

# #21

< EN | 2019-1 | DE

# TU Graz research

Forschungsjournal der Technischen Universität Graz



WISSEN  
TECHNIK  
LEIDENSCHAFT

## WAS IST SICHERHEIT IM DIGITALEN ZEITALTER?

Seite 4

„ES IST NICHT DIE  
ZEIT, SICH AUF  
DEN LORBEEREN  
AUSZURUHEN“

Seite 10

NACH MELTDOWN  
UND SPECTRE:  
TU GRAZ-FORSCHER  
ENTDECKEN NEUE  
SICHERHEITSLÜCKEN

Seite 11

DER WETTKAMPF  
DER NEURO-  
ASSISTENZSYSTEME

Seite 12



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

alles neu macht diesmal der Juni! Passend zu dem Motto haben wir das TU Graz research einem Relaunch unterzogen. Sie halten gerade die erste Ausgabe von TU Graz research in neuem Outfit in der Hand – entweder gedruckt oder digital auf Ihrem Computer, Tablet oder Handy. Wir wollen Ihnen damit noch mehr abwechslungsreiche Einblicke in die Welt der Wissenschaft an der TU Graz geben. Lesen Sie über unsere neuesten Forschungsergebnisse, sehen Sie sich im Video unser neues Labor für Innovation am Campus Inffeldgasse an oder verfolgen Sie, wie der neu entdeckte Angriff ZombieLoad funktioniert. Über diese neuen multimedialen Möglichkeiten wollen wir Sie noch tiefer in unsere Labore, Werkstätten und Büros mitnehmen, wo Forscherinnen und Forscher hervorragende Wissenschaft betreiben. Empfehlen Sie uns gerne weiter – das Forschungsmagazin kann auf der Website abonniert werden.

Im neuen Format wollen wir neben den Berichten und Projektbeschreibungen aus den Fields of Expertise (nur noch in Englisch) den Magazin-Teil jeder Ausgabe einem speziellen Thema widmen. Diesmal ist es die Cybersecurity. Ein Bereich, der zunehmend in vielen Branchen von essenzieller Bedeutung ist. Wir haben eine Reihe von exzellenten Forschenden in diesem Bereich – die Liste der Erfolge ist zu lang, um sie hier alle wiederzugeben. Das war auch einer der Hauptgründe, warum das Unternehmen SGS beschlossen hat, in Graz einen Cybersecurity Campus aufzubauen. Im Endausbau werden 400 Hightech-Jobs am Campus Inffeldgasse im Bereich Zertifizierung für das Internet of Things (IoT) tätig sein. Im selben Gebäude wird ein von SGS gesponserter und mit der TU Graz gemeinsam betriebenes Forschungszentrum errichtet. Damit können wir kritische Massen und internationale Sichtbarkeit erlangen. Für mich ist das ein schönes Beispiel, das zeigt, wie elementar gute Grundlagenforschung ist und dass dies der Treiber für unsere zukünftige wirtschaftliche Entwicklung sein wird.

In diesem Sinne wünsche ich bei der Lektüre dieses TU Graz research viel Freude und Ihnen und Ihren Familien einen erholsamen Sommer.

*Horst Bischof*

**Impressum:** Eigentümerin: TU Graz. Herausgeber: Vizerektor für Forschung. Chefredaktion: Birgit Baustädter, Kommunikation und Marketing, Rechbauerstraße 12/I, 8010 Graz. E-Mail: TU-research@tugraz.at. Gestaltung/Layout/Satz: Christina Fraueneder, TU Graz. Druck: Klampfer Druck. Druckauflage: 1.000 Stück. Wir danken den Autorinnen und Autoren für die Bereitstellung der Texte und Fotos. Geringfügige Änderungen sind der Redaktion vorbehalten. Titelbild: Bildquelle: Core-DESIGN – AdobeStock. TU Graz research erscheint zweimal jährlich. © Verlag der Technischen Universität Graz 2019, www.ub.tugraz.at/Verlag. ISSN 2664-1712. www.tugraz.at/research-journal



**11**  
**WENIGE ZEILEN CODE  
 MIT GRAVIERENDEN  
 FOLGEN**

**Horst Bischof**  
**Vizerektor für Forschung**

Bildquelle: Oliver Wolf

## Inhalt

2 Vorwort: Vizerektor Horst Bischof >

## Cybersecurity

4 Was ist Sicherheit im digitalen Zeitalter? >

8 Kommentar: Martin Schaffer, SGS >

10 Interview: Stefan Mangard, TU Graz,  
 „Es ist nicht die Zeit, sich auf den  
 Lorbeeren auszuruhen“ >

10 Cybersecurity Campus Graz >

11 Wenige Zeilen Code mit gravierenden Folgen >

12 Cybersecurity Kurzmeldungen >

## News

12 Der Wettkampf der Neuro-Assistenzsysteme >

14 Nachhaltiges Bauen ist Einstellungssache >





16

LABOR FÜR INNOVATION



4

## Was ist Sicherheit im digitalen Zeitalter?

Bei geschätzt mehreren Milliarden vernetzten Dingen im Jahr 2020 rückt das Thema Sicherheit immer stärker in den Mittelpunkt der öffentlichen (Forschungs-)Diskussion. Wer hört die Sprachbefehle, die die vernetzte Wohnung steuern? Wer kann ein fabriksneues Auto aufsperrern? Lässt sich die neue Produktionsmaschine der vernetzten Fabrik von außerhalb übernehmen?



12

## Der Wettkampf der Neuro-Assistenzsysteme

Wenn Userinnen und User Computerfiguren mit ihren Gedanken steuern, zeigt sich live, wie weit Forschung an Brain-Computer-Interfaces (BCI) gediehen ist.

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz;  
4: oatawa – AdobeStock



10

## „Es ist nicht die Zeit, sich auf den Lorbeeren auszuruhen“

Stefan Mangard ist für die Forschungsagenda im Cybersecurity Campus Graz zuständig. Der Forscher im Interview.

15 **Kurzmeldungen** >

16 **Infrastruktur**  
Labor für Innovation >

18 **Porträt**  
Der Reiz des Abstrakten – Jürgen Hartler >

19 **Preise und Ankündigungen** >

20 **Forschungsbild des Semsters** >

21  **Fields of Expertise**

23 **Advanced Materials Science**  
Editorial: Peter Hadley >

**Radiation Damage in Microelectronics** >  
Alicja Michalowska-Forsyth,  
Varvara Bezenova

26 **Human & Biotechnology**  
Editorial: Gernot Müller-Putz >

**Lighting Up the Brain: LOGOS-TBI Project** >  
Theresa Rienmüller

29 **Information, Communication & Computing**  
Editorial: Kay Uwe Römer >

**Stochastic Optimisation in Financial and Insurance Mathematics** >  
Stefan Thonhauser

32 **Mobility & Production**  
Editorial: Helmut Eichlseder >

**Fuel Cells – Materials and Methods for Prolonging Lifetime** >  
Katharina Kocher, Kurt Mayer, Bernhard Marius,  
Bernd Cermenek, Viktor Hacker, Sigrid Wolf

36 **Sustainable Systems**  
Editorial: Urs Hirschberg >

**Advanced Control for Sustainable Energy Systems** >  
Markus Gölls, Martin Horn

# Was ist Sicherheit im digitalen Zeitalter?

Bei geschätzt mehreren Milliarden vernetzten Dingen im Jahr 2020 rückt das Thema Sicherheit immer stärker in den Mittelpunkt der öffentlichen (Forschungs-)Diskussion. Wer hört die Sprachbefehle, die die vernetzte Wohnung steuern? Wer kann ein fabriksneues Auto aufsperrern? Lässt sich die neue Produktionsmaschine der vernetzten Fabrik von außerhalb übernehmen?

**Birgit Baustädter**

„Spiel meine Nachmittags-Playlist!“ – eine harmlose Bitte an unsere Smart Speaker, wie sie wohl häufig in der vertrauten und zunehmend vernetzten Umgebung der eigenen vier Wände ausgesprochen wird. Genauso wie wir unsere Wohnungen zunehmend mit smarten Gegenständen ausstatten, nimmt die Vernetzung auch in der Fahrzeugbranche, im Gesundheitswesen und in der Industrie zu.

**„Kryptografie ist die Basis, die Grundlage jeder Sicherheit.“**

**Christian Rechberger**

Oft wissen wir wenig darüber, was mit den so generierten Daten geschieht. Aber wir vertrauen. Vertrauen darauf, dass die Gegenstände gegen Störungen und unbefugten Zugriff abgesichert sind und unsere Daten nur die Personen zu Gesicht bekommen, die dazu befugt sind. Vertrauen, dass sich unbefugte Personen keinen Zugriff auf unsere höchstpersönlichen Lebensbereiche oder kritische Infrastrukturen verschaffen können.

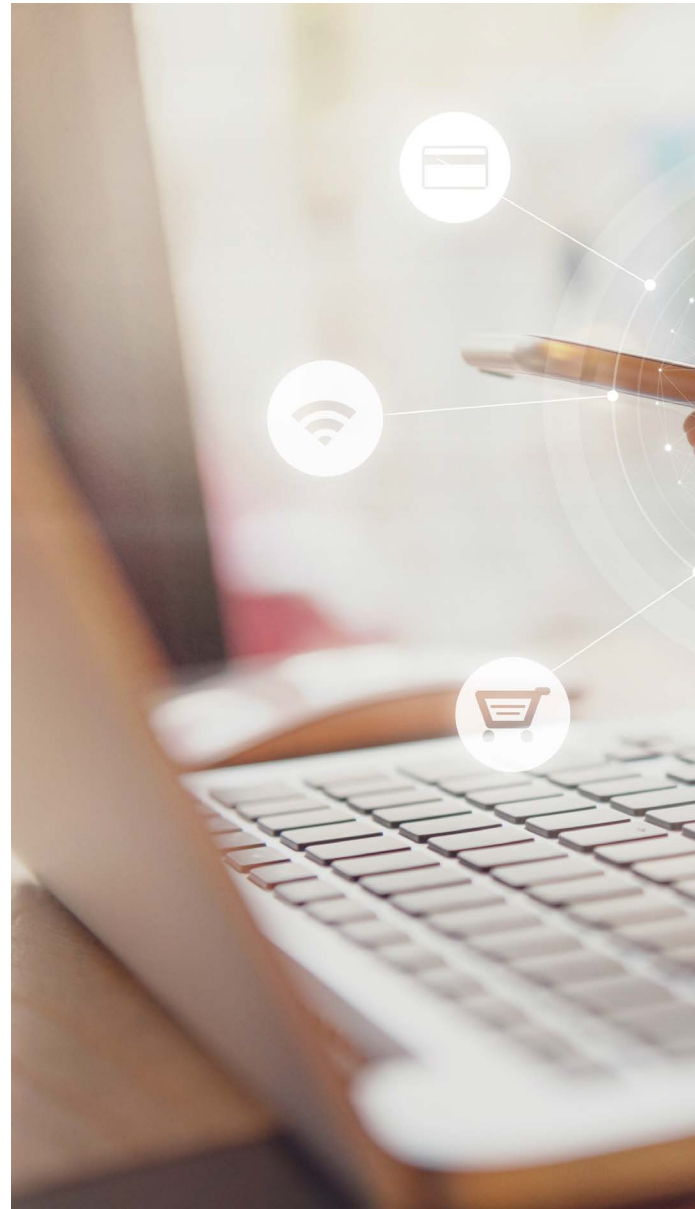
„In der Realität ist das aber anders. Sind Daten einmal in einer Cloud auf einem internationalen Server, dann verliert man die Kontrolle über die Daten“, erklärt Christian Rechberger vom Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie der TU Graz. „Von technischer Seite sehen wir

das anders – es ist sehr wohl möglich, dass die User/innen die Kontrolle über ihre Daten behalten und trotzdem die volle Funktionalität und den Service der Cloud erhalten.“

## SICHERE SYSTEMARCHITEKTUR

Je mehr sich unsere Welt vernetzt, desto wichtiger ist es auch, dass sie sich sicher vernetzt – das Thema Cybersecurity rückt nicht erst in den vergangenen Jahren in den Fokus der wissenschaftlichen Forschung. Wohl aber rückt es erst seit wenigen Jahren stärker ins Blickfeld der Öffentlichkeit. Die Offenlegung von Sicherheitslücken wie Meltdown und Spectre, für die ein internationales Team rund um Daniel Gruss, Moritz Lipp, Michael Schwarz und den TU Graz-Professor Stefan Mangard verantwortlich ist, schürte das Sicherheitsbewusstsein.

„Absolute Sicherheit wird es am Ende des Tages nicht geben“, stellt Mangard fest. Er ist Leiter der Arbeitsgruppe Secure Systems am Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie. „Aber wir können mit der Art, wie





wir Computersysteme bauen, deren Sicherheit auf einen neuen Level bringen.“ Derzeit laufen Sicherheitsforschende mit Angreifenden um die Wette – tut sich eine Sicherheitslücke auf, muss sie so schnell wie möglich geschlossen werden. „Parallel zu diesem Katz-und-Maus-Spiel, das unsere derzeitigen Systeme noch verlangen, arbeiten wir an neuen Systemarchitekturen. Sie sollen dann von vornherein eine bestimmte Art von Angriffen gar nicht erst möglich machen.“

Im vom European Research Council (ERC) geförderten Projekt Sophia beschäftigen sich Mangard und sein Team mit der Absicherung von Computerprozessoren, analysieren ungewollte Zugriffsmöglichkeiten und sichern gefundene Hintertüren effizient ab. „Es ist immer ein Drahtseilakt – mehr Sicherheit geht meist mit sinkender Performance einher“, erklärt Mangard. So fanden die Forschenden im Projekt auch die Sicherheitslücken Meltdown und Spectre. Hier nutzen Angreifende aus, dass ein Prozessor, um möglichst schnell zu sein, bereits Rechenschritte wie den Zugriff auf bestimmte Daten vorwegnimmt und vorbereitet, be-

vor überhaupt zum Beispiel die Zugriffsberechtigungen geprüft werden. Ist die Zugriffsberechtigung nicht vorhanden, verwirft der Prozessor die vorbereiteten Daten zwar wieder, aber diese vorbereiteten Daten erzeugen Seiteneffekte, wie zum Beispiel Zeitdifferenzen, die unter bestimmten Umständen von Angreifenden zum Bestimmen vertraulicher Informationen ausgenutzt werden können. Die bei der Veröffentlichung der Sicherheitslücken ebenfalls veröffentlichte Abwehrmöglichkeit – der Patch – machte Computer dann zwar sicher, aber eben auch langsamer.

#### **Immer mehr smarte Gegenstände begleiten uns im Alltag.**

oatawa – AdobeStock

„Eines der größten Probleme in der Security ist, dass sie so schwer quantifizierbar ist“, erklärt Stefan Mangard. „Ich merke sofort, wenn mein Computer schneller oder langsamer arbeitet – wenn ich aber in die Sicherheit investiere, dann merke ich subjektiv erst einmal gar nichts oder maximal Geschwindigkeitseinbußen.“ So gesehen ist jeder öffentlichkeitswirksame Hack für die Forschenden ein Vorteil: Die breite Masse wird sensibler für das so wichtige Thema Daten- und Computersicherheit. „Wir brauchen momentan einfach Zeit und Geld, um die richtigen Technologien zu entwickeln. Und einen gewissen Druck vom Markt, damit bereits bestehende Sicherheitstechnologien in neuen Produkten von vornherein eingesetzt werden.“

#### **CYBERSECURITY CAMPUS GRAZ**

Hier kommt der neu gegründete Cybersecurity Campus Graz ins Spiel. Gemeinsam mit dem international renommierten Zertifizierungsunternehmen SGS baut die TU Graz in den kommenden Jahren ein Forschungs-, Lehr- und Zertifizierungszentrum für Cybersecurity in der Grazer Inffeldgasse auf. Stefan Mangard ist im Zentrum für die wissenschaftliche Ausrichtung verantwortlich und gerade darum bemüht, die Forschungsagenda des Campus mit Themen und Projekten zu befüllen. „Der Cybersecurity Campus soll ein Bindeglied zwischen der Grundlagenforschung und der Anwendung in der Industrie sein.“ >

! **Näheres zum Cybersecurity Campus Graz**  
■ **lesen Sie auf Seite 10.**



**IOT: COMPUTER IM MINI-FORMAT**

Der Fokus im Cybersecurity Campus Graz wird auf den Herausforderungen der Zukunft liegen – allen voran auf dem Internet der Dinge (Internet of Things, kurz IoT), das mit seinen Computern im Mini-Format die Sicherheitsforschung vor neue Herausforderungen stellt. „Man spricht von Milliarden Computern weltweit, die man gar nicht mehr sieht – im Lichtschalter, in Glühbirnen oder in der Smartwatch“, erklärt Christian Rechberger, Professor und Leiter der Arbeitsgruppe Cryptography am Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie der TU Graz. Auf fingerspitzenkleinen Computern, wie sie zum Beispiel in Smartwatches verbaut sind, ist jeder Millimeter Speicherplatz heiß umkämpft und nicht zuletzt kostspielig – wer möchte schon eine Smartwatch, die zentimeterdick ist? „Die Herausforderung ist es, Sicherheit zu gewährleisten, obwohl sie fast nichts kosten darf.“

Rechberger begegnet dieser Herausforderung mit neuen Überlegungen in der Kryptografie. Sie ist eines der mächtigsten Instrumente, wenn es darum geht, Computersysteme sicher zu machen. Mittels mathematischer Methoden werden Daten verschlüsselt und sichergestellt, dass sie auf ihrem Weg weder abgefangen noch manipuliert werden können. „Die Kryptografie kann man als Basis jeder Sicherheit sehen“, erklärt Rechberger. „Ist die Basis nicht sicher, dann kann auch alles, was darauf aufbaut, nicht sicher sein.“

Gerade eben konnte im Bereich Kryptografie ein neuer internationaler Erfolg verbucht werden: Ein Team rund um Maria Eichlseder – Postdoc im Bereich Kryptografie – konnte mit dem Algorithmen-Bündel ASCON bei einem internationalen Wettbewerb überzeugen. ASCON wurde als beste Lösung im Bereich leichtgewichtige Algorithmen empfohlen – also für Verfahren, die mit möglichst geringen Ressourcen auskommen.

**„Sicherheit heißt, dass es keine Frage von Glück ist, ob ein System wie erwartet funktioniert, sondern dass man sich darauf verlassen kann.“**

Maria Eichlseder

„Wir fragen uns auf wissenschaftlicher Seite, was die minimalsten Berechnungen sind, die wir gerade noch hernehmen und clever kombinieren können, um die Chips abzusichern“, erklärt Rechberger die Zugangsweise.

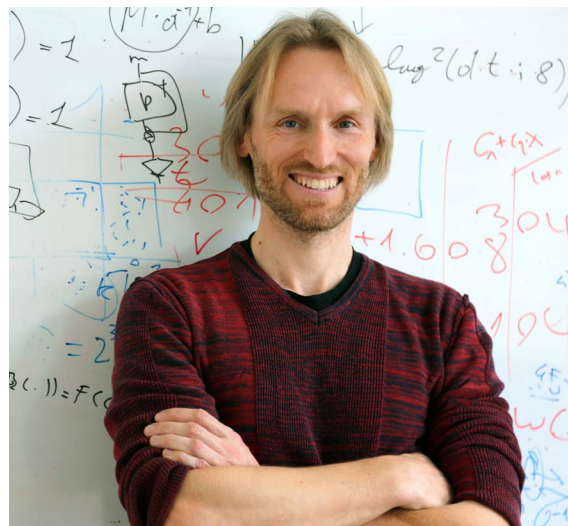
**KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND QUANTENCOMPUTER**

Neben dem Internet der Dinge – das sowohl für Mangard als auch Rechberger das zentrale Thema der kommenden Jahre sein wird – stellen neue Entwicklungen noch weitere Aufgaben: die künstliche Intelligenz und die Quantencomputer. „Aus Forschungssicht ist die künstliche Intelligenz aber eine ganz harte

Das Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie wird von Reinhard Posch geleitet. Der Sicherheitsexperte ist Chief Information Officer der Österreichischen Bundesregierung und koordiniert gemeinsam mit einem Gremium die IT-Vorhaben von Ländern und Ministerien. Zentral war er an dem Projekt digitale Signatur und anderen Entwicklungen im Bereich E-Government beteiligt.

Die Arbeitsgruppen am Institut beschäftigen sich mit:

- Core Security (Leiter: Daniel Gruss),
- Cryptography (Leiter: Christian Rechberger),
- E-Government (Leiter: Arne Tauber),
- Java-Security (Peter Lipp),
- Secure Systems (Leiter: Stefan Mangard) und
- Systematic Construction of Correct Systems (Leiter: Roderick Bloem).



