

Electronics Based Systems – die Basis unserer Zukunft

Elektronikbasierte Systeme haben längst Einzug in unseren Alltag gehalten, bewusst in Form neuer technischer Gadgets und unbewusst in Form von Embedded Systems – das sind Mini-Computer und andere elektronische Komponenten, die in Gegenständen und Infrastruktur verbaut sind.

Birgit Baustädter

Aus unserem vertrauten Leben sind Electronics Based Systems also nicht mehr wegzudenken. Aber sie werden auch in Zukunft unsere Umgebung prägen, als Basis – darin sind sich Forschende einig – vieler innovativer Entwicklungen.

Die TU Graz hat sich im Herzen der österreichischen Elektronikindustrie als wichtige Forschungspartnerin etabliert. Konsequenterweise wird dieser Weg durch die jüngste Ansiedlung des Silicon Austria Labs (SAL) Headquarters am TU Graz-Campus Inffeldgasse. Gemeinsam gründeten die Universität und die industrienaher Forschungseinrichtung zudem die ersten beiden universitären TU Graz-SAL Research Labs Österreichs, in denen an den Grundlagen zuverlässiger, elektronischer Systeme geforscht wird – immer mit einem konzentrierten Blick auf die Bedürfnisse der Industrie.

Gleichzeitig eröffnete das neue Electronics Based Systems Building an der TU Graz – ein Forschungs- und Entwicklungszentrum im Bereich Sensortechnik und Mikroelektronik. Ebenfalls in diesem Frühjahr wurde das FFG-Qualifizierungsprogramm InnoEBS im Bereich Electronics Based Systems vorgestellt, das Partnern aus der heimischen Elektronikindustrie die Möglichkeit gibt, ihr Personal zu zertifizierten EBS-Fachkräften ausbilden zu lassen. Und mit dem Cybersecurity Campus Graz gründete die TU Graz gemeinsam mit dem Prüf- und Zertifizierungsunternehmen SGS 2019 einen Forschungshub, der sich der Sicherheit in unserer zunehmend vernetzten Welt widmet.

Die TU Graz hat sich im Bereich elektronikbasierter Systeme ebenso auf die wissenschaftlichen Grundlagen wie auch auf die industrielle Anwendung fokussiert und ist Teil eines interdisziplinären Netzwerks von internationaler Strahlkraft. Die Silicon Austria Labs sollen zum drittgrößten Forschungszentrum Österreichs und zu einer fixen Größe in der weltweiten Forschungslandschaft werden. Eine Verbindung mit elektrischer Strahlkraft für die Zukunft also, möchte man sagen.

