

# INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS TU WIEN

DOCUMENTATION  
JANUARY 1 – DECEMBER 31, 2019



# INHALT / CONTENTS

|                                                                                                                                            | Seite / Page |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Kontaktpersonen / Contacts                                                                                                                 | 3            |
| Mitarbeiter des Instituts / Staff members                                                                                                  | 5            |
| Sponsoren und Projektpartner / Sponsors and Cooperation Partners                                                                           | 8            |
| Aktuelle Forschungsgebiete: Übersicht / Current Research Areas: Synopsis                                                                   | 10           |
| Ernennungen und Preise / Nominations and Awards                                                                                            | 22           |
| Veranstaltungen / Events                                                                                                                   | 22           |
| Vorträge von Gästen / Lectures by Guests                                                                                                   | 22           |
| Lehrveranstaltungen / Course Program                                                                                                       | 23           |
| Gastvorträge von Institutsmitgliedern / Guest Talks by Members of the Institute                                                            | 27           |
| Forschungsprojekte / Research Projects                                                                                                     | 27           |
| Dissertationen / Doctoral Dissertations                                                                                                    | 30           |
| Diplom- und Masterarbeiten / Diploma and Master Theses                                                                                     | 31           |
| Bücher und Buchbeiträge / Books and Book Chapters                                                                                          | 32           |
| Zeitschriftenartikel / Publications in Scientific Journals                                                                                 | 32           |
| Editorials in wiss. Zeitschriften / Editorial in Scientific Journals                                                                       | 33           |
| Vorträge und Posterpräsentationen (ohne Tagungsband-Eintrag) /<br>Lectures and poster presentations (without conference proceedings entry) | 34           |
| Vorträge und Posterpräsentationen (mit Tagungsband-Eintrag) /<br>Lectures and poster presentations (with conference proceedings entry)     | 34           |
| Wissenschaftliche Berichte / Scientific Reports                                                                                            | 39           |

Technische Universität Wien  
Institute of Telecommunications  
Gusshausstrasse 25/E389  
1040 Wien, Austria  
Tel.: (43 1) 58801 – ext.  
Email: sekretariat@nt.tuwien.ac.at  
<http://www.tc.tuwien.ac.at>

# KONTAKTPERSONEN / CONTACTS

Nebenstelle / Extension

## Vorstand

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Tanja Zseby 38910

## Sekretariat / Secretariat

Fr. Andrea Engelmaier 38901

## Buchhaltung / Accounting

Fr. Brigitte Halzl 38915

Fr. Eva Schwab 38937

## IT-Services

Matthias Nitzschke 38830

Ing. Walter Schüttengruber 38964

Ing. Bernhard Wistawel 38924

## Embedded Systems Support

Ing. W. Gartner, MSc 38905

## Hausangelegenheiten, Brandschutz & Arbeitssicherheit

Ing. W. Schüttengruber 38964

## ○ Mobilkommunikation / Mobile Communications

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. M. Rupp 38967

Christian Doppler (CD-)Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung

Dipl.-Ing. Dr. techn. S. Schwarz 38985

## ○ Multimedia-Systeme / Multimedia Systems

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. N. Görtz 38925

## ○ Flexible Funksysteme / Flexible Wireless Systems

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. C. F. Mecklenbräuker 38980

## ○ Communication Networks

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. T. Zseby 38910

## ○ Signalverarbeitung / Signal Processing

Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. F. Hlawatsch 38963

## ○ Theorie der Telekommunikation / Communication Theory

Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. G. Matz 38916

SIGNAL  
PROCESSING

MULTIMEDIA  
SYSTEMS

MOBILE RADIO

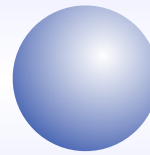
COMMUNICATION  
THEORY

COMMUNICATION  
NETWORKS

FLEXIBLE RADIO  
AND RF SYSTEMS



ADAPTIVE FILTERS  
EQUALIZATION  
PREDISTORTION  
TECHNIQUES



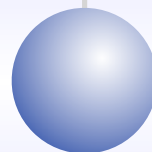
STATISTICAL SIGNAL  
PROCESSING  
SIGNAL PROCESSING  
FOR AGENT NETWORKS  
DISTRIBUTED  
SIGNAL PROCESSING