**Links: Bezeichnet Kryptografie als „Basis jeder Sicherheit“: IT-Spezialist Christian Rechberger**

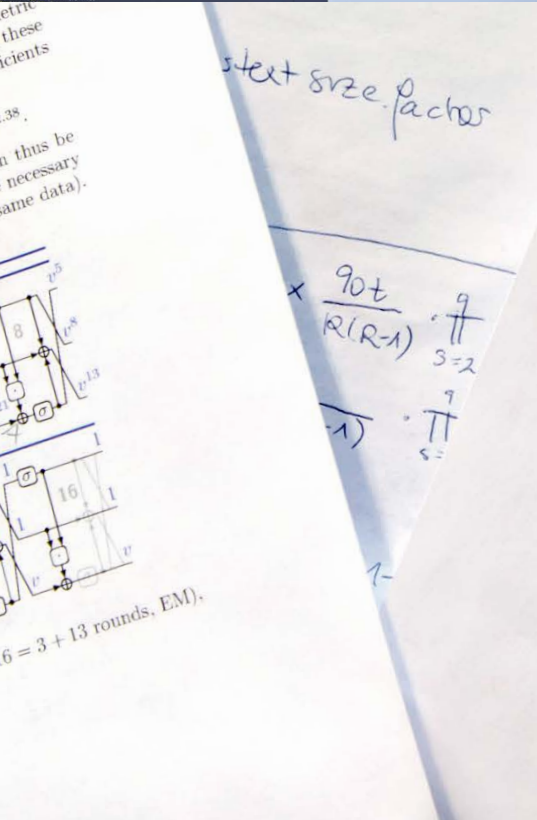
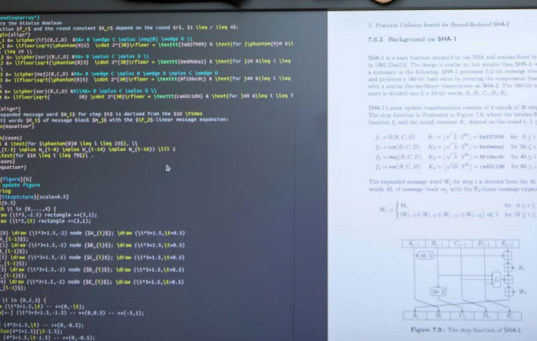
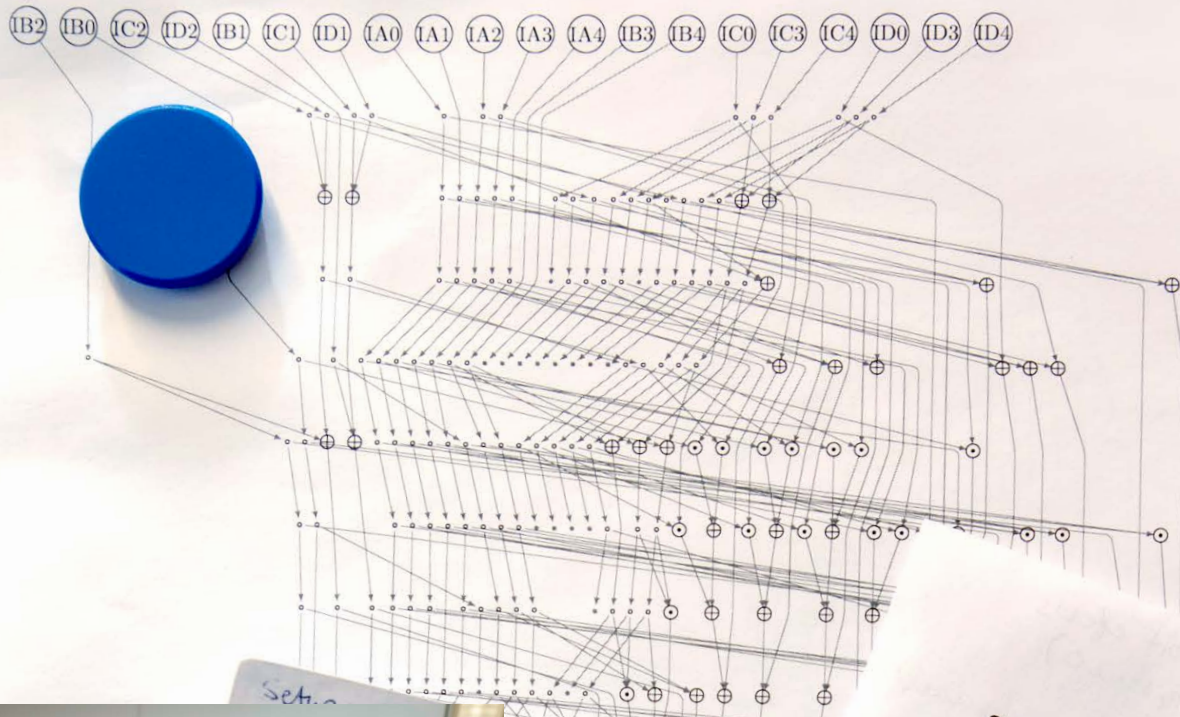
Bildquelle: Baustädter – TU Graz

**Rechts: Baut erfolgreiche Verschlüsselungsalgorithmen: Maria Eichlseder**

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

Nuss“, stellt Mangard fest. „Lernende Algorithmen werden immer besser, aber eine kleine Manipulation in den Daten kann sie vollkommen aus dem Tritt bringen. Wenn künstliche Intelligenz einmal sehr viel verbreiteter sein wird als heute, dann kann das ein großes Problem werden.“ Und aus Sicht der Datensicherheit fügt Rechberger hinzu: „Künstliche Intelligenz muss mit unzähligen Daten gefüttert werden. Aber ist das wirklich sicher? Und ist die Privatsphäre gewährleistet? Wir arbeiten jetzt schon an einer Möglichkeit, lernende Algorithmen erfolgreich mit verschlüsselten Daten zu versorgen, ohne ihre Lernfähigkeit zu beeinflussen.“ >

# CHI-5 Uniform, reusing gates, sanitized with sinks



Set...

...nds (= 10x=R)

...active

...P,

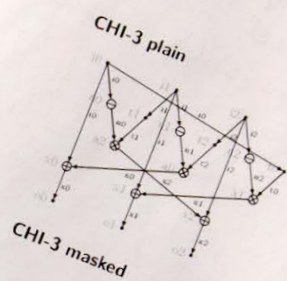
...of 1...2

...ally inhealy

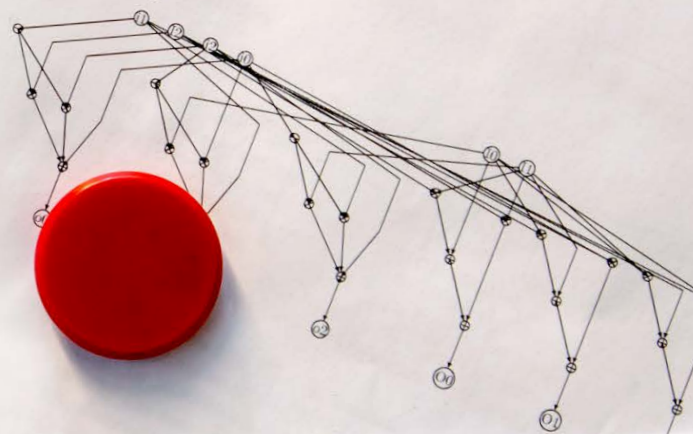
...fault

...-2

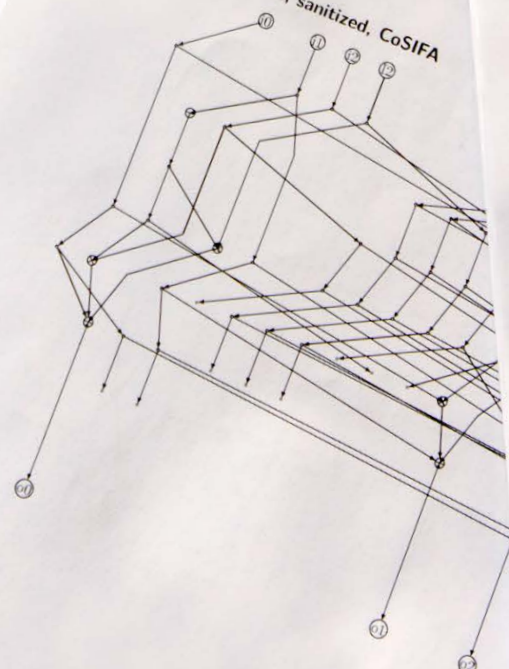
...total



CHI-3 masked



CHI-3 masked, sanitized, CoSIFA



## 4. Security Analysis

enhance security analysis with existing t  
about florians zero-sum distinguisher to  
maybe get rid of analysis and only refer

### 4.1. Basic Properties

In this section, we give some known pr  
ble 14 in Appendix A shows the differ  
and output differences. As can be seen i  
ability of the S-box is  $2^{-2}$  and its differ  
the biases of the linear approximation o  
masks. The maximum linear probabil  
number is 3.

Let  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4$  and  $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4$   
where  $x_0$  refers to the most significant  
Then the algebraic normal form (AN)

$$\begin{aligned} y_0 &= x_4x_1 + x_3 + x_2x_4 \\ y_1 &= x_4 + x_3x_2 + x_3 \\ y_2 &= x_4x_3 + x_4 + x_2 \end{aligned}$$



Anfang 2018 unterzeichneten neun Organisationen bei der Munich Security Conference eine Absichtserklärung zur intensiveren Forschung im Bereich Cybersecurity – die Charter of Trust. 2019 ist die Gruppe der Unterstützer auf 16 angewachsen. Ebenfalls seit diesem Jahr ist die TU Graz als erste universitäre Einrichtung Kooperationspartnerin der internationalen Initiative für mehr Sicherheit im digitalen Zeitalter.

Quantencomputer sind heute noch keine Realität – aber ihnen wird eine große Zukunft vorhergesagt. Mit ihrer völlig neuen Art zu rechnen werden sie wesentlich leistungstärker als alle bisher bekannten Computersysteme sein. Was für die Nutzenden ein großes Plus ist, kann für die Sicherheit ein noch viel größeres Problem werden. „Unsere heutigen Methoden beruhen auf der Sicherheit, mit derzeitigen Rechenmethoden zwar theoretisch geknackt werden zu können, allerdings nur in einem Zeitraum von mehreren Milliarden Jahren“, erklärt Rechberger. „Quantencomputer könnten das aber relativ schnell erledigen.“

Sein Team ist mit zwei Einreichungen am aktuell laufenden Wettbewerb „Post-Quantum Cryptography“ der US-amerikanischen Zertifizierungsbehörde NIST beteiligt. Der Wettbewerb sucht nach Signatur-, Schlüsselaustausch- und Verschlüsselungsverfahren, die Angriffen durch Quantencomputer widerstehen. Die beiden Signaturverfahren Picnic und SPHINCS+ wurden im Februar 2019 als Kandidaten für die zweite Runde bestätigt.

## SECURITY UND SAFETY

„Spannend wird das Thema Security auch, wenn der Safety-Aspekt hinzukommt“, erklärt Stefan Mangard. Unter „Security“ versteht man, ein System vor Angreifenden zu schützen. Im Bereich „Safety“ geht es darum, die Gesundheit des Menschen vor einem fehlerhaften Computersystem zu schützen. Die Kernkompetenz im Bereich Safety findet sich am Institut für Technische Informatik. Die Arbeitsgruppe Industrial Informatics rund um Georg Macher beschäftigt sich hauptsächlich mit diesem Aspekt der Sicherheit in der industriellen Anwendung. Auch hier ist Cybersecurity ein immer größeres Thema – über Kryptografie, Seitenkanalattacken und Authentifizierung. Die Forschenden kümmern sich um einen ganzheitlichen Entwicklungsansatz und Engineering-Prozesse.

Ein interessantes Beispiel ist der Bereich „Automotive“. „Fahrzeuge sind heute schon hoch vernetzt und bieten dadurch immer mehr Angriffsflächen. In kaum einer anderen Branche wird aktuell deutlich, wie wichtig die Interaktion von Safety und Security ist“, erklärt Senior Scientist Macher. Das zeigt sich sehr plakativ anhand des Beispiels einer elektronischen Lenksperrung. „Ist sich das Sperrsystem unsicher, ob es nun die Sperre aktivieren soll oder nicht, dann gibt es zwei Blickwinkel: Aus Sicht der System-sicherheit – der Security – ist es besser, wenn das Lenkrad vorsorglich gesperrt wird. Sperrt das System nicht, kann dies mit Diebstahlintention erfolgen und das Fahrzeug steht mit geringem Schutz in der Parklücke. Aus Sicht der Insassensicherheit – also

**100 Prozent Security gibt es nicht. Wir machen es den Angreifenden so schwer wie möglich.**

Georg Macher



Mit dem Internet der Dinge wird unsere Welt immer bequemer. Kontaktloses Bezahlen, Automatisierung im Haushalt, autonomes Fahren und intelligente Fabriken sind nur einige Beispiele. Neue Mobilfunkstandards ermöglichen eine schnellere Interaktion zwischen Geräten und so neue Anwendungsfälle. Immer, wenn Dinge gut sind, schläft auch das Böse nicht, sondern erforscht neue Möglichkeiten, unsere Gesellschaft und unsere Lebensweise zu schädigen.

**Martin Schaffer**  
Globaler Geschäftsführer für  
Sichere Produkte & Systeme,  
SGS Digital Trust Services

Bildquelle: alex.

Konsumgüter überschwemmen unsere Märkte nahezu ungefiltert, wenn es um IT-Sicherheit geht. Es gibt kaum Vorschriften oder Gesetze. Die Herausforderung ist vielfältig. Denn Sicherheit lässt sich nur lösen, wenn Geräte sicher gegenüber Angriffen während des gesamten Lebenszyklus konzipiert sind. Dies erfordert, dass Geräte aktualisiert werden, um auf neue Angriffstrends reagieren zu können. Das wiederum erfordert Back-End-Systeme, die solche Dienste anbieten und auf gesicherten Kanälen mit den Geräten kommunizieren. Und selbst wenn man es schafft, sichere Lösungen anzubieten: Kann man sicher sein, dass sie richtig implementiert, konfiguriert, bereitgestellt und betrieben werden?



der Safety – ist es besser, nicht zu sperren. Das Fahrzeug könnte gerade fahren und ein Defekt könnte die Grundlage der Unsicherheit sein. In diesem Fall muss das Lenkrad funktionieren.“

Um funktionierende und sichere Systeme für den Straßen- und auch Fabriksalltag zu schaffen, fokussieren sich Macher und seine Kolleginnen und Kollegen auf systematische Dependability-by-Design-Ansätze – Ansätze, die sowohl Safety als auch Security vereinen. Diese Ansätze basieren unter anderem auf „Security-Primitiven“, die auch das Nachbarinstitut von Mangard und Rechberger entwickelt. „Unser Fokus liegt auf einem sicheren, kompletten Entwurfs- und Entwicklungsprozess kritischer Industriesysteme. Safety und Security sind wichtige Teilaspekte der ganzheitlichen Entwicklung, die wir zum Beispiel im Projekt HyUnify für Wasserkraftwerke oder im Projekt MEMCONS für die Automotive-Branche eingebunden haben. Die Zuverlässigkeit des Systems basiert nicht nur auf der Entwicklung neuer Technologien, sondern auch auf deren korrekter Anwendung, der sicherheitskritischen Denkweise der Entwickler/innen und dem Bereitstellen eines entsprechenden Entwicklungsprozesses. Safety/Security Engineering ist nicht Technologie alleine, es ist ein Lifestyle.“



” **Security sollte immer vorhanden sein, ohne dass man sich als Nutzende/r ständig darum kümmern muss.**

Stefan Mangard

Neben den real umsetzbaren Systemen beschäftigt sich Macher auch mit der Zukunft der Branche: Im 2018 gestarteten Projekt Drives beschäftigen sich die Forschenden mit dem Zukunftsbild der Automotive-Branche im Jahr 2030 und skizzieren, welche Arbeitsbereiche es zusätzlich geben wird und welche Ausbildungen und Trainings die Profis der Zukunft brauchen werden. „Ein Job, der sicher dazukommen wird, ist der Automotive Cybersecurity Engineer und darauf müssen wir unsere Studierenden vorbereiten. Nicht Security- oder Branchenwissen alleine ist nötig, sondern T-shaped Entwickler/innen, die neben tiefem Fachwissen auch ein breites Allgemeinwissen besitzen“, erzählt Macher.

#### WENN SECURITY KEIN THEMA MEHR IST

Die Zukunft bringt also immer mehr und immer neue Herausforderungen für die Sicherheit in Computersystemen und der sie benutzenden Menschen. Stefan Mangard fasst die Bestrebungen zusammen: „Unser Ziel ist es, dass Security immer vorhanden ist, ohne dass man sich ständig z. B. via Updates darum kümmern muss. Solange das aber der Fall ist, sind unsere Lösungen nicht gut genug. Es ist nicht die Zeit, sich auf unseren Lorbeeren auszuruhen. Für uns beginnt die Arbeit gerade erst.“ ■

#### Fokussiert auf die Interaktion zwischen Safety und Security: Georg Macher

Bildquelle: Baustädter – TU Graz

Eine Möglichkeit, den Markteintritt unsicherer Produkte zu verhindern, sind entsprechende Gesetzgebungen, Normen und Konformitätsbewertungen. In anderen Bereichen unseres täglichen Lebens sind sie gängig: Autos müssen Crashtests durchlaufen, neuartige Medikamente müssen zugelassen werden, bevor sie verkauft werden dürfen, Spielzeug für Kinder muss bestimmten Sicherheitskontrollen unterzogen werden, elektrische Systeme müssen Konformitätstests durchlaufen und so weiter. Bei einer traditionellen Konformitätsbewertung sind die Kriterien aber recht statisch. Die physikalischen Gesetze ändern sich nicht, das heißt, einen Tag nach der Freigabe eines Zertifikats führt

die Wiederholung eines Tests in der Regel zum gleichen Ergebnis. In der Cybersicherheit ist das nicht der Fall. Die Angriffe ändern sich ständig. Was heute Stand der Technik ist, ist am nächsten Tag vielleicht schon veraltet.

Daher muss die Konformitätsbewertung revolutioniert werden, um mit diesem neuen Umstand umgehen zu können. Eine Folge davon ist die strategische Forschungskooperation von SGS mit der TU Graz im Cybersecurity Campus Graz. Während sich die TU Graz stark auf die Erforschung neuer Architekturen und Konzepte konzentriert, um Zukunftstechnologien nachhaltig sicher zu machen, bringt SGS den Gesichtspunkt der nachweisbaren Sicherheit während des gesamten Le-

benszyklus eines Produkts oder Systems ein. In naher Zukunft muss alles kontinuierlich und effizient unter Berücksichtigung von Zeit und Kosten auf Resistenz gegen Angriffe überprüft werden. Dies erfordert einerseits, dass neue Technologien nicht nur sicher, sondern auch effizient testbar gestaltet werden. Andererseits erfordert es potenziell neue Methoden beim Testen, Prüfen und Zertifizieren von Produkten, Systemen, Infrastrukturen, Betreibern, Services und Cloud-Lösungen.

Der Cybersecurity Campus Graz ist ein hervorragendes Umfeld, um die Kräfte zu bündeln, um an disruptiven Lösungen zu arbeiten, und lädt Partner aus der Industrie ein, sich zusammenzuschließen und sich einzubringen. ■



## „Es ist nicht die Zeit, sich auf den Lorbeeren auszuruhen.“

Das Thema Security werde gerade erst so richtig relevant, sagt Sicherheitsforscher Stefan Mangard von der TU Graz. Er beschäftigt sich im ERC-Projekt Sophia mit sicheren Computer-Prozessoren. 2018 entdeckte seine Arbeitsgruppe als Teil eines internationalen Teams die Sicherheitslücken Meltdown und Spectre. Seit 2019 ist er für die Forschung im neuen Cybersecurity Campus Graz zuständig.

**Birgit Baustädter**

**Sicherheitsforscher  
Stefan Mangard kämpft für mehr  
Sicherheit in vernetzten Systemen.**

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

## Cybersecurity Campus Graz

SGS, das weltweit führende Unternehmen in den Bereichen Prüfen, Testen, Verifizieren und Zertifizieren, und die TU Graz, eine Top-Forschungsinstitution im Bereich IT-Sicherheit, gründeten Anfang des Jahres gemeinsam den Cybersecurity Campus Graz. Gearbeitet wird in drei Kernbereichen: Forschung zur Analyse der Sicherheit von Systemen und zur Erforschung grundlegend neuer Sicherheitskonzepte, Aus- und Weiterbildung für die stark nachgefragten Sicherheitsexpert/innen und Forschenden im Bereich Informationssicherheit sowie Prüfung und Zertifizierung von Produkten und Systemen hinsichtlich deren Sicherheit. Der Campus ist offen für Start-ups und Partner aus Industrie und Wissenschaft.

Ergebnisse aus der Grundlagenforschung des Zentrums werden der Allgemeinheit frei zur Verfügung gestellt. Der Wissenstransfer von der akademischen Forschung zur Industrie wird durch Weiterbildungsangebote und gemeinsame Projekte zusätzlich gefördert.

Zusätzlich zur Beteiligung am Forschungszentrum siedelt die SGS-Gruppe ihre Tochterfirma SGS Digital Trust Services GmbH am Cybersecurity Campus Graz an. ■

**TU Graz research: Kann man ein System wirklich sicher machen?**

**Stefan Mangard:** Es ist angesichts der immer wieder auftretenden, großen Lücken leicht, zu resignieren. Warum soll ich in Security investieren, wenn ohnehin alles gehackt wird? Reicht es nicht, schnell reagieren zu können und die Lücken zu patchen? Nein, das reicht nicht. Es muss sich die Art von Grund auf ändern, wie wir Systeme bauen. Wir Forschende wollen Technologien entwickeln, an denen ganze Kategorien von Angriffen gar nicht erst möglich sind. Man kann nie sicher sein, dass alle möglichen Schwachstellen überprüft und gelöst werden. Aber man kann das Sicherheitsniveau massiv anheben. Im Bereich Security ist nicht die Zeit, sich auf seinen Lorbeeren auszuruhen. Für uns geht es jetzt erst los.

**Wo ist das Thema derzeit besonders relevant?**

**Mangard:** Das Internet der Dinge stellt uns vor große Herausforderungen. Immer mehr Branchen beschäftigen sich mit vernetzten Produkten, haben aber oft nicht das umfassende Security-Wissen, das notwendig wäre. Diesen Unternehmen müssen wir leicht handhabbare und von Grund auf sichere Systeme anbieten, die nicht erst noch konfiguriert und abgesichert werden müssen.

**Was ist derzeit der größte „Feind“?**

**Mangard:** Unser Hauptproblem ist, dass sich Security nicht messen lässt. Ich kann Unmengen an Geld investieren und habe trotzdem nicht das Gefühl, wirklich etwas gewonnen zu haben. Wenn man ein System schneller macht, dann ist das zum Beispiel im Vergleich sehr leicht zu messen. Wir brauchen den Druck vom Markt, um tatsächlich neue Technologien flächendeckend umsetzen zu können.

**Heißt das, dass jeder größere Hack Sie einen Schritt weiter zu einer sicheren Welt bringt?**

**Mangard:** Ja. Weil das Aufmerksamkeit schafft, dass etwas getan werden muss. Es gäbe sehr gute technologische Lösungen, die aber oft nicht eingesetzt werden, weil sie als unnötig empfunden werden.

**Wie gehen Sie persönlich mit Sicherheit um?**

**Mangard:** Als Forscher ist man sensibler und ich achte genau darauf, welche Apps ich installiere und was sie mit meinen Daten machen. Gleichzeitig bin ich mir bewusst, dass mein Handy und mein Rechner nicht perfekt sind. ■





**Nur wenige Zeilen Code  
lösen große Probleme aus:  
So funktioniert ZombieLoad.**

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

## Wenige Zeilen Code mit gravierenden Folgen

2018 deckten sie die schweren Sicherheitslücken Meltdown und Spectre mit auf. 2019 startete für Daniel Gruss, Michael Schwarz und Moritz Lipp ähnlich: mit ZombieLoad und Store-to-Leak Forwarding.

### Birgit Baustädter

ZombieLoad und Store-to-Leak Forwarding heißen die neuen Angriffsmethoden, die die TU Graz-Sicherheitsforscher Daniel Gruss, Moritz Lipp und Michael Schwarz gemeinsam mit einem internationalen Team entdeckt haben. Die schweren Sicherheitslücken betreffen – wie ihre Vorgänger – vermutlich Millionen von Computern.

### ZOMBIELOAD

ZombieLoad nutzt einen ähnlichen Ansatz wie Meltdown. Um schneller arbeiten zu können, bereiten Computersysteme mehrere Arbeitsschritte parallel vor und werfen dann jene wieder, die entweder nicht gebraucht werden oder für die es keine notwendigen Zugriffsrechte gibt. Aufgrund seiner Bauweise muss der Prozessor immer Daten weitergeben, auch wenn es nicht die richtigen sind. Der Check der Zugriffsrechte

passiert aber erst, wenn bereits sensible Rechenschritte vorausgearbeitet wurden, die auf Annahmen des Computersystems beruhen. „In diesem kurzen Moment zwischen Befehl und Check können wir mit der neuen Attacke die bereits geladenen Daten von anderen Programmen sehen“, erklärt Gruss. So können die Forschenden im Klartext mitlesen, was gerade am Computer gemacht wird.

Für Meltdown gab es mit dem vom TU Graz-Team entwickelten KAISER-Patch eine einfache Lösung, die die Geschwindigkeit des Computers beeinträchtigte. Für ZombieLoad-Angriffe könnte sich eine Lösung schwieriger gestalten, wie Gruss erklärt: „Jede CPU hat mehrere Kerne und jeder Kern ist noch einmal geteilt. So können mehrere Programme gleichzeitig laufen. Wir glauben, dass einer dieser zwei Bereiche gelöscht werden muss.“ Das würde Leistungseinbußen von

50 Prozent bedeuten. Oder in einer Cloud, die von der Angriffsmethode ebenfalls bedroht ist, bis zu 50 Prozent weniger mögliche Nutzerinnen und Nutzer auf der gleichen Hardware.

### STORE-TO-LEAK FORWARDING

Auch beim Store-to-Leak Forwarding wird die optimierte Arbeitsweise von Computerprozessoren ausgenutzt und vorab geladene Daten ausgelesen. „Der Computer geht davon aus, dass ich Daten, die ich gerade in den Prozessor geschrieben habe, auch gleich wieder weiterverwenden möchte. Also behält er sie im Buffer, um schneller darauf zugreifen zu können“, erklärt Gruss. Diese Arbeitsweise kann wiederum ausgenutzt werden, um die Architektur des Computerprozessors auszuforschen und den genauen Ort zu finden, an dem das Betriebssystem ausgeführt wird. „Wenn ich weiß, wo genau das Betriebssystem vom Prozessor ausgeführt wird, dann kann ich gezielt Angriffe auf Lücken im Betriebssystem starten.“

Die Forschung wurde über das ERC-Projekt Sophia, das Projekt DESSNET und das Projekt ESPRESSO sowie aus einer Spende vom Hersteller Intel finanziert. ■

## Cybersecurity studieren

Die TU Graz bietet die drei englischsprachigen Masterstudien Computer Science, Computer and Information Engineering sowie Software Engineering and Management an. In allen drei Masterstudien können sich Studierende im Bereich Informationssicherheit spezialisieren. Es werden vertiefende Lehrveranstaltungen von Hardwaresicherheit und Kryptografie bis hin zu E-Government-Anwendungen angeboten. Master-Studierende werden dabei eng in die aktuelle Cybersecurity-Forschung an der TU Graz eingebunden. Durch die Gründung des Cybersecurity Campus Graz wird das aktuelle Lehrveranstaltungsangebot laufend weiter ausgebaut. Für die Bachelorstudien Informatik, Information and Computer Engineering und Softwareentwicklung/Wirtschaft treten mit dem Wintersemester 2019/2020 neue Studienpläne in Kraft, in denen Informationssicherheit ein wichtiger Bestandteil ist. Damit wird die Basis für die Spezialisierung im Masterstudium gelegt. ■

## Verlässlichkeit im Internet der Dinge

In seinen ersten drei Projektjahren lieferte das TU Graz-Leadprojekt „Dependable Internet of Things in Adverse Environments“ vielversprechende Ergebnisse: Das Team entwickelte ein effizientes und genaues Ortungssystem, sicherte die Kooperation von Geräten verschiedener Hersteller im IoT mittels lernfähigem Algorithmus ab, schützte die integrierte Software vor Sicherheitsattacken und entwickelte ein Vorhersagesystem für autonome Fahrzeugkolonnen. Das Forschungsprojekt wurde nach der Zwischenevaluierung für drei Jahre verlängert. ■

## Erfolg für ASCON-Algorithmus

Nachrichten so zu übertragen, dass sie niemand lesen oder verändern kann, ist das Ziel der authentifizierten Verschlüsselung von Informationen. Ein Team am Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologien der TU Graz reicht den hier entwickelten ASCON-Algorithmus 2014 beim renommierten CAESAR-Wettbewerb ein. Dort wurde der Algorithmus fünf Jahre lang getestet, geprüft sowie auf seine kryptanalytische und praktische Sicherheit untersucht. Die hochkarätig besetzte Jury hat das Grazer Verschlüsselungsverfahren nun als primäre Wahl für sogenannte leichte Anwendungen empfohlen. ■

## Zuverlässig trotz Funkstörungen

Carlo Alberto Boano vom Institut für Technische Informatik organisiert gemeinsam mit Markus Schuß jährlich die „Dependability Competition“. Die Herausforderung in diesem Jahr: ein Set-up, das in einem industriellen, drahtlosen Multi-Hop-Netzwerk trotz starker Funkstörungen Daten zuverlässig erfasst und Betätigungsbefehle weitergibt. 13 Teams aus zehn Ländern stellten sich erfolgreich der Aufgabe. Eine Veröffentlichung ist geplant. ■



## Der Wettkampf der Neuro- Assistenzsysteme

Wenn bewegungsbeeinträchtigte „Pilotinnen und Piloten“ im CYBATHLON-Wettbewerb Computerfiguren mit ihren Gedanken steuern, dann zeigt sich live, wie weit die Forschung an Brain-Computer-Interfaces (BCI) bereits gediehen ist.

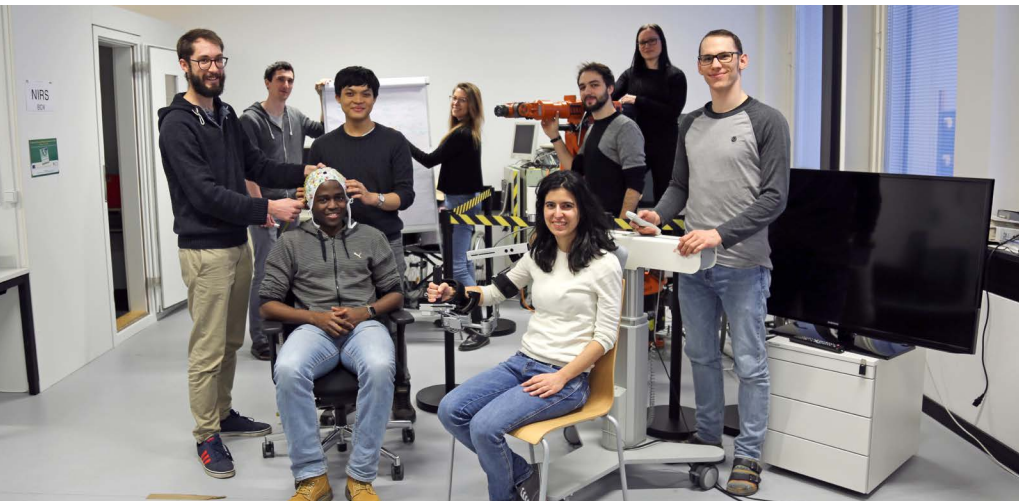
Das nächste CYBATHLON BCI-Rennen findet am 17. September 2019 in Graz im Vorfeld der BCI-Konferenz statt.

**Werner Schandor**

„Beim CYBATHLON 2016 in Zürich war die Halle voll“, erinnert sich Gernot Müller-Putz, Leiter des Instituts für Neurotechnologie an der TU Graz. „7.500 Leute haben bei den Wettkämpfen vor Ort zugeschaut, bei dem 66 Athletinnen und Athleten aus 25 Nationen angetreten sind. Das Schweizer Fernsehen hat live übertragen, und auch unsere Delegation wurde von einem ORF-Team zu den Spielen begleitet.“

Der von der ETH Zürich ins Leben gerufene CYBATHLON ist so etwas wie die WM der technischen Assistenzsysteme: In diesem sportlichen Wettkampf zeigen Athletinnen und Athleten mit Behinderung, was Prothe-





**Links: Gernot Müller-Putz ist Leiter des Instituts für Neurotechnologie an der TU Graz.**

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

**Rechts: Auch das Graz BCI Racing Team Mirage 91 wird am Wettbewerb teilnehmen.**

Bildquelle: Graf – TU Graz

tik, Roboter- und Neurotechnologie zu leisten vermögen. Insgesamt sechs Disziplinen sind zum CYBATHLON zusammengefasst – vom Radrennen mit FES-Liegebikes, die dank funktioneller Elektrostimulation (FES) gelähmten Menschen das Radfahren ermöglichen, über Wettbewerbe mit robotischen Arm- und Beinprothesen bis hin zu Computerspiel-Contests, wo die Spielfiguren von querschnittgelähmten Pilotinnen und Piloten mittels Elektroenzephalogramm (EEG) über Brain-Computer-Interfaces gesteuert werden.

Bei diesem BCI-Race können die Zuseher/innen live auf Bildschirmen verfolgen, wie die Figuren einen Parcours meistern, Hindernisse überwinden, Durststrecken erleiden und schließlich wieder vorangetrieben werden. „Beim BCI-Race zeigt sich unter Wettbewerbsbedingungen, welches Forscher/innenteam sein System am besten auf den Piloten bzw. die Pilotin abgestimmt hat“, erläutert Gernot Müller-Putz. „Man sieht unmittelbar, wie gut die EEG-Signale von den Algorithmen interpretiert und in Impulse umgesetzt werden können.“

### GRAZER BCI-KOMPETENZ

Der BCI-Wettbewerb im September 2019 in Graz ist ein Vorgeschmack auf den nächsten CYBATHLON, der 2020 in Zürich stattfinden wird. Dass die CYBATHLON BCI Series in Graz Station macht und dass hier alle zwei Jahre eine der maßgeblichen Konferenzen zum Thema Brain-Computer-Interfaces stattfindet, ist kein Zufall: Die BCI-Arbeitsgruppe an der TU Graz zählt zu den führenden europäischen Forschungsgruppen auf dem Ge-

biet der computergestützten Interpretation von Hirnströmen und ihrer „Übersetzung“ in elektronische Impulse für Prothesen, Roboterarme und Kommunikationsmöglichkeiten. In den vergangenen Jahren konnte das interdisziplinäre Team um Gernot Müller-Putz in mehreren EU-geförderten Forschungsprojekten große Fortschritte machen – etwa in der Steuerung von Neuropthesen im Projekt „MoreGrasp“. Aktuell werden Grundlagen für die zukünftige Steuerung eines ganzen Armes im ERC-Consolidator-Projekt „Feel Your Reach“ erarbeitet.

Querschnittgelähmten Menschen mittels Gedankensteuerung wieder die Bewegung der Gliedmaßen zu ermöglichen, ist eines der Kernziele der BCI-Forschungen. Ihre Anfänge in den 1970ern gehen auf das Bemühen zurück, Patientinnen und Patienten zu helfen, die z. B. durch amyotrophe Lateralsklerose (ALS) oder Locked-in-Syndrom in ihrer Kommunikation schwer eingeschränkt sind. So wurde auf EEG-Basis die P300-Kommunikationstechnik entwickelt, mit der diese Patientinnen und Patienten mit der Umwelt in Kontakt treten können. Neuere Ansätze des Forschungsgebiets beschäftigen sich mit der Therapie-Unterstützung von Schlaganfallpatientinnen und -patienten, aber auch mit außerklinischen Anwendungen, etwa der neurophysiologischen Optimierung von Assistenzsystemen in Fahrzeugen oder der Unterstützung Studierender beim Lernen. „Mittels BCI könnte man den mentalen Zustand von Menschen widerspiegeln und ein Computersystem könnte beispielsweise erkennen, wann der Lernende ermüdet und welchen Input es

dann benötigt, um die verbliebene Konzentration optimal auszunutzen“, erläutert Gernot Müller-Putz.

### „SCHÖNE NEUE WELT“? – NEIN, MÖGLICHKEITEN!

Einwand: Klingt das nicht nach „Schöner neuer Welt“? – „Nein, für mich klingt das nach Möglichkeiten, die das Leben bereichern“, sagt der TU Graz-Professor. Im Zentrum der BCI-Forschungen stehen nach wie vor medizinische bzw. therapeutische Anwendungen. Sie bilden auch den Schwerpunkt der 8. BCI-Konferenz, zu der vom 16. bis 20. September 2019 über 240 Wissenschaftler/innen in Graz erwartet werden. 78 Papers wurden eingereicht, sechs Keynote-Speaker/innen aus Deutschland, Großbritannien, den Niederlanden und den USA stecken das interdisziplinäre Spektrum des Gebiets ab: von der Neurophysiologie über die Datenanalyse bis hin zu Sensor-Motorik-Systemen, Neuropthetik und elektrischer Stimulation von Nerven.

Für die CYBATHLON BCI Series, die am 17. September stattfinden wird, haben sich bereits Teams aus Europa und Asien angemeldet. Gernot Müller-Putz hofft, die Athletinnen und Athleten der Grazer CYBATHLON BCI Series werden vom Publikum genauso begeistert angefeuert werden wie jene 2016 in Zürich. ■

# Nachhaltiges Bauen ist Einstellungssache

Wenn Alexander Passer von seinem Büro im 11. Stock des Grazer Science Towers auf die künftige Grazer „Smart City“ blickt, ist er nicht wirklich glücklich: „Sobald ein Gebäude die Anforderungen des Energieausweises nur um einen Bruchteil übertrifft, ist gleich von einem ‚Green Building‘ die Rede.“ Für den TU Graz-Professor für Nachhaltiges Bauen braucht es aber viel größere Anstrengungen, um wirklich nachhaltig und klimafreundlich zu bauen. Modelle dazu werden im September 2019 auf der „Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019“ an der TU Graz diskutiert.

Werner Schandor

Die Herausforderungen sind längst bekannt: Wie können wir die knapper werdenden Ressourcen unseres Planeten so nützen, dass unsere Nachkommen eine ausreichende Lebensgrundlage vorfinden? Und: Was müssen wir unternehmen, um die anthropogene Erderwärmung möglichst gering zu halten und die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen? Eine drastische Reduktion der Treibhausgas-Emissionen ist vonnöten. Das gilt ganz besonders für den Bausektor, dem weltweit ca. 40 Prozent des Energie- und 50 Prozent des Ressourcenverbrauchs zugeschrieben werden.

Um hier Emissionen einzusparen, reicht es nicht aus, allein die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern, „grüne“ (Bau-) Materialien zu verwenden oder neue Methoden digitalen Planens einzuführen. „Die ganze Kette von der Planung über den Bau und die Nutzung bis hin zum Ende des Lebenszyklus muss umdenken“, weiß Passer. „Das Ziel ist es, der Nachwelt einen Bau nicht als Altlast, sondern als Kapital zu hinterlassen.“ Allfällige höhere Planungs- und Errichtungskosten rechnen sich, über den Lebenszyklus betrachtet, in den meisten Fällen innerhalb kurzer Zeit.

## INTERNATIONAL VERNETZTE FORSCHUNG FÜR NACHHALTIGES BAUEN

Bei der Sustainable Built Environment D-A-CH Conference vom 11. bis 14. September 2019 an der TU Graz widmen sich Forschende der Frage, was sie zur Erreichung der Klimaziele und zu Nachhaltigkeit beitragen können. Die Konferenz unter dem Motto „Auf dem Weg zu Netto-Null-Emission-Bauten“ findet in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur Wien, dem Karlsruher Institut für Technologie und der ETH Zürich statt. Über 200 Beiträge werden sich in vier Themenkreisen mit nachhaltigem Bauen beschäftigen. Ein Schwerpunkt der Konferenz liegt auf der Umsetzung. Ausgewählte wis-

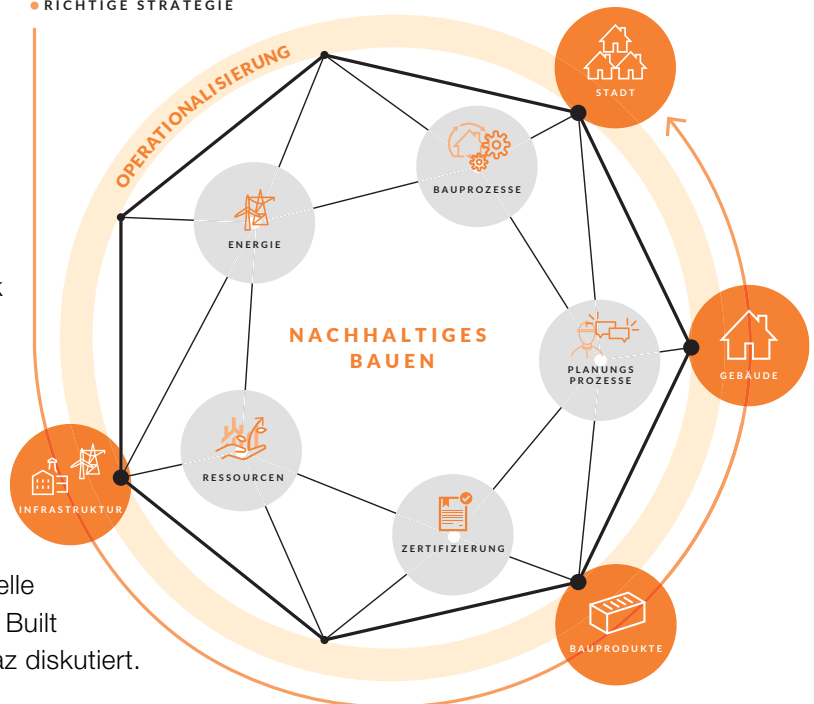
**Oben: Nachhaltiges Bauen ist ein umfassender Prozess, der sämtliche relevanten Aspekte in ein ganzheitliches, systemisches Modell integriert. Dieses Modell umfasst den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks oder städtebaulichen Vorhabens und orientiert sich an objektivierbaren ökologischen, sozialen und kulturellen Qualitäten.**

Bildquelle: Alexander Passers Habilitationsschrift 2016

senschaftliche Beiträge der SBE19 Graz werden in die World Sustainable Built Environment Conference „Beyond 2020“ in Göteborg, Schweden, einfließen. Dort treffen sich dann Nachhaltigkeits- und Bau-Expert/innen aus der ganzen Welt.

Dass Nachhaltigkeit bei Bauprojekten möglich ist, zeigt nicht zuletzt der 2017 eröffnete „Science Tower Graz“, ein Leuchtturmprojekt, das die Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen der TU Graz wissenschaftlich begleitet hat, und in dem sie nun eine Etage nützt. Das 14-geschoßige zylindrische Gebäude wird von einer Fassade aus Energieglas ummantelt, das Strom aus Licht erzeugt; die Betonkernaktivierung ermöglicht ein weitgehend treibhausgasfreies Kühlen bzw. Heizen. Der Science Tower integriert darüber hinaus eine aktive, rotierende PV-Beschattung, smarte LED-Beleuchtung, Zonen für Urban Farming und weitere innovative Technologien. ■

- GANZHEITLICH & LEBENSZYKLUSWEIT
- SYSTEMISCHE BETRACHTUNG
- ANWENDUNGSSPEZIFISCH
- RICHTIGE STRATEGIE



Sustainable Built Environment  
D-A-CH Conference:  
**Transition Towards a Net Zero Carbon Built  
Environment**

11. bis 14. September 2019

Veranstalter: TU Graz, Institut für  
Materialprüfung und Baustofftechnologie,  
Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen

In Kooperation mit: Institut für Baubetrieb  
und Bauwirtschaft, TU Graz, Universität für  
Bodenkultur Wien, Karlsruher Institut für  
Technologie, ETH Zürich



## Forschungszentrum für CO<sub>2</sub>-freie Kleinmotoren

Egal, ob Handmäher oder Motorsäge, Heckenschere oder Laubbläser: Handgeführte motorisierte Arbeitsgeräte erleichtern die Gartenarbeit und werden deshalb auch immer häufiger im privaten Umfeld verwendet. Doch genauso wie Pkws haben auch diese Geräte maßgeblich Anteil an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein Konsortium – bestehend aus wissenschaftlichen Institutionen und Industrieunternehmen – nimmt sich dieser Entwicklung an und

forscht in den nächsten vier Jahren im eigens dafür eingerichteten „Forschungszentrum für CO<sub>2</sub>-reduzierte Antriebsstränge für Spezialanwendungen“ (RC-LowCAP) an der Dekarbonisierung kleiner Antriebssysteme. Neben den Antrieben für die eingangs erwähnten Geräte fallen auch Antriebe für sogenannte „Personal Mobility“-Fahrzeuge (Motorräder, Quads oder Power-Sport-Fahrzeuge) und Antriebsstränge für leichte Nutzfahrzeuge in diese Kategorie. ■

## Nano-Komposite

Seit 2011 beschäftigen sich Forschende am Institut für Experimentalphysik der TU Graz mit der gezielten Herstellung von Nanoclusterstrukturen. Zum Einsatz kommt eine sogenannte Pick-up-Technik: Helium-Tröpfchen mit einer Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt sammeln Atome oder Moleküle aus einer Verdampfungsquelle auf, die im Inneren der Tröpfchen zu Nanopartikeln geformt werden. Diese Methode nutzte ein Team des Instituts für Experimentalphysik rund um Institutsleiter Wolfgang Ernst und Andreas Hauser, um mit Vanadium-Oxiden zu

experimentieren. Dabei gelang den Wissenschaftlern ein Durchbruch in der Erforschung von Vanadiumpentoxid. Die Ergebnisse tragen zu einem besseren Verständnis katalytischer Prozesse sowie zur Verbesserung in der Herstellung sogenannter SCR-Katalysatoren (englisch: selective catalytic reduction) bei, wie sie beispielsweise in Industrieanlagen, Kraftwerken und Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Die Arbeit wurde jetzt im renommierten Journal Chemical Science der Royal Society of Chemistry veröffentlicht. ■

## Übertriebene Hygiene fördert Antibiotikaresistenz

Weltweit steigt die Zahl der Menschen, die an antibiotikaresistenten Keimen erkranken und sterben. Die Weltgesundheitsorganisation WHO sieht eine der wichtigsten globalen Herausforderungen darin, die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen zu verstehen und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Hierzu initiierte Gabriele Berg, Leiterin des Instituts für Umweltbiotechnologie der TU Graz, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen ihres durch den FWF geförderten Forschungsprojekts „Plant-associated microbial com-

munities in indoor environment“. Dabei wurde untersucht, wie die mikrobielle Kontrolle – das Ausmaß der Reinigungs- und Hygienemaßnahmen – die Entwicklung von Resistenzen beeinflusst. Die Forschung erfolgte gemeinsam mit nationalen Partnern der Medizinischen Universität Graz im Rahmen der interuniversitären Kooperation von BioTechMed-Graz sowie mit internationalen Partnern. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit wurden jetzt in Nature Communications publiziert. ■

## Neue Forschungserfolge auf dem Weg zur Super-Batterie

Seit 2012 arbeitet Stefan Freunberger am Institut für Chemische Technologien von Materialien der TU Graz an der Entwicklung einer neuen Batteriegeneration, die leistungsfähiger, langlebiger und in ihrer Herstellung kostengünstiger ist als derzeitige Modelle. Großes Potenzial sieht Freunberger dabei in Lithium-Sauerstoff-Batterien. Im Zuge seiner Forschungsarbeit entdeckte der Wissenschaftler 2017 Parallelen zwischen der Zellalterung in Lebewesen und in Batterien. In beiden Fällen ist hochreaktiver Singulett-Sauerstoff für den Alterungsprozess verantwortlich. Dieser entsteht während des Entlade- und Ladeprozesses in Lithium-Sauerstoff-Batterien und bildete in den letzten Jahren einen Kern in Freunbergers Forschung. In den renommierten Journalen Nature Communications und Angewandte Chemie zeigt der Grazer Forscher erstmals Wege, um die negativen Auswirkungen von Singulett-Sauerstoff zu minimieren. ■

## doc.funds für CATALOX

Das Projekt CATALOX (CATalytic mechanisms and AppLications of Oxidoreductases) erhält eine Finanzierung aus dem begehrten doc.funds-Programm des FWF. Damit fördert der Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung exzellente Doktoratsausbildungen. CATALOX bietet zehn Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern die Gelegenheit, in der Doctoral School of Molecular Biosciences and Biotechnology im Rahmen von NAWI Graz spannende Forschungsthemen zur Biokatalyse und Enzym Engineering zu bearbeiten. Oxidoreduktasen sind die größte Klasse an Enzymen. Aufgrund ihrer oftmals hohen Selektivität und der milden Reaktionsbedingungen haben sie ein herausragendes Potenzial zur Entwicklung umweltfreundlicher biotechnologischer Prozesse. Koordiniert wird das Projekt von Robert Kourist, dem Leiter des TU Graz-Instituts für Molekulare Biotechnologie. ■

800 Quadratmeter Innovation  
 starten hier: Im Eingangsbereich des  
 Labors für Innovation.



Ausgestattet mit modernsten digitalen  
 Fertigungstechnologien und Geräten zur Herstellung  
 von Prototypen und innovativen Produktdesigns, bietet das  
 Labor für Innovation alles, was das Maker-Herz begehrt.  
 Von hochmodernen 3D-Druckanlagen für FDM-, STL- und  
 CFF-Verfahren über CNC 4- und CNC 3-Achsfräsmaschinen  
 bis zu Geräten zum Lasercutten und Lasergravieren, zum  
 Wasserstrahlschneiden, Sandstrahlen, Leiterplattendrucken  
 oder Vencilcutten. Hier treffen sich Studierende und  
 Forschende disziplinenübergreifend ebenso wie Start-ups,  
 KMUs und etablierte Industrieunternehmen zur gemeinsamen  
 Innovationsarbeit. Auch die Öffentlichkeit ist im Labor  
 für Innovation willkommen: Jeden Donnerstagnachmittag  
 können ambitionierte Maker an der TU Graz  
 ihre Ideen und Designs realisieren.



Meetingräume und Büros  
 bieten Platz zum Planen und Besprechen.



Das DesignLab ist eines der  
 Herzstücke des Labors für Innovation:  
 ein multifunktionaler Raum  
 mit 4K-LED-Wall und vielem mehr.



Das großzügige FabLab ist das  
 Zentrum des Labors für Innovation –  
 ausgestattet mit allem,  
 was das Maker-Herz begehrt.

Das Labor für Innovation ist eine Initiative  
 des Instituts für Innovation und Industrie  
 Management unter der Leitung von Christian  
 Ramsauer und in der Inffeldgasse 11 angesiedelt.

**INNOVATION**



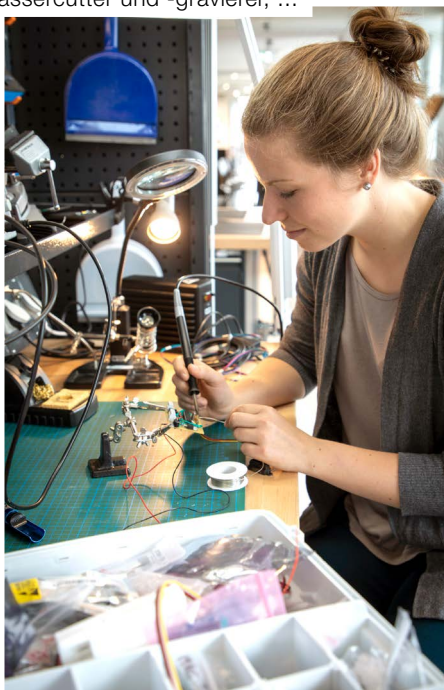
# Was das Maker-**Herz** begehrt: Labor für Innovation



Eine großzügige Begegnungszone  
macht gemeinsame Pausen produktiv.

Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

Hochmoderne 3D-Druckanlagen,  
CNC 4- und -3-Achsräsmaschinen,  
Lassercutter und -gravierer, ...



... Sandstrahler,  
Wasserstrahlschneider,  
Leiterplattendrucker,  
Venylcutter ...



... und viele weitere hochmoderne  
Fertigungsgeräte warten im Labor für Innovation  
auf Nutzerinnen und Nutzer.



## Der Reiz des Abstrakten

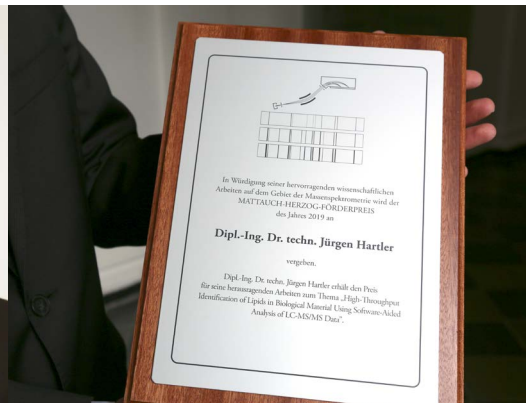
Zu seinem Hobby, dem Schwimmen, kommt Jürgen Hartler momentan kaum, dabei hat er an der University of California in San Diego, wo er seine Forschungen an der Massenspektrometrie von Lipiden vertieft, das Meer quasi vor der Tür.

Werner Schandor



Jürgen Hartler forscht zwischen Graz und Kalifornien.

Bildquelle: Baustädter – TU Graz



„Bisher hatte ich noch nicht so viel Zeit für den Strand“, erzählt der Bioinformatiker, der seit Oktober 2018 ein akademisches Jahr am Department of Pharmacology an der Universität von Kalifornien verbringt. Warum Kalifornien? – „Weil die pharmakologische Fakultät an der Universität von Kalifornien San Diego in der Lipid-Forschung eine ganz große Nummer ist“, sagt Hartler. Der gebürtige Südburgenländer ist Visiting Scholar am Ed Dennis Lab, dem Entstehungsort der Lipid Maps. „Hier wurde die Kategorisierung der Lipide durchgeführt. Das Lab hat sehr gute Verbindungen zur Pharmaindustrie und Medizin, und es ist an sehr großen Studien beteiligt.“

Dieses Netzwerk ist vorteilhaft für einen Forscher wie Hartler, der zur Identifizierung der Lipide selbst schon einiges beigetragen hat. Für die Entwicklung einer computergestützten Identifizierung von Lipiden mittels Massenspektrometrie (MS) wurde der Forscher der TU Graz im Frühjahr 2019 mit dem renommierten Mattauch-Herzog-Förderpreis der Deutschen Gesellschaft für Massenspektrometrie ausgezeichnet.

### 100.000 MÖGLICHKEITEN

Schätzungen zufolge gibt es mehr als 100.000 verschiedene Lipidspezies, die sich grob in acht Kategorien und strukturierter in Klassen einteilen lassen. Die landläufig bekanntesten Lipide sind Fettsäuren, Fette und fette Öle, Wachse und Isoprenoide, zu denen unter anderem Steroide zählen. Manche Lipide sind membranbildend und viele Spezies haben Funktionen

in den Membranen. Lipide sind sowohl für die Medizin und Pharmazie als auch für die Ernährungswissenschaft von hohem Interesse. Die Forschung interessiert sich zum Beispiel für ihre Rolle bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen und bei Alzheimer. Aber auch die Lebensmitteltechnik ist bei der Analyse von Speiseölen auf die Ergebnisse der Lipidforschung angewiesen.

### VOM DATENRAUSCHEN ZUR VERLÄSSLICHKEIT

Dass es so viele verschiedene Lipide gibt und dass sich diese bisher der automatisierten Bestimmung weitgehend entzogen haben, hat den Forscherinstinkt von Jürgen Hartler befeuert. „Sehr viele Leute haben den Lipid-Sektor gemieden, weil die Datenanalyse sehr komplex und zeitaufwendig ist“, erzählt er. „Als ich angefangen habe, mich mit dem Thema zu beschäftigen, lief die Bestimmung der MS-Daten zu den Lipiden weitgehend noch manuell ab, weil die Analyseprogramme nicht wirklich zuverlässig waren.“

Wo bisherige Auswertungsmethoden sehr oft hauptsächlich Datenrauschen oder falsche Zuweisungen nach der Analyse im Massenspektrometer produzierten, erlaubt das von Jürgen Hartler und seinem Team an der TU Graz entwickelte Programm erstmals eine datengestützte Lipid-Bestimmung mit hoher Verlässlichkeit. Hartler nutzt dafür spezifische Lipid-Signaltbilder der Massenspektrometrie (MS<sup>1</sup>) sowie der Tandem-Massenspektrometrie (MS/MS bzw. MS<sup>2</sup>), bei der die Proben im Spektrometer zunächst auf molekularer Ebene getrennt werden und dann Fragmente weitere Aufschlüsse über ihren Aufbau geben.

### LIPID DATA ANALYZER SOFTWARE

Die von Hartlers Team entwickelte Methode der MS<sup>1</sup>- und MS<sup>2</sup>-Datenanalyse bietet nicht nur die beste Zuverlässigkeit in der Lipid-Bestimmung, sie kann zudem auch problemlos auf weitere Lipid-Klassen erweitert werden. Die aus den Forschungen hervorgegangene Lipid-Data-Analyzer-Software LDA ist außerdem sehr praxisorientiert: Sie lässt sich ohne langwierige Anpassungen mit sehr vielen am Markt befindlichen Massenspektrometrie-Systemen koppeln. „Damit man nicht die Software jedes Mal umprogrammieren muss, haben wir einen flexiblen Ansatz gewählt“, sagt Hartler. „Und es gab die Prämisse, dass der Ansatz für die Massenspektrometriker/innen verständlich sein soll, damit diese die Auswertung von Lipid-Spektren möglichst einfach ihren Bedürfnissen anpassen können.“

Jürgen Hartler ist über Umwege zur Lipid-Bestimmung gekommen. Er hat an der TU Graz das Studium Elektrotechnik mit Schwerpunkt Biomedizinische Technik absolviert. Im Zuge seiner Dissertation am Institut für Genomik und Bioinformatik beschäftigte er sich mit der MS-Analyse von Proteinen. Seinen bisherigen Forschungen gemeinsam ist der Reiz des Abstrakten, der Jürgen Hartler fasziniert. Und wohl auch der Reiz des Komplexen, denn als nächstes Forschungsthema hat sich der Bioinformatiker die Sphingolipide ausgesucht, die in der Zellmembran etwa von Nervenzellen vorkommen. „Bei denen ist das Level der Komplexität noch einmal höher“, sagt der Forscher. Hobbys wie Schwimmen werden wohl noch länger auf ihn warten müssen. ■

## Marcus Wallenberg-Preis

Für seine bahnbrechende Forschung im Bereich Brettspertholz erhält **Gerhard Schickhofer**, Leiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, den Marcus Wallenberg-Preis 2019. Die Auszeichnung ist mit rund 200.000 Euro dotiert.

## Josef Krainer-Preis

Sie forschen in der Steiermark, haben in Ihrem Fachbereich bereits Außergewöhnliches geleistet und sind Träger/innen steirischer Landespreise. Am 18. März wurde der Experimentalphysiker **Markus Koch** mit dem Josef Krainer-Würdigungspreis ausgezeichnet. Die Arbeiten von **Vanja Subotić** auf dem Gebiet der Wärmetechnik würdigt ein Josef Krainer-Förderungspreis.

## Mattauch-Herzog-Förderpreis

Die Deutsche Gesellschaft für Massenspektrometrie ehrte **Jürgen Hartler** vom TU Graz-Institut für Computational Biotechnology mit dem Mattauch-Herzog-Förderpreis 2019. Er erhält den Preis für seine „herausragenden Arbeiten“ zum Thema „High-Throughput Identification of Lipids in Biological Material Using Software-Aided Analysis of LC-MS/MS Data“.

## Innovationspreis

Beim Kongress der International Commission on Large Dams wurde das Forschungsprojekt eines Teams rund um **Franz Georg Piki** vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft mit dem internationalen Innovationspreis ausgezeichnet.

## Erwin-Wenzl-Preis

**Peter Gangl** vom Institut für Angewandte Mathematik erhielt für seine Dissertation den Erwin-Wenzl-Preis des Landes Oberösterreich.

## Most Influential Scholar

Die AMiner Most Influential Scholar List führt Vizerektor **Horst Bischof** (Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen) auf Platz 30 der weltweit meistzitierten Forschenden auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz an.

Vom MVA (Machine Vision Applications) Conference Committee wurde er außerdem mit dem „Most Influential Paper over the Decade Award“ für das Paper „Eye blink based fatigue detection for prevention of Computer Vision Syndrome“ aus dem Jahr 2009 ausgezeichnet (gemeinsam mit **Matjaž Divjak**, heute Universität Maribor).

## Österreichischer Grundbaupreis

Für seine Dissertation „Einflüsse von Wasserspiegelschwankungen auf das Verhalten einer langsamen Massenbewegung“ wurde **Georg Ausweger** mit dem Österreichischen Grundbaupreis ausgezeichnet.

## Sonderpreis „Verena“

Das Projekt Cera Charge TM wurde beim Staatspreis Innovation mit dem Sonderpreis Verena ausgezeichnet. Im Projekt entwickelte das Unternehmen TDK Electronics gemeinsam mit der TU Graz einen brand- und explosions-sicheren Li-Ionen-Akku.

## ConTEL 2019

Die 15. International Conference on Telecommunications ConTEL 2019 findet vom 3. bis 5. Juli am Institut für Hochfrequenztechnik am Campus Infeldgasse der TU Graz statt. Alle Informationen finden Sie online.

## Interspeech 2019

Vom 15. bis 19. September findet die Interspeech, die jährliche Konferenz der International Speech Communication Association, zum Thema „Crossroads of Speech and Language“ im Grazer Messekongress statt. Gastgeber in Graz sind Gernot Kubin vom Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation der TU Graz und Zdravko Kacic von der Universität Maribor.

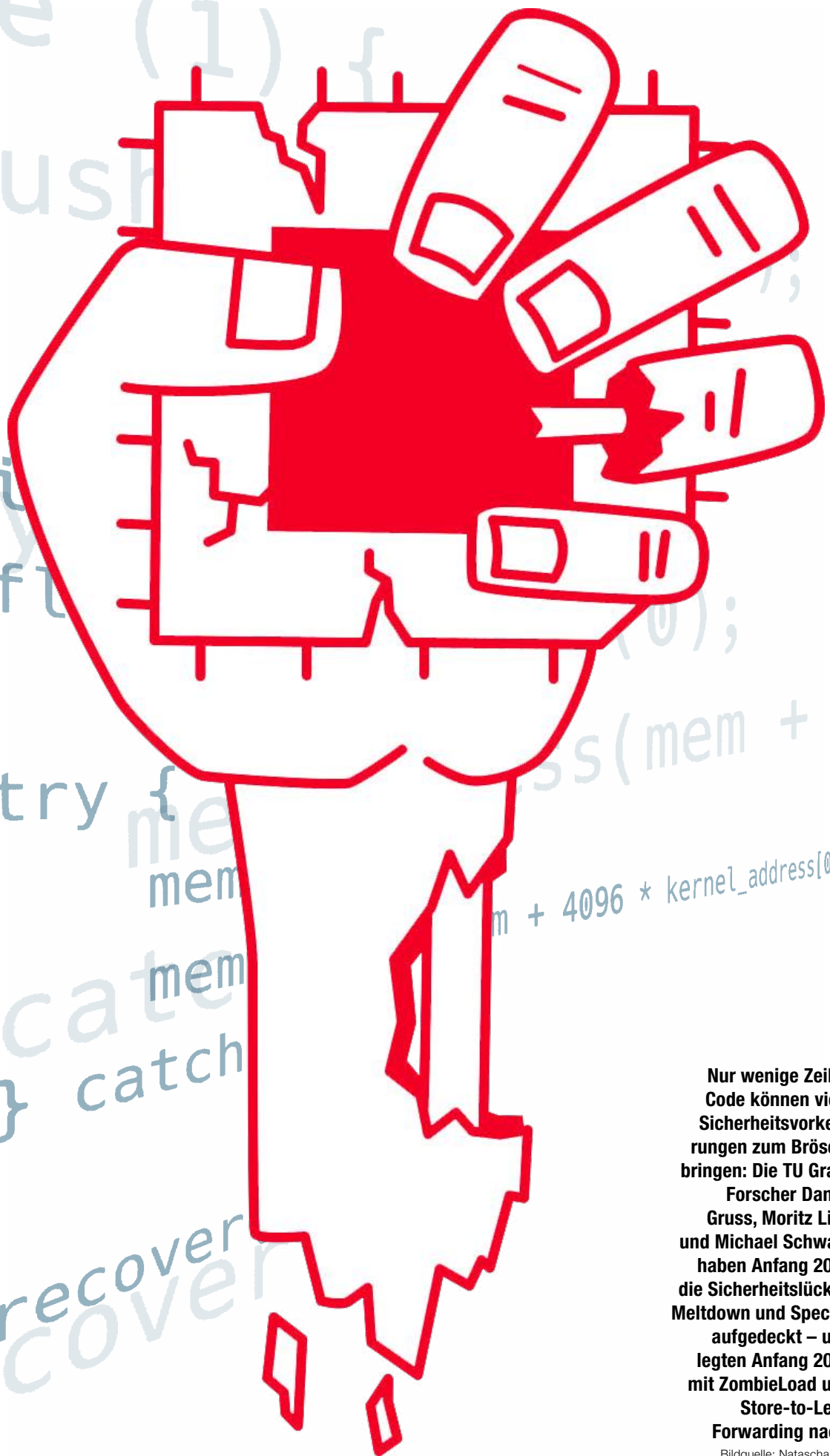
## SBE19

Die SBE19 – Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 – widmet sich dem Thema „Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment“. Sie findet vom 11. bis 14. September an der TU Graz statt und wird von der TU Graz gemeinsam mit der ETH Zürich, der BOKU Wien und dem Karlsruher Institut für Technologie veranstaltet.

## Brain-Computer Interface Conference 2019

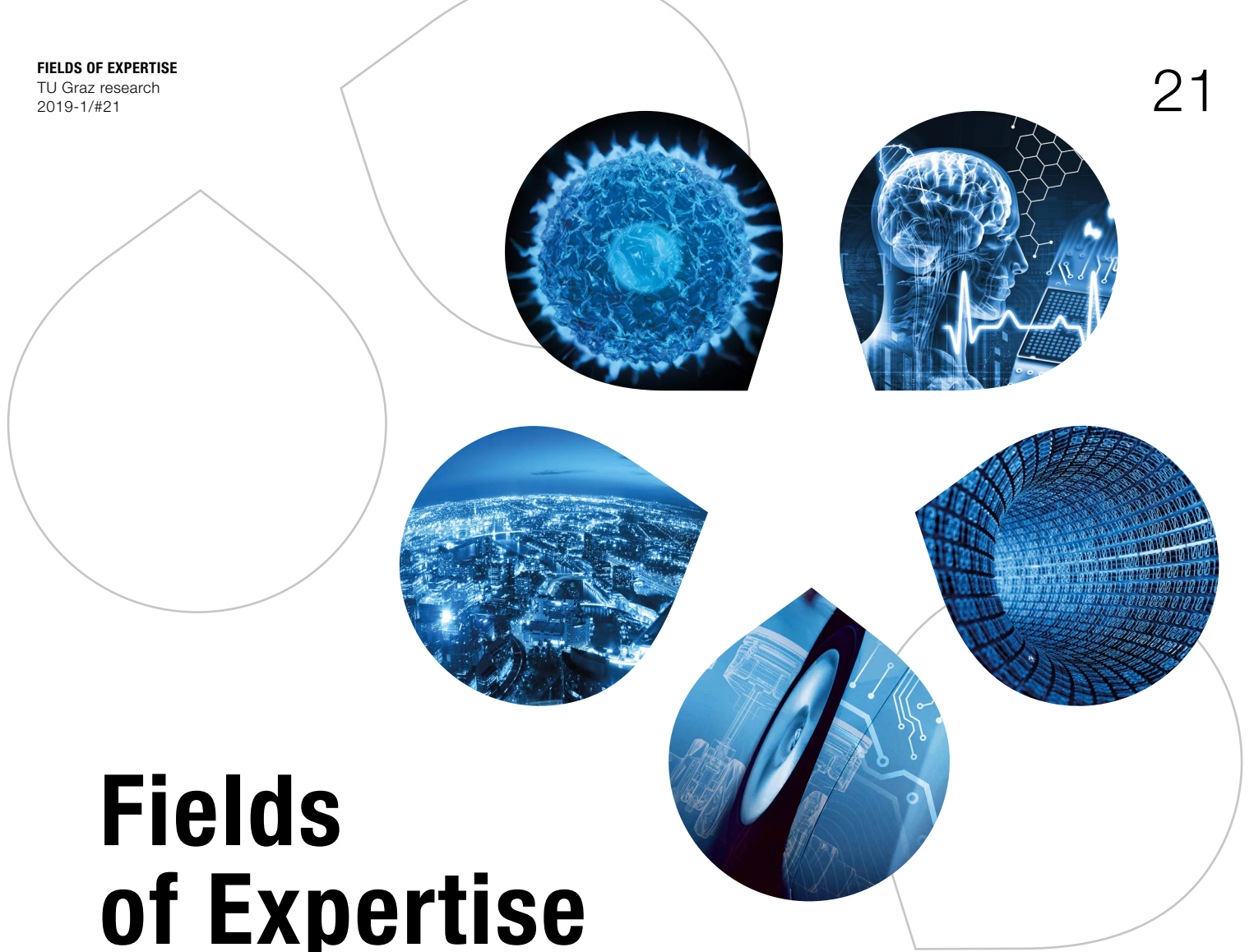
Vom 16. bis 20. September organisiert das Institut für Neurotechnologie die Graz Brain-Computer Interface Conference 2019. Im Zuge der Veranstaltung wird auch die CYBATHLON BCI Series 2019 stattfinden. Nähere Informationen lesen Sie im Beitrag auf den Seiten 12 und 13.





Nur wenige Zeilen Code können viele Sicherheitsvorkehrungen zum Bröseln bringen: Die TU Graz-Forscher Daniel Gruss, Moritz Lipp und Michael Schwarz haben Anfang 2018 die Sicherheitslücken Meltdown und Spectre aufgedeckt – und legten Anfang 2019 mit ZombieLoad und Store-to-Leak Forwarding nach.

Bildquelle: Natascha Eibl  
(<https://vividfox.me>)



# Fields of Expertise

TU Graz's research activities are grouped into five strategic, forward-looking Fields of Expertise. Researchers engage in interdisciplinary cooperation and benefit from different approaches and methods, shared resources and international exchange.

## ● Advanced Materials Science

Editorial: Peter Hadley

### **Radiation Damage in Microelectronics**

Alicja Michalowska-Forsyth,  
Varvara Bezhenova

## ● Human & Biotechnology

Editorial: Gernot Müller-Putz

### **Lighting Up the Brain: LOGOS-TBI Project**

Theresa Rienmüller

## ● Information, Communication & Computing

Editorial: Kay Uwe Römer

### **Stochastic Optimisation in Financial and Insurance Mathematics**

Stefan Thonhauser

## ● Mobility & Production

Editorial: Helmut Eichlseder

### **Fuel Cells – Materials and Methods for Prolonging Lifetime**

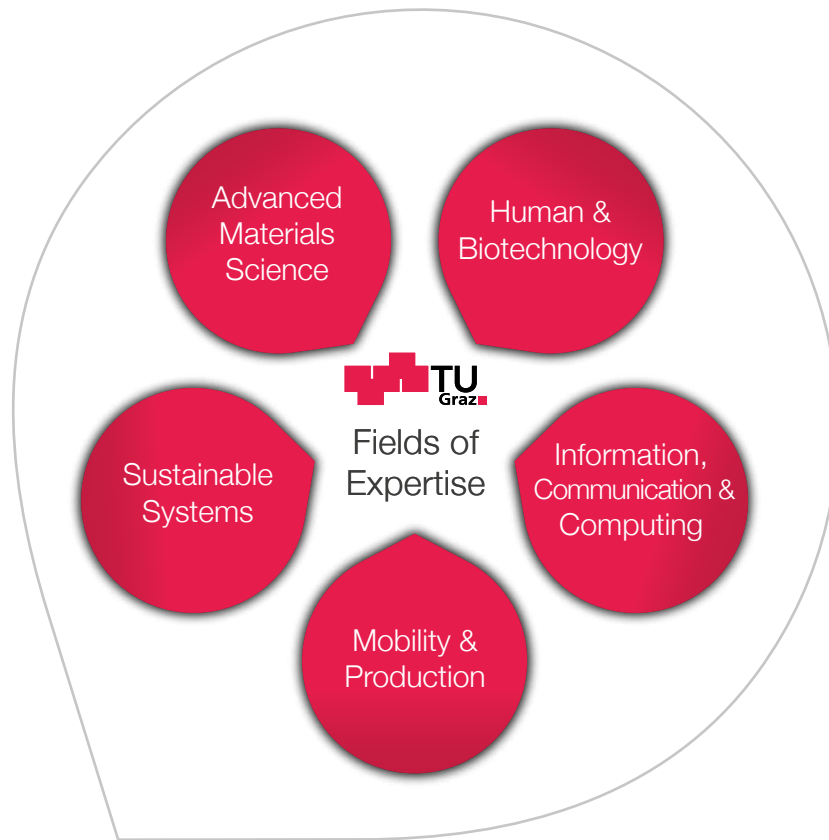
Katharina Kocher,  
Kurt Mayer,  
Bernhard Marius,  
Bernd Cermenek,  
Viktor Hacker,  
Sigrid Wolf

## ● Sustainable Systems

Editorial: Urs Hirschberg

### **Advanced Control for Sustainable Energy Systems**

Markus Göllés,  
Martin Horn



TU Graz has divided its research into five innovative areas: the Fields of Expertise. Researchers in the Fields of Expertise break new ground in basic research. They take part in interdisciplinary cooperation, gain support for outstanding projects and are based in the region as well as part of international networks. They also develop key technologies for industry and commerce, and perform research in the framework of company shareholdings and partnerships.

Source: TU Graz

#### ● **ADVANCED MATERIALS SCIENCE**

Researchers aim to understand the smallest components in the structure and function of new materials, and develop and assemble them in special processes.

#### ● **HUMAN & BIOTECHNOLOGY**

Researchers develop devices and methods for medical applications and therapies, or focus on using enzymes and living microorganisms such as bacteria, fungi and yeast in technical applications.

#### ● **INFORMATION, COMMUNICATION & COMPUTING**

Researchers face challenges prompted by the information age, for example data security and efficient use of the ever-increasing volume of data.

#### ● **MOBILITY & PRODUCTION**

Researchers investigate novel vehicle technologies, new drive systems and more economical product manufacturing processes.

#### ● **SUSTAINABLE SYSTEMS**

Scientists focus on the complex challenges presented by a growing population and increasingly scarce natural resources.





Source: istockphoto.com

## ADVANCED MATERIALS SCIENCE

Fields of Expertise TU Graz



**Peter Hadley,**  
**Advanced Materials Science**

Source: Lunghammer – TU Graz

Our understanding of solids is largely based on studies of ordered materials where the atoms are arranged in straight rows. However, many engineering materials are composites with a high degree of disorder and sometimes a fractal or hierarchical structure. To be able to examine complex materials like this, a consortium of nine institutes from four TU Graz faculties and three institutes from the University of Graz and Med Uni Graz

joined together to acquire a  $\mu$ CT instrument with the Austrian Research Promotion Agency (FFG) funding, awarded under its recent infrastructure call. This instrument uses X-rays to determine the microscopic structure and composition of a material. The machine uses a combination of X-ray imaging and X-ray diffraction. X-ray imaging involves measuring the intensity of X-rays that pass through a sample. This produces images like the ones conventionally used in hospitals. By taking X-ray images from a number of different angles, it is possible to make a 3D reconstruction of an object. This method is called computed tomography (CT). A  $\mu$ CT performs computed tomography with a spatial resolution in excess of one micron. X-ray diffraction can be used to determine which atoms are present in a crystal, the arrangement of the atoms, and the distances between the atoms. For instance, the double helix structure of DNA was first determined

by crystallising DNA and measuring it by X-ray diffraction. Conventionally, X-ray diffraction has been performed on single crystal samples but the latest  $\mu$ CT devices can focus the X-rays on a small region, and determine how the atoms in that region are arranged. A similar measurement is sometimes performed using an intensely focused X-ray nanobeam in a synchrotron. Once the 3D structure of a material has been determined by  $\mu$ CT, a lot of computational work is still necessary to segment the different components of the material and determine how they are connected together. For instance, a porous material might consist largely of parallel channels or the channels might be twisted with many dead ends. The  $\mu$ CT will be maintained by a senior scientist, who will assist the institutes with programming data analysis routines and travel with them to synchrotrons when additional experiments using a nanobeam are necessary.

**Alicja Michalowska-Forsyth,**  
**Varvara Bezhenova:**

## Radiation Damage in Microelectronics

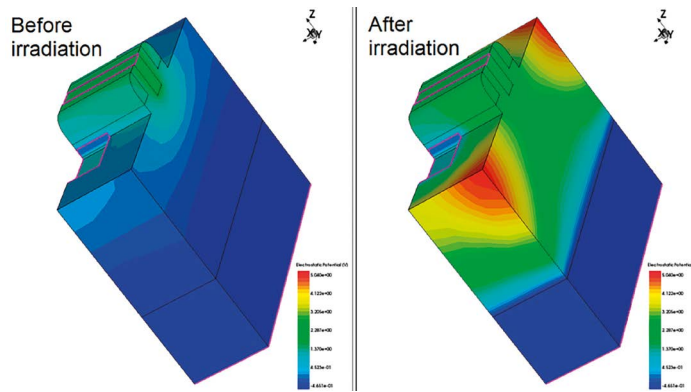
Reliability is a wide-ranging subject in microelectronics, covering responses to different kinds of stress as well as measures to increase devices' tolerance against them. This includes ionising radiation stress, which affects device characteristics, leading to circuit degradation. Investigating such problems, as well as irradiation campaigns with custom integrated circuits (ICs) are the day-to-day focus of the team at the Institute of Electronics.

Analog IC design is an integral part of microelectronics. Designers have a host of options when it comes to meeting specifications, they need to make decisions on trade-offs between different parameters, and also need to comply with strict requirements in terms of precision, fast

timing and low noise. It becomes even more challenging when reliability issues, such as ionising radiation stress, come into play.

It is this combination that makes research into radiation-hard integrated circuit design so exciting. Ionising ra-

diation changes the electrical characteristics of microelectronic devices. As a consequence, instruments for medical and industrial X-ray imaging, space or high-energy physics have to be qualified and potentially hardened against ionising radiation. >



**Figure 1: Simulation results: electrostatic potential of an N-type MOS transistor before and after irradiation, simulated with Sentaurus TCAD.**

Source: TU Graz/Institute of Electronics

## ORIGINS OF IONISATION DAMAGE

Exposing ICs to X-rays or gamma rays causes ionisation, resulting in randomly generated free charge carriers across the structure. Every IC consists of a bulk semiconductor and interleaved layers of metals and insulators. Free charge carriers in the conducting layers can be easily collected. Unless it is generated by energetic particles, the resulting current is negligibly small. In the case of insulator layers, an X-ray photon leaves behind a number of electron-hole pairs. Holes in particular have extremely low mobility, but electrons can escape the interaction region and move towards conductive layers more easily. Meanwhile, holes remain as net positive charge trapped in the insulator, producing a parasitic electric field. This effect is particularly undesirable when the insulator region is adjacent to a device, for example the gate oxide of a metal-oxide-semiconductor (MOS) transistor. Even a low radiation flux can

accumulate to a significant net charge after receiving a certain dose. Parasitic electric fields in the gate oxide cause the threshold voltage of an MOS transistor to shift (see Figure 1), while leakage current also increases and the intrinsic gain degrades; these are just a few of the possible effects.

In modern complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) ICs, the gate oxide, measured by the number of atomic layers, is so thin that the trapped oxide charge is neutralised by means of the tunnelling effect. In these modern processes, transistors are separated from each other by a much thicker insulator – this is known as shallow trench isolation (STI). After exposure to X-rays the STI is rich in trapped charge that has a strong influence on a device's characteristics. For example, a parasitic transistor is formed along the gate edge (see Figure 2), leading to off-state leakage currents.

With MOS transistors, one way to counteract this problem is to use edgeless or enclosed layouts, where the STI edge only sees the outer terminal, meaning there is no potential path for the leakage current. However, this solution cannot be used with narrow transistors; it also does not comply with the design rules of some semiconductor foundries, in particular in sub-65 nm nodes. Taking these factors into account, as well as requirements for devices other than MOS, new solutions for device geometry and the circuit topology level are urgently required to raise radiation tolerance limits.

## COTOMICS AND ROBUSTIC PROJECTS

Our group at the Institute of Electronics is currently involved in several projects dealing with the radiation hardness of ICs. The precursor was the recently completed Cotomics project, which evaluated radiation tolerance and explored hardening strategies for a broad variety of devices in



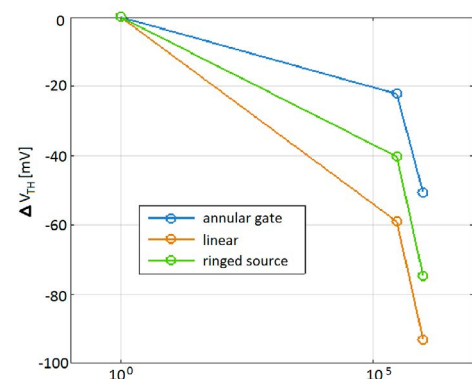
**Alicja Michalowska-Forsyth** is a postdoctoral researcher at the Institute of Electronics, specialising in analog integrated circuit design with a focus on harsh environments.

Source: Baustädter – TU Graz



**Varvara Bezhenova** is a university project assistant at the Institute of Electronics. Her research focuses are the overall effects of ionising doses on integrated circuits, radiation hardness of integrated circuits and analogue IC design.

Source: Baustädter – TU Graz



**Figure 2: Experimental results: absolute threshold voltage shift of N-type MOS transistors with different layouts and same equivalent channel dimensions as a function of the total ionising dose (TID).**

Source: TU Graz/Institute of Electronics

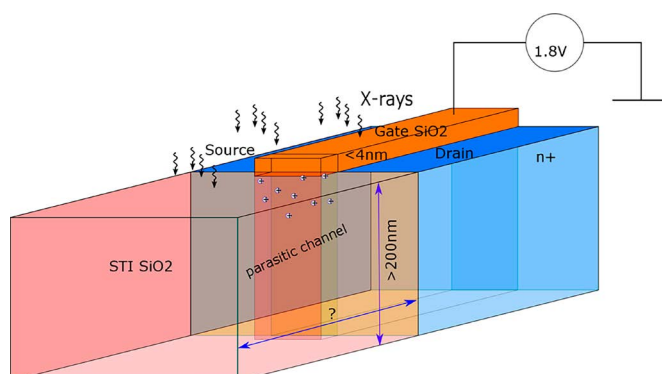
the 180 nm CMOS production process. It targeted reliability improvements in next-generation computed tomography. One of our current projects, RobustIC, is investigating the combined impact of ionising radiation, overvoltage and temperature effects, looking into new custom devices as well as circuit solutions. As a consequence of these two projects, in the last four years we have designed four integrated circuits with a huge number of devices and test circuits for radiation tolerance characterisation. So far, our results have been based on seven irradiation campaigns using a 10-200 keV X-ray tube beam (see Figure 3). For each experiment, the total ionising dose received by the circuit had to be determined at each characterisation step. We were able to calibrate the dose between three different facilities using several dosimetry techniques, in collaboration with experts from MedAustron, Seibersdorf Laboratories, CERN-EP and the Institute of Solid State Physics.

#### INITIAL FUNDING GRANT

Scaled CMOS processes below 65 nm are attractive for a range of sensing, signal processing and computing applications, but the effects of radiation on individual devices are still not fully understood. In 2018 our group received an initial funding grant from the Advanced Materials

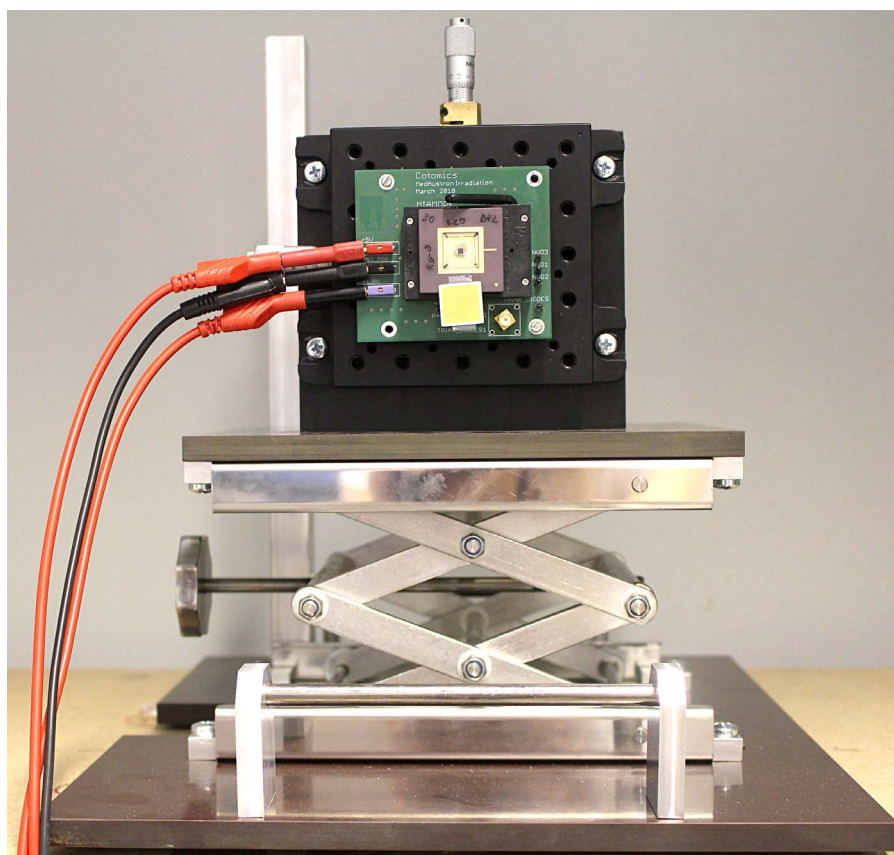
Science Field of Expertise to kick off research into radiation tolerance and hardening techniques in 28 nm and 40 nm technology nodes. The new SIRENS project looks beyond medical technolo-

gies to the exciting fields of space and high-energy physics instruments, where the amount of energy absorbed over a device's lifetime as a result of radiation can reach previously unexplored levels. ●



**Figure 3: Formation of a radiation-induced parasitic channel by charge trapped in STI along the gate of a standard linear MOS transistor (N-type).**

Source: TU Graz/  
Institute of Electronics



**Figure 4: Exposed silicon die of the Mitigation and Modeling of Radiation Effects (MiAMoRE) IC ready for irradiation.**

Source: TU Graz/Institute of Electronics





## HUMAN & BIOTECHNOLOGY

Fields of Expertise TU Graz

Source: fotolia.com



**Gernot Müller-Putz,**  
**Human & Biotechnology**

Source: Lunghammer – TU Graz

We would like to take a brief look back at the third Human & Biotechnology FoE Day, which took place last autumn. The aim was to give new and existing companies from the areas of research belonging to our Field of Expertise the opportunity to speak. Representatives of successful businesses talked about their careers and their companies' portfolios. We heard from Biotenz, CNSystems, bisy e.U., Tyromotion, Innophore,

CNA Diagnostics, Microinnova Engineering GmbH, g.tec, and VALIDOGEN. The range of topics covered everything from basic research to marketable products.

The next FoE Day will take place on 28 October and will once again be dedicated to science.

The new performance period will create fresh opportunities for the members of the Fields of Expertise: in addition to the tried and tested Initial Funding Programme (the 11th call for proposals is already underway), there are also grants for research and teaching infrastructure.

The professorship in Bioinformatics is currently being negotiated with the Rectorate. The goal is to establish a new institute in the field of biomedical engineering. A professorship in compu-

tational medicine is also in the pipeline and will be announced in due course. And a professorship in Biooptical Imaging and Spectroscopy is set to further strengthen the entire department.

The Austrian Science Fund (FWF) recently approved a doctoral programme entitled CATALOX - Catalytic Mechanisms and Applications of Oxidoreductases, which is being coordinated by Robert Kourist from the Institute of Molecular Biotechnology. There was strong competition for funding, with only six successful applications in the whole of Austria. The CATALOX research and training programme for doctoral candidates is scheduled to start in October 2019 and will run for four years. Ten project leaders, seven of them at TU Graz, are participating in the programme. CATALOX is a NAWI Graz project involving three other project leaders from the University of Graz.

**Theresa Rienmüller:**

## Lighting Up the Brain: LOGOS-TBI Project

Jointly funded by the Austrian Science Fund (FWF) and the Austrian Academy of Sciences (ÖAW) over the next four years, the LOGOS-TBI project was launched at the Medical University of Graz and TU Graz in May 2019. In this project, neuronal cells will be stimulated using light-activated organic semiconductor implants. Electrical brain stimulation is aimed at promoting neuronal network formation and enhancing regeneration and neuroprotection after traumatic brain injury (TBI). This interdisciplinary research project brings together specialists in neuroscience (M. Ücal), structural biology (K. Kornmüller), electrophysiology (S. Scherübel) and biomedical engineering (T. Rienmüller).

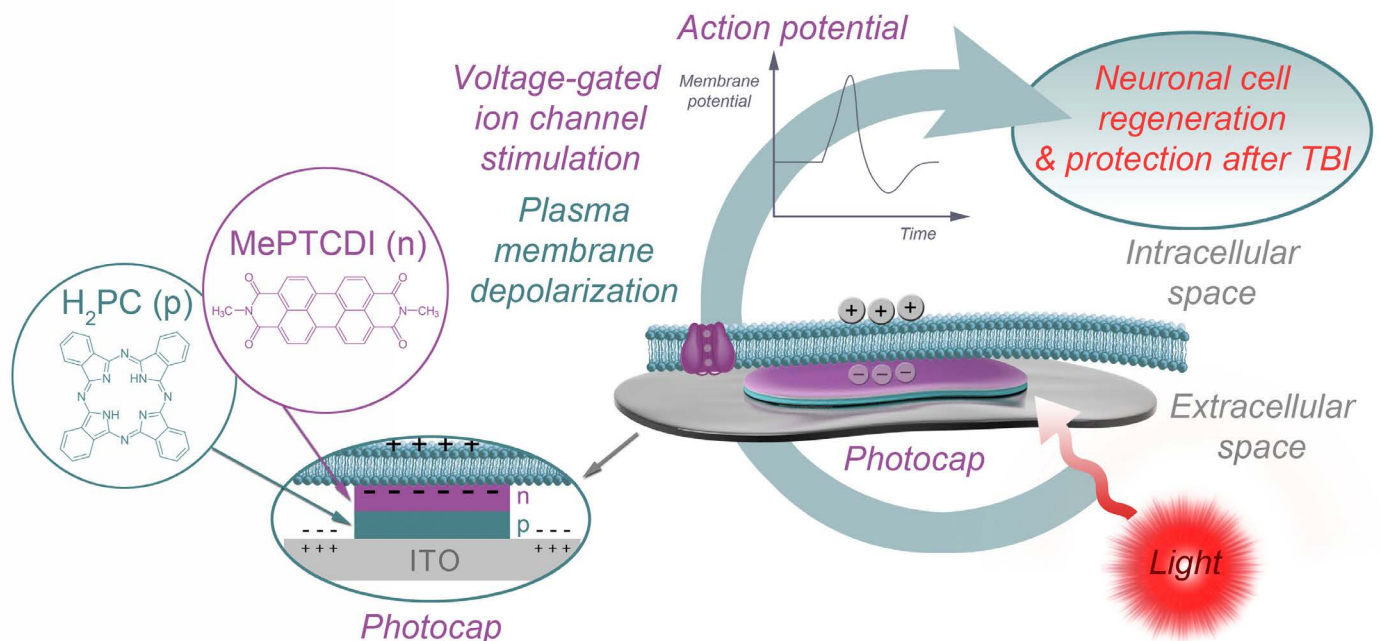


**Theresa Rienmüller**  
**is deputy head of the Institute of Health Care Engineering**  
**with European Testing Center of Medical Devices.**  
**She and her working group focus on computational and**  
**experimental physiology.**

Source: Jakob Leiner – TU Graz/HCE

### TRAUMATIC BRAIN INJURY (TBI)

TBI is a major cause of death and disability, particularly among young adults. The costs of patient care place a burden on both families and the public health system. Moreover, years of disability leave TBI survivors dependent on assistance



**Figure 1: The basic idea behind stimulation using photocaps.**

Source: Karin Kornmüller

for everyday activities. TBI is associated with pathologies at the molecular, physiological and structural level, which impact neuronal circuitry, communication and synchronisation within neuronal networks. Glial scar tissue forms a physical barrier that prevents axonal sprouting and the rebuilding of lost synaptic connections within the injured area. Persistent inflammation continues to cause chronic and progressive neurodegeneration years after TBI. However, with the exception of physiotherapy, there are currently no long-lasting treatments that mitigate the functional deficits resulting from TBI.

### NEUROSTIMULATION AS A TREATMENT FOR DISABILITY

Recent advances in the understanding of neural connectivity have turned the focus on exogenous stimulation as a means to induce plasticity and neuromodulation for functional recovery. For example, transcranial magnetic stimulation (TMS) was introduced to increase overall excitability.

But the method's main drawback is its simultaneous activation of many different neuronal populations and, in turn, modulation of both facilitatory and inhibitory connections. In contrast, direct cortical stimulation (DCS) enables more precise stimulation by directly accessing the target structures. The disadvantages of DCS include extensive wiring and the implantation of electrodes with limited biocompatibility into a patient's body. Light-driven neural activation, an emerging field with a broad range of applications – from functional assessment of neuronal systems to therapy aimed at addressing neural impairments – is seen as a promising alternative approach. Common light-based neural activation methods are founded on genetic and chemical approaches, and on the use of near-infrared (NIR) light. A completely novel concept for minimally invasive neural stimulation based on photoactive surfaces delivers high temporal and spatial resolution without the need for genetic modification.

### ORGANIC PIGMENT PHOTO-CAPACITORS (PHOTOCAPS)

The basic idea behind stimulation using photocaps is shown in Figure 1. The attached part of the cell membrane is separated from the top layer of the photocap by a thin layer of electrolyte, and the free part is in contact with the bath. Upon illumination, the top-layer of the photocap becomes negatively charged, resulting in localised displacement currents across the photocap/electrolyte interface and a profile of extracellular voltage in the area of cell adhesion. As a consequence, the attached plasma membrane is depolarised and voltage-gated ion channels are activated, triggering cellular action potentials. The photocaps recently developed by an international partner of the LOGOS-TBI team (Glowacki et al., Linköping University) are easy to produce, stable and non-toxic, and enable electrical stimulation of neurons with safe light intensities, without the need for external wiring. They can be produced in thicknesses three orders of magnitude >



lower than their silicon-based counterparts. Taken together, these features make photocaps the ideal candidate when it comes to studying mitigation of injury-induced deficits in neural communication by means of neuronal stimulation.

## APPROACH

We hypothesise that stimulation of neuronal cells using light-activated photocaps promotes neuronal network formation and consequently enhances regeneration and neuroprotection after TBI.

**Figure 2: Research is being carried out in an interdisciplinary programme that brings together researchers specialising in neuroscience, structural biology, electrophysiology and biomedical engineering.**

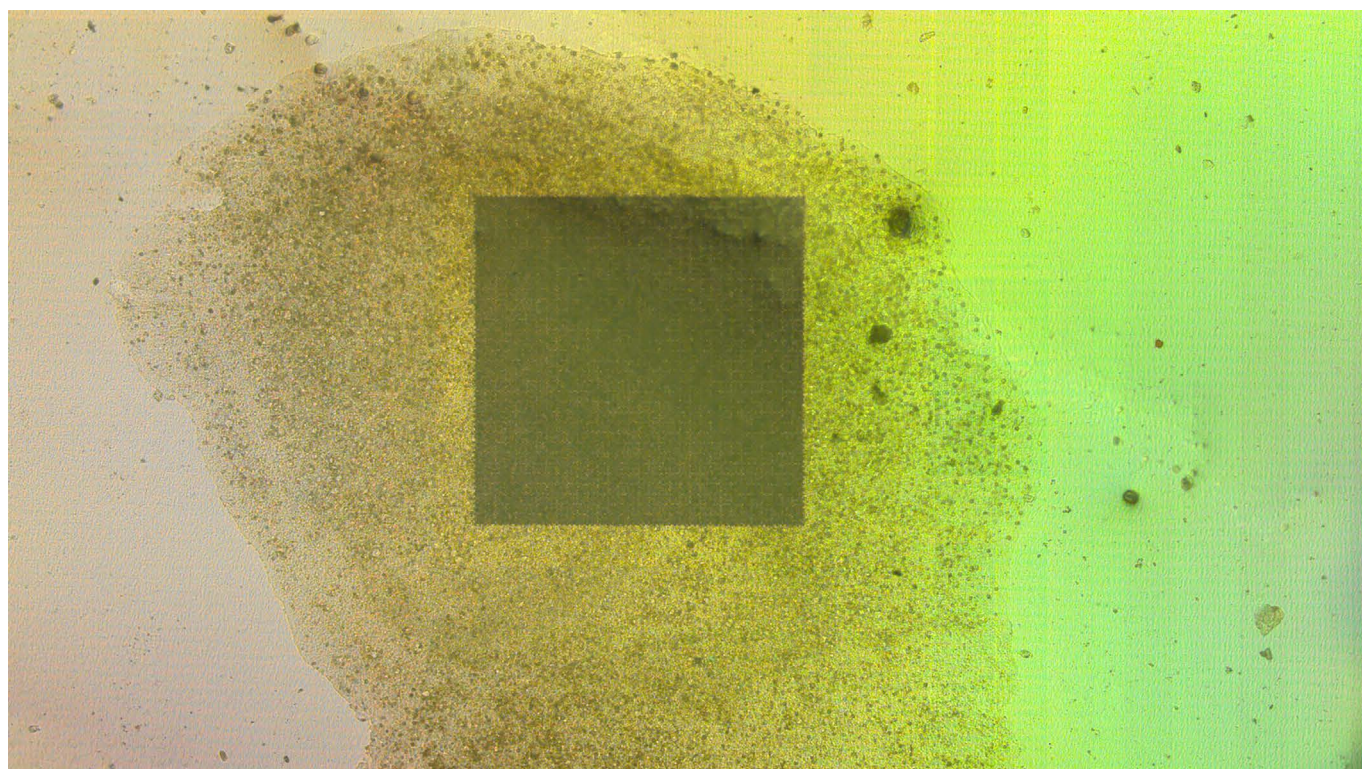
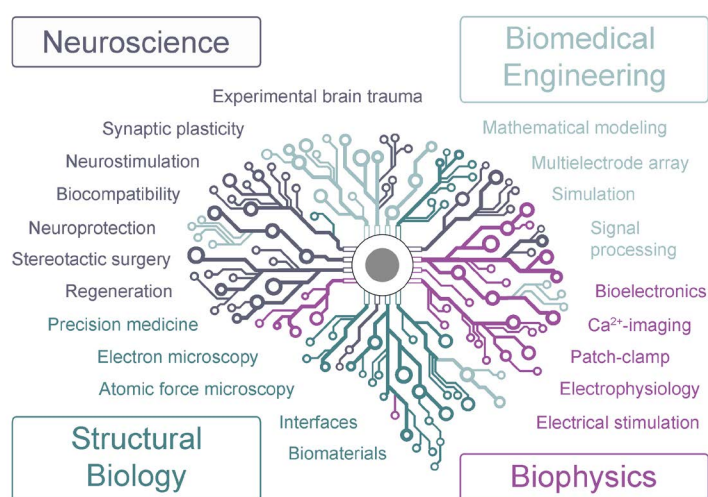
Source: Karin Kornmüller

**Figure 3. A hippocampal slice culture placed on a high resolution multi-electrode array with more than 4,000 recording sites and an interelectrode distance of 32 micrometres.**

Source: TU Graz/HCE

To test this hypothesis, we developed an interdisciplinary research programme that brings together specialists from the fields of neuroscience, structural biology, electrophysiology and biomedical engineering (see Figure 2). Cultured cells (Figure 3 shows a hippocampal slice culture placed

on a multi-electrode array) are an invaluable tool for developing optimal stimulation parameters before shifting attention to healthy and injured brain tissue. We will investigate the optimal time window after TBI in which stimulation yields the most extensive regenerative results. ●







## INFORMATION, COMMUNICATION & COMPUTING

Fields of Expertise TU Graz

Source: istockphoto.com



**Kay Uwe Römer,**  
**Information, Communication &**  
**Computing**

Source: Lunghammer – TU Graz

TU Graz's Information, Communication & Computing Field of Expertise is currently undergoing massive expansion. Silicon Austria Labs, which focuses on electronic-based systems, is establishing its headquarters at TU Graz and will increase its Graz-based staff to 200, and to 500 in Austria overall in the next few years. The new SGS cybersecurity research and certification centre will be established at Campus Inffeldgasse and named Cybersecurity Campus Graz. It will focus on security and the Internet of Things, and eventually employ 400 people. As a result of the new university financing scheme, the base funding of the Faculties of Mathematics, Physics and Geodesy; Computer Science and Biomedical Engineering; and Electrical and Information Engineering will grow by an average of some 15%. This translates into roughly another 100 new ICC research staff. But where will we find the high-quality researchers to fill all these positions? There is already enormous competition for ICC graduates in the Graz area due to the density of high-tech industry here. Demographic trends indicate that student numbers will decrease rather than increase over the next few years, and many universities (including TU Graz) have experienced a decline in numbers in some ICC subjects recently. Due to the intense focus on digitalisation in developed countries, it will also not be easy to attract talent from these countries to Graz. There is certainly a lot of talent in places such as Iran and India; however, there is also a great deal of bureaucracy involved in getting these people to Graz. The formal paperwork required for a PhD student from such countries can easily take between six and ten months to complete, based on my personal experience. The result is that many candidates lose patience and go elsewhere. I would welcome any clever ideas for solving this human resource problem – feel free to drop me an e-mail.

You can read more about ICC in this edition of TU Graz research, which has a fresh new design, in the contribution by Stefan Thonhauser from the Institute of Statistics in which he presents his research on financial and insurance mathematics. I wish you an enjoyable read!

**Stefan Thonhauser:**

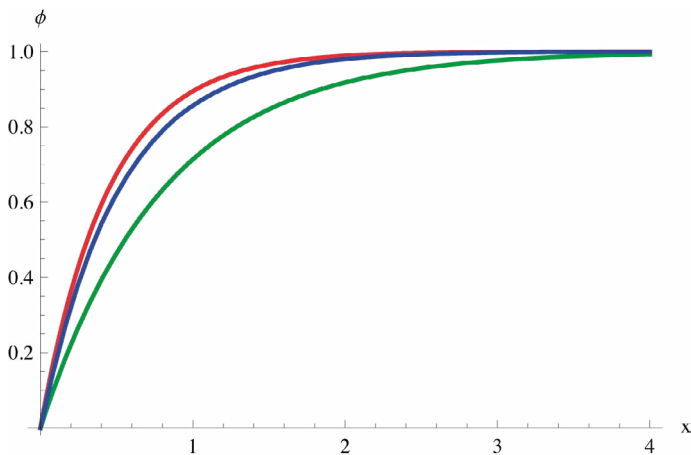
## Stochastic Optimisation in Financial and Insurance Mathematics

Stochastic models are now indispensable for answering practical questions on finance and insurance. Their use needs to be based on a careful model validation process and an awareness of model limitations. In risk management, being able to react to negative trends is essential. Resulting questions can be directly linked to stochastic optimisation problems.

### BACKGROUND

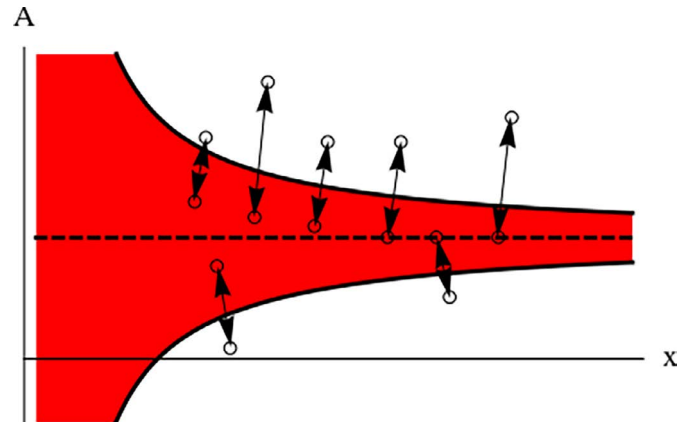
Financial and insurance mathematics is playing a prominent role in current probability theory. Its contributions are twofold: the analysis of practical problems is leading to deep theoretical findings, and results, which had been considered to be purely of a theoretical nature, are also feeding into applications.

In research and the application of research findings, a distinction needs to be drawn between various aspects – or fundamental problems. One group of questions deals with the correct pricing of financial claims. In finance, the notion of a fair price broadly speaking dictates that a financial market should remain free of arbitrage after the introduction of a new product. Trading opportunities which lead to riskless profits should not arise. In insurance, however, the correct price of some newly insured risk should maintain the financial stability of an insurer. >



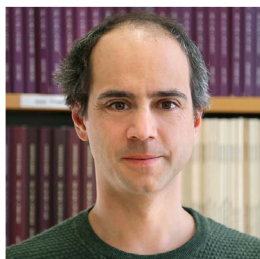
**Figure 1**

Source: Thonhauser



**Figure 2**

Source: Thonhauser



**Stefan Thonhauser**  
is an associate professor  
at the Institute of Statistics.

Source: Baustädter – TU Graz

The second class of problems puts the focus on portfolio and risk management. Typical problems in this context are concerned with the identification of investment strategies which maximise profit measuring functionals, or, conversely, minimisation of risk measures.

One aspect that both types of problem have in common is that underlying objects are modelled by probabilistic quantities. For example, in finance, prices of traded assets such as stocks, currencies or commodities are modelled as stochastic processes. However, in insurance it is crucial to describe claim events which are of a different nature in probabilistic terms.

I will outline two topics that I am currently investigating below.

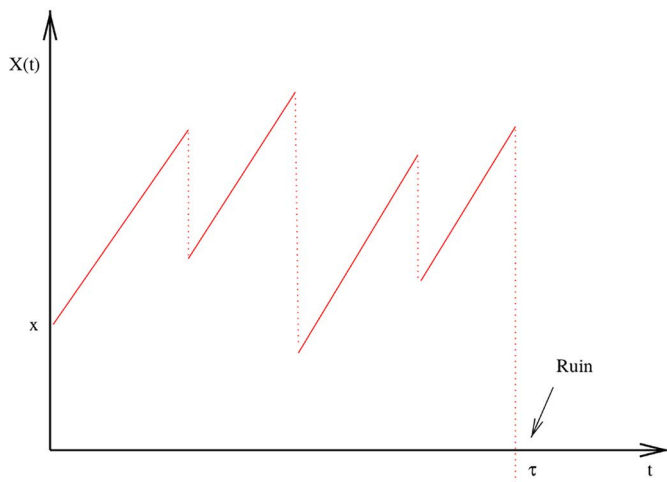
### RISK MINIMISING INVESTMENT

The chosen starting point is the situation of an economic agent (for instance an insurer) who is exposed to some fundamental risk which creates random fluctuations in its income stream. The resultant wealth generated needs to be invested in a financial market which is represented by a risky and a non-risky asset, for the sake of simplicity. The assets generate a low but deterministic and a higher but random interest return. Consequently, the division of wealth is under the control of the agent, who

aims to minimize her shortfall probability, i.e. minimising the probability of having a negative wealth position at one point in time.

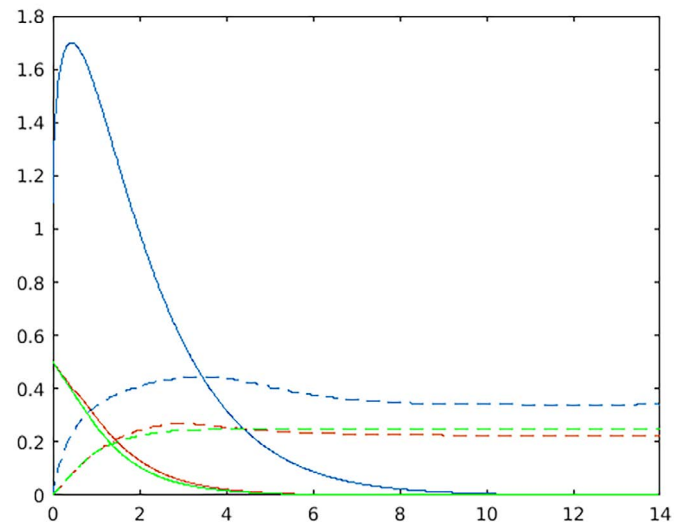
In typical portfolio problems, random fluctuations are modelled as Brownian motions and adaptations of the investment positions can be continuously implemented. To make the investment control more realistic, transaction costs are introduced into the model with the decisive effect that trading activities are limited to a discrete set of points in time. Optimal timing of interventions and optimal post-intervention positions for the two assets therefore need to be determined. The resulting stochastic optimisation problem is categorised as an impulse control problem. Its solution can be linked to a set of quasi-variational inequalities which involve a heat-equation type partial differential equation.

The theoretical and numerical results produced by this problem produce interesting phenomena. Firstly, they show that assuming an optimal additional risky position can be beneficial. This



**Figure 3**

Source: Thonhauser and Preischl



**Figure 4**

Source: Thonhauser and Preischl

is demonstrated in Figure 1 in terms of survival probabilities (one minus the shortfall probability) where the red line corresponds to the case of fictitious continuous adaptations, the blue one to optimal impulses and the green curve to a purely non-risky investment. Secondly, the optimal strategy is a function of the total wealth position 'x' and the risky investment position 'A' (see Figure 2). The ideal continuous investment position is shown by the dotted line for reference. The strategy consists of jumps back to the red area whenever the (wealth/investment) position is too far from the ideal position. Here 'too far' is part of the problem's solution and can be calculated by solving a free boundary value problem.

### OPTIMAL RISK SHARING

This problem deals with the construction of optimal reinsurance models for the minimisation of risk measures. Such models are risk sharing mechanisms between an insurer and a reinsurer – for a deterministic price the reinsurer assumes parts of claim payments.

The underlying model specifies the insurer's surplus process by means of a continuous premium component and a jump process corresponding to claims, in general a piecewise-deterministic Markov process. Figure 3 illustrates a typical sample path. In mathematical terms, reinsurance changes the probability distribution of claims and the control problem focuses on its optimal choice. Fairly general penalty functions for the deficit can be considered as a risk minimisation measure. Solving the resulting problem relies on theoretical arguments which need to be supplemented by numerical results.

Figure 4 shows an iteratively determined numerical solution. The unbroken lines correspond to the expected penalty as a function of the initial surplus (the minimum in green), and the dotted lines represent the optimal risk sharing proportion which is also a function of the surplus. ●





## MOBILITY & PRODUCTION

Fields of Expertise TU Graz

Source: istockphoto.com/fotolia.com



**Helmut Eichlseder,**  
**Mobility & Production**

Source: Lunghammer – TU Graz

One of the key questions relating to the future of mobility is how to determine the right propulsion technology. Since the answer to this question naturally also represents a decisive framework condition for the production of dri-

ve systems, the Mobility & Production Field of Expertise at TU Graz creates a valuable synergy in this regard.

The essential requirements for propulsion technologies are that, instead of fossil fuels, they are based on sustainable energy – in the medium term at least – and that they have no significant negative impact on ambient levels of pollution. In principle, this can be achieved by means of electricity using battery electric drives, hydrogen using fuel cells, as well as e-fuels and renewable fuels using internal combustion engines. Since each of these approaches has advantages and disadvantages, the choice of the right technology depends on the specific application. Within the

Mobility & Production Field of Expertise, research is carried out in all of the areas mentioned above, some of which has already been presented in this journal.

At TU Graz, research into hydrogen and fuel cells is also firmly established in several institutes and in the HyCentA hydrogen research centre. The following article presents the extensive research work carried out at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology on the characterisation and optimisation of fuel cells, and describes recently completed research projects and ongoing dissertations which have a special focus on questions concerning the ageing mechanisms of fuel cells.

**Katharina Kocher, Kurt Mayer,  
Bernhard Marius, Bernd Cermenek,  
Viktor Hacker, Sigrig Wolf:**

## Fuel Cells – Materials and Methods for Prolonging Lifetime

Finding the optimal combination of high performance and durability is a key factor in the realisation of future sustainable energy production systems. The research at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology focusses on the development of highly innovative materials and efficient operation strategies for fuel cells.

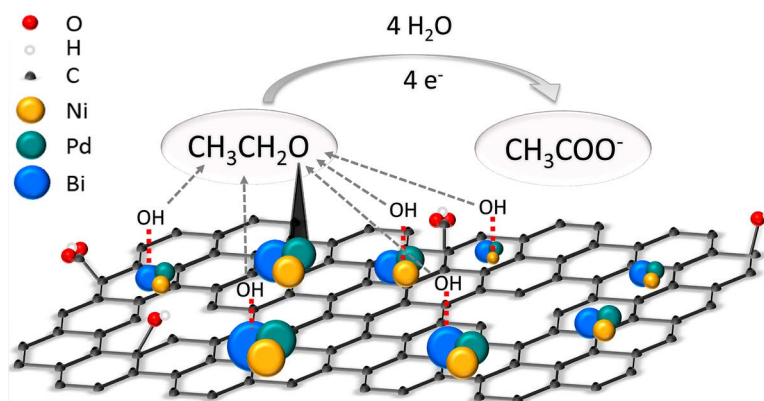
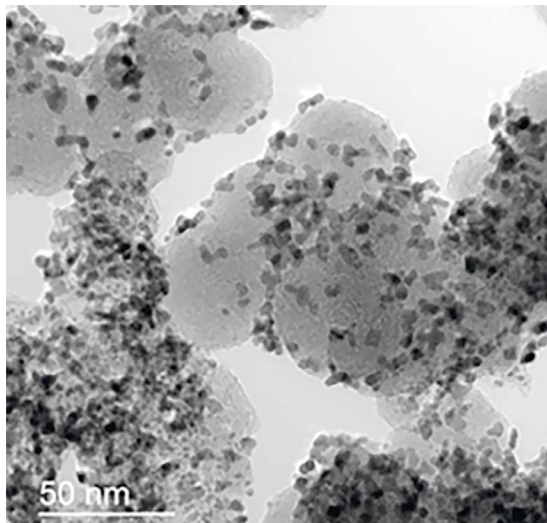
New technologies for emission-free energy conversion are needed in the face of the tug of war between environmental protection and the temptations of the consumer world – especially when it comes to electrical and entertainment

technology and transport. Fuel cells enable sustainable electrical power generation for mobile, portable and stationary applications. In the case of transport applications, consumers expect the same ranges and speed of refuelling as they

get from conventional mid-size vehicles. Long-lasting, active and stable catalyst systems and innovative operation strategies with very low performance losses are required to guarantee the successful commercialisation of fuel cell systems.

### CATALYSIS IN FUEL CELLS

By combining hydrogen and atmospheric oxygen, chemical energy is directly converted to electrical energy via an electrochemical redox reaction. The materials currently used for catalysis, carbon and platinum, reach extremely high reaction rates for the hydrogen oxidation reaction at the anode and the oxygen reduction reaction at the cathode; kinetically ingenious but thermodynamically instable and too costly over the long term.



**Figure 1: Schematic illustration of the ternary catalyst system and TEM image of platinum distributed on carbon.**

Source: Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology

New approaches to chemical functionalisation of the catalysts with conducting polymers simultaneously result in the desired increase of mass activity and the stabilisation of the catalysts. In such a catalyst system, reactive platinum nanoparticles are embedded in a polymer layer which selectively coats the carbon support. The polymer film protects the catalyst against the corrosive environment in the fuel cell, while the polymer structure changes electronic properties of the components, enhancing the reaction rates for catalysis.

Alternative methods to boost reaction rates and stability are the modification of the carrier material and the establishment

of alloys in optimal atomic compositions. Graphene has proven to be a promising carrier material, especially because of its unique structural properties. Innovative ternary catalyst systems based on palladium, nickel and bismuth, with a significant increase in mass activity, have been synthesised for direct ethanol fuel cells.

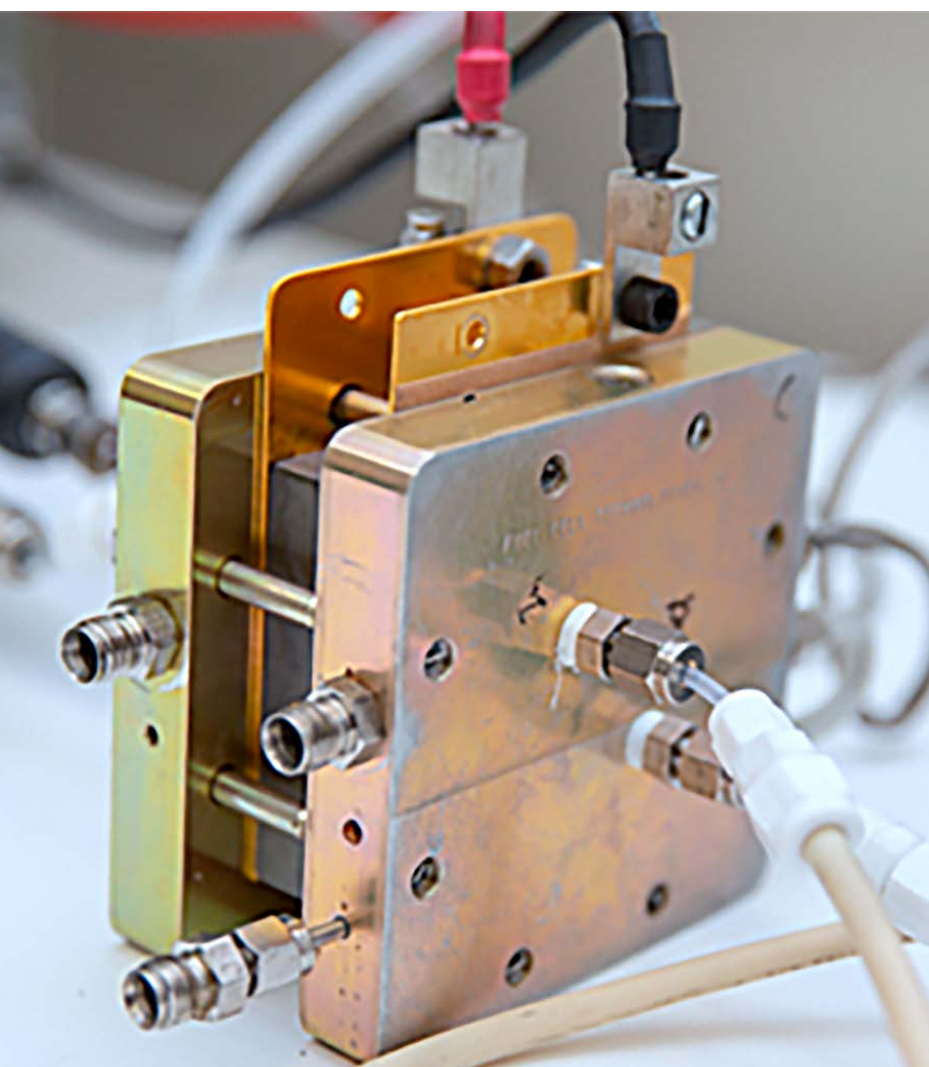
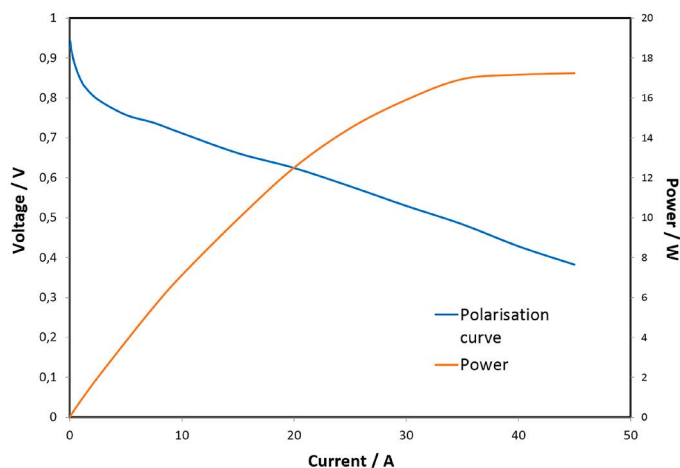
New catalysts are primarily characterised ex-situ, i.e. outside the normal operating fuel cell. A few micrograms of the prepared catalyst ink are placed on a rotating disk electrode and the mass activity and stability are analysed in half-cell measurements. If the catalyst shows promising characteristics, electrodes are manufactured and

tested in-situ for performance and lifetime analysis in fuel cells. The development of new catalysts for energy conversion processes, in which multiple electrons are transferred, are particularly challenging. Disadvantageous intermediate steps and products occurring during the catalysis must be avoided, and material availability, durability, high mass activity and good scalability of the production methods are crucial parameters which have to be observed during catalyst synthesis. >



**The Fuel Cell Research Group at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology.**

Source: Lunghammer – TU Graz



**Figure 2: Polarisation and power curve of a 25cm<sup>2</sup> PEM fuel cell operated with hydrogen and air.**

Source: Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology

## DEGRADATION OF FUEL CELLS

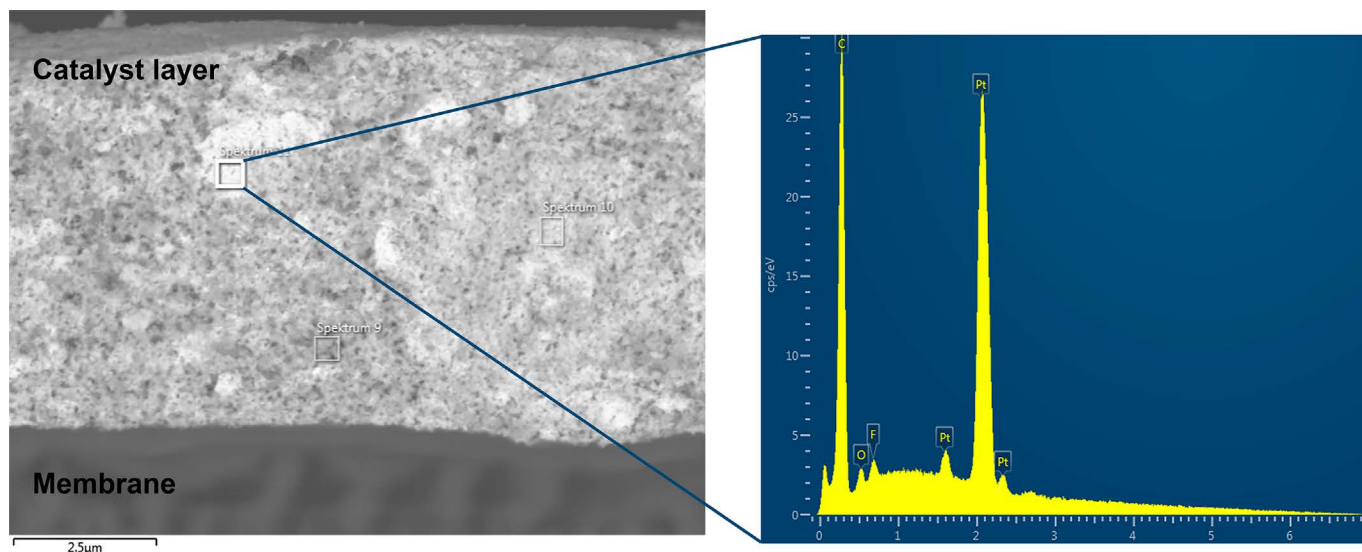
For mobility applications, a lifetime of 5-10 thousand operating hours must be reached in order to achieve market success. Degradation phenomena which occur during real operation are the limiting factors standing in the way of reaching this target. The rapid current variations under dynamic operating conditions, like in a car, lead to mechanical and chemical degradation of materials due to fluctuations in humidity (water management), voltage, temperature and gas distribution, which eventually result in fuel cell conversion efficiencies which are too low.

The development of satisfactory operating strategies requires an understanding of the fundamental processes in the fuel cell, the electrodes, the membrane, the gas diffusion layers, as well as an understanding of the effects of different operating parameters on local performance. Using carefully designed accelerated stress tests (ASTs), the cell is operated under high load conditions to speed up degradation effects such as membrane thinning, carbon corrosion and platinum agglomeration.

During the experiments, the fuel cells are monitored using electrochemical methods including cyclic voltammetry (CV), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and determination of voltage drop using polarisation curves to specify catalyst plus membrane degradation, current plus voltage characteristics, and performance losses. Structural changes to the electrodes and the membrane are identified by means of electron microscopy. Changes in chemical compositions are investigated using X-ray analysis.

In-situ online monitoring techniques enable new and deeper insights into the degradation mechanisms by means of the visualisation of several performance para-



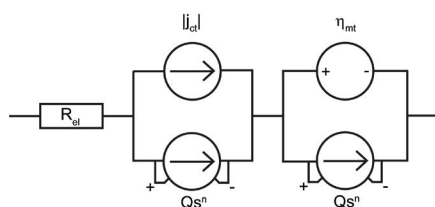


meters during the stress tests. Based on the available data from CV, EIS and polarisation curves, a dynamic large signal equivalent circuit (dLSEC) has been developed. With this new diagnostic tool, fast identification and interpretation of performance losses is now possible and the transient behaviour of a fuel cell under certain harmful operating conditions can be simulated. In addition to the simulation, the total harmonic distortion (THD)

is used as an important online monitoring method during cell operation to identify harmful operating conditions which occur. The THD uses a superimposed alternating current signal, which becomes distorted if the local operating point moves into the non-linear region of the polarisation curve. These online monitoring techniques have proven to be a valuable tool for enhancing operating strategies for low temperature fuel cells. ●

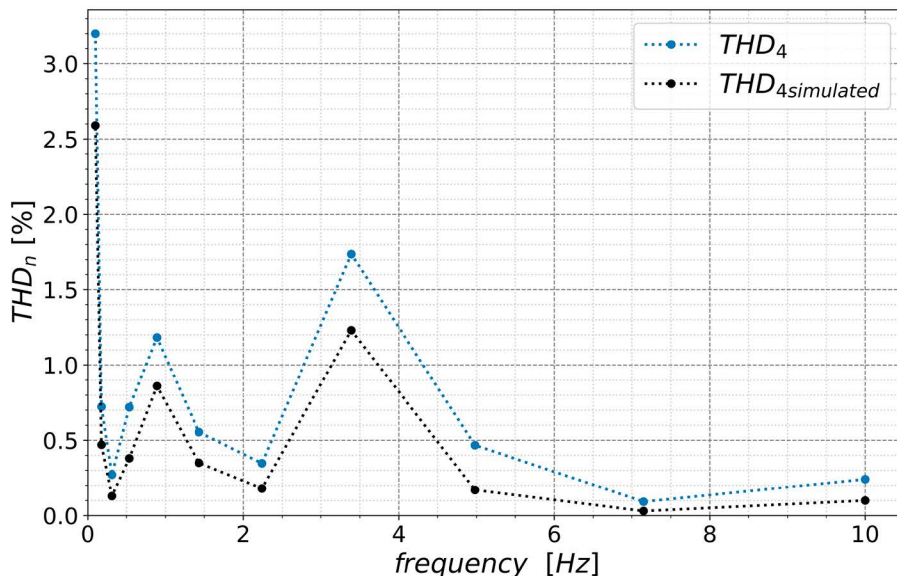
**Figure 3: SEM image of an electrode layer, identifying platinum agglomeration in specific areas with EDX for elemental composition analysis.**

Source: Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology



**Figure 4: (Top) example of a dLSEC that is used for fitting data:  $R_{el}$  simulates the voltage loss; the parallel circuits describe charge transfer losses and mass transport losses. (Bottom) THD peaks at characteristic frequencies in the non-linear region of the polarisation curve.**

Source: Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology





## SUSTAINABLE SYSTEMS

Fields of Expertise TU Graz

Source: ymgerman – fotolia.com



**Urs Leonhard Hirschberg,**  
**Sustainable Systems**

Source: Lunghammer – TU Graz

In my column in the last issue of this publication, I referred to an urgent public appeal by the Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC): the necessity to drastically reduce greenhouse gas emissions by 45% by 2030 and to zero by 2050, in order to limit global warming to 1.5 degrees Celsius. I pointed out that science and technology can make a long-term contribution to reaching this goal. In fact, the IPCC typically adds to its reports

that “research and development are making unexpectedly good progress”. But of course, it has not been nearly enough.

The notion that “Technology will save us?” (note the question mark) is the tag line for a lecture series currently under way, which is organised by sustainability4u, an initiative jointly sponsored by all four Graz universities. It aims to question the widespread faith in technological solutions and to look at the ethical questions that are linked to technological advances. Just like last year, when the focus was on the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), this year’s series is proving a success. It is attracting many students from all the universities, and the talks are being followed by lively debates with the speakers.

If anything, the lectures are making it very clear that it is not enough to look to science and technology to sort things out for us. After all, the problems we have created

on this planet have been associated with technological advances. They have enabled us to claim the dubious honour of having impacted the planet we live on as no other species has ever done before us. We are now living in the Anthropocene epoch. Mankind has succeeded in raising CO<sub>2</sub> levels in the atmosphere to over 400ppm – an all-time high – and thereby profoundly changing the climate. But not only that, we have also polluted land and oceans in an unprecedented fashion, and caused the fastest rate of extinctions for millions of years. Insects are currently experiencing an apocalypse, as Thomas Schmickl declared when he gave the first lecture of the series. Meanwhile, as Gottfried Kirchengast pointed out in the third lecture, Austria is not doing nearly enough to curb greenhouse gas emissions. After a fall between 2005 and 2014, overall levels have been rising again in recent years. Austria’s traffic-related CO<sub>2</sub> emissions per capita are now 60% above the EU average.



So who will save us? It is clear that it will have to be a joint effort, but with science and technology very much playing their part. Informing the public and creating greater awareness, while keeping the discussions rational, is in some ways just as important as working on new technical solutions. The lecture series has set out to make a contribution to this. And it is not the only initiative of this kind. TU Graz Sustainability Week, which aims to raise awareness of the 17 SDGs, will take place from 3-9 June.

TU Graz is, of course, a technical university, and we are very proud of this. And no one here is naive enough to assume that technology is the simple cure-all. We still believe, however, that we can contribute to solving these urgent problems. The next seed funding for projects carried out by junior researchers in the Sustainable Systems Field of Expertise is currently underway. This is what we need: young, critical minds with new ideas, who understand the systemic nature of our problems, and who want to humbly contribute to solving them.

**Markus Göllles,  
Martin Horn:**

## Advanced Control for Sustainable Energy Systems

The growth in renewable energy technologies will render future energy systems more complex and volatile. So advanced control strategies are required to ensure their optimal operation. For this reason, the Bioenergy 2020+ competence centre established a working group focusing on automation and control in close cooperation with the Institute of Automation and Control at TU Graz.

Model-based control strategies for different renewable energy technologies, such as biomass combustion and solar thermal systems, as well as strategies for their optimal interaction will be developed in the course of the cooperation. A key part of the research focuses on developing control-oriented mathematical models for the respective processes. This means that the models reproduce the main dynamic characteristics of the processes sufficiently well but still serve as a suitable basis for controller design. >

**Figure 1: Biomass gasification  
CHP plant in Senden, Germany.**

Source: Schneider-photography





### JOINT RESEARCH PROJECTS

In recent years a number of joint research projects have been carried out. Numerous master's and doctoral theses have been written in the course of the research projects, leading to a number of scientific publications in renowned journals and presentations at high-profile conferences.

A good example of the collaborative research performed in recent years focused on the model-based control of a biomass gasification combined heat and power (CHP) plant that uses dual fluidised bed biomass steam gasification. The research project is outlined below.

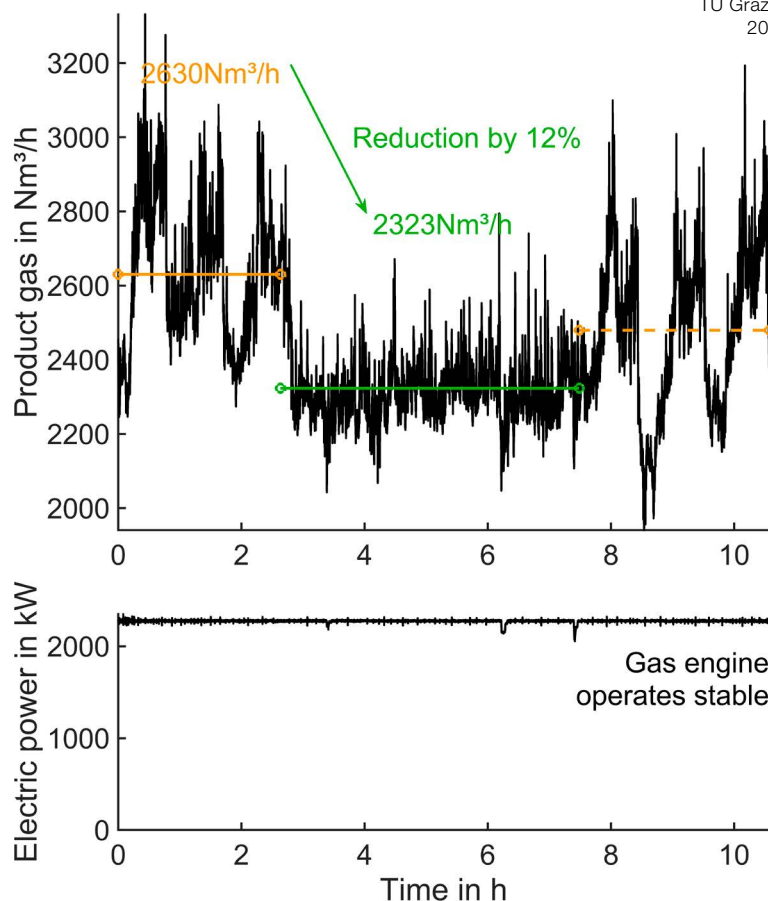
The possibility of simultaneously producing sustainable heat and power means this technology is essential for implementing sustainable energy systems. However, it is currently facing financial challenges due to the high price of raw materials (such as wood chips) and low prices for products (like electricity and heat). In order to maintain, carry out research on and enhance this key technology on an industrial scale, its economic efficiency needs to be increased. So the project investigated various options for improving interaction between the different processes by means of advanced control.

The project was completed in summer 2018 with the successful evaluation of the developed control strategies at an industrial-scale biomass gasification CHP plant in Senden, Germany, owned by the company Blue Energy Syngas (see Figure 1). The main result is an innovative control strategy based on the joint control of an essential process variable, the pressure at the inlet of the gas engines producing the electricity, with two actuators each operating in different frequency ranges.

The evaluation of the innovative control concept revealed that the amount of product gas required, and thus the requisite amount of fuel, could be reduced by 12% in partial load operation while maintaining

the same level of electricity production (see Figure 2). At full load, the reduction was estimated at around 7%. Since fuel accounts for a large proportion of the plant's operating costs, these costs could be significantly reduced by means of this particular control engineering measure.

The project was funded by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) as part of the NATS BRIDGE Early Stage programme. Other project partners included the Institute of Chemical, Environmental and Bioscience Engineering at TU Wien and the company Repotec.



**Figure 2: Significant reduction in the amount of fuel required for the same level of electricity production.**

Source: Bioenergy2020+



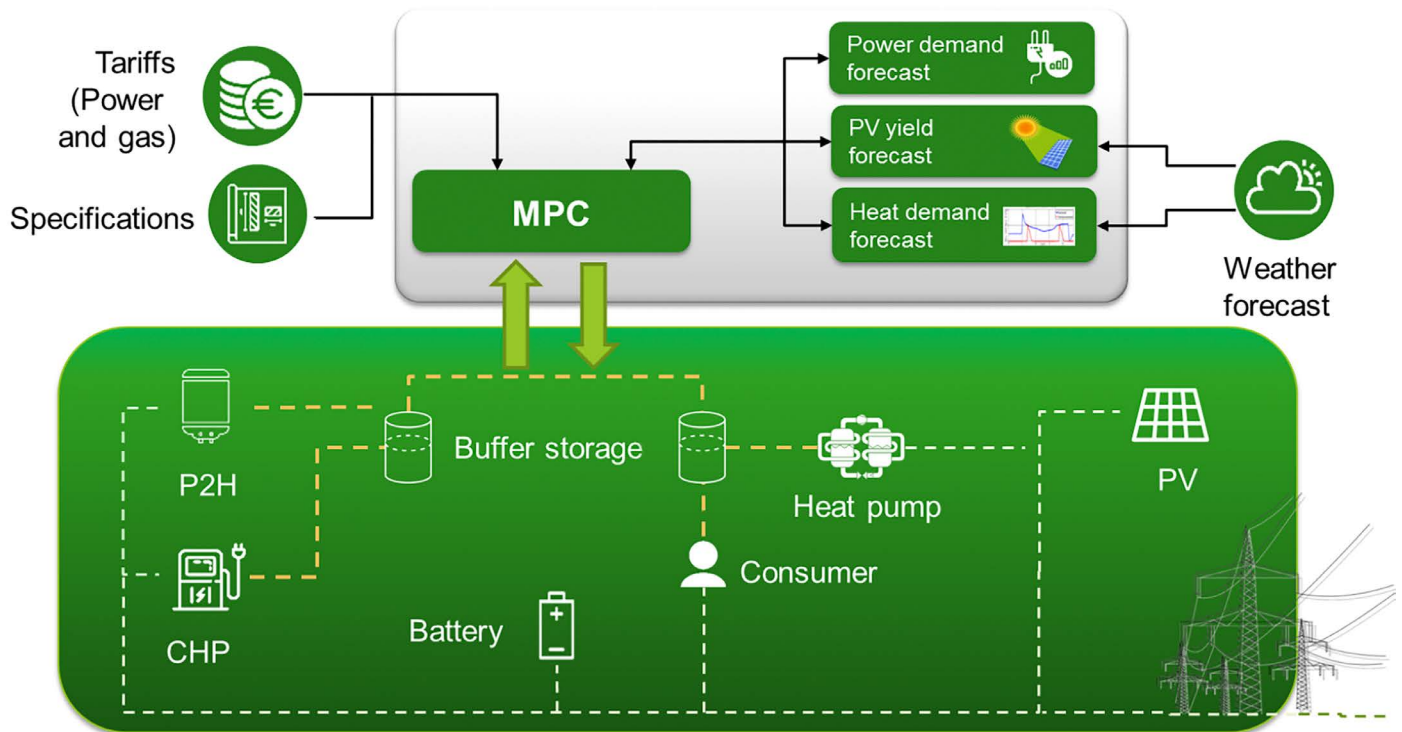
**Martin Horn**  
is head of the Institute of  
Automation and Control at TU Graz.

Source: Baustädter – TU Graz



**Markus Göllés**  
is Area Manager for Automation and Control at the  
Bioenergy 2020+ competence centre.

Source: Baustädter – TU Graz



**Figure 3: Energy management system for cross-sectoral energy systems (microgrids).**

Source: Bioenergy2020+

Apart from the work on the control of different renewable energy technologies, there is a strong focus on the interaction of these technologies at the systemic level, since the shift towards a renewable energy and resource system can only be achieved by means of an appropriate combination of different technologies. This is mainly because of the volatility of many renewable energy technologies: their output is not controllable, or only partly controllable, and mainly depends on environmental conditions (e.g. wind or sunlight). For this reason, different technologies have to be combined in an appropriate, typically more decentralized way to fulfil all the needs of final consumers. However, the resulting cross-sectoral energy systems, often referred to as microgrids, are becoming more complex and currently control methods are not yet capable of operating such complex systems reliably and efficiently.

In recent years, several joint research projects on the optimal control of microgrids have been carried out. Essentially, the approaches pursued are based on the concept of model predictive control (MPC). This approach uses simple mathematical models describing the behavior of different energy technologies and weather forecast data, as well as the tariffs for different consumables (e.g. natural gas, biomass, etc.) to predict the optimal future operating strategy for the different technologies and forms of energy storage. MPC continuously calculates (e.g. every 15 minutes) the optimal actuating signals for a forecast horizon (e.g. 48 hours) with the aim of minimizing a defined cost function (e.g. primary energy use). The first interval of the calculated manipulated variables is then applied to the system and the MPC calculation starts anew, with updates to both the initial state and the different forecasts used. In this context, the development of suitable methods for forecasting the yield of the prevalent volatile energy sources (e.g. photovoltaic systems) and consumers' future demand for electricity and heat is particularly important. On the one hand these methods should be ge-

neral and adaptive and on the other they should be as simple as possible so that they can be implemented without excessive effort.

Since the optimal interaction of different renewable energy systems is one of the major challenges of the move towards a renewable energy and resource system, the two partners are also trying to combine their specific research results to create a more general and modular framework for the optimal, predictive control of microgrids. This will take the form of modular energy management system for cross-sectoral energy systems which is designed to support the practical application of research findings (see Figure 3). ●

**PLANET RESEARCH**

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

**TU GRAZ RESEARCH**

Subscribe now and register for the next issue of TU Graz research, which you can receive either digitally or as a print edition.

**TU GRAZ RESEARCH MONTHLY**

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



**Research @ [www.tugraz.at](http://www.tugraz.at):  
Keep up to date!**

**Forschung @ [www.tugraz.at](http://www.tugraz.at):  
Bleiben Sie auf dem Laufenden!**



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

**PLANET RESEARCH**

Holen Sie sich Ihr digitales oder gedrucktes Forschungs-Abo und melden Sie sich gleich für die nächste Ausgabe von TU Graz research an.

**TU GRAZ RESEARCH**

Mit dem Forschungsnewsletter erhalten Sie jeden Monat ausgewählte Beiträge rund um aktuelle Forschungsthemen. Zudem informieren wir Sie über die nächsten Event-Highlights in den Bereichen Wissenschaft und Forschung an der TU Graz.

**TU GRAZ RESEARCH MONTHLY**