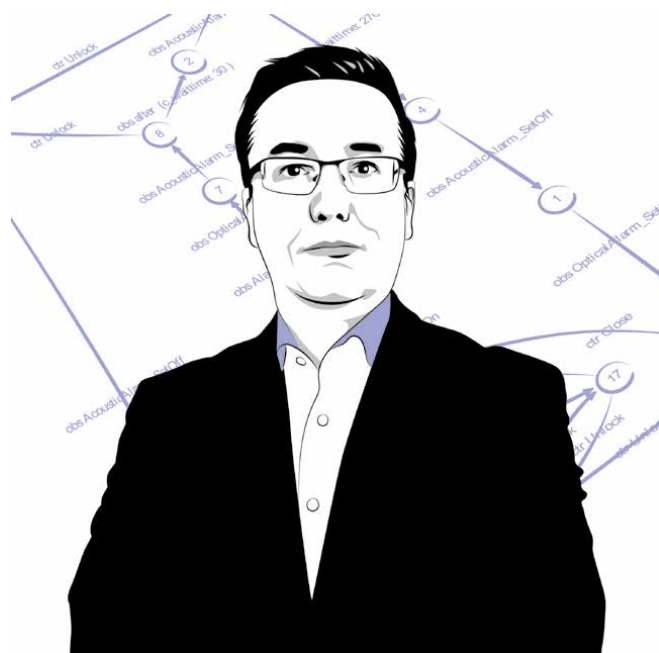
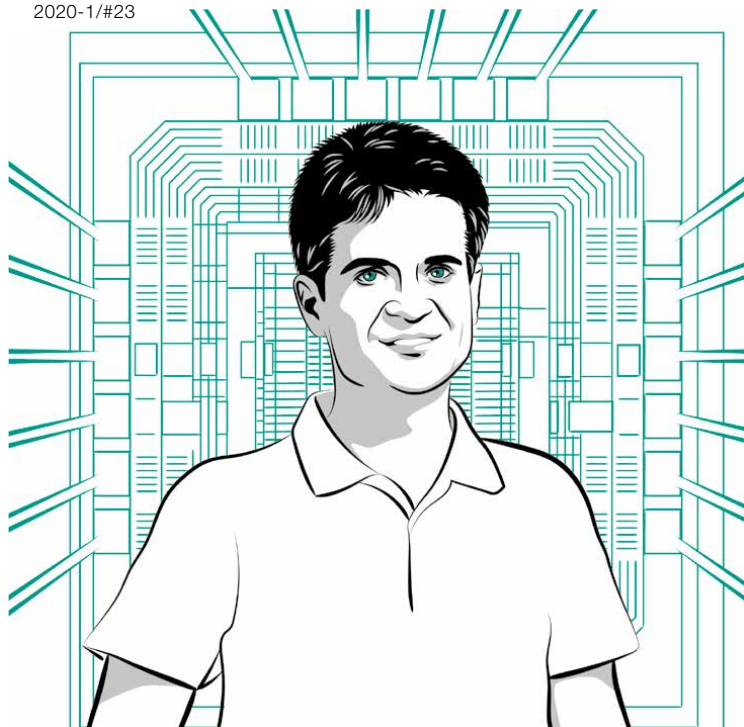
Exemplarisch für die vielen in diesem Bereich an der TU Graz tätigen Forschenden erklären Bernd Deutschmann, Bernhard Aichernig, Marcel Baunach, Alexander Bergmann, Peter Hadley und Wolfgang Bösch, was für sie elektronikbasierte Systeme sind, wie sie unsere Zukunft beeinflussen und woran an der TU Graz aktuell geforscht wird.

BERND DEUTSCHMANN:



Elektronische Systeme sind heute überall: Im Handy, Computer, Flugzeug oder Auto – es gibt kein technisches Gerät, in dem nicht Elektronik verpackt ist. Die Mikroelektronik wird die Zukunft gestalten – sie ist fingernagelgroß und kann wahnsinnig viel.

„Was viele nicht wissen, ist, dass die Grundbausteine vieler aktueller Technologien aus Österreich kommen“, ist Bernd Deutschmann wichtig zu betonen. „Technologien wie NFC und RFID haben ihren Ursprung in österreichischen Labors und in den meisten namhaften Mobiltelefonen sind Mikrochips heimischer Firmen verbaut.“ Deutschmann ist Leiter des Instituts für Elektronik an der TU Graz und hat buchstäblich Strom im Blut. Er hat sich zum Ziel gesetzt, die Elektrotechnik beim jungen, talentierten Nachwuchs wieder beliebter zu machen, denn, so ist er sicher: „Der Elektronik gehört die Zukunft. Es gibt heute kein technisches Gerät, in dem nicht Elektronik verpackt ist.“



**Links: Bernd Deutschmann,
Institut für Elektronik.**

**Rechts: Bernhard Aichernig,
Institut für Softwaretechnologie.**

Die **Silicon Austria Labs (kurz SAL)** sind eine neu gegründete österreichweite Forschungsinitiative, die Forschung entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Electronics Based Systems betreibt. Gemeinsam mit drei Universitäten an den drei SAL-Standorten sollen in den kommenden Jahren mehrere SAL Research Labs gegründet werden – die ersten beiden wurden im Jänner gemeinsam mit der TU Graz eröffnet.