INVERSE PROBLEMS IN  
MODULATION AND CODING



SIGNAL PROCESSING FOR  
COMMUNICATIONS  
SIGNAL PROCESSING FOR  
SENSOR NETWORKS  
BIOMEDICAL SIGNAL  
PROCESSING



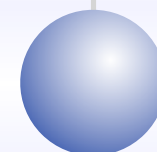
CELLULAR SYSTEMS  
MIMO TRANSMISSION  
WIRELESS MULTIMEDIA



ROBUST AND RELIABLE  
COMMUNICATIONS



CHANNEL  
CHARACTERIZATION AND  
MODELING  
RADIO RESOURCE  
MANAGEMENT



CROSS-LAYER DESIGN  
FLEXIBLE SCHEDULING  
MULTIMEDIA SOURCE  
CODING  
JOINT SOURCE-  
CHANNEL CODING



ENTROPY IN IP NETWORKS



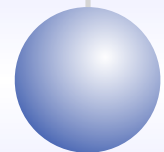
PERFORMANCE LIMITS  
TRANSCIVER DESIGN



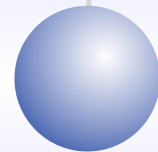
SPREAD SPECTRUM  
AND CDMA



ADAPTIVE MODULATION AND  
CODING  
MULTI-USER INFORMATION  
THEORY



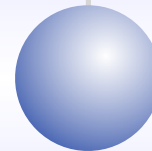
MIMO SYSTEMS  
MULTICARRIER SYSTEMS  
ITERATIVE RECEIVERS  
INFORMATION THEORY  
COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS  
WIRELESS CHANNELS



NETWORK SECURITY  
SECURITY IN CYBER-  
PHYSICAL SYSTEMS



CELLULAR SYSTEMS  
PERFORMANCE  
MEASUREMENT



VEHICULAR ADHOC  
NETWORKING  
WIRELESS SENSOR NETWORKS  
ULTRA-WIDEBAND  
COMPONENTS AND SYSTEMS



VARIABLE-RATE  
CHANNEL CODING  
MODULATION AND  
CODING FOR COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS



institute of  
telecommunications



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



RUPP



ZSEBY



HLAWATSCH



GOISER



MECKLENBRÄUKER



GÖRTZ



MATZ

# **MITARBEITER DES INSTITUTS / STAFF MEMBERS**

Stand: 16.3.2020

## **Professoren:**

Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Alois Goiser  
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Norbert Görtz  
Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Hlawatsch  
Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerald Matz  
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Christoph Mecklenbräuer  
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Markus Rupp  
Asst. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Schwarz  
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Tanja Zseby

## **Beamte des wissenschaftlichen Dienstes:**

Dipl.-Ing. Dr. techn. Walter Ehrlich-Schupita

## **Senior Scientists:**

Mag.rer.soc.oec. Dipl.-Ing. Dr. techn. Joachim Fabini  
MSc Dr. techn. Felix Iglesias Vazquez  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Langwieser  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Philipp Svoboda

## **Universitätsassistenten:**

Dipl.-Ing. BSc Ashury Mehdi  
Dott.mag. Maximilian Bachl  
Dipl.-Ing. BSc Thomas Dittrich  
Dipl.-Ing. BSc Herbert Groll  
Dipl.-Ing. BSc Alexander Hartl  
Dipl.-Ing. Fares Meghdouri  
MSc. Charmae F. Mendoza  
Dr. techn. Dipl.-Ing. Georg Pichler  
Dipl.-Ing. BSc Richard Prüller  
Dipl.-Ing. Danilo Radovic  
Dipl.-Ing. Rene Repp

## **Projektassistenten:**

Dipl.-Ing. BSc Thomas Blazek  
Mag.rer.soc.oec. Dipl.-Ing. Dr. techn. Sebastian Caban  
MSc Samira Homayouni (karenziert)

