cerebral aneurysm after 6-8 years showing distributions of wall shear stress (left) and concentration of elastin (right). This project will also contribute to goals of the NIH National Center SIMBIOS⁶, which was established at Stanford University as a part of the NIH effort to develop a national infrastructure for biomedical computation (annual NIH Budget: US \$ 29 billion, i.e. about 28% of the whole expenditure in the US for biomedical research). This NIH Center develops simulations of biological structures (Simbios) and functions by means of physical and mathematical modeling from the atom to the tissue to the point of the organism.

Literatur/References:

¹ A. Robinson: *The Last Man Who Knew Everything*. New York: Pi Press, 2006.

² T. Young: *The Croonian Lecture: on the functions of the heart and arteries*. Philos. T. Roy. Soc. Lond., 99:1-31, 1809.

³ H. Pearson: *Being Bob Langer*. Nature, 458(7234):22-24, 2009.

⁴ http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU_Graz/Internationales

⁵ PN Watton, NB Raberger, GA Holzapfel, Y Ventikos. *Coupling the hemodynamic environment to the growth of cerebral aneurysms: computational framework and numerical examples*. J. Biomed. Eng., to appear.

⁶ <http://simbios.stanford.edu/>



Abb. 3/ Fig. 3

© G. A. Holzapfel

Forschungsgeleitete Lehre als Erfolgsfaktor für Innovationen

Research-guided teaching as a basis for success in innovation

Lothar Fickert



Lothar Fickert ist Leiter des Instituts für Elektrische Anlagen. Das Institut beschäftigt sich u. a. mit Aufgaben der Planung und des Betriebes elektrischer Energiesysteme, der Versorgungssicherheit und Power Quality, der Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen sowie schutztechnischen Fragestellungen in Energieversorgungsnetzen.

Lothar Fickert is head of the Institute of Electrical Power Systems (IFEA). Among other fields, the institute deals with tasks relating to planning and operating electrical power systems, security of supply and power quality, integration of decentralized power generation and technical protection issues in electrical supply networks.

Im Februar 2009 wurden in Anwesenheit von Wissenschaftsminister Johannes Hahn in Wien die Siegerprojekte des PRIZE-Erfinderwettbewerbs prämiert. Ein wesentliches Kriterium bei der Jurierung war dabei die Patentfähigkeit der Entwicklungen. Gleich zwei Forscherteams der TU Graz wurden für ihre Erfindungen aus dem Energiebereich¹ ausgezeichnet. Dieser erfreuliche Anlass lässt die Frage zu, welche Faktoren für eine Auszeichnung dieser Art ausschlaggebend sind. Nach Meinung des Verfassers ist die forschungsgeleitete Lehre ein wichtiger Erfolgsfaktor für Innovationen dieser Art.

Was vorausging

Im Folgenden soll am Modell des Siegerprojekts „Ermitteln des Erdschlusses in gelöschten Netzen“ die Geschichte dieser Arbeit als Beispiel für eine erfolgreiche Weiterentwicklung von theoretischen Grundlagen beschrieben werden. Ausgangspunkt ist die technische Notwendigkeit, bei steigendem Energiebedarf und den daraus resultierenden Anforderungen an eine ständige Erweiterung der elektrischen Netze die Sicherheit dieser Netze zu erhalten. Eine besondere Anforderung stellt dabei die Einhaltung der so genannten Löschbedingung für elektrische Lichtbögen dar: Der Großteil der Verteilnetze in der Mittelspannungsebene wird nach dem Prinzip der Erdschlusslöschung betrieben. Dadurch gewinnen diese Netze die Eigenschaft eines „Self-healing grid“. Zu diesem Zweck muss allerdings die Löschorrichtung in Form der Petersenspule möglichst genau an das jeweilige Netz und seinen Schaltzustand angepasst werden. Die Abstimmung der Petersenspule in gelöschten Netzen führt bei den heute üblichen großen Netzen zu immer größeren Problemen. Hier gilt es einzugreifen: Das am Institut für Elektrische Anlagen entwickelte Verfahren zum Monitoring

On February 2009 the awards of the “PRIZE” invention competition were handed out in the presence of the Minister for Science and Research, Johannes Hahn. A key criterion in the judging process was the development of a patent. Two research teams of TU Graz were awarded prizes for their inventions in the field¹ of energy. On such an occasion it is often asked what the success factors for an award of this kind and the underlying technical innovation with practical economic application are. In the eyes of the author the concept of research-guided teaching is an important factor of success for an innovation of this kind.