Gerade erst hat er einen weiteren Schritt gesetzt: Gemeinsam mit Bernhard Auinger von SAL leitet er eines von zwei TU Graz-SAL Research Labs an der TU Graz, in dem Grundlagenforschung mit Blick auf die umliegende Halbleiterindustrie umgesetzt werden soll. Das Thema begleitet Deutschmann schon sein ganzes Forschungsleben und wird auch im Zentrum des neuen Forschungslabors stehen – elektromagnetische Verträglichkeit. „Elektronische Geräte arbeiten nicht alleine. Sie verursachen Störemissionen, die die Umgebung genauso beeinflussen, wie die Geräte selbst von Störemissionen aus der Umgebung beeinflusst werden.“ Ein Anruf am Mobiltelefon, der den Radioempfang stört, ist ein harmloses Beispiel. Massivere Störemissionen können empfindliche Geräte fehlerhaft arbeiten oder gar ganz ausfallen lassen. Bei sicherheitsrelevanten Anwendungen in einem Fahrzeug beispielsweise kann aus dieser kleinen Unverträglichkeit schnell ein massives Sicherheitsproblem werden. „Vor Jahren haben wir zum Beispiel entdeckt, dass schon Handystrahlung Schutzmechanismen in Autos außer Kraft setzt und so die Insassen gefährdet.“

Ziel seines TU Graz-SAL EMCC and Radio InterOp Lab (EMCC LAB) ist es, zu erforschen, wie verschiedene elektronische Systeme sicher koexistieren können und wie das bereits in der Entwicklung simuliert und gemessen werden kann. „Wir möchten einen digitalen Zwilling entwickeln, über den schon von vornherein Störproblematiken erkannt und gebannt werden können.“

BERNHARD AICHERNIG:



**Elektronikbasierte Systeme
basieren auf Hardwarekomponenten,
aber auch auf Software.
Moderne Systeme zeichnen sich
durch eine zunehmende Komplexität
aus: Sie sind vernetzt und integrieren
künstliche Intelligenz.**

Das zweite TU Graz-SAL Research Lab an der TU Graz beschäftigt sich mit der Zuverlässigkeit von Embedded Systems – also von kleinen, in andere Gegenstände integrierten elektronischen Systemen. Geleitet wird das TU Graz-SAL Dependable Embedded Systems Lab (DES LAB) von Bernhard Aichernig, Institut für Softwaretechnologie, und Andreas Rechberger von Silicon Austria Labs. >

„Es ist vollkommen normal, dass für das fehlerfreie Funktionieren von elektronischer Hardware Garantien abgegeben werden. Für die Software gibt es das aber meistens nicht“, erklärt Aichernig seinen Forschungsansatz. „Das zeigt aber nur, dass wir noch nicht weit genug sind. Wir wollen mit unserer Forschung ermöglichen, dass in Zukunft auch für die Software Garantien abgegeben werden können.“ Der Wissenschaftler und sein Team beschäftigen sich vorwiegend mit künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen. Das Problem: Man kann derzeit nicht überprüfen, wie eine künstliche Intelligenz lernt und ob sie alles richtig verstanden hat. „Algorithmen kann man überprüfen – zum Beispiel ist es möglich, ihre Korrektheit zu beweisen. Aber bei einer KI in Form eines neuronalen Netzwerkes sieht man nur die miteinander verknüpften, gewichteten Neuronen – im Grunde also nur einen Haufen Zahlen, der nicht viel aussagt.“ Deshalb wollen Aichernig und sein Team KIs systematisch testen und aus den gewonnenen Daten analysierbare Modelle generieren. Dazu nutzen sie ebenfalls eine Form von künstlicher Intelligenz: Aktive Lernalgorithmen interagieren mit dem zu testenden System und bilden ein abstraktes Modell des inneren Verhaltens: „Man kann sich unsere Tests wie eine mündliche Prüfung vorstellen. Wir interagieren mit der künstlichen Intelligenz und stellen neue Fragen auf Basis ihrer Antworten und dringen so tief in das System ein.“ So will man neue Einblicke in das Lernen intelligenter Systeme bekommen, um sie in weiterer Folge automatisch überprüfen und verbessern zu können.