Dipl.-Ing. BSc Thomas Kropfreiter  
Dipl.-Ing. Martin Lerch  
MSc Ljiljana Marijanovic  
PhD Jelena Milosevic  
Dipl.-Ing. BSc Stefan Pratschner  
Dipl.-Ing. BSc Vaclav Raida  
MSc Blanca Ramos Elbal  
MSc Artan Salihu  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Driton Statovci  
Dipl.-Ing. BSc Bashar Tahir

**Studienassistent:**

BSc David Kaufmann  
BSc Zeraliu Erjola

**Projektmitarbeiter:**

BSc Christian Eliasch  
BSc Lukas Eller  
BSc Wolfgang Hofer  
Kiril Kirev  
BSc Gerfried Krainz  
BSc Manuel Lobinger  
Daniel Amadeus Maierhofer  
BSc Armand Nabavi  
BSc Kevin Niederwanger  
BSc Faruk Pasic  
BSc Valentin Platzgummer  
BSc Erik Sausa  
BSc Daniel Schützenhöfer  
BSc Sonja Tripkovic  
BSc Mislav Zane

**Bedienstete des nichtwissenschaftlichen Dienstes:**

Andrea Engelmaier  
Ing. MSc Wolfgang Gartner  
Brigitte Halzl  
Matthias Nitzschke  
Eva Schwab  
Ing. Walter Schüttengruber  
Ing. Bernhard Wistawel

### **Zugeteilt dem Institut:**

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Slavisa Aleksic  
O.Univ. Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr.h.c. Ernst Bonek  
Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Heinrich Garn  
Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Admela Jukan  
Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Walter Leeb  
Em.O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Mecklenbräuker  
Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Molisch  
Privatdoz. Dr. Fabio Ricciato  
Univ. Doz. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Johannes Riegl  
Ao.Univ. Prof.i.R. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Arpad Ludwig Scholtz  
Em.O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harmen R. Van As  
Univ. Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Johann Weinrichter  
Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Winzer  
Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Zemen

### **Lehrbeauftragte:**

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Kurt Lamedschwandner  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Neubauer  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Ullrich  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Wess

### **Weitere Mitarbeiter:**

Dipl.-Ing. Thomas Ergoth  
Prof. Dr. Bernard Fleury  
Betim Maloku

### **Im letzten Jahr sind folgende Mitarbeiter ausgeschieden:**

Martin Baumann  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Birgmeier  
Natalie Gartner  
BSc Dipl.-Ing. Miriam Leopoldseder  
Dr. Jelena Milosevic  
BSc Stefan Pendl  
Dipl.-Ing. Gernot Vormayr  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Erich Zöchmann

# **SPONSOREN UND PROJEKTPARTNER / SPONSORS AND COOPERATION PARTNERS**

Acoustics Research Institute, Austrian Academy of Sciences  
AIT Austria Institute of Technology GmbH  
Arbeitsgemeinschaft Digitale Transformation: Safety, Security & Privacy (ÖFG)  
Arbeitsgemeinschaft Hochfrequenztechnik (ÖFG)  
Austrian Science Fund (FWF)  
A1 Telekom Austria AG, Austria  
Brno University of Technology, Czech Republic  
Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport (BMLV)  
Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden  
CentraleSupélec, Frankreich  
Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE), La Spezia, Italy  
Christian Doppler Forschungsgesellschaft  
COST-Action CA15104 IRACON  
Czech Science Foundation (GACR)  
Dipl.-Ing. Dr. Hermann Bühler GmbH  
Department für Raumplanung (TU Wien)  
Department of Electrical and Computer Engineering, Stony Brook University / NY, USA  
Department of Electrical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology  
Disaster Competence Network Austria  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland  
EMS Solutions GmbH, Wien, Austria  
Energie AG Oberösterreich Telekom GmbH  
Energie AG Oberösterreich Data GmbH  
Energieinstitut Johannes Kepler Universität Linz  
FFG – Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft GmbH  
FH Salzburg  
Fraunhofer Institute for Integrated Circuits (IIS)  
Graz University of Technology  
Huemer IT Solutions  
Hutchison Drei GmbH, Wien, Austria  
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe (TU Wien)  
Institut für Energietechnik und Thermodynamik (TU Wien)  
Institut für Hochbau und Technologie (TU Wien)  
Institut für Informationssysteme (TU Wien)  
Johannes Kepler University, Linz, Austria  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)