Prize-Verleihung / PRIZE award

Background

The following section is based on the prize-winning project “Determining the End of an Earth Fault in Compensated Networks” and outlines the history of the project as an example of a successful development from theoretical foundations to a functioning, innovative achievement. The starting point was the technical necessity to preserve the safety of these networks while taking into account increasing energy demand and the corresponding requirements for their constant expansion. A specific requirement is the so-called self-extinguishing (quenching) condition in the case of an electric arc. Most of the distribution networks in the medium-voltage level are operated according to the principle where most of the earth faults become extinguishing. These networks thus gain



Abb. 1: Praxistest eines Prototypen
Fig. 1: Testing a prototype

und zur Optimierung der Petersenspule beruht auf dem Patent „Verfahren zum Nachstellen einer Löserspule“, das von Institutsmitarbeitern entwickelt und von der TU Graz erfolgreich zum Patent eingereicht wurde. Die technische Grundlage stellt die Signaltechnische Analyse eines Erdschlusswischers dar. Es wurde am Institut für Elektrische Anlagen ein Algorithmus erarbeitet, mit dessen Hilfe die tatsächliche Verstimmung der Petersenspule berechnet werden kann. Dadurch ist der Netzbetreiber in der Lage, die Verstimmung der Petersenspule zu kontrollieren bzw. die Parameter der Petersenspule gezielt umzustellen, um unter dem zulässigen Lösstrom zu bleiben. Somit gewährleistet das Verfahren eine bessere Versorgungssicherheit für den Kunden. Des Weiteren wird unter bestimmten Voraussetzungen ein weiterer Ausbau des Netzes ermöglicht. Soweit der technische Hintergrund – und welche Rolle spielt für diese Innovation die forschungsgelenkte Lehre im Sinne eines Erfolgsfaktors?

Was sich dahinter verbirgt

Der Verfasser arbeitet nicht nur als aktiver Forscher auf dem Gebiet der Versorgungssicherheit, sondern erlaubt sich hier, als Institutsvorstand und Studiendekan bzw. als Stellvertretender Vorsitzender der Studienkommission, den Erfindungsprozess unter dem Aspekt der forschungsgelenkten Lehre zu analysieren und zu kommentieren.

Die Ausbildung an der TU Graz zum Dipl.-Ing. basiert ganz bewusst auf einer breiten und soliden technisch/naturwissenschaftlichen Grundlagenausbildung. Dadurch wird nicht nur das Schritthalten, sondern auch das Vorantreiben der enormen Vielfalt der Anwendungsgebiete elektrotechnischer Systeme sowie die äußerst hohe Innovation in diesem Bereich ermöglicht. Ein herausragendes Kennzeichen dieser universitären Ausbildung besteht darin, dass dem Vermitteln

the status of a „self-healing grid.“ For this purpose, however, the arc extinguishing device, i.e. the Petersen coil, has to be adjusted as closely as possible to the respective network and its actual operating status. And this adaptation of the Petersen coil in compensated networks leads today with the usual extensive networks to ever larger problems. Here it is necessary to intervene on a scientific basis. The Institute of Electrical Power Systems developed procedures for monitoring and optimizing the arc-suppression Petersen coil in the patent „Method for Adjustment of Arc-suppression Coils,“ which was successfully developed and filed by the staff of the Institute and TU Graz. The technical basis for this innovation is the evaluation of the instantaneous frequency. At the Institute for Electrical Power Systems an algorithm was designed with the help of which the actual detuning of the Petersen coil can be determined. Using this, the network operator can set the detuning of the arc suppression coil and selectively control the parameters of this device to remain under the allowed extinction current. Hence the procedure ensures better safety for the customer due to the self-healing properties of compensated networks. Furthermore, under certain conditions, the network can be expanded. So much for the technical background. Now, what is the role of research-guided teaching as a success factor for this innovation?

Underlying success story

As an active researcher in the field of power network security, the author is also justified as Head of Institute and Dean of Studies, as well as vice-chairman of the curricular commission to analyze and to comment on the invention process under the aspect of research-guided teaching.

The academic training at TU Graz is based on a broad and solid technical and scientific educational basis. This not only enables the students

¹ Prämiert wurden die Arbeiten zu den Themen „Ermitteln des Erdschlusses in gelöschten Netzen“ sowie „Oberschwingungsarme und flickerarme Variation der aufgenommenen Leistung von elektrischen Verbrauchern“.

¹ The works „Determining the End of an Earth Fault in Compensated Networks“ and „Harmonic and Flicker Reduced Variation of the Absorbed Power of Electric Consumers“ were awarded prizes.

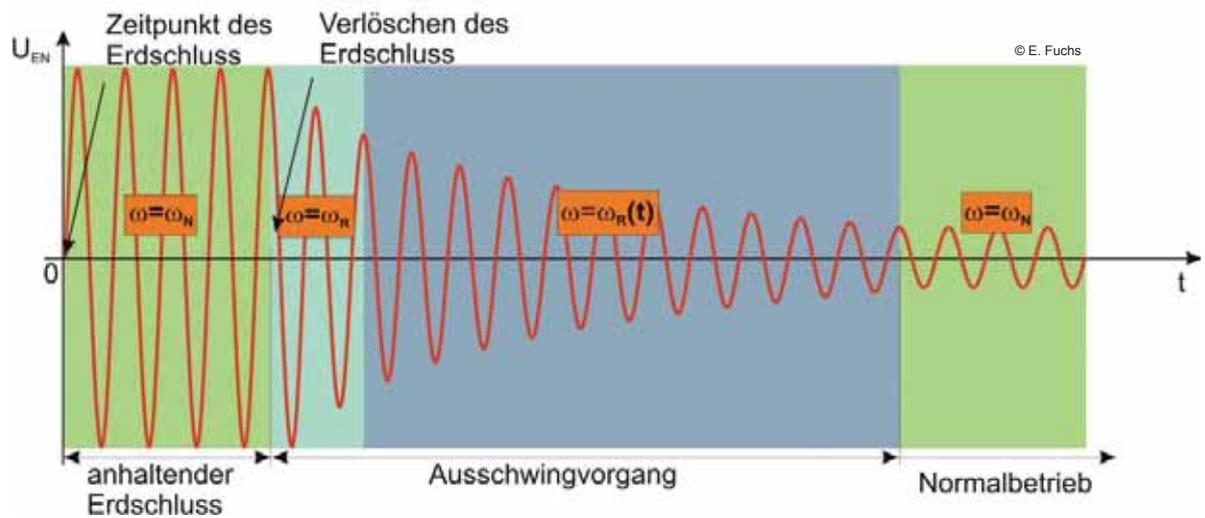


Abb. 2: Signalcharakteristik eines Erdschlusswischers.

Fig. 2: Signal characteristics of a transitory line-to-earth fault.

von nachhaltigen wissenschaftlichen Methoden der Vorzug gegenüber kurzlebigen Faktenwissen gegeben wird.

Die Interdisziplinarität der TU Graz führte im Falle der PRIZE-Verleihung dazu, dass ein Diplomand der Studienrichtung Prozessautomatisierungstechnik sich rasch und effizient in die komplexe Materie der elektrischen Energiesysteme mit dem Schwerpunkt der Schutztechnik einarbeiten konnte. Diese war nämlich bereits seit einigen Jahren von zwei Dissertanten durch Erstellen theoriebasierter Modelle und anschließende Messungen zur Verifikation weiterentwickelt worden. Gerade durch die interdisziplinäre Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit gelang es, die Charakteristika der erforderlichen Filter und Signalverarbeitungs-Algorithmen zu bestimmen und zu optimieren. Die Mitbetreuung der Diplomarbeit durch Dissertanten ist ein weiterer Schlüsselfaktor zum Erfolg, denn deren abgeschlossenes Diplom- (Master-)studium der Elektrotechnik, das auch den Grundstein für eine Universitätslaufbahn oder eine Karriere in einer außeruniversitären Forschungseinrichtung legt, befähigte sie im Sinne von Multiplikatoren zur Weitergestaltung der ersten Ansätze seitens der Signalverarbeitung.

Nicht zu vergessen bei der Analyse der Erfolgsfaktoren ist die wirtschaftliche Zusatzorientierung in der Ausbildung zum Diplomingenieur / zur Diplomingenieurin der Elektrotechnik an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, die sich in dem Studiengang Elektrotechnik-Wirtschaft niederschlägt: Hier spielt die wirtschaftsorientierte Umsetzung der elektrotechnischen

to keep pace, but also advances the enormous diversity of areas of application of electrical systems as well as the extremely high level of innovation in this sector. An outstanding feature of this academic education is focus on the communication of scientific methods for sustainable rather than ephemeral knowledge.

The interdisciplinary approach of TU Graz in the case of the PRIZE award led to an automation-engineering graduate student being able to rapidly and efficiently incorporate the complex matter of electrical energy systems with its emphasis on protection technology. This way of posing a problem had been developed a few years before by two PhD students at the Institute of Electrical Power Systems. They created theory-based models and made measurements for subsequent verification. Especially due to the interdisciplinary communication and co-operation skills, it was possible to determine and optimize the characteristics of the necessary filters and signal processing algorithms. Co-mentoring by the PhD students was another key factor of success because their completed master's degree in electrical engineering, which is also the foundation for a university career or a career in a non-university research institution, enabled them as knowledge multipliers to advance the design of the signal processing algorithms.

In the analysis of the success factors leading to the PRIZE award one must not forget the additional economic orientation in the formation of graduate engineers in the field of electrical engineering at the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology. An additional study branch,

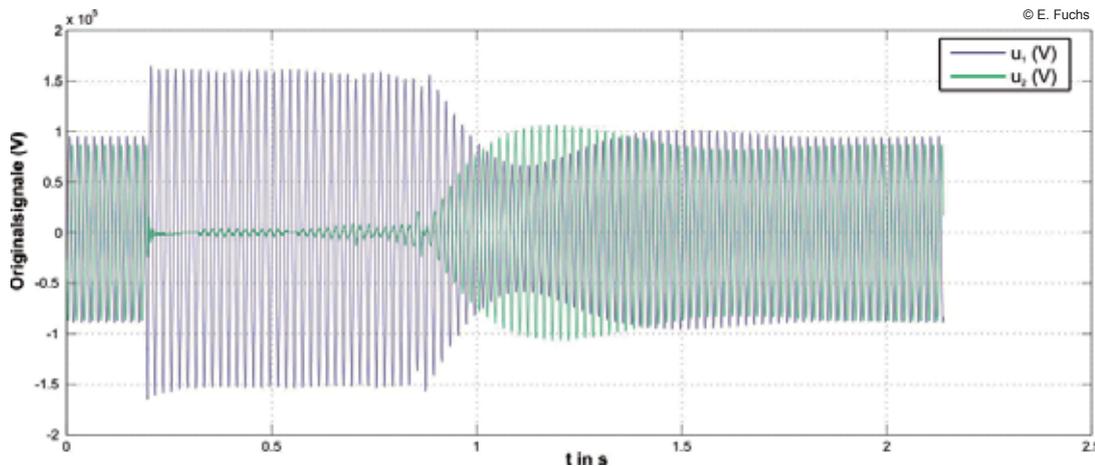


Abb. 3: Darstellung eines Erdschlusswischers.

Fig. 3: Representation of a transitory line-to-earth fault.

Kenntnisse eine zusätzliche Rolle. Soweit lässt sich die Erfindung auf den Erfolgsfaktor „Lehre“ im Sinne von Ausbildung zurückführen. Und welchen Anteil am Erfolg hat der „forschungsgeleitete Unterricht“ selbst?

Aus der Sicht eines Universitätsprofessors ist der Effekt des Strebens nach dem Wesentlichen im Sinne der grundsätzlichen Aufgabenstellung vorrangig. Hier gilt es, die wesentlichen Aspekte zu ermitteln, diese aber anschaulich und von ihrer faszinierenden Seite her aufzuzeigen und in der Tiefe zu erklären. Das zwingt dazu, im Sinne der forschungsgeleiteten Lehre hinter den Tageskontext zu schauen und die Legitimation eines wissenschaftlichen Ansatzes im Vermögen zu suchen, ungelöste Aufgabenstellungen zu beantworten.

Was sich daraus ableiten lässt

Ausgehend von der Erfordernis, Grundlagenwissen forschungsorientiert und damit ausgerichtet an den Erfordernissen der Realität zu fokussieren, konnte durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen der Ausbildung und des Studiums ein Verfahren gefunden werden, welches die „Self Healing“-Eigenschaft von elektrischen Energienetzen aufrechterhält. Die auch wirtschaftsorientierte Positionierung der Ausbildung an der TU Graz führte zu einer Patentanmeldung und damit zu einer Verbindung von Universität und Wirtschaft. Forschungsgeleitete Lehre bestätigt sich an diesem Beispiel als Erfolgsfaktor.

leading to a master's degree in electrical engineering economy reflects the economic-oriented implementation of the technical knowledge. In this sense, an economically exploitable patent was sought and successfully implemented. So far, the invention can be traced back to the success factor „teaching“ within the meaning of education. But what percentage of success can be assigned to the „research-guided teaching“ itself?

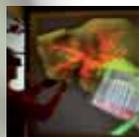
From the perspective of a university professor, the effect of striving for the essentials in terms of the basic tasks should have priority. Here, it is necessary to point out the essential aspects and to do so clearly, not forgetting to demonstrate the fascinating aspects and explain them in depth. This compels the lecturer to look behind the day-to-day context by means of research-guided teaching and to seek to legitimize the scientific approach in the ability to answer unresolved challenges.

What can be inferred

Based on the demand that basic technical knowledge should be research-based and thus be aligned to the needs of reality, a new method was found that preserved the „self healing“ property of electrical energy networks. The interdisciplinary co-operation in the context of training and study was an integral part of the requirements for this successful research. Also the business-oriented training at Graz University of Technology led to the application for a patent, thus strengthening the co-operation of university and industry. In this example, research-guided teaching is confirmed as a decisive factor of success.

Sieben zukunftssträngige Bereiche in Forschung und Lehre bilden den unverwechselbaren Fingerabdruck der TU Graz auf dem Weg zur Exzellenz. Diese Fields of Expertise sind Kompetenzbereiche, die zu einzigartigen Markenzeichen der TU Graz im 21. Jahrhundert werden sollen. Gestärkt werden die Fields of Expertise durch thematisch neue Professuren und Investitionen sowie intensive Zusammenarbeit mit Industrie und Wirtschaft in Form von zahlreichen gemeinsamen Beteiligungen an wissenschaftlichen Kompetenzzentren und Forschungsnetzwerken. Kooperationen mit wissenschaftlichen Partnereinrichtungen wirken als weiterer Motor zum Erfolg.

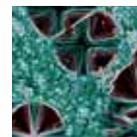
Seven areas with a promising future in research and teaching go to form the unmistakable fingerprint of Graz University of Technology on its path to excellence. These fields of expertise will become distinctive hallmarks of Graz University of Technology in the 21st century. They will be strengthened by thematically new professorships and investments as well as intensive co-operation with industry and business in the form of numerous shared participations in scientific competence centres and research networks. Cooperations with scientific partner institutes represent a further dynamo to success.



Information, Computing, and Communication Technologies



Human- & Biotechnology



Advanced Materials Science

FOE

Fields of Expertise

Design & Construction Science



Production Science & Management



Transportation Science/Mobility



Sustainable Energy Systems



Impressum: Eigentümer: Technische Universität Graz. Herausgeber: Büro des Rektorates im Namen des Vizerektors für Forschung und Technologie. Redaktion: Büro des Rektorates, Ines Hopfer, TU-research@tugraz.at. Gestaltung/Satz/Layout: Christina Fraueneder. Druck: Medienfabrik Graz. Auflage: 6.000. Wir danken den Autorinnen und Autoren für die Bereitstellung der Texte und Fotos. Geringfügige Änderungen sind der Redaktion vorbehalten. Titelbild: fotolia.com. Verlag: Verlag der Technischen Universität Graz. www.ub.tugraz.at/Verlag. TU Graz research erscheint zweimal jährlich.