Dieser Ansatz soll nun im TU Graz-SAL Research Lab angewendet werden. An kritischer Serverinfrastruktur hat man es bereits im TU Graz-Leadprojekt Dependable Internet of Things ausprobiert. Besonders relevant sind Datenbroker, die verschiedene Sensoren miteinander verbinden und den Datentransfer abwickeln. Zum Beispiel in autonomen Fahrzeugen ist das eine systemkritische Komponente und darf nicht ausfallen. Dissertantin Andrea Pferscher hatte mit dieser Methode „Erfolg“ – bereits durch viele, aber dennoch valide Anfragen kann die Verbindung zwischen kritischem Server und Sensor abgebrochen werden. Die US-amerikanische Weltraumagentur NASA hat bereits Interesse an ihrer Forschung angemeldet.

MARCEL CARSTEN BAUNACH:



Electronics Based Systems sind Systeme, die durch immer mehr elektronische Komponenten immer leistungsfähiger oder überhaupt erst möglich werden – wie zum Beispiel Haushaltsgeräte, intelligente Energieversorgungsnetze oder autonome Fahrzeuge. In ihnen verstecken sich kleine, aber leistungsstarke Computersysteme – die Embedded Systems.

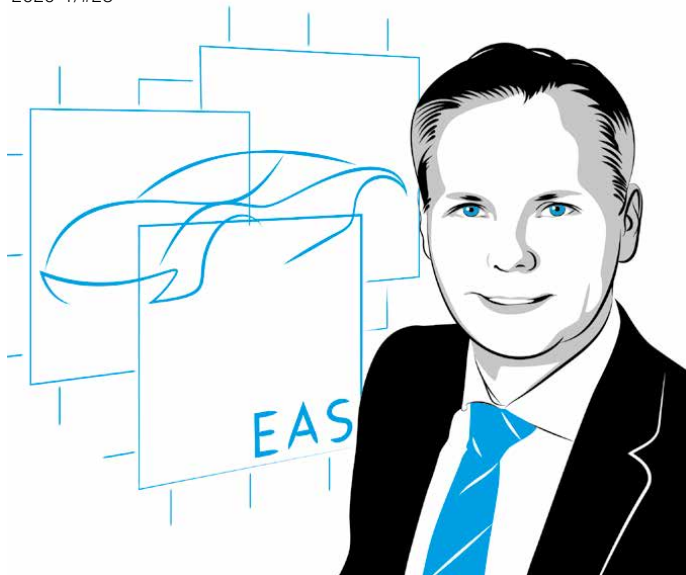


Gerald Muraier
Geschäftsführer Silicon
Austria Labs GmbH

Elektronikbasierte Systeme (EBS) sind heute fast in jedem technischen Gerät zu finden – ob Smartphone, Tablet oder Fahrzeug. Ohne EBS wären viele Lösungen für die Energiewende, das Internet der Dinge oder Industrie 4.0 nicht möglich. Die EBS-Wertschöpfungskette reicht vom kleinsten Sensor bis zum integrierten System. Silicon Austria Labs (SAL) betreibt mit den Forschungsschwerpunkten Sensor Systems, Radio

Frequency Systems, Power Electronics, System Integration Technologies und Embedded Systems Forschung entlang der gesamten EBS-Wertschöpfungskette. In Eigenforschung und mit Kooperationspartnern aus Industrie und Wissenschaft suchen wir nach innovativen Lösungen, um neue Technologien zu entwickeln und Österreich im internationalen Wettbewerb zu stärken.

Das Projekt „Tiny Power Box“ ist hierbei eines unserer Vorzeigeprojekte. Hier arbeiten wir gemeinsam mit fünf Industriepartnern an der Optimierung der Leistungsdichte von eingebauten Batterieladegeräten in E-Autos, sogenannten Onboard-Chargern. Das Resultat: geringeres Gewicht, weniger Komponenten und Platzverbrauch bei hohem Wirkungsgrad für schnelles Laden und gleichzeitig höherer Umweltverträglichkeit. Diese Entwicklung wird ein innovativer technologischer Beitrag für die Energiewende sein. Die breite Industriebeteiligung zeigt, dass gemeinsam erzielte Forschungsergebnisse für unterschiedliche Anwendungen und entlang der gesamten Wertschöpfungskette nutzbar gemacht werden können.



Marcel Carsten Baunach,
Institut für Technische Informatik.

„Das Internet hat sich zu einer Art Super-Infrastruktur von Milliarden von vernetzten Geräten entwickelt – und es wächst ständig weiter“, erklärt Marcel Baunach vom TU Graz-Institut für Technische Informatik. Entwicklung, Nutzung und Betrieb dieser ständig interagierenden Systeme stellen die Gesellschaft und vor allem die Forschung vor immer größere Herausforderungen. „Alltägliche, aber auch zunehmend kritische Infrastruktur arbeitet heute weiträumig vernetzt. Wir sind darauf angewiesen, dass dieses Netzwerk zu jeder Zeit und unter allen Umständen fehlerfrei funktioniert.“ Fehler oder Ausfälle können fatale Folgen haben,

wenn sie zum Beispiel das Zusammenspiel von Kraftwerken und Verteilernetzen oder von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur betreffen. Mit seiner Arbeitsgruppe Embedded Automotive Systems beschäftigt sich Marcel Baunach mit diversen Zuverlässigkeitsaspekten eingebetteter Systeme: Wo im Bereich Safety Menschen vor den Auswirkungen fehlerhafter Systeme geschützt werden, ist es im Bereich Security genau umgekehrt und die elektronischen Systeme müssen vor unrechtmäßigem Zugriff geschützt werden.

Zentral ist aber nicht nur, dass das System zuverlässig entwickelt wurde, sondern auch, dass es über Jahre und Jahrzehnte zuverlässig funktioniert und veränderliche Anforderungen erfüllen kann. „Gerade im Bereich großer, teurer Infrastruktur – wie in Kraftwerken oder bei Prüfständen in der Automobilindustrie – ist es wichtig, dass ich die Systeme langfristig betreiben, anpassen und Fehler beheben kann. Zum Beispiel, um neue Kundenwünsche umzusetzen oder um Hard- und Software autonomer Fahrzeuge bei zukünftigen Gesetzesänderungen effizient nachzuziehen.“ Gleichzeitig muss bei jeder Änderung die Zuverlässigkeit garantiert werden – zum Beispiel muss in Fahrzeugen ein Airbag auch nach einem Update noch immer in der gleichen Zeit auslösen. Derzeit arbeitet das Team rund um Baunach an Computersystemen, deren Soft- und Hardware während des Betriebs und ohne Unterbrechung verändert werden können. „Das sind Prozessoren, die reprogrammierbar sind, und Betriebssysteme, die neue Software vor einem Update auf garantierte Zuverlässigkeit prüfen“, erklärt der Forscher. „Die Logik im Prozessorchip kann sich dabei fast beliebig ändern und die Software passt sich dieser Veränderung an.“ >

Ein weiteres Beispiel für die erfolgreiche Bündelung von Know-how sind die Uni-SAL Research Labs. Gemeinsam mit der TU Graz gibt es erfreulicherweise bereits zwei Labs. Das DES LAB (Dependable Embedded Systems) beschäftigt sich mit der Zuverlässigkeit moderner computerbasierter Systeme. Im EMCC LAB (EMCC and Radio InterOp Lab) wird gemeinsam an der elektromagnetischen Verträglichkeit elektronikbasierter Systeme geforscht – zwei schöne Beispiele gelungener Kooperationen auf Augenhöhe zwischen TU Graz und SAL.