Kathrein-Werke KG, Germany

KNG-Kärnten

Laboratory for Information and Decision Systems, Massachusetts Institute of Technology (MIT),  
Cambridge, MA, USA

LINZ STROM GmbH

MOOSMOAR Energies OG

Nokia Solutions and Networks Österreich GmbH

Nokia Solutions and Networks, Ulm, Deutschland

Numerical Harmonic Analysis Group (NuHAG), Universität Wien

Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)

Österreichische Forschungsgemeinschaft (ÖFG)

Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG (ORS)

Propagation Ideas and Solutions GmbH (PIDSO)

Politecnico di Torino, Italien

Radio-Amateur-Klub der Technischen Universität Wien

SBA Research GmbH

School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xian, China

Schöberl & Pöll GmbH

Siemens AG Österreich

SIMULA

Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia

Sprecher Automation GmbH

Technische Universität Graz (TU Graz)

Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau)

Technische Universität München, Deutschland

Technologieplattform Smart Grids Austria

Thuringian Centre of Innovation in Mobility (ThlMo)

TINETZ Stromnetz Tirol AG

Universität Klagenfurt – Forschungsgruppe Systemsicherheit

University of California San Diego (UCSD), San Diego, USA

University of Edinburgh, Großbritannien

University of Prishtina, Kosovo

University of Southern California (USC), Los Angeles, USA

VASKO+Partner

Wiener Stadtwerke Holding AG

Wiener Wissenschafts- und Technologiefonds (WWTF)

Wirtschaftsagentur Wien

Ziviltechniker für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH

ZTE Austria GmbH, Wien, Austria

# AKTUELLE FORSCHUNGSGEBIETE: ÜBERSICHT / CURRENT RESEARCH AREAS: SYNOPSIS

## Mobilkommunikation

Der Fokus der Forschung auf diesem Gebiet liegt für uns im Bereich der mobilen zellularen Netze. Hier werden die folgenden fünf Schwerpunkte behandelt: Messung und Simulation von Funkübertragungsstrecken der fünften Generation (5G) und darüber hinaus, speziell im Bereich sogenannter Millimeterwellen und Full-Dimension MIMO Systeme; Entwicklung und Verbesserung von Sende/Empfangs Signalverarbeitungsalgorithmen; Simulation und Optimierung dichter heterogener Mobilfunknetze; Analyse und Modellierung des paketvermittelten Verkehrs und schichtübergreifende Optimierung von Diensten in Mobilfunknetzen.

Ein signifikanter Teil der Forschung im Bereich Mobilkommunikation findet im Zuge des Christian Doppler (CD-)Labors für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung statt. Gemeinsam mit unseren Unternehmenspartnern A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG, Nokia Solutions and Networks und seit 2019 ÖBB Infrastruktur AG, haben wir es uns in diesem CD-Labor zum Ziel gesetzt einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Mobilfunktechnologien der 5. Generation und darüber hinaus zu leisten, wobei unser Fokus auf Szenarien mit sich (potentiell schnell) bewegenden (menschlichen und maschinellen) Benutzern liegt (Autos, Züge aber auch Fußgänger und Radfahrer). Hierbei liegen unsere Schwerpunkte auf vier Forschungsmodulen, die wir jeweils gemeinsam mit einem Unternehmenspartner behandeln:

- 1) In Modul 1 widmen wir uns gemeinsam mit Nokia Solutions and Networks, einem Weltmarktführer im Bereich Kommunikationsnetze, der Verbesserung der Physikalischen Schicht für schnell bewegte Benutzer. Kernthemen dieses Moduls sind neuartige Vielträger Modulationsverfahren und massive Mehrfachantennensysteme. Unsere Forschung zielt dabei vor allem auf die Optimierung der Ressourceneffizienz und Robustheit dieser Technologien im Bereich hoher Mobilität ab.
- 2) In Modul 2 untersuchen wir gemeinsam mit A1 Telekom Austria AG, dem führenden österreichischen Mobilfunkanbieter, innovativen Technologien die das Potential haben den Mobilfunk entscheidend voran zu bringen. Speziell liegt unser Fokus in diesem Modul auf der drahtlosen Kommunikation im Millimeterwellen Bereich (ungefähr 30 – 300 GHz) und auf der Erweiterung des zellularen Mobilfunks durch selbstständige/netzgesteuerte Ad-Hoc Kommunikation zwischen Geräten. Mobilfunk im Millimeterwellen Bereich bietet zahllose Herausforderungen, hat jedoch auch äußerst großes Potential, da dort viel ungenützte Bandbreite zur Verfügung steht, die signifikante Steigerungen der Netzkapazität von Mobilfunknetzen verspricht. Unser Interesse gilt zunächst der messtechnischen Charakterisierung von Funkübertragungsstrecken bei 60 GHz und im weiteren Zuge der Entwicklung effizienter Sende-Empfänger. Das Thema Ad-Hoc Kommunikation ist für uns speziell im Bereich der Kommunikation zwischen Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr von Interesse, wie zum Beispiel, zur Realisierung von Stau/Unfall-Frühwarnsystemen (Road Safety) und zur Bereitstellung von Internet für Logistik und Multimedia Applikationen in Autos, Zügen, U-Bahnen, Straßenbahnen, etc. Die Kombination aus Mobilfunk und Ad-Hoc Kommunikation verspricht dabei eine deutliche Steigerung der Zuverlässigkeit und Effizienz der Datenübertragung.
- 3) In Modul 3 behandeln wir gemeinsam mit Kathrein Werke KG, einem Weltmarktführer im Bereich Kommunikationstechnologien, das Themengebiet Netzverdichtung durch heterogene Netzstrukturen und verteilte Antennensysteme. Die Verdichtung der Netzstrukturen wird allgemein als wichtigster Faktor zur Realisierung der zukünftig benötigten Netzkapazitäten gesehen. Mit zunehmender Anzahl an Basisstationen in Mobilfunknetzen (small cells) und verteilten Antennensystemen rückt auch die Koordination verschiedener Netzknoten zur Verminderung der Interferenz in den Fokus der Forschung. Einen wichtigen Aspekt hierbei stellt die akkurate Modellierung der Interferenz in solchen heterogenen Netzen dar, um basierend darauf effizient große Mobilfunknetze mathematisch abbilden und optimieren zu können. Hierfür setzen wir Methoden der sogenannten stochastischen Geometrie ein.
- 4) In Modul 4 entwickeln wir gemeinsam mit ÖBB Infrastruktur AG Lokalisierungsmethoden auf Basis drahtloser Kommunikationstechnologien unter Einsatz von Techniken des maschinellen Lernens. Diese

Methoden ermöglichen eine Analyse großräumiger Personenströme im öffentlichen Verkehr und unterstützen eine dynamische Optimierung des Mobilfunknetzes auf Basis zeitlich und räumlich aufgelöster Bedarfsvorhersagen. Ein wichtiger Teil unserer Entwicklungstätigkeit umfasst die Implementierung und Erweiterung unserer LTE/LTE-Advanced und 5G Link- und System-Level Simulatoren. Diese Simulatoren stehen frei zur akademischen Nutzung auf der Instituts-Webseite zum Download bereit und zählen zu den erfolgreichsten Simulatoren dieser Art weltweit (>50.000 Downloads). Die Simulatoren werden auch auf kommerzieller Basis vertrieben und von zahlreichen 3GPP Firmen eingesetzt.

In geförderten Forschungsprojekten mit dem Industriepartner, A1 Telekom Austria AG haben wir an der Entwicklung und Verfeinerung von Analysemethoden und Modellen für Verkehrsströme in Netzen der fünften Generation gearbeitet. Im BRIDGE