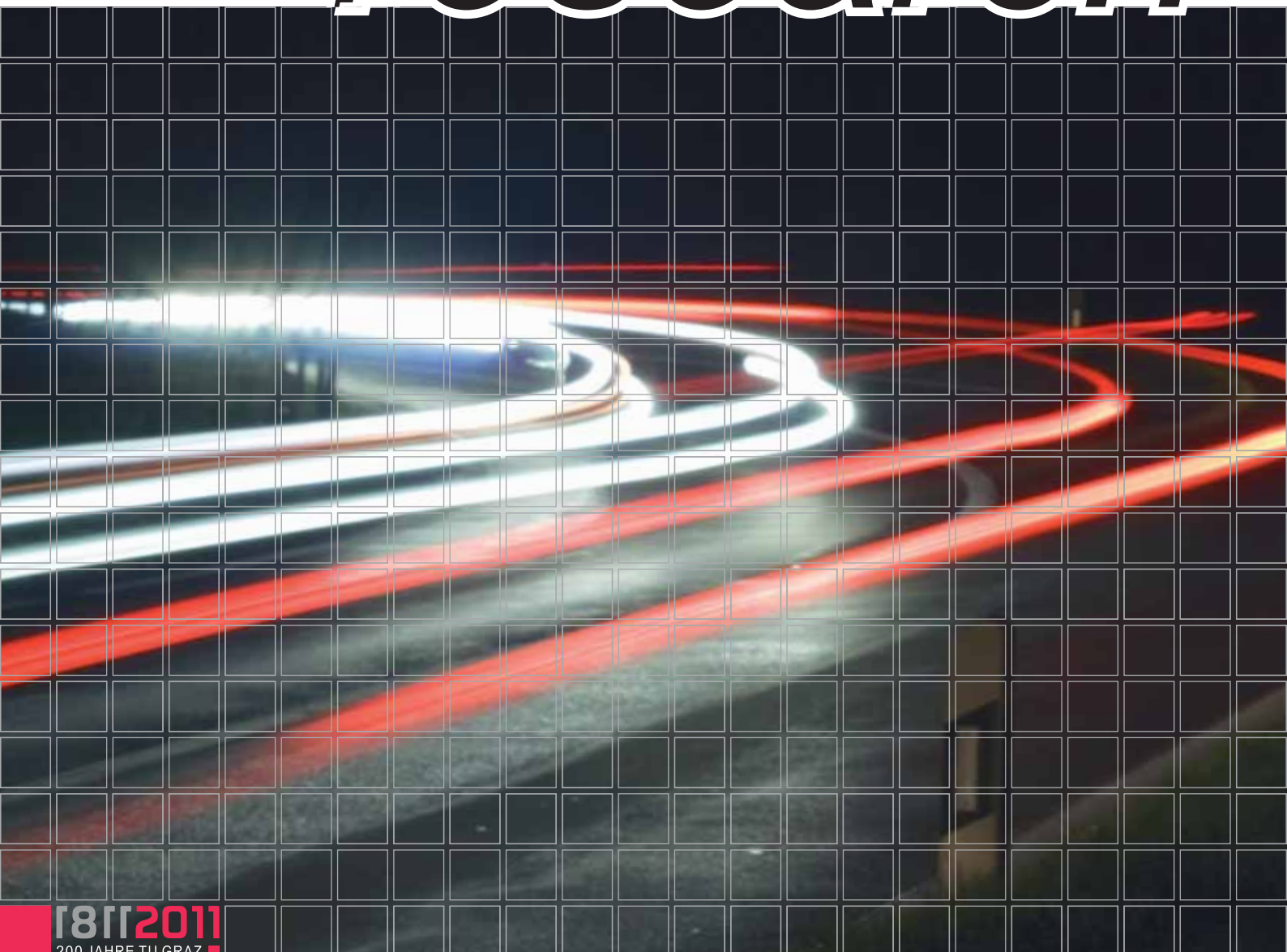


WISSEN ■ TECHNIK ■ LEIDENSCHAFT

# *TU GRAZ* research



**18112011**  
200 JAHRE TU GRAZ

## Volle Kraft voraus:

Mobility Research and Production Sciences an der TU Graz

## Full steam ahead:

Mobility Research and Production Sciences at  
Graz University of Technology



# Content

<b>Preface</b>	p. 4
----------------	------

---

## ■ Face to Face

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

„Invest in research and development right now!“	p. 6
An Interview with Siefried Wolf, CEO of Magna International and honorary professor of Graz University of Technology	

---

## ■ Focus: Mobility Research and Production Sciences

HYCAR 1 – The First Hydrogen Car on the Austrian Road Network	p. 10
<i>Manfred Klell, Markus Sartory</i>	
Electric Vehicles – A Paradigm Shift in Vehicle Safety?	p. 13
<i>Hermann Steffan, Jürgen Gugler</i>	
Lithium Ion Technology – The Battery of the Future	p. 16
<i>Stefan Koller</i>	
Wheel-Hub Power Units – An integrative Challenge	p. 19
<i>Wolfgang Hirschberg, Andrés Rojas Rojas, Johann Willberger</i>	
Production Science and Management – Win-win approach for industrial activities	p. 22
<i>Josef W. Wohinz</i>	
Hot Stamped – Solid Built	p. 25
<i>Ralf Kolleck</i>	

---

## ■ Life

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

Augmented Reality on Mobile Phones – Exact Location-Based Information at Any Time and Any Place	p. 28
<i>Dieter Schmalstieg</i>	

---

## ■ Cooperations

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

International Research Centre in Austria:	
The Austrian Centre of Industrial Biotechnology – ACIB	p. 32
<i>Anton Glieder</i>	

---

## ■ Innovation in teaching & research

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

... Just like in Real Life! “product innovation project” at Graz University of Technology	p. 36
<i>Hannes Oberschmid, Josef W. Wohinz</i>	

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	S. 4
<hr/>	
<b>■ Face to Face</b>	
<i>Wir bitten namhafte Experten um ein Statement zum Schwerpunktthema</i>	
„Gerade jetzt in Forschung und Entwicklung investieren!“ Ein Interview mit Siegfried Wolf, CEO von Magna International und Ehrenprofessor der TU Graz	S. 6
<hr/>	
<b>■ Focus: Mobility Research and Production Sciences</b>	
HYCAR 1 – das erste Wasserstoff-Fahrzeug auf Österreichs Straßen <i>Manfred Klell, Markus Sartory</i>	S. 10
Elektrofahrzeuge – Paradigmenwechsel in der Fahrzeugsicherheit? <i>Hermann Steffan, Jürgen Gugler</i>	S. 13
Lithium-Ionen-Technologie – die Batterie der Zukunft <i>Stefan Koller</i>	S. 16
Der Antrieb im Rad – eine mechatronische Herausforderung <i>Wolfgang Hirschberg, Andrés Rojas Rojas, Johann Willberger</i>	S. 19
Production Science and Management – Win-Win-Ansatz für industrielle Aktivitäten <i>Josef W. Wohinz</i>	S. 22
Heiß geformt – stabil gebaut <i>Ralf Kolleck</i>	S. 25
<hr/>	
<b>■ Life</b>	
<i>Forschung und Technik im Alltäglichen – wie Forschungsergebnisse auf unser Leben wirken und es verbessern können</i>	
Augmented Reality auf dem Mobiltelefon – exakte ortsbezogene Informationen überall und jederzeit <i>Dieter Schmalstieg</i>	S. 28
<hr/>	
<b>■ Cooperations</b>	
<i>Gemeinsam forschen und entwickeln – wie die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten in Erfolg und Weiterentwicklung resultiert</i>	
Internationales Forschungszentrum in Österreich: Austrian Centre of Industrial Biotechnology – ACIB <i>Anton Glieder</i>	S. 32
<hr/>	
<b>■ Innovation in teaching &amp; research</b>	
<i>Neues aus dem Bereich Lehre und Forschung – wie sich die TU Graz als erfolgreiche „Ideenschmiede“ bewährt und auszeichnet</i>	
.... Wie im richtigen Leben! „product innovation project“ an der TU Graz <i>Hannes Oberschmid, Josef W. Wohinz</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 ist immer spannend und für Neuerungen und Überraschungen gut! Zumindest habe ich das in der letzten Ausgabe von TU Graz research behauptet. Wie hat sich das nun bewahrheitet?

Zunächst ein organisatorisch-strategischer Ansatz: In den letzten beiden Ausgaben haben wir die sieben Kompetenzfelder, die so genannten Fields of Expertise, unserer Universität vorgestellt und sie auch als „Ordnungsprinzip“ innerhalb unserer Forschungsausrichtung und somit auch unseres Forschungsjournal präsentiert. Diese Ausrichtung wurde zwar vom Universitätsrat in einer gemeinsamen Strategie-Sitzung mit dem Rektorat hinterfragt, der Forschungs- und Technologie-Beirat (F&T-Beirat) hat diese Einteilung allerdings als sinnvoll und adäquat bestätigt.

Nichtsdestotrotz hat der Unirat weiterhin auf eine Reduktion dieser Kompetenzfelder gepocht und schließlich hat uns das Ministerium bei den unmittelbaren Vorgesprächen und der finalen Verhandlung der Leistungsvereinbarung von der Notwendigkeit der Konzentrierung auf fünf Schwerpunkts-Kompetenzfelder überzeugt. Nach reiflicher Überlegung haben wir nun unsere Kompetenzen auf fünf Themenfelder („fünf Fields of Expertise“, FoE) konzentriert. Diese sind nun:

- Human- & Biotechnology
- Mobility Research and Production Sciences
- Advanced Materials Science
- Sustainability in Design, Construction and Energy Systems
- Information, Computing, and Communication Technologies

Auch wenn diese Komprimierung vielleicht auf den ersten Blick eine Reduktion darstellt, spiegelt sie doch zu einem gewissen Punkt die Forschungsrealität unserer Universität wider, wie sie sich in den letzten ein bis zwei Jahren entwickelt hat. Die thematischen Schwerpunkte aus der Architektur und den Bauingenieurwissenschaften haben sich stark in die Bereiche Energieeffizienz und Nachhaltigkeit hinein entwickelt. Production Sciences war schon

research at Graz University of Technology is always exciting and good for innovations and surprises! At least, this is what I claimed in the last issue of TU Graz research. So how did this prove true?

First of all, let's look at this from an organisational and strategic point of view. In the last two issues, we introduced the seven Fields of Expertise of our university and presented them as an ordering principle of our research orientation and thus also of our research journal. Although this orientation was scrutinised by the University Council in a shared strategy meeting with the Rectorate, the Research and Technology Council confirmed this arrangement as appropriate and reasonable. Nevertheless, the University Council continued to insist on a reduction of these Fields of Expertise, and finally the Ministry convinced us of the necessity to concentrate on five Fields of Expertise during the direct talks and negotiations of the performance agreement. After careful consideration, we have streamlined our expertise and are now focusing on five subject areas (“Five Fields of Expertise”, FoE). These are now:

- Human- & Biotechnology
- Mobility Research and Production Sciences
- Advanced Materials Science
- Sustainability in Design, Construction and Energy Systems
- Information, Computing, and Communication Technologies

Even if this condensed form perhaps represents a reduction at first glance, it does, to a certain degree, mirror the research reality of our university as it has developed over the last one to two years. The main fields of emphasis in architecture and civil engineering sciences have developed significantly into the areas of energy efficiency and sustainability. Production sciences has always been strongly associated with the activities of mechanical engineering in the past – in particular with the Frank Stronach Ins-

in der Vergangenheit stark mit den Aktivitäten des Maschinenbaus, insbesondere mit dem [FSI – Frank Stronach Institute] verbunden. Eine Verbindung mit „Mobility Research“ ist daher möglich, wenn auch einige Bereiche dadurch nicht mehr so treffend wiedergegeben werden.

Jetzt hoffen wir, dass wir mit diesen fünf FoE's über längere Zeit arbeiten können und sich daraus entwickelnde Forschungsansätze auch einige Zeit halten werden; auch wenn uns allen bewusst ist, dass sich Forschung an sich ständig entwickelt und erneuert. Für unser Forschungsjournal TU Graz *research* bedeutet die Komprimierung jedenfalls, dass die fünf FoE's in neuer Gruppierung als Ordnungselement erhalten bleiben.

Große Spannung herrscht um unseren Antrag zur Errichtung einer EIT-KIC (European Institute of Technology and Innovation – Knowledge and Innovation Community). Eine Einladung zum Hearing wurde bis jetzt nicht ausgesprochen, daher dürften wir wohl auf Platz drei gelandet sein. Ein Zwischenerfolg gibt allerdings Grund zur Freude: Mit der Gründung der „European Sustainable Energy Innovation Association („ESEIA“) haben wir einen wichtigen Grundstein für zukünftige Forschungsk Kooperation innerhalb der Partner aus derzeit 27 Nationen gelegt. Diese Partnerschaft wird nach gemeinsamem Beschluss in jedem Fall im Sinne des Antrages „eCANDO“ (so das Synonym) weiter bestehen und arbeiten. Natürlich gibt es noch weitere Informationen und Highlights – zum Beispiel dass wir im österreichischen Patentranking unmittelbar hinter Magna den guten 9. Rang einnehmen, dass wir wieder zahlreiche Forschungspreise eingeheimst haben, dass wir viele Erfinderinnen und Erfinder ehren durften oder dass insbesondere der Forschungsbereich rund um die elektrische Energiespeicherung – Stichwort Batterien – ein kräftiges Lebenszeichen von sich gibt.

Ich hoffe und wünsche, dass Sie die Lektüre erfreut und Sie einige spannende Leseerlebnisse haben – und verbleibe mit einem aufrichtigen „Hi(gh) Science“,

Ihr Franz Stelzer

titute (FSI). A connection with “mobility research” is hence possible, even if a few fields are not so accurately reflected.

We hope that we will be able to work with these five FoEs over a longer period of time and we hope that any research approaches deriving from them will also be retained for some time – even though we are all well aware that research constantly develops and renews itself. From the point of view of the TU Graz *research* journal, this condensed form means that the five FoEs will remain as an ordering element in a new arrangement.

There is great excitement surrounding our application for the establishment of an EIT-KIC (European Institute of Technology and Innovation – Knowledge and Innovation Community). An invitation has not yet been extended to us, so we must have come in third place. An interim success, however, has given us reason to celebrate. With the founding of the “European Sustainable Energy Innovation Association” (ESEIA), we have laid an important foundation for future research co-operation among the partners from the current 27 nations. This partnership will continue to exist and to work together in any case in line with the so-called “eCANDO” application. There are, of course, more pieces of information and highlights – for instance, that we are in a good ninth place directly behind Magna in the Austrian patent rankings, that we have again taken home a number of research prizes, that we can honour quite a few inventors, and that the research field dealing with electrical energy storage – keyword batteries – has shown a strong resurgence.

I hope that you enjoy perusing the articles and I wish you an exciting read.

Franz Stelzer

# Gerade jetzt in Forschung und Entwicklung investieren! Invest in research and development right now!

Ines Hopfer

*Siegfried Wolf ist seit 2005 Chief Executive Officer (CEO) von Magna International. In dieser Funktion führt er als Mitglied der obersten Unternehmensspitze den weltweiten Gesamtkonzern mit über 70.000 Mitarbeitern. Im September 2009 wurde ihm die Ehrenprofessur der TU Graz verliehen.*

*Siegfried Wolf has been CEO of Magna International since 2005. As a member of the top management of the worldwide group company, he has responsibility for the workforce of over 70,000. He was awarded an honorary professorship at Graz University of Technology in September 2009.*

**Eine enge Partnerschaft verbindet die TU Graz mit Magna International – gekrönt wurde diese symbiotische Beziehung 2003 durch die Gründung des Frank Stronach Institutes [FSI]. Siegfried Wolf, CEO von Magna International und Ehrenprofessor der TU Graz, spricht im Interview mit TU Graz research über die „Exzellenz“ der TU Graz, alternative Antriebskonzepte auf dem Weg in die Mobilität der Zukunft und warum Innovationen nur mit einer großen Portion Hirnschmalz erfolgreich sind.**

**Wie würden Sie die TU Graz mit wenigen Worten beschreiben?**

Innovativ, hoher Leistungsstandard sowie eine hohe Qualität der Ausbildung.

**Wie sehen Sie die Positionierung der TU Graz innerhalb der österreichischen Forschungslandschaft und darüber hinaus?**

Die TU Graz hat sicherlich das schärfste Profil und die klarste Vorstellung, wie Forschung definiert wird. Die Forschungskernbereiche sind auf die Steiermark und auch auf die Automobilindustrie abgestimmt. Daneben hat man in den letzten Jahren für absolute Exzellenz gesorgt. Wo das nicht so war, hat man entweder darauf hingearbeitet oder den Bereich aufgegeben. Und es wurden die besten Köpfe an der Universität gehalten und/oder aufgenommen.

**Seit 2003 existiert eine enge Partnerschaft zwischen der TU Graz und Magna. Mit der Einrichtung des Frank Stronach Institutes wurde der Grundstein für eine einzigartige Ausbildungseinrichtung gelegt: vier Institute sind in dieser Einrichtung vereint und garantieren exzellente Lehre und Forschung im Bereich der Fahrzeugtechnologie. Was macht Ihrer Meinung nach dieses [FSI] zu einem derartig Exzellenzzentrum bzw. was ist das Geheimnis dieser erfolgreichen „public private partnership“?**

Das Erfolgsrezept dieser Kooperation liegt in der Kombination des Know-hows und der Arbeitsweise

*Graz University of Technology and Magna International are joined together in a close partnership – this symbiotic relationship was crowned with the founding of the Frank Stronach Institute [FSI] in 2003. Siegfried Wolf, CEO of Magna International und honorary professor at Graz University of Technology, talks to TU Graz research about the excellence of Graz University of Technology, alternative drive concepts and the mobility of the future, and why innovations only succeed with a big dollop of shrewdness.*

**How would you describe Graz University of Technology in a few words?**

Innovative, with a high standard of achievement and a high quality of education.

**Where would you place Graz University of Technology in the Austrian research community and beyond?**

Graz University of Technology definitely has the sharpest profile and the clearest definition of research. The core areas of research are in tune with Styria and also with the automotive industry. Apart from this, absolute excellence has been provided in the last few years. Where this was not the case, either the university worked its way up to this level or it gave up on the field in question. And the best brains in the university were held onto or taken on.

**There has been a close partnership between Graz University of Technology and Magna since 2003. With the setting up of the Frank Stronach Institute the foundation was laid for a unique educational facility. Four institutes are united together in this facility and guarantee excellent teaching and research in the field of automotive engineering. In your opinion, what makes the [FSI] into such a great centre of excellence? What is the secret of this successful “public-private partnership”?**



einer Technischen Universität und eines globalen Automobilzulieferers. Damit wurde eine erfolgreiche Verbindung von universitärer Forschung und markt-orientierter Privatwirtschaft geschaffen. Im Ausbildungsbereich machen die exzellenten Studierenden, das verpflichtende Auslandspraktikum, der englische Lehrbetrieb und die Tatsache, dass sich unter den Lehrenden hochrangige Manager von Magna befinden, das [FSI] zu einem innovativen und hochprofessionellen Forschungs- und Lehrinstitut.

**In wie weit profitiert Ihr Unternehmen durch diese Kooperation?**

Magna profitiert von der exzellenten Forschung, von der raschen Verwendung der Forschungsergebnisse, dem neuesten Stand der Technik, von exzellenten, nach den Anforderungen der Automobilindustrie ausgebildeten Studierenden als potentielle neue Mitarbeiter.

**Gibt es bereits Absolventen, die das erworbene Wissen in Ihrem Unternehmen einsetzen können?**

Es gibt bereits rund 50 Absolventen, die in verschiedenen Positionen im mittleren Management für Magna weltweit im Einsatz sind.

**Wie beurteilen Sie die Kompetenzen?**

Das Gesamtpaket ist ausgezeichnet: Sehr gute fachliche Ausbildung, Managementkenntnisse beim absolvierten Masterstudium Production Science and Management, englische Sprachkenntnisse, hoher Praxisbezug, Bereitschaft zur Mobilität. Das verpflichtende Auslandspraktikum

The recipe for success of this co-operation lies in the combination of know-how and working procedure of a university of technology and a global automotive supplier. In this way a successful combination of university research and market-oriented private industry was created. In the educational field, the first-class students, the obligatory placement abroad, the courses held in English, and the fact that high-ranking managers from Magna are found among the lecturers, make the [FSI] the innovative and highly professional research and teaching institution it is.

**How much does your company benefit from this co-operation?**

Magna benefits from the excellent research, the prompt use of research results, the latest technology, and from the first-class students trained according to the requirements of the automotive industry as potential new employees.

**Are there already graduates who can apply the acquired knowledge in their company?**

There are already about 50 graduates worldwide in various middle management positions who are working for Magna.

**How do you rate the expertise?**

The complete package is first class. Very good technical education, management skills from the Production Science and Management master's programme, English language skills, high practical orientation, and readiness to travel. The ob-



während der Ausbildung ist ein klarer USP der [FSI]-Absolventen. Nicht umsonst bekommen die Absolventen sehr gute Jobangebote aus der Industrie.

**In der Autobranche ist die gegenwärtige Krise stark spürbar. Wie beurteilen Sie Forschung und Entwicklung in diesem Zusammenhang?**

Gerade jetzt müssen wir intensiv in die Bereiche Forschung, Entwicklung, Innovation und Ausbildung investieren. Österreich kann im globalen Wettbewerb nur erfolgreich sein, wenn wir innovative Produkte auf den Weltmarkt bringen, die viel Know-how und Hirnschmalz enthalten. Klimawandel, Ressourcenknappheit und die aktuelle Krise in der Automobilindustrie bieten die Herausforderung und eröffnen gleichzeitig die Chance, durch innovative und nachhaltige Entwicklungen auf die veränderten Bedürfnisse und verschärften Umweltauforderungen zu antworten.

**Thema Zukunftsvisionen: Werfen wir einen visionären Blick in die Zukunft. Wie sehen Sie die Fahrzeugentwicklung, die Mobilität der Zukunft?**

Mit dem Aufkommen alternativer Energieträger muss sich die Fahrzeugindustrie den geänderten Anforderungen stellen. Ein wesentlicher Schritt ist die Entwicklung effizienterer Antriebstechnologien, um die verfügbaren Energien besser nutzen zu können. Aufgrund der extrem günstigen Finanzierungsmöglichkeiten haben es die Kunden in den letzten Jahren viel zu einfach gehabt. Der Autofahrer hat mehr Autos gekauft, als er gebraucht hat.

ligatory placement abroad during the study programme is a clear USP of [FSI] graduates. Not for nothing do graduates receive good job offers from industry.

**The current crisis can be strongly felt in the automobile industry. How do you rate research and development in this context?**

We should be investing in the areas of research, development, innovation and education right now. Austria can only be successful in global competition if we bring innovative products onto the world market which contain much know-how and brain power. Climate change, scarce resources and the current crisis in the automobile industry offer the challenge and the opportunity to respond to changing needs and stronger environmental demands through innovative and sustainable developments.

**And now to visions of the future. Let's take a visionary look ahead. How do you see vehicle development and the mobility of the future?**

With the advent of new fuels, the automotive industry must align itself with changing demands. One very important step is the development of more efficient drive technologies to take better advantage of available energies. Customers have had it far too easy in the last few years due to the extremely favourable financing possibilities. Car users bought more cars than they needed. Now the automotive industry must think again about



Jetzt muss die Automobilindustrie wieder mehr darüber nachdenken, was zur Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen eigentlich benötigt wird. Man muss für jeden Markt das richtige Produkt anbieten können. Vielleicht sollte es eine Rückbesinnung auf den ursprünglichen Zweck des Autos geben, d.h. Transport von A nach B, komfortabel, sicher, umweltfreundlich und kostengünstig.

**Was meinen Sie, wird es eine „Revolution“ geben und wenn ja in welchem Bereich?**

Es wird keine „Revolution“, sondern eine „Evolution“ geben. Das Elektrofahrzeug ist z.B. keine Revolution, aber sicher die wichtigste und zukunftssträchtigste Evolution in Richtung emissionsfreie Mobilität.

**Vom Wasserstoffauto bis zum E-Auto gibt es im Moment viele verschiedene Antriebskonzepte. Welches alternative Antriebskonzept wird sich durchsetzen?**

Es gibt eine Vielfalt von Technologien im Bereich alternativer Antriebe: Plug-in-Hybrid, Wasserstoff, Erdgas, Elektromotor. Das Elektrofahrzeug ist also nur ein Segment unter vielen und wird auch noch für längere Zeit ein schmales Segment bleiben. Je nach Markt (derzeit schaut es in Indien nach CNG - Erdgas - aus) und Einsatzort (in Ballungszentren ist der Elektromotor ein möglicher Favorit) werden die verschiedenen Technologien unterschiedlich zum Einsatz kommen. Dass sich eine einzige Technologie weltweit durchsetzt halte ich nicht für sehr wahrscheinlich.

what is needed to satisfy the needs of mobility. You have to be able to provide the right product for each market. Perhaps there should be a return to the car's original purpose; in other words, transport from A to B, comfort, safety, environmental friendliness and economy.

**What do you think, will there be a “revolution”, and if so, in what area?**

There won't be a “revolution”; there'll be an “evolution”. Electric vehicles, for instance, are not a revolution, but are definitely the most important and promising evolution in the direction of zero-emission mobility.

**From the hydrogen car to the e-car: there are many different drive concepts at the moment. Which alternative drive concept do you think will become the standard one?**

There are a variety of alternative drive technologies: plug-in hybrid, hydrogen, natural gas, electric motor, to mention but a few. The electric vehicle is only one segment among many and will remain a narrow segment for some time to come. It depends on the market (at the moment in India it looks like CNG – natural gas) and in the areas of high-population density the electric motor is a possible favourite. The various technologies will be used in different ways. I don't think it is very likely that one single technology will become accepted as the worldwide standard.

# HYCAR 1

Das erste Wasserstoff-Fahrzeug auf Österreichs Straßen

## HYCAR 1

The First Hydrogen Car on the Austrian Road Network

Manfred Klell, Markus Sartory



Manfred Klell ist seit 1984 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, seit 2005 Geschäftsführer und technischer Leiter der HyCentA Research GmbH, des ersten österreichischen Forschungszentrums für Wasserstoff. Fachgebiete: Angewandte Thermodynamik, Verbrennungskraftmaschinen.

Manfred Klell has been on the scientific staff of the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics since 1984, and CEO and technical director of HyCentA Research GmbH – the first Austrian research centre for hydrogen – since 2005. His special areas are applied thermodynamics and internal combustion engines.

***In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik und des Hydrogen Center Austria wurde an der TU Graz das erste wasserstoffbetriebene Fahrzeug mit Verbrennungsmotor in Österreich aufgebaut. Das multivalente Fahrzeug kann außer mit Benzin prinzipiell auch mit Wasserstoff, mit Erdgas oder mit jeder beliebigen Mischung aus Erdgas und Wasserstoff im selben Gastanksystem betrieben werden und verbindet so innovativ gewohnte Funktionalität mit den Vorteilen CO<sub>2</sub>-freier Wasserstoffanwendung.***

Basierend auf der langjährigen Erfahrung von Helmut Eichlseder (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik an der TU Graz) mit alternativen Kraftstoffen wie Wasserstoff, wurde ein konventioneller 4-Zylinder Ottomotor für den Betrieb mit Wasserstoff und beliebigen Gemischen aus Wasserstoff und Erdgas umgerüstet. Dazu waren Änderungen am Motor erforderlich, wie andere Injektoren, ein Saugrohr aus Aluminium und insbesondere die Adaptierung der elektronischen Motorsteuerung. Die Bedatung der Motorsteuerung wurde am Motorprüfstand für den Betrieb mit Wasserstoff und verschiedenen Gemischen mit Wasserstoff und Erdgas optimiert. Aufgrund der weiten Zündgrenzen von Wasserstoff ist ein wirkungsgradgünstiger Betrieb des Motors mit Luftüberschuss im gesamten Motorbetriebsbereich möglich. Dies mindert auch die Neigung zu Verbrennungsanomalien, verursacht aber bei äußerer Gemischbildung eine Reduktion des Leistungspotenzials. Während im Benzinbetrieb eine maximale Leistung von rund 120 kW bei 6000 min<sup>-1</sup> erzielt wird, erreicht der Motor im Wasserstoffbetrieb eine maximale Leistung von etwa 70 kW bei 5000 min<sup>-1</sup>. Der Motor läuft dafür umweltfreundlich und emissionsarm. Die Emission von Stickoxiden ist durch den Magerbetrieb sehr gering, kohlenstoffbasierte Emissionen wie CO, CH und CO<sub>2</sub> treten im Was-

***During a joint research project for Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH and HyCentA Research GmbH, a hydrogen powered car with an internal combustion engine was built. The vehicle was constructed for multivalent operation with gasoline, natural gas and variable hydrogen/natural gas blends. With its innovative design, the car combines daily use suitability with CO<sub>2</sub>-free hydrogen technology.***

Based on the experience of Helmut Eichlseder from the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics in the field of alternative fuels, especially with hydrogen, a conventional 4-cylinder Otto cycle engine was converted to hydrogen and variable hydrogen/natural gas blends. Following this, necessary structural changes were made to the engine, like the installation of injectors suitable for hydrogen and an aluminium intake manifold. The calibration of the engine control unit was done on a dynamometer to optimize operation with hydrogen and hydrogen/natural gas blends. Due to the wide ignition limits of hydrogen, lean operation with high efficiencies in a wide operating range of the engine was achieved. High air/fuel ratios decrease the tendency of backfiring but also lower the full load potential in case of external mixture preparation. Whilst gasoline operation achieves maximum power of 120 kW at 6000 rpm, during hydrogen operation the engine reaches ~70 kW at 5000 rpm. For this reason the engine runs in an environmentally friendly way and with low emissions. Due to the lean operation the emissions of nitrogen oxides are very low, and carbon-based emissions such as CO, CH and CO<sub>2</sub> are nearly nonexistent.

At the HyCentA hydrogen is produced from electrolysis with water and electricity from hydropower plants. The HyCentA, Austria's first hydrogen research centre, under the direction of Manfred

Abb.: HYCAR 1:  
Betankt wird mit Wasserstoff.  
Fig.: HYCAR 1:  
Fuelled with hydrogen.



**BLEIFREI SUPER**  
Wasserdicht (H<sub>2</sub>)  
Hydrogen  
Pressure 350 psi (24 bar) @ 15 °C

Hydrogen  
Warning

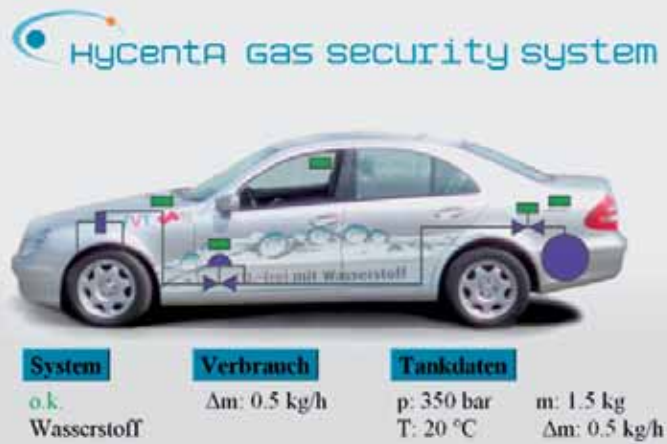


Abb.: Touchscreen und Hauptmenü, Fig.: Touchscreen with Main Menu



Markus Sartory ist seit 2007 wissenschaftlicher Projektmitarbeiter bei der HyCentA Research GmbH und beschäftigt sich im Rahmen seines Doktoratsstudiums mit Sicherheitssystemen und Regelwerken für Wasserstoffanwendungen.

Markus Sartory has been a research assistant at HyCentA Research GmbH since 2007 and is occupied with safety systems and regulations for hydrogen applications in the framework of his doctoral studies.

#### Literatur/References:

H. Eichlseder, M. Klell, K. Schaffer, D. Leitner, M. Sartory: *Potential of Synergies in a Vehicle for Variable Mixtures of CNG and Hydrogen*. SAE paper 2009-01-1420.

In: *Hydrogen IC Engines*, SP-2251, S. 19–28, SAE International (2009).

D. Leitner: *Einsatz von Wasserstoff-Erdgasgemischen im Ottomotor*. Diplomarbeit am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz (2008).

M. Klell, M. Sartory: *Standards und Sicherheitskonzepte für Fahrzeuge mit Gasbetrieb*. Beitrag zur vierten Tagung Gasfahrzeuge (Stuttgart, 2009).

serstoffbetrieb praktisch nicht auf. Am HyCentA wird der Wasserstoff regenerativ durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus Wasserkraft hergestellt. Auch die Adaption des Fahrzeugs wurde am HyCentA, der ersten österreichischen Forschungsstelle für Wasserstoff unter der Leitung von Manfred Klell, durchgeführt. Die wichtigste Änderung am Fahrzeug: Die originalen Druckgaszylinder wurden gegen Drucktanks, die bei Druckverhältnissen bis 350 bar für Wasserstoff, Erdgas sowie Gemische geeignet sind, ausgetauscht. Ein am HyCentA entwickeltes elektronisches Gassicherheitsystem (ELGASS) überwacht während der Fahrt alle wesentlichen Betriebsparameter des Gassystems und zeigt diese über einen Bildschirm an (vgl. Abbildung oben). Außerdem regelt es die Aktivierung bzw. Desaktivierung des gesamten Gassystems. Folgende Funktionen sind implementiert:

- Messdatenerfassung und -verarbeitung in Echtzeit
- Füllstandsberechnung für die Gastanks
- Leckageüberwachung über Massenbilanz, Druckgradienten und Gasdetektoren
- Umschaltung zwischen Gas-/Benzinbetrieb
- Visualisierung des Systemstatus
- Elektronisches Fahrtenbuch
- Einleitung von Notmaßnahmen bei Alarm

Das Fahrzeug entspricht im Wesentlichen der europäischen Regelung EG 79/2009 für die Genehmigung von Wasserstoff-Fahrzeugen, wurde vom TÜV Austria begutachtet und erhielt einen Einzelgenehmigungsbescheid für die Zulassung zum allgemeinen Straßenverkehr. Dieses innovative und so erstmals umgesetzte Konzept eines multivalenten Fahrzeugs sehen wir als vielversprechende Brückentechnologie für den Übergang zu CO<sub>2</sub>-freien Wasserstoffanwendungen. Unter der gewohnten Funktionalität des bewährten Verbrennungsmotors und unter Nutzung vorhandener Tankinfrastruktur ist eine praxisnahe CO<sub>2</sub>-freie Mobilität umsetzbar. Das Konzept kann kurzfristig in eine Serienapplikation übergeführt werden.

Klell, carried out the adaptation of the vehicle. The production-standard gas system, installed in the trunk, was replaced by components for 350 bar, which are compatible with various hydrogen/natural gas blends.

Additionally a novel electronic gas safety system (ELGASS) was developed at the HyCentA to monitor and visualize the status of the entire gas supply system (see figure above). The following functions have been implemented:

- Data acquisition and real time calculations
- Control of switching between gasoline-/gas mode
- Calculation of fill level
- Leak monitoring via H<sub>2</sub> detectors, mass balance and pressure gradients
- visualisation of system status
- Electronic vehicle log book
- Emergency stop measures in case of system failures

The car was constructed with respect to Directive EG 79/2009 on the approval of hydrogen powered cars. The homologation process for road-worthiness was successfully accomplished by means of a technical expertise from TÜV Austria. We see the multivalent fuel concept in combination with ICE as a bridging technology for the implementation of hydrogen in the transportation sector. Actual existing infrastructure for production lines for internal combustion engines, the familiar functionality of internal combustion engines and existing filling station infrastructure for natural gas are an excellent basis to establish a widespread CO<sub>2</sub>-free mobility with hydrogen. The concept of this car can easily be converted for serial production.

# Elektrofahrzeuge – Paradigmenwechsel in der Fahrzeugsicherheit?

## Electric Vehicles – A Paradigm Shift in Vehicle Safety?

Hermann Steffan, Jürgen Gugler

**Die Verknappung flüssiger Rohstoffe sowie das Problem der hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen und der damit verbundenen Klimaerwärmung können dem Elektrofahrzeug in naher Zukunft große Bedeutung zukommen lassen. Es gibt derzeit die unterschiedlichsten Ansätze, um leistbare Elektrofahrzeuge in Verbindung mit einer akzeptablen Reichweite zu entwickeln. Die Konzepte reichen hierbei von unterschiedlichen Hybrid-Varianten bis hin zum reinen Elektrofahrzeug.**

Diese Konzepte stellen neue Herausforderungen an die „Elektro“- Fahrzeugsicherheit. Die Fahrzeugsicherheit im Allgemeinen hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. So ist es gelungen, in den industrialisierten Ländern in den letzten 30 Jahren trotz einer Verdreifachung des Verkehrs die Anzahl der Verkehrstoten um ca. 80 Prozent zu senken, einen Anstieg bei den Verletzten zu unterbinden und die Verletzungsschwere zu verringern. Eine der wesentlichen mitverantwortlichen Faktoren hierfür ist die verbesserte passive Sicherheit moderner Fahrzeuge. Beim Elektrofahrzeug gilt es, die Energiespeicherung und das geänderte Antriebskonzept kombiniert mit Leichtbau mit dem derzeit hohen Anspruch der passiven Sicherheit zu koppeln.

### Fahrzeuge mit unterschiedlichen E-Antriebskonzepten

Es ist heute bereits üblich, konventionelle Fahrzeuge so zu konstruieren, dass sie trotz unterschiedlicher Motorvarianten und damit verbundenen unterschiedlichen Abmessungen, Gewichts

**Shortage of liquid resources as well as the problem of high CO<sub>2</sub>-emissions and global warming could herald the heyday of the electric vehicle in the near future. Currently there are various attempts to develop affordable electrical vehicles in connection with an acceptable cruising range. Concepts extend from diverse hybrid variations to a pure electrical vehicle.**

These concepts are a challenge to “electric” vehicle safety. In general vehicle safety has gained great importance in the past years. In spite of the fact that traffic in the industrialised countries has tripled, the number of traffic deaths was able to be successfully be reduced by 80 percent in the past 30 years and furthermore it was achieved to prevent an increase in the number of casualties and a decrease of severity of the injuries. One of the crucial factors responsible for this is improved passive safety of modern vehicles. For the electric vehicle it is essential to link energy storage and a shift in powertrain concepts combined with light-weight construction to passive safety.



Hermann Steffan ist Leiter des Instituts für Fahrzeugsicherheit, Member of [FSI], und seit mehr als 20 Jahren auf dem Gebiet der Verkehrsunfallforschung sowie der Ableitung von Konzepten und Prüfmethoden tätig.

Hermann Steffan is head of the Institute for Vehicle Safety, member of [FSI], and for over 20 years active in the area of traffic accident research and in concepts and testing methods.

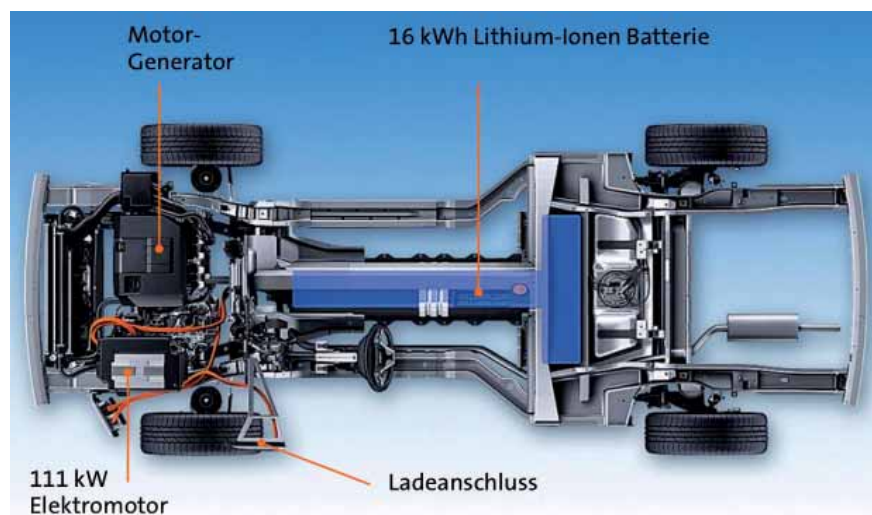
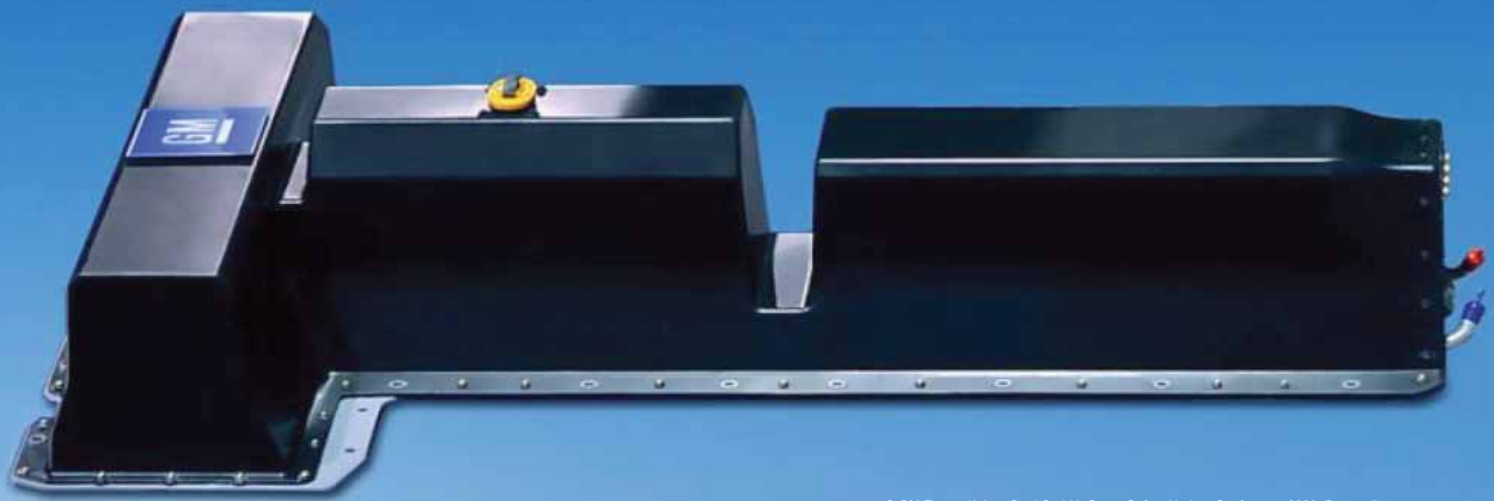


Abb.: Neue Herausforderungen ans Packaging - Opel Ampera.

Fig.: New challenges for packaging - Opel Ampera .

© GM Europe/Adam Opel GmbH: Grazer Safety Update Conference, Graz 2009, Proceedings



© GM Europe/Adam Opel GmbH: Gazer Safety Update Conference 2009, Proceedings



*Jürgen Gugler ist seit mehreren Jahren in der Fahrzeugsicherheit tätig und forscht im Bereich der „Elektro“-Fahrzeugsicherheit.*

*Jürgen Gugler has been active for many years in vehicle safety and conducts research in the area of electric vehicle safety.*

- und Steifigkeitsverteilungen alle Craschnormen und Konsumenten-Testprogramme erfüllen können. Mit der Einführung von Elektrofahrzeugen erweitert sich diese Problematik enorm. Solange es sich nur um Hybridfahrzeuge handelt, ergeben sich meistens nur insofern Veränderungen, als die zusätzliche Batteriemasse im Fahrzeug crashsicher verbaut und eine sichere Stromführung gewährleistet werden muss. Batterien werden derzeit fast ausschließlich im Bereich der Sicherheitszelle integriert, und zwar so, dass es bei allen gängigen und über Crashtests evaluierten Unfallszenarien nicht zu Verformungen der Batterien kommt. So verbaut beispielsweise General Motors im neuen Opel Ampera das gesamte Batteriepaket in der Mitte des Fahrzeuges hinter der Feuerwand bis in den Tankbereich. Um die Batterien wird außerdem noch ein zusätzlicher Rahmen gezogen, der einen weiteren Schutz und gleichzeitig die tragende Struktur des Fahrzeuges bildet. Beim reinen Elektrofahrzeug verschärft sich diese Problematik aufgrund des fehlenden Motor-Getriebekomplexes im Frontbereich als Bestandteil des Lastpfades bei Kollisionen.

#### **Sicherheit der Batterien**

Elektrofahrzeuge verfügen meistens über eine Vielzahl von Einzelzellen, die insgesamt mehrere hundert Kilogramm wiegen können und zu Modulen und in weiterer Folge zum Batteriepaket verschaltet sind. Zur Anwendung kommen derzeit verschiedene Zellen auf Lithium Basis. Diese können aber auch nach dem Unfall hohe Ladungs-Restkapazitäten aufweisen, wobei um gute Wirkungsgrade zu erreichen, häufig auch hohe Spannungen vorliegen. Diese elektrischen Energien können hohe Verletzungsrisiken sowohl für die Insassen als auch für die Retter darstellen. Zahlreiche Batterietypen bergen außerdem das

#### **Vehicles with different e-powertrain concepts**

Today it is already common to construct conventional vehicles in such a way that, in spite of different variations of engines and thus different dimensions, weight and stiffness distribution, they fulfil all crash norms and consumers testing programmes. The introduction of electric vehicles has led to a tremendous increase in complex problems. As long as only hybrid vehicles are involved, the necessary changes to be made are confined to additional battery mass built in a crash proof way as well as a guaranteed current feed. Presently, batteries are almost always integrated in the area of a safety cell. They are embedded in such a way that deformation is prevented, having passed all established crash tests evaluated in accident scenarios. General Motors, for example, fits the entire battery package of the new Opel Ampera into the centre of the vehicle behind the firewall as far as the tank area. An additional frame is assembled around the batteries providing extra protection and at the same time forming the supporting structure of the vehicle. The complex of problems is increased in the case of pure electric vehicles because of the missing engine gear mechanism in the front area which functions as part of load path in the case of collisions.

#### **Safety of batteries**

Electric vehicles generally have a number of separate cells which can weigh several hundred kilos in total. They are switched to modules and in turn to the battery package. At the present time various cells on a lithium basis are used. These cells can still have a high-charge capacity after an accident and, in order to achieve high efficiency, they frequently have a high voltage. These electric energies may cause injuries for the passengers and rescuers. Numerous types of batteries carry the risk of thermal instability and, in



© accident data base TU Graz/Institut für Vehicle Safety

Risiko einer thermischen Instabilität im Kurzschlussfall bzw. bei Überladung bis hin zur Selbstentzündung. Dieses Problem ist auch von Laptop- bzw. Mobiltelefon-Akkus bekannt und verursachte bereits weltweite Rückholaktionen. All diese wenig erforschten Risiken führen dazu, dass die Batterien heute fast ausschließlich in den Bereich der Sicherheitszone verlagert und geschirmt werden. Eine Positionierung der Batterien im Bereich der Verformungszonen wird derzeit kaum verfolgt.

#### Paradigmenwechsel

Vor allem bei Frontalkollisionen konnten große Fortschritte in der Fahrzeugsicherheit erzielt werden. Durch Abstimmung von Verformungszonen und Lastpfaden inkl. Motor und Getriebe kommt es kaum noch zu Intrusionen in die Fahrgastzelle. Bei voll elektrischen Fahrzeugen, insbesondere bei Antrieben mit Radnabenmotoren, fehlt nunmehr einer der Hauptlastpfade, da Motor und Getriebe direkt in den Rädern verbaut werden. Diese Aufgabe gilt es neu zu adressieren und zu überdenken. Eine Lösung dieser Aufgaben bildet aber die Grundvoraussetzung für einen flächendeckenden Einsatz von Elektrofahrzeugen, wobei auch eine volle crashtechnische Kompatibilität der Fahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen berücksichtigt werden muss. Dies wird aber an die „Elektro“-Fahrzeugsicherheit noch viele Herausforderungen stellen und zu geänderten Fahrzeugkonzepten mit einem intelligenten Aufbau und struktureller Integration des Energiespeichers führen, die bestmöglich und schnell gelöst werden müssen. Eine Reduktion der Sicherheit für die am Verkehr beteiligten Menschen ist sicher nicht akzeptabel.

the case of short circuit or when overcharged, can cause self ignition. This problem occurs with rechargeable batteries of laptops and mobile phones and has led to worldwide product recalls.

Due to a lack of research concerning these risks, almost all batteries are placed and shielded in a safety area. Positioning the batteries in the deformation zones is currently not carried out.

#### Paradigm shift

Great improvements in vehicle safety have been achieved especially in the area of head-on collisions. Because of adjustments of deformation zones and load paths including engine and gear box, intrusions into the passenger cabin occur very rarely. In the case of fully electric vehicles – especially those driven by a wheel hub engine – one of the main load paths is missing. The engine and the gear box are directly built into the wheels. This task is worth being targeted and reconsidered. A solution for these tasks would be part of the basic requirements for an area-wide use of electric vehicles, and would take into account a total crash technical compatibility of electric vehicles with conventional vehicles. This is a great challenge to electric vehicle safety and will lead to a shift in vehicle concepts, and will include intelligent construction and structured integration of energy storage systems, whose problems have to be solved speedily. Any reduction in traffic safety is unacceptable.

*Abb. links: Batteriepaket – Opel Ampera*

*Abb. oben: Frontalkollision*

*Fig left: Battery packet - Opel Ampera*

*Fig. above: Head-on collision*

# Lithium-Ionen-Technologie – die Batterie der Zukunft

## Lithium Ion Technology – The Battery of the Future

Stefan Koller



Stefan Koller ist Universitätsassistent am Institut für Chemische Technologie von Materialien. Er ist einer der Scientific Group Leader im European Research Institute for Advanced Lithium Energy Storage Systems und Geschäftsführer der Varta Micro Innovation GmbH. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Angewandten Elektrochemie im Speziellen jene von elektrochemischen Energiespeichern.

Stefan Koller is a postdoctoral assistant at the Institute for Chemistry and Technology of Materials. He is one of the scientific group leaders in the European Research Institute for Advanced Lithium Energy Storage Systems and managing director of Varta Micro Innovation GmbH. His research focuses on applied electrochemistry, especially in the field of electrochemical energy storage systems.

**Der schier unaufhaltsam wachsende Funktionsumfang mobiler Elektronikgeräte stellt auch an die Energieversorgung enorme Anforderungen. Hier haben sich in den letzten Jahren Lithium-Ionen-Batterien als das vorherrschende System etabliert und sollen nun auch die Möglichkeit einer emissionsfreien Mobilität eröffnen. Ihre Weiterentwicklung stellt das zentrale Tätigkeitsfeld der Lithium Power Group am Institut für Chemische Technologie von Materialien dar.**

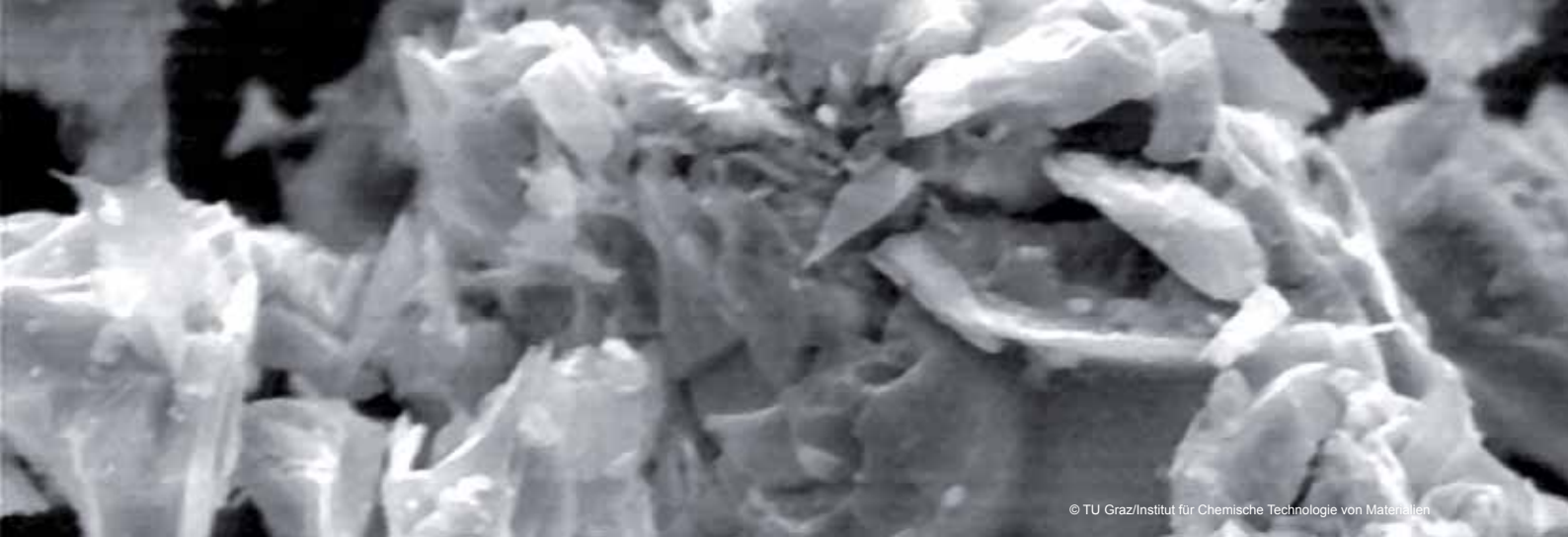
Mit dem Startschuss der großen Automobilkonzerne zur Elektrifizierung des Antriebsstranges wächst auch das Verlangen nach leistungsfähigeren elektrochemischen Energiespeichern. Doch nicht nur die Automobilindustrie benötigt leistungsfähigere Akkus. Im Bereich der mobilen Consumer-Electronics werden die Fortschritte der letzten Jahre durch den gestiegenen Energiebedarf der Geräte kompensiert, sodass die Verdopplung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien seit deren Kommerzialisierung (1991, Sony) sich nur unmerklich in längeren Betriebszeiten manifestiert. Die Lithium Power Group am Institut für Chemische Technologie von Materialien hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Vision von effizienten und leistungsfähigen Energiespeichern zu verwirklichen und konnte sich auch nach dem Abgang von Martin Winter (Berufung nach Münster) erfreulich positiv weiterentwickeln. Dadurch wurde nahezu nahtlos an die Erfolge und Themenbereiche angeknüpft. (Vgl. dazu Beitrag im Forschungsjournal der TU Graz vom SS 2007.)

Lithium-Ionen-Batterien stellen heute die fortschrittlichste Technologie dar, Energie elektrochemisch zu speichern und bieten zudem durch die große Diversität der einsetzbaren Materialien nicht nur die Möglichkeit, die Batterie für die jeweilige Anwendung maßzuschneidern, sondern auch ein enormes Potential zur Weiterentwicklung. Dies zeigt sich auch in dem von der Europäischen Kommission im Jahr 2001 veröffentlichten Diskussi-

**The burgeoning range of services of mobile electronic devices puts tremendous demands on their power supply. In the last few years, lithium ion batteries have become the system of choice and should now also offer the possibility of emission-free mobility. Their development is the main field of activity of the Lithium Power Group at the Institute for Chemistry and Technology of Materials.**

Since the large automotive companies' go ahead with the electrification of the powertrain, the demand for more powerful electrochemical energy storage systems has been growing. But it is not only the automotive industry that needs increasingly powerful storage batteries. In the area of mobile consumer electronics, the improvements of the last few years have been compensated by the rising energy demand of the devices in such a way that the doubling of the energy density of lithium ion batteries since their commercialisation by Sony in 1991 has resulted only in a barely perceptible increase in operating time. The Lithium Power Group at the Institute for Chemistry and Technology of Materials has taken on the task to realise the vision of more efficient and powerful energy storage systems. Despite Prof. Martin Winter leaving to pursue a professorship in Münster, work has been successfully continued at the same level and in the same research fields (see TU Graz research journal SS 2007).

Today, the lithium ion battery is the most advanced system of electrochemical energy storage and, through the diversity of the materials, not only allows the battery to be customised to the needs of the application, but also has a large potential for further development. This has also been pointed out in the European Commission discussion paper on "Future needs and challenges for non-nuclear energy research in the European Union" published in 2001, and which names lithium ion technology as one of the key technologies



© TU Graz/Institut für Chemische Technologie von Materialien

onspapier „Future Needs and Challenges für Non-Nuclear Energy Research in the European Union“, das die Lithium-Ionen-Technologie als Schlüssel-technologie zur Energiespeicherung ausweist. Den Schlüssel zur Weiterentwicklung sieht die Lithium Power Group in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung sowohl auf Material- als auch auf Zellebene. Dabei stellt die Vernetzung mit Instituten innerhalb der TU Graz, aber auch die Kooperation mit namhaften Industriebetrieben im In- und Ausland, mit Kompetenzzentren wie dem K2-Mobility, sowie mit anderen Universitäten, einen zentralen Faktor für den Erfolg dar.

So ist es im Rahmen eines EU-Projektes gemeinsam mit dem Institut für Anorganische Chemie gelungen, ein neues Speichermaterial für Lithium-Ionen zu entwickeln, das die Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien entscheidend verbessert. Als einer von 15 Partnern des „European Research Institutes for Advanced Lithium Energy Storage Systems“ (ALISTORE) ist es gelungen, sich in den Exzellenzcluster für Lithium-Ionen-Batterie-Forschung in Europa zu integrieren und diesen durch die Arealeitung im Bereich der Nanomaterialien für die negative Elektrode auch aktiv mitzugestalten. Projekte im Rahmen des K2-Mobility werden in enger Kooperation der Träger-GesmbH „Virtual Vehicle GmbH“ und elektrotechnischen Instituten

in energy storage. For the Lithium Power Group, application-oriented fundamental research on both material and cell level is the key for further developments. For this reason, forging links with other institutes of Graz University of Technology, and co-operating with notable industrial partners from Austria and abroad, competence centres like K2 mobility, and other universities, constitute a major factor for successful research.

In the framework of a European project with the Institute for Inorganic Chemistry, a new lithium ion storage material has been developed that significantly improves the energy density of lithium ion batteries. As one of the 15 partners of the “European Research Institutes for Advanced Lithium Energy Storage Systems (ALISTORE)”, the research group has managed to integrate itself in this European cluster of excellence for lithium-ion battery research and actively participates in the field of nano-materials for negative electrodes in its capacity as regional head. Through the fusion of the two institutes for chemistry and technology and the combination of their know-how, it has been possible to break new ground and, as an example, to use radical stabilising polymers as active material for Organic Radical Batteries.

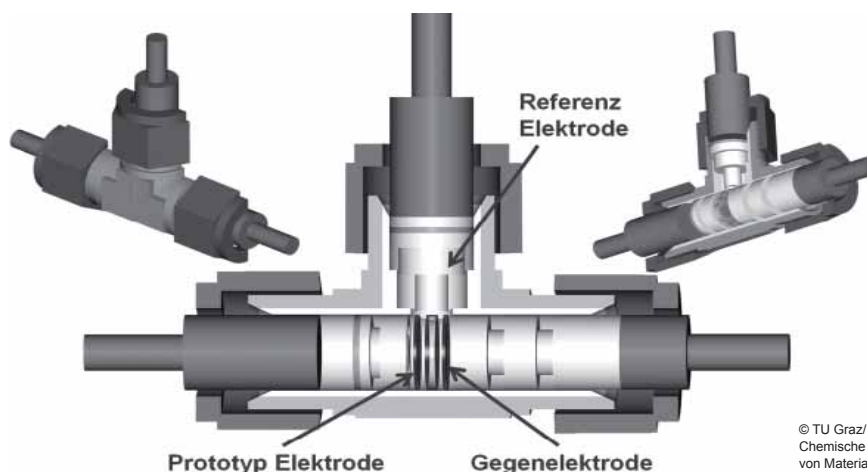
Against the background of a long-lasting co-operation of the Lithium Power Group together with

*Abb. oben: Rasterelektronen-mikroskop: Aufnahme des neuen Silizium/Graphit-Kompositmaterials, das im Zuge des EU-Projektes entwickelt und zum Patent angemeldet wurde. Es weist die doppelte Lithium-Ionen-Speicherkapazität auf wie der kommerziell verwendete Graphit.*

*Abb. unten: Aufgrund der Sicherheitsrisiken, die beim Test von Prototypmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien bestehen, werden diese in speziell entwickelten Testzellen geprüft. Diese bestehen aus massiven Edelstahl, sie sind bis zu Druck von zehn bar gasdicht und garantieren somit die Sicherheit bei den Tests.*

*Fig. above: Scanning electron microscope picture of a new silicon/graphite composite material. It was developed and patented within an EU project and offers a doubled lithium-ion storage capability compared to commercially used graphite.*

*Fig. below: Because of safety concerns during the investigation of prototype materials for lithium ion batteries, they are tested in specially developed test cells. They are built of massive stainless steel, are gas tight up to a pressure of 10 bar, and guarantee safety during the test procedure.*



© TU Graz/Institut für Chemische Technologie von Materialien



betrieben. Die besondere Nähe zu Technologieentwicklern wie „Volkswagen“ stellt hier einen speziellen strategischen Vorteil dar. Durch die Vereinigung der beiden chemischen Technologieinstitute und der Bündelung deren Know-hows gelingt es, neue Wege zu beschreiten und so zum Beispiel radikale stabilisierende Polymere als Aktivmaterial für so genannte „Organic Radical Batteries“ einzusetzen. Vor diesem Hintergrund ist aus der langjährigen Partnerschaft der Lithium Power Group zur Firma Varta Microbattery GmbH aus Ellwangen (Deutschland) die Idee eines gemeinsamen Joint Ventures in der Form einer Forschungsgesellschaft für Batterieforschung, der VARTA Micro Innovation GmbH, entstanden. Durch private Anleger, die sich in Form einer atypisch stillen Gesellschaft beteiligen sowie durch Fördergelder sollen für die erste Forschungsphase innerhalb von fünf Jahren 20 bis 40 Millionen Euro bereitgestellt werden. Die VARTA Micro Innovation GmbH wird mit ihrem Sitz am Standort Graz an den drei wesentlichen Herausforderungen der Lithium-Ionen-Batterietechnologie forschen: Akkus sollen sich schneller und ohne Energieverlust laden lassen, sollen weniger anfällig gegen hohe Temperaturen sein und sollen auf engstem Raum weit mehr Energie speichern als bisher. Ziel der Forschungsgesellschaft ist es, grundlegende Erfindungen und Entwicklungen zu erarbeiten, somit wertvolle IP's zu generieren und schließlich aus der Verwertung Rückflüsse für die Anleger und die TU Graz zu erzielen. Eine weitere Stärkung des Batterieforschungsstandortes Graz soll durch die Wiederbesetzung der Professur für Elektrochemische Energiespeicherung und Angewandte Elektrochemie erfolgen. Die Ausschreibung läuft derzeit, wobei die Wiederbesetzung im Jahr 2010 angestrebt wird. In Anbetracht der zurzeit in diesem Themenbereich offenen Positionen in Deutschland und der dort zur Verfügung stehenden Mittel, könnte diese Besetzung noch durchaus eine Herausforderung darstellen.

VARTA Microbattery from Ellwangen (Germany), the idea of a joint venture was born and a company for battery research, VARTA Micro Innovation, was founded. Through private investors, associated with the company via atypical dormant equity holdings as well as through aid money, 20-40 million euro will be allocated for the first research period of five years. VARTA Micro Innovation will be located in Graz and will perform research on the three main challenges and research aspects of the lithium ion battery technology: the rate capability of the system, the sensitiveness against high temperatures and the limited energy density. The objective of the research company is to generate valuable intellectual property, to commercialise it and thus generate a return flow for investors and Graz University of Technology. A further strengthening of the battery research location Graz should be achieved by the reappointment of the professorship for "Electrochemical Energy Storage and Applied Electrochemistry". Applications are currently being accepted, and the reallocation of the professorship is planned for 2010. Considering the large number of open positions in Germany and their excellent remuneration, the appointment of the professorship could be quite challenging.

# Der Antrieb im Rad – eine mechatronische Herausforderung

## Wheel-Hub Power Units – An integrative Challenge

Wolfgang Hirschberg, Andrés Rojas Rojas, Johann Willberger

**Wachsendes Umweltbewusstsein und stetig steigende Kraftstoffpreise haben das Thema Energienachhaltigkeit in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Immer öfter ist die Rede von elektrischen oder teilelektrischen (hybriden) Antrieben. Der nachfolgende Artikel versucht einen kurzen Einblick auf gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen und deren technische Lösungsbeiträge hinsichtlich Energienachhaltigkeit zu geben.**

Mobilität ist ein wesentlicher Teil unserer Lebensqualität. Ein nachhaltiger Umgang mit den dafür notwendigen Energiereserven bildet eines der zentralen gesellschaftlichen Themen für die nächsten Jahrzehnte. Internationale Vereinbarungen fordern eine stetige Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Feinstaubbelastungen ein. Diese Absicht steht aber im Widerspruch zu dem weltweiten Streben nach mehr Mobilität und stellt somit eine enorme Herausforderung für alle Beteiligten dar. Die wichtigsten Herausforderungen sind:

- die Endlichkeit von fossilen Energieträgern bei gleichzeitiger weltweiter Steigerung der Beförderungs- und Transportleistung
- der Eintritt von Schwellenländern in die Errungenschaften der individuellen Transportleistung
- schädliche Emissionen und Klimaveränderungen
- Nachhaltigkeit der Verkehrsmittel, insbesondere der Fahrzeuge und ihrer Antriebe

Die genannten Problemstellungen, insbesondere die Forderung nach nachhaltigen Verkehrsmitteln, fordern weitreichende Innovationen und eröffnen zukünftige Möglichkeiten für den Einsatz teilelektrischer (hybrider) und rein elektrischer Antriebsstränge. Der Einsatz von Elektromotoren im Kraftfahrzeug hat unterschiedliche Konsequenzen auf Fahrwerk und Aufbau.

**Growing environmental awareness and continually increasing fuel costs have brought sustainable handling of energy resources into the public eye. Purely electric or partially electric (hybrid) drives are subject to reports in the media more and more often. The present article is a short introduction to present and future challenges and their technical contribution concerning the sustainability of energy resources.**

Mobility is an essential part of our all lives. A sustainable handling of energy resources is an important subject and may even be one of the major social issues within the next decades. International agreements are demanding a continuous reduction of carbon dioxide emissions and respirable dust, however, these intentions seem to be in conflict with increased worldwide demand for more mobility. Solving this conflict is a big challenge. The most important challenges are:

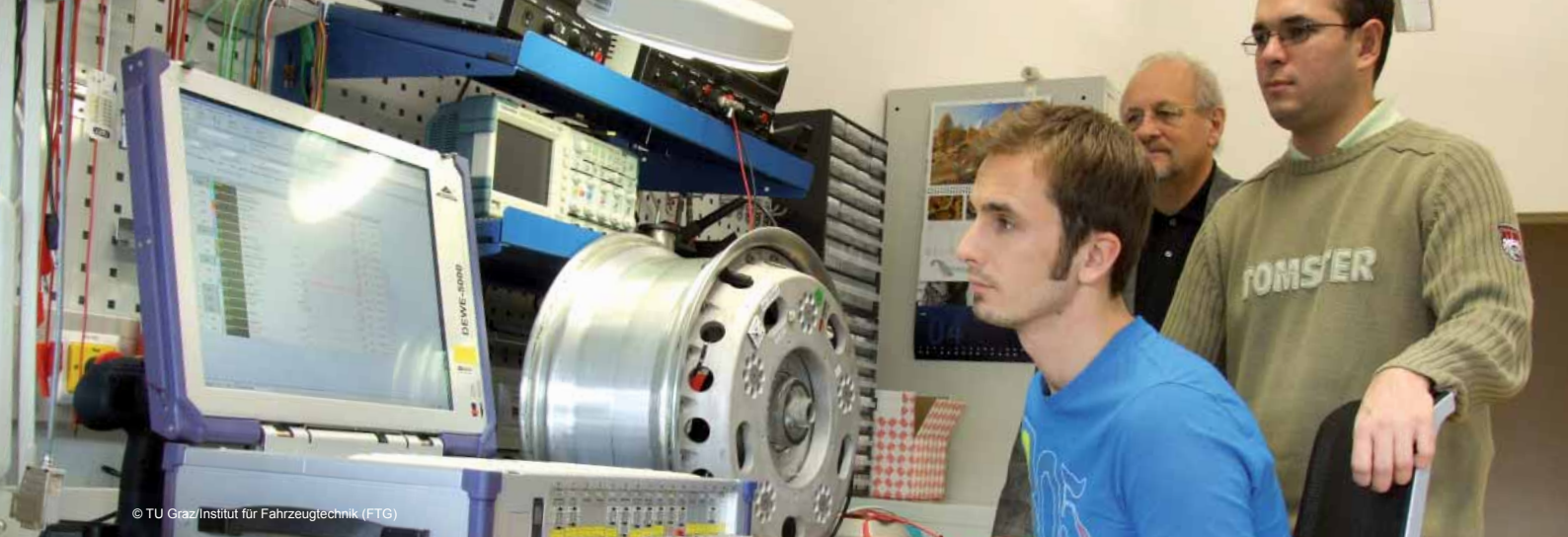
- Finiteness of fossil fuels versus a worldwide increase in transportation
- Increased individual demand in transportation in emerging markets
- Noxious emissions and climate change
- Sustainability of transportation, particularly automobiles and their drive systems

The mentioned challenges require long range innovations, which represent possibilities and potentials for the use of hybrid or purely electric propulsion units in vehicles at present and in the future. The application of electric engines in vehicles establishes new possibilities within the vehicle design processes.



Wolfgang Hirschberg ist Leiter des Instituts für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI]. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die virtuelle Entwicklung von Fahrzeugen einschließlich innovativer Antriebe sowie Fahrer-Assistenzsysteme von PKW und Nutzfahrzeugen. Weitere Interessensgebiete sind die Fahrdynamik und -sicherheit in Theorie und Experiment sowie die integrierte Fahrzeugsicherheit.

Wolfgang Hirschberg is head of the Institute of Automotive Engineering, member of [FSI]. The research programme covers the virtual development of vehicles, including innovative powertrains and driver-assistance systems of passenger cars and commercial vehicles. Further research areas focus on the vehicle dynamics using simulation, experiments and integrated vehicle safety.



Andrés Rojas ist Dissertant am Institut für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI], und verantwortlich für den maschinenbaulichen Teil eines interdisziplinären Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit Magna Powertrain. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die theoretische und praktische Untersuchung von Fahrkomfort und -sicherheit. Die Erkenntnisse dienen der Modifikation von Fahrwerksystemen für verschiedene Antriebstopologien.

Andrés Rojas is a PhD student at the Institute of Automotive Engineering, member of [FSI]. He is in charge of the mechanical part of an interdisciplinary research project in co-operation with Magna Powertrain. His research topics cover theoretical and practical investigations concerning driving comfort and safety. His technical expertise is used for the modification of suspension systems for diverse powertrain topologies.

Dabei kann grundsätzlich zwischen den drei folgenden elektrischen Antriebstopologien unterschieden werden:

- Zentralantrieb
- Achsantrieb
- Radnabenantrieb

Diese drei Antriebsvarianten zeichnen sich dabei durch grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Bauraum, Kühlung und Komplexität aus. Der Zentralmotor ist die einfachste Antriebsvariante. Er ist weitestgehend mit herkömmlichen Motoranordnungen vergleichbar, der Eingriff in das Fahrwerk hält sich bei dieser Bauweise in Grenzen; das Fahrwerk kann sogar von konventionellen Ausführungen übernommen werden. Beim Achsantrieb treiben bzw. bremsen zwei voneinander unabhängige Elektromotoren jeweils über eine Gelenkwelle ein Rad und man kann ein Differentialgetriebe einsparen. Die Elektromotoren befinden sich dabei paarweise vorne oder hinten im Chassis, wobei der zusätzliche Platzbedarf einen größeren Eingriff in die Fahrzeugkonstruktion bedingt. Die paarweise Anordnung der Motoren ermöglicht hierbei infolge radselektiver Momentenverteilung („Torque-Vectoring“) fahrdynamisch wirksame Regeleingriffe zur Erhöhung der aktiven Fahrsicherheit und Agilität. Die dritte Antriebstopologie, der Radnabenantrieb, stellt die komplexeste Variante dar. Dieser Antrieb verlagert den gesamten Antriebsstrang in die Radfelge. Als wesentliche Möglichkeiten und Potentiale dieser Anordnung können angegeben werden:

- Gewinn von Bauraum zugunsten nutzbarem Fahrzeuginnenraum
- Effizienzsteigerung durch den kürzest möglichen Antriebsstrang

Basically, three different electric powertrain topologies can be distinguished:

- Central drive
- Axle drive
- Wheel-hub drive (in wheel motor)

The three mentioned powertrain topologies can be distinguished by different requirements concerning space, cooling, mass distribution and complexity. The central drive is considered to be the easiest powertrain topology and it is comparable to conventional engine configurations at the front. The changes in suspension are slight; in fact, even conventional designs can be applied. The axle drive is similar to central drive. The difference is that two electric motors are used to accelerate and decelerate their wheels via drive shafts. Thus, a differential gear can be omitted. The motor types are arranged in pairs either in the front or in the rear of the vehicle. The increased space requirements of axle drives within the vehicle require an overall modification of the vehicle design. This topology allows an impact on vehicle dynamics and an increase in vehicle safety through an individual torque distribution („torque vectoring“) on the wheels. The third powertrain topology represents the most complex one. The wheel-hub powertrain topology wheel-hub drive includes the entire powertrain within the wheel rim. Due to tight spaces, the topology can be considered as an enormous technical challenge. The major possibilities and potentials of the wheel-hub powertrain topology can be specified as follows:

- Gain in available interior
- Efficiency increase by the shortest possible powertrain
- Integration of electric motor types and brakes

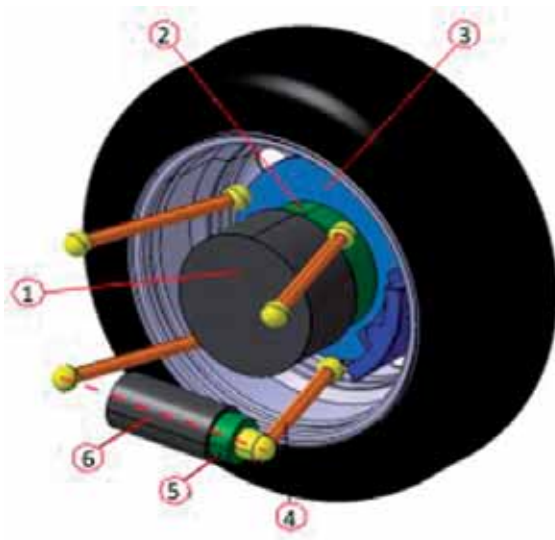


Abb.: Kompakte Bauweise: 1. Elektromotor, 2. Übersetzungsgetriebe, 3. Bremsscheibe, 4. Querlenker, 5. Übersetzungsgetriebe des 6. Aktuators vom aktiven Dämpfungssystem zur Verbesserung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit.

Fig.: Compact design: 1. Electric motor, 2. transmission gearbox, 3. Brake disc, 4. Transversal suspension arm, 5. transmission gearbox of 6. actuator which is part of the active damping system used to enhance ride comfort and driving safety.

© TU Graz/Institut für Fahrzeugtechnik (FTG)

- Integration Elektromotor und mechanische Bremse
- Radselektive Momentenverteilung zur Erhöhung der aktiven Fahrsicherheit

Den genannten Vorteilen stehen eine Reihe von Problemen gegenüber, welche für die Umsetzbarkeit dieser Antriebsvariante zu lösen sind. Zu den wesentlichen Herausforderungen zählen:

- Einbußen an Fahrkomfort- und aktiver Sicherheit durch erhöhte Radmassen
- zusätzliche Kühlung erforderlich
- schlechtes Betriebsumfeld reduzieren Lebensdauer und Betriebssicherheit der Elektromotoren

Die erhöhten Radmassen erfordern nicht nur eine gänzlich neue Abstimmung des Fahrwerks, sondern bedürfen der Integration von semi- oder gar vollaktiven Feder-/Dämpfersystemen. Die beengten Platzverhältnisse erfordern zusätzlich die kinematische und geometrische Umgestaltung herkömmlicher Fahrwerke und stellen somit einen wesentlichen Eingriff in die Fahrwerkskonstruktion dar. Die Elektromotoren bedürfen eines optimalen Designs, wobei die Maschinenverluste aufgrund der schlechteren Kühlbedingungen zur Erhöhung der Lebensdauer minimiert werden müssen. Es ist offensichtlich, dass der Antrieb im Rad eine große mechatronische Herausforderung darstellt, deren Lösung den Zusammenfluss mehrerer ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Informatik bedarf. Die Erzielung von tragfähigen Lösungen braucht eine neue Qualität der Kooperation. Diese Kooperation wird im Rahmen der laufenden Forschungstätigkeiten bereits gelebt, welche heute über die Grenzen von Instituten und Fakultäten, ja über Universitätsgrenzen hinausgehen. Die frühzeitige Einbeziehung von innovativ orientierten Industriepartnern ist wichtig, damit die laufenden Forschungen nicht im Grundsätzlichen stehen bleiben.

- Individual torque distribution
- Increase in vehicle safety

Nevertheless, there are plenty of disadvantages concerning the wheel-hub powertrain topology. The major challenges are:

- Decrease in comfort and safety due to increased wheel masses
- Necessary additional cooling
- Bad operating conditions reduce service life and safety of the electric motor

The solution of the mentioned issues is of great interest since they represent prerequisites for the future application of the powertrain. Increased wheel masses require a complete adjustment of the suspension and thus demand the integration of semi active or fully active spring-damper systems. The electric motors need to be designed efficiently taking into account weight and volume, and machine losses have to be minimized to raise service life because of bad cooling conditions.

It is obvious that due to the previously mentioned reasons, wheel-hub power units represent a major integrative challenge which will necessitate the integration of diverse engineering disciplines such as mechanical engineering, electrical engineering, control theory and informatics. Substantial progress requires a new quality of co-operation. This co-operation is already being carried out beyond the borders of institutes, faculties and universities. The early involvement of innovative industrial partners is an important condition to move current research on.



Johann Willberger ist Dissertant am Institut für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI], und verantwortlich für den elektrischen Teil eines interdisziplinären Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit Magna Powertrain. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Auslegung, Simulation und Regelung von elektrischen Maschinen zur Energieverbrauchsermittlung in Zyklusuntersuchungen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen konzentriert sich auf die Radnabenantriebstopologie.

Johann Willberger is a PhD student at the Institute of Automotive engineering, member of [FSI]. He is in charge of the electrical part of an interdisciplinary research project in co-operation with Magna Powertrain. His research topics cover the design, simulation and control of electric motor types for energy investigations at different cycles. The main focus of his research work is on wheel-hub powertrain topology.

# Production Science and Management

## Win-Win-Ansatz für industrielle Aktivitäten

# Production Science and Management

## Win-win approach for industrial activities

Josef W. Wohinz



Josef W. Wohinz leitet das Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung sowie das Institute of Production Science and Management, Member of [FSI]. Wohinz' Forschungsinteressen liegen u. a. im Industriellen Management, Produktionsmanagement sowie im Innovations- und Wissensmanagement.

Josef W. Wohinz heads the institute of Industrial Management and Innovation Research and the Institute of Production Science and Management, member of [FSI]. His research interests lie in industrial management, production management and innovation and knowledge management, among other areas.

**Production Science and Management (PSM) ist eines von vier unabhängigen Instituten, das in Forschung und Lehre am Frank Stronach Institute [FSI] der TU Graz tätig ist. Auf Initiative von Frank Stronach persönlich wurde das gleichnamige Masterstudium Production Science and Management ins Leben gerufen. Mit dessen Etablierung soll auf die Notwendigkeit des internationalen Einsatzes junger Ingenieurinnen und Ingenieure in industriellen Organisationen entsprechend reagiert werden.**

Production Science and Management versteht sich als akademische Plattform, die sich die Entwicklung organisationaler sowie individueller Kompetenz, und damit die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit industrieller Organisationen zum Ziel gesetzt hat. Die Bedeutung von Kompetenzen – insbesondere von Kernkompetenzen – in industriellen Organisationen wurde im Jahr 1994 von Gary Hamel und C.K. Prahalad deutlich herausgearbeitet: „Eine Kernkompetenz ist eine Bündelung von Fertigkeiten und Technologien, die es einer Firma ermöglicht, für den Kunden einen speziellen Nutzen zu erbringen.“ (Orig.: „A core competence is a bundle of skills and technologies that enables a company to provide a particular benefit to customers.“) Diese Aussage hat zweifelfrei auch heute noch hohe Bedeutung und schafft die Basis für zielgerichtete Forschung und Entwicklung in diesem Bereich.

### Masterstudium für “High Potentials”

Das Ziel des Masterstudiums Production Science and Management ist, Studierende für eine Arbeitswelt zu qualifizieren, die durch eine äußerst hohe Dynamik in technischen, wirtschaftlichen und sozialen Belangen charakterisiert ist. Basierend auf zeitgemäßen Methoden der Wissensvermittlung bietet diese Form der Ausbildung

*Production Science and Management is one of the four independent areas of research and teaching at the Frank Stronach Institute [FSI] at Graz University of Technology. It was a personal initiative of Frank Stronach to create the PSM programme in order to provide support for the international activities of young engineers in industrial organizations.*

Production Science and Management therefore works as an academic platform for the development of industrial competences on both an individual and organizational basis. The importance of competences or core competence was brought in the focus of scientific work by F. Hamel and C.K. Prahalad (1994/p. 219): “A core competence is a bundle of skills and technologies that enables a company to provide a particular benefit to customers”. This idea is still of value and establishes the general basis for specific research and teaching.

### Study programme for “high potentials”

The mission of this study programme is to enable students to gain qualifications in a society that is characterised by constant technological, economic and social changes. Based on modern learning models, the study programme offers and organises individual qualification services that support people in dealing with constantly changing processes and new technologies.

The Production Science and Management (PSM) study programme is a master's programme taught at the Faculty of Mechanical Engineering and Economics. The programme can be chosen after the successful completion of the bachelor course in Mechanical Engineering or Mechanical Engineering and Economic Sciences at Graz University of Technology or an equivalent programme. Internationality is not only taught in this study programme,



© TU Graz/Bergmann

individuell maßgeschneiderte Qualifizierungspakete. Das ermöglicht den PSM-Absolventen, ihr Wissen in einem sich stetig ändernden Umfeld entsprechend einzusetzen.

Production Science and Management wird an der Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften der TU Graz angeboten. Als Grundlage zur Zulassung muss der erfolgreiche Abschluss eines der beiden Bachelorprogramme der TU Graz, Maschinenbau oder Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau, nachgewiesen werden. Möglich ist es aber auch, mit einer anderen adäquaten Vorbildung (auf Bachelor-Niveau) das PSM Masterstudium zu beginnen. Internationalität wird in diesem Studium nicht nur gelehrt, sondern auch gelebt: Alle Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache abgehalten. Das Ziel des Studienprogrammes ist also – wie schon festgehalten – die Entwicklung von Kompetenzen in den folgenden Bereichen:

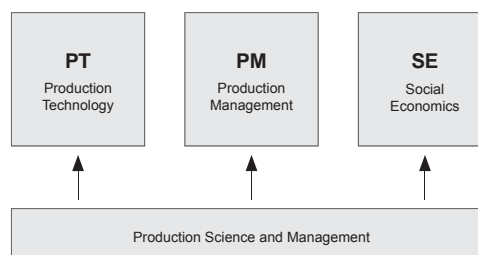
- Produktionstechnik →  
Entwicklung von technischer Kompetenz
- Produktionsmanagement →  
Entwicklung von Management-Kompetenz
- Soft Skills →  
Entwicklung von Sozial-Kompetenz

#### Forschungskooperationen mit der Industrie

Die Forschungsaktivitäten am PSM-Institut sind weitestgehend durch Kooperationen mit der Industrie sowie mit Partnerinstituten gekennzeichnet. Damit kann auch eine exzellente Verbindung zwischen Forschung und Lehre geschaffen werden. Forschungsergebnisse werden in Form von Masterarbeiten, Diplomarbeiten, Doktorarbeiten sowie wissenschaftlichen Projektberichten und Publikationen veröffentlicht. Neben diesen Formen der wissenschaftlichen Publikation liegen ausgewählte Ergebnisse der Forschungsaktivitäten am PSM-Institut auch in der Monographic

but also practised: all courses are held in English. Taking this into consideration, the aim of the study programme is the development of competences in three main areas:

- Production Technology →  
Technical competence
- Production Management →  
Management competence
- Social Economics →  
Social competence



#### Research activities with industry

The PSM research activities are realized by a strong co-operation between institutes, responsible for production technology or production management and industrial partners. In that sense an excellent connection between teaching and research is possible. The result of research-activities can be seen in diploma theses, doctoral theses, project reports and scientific publications.

Furthermore, scientific results are published in the PSM monographic series. Up to now three titles are available:

- Josef W. Wohinz: Industrial competence – challenge for industrial management (Graz, 2009).
- Hannes Fuchs: Risk orientation in logistics – an approach to risk treatment in complex logistics systems (Graz, 2009).
- Christian Ramsauer: Production strategy – mastering the dynamics of globalization (Graz, 2009).

#### Fertiggestellte Diplomarbeiten des PSM-Instituts:

*Completed diploma theses of the PSM-institute:*

- Markus Loinig: *Identification of the optimal level of Automation in the Body in White Production* (2008).
- Gerfried Reis: *An Ideal Software Environment for the WIN Initiative* (2009).
- Bernhard Weber: *Environmental Analysis and Business Plan Draft for Launch of Biomass Heating Systems in Northern America* (2009).

#### Doktorarbeiten:

*Doctoral theses:*

- Wolfgang Danzer: *Wissens-basiertes Qualitätsmanagement (Knowledge-based quality-management)* (2006).
- Anton Angerer: *Successfactors of Innovation Management in Automotive Supplier Industry (in Bearbeitung).*

## PRODUCTION SCIENCE AND MANAGEMENT – OUR SIX POINTS OF IMPORTANCE:

- We are an institution that is responsible for the PSM master programme. Our challenge is continuous improvement of quality to attract the best students of our university.
- We are active in research in our specific fields of production management and social economics. Results are formulated in reports, publications and dissertations.
- We want to strengthen the position of Graz University of Technology in international aspects. We are internationally oriented; students and partners from all over the world are welcome.
- We want to offer our students an excellent academic education. All lectures are oriented to supporting them in the pursuit of their professional careers.
- We are an open institute that is part of a continuously growing network outside our university. This network includes institutions of other universities as well as company partners.
- We are an active member of Frank Stronach Institute at Graz University of Technology. Our work is carried out in co-operation with the other member institutes.

### Literatur:

#### References:

Gary Hamel, C.K. Prahalad:  
*Competing for the Future*  
(Boston, 1994).

Josef W. Wohinz: *Industrial Competence – Challenge for Industrial Management*  
(Graz, 2009).

Series „Production Science and Management“ vor. Bis dato sind drei Arbeiten im Rahmen dieser Buchreihe erschienen:

- Josef W. Wohinz: *Industrial Competence – Challenge for Industrial Management* (Graz, 2009).
- Hannes Fuchs: *Risk Orientation in Logistics – An Approach to Risk Treatment in complex Logistics Systems* (Graz, 2009).
- Christian Ramsauer: *Production Strategy – Mastering the Dynamics of Globalization* (Graz, 2009).

### Kompetenzentwicklung für die Zukunft

Die aktuelle Entwicklung in der Industrie ist nach wie vor durch die hohe Dynamik von Veränderungsprozessen gekennzeichnet. Mehr Wettbewerb – und eine insgesamt gestiegene Erwartungshaltung der Gesellschaft an die Industrie in Bezug auf Reduktion negativer Umwelteinflüsse – wirken maßgeblich auf die Führung industrieller Organisationen. Kompetenzentwicklung auf organisationaler wie individueller Basis erscheinen daher als Notwendigkeit zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit von industriellen Unternehmen. Daraus resultieren auch steigende Anforderungen an Einrichtungen der Lehre und Forschung. Eine Institution wie das PSM-Institut (als Lehr- und Forschungseinrichtung auf diesem speziellen Gebiet) sollte auch in Zukunft diesen Herausforderungen gerecht werden können.

Mit den Resultaten der wissenschaftlichen Arbeit am Institut sind Vorteile sowohl für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter industrieller Organisationen, wie auch im akademischen Bereich verbunden. Grundlage für die Arbeit am PSM-Institut ist das so genannte Mission Statement, das inhaltlich in den so genannten „Six Points of Importance“ zusammengefasst ist. Mit dieser Orientierung wird die wissenschaftliche Arbeit am Institute of Production Science and Management heute und für die nahe Zukunft durchgeführt.

### Competence for the future

The present development of industry is still characterized by high dynamic changes. More competition and higher awareness of society in regard to negative aspects of industrial activities are the circumstances for industrial units. The necessary basis for the competitiveness of industrial units can be seen in the development of organizational and individual competence. Increasing demands on research and teaching institutions are a consequence of this. An establishment such as the PSM (in its role as a teaching and research institution) should be able to meet these challenges in the future.

The results of this scientific work should bring benefits for all persons in industrial companies. Moreover, the result should be of high importance for all academic institutions. The benefit for both sides of this win-win-situation should be beyond all doubt a sound basis for a successful future development, too.

The basis for the work at the Institute of Production Science and Management is formulated in the six points of importance, which is our policy for the present and the near future.

# Heiß geformt – stabil gebaut

## Hot Stamped – Solid Built

Ralf Kolleck

***Sicher, leicht und zum Design passend: An Fahrzeugkarosserien werden unterschiedlichste Ansprüche gestellt, die sich oft schwer miteinander vereinbaren lassen. Mit höherfesten Blechwerkstoffen wird diesen Anforderungen begegnet – sie stellen allerdings die Umformtechnik vor große Herausforderungen. In diesem Spannungsfeld arbeitet das Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion.***

Das Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion, im Englischen Tools and Forming – kurz T&F, feierte in diesem Jahr bereits seinen fünften Geburtstag. Seit der Institutsgründung im Jahr 2004 stieg die Zahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kontinuierlich auf heute 27. Als wichtiger Meilenstein kann der Bezug der eigenen Büro- und Laborräume im Jahr 2006 gesehen werden. Das Institut ist im Frank Stronach Institute an der Einfahrt zum Campus Inffeldgasse angesiedelt und ist stolz auf seine hochmoderne Ausstattung, die sowohl der anwendungsorientierten Industrieforschung als auch der Grundlagenforschung gerecht wird. Die Forschungsfelder reichen von der Untersuchung von Umformprozessen über die Auslegung von Umformwerkzeugen bis hin zur Optimierung von Maschinen und Anlagen.

Um die Studierenden möglichst früh mit der Praxis in Berührung zu bringen, werden diese von Beginn an stark in aktuelle Forschungsprojekte eingebunden. Gerade bei Kooperationsprojekten mit der Industrie besteht hier für beide Seiten, Studierende wie Auftraggeber, die Möglichkeit sich persönlich kennenzulernen. So kann sich schon während des Studiums der Kontakt zu einem zukünftigen Arbeitgeber ergeben.

### Heiß geformt – stabil gebaut

Die passive Sicherheit von Fahrzeugen hat in den letzten Jahren enorm zugenommen. Ein moderner Kleinwagen bietet im Falle eines Unfalls deutlich bessere Überlebenschancen für die Insassen als

***Safe, lightweight and suitable for the design: there are many different requirements a car body has to meet, and some of them are very hard to combine. Sheets of higher strength satisfy these demands, at the same time, however, they turn out to be a new challenge to forming techniques. This is exactly the field the Institute of Tools and Forming focuses on.***

The Institute of Tools and Forming, or T&F, has recently celebrated its fifth anniversary. Since the institute's foundation in 2004, the number of employees has been increasing continuously to a total of 27 in 2009. A milestone worth mentioning was the establishment of the office and laboratory facilities in 2006. The Institute of Tools and Forming, situated at the Frank Stronach Institute at the entrance to the "Inffeldgasse" campus, and is very proud of its state-of-the-art equipment, which is suitable not only for hands-on and industry-oriented studies, but is also capable of carrying out fundamental research. The research fields range from analysing forming processes and dimensioning forming tools to optimizing forming machines.

To enable students to gain useful experiences as soon as possible, they are immediately involved in current research projects. Especially during projects with industry partners, both students and clients get the opportunity to get to know each other in person. This way, students get the valuable possibility of establishing connections to their future employer early on during their studies.

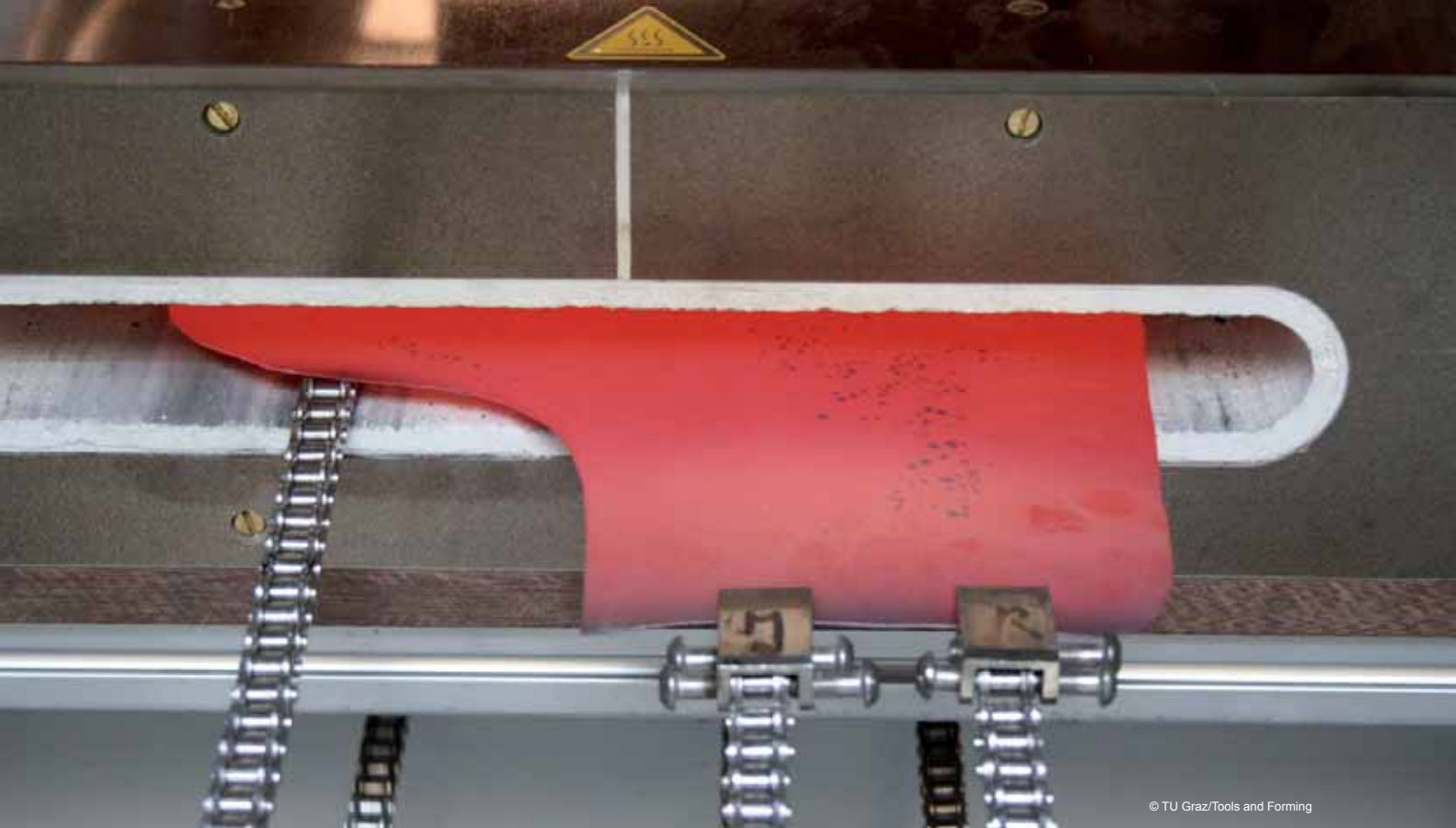
### Hot stamped – solid built

Passive driving safety has been increasing tremendously during the last years. A present-day compact car guarantees its driver a much better chance of survival than a 20-year-old medium-sized vehicle. This is due to the use of high strength materials. The idea of high safety and lightest weight possible can be achieved by in-



*Ralf Kolleck ist Leiter des Instituts Werkzeugtechnik und spanlose Produktion, Member of Frank Stronach Institute [FSI] an der TU Graz. Die praxisrelevanten Forschungsaktivitäten fokussieren sich u.a. auf die Optimierung von Umformprozessen und Umformanlagen, oder die Entwicklung und Verbesserung von Werkzeugsystemen.*

*Ralf Kolleck is head of the Institute of Tools and Forming, which is a member of the Frank Stronach Institute [FSI] at Graz University of Technology. His practical research activities focus among other things on the optimisation of forming processes and forming systems, and the development and improvement of tools systems.*



© TU Graz/Tools and Forming

Abb. oben: Induktive Erwärmung von Formplatinen.

Abb. rechts oben: Bewertung der Rissbildung bei UHSS-Material.

Abb. rechts: CFD-Berechnung des Wärmehaushaltes bei gekühlten Werkzeugen.

Fig. above: Inductive warming of formed blank.

Fig. right above: Evaluating crack formation in ultra-high strength material.

Fig. right: CFD calculation of thermal efficiency with cooled tools.

ein 20 Jahre altes Mittelklassemodell. Grund hierfür ist der Einsatz von höchstfesten Blechwerkstoffen. Hohe Sicherheit und dabei so leicht wie möglich lautet die Devise. Dies wird durch eine Erhöhung der Werkstofffestigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung der Blechdicke erreicht. Der Vorteil des „starken Stahls“ ist aber gleichzeitig ein Problem: Durch die extreme Materialhärte wird das Zuschneiden der Blechteile zu einer echten Herausforderung. Hochfester Stahl kann zudem nicht mit den gewohnten „kalten“ Umformvorgängen in Form gebracht werden, er würde aufspringen und sich verdrehen. Am problemlosen Zuschneiden der Bleche wird noch eifrig geforscht, der anderen Zwickmühle bietet das Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion mit dem so genannten Presshärten die Stirn. Dabei wird das Blech auf etwa 950°C erhitzt, durch eine Matrize in Form gepresst und sofort wieder auf 190°C abgekühlt. Hierdurch erhält das fertige Bauteil eine extrem hohe Festigkeit. Da die Erwärmung des Blechs in der industriellen Anwendung einen hohen technischen Aufwand mit sich bringt, wurde am Institut eine für diesen speziellen Anwendungsfall einzigartige Induktionsanlage entwickelt, die die Wärme direkt in das Blech leitet und so deutlich weniger Energieverluste aufweist. Die Blechumformung gestaltet sich durch die gezielte Wärmeabgabe nicht nur um einiges wirtschaftlicher, sondern bringt auch bessere Bauteileigenschaften mit sich.

creasing the material strength while decreasing the sheet thickness. However the benefit of this “strong steel” is, at the same time, a problem. Due to the extreme material hardness, cutting the sheet components becomes a real challenge. Additionally, high-tensile steel cannot be shaped by common “cold” forming processes, because it springs back and twists.

While the problem of cutting the sheets properly is still being worked upon, the Institute of Tools and Forming is capable of offering a solution to the second dilemma, namely the hot forming process. During this process the sheet is first heated to about 900°C, then pressed into shape by a die before it is immediately cooled down to 190°C. This process causes the finished part to obtain an extremely high strength. As the heating of the sheet is usually accompanied by a high technical effort, the T&F Institute has developed a unique induction system which conducts the heat directly into the sheet and therefore decreases the energy loss many times over.

Due to the selective heat emission, sheet forming has not only become much more economical, it has also been proven to enhance the material properties.



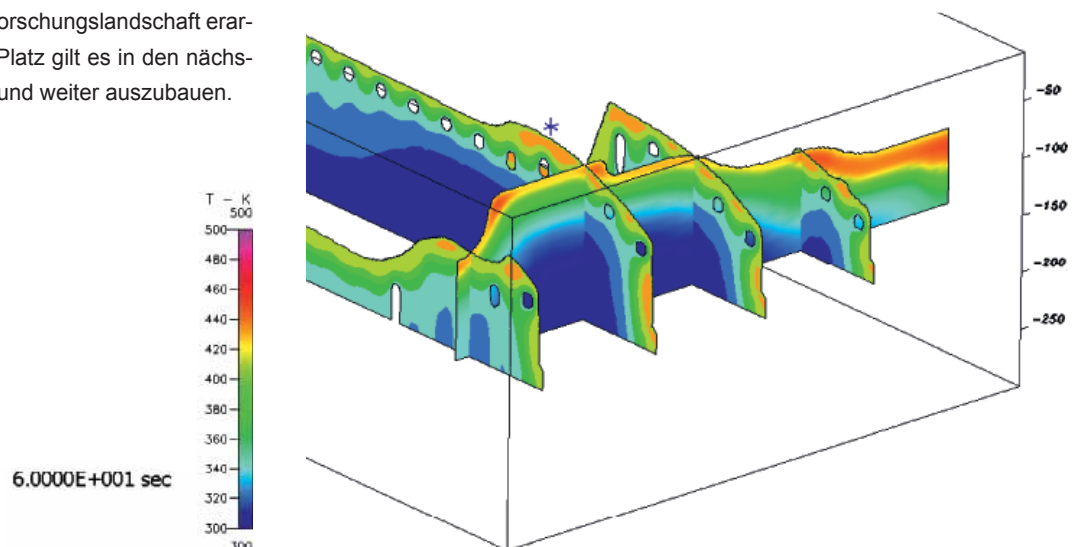
© TU Graz/Tools and Forming

### „Verrückte“ Ideen als Impulsgeber

Unsere Aufgabe als Institut ist es, neue Ideen zu entwickeln und die Forschung mit Impulsen voranzutreiben. Es macht wenig Sinn, sich in Details zu verlieren und damit den Blick für das Ganze zu verlieren. Für Innovationsführerschaft müssen wir industrietaugliche Ergebnisse an realen Bauteilen präsentieren und prozesssichere Technologien entwickeln. Dennoch benötigen wir Freiraum, um auch zunächst verrückt erscheinende Ideen aufgreifen zu können und sie in Grundlagenuntersuchungen auf ihre Machbarkeit hin zu überprüfen. Dieses Wechselspiel zwischen Anwendungs- und Grundlagenorientierung hat dazu geführt, dass sich das Institut bereits in der kurzen Zeit seines Bestehens einen festen Platz in der internationalen Forschungslandschaft erarbeiten konnte. Diesen Platz gilt es in den nächsten Jahren zu festigen und weiter auszubauen.

### “Crazy” ideas as source of inspiration

Our main task at the institute is to push forward new ideas and to stimulate research with new impulses. It is not worthwhile focusing on details if this means losing sight of the overall issue. To be a leader in innovation, we have to present industry with qualified solutions applied on real parts, as well as process-capable technologies. However, we need the freedom to pick up on, initially, crazy-sounding ideas, in order to carry out fundamental research to check their feasibility. This interplay between applied and fundamental research has led to the Institute's good international reputation despite its relatively short existence. Strengthening and expanding this status is going to be the main goal for the future.



# Augmented Reality auf dem Mobiltelefon

Exakte ortsbezogene Informationen überall und jederzeit!

## Augmented Reality on Mobile Phones

Exact Location-Based Information at Any Time and Any Place!

Dieter Schmalstieg



Dieter Schmalstieg ist Professor am Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen an der TU Graz und leitet das „Studierstube“-Forschungsprojekt im Bereich Augmented Reality. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Virtual Reality, Augmented Reality, verteilte graphische Systeme, 3D-Benutzerschnittstellen und Ubiquitous Computing.

Dieter Schmalstieg is professor of Virtual Reality and Computer Graphics at Graz University of Technology, Austria, where he directs the „Studierstube“ research project on augmented reality. His current research interests are augmented reality, virtual reality, distributed graphics, 3D user interfaces, and ubiquitous computing.

**Ein Handy kann heutzutage schon viel mehr als nur Telefonieren. Das Christian Doppler-Labor für Handheld Augmented Reality an der TU befasst sich beispielsweise mit der Erforschung und der Entwicklung von Augmented Reality-Technologie für Mobiltelefone: Ortsbezogene Informationen können direkt aufs Handy geliefert werden.**

Unter Augmented Reality (AR) versteht man die Überlagerung von Computergrafik in einem Live-Videobild, um erklärende, auf Ort und Situation bezogene Inhalte anzuzeigen. Die Darstellung erfolgt in Echtzeit und jede Information bezieht sich auf einen genau spezifizierten Punkt in der Welt – die angestrebte Genauigkeit lässt sich grob mit 1 cm und 1 Grad abschätzen. Diese Art eines ortsbezogenen Informationsdienstes unterscheidet sich deutlich von bisherigen mobilen Lösungen, die zu meist nur auf groben GPS-Angaben basieren.

Augmented Reality ist eine neue Form der Mensch-Maschine-Interaktion, die mittels mobiler Geräte wie Handys an beliebigen Orten und weitgehend ohne Benutzereingaben – nur durch so genanntes „Point & Shoot“ mit dem mobilen Gerät – stattfinden kann. Die Anwendung ist denkbar einfach: Statt eine Webadresse einzutippen, zeigt man mit dem AR-Gerät einfach auf ein bestimmtes Objekt, zu dem dann diverse Informationen abgerufen werden. Statt die Interaktion aus der Welt zum Computer zu tragen, findet diese Interaktion unmittelbar in der Welt statt: Prinzipiell kann somit jeder Ort und jedes Objekt zum Interaktionsträger werden.

### Zahlreiche Anwendungen

Augmented Reality gestattet eine ganze andere, neue Art des Umgangs mit Information. Das AR-Gerät wird zum persönlichen Begleiter, den man in den verschiedensten Situationen in Anspruch nimmt, zum Beispiel bei der Fußgängernavigation. In Gegensatz zu einem Fahrzeug, das sich im

*Today, a mobile phone can do much more than just phone. The mission of the Christian Doppler Laboratory for Handheld Augmented Reality at Graz University of Technology for example is the research and development of Augmented Reality technology for mobile phones: local information can be sent directly to the mobile phone.*

Augmented Reality (AR) superimposes computer graphics on a live video image for the display of location and situation-dependent information. The display operates in real time and every piece of information is related to an exactly measured point in the world – the desired accuracy is about 1 cm and 1 degree. This quality of location-based service differs significantly from previous mobile phone services, which only use coarse GPS measurements.

AR is primarily a method for human-computer interaction. Using mobile devices, such as cell phones, users can interact with digital information anywhere and mostly without tedious input – just by using “point & shoot” on the mobile phone viewfinder. For example, rather than typing a web address, a user can point to the object of interest to retrieve related information. Rather than bringing the interaction to the computer, it can happen at the task location. Every location and every object can potentially bear information.

### A number of applications

This allows a new way of handling information retrieval. The AR device becomes a personal assistant which can be used in a variety of situations. For example, pedestrian navigation required routes to be displayed in 3D, for instance, indoors in a multi-floor building. Tourists can find historical artefacts more easily and no longer need to consult a guidebook for explanations. Shoppers can see descriptions of goods and price comparisons



© TU Graz/ICG

Wesentlichen auf einem 2D-Straßennetz bewegt, ist der Fußgänger auf einem 3D-Pfad unterwegs, zum Beispiel, wenn er in einem Gebäude treppauf und treppab geht. Nützlich ist die Technologie etwa auch im Tourismus: AR vereinfacht das Auffinden von historischen Hinweisen zu Gebäuden, die Erläuterungen werden direkt auf den Bauten eingeblendet. Waren- und Preisinformationen können beim Einkauf direkt zu den Produkten (im Schaufenster) eingeblendet und elektronische Geräte durch die AR-Darstellung auf dem Handy erklärt oder gleich direkt gesteuert werden. Schließlich eröffnet sich auch die Möglichkeit, persönliche Hinweise in der Art virtueller „Post-its“ vor Ort anzubringen und auch mit anderen Benutzern zu teilen. Ein ähnlich vielversprechender Markt sind AR-Computerspiele. Die ersten hochwertigen Titel werden bereits verkauft, etwa „Eye of Judgement“ (Playstation 3). Für den aktuell sehr erfolgreichen Playstation Portable-Titel „Invizimals“ hat das Christian Doppler-Labor Konsulententätigkeit geleistet. Ein verwandter Geschäftsbereich ist Marketing. Neben werbefinanzierten Spielen betrifft das neue Arten von Publikationen. So wurde soeben die AR-Version des Red Bull-Magazins „Red Bulletin“ vorgestellt, in der durch Augmented Reality die Bilder des Magazins in der Art der Harry Potter-Romane „zum Leben erwachen“. Weiters hat das Team an der TU Graz gerade Arbeiten an einem „Zauberspiegel“ aufgenommen, der einem Kunden in einem Bekleidungsgeschäft

directly in the shop window. Other electronic devices can be explained or even remotely operated using the AR cell phone. Finally, one can use virtual sticky notes to remind oneself or to provide hints for others.

A similarly potent market is computer games. The first high-quality AR games are already on the market, for example „Eye of Judgement“ (Playstation 3). The Christian Doppler Lab provided consulting for another successful game, „Invizimals“ (Playstation Portable). In marketing, we are going to see games and other entertainment financed by advertising. For example, soft-drink maker Red Bull has recently launched a magazine „Red Bulletin“, which has pictures that come to life in „Harry Potter“ style using AR. The team at Graz has also started working on a magic mirror, which allows a customer in a fashion store to virtually try out items of clothing. Other areas of application are industry, medicine and architecture.

*Abb. oben: Auf einer realen Landkarte können per AR ortbezogenen Hinweise - im Bild sind es Fotos von Flickr - dargestellt werden.*

*Fig. above: AR allows showing geo-referenced annotations on a real map - here photos from Flickr.*



© TU Graz/ICG



© TU Graz/ICG

Abb. oben: Die Bildanalysesoftware erkennt Gebäude in Echtzeit und beschriftet sie richtig.

Abb. rechts: Forscher der TU Graz machen Mobiltelefone zu „aktiven Assistenten“.

Fig. above: Image analysis software recognizes buildings in real time and labels them correctly.

Fig. left: Researchers from Graz University of Technology are turning mobile phones into “active assistants”.

das virtuelle Anziehen von Kleidungsstücken erlaubt. Auch in der Industrie, in der Architektur und in der Medizin finden sich zahlreiche Anwendungsszenarien – Augmented Reality ist vielfach einsetzbar.

Wesentliche Bausteine eines AR-Systems sind:

1. Tracking: Ortsbestimmung in 3D und in Echtzeit, relativ zur Umgebung oder zu einem bestimmten Gegenstand
2. Ausgabe von Video kombiniert mit 3D-Graphik
3. Visualisierungstechnik (was und in welcher Form soll überhaupt dargestellt werden)
4. Datenbank von virtuellen und realen Objekten, aus denen die Inhalte gewählt werden

Aufgrund der Genauigkeitsanforderungen ist Tracking eine große Herausforderung, GPS und Kompass sind zu ungenau. Zufriedenstellende Ergebnisse erhält man nur durch eine rechenintensive Analyse des Kamerabildes, die aber die Leistungsfähigkeit des Mobilgerätes auf die Probe stellt. Ein guter Ansatz scheint daher die Kombination mehrerer Sensoren (Kamera, GPS, Beschleunigungssensor) mit statistischen Methoden zu sein. Daneben ergibt sich das Problem der Erstellung von ausreichend großen Bilddatenbanken, die ein Wiedererkennen des Ortes und damit eine Positionsbestimmung gestatten. In manchen Situationen ist es aber möglich, das mobile Gerät die Umgebung selbstständig analysieren und lernen zu lassen.

Augmented Reality can be deployed in a variety of ways.

The most important pieces of an AR system are:

1. Tracking of location, in 3D and in real time
2. Display of video blended with computer graphics
3. Visualization techniques determining what should be displayed and in which form
4. A database of virtual and real objects to interact with

The accuracy requirements of tracking are currently the most significant challenge since GPS and compass are not precise enough. Image analysis of the live video is the only feasible approach, however, the computational requirements often exceed what can be done in real time on a phone. A good approach is the sensor fusion of camera, GPS and inertial sensors. Another issue is the creation of large image databases, which allow the identification of a place. However, it is sometimes feasible to let the phone learn the environment online.

The display of AR must address the question of which information to display and in which form. Too much information can easily lead to image clutter – especially on a small phone display. For realistic scenes in AR games, real and virtual objects should be seamless and cast shadows on each other. This requires photometric reconstruction of the lighting and high dynamic range image techniques.



Auf der Ausgabeseite sind die wesentlichsten Fragen, welche Informationen und in welcher Form man diese überhaupt anzeigt. Hier ergeben sich viele Probleme, etwa die zu hohe Informationsdichte oder die schlechte Erkennbarkeit der Informationen vor dem Hintergrund. Für eine realistische Darstellung, etwa in Computerspielen, sollen reale und virtuelle Objekte sich nahtlos aneinanderfügen und wechselweise Schatten werfen. Dies benötigt eine genaue photometrische Rekonstruktion der aktuellen Beleuchtungssituation im Bild und die Modellierung mit einem High Dynamic Range-Bildverfahren.

Und woher kommen die Informationen, die eingeblendet werden? Datenbanken mit Informationen, die Bezug zur realen Welt haben, gibt es mittlerweile viele, aber typischerweise nicht in geeigneter Form. Ein vielversprechender Ansatz sind Geo-Mashups, wie es sie für existierende Online-Kartendienste gibt. Allerdings benötigt man für AR anspruchsvollere und genauere Repräsentationen als im Web üblich. Die Rohdaten werden teils aus dem kommerziellen Umfeld kommen, teils von den Benutzern selbst erstellt werden. Es ist daher durchaus möglich, dass nach Social Networking im Web 2.0 eine neue Revolution unmittelbar bevorsteht.

And where do we get the information that is shown? Databases with geo-referenced information are very popular, but do not store the information in a form suitable for AR. A promising direction to go in is geo-mashups, which are often used for online map services. However, AR requires more detailed and precise data than conventionally available. The raw data will be drawn from commercial providers as well as crowd-sourced to the phone users. It is very likely that mobile AR will be the next revolution after Web 2.0 social networking.

---

#### Quellen/References:

[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual\\_ar/](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual_ar/)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual\\_ar/screenshots\\_comprehensible.php](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual_ar/screenshots_comprehensible.php)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual\\_ar/screenshots\\_explosion.php](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual_ar/screenshots_explosion.php)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual\\_ar/screenshots\\_f+c.php](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/visual_ar/screenshots_f+c.php)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/videos/vidente\\_swug2008.zip](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/videos/vidente_swug2008.zip)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/videos/vidente\\_spatial\\_interaction.avi](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/videos/vidente_spatial_interaction.avi)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld\\_ar/media/HandheldAR\\_AMT.avi](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/media/HandheldAR_AMT.avi)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld\\_ar/media/HandheldAR\\_Virtuoso.avi](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/media/HandheldAR_Virtuoso.avi)  
<http://www.youtube.com/watch?v=cNu4CluFOcw>  
 (von Georgia Inst. of Tech., benutzt unsere Trackingtechnologie)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/HandheldAR\\_AMT.png](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/HandheldAR_AMT.png)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/MapLens\\_1.jpg](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/MapLens_1.jpg)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/PanoMT\\_1.jpg](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/images/PanoMT_1.jpg)  
[http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/videos/mr\\_tent\\_paris09.avi](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/media/videos/mr_tent_paris09.avi)

# Austrian Centre of Industrial Biotechnology – ACIB

Internationales Forschungszentrum in Österreich

## The Austrian Centre of Industrial Biotechnology – ACIB

International Research Centre in Austria

Anton Glieder



Anton Glieder studierte Biochemie an der Universität Wien und der Universität für Bodenkultur Wien. Nach seinem Doktorat in Mikrobiologie an der Karl-Franzens-Universität Graz arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Graz und am California Institute of Technology. Derzeit ist er Professor an der TU Graz und wissenschaftlicher Leiter des Kompetenzzentrums Angewandte Biokatalyse (A-B).

Anton Glieder studied biochemistry at the University of Vienna and BOKU Vienna. After a PhD in microbiology from Karl-Franzens University, Graz, he was a researcher in biocatalysis at Graz University of Technology and the California Institute of Technology. Currently he is professor at Graz University of Technology and scientific director of the Applied Biocatalysis Research Centre.

**Die industrielle Biotechnologie ist eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und bedeutet, dass Abläufe und Instrumentarien aus der Natur Einsatz in der industriellen Produktion finden. Das Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB, [www.acib.at](http://www.acib.at)) möchte sich als der Partner der Wahl in der vorwettbewerblichen Forschung auf dem Gebiet der industriellen Biotechnologie etablieren. Das ACIB bündelt die Expertise der Key Researcher von sieben österreichischen Universitäten in industrieller Biotechnologie und Biotechnik und kann auf diese Weise auch nationale und internationale Biotechnologieunternehmen sowie international renommierte Forschungsinstitutionen als integrierte Projektpartner gewinnen.**

Mit diesem Ziel vor Augen schloss sich im Jahr 2007 eine große Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den unterschiedlichsten Disziplinen zusammen und gründete das ACIB Konsortium. Das ACIB Konsortium ist einerseits den strategischen Interessen der Biotech-Industrie und andererseits den langfristigen Visionen der wissenschaftlichen Partner verpflichtet. Mit dieser Vorgabe wurde nun gemeinsam ein transdisziplinäres Forschungsprogramm für die nächsten fünf bis zehn Jahre aufgestellt und ein COMET

*Industrial biotechnology is a key technology of the 21st century and means that concepts and tools of nature are employed for industrial production. The Austrian Research Centre of Industrial Biotechnology (ACIB; [www.acib.at](http://www.acib.at)) has the vision to become the partner of choice for precompetitive research in industrial biotechnology. The ACIB initiative bundles the expertise of key researchers from seven Austrian universities in the multiple disciplines of industrial biotechnology and bioengineering, thus also attracting biotechnological companies at both national and international levels, and international renowned research institutions as integrated project partners.*

In 2007 a large number of scientists from various disciplines joined forces to pursue this mission and established the ACIB consortium. Dedicated to the strategic research interests of the biotech industry and the longterm visions of the academic partners, the ACIB consortium jointly defined a cross-disciplinary research programme for the next 5-10 years and applied for a COMET K2-Centre. Approval for the latter was given in October 2009. The competence centre Applied Biocatalysis (A-B), established in 2002 as a non-profit research company, acts as the consortium leader for the Comet K2



© ACIB



© ACIB

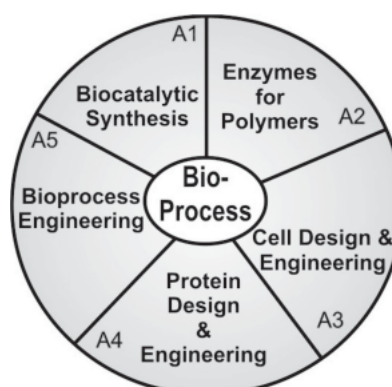
K2-Zentrum beantragt, das im Oktober 2009 be-  
willigt wurde. Das Kompetenzzentrum Angewand-  
te Biokatalyse (A-B), im Jahr 2002 als Non-profit-  
Forschungsorganisation gegründet, fungierte als  
Konsortiumsführer für den COMET K2-Antrag.  
Das gemeinsame Ziel ist die Entwicklung innova-  
tiver Konzepte, die Schaffung von Mehrwert durch  
gebündeltes Know-how und die Schaffung und  
Konzentrierung jener breitgefächerten methodolo-  
gischen Expertise, die nötig ist, um neue einzigar-  
tige Bioprozesse und Produkte zu entwickeln.  
Der Forschungsbogen im ACIB spannt sich von  
der Biokatalyse, über das Studium von Struktur/  
Funktionsbeziehungen bis zur (pharmazeuti-  
schen) Proteinproduktion. Unter Nutzung der da-  
durch entstehenden Synergien plant das Zentrum  
neues Wissen zu generieren und dieses dann zur  
Vorhersage und Entwicklung verlässlicher Biopro-  
zesse einzusetzen.

Fünf verschiedene „Areas“ (A1 – A5) bilden die  
wissenschaftliche und strukturelle Grundlage für  
die transdisziplinäre Forschungsarbeit, die die  
unterschiedlichsten Disziplinen wie organische  
Chemie, Mikrobiologie, Molekularbiologie, Struk-  
turbio- und Zellbiologie, Bioinformatik, Modell-  
ling und Simulation, Prozesstechnik und Systembio-  
logie umfasst. Zusätzlich zu einem internationa-  
len Personalauswahlverfahren für Doktoranden  
und Forscherinnen und Forscher sollen in den  
ersten fünf Jahren drei neue Forschungsgruppen  
gegründet werden, die ähnlich den deutschen

proposal. The common goals are to develop inno-  
vative scientific concepts, to create added value  
using condensed academic brain power, and to  
generate and bundle the broad methodological  
expertise required to design and invent unique  
bioprocesses and products.

Taking advantage of the synergies from cross-dis-  
ciplinary research in biocatalysis, protein structure/  
function relationships and (pharmaceutical) prote-  
in production, the new centre plans to enforce the  
generation of additional knowledge and to use this  
knowledge to predict and develop inventive, reli-  
able bioprocesses.

Five distinct research areas (A1 – A5) provide the  
scientific and structural basis for cross-disciplinary  
research involving key disciplines such as organic  
chemistry, microbiology, molecular, structural and  
cell biology, bioinformatics, modelling and simula-  
tion, process engineering, and systems biotech-



© Kompetenzzentrum Angewandte Biokatalyse

*Abb. links: Die Leiter der  
einzelnen Areas und der  
wissenschaftliche Leiter des  
Konsortiums v.l.n.r.: Kurt Faber,  
Georg Gübitz, Alois Jungbauer,  
Helmut Schwab, Anton Glieder,  
Diethard Mattanovich.*

*Abb. oben: Forschung in der  
Biotechnologie.*

*Abb. unten: Fünf verschiedene  
Areas (A1 – A5) bilden die wis-  
senschaftliche und strukturelle  
Grundlage für die transdisziplinä-  
re Forschungsarbeit.*

*Fig. left: The directors of the  
different research areas and  
the scientific director of the  
consortium: Kurt Faber, Georg  
Gübitz, Alois Jungbauer, Helmut  
Schwab, Anton Glieder and  
Diethard Mattanovich.*

*Fig. above: Research in  
biotechnology.*

*Fig. below: Five distinct research  
areas (A1 – A5) provide the  
scientific and structural basis for  
cross-disciplinary research.*

*Weitere Informationen/*

*Further information:*

*Wissenschaftlicher Leiter/*

*Scientific director:*

*Anton Glieder,*

*Research Centre Applied*

*Biocatalysis (A-B), c/o Institut*

*für Molekulare Biotechnologie,*

*TU Graz, Petersgasse 14,*

*8010 Graz, Österreich.*

*Phone: +43 316 873 4074,*

*Fax: +43 316 873 4071,*

*anton.glieder@a-b.at*

*Stellv. wissenschaftlicher Leiter/*

*Deputy scientific director:*

*Alois Jungbauer,*

*Department für Biotechnologie,*

*BOKU Wien, Muthgasse 18,*

*1190 Wien, Österreich*

*Phone: +43 1 36006 6226,*

*Fax: +43 1 369 76 15,*

*alois.jungbauer@boku.ac.at*

“Junior Groups” von international erfahrenen jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern geleitet werden sollen.

Das K2-Zentrum ist keine rein nationale Initiative, sondern ist international durch jene Kontakte verankert, die bereits in der Vergangenheit von den beiden österreichischen Kompetenzzentren Angewandte Biokatalyse (A-B) mit dem Haupteigentümer TU Graz und dem Austrian Center of Biopharmaceutical Technology (ACBT) mit Hauptstandort Universität für Bodenkultur Wien geknüpft wurden. International kooperiert das ACIB Konsortium mit assoziierten Partnern aus den USA (Kalifornien), Europa (Deutschland, Tschechien, Schweden und Spanien) und Asien (Japan und Korea). Die Beteiligung der assoziierten Partner an den Projekten wird direkt erfolgen. Einerseits wird aktiv von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern in deren Heimatlabors Forschung für das Projekt betrieben, andererseits wird den Projekten Verbrauchsmaterial oder Expertise durch die assoziierten Partner zu Verfügung gestellt.

Fazit: Das neue Kompetenzzentrum für industrielle Biotechnologie möchte von der bisher in der Bioprozessentwicklung praktizierten “Trial and Error”-Methode abgehen und neue, wissenschaftsbasierte Ansätze entwickeln. Umfassendes Wissen über Bioprozesse ist von Vorteil für zukünftige biobasierende Industrien und ermöglicht innovative Technologien für:

- neue Produktionsprozesse und Produkte mit verbesserter ökologischer Effizienz
- neue Produktionsprozesse mit höherer Wirtschaftlichkeit
- Feinchemikalien und pharmazeutische Proteine in besserer Reinheit und Qualität
- innovative funktionelle Produkte des täglichen Bedarfs und für das Gesundheitswesen.

nology. In addition to an international recruiting process for PhD students and researchers, three new pioneering young research groups, similar to the German model of junior groups will be established within the first five years. These groups will be headed by internationally experienced young group leaders.

The K2 centre will not be a merely national initiative but will be embedded internationally through contacts which have already been established by the two Austrian competence centres: the Applied Biocatalysis (A-B) Research Centre with its main share holder TU Graz and the Austrian Center of Biopharmaceutical Technology (ACBT) with its main location at BOKU in Vienna. The ACIB consortium collaborates internationally with associated partners from the USA (California), Europe (Germany, Czech Republic, Sweden and Spain) and Asia (Japan and Korea). Associated partners will contribute directly to the ACIB research projects. On the one hand, scientists will actively perform research at their home establishments, and on the other hand, scientists from the associated partners will provide the centre's individual research projects with materials and expertise.

To summarise, the new competence centre for industrial biotechnology will seek a shift from trial-and-error based approaches to bioprocess development to knowledge based approaches. Comprehensive knowledge about bioprocesses promotes future bio-based industries and enables innovative technologies for:

- new production processes & products with improved ecological efficiency
- new production processes with higher economic efficiency
- fine chemicals and pharmaceutical proteins with higher quality and purity
- innovative functional products for everyday use and for the health care industry.

*Abb. rechts: Anlagensystem*

*Fig. right: Chemical  
engineering plant*



## ... Wie im richtigen Leben!

„product innovation project“ an der TU Graz

## ...Just like in Real Life!

“product innovation project” at Graz University of Technology

Hannes Oberschmid, Josef W. Wohinz



Hannes Oberschmid ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung an der TU Graz. Forschungsgebiet: Produktinnovation, Wissens- und Risikomanagement.

Hannes Oberschmid is scientific assistant at the Institute of Industrial Management and Innovation Research. Research field: product innovation, knowledge and risk management.

**Seit nunmehr vier Jahren wird am Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung eine neue Form der Zusammenarbeit angeboten: In der Lehrveranstaltung „product innovation project“ arbeitet ein international und interdisziplinär zusammengestelltes Studierendenteam zwei Semester lang an einem so genannten „Produktinnovationsprojekt“. Die Aufgabenstellung und das Budget stammen dabei von einem Partner aus der Industrie.**

Im Rahmen des „product innovation project“ haben Studierende die Möglichkeit, ihr Wissen in einem möglichst praxisnahen Umfeld – mit all den Chancen und Herausforderungen, die damit verbunden sind – unter Beweis zu stellen. Daneben können Unternehmen von der Kreativität und dem Enthusiasmus der Studierenden – mit dem Hintergrund des universitären Umfelds – direkt profitieren: auf dem Weg zu neuen Produkten und/oder zu neuen engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die Studierenden haben dabei nicht nur ein schlüssiges Produktkonzept zu entwickeln, sondern auch einen funktionierenden Prototypen zu fertigen. Das Projekt bietet den Vorteil und die Herausforderung einer interdisziplinären Zusammenarbeit. Dadurch ist es möglich, das Spektrum geeigneter Innovationsziele zu erweitern und den Studierenden die Möglichkeit zu geben, wichtige Erfahrungen zu sammeln, die über das Erlernen des an der Universität vermittelten Fachwissens hinausgehen. Die Zusammenstellung der Teams aus unterschiedlichen Ländern und Fachrichtungen entspricht dem, wie Entwicklungsteams heutzutage in der Praxis oft aussehen und bietet daher eine Plattform für das Training für diese Form der Zusammenarbeit. Vor allem die Arbeit in einem virtuellen Team – einige Teammitglieder arbeiten in Helsinki und Maribor an dem Projekt mit – ist eine besondere Herausforderung.

*For four years now, a new form of collaboration has been offered by the Institute of Industrial Management and Innovation research. In the framework of “product innovation project”, an international and interdisciplinary student team has been working on an innovation project for two semesters. The task and the budget have been set by an industrial sponsor company.*

In the framework of the “product innovation project”, students have the opportunity to share and show their knowledge – with all the associated opportunities and challenges – in a more practical environment. Moreover, companies may benefit from the creativity and enthusiasm of the students directly – against the background of the university environment – in the form of new products and/or new employees. The students have to develop a coherent product concept and build a working prototype. One of the advantages, which is also a challenge, is collaboration in an interdisciplinary team. In this way it is feasible to expand the target of the innovation project. The students get the opportunity to experience more than is usual with the interconnected expertise at the University. The composition of the teams from different countries and disciplines corresponds to that of most development teams in practice today, and provides a platform for learning co-operation. Especially working in a virtual team – some team members are working on the project in Helsinki and Maribor – is a special challenge.

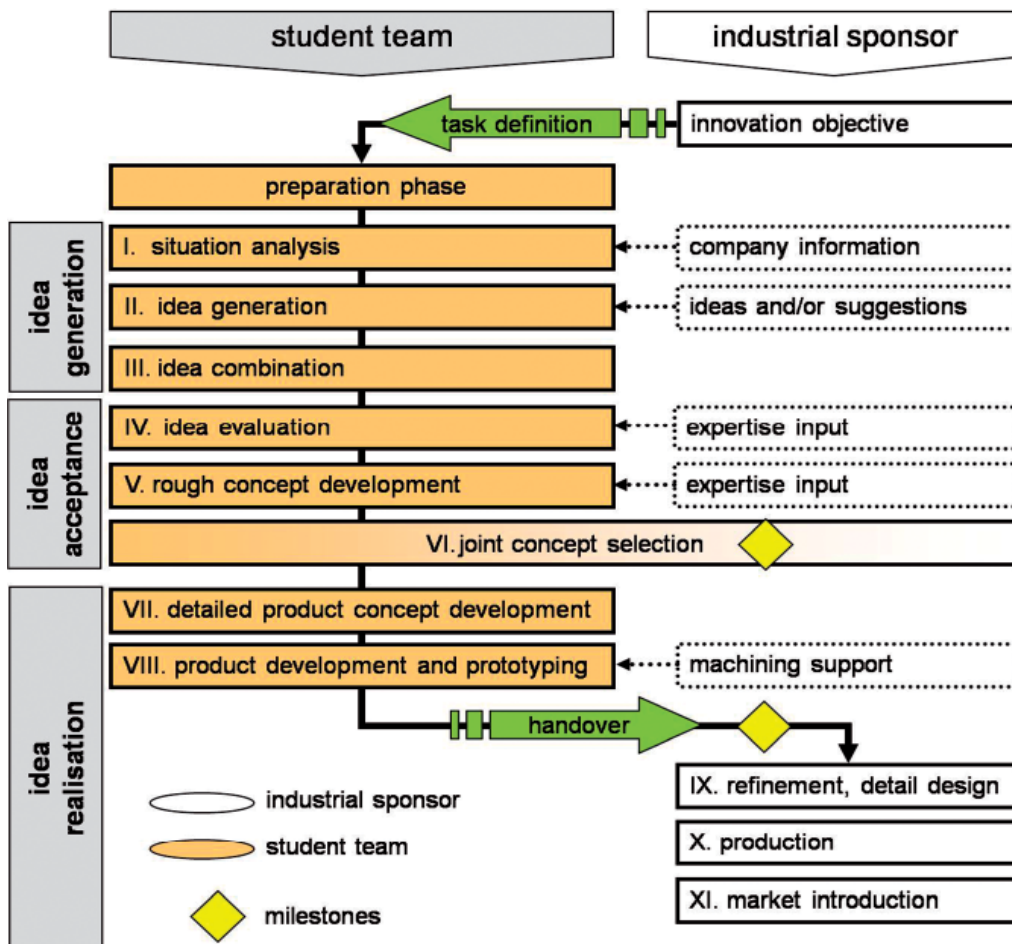


Abb.: Die Aufgaben der Studierenden im betrieblichen Innovationsprozess.

Fig.: The position of "product innovation project" in an enterprises' product innovation process.

Quelle/Reverence:  
M. Fallast, H. Oberschmid,  
R. Winkler: The implementation  
of an interdisciplinary product  
innovation project at Graz  
University of Technology,  
Proceedings INTED IATED  
Valencia (2007).

### Das „product innovation project“ im betrieblichen Innovationsprozess

Nicht alle Phasen des Innovationsprozesses sind geeignet, von einem „externen“ Team bearbeitet zu werden. So sollte vor allem die erste Phase, die Definition des Innovationszieles, im Unternehmen direkt stattfinden. Eine daraus resultierende Aufgabenstellung ist dann Ausgangspunkt für die Arbeit der Studierendenteams.

Zum Verständnis der Aufgabenstellung gehört auch die detaillierte Information über die Strategie der Partnerfirmen:

- WARUM soll genau dieses Produkt entwickelt werden?
- WARUM genau mit dieser Technologie?
- WARUM soll diese oder jene Zielgruppe angesprochen werden?

Bevor das Studierendenteam mit der Arbeit beginnen kann, gilt es noch notwendige Vorbereitungen zu treffen und organisatorische Fragen zu klären. Neben der Erstellung eines Projektplans, der Organisation der notwendigen IT-Infrastruktur und dem Austausch von Kontaktdaten, zählt auch

### „product innovation project“ in the innovation process

One of the goals for "product innovation project" is to let students work on a big section of the innovation process shown in figure 1.

Not all phases of innovation are appropriate to be handled in a university course. As the industrial sponsor is one of the important stakeholders in the project, the student team's work has to fit in with the sponsor's innovation strategy. A clearly defined innovation objective is "starting point" for the student project.

- WHY should exactly this product to be developed?
- WHY exactly with this technology?
- WHY should it address this or that audience?

After the company visit, the student team starts to work autonomously on the project task and on important group-dynamic and preparatory actions. Especially for the remote collaboration in a virtual team, the team building phase can be stated as a main success factor in which all team members get to know each other personally at the very



© TU Graz/Lunghammer



das persönliche Kennenlernen des Projektteams im Zuge eines „Team Building Events“ dazu.

Nach Sammlung der ersten spontanen Ideen zur Lösung der Aufgabenstellung erfolgt eine detaillierte Situationsanalyse. Hier zählt beispielsweise die Untersuchung von existierenden Patenten, das Sammeln von notwendigen Informationen zur konkreten Aufgabenstellung sowie das Bereitstellen des vorhandenen Wissens des Sponsorunternehmens dazu.

Eine spezifische und systematische Ideengenerierung erfolgt in Phase II. In dieser Phase kommen systematisch-analytische und intuitiv-spontane Kreativitätstechniken zur Anwendung. Nachdem möglichst viele Ideen generiert worden sind, werden diese zusammengefasst und in der nächsten Phase miteinander kombiniert.

Schlussendlich werden die gefundenen verschiedenen Lösungsvorschläge gemeinsam mit externen Experten bewertet. Auch die Unterstützung von verschiedenen Universitätsinstituten und der Sponsorunternehmen für die Beurteilung der Machbarkeit sind wichtige Kriterien in dieser Phase IV.

In Phase V geht es darum die ersten Produktkonzepte zu entwickeln. Erste Prototypen nach dem Prinzip „quick and dirty“ werden gebaut um bestimmte Produktfunktionen zu testen. Auch in diesem Schritt ist der enge Kontakt zu Sponsorunternehmen und externen Partnern – zur Untersuchung der Umsetzbarkeit – gegeben. Das Ziel dieser Phase ist die Entwicklung verschiedener Produktkonzepte, die auch realisierbar sind. Im anschließenden Schritt „Konzeptentscheidung“ (Phase VI) treffen die Studierenden gemeinsam mit den Verantwortlichen des Sponsorunternehmens die Entscheidung für jenes Konzept, das im Detail entwickelt werden soll.

In den darauf folgenden Phasen VII und VIII sind alle Anstrengungen des Studierendenteams auf die detaillierte Ausarbeitung des Produktkon-

beginning of the project. Experience shows that students are then eager to start working on the actual task very soon.

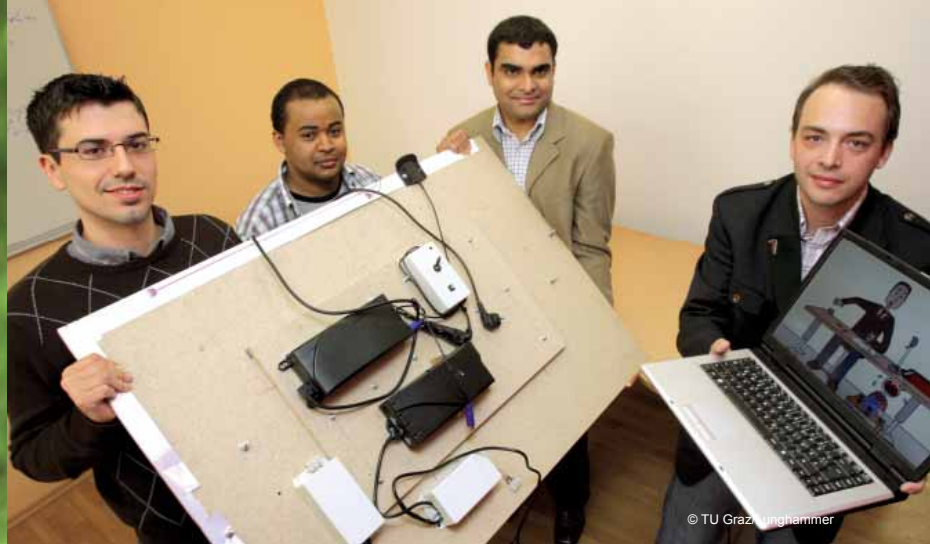
One of the first process steps is the collection of spontaneous solutions to the task. Following this, a detailed situation analysis is done. Existing patents are investigated and information – from different sources (company, WWW, suppliers ...) – is collected.

In phase II, a more specific idea generation is carried out. The students generate a pool of ideas using different creativity techniques. After screening them, the ideas are put together and combined in phase III (e.g. by using a morphological box).

In phase IV, the combinations of ideas are evaluated and refined. In this phase external experts are contacted by the students. Support by university institutes and the sponsor company are important in this phase. A vital network of external partners facilitates contacting experts.

In phase V rough product concepts are developed. First mock-ups are built to perform first functional tests of single (potential) product functions. Virtual 3D models are useful in this stage but the importance of prototyping is highlighted in this point. Experience shows that often only physically existing prototypes allow proper evaluation of product size, materials and other important product attributes. Early prototyping as well as detailed research on the available solutions, their advantages and possible problems, their stage of maturity (research stage or market availability) are the bases on which to prepare for an important phase in the process.

Phase VI ends with an important milestone – the concept selection. A consensual decision on the product concept to be further developed has to be made. Company representatives as well as the student team have to decide on one concept which is further developed to the later stages,



zepts sowie auf die Herstellung eines funktionierenden Prototyps ausgerichtet.

Das „product innovation project“ findet in der Präsentation der fertigen Prototypen und Produktkonzepte Anfang Mai seinen Abschluss und Höhepunkt. Danach werden der Prototyp sowie ein detaillierter Bericht über die Arbeit der letzten Monate an das jeweilige Sponsorunternehmen übergeben – in deren Verantwortlichkeit liegt es dann, über die weiteren Phasen im Innovationsprozess zu entscheiden: Im besten Fall wird das Produkt bis zur Serienreife weiterentwickelt und am Markt eingeführt.

#### Problemstellungen als Beispiele

Die Palette an bisher bearbeiteten Problemstellungen erscheint überaus aktuell:

- Entwicklung eines Gerätes zur Wassergewinnung in Wüstengebieten (Studienjahr 2006/07, Firmenpartner: Philips Klagenfurt)
- Entwicklung einer Bandage, die sowohl zum Kühlen als auch zum Wärmen verwendet werden kann (Studienjahr 2007/08, Firmenpartner: Therm-ic Gleisdorf)
- Entwicklung eines Quetschschutzes für elektrisch höhenverstellbare Tische (Studienjahr 2008/09, Firmenpartner: Logicdata Deutschlandsberg)

Die Plattform des „product innovation project“ wird von Studierenden bevorzugt genutzt, um Erfahrungen zu sammeln, die sie sonst erst im Laufe ihrer beruflichen Laufbahn machen. Im Vordergrund steht die Anwendung des Fachwissens im Kontext der Produktentwicklung, aber auch Präsentationen, Presseaussendungen sowie die Analyse und das Vorbereiten von Patentanmeldungen sind wertvolle und spannende Highlights im Rahmen des „product innovation project“.

whereas the other concepts are skipped.

In phases VII and VIII, all the effort of the student team is put into the development of this single product concept both on the technical and business side. Whereas some team members are working on the realization of the working prototype, others are focusing on the development of the business plan, including e.g. marketing strategy, estimated ramp-up costs and market prices.

The project work of the students concludes with the handover of the project results to the company and final, public presentations at the partner universities in Helsinki and Graz. After the transfer of the project results to the industrial sponsor, the chief responsibility regarding further proceedings is with the sponsor company.

#### Possible tasks

The tasks tackled so far have proved extremely interesting:

- Development of an independent device with the purpose of producing water in desert areas (2006/07, sponsor company: Philips Klagenfurt)
- Development of an independent heating and cooling device for applications on joints and muscles (2007/08, sponsor company: Therm-ic Gleisdorf)
- Development of a pinch protection for electrical, highly adjustable desks (2008/09, sponsor company: Logicdata Deutschlandsberg)

The students gained from the platform “product innovation project” experience which they would probably only otherwise have gathered in the course of their career. The main focus is to apply their expertise in the context of product development. But presentations, press releases and the analysis and preparation of specifications are also exciting and useful highlights of “product innovation project”.

*Abb links.: Die Studierenden Gabriele Schmied und Mario Fallast mit dem Prototypen des Geräts zur Gewinnung von Wasser aus Luft.*

*Abb. Mitte: Student Harald Paterno mit seinem „product innovation project“: eine Bandage, die sowohl zum Kühlen als auch zum Wärmen verwendet werden kann.*

*Abb. links: Team „Ahead“ mit neu entwickeltem Quetschschutz für elektrisch höhenverstellbaren Tisch.*

*Fig. left: Students Gabriele Schmied and Mario Fallast with the prototype of the appliance for obtaining water from air.*

*Fig. center: Student Harald Paterno with his product innovation project: a bandage which can be used for both cooling and warming.*

*Fig. right: The „Ahead“ team with the newly developed “squash protection” for an electrically height-adjustable table.*

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

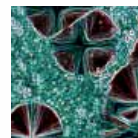
Five areas with a promising future in research and teaching go to form the unmistakable fingerprint of Graz University of Technology on its path to excellence. These fields of expertise will become distinctive hallmarks of Graz University of Technology in the 21st century. They will be strengthened by 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

Mobility Research and Production Sciences



Sustainability in Design, Construction and 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: 5.000. 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](http://www.ub.tugraz.at/Verlag). TU Graz *research* erscheint zweimal jährlich.

ISSN 2074-9643

ISBN: 978-3-85125-051-0

© Verlag der Technischen Universität Graz 2009