Elektronikbasierte Systeme sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie sind wichtige Treiber für die Innovationskraft Österreichs und Zukunftsthemen wie Energiewende und Industrie 4.0. Durch die Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen kann Österreich ein noch stärkerer Player dieser technologischen Innovation werden – und wir versuchen, unseren Teil dazu beizutragen.



Bildquelle: Lunghammer – TU Graz

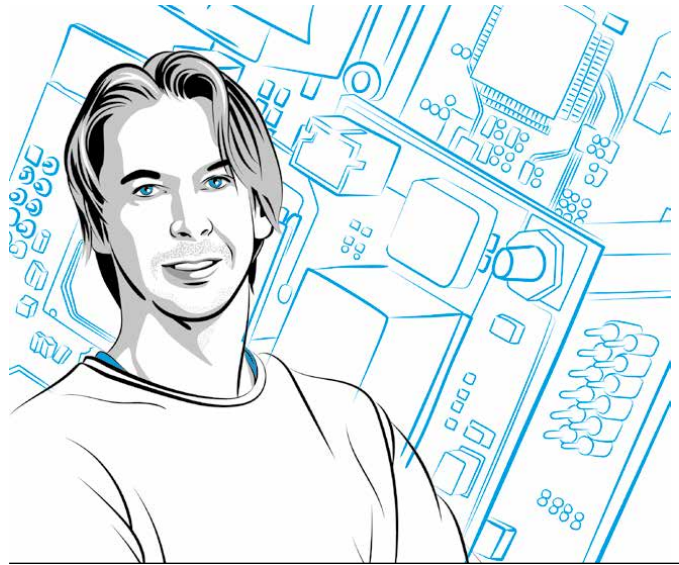
Mit dem **Electronics Based Systems Building** entsteht ein Forschungs- und Entwicklungszentrum im Bereich der Sensortechnik und Mikroelektronik. Es ist ausgerichtet auf Kooperationsprojekte zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Die Gesamtfläche des siebenstöckigen Gebäudes beträgt 4.600 Quadratmeter und umfasst Labors, Werkstätten, Büros und Seminarräume. Die Hälfte davon steht universitären Spin-offs sowie Klein- und Mittelbetrieben im Fachbereich Mikroelektronik zur Verfügung. Die andere Hälfte wird von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Graz mit Schwerpunkt auf den Forschungsbereichen Elektronik, Messtechnik und Sensorik sowie Hochfrequenztechnik genutzt.

ALEXANDER BERGMANN:

”

**Electronics Based Systems
starten bei Mobiltelefonen und
Wearables und enden bei großen
Prüfstandsanlagen. Ohne Elektronik
ist heute nichts zu machen –
Elektrifizierung hat in der
Menschheitsgeschichte immer
eine große Rolle gespielt.**

Alexander Bergmann baut elektrische Sensorsysteme, die in unterschiedlichsten Anwendungen zum Einsatz kommen. Der Leiter des Instituts für Elektrische Messtechnik und Sensorik hat beispielsweise mit seinem Team in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen ams gerade den kleinsten Partikelsensor der Welt entwickelt. Mit einer „Größe“ von nur $10 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ erbringt er die gleiche Leistung wie „ausgewachsene“ Messsysteme und könnte zum Beispiel in einem Mobiltelefon oder anderen kleinen Alltagsgegenständen verbaut werden. Gleichzeitig entwickelte das Institut erst kürzlich einen Sensor, der winzig kleine Partikel im Nanometerbereich aufspüren und messen kann – ein wichtiger Fortschritt, wenn es um die Weiterentwicklung von Feinstaubmesssystemen geht.



**Alexander Bergmann,
Institut für Elektronische Messtechnik und Sensorik.**

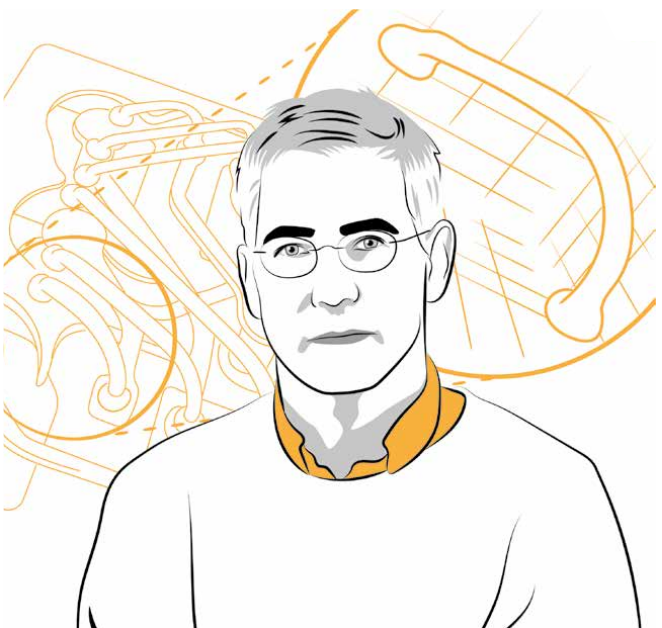
Neben Luftgüte ist auch Sensorik für autonome und elektrische Fahrzeuge ein wichtiges Thema am Institut. In einem gerade erst gestarteten Projekt widmen sich die Forschenden gemeinsam mit Infineon Metamaterialien, die für neuartige, störungsfreie Sensoren genutzt werden könnten. „Herkömmliche Sensoren arbeiten mit einem Magnetfeld, das wiederum durch das Magnetfeld des Elektromotors beeinflusst und so gestört werden kann“, erklärt Bergmann. „Unsere neuen Sensoren arbeiten aber mit Radarsendern, die die Materialeigenschaften von Metamaterialien verändern, und so Messsignale generieren, die von Magnetfeldern unbeeinflusst bleiben.“

PETER HADLEY:

”

**Ein großer Teil der Kosten
einer Schaltung entfällt heute oft auf
die Verpackung. Wir arbeiten daran,
sie zuverlässiger und
hitzebeständiger zu machen.**

Ganz an der Basis forschen Peter Hadley und das Team des Instituts für Festkörperphysik. Sie arbeiten auf der Materialseite, beschäftigen sich unter anderem mit den Eigenschaften und der Verbesserung von Materialien, die dann in der Elektronik eingesetzt werden. „Wir sind an den elektronischen und mechanischen Eigenschaften eines Materials interessiert“, erklärt er. Momentan ist vor allem das Zusammenspiel aus Verpackung und Transistor ein zentrales Thema. „Moderne Mikroprozessorchips beinhalten rund eine Milliarde Transistoren und kosten in etwa 100 Euro – ein Transistor kostet also etwa zehn Mikrocents. Bei Chips mit weniger als



**Peter Hadley,
Institut für Festkörperphysik.**

100.000 Transistoren entfällt der Großteil der Kosten heute auf die Verpackung.“ Eine Schaltung enthält oft einen Siliziumchip, der auf ein glasfaserverstärktes Epoxidsubstrat geklebt wird. Der Schaltkreis ist mit dünnen Metallbondedrähten mit den Metallanschlüssen verbunden, die aus dem Gehäuse herausragen. Darüber wird eine Epoxidverbindung gegossen. Ein Teil der Fertigung muss unter hohen Temperaturen stattfinden – werden zwei Materialien bei erhöhten Temperaturen miteinander verbunden, dann verzieht sich beim Abkühlen aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten die Grenzfläche und es entstehen Spannungen. Ist das Gerät anschließend eingeschaltet, dann wird es wieder heiß – und kühlt ab, wenn es abgeschaltet wird. So wird die Grenzfläche zwischen den Materialien wiederholt gebogen, was zu Rissen und Delaminationen führen kann. „Doktoranden an unserem Institut arbeiten mit Infineon und ams intensiv daran, die Zuverlässigkeit der Verbindungstechnik zu verbessern“, so Hadley.

WOLFGANG BÖSCH:

”

**Nur ihr reibungsloses Zusammen-
spielen macht aus einzelnen elektronischen
Baugruppen ein funktionierendes
elektronisches System.**

Wolfgang Bösch und das von ihm geleitete Institut für Hochfrequenztechnik beschäftigen sich mit drahtloser Kommunikation und drahtloser Sensorik. „Wir leben heute im Zeitalter der Vernetzung“, beschreibt er. „Zuerst haben wir einzelne Städte miteinander verknüpft, dann Haushalte über das Telefon, dann einzelne Personen über das Handy und heute arbeiten wir daran, immer mehr Gegenstände miteinander zu verknüpfen.“ Dazu brauche es immer zuverlässigere und leistungsfähigere Drahtlos-Kommunikation. Ein Forschungstrend ist deshalb, auf höhere Frequenzen überzugehen – höhere Frequenzen erlauben neben erhöhter Datensicherheit auch eine höhere Datenübertragungsrate. „Dafür benötigt man kostengünstige und effiziente elektronische Komponenten, Antennen und Filter“, so Bösch. Je mehr Systeme über unterschiedliche Funkmethoden miteinander kommunizieren, desto wichtiger ist es, die Nutzsignale von Interferenzen zu unterscheiden. „Natürlich sind auch bei uns die Multifunktionalität, die Miniaturisierung und vor allem der energieeffiziente Betrieb ein großes Thema.“

Bösch ist aber nicht nur selbst Forscher, sondern hat als Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik einen besonders guten Überblick über die elektronikbezogene Forschung an der TU Graz. Neben den bereits zuvor beschriebenen Forschungsbereichen sind ihm noch einige andere zum Thema Electronics Based Systems wichtig: Die Energietechnik macht aus unseren Städten, Wohnungen und Versorgungssystemen intelligente Smart Cities, Smart Homes und Smart

Unter der Leitung des Instituts für Elektronik der TU Graz wurde gemeinsam mit zwanzig Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Wirtschaft ein neues **Qualifizierungsprogramm für EBS-Fachkräfte** entwickelt. Nach Abschluss der Pilotphase Mitte 2023 soll das Programm fix in das Portfolio von TU Graz Life Long Learning aufgenommen werden. Vom Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort wird das Programm mit rund 900.000 Euro unterstützt.



Wolfgang Bösch,
Institut für Hochfrequenztechnik.

Grids. Auf Forschungsseite sind daran vor allem das Institut für Elektrische Anlagen und Netze und das Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement beteiligt. Zentral ist auch die Leistungselektronik, mit der sich das Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen unter Annette Mütze beschäftigt. Und natürlich sind es die Grundlagenforschung in der Elektrotechnik am Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik und die umfassenden Forschungsaktivitäten des Institutes für Regelungs- und Automatisierungstechnik, die das reibungslose Zusammenspiel innerhalb von Electronics Based Systems organisiert.

„Man sieht an dieser Vielfalt, dass ein elektronisches System niemals nur aus isolierten Komponenten besteht“, fasst Wolfgang Bösch zusammen. „Es bedarf immer eines abgestimmten Zusammenspiels aller elektronischen Bestandteile. Und das sieht man auch in unserer Forschung: Wir arbeiten interdisziplinär, instituts- und fakultätsübergreifend. Nur wenn alle Komponenten zusammenarbeiten, stellen sie gemeinsam ein funktionierendes Electronics Based System dar.“ Und dem ist im Grunde nichts mehr hinzuzufügen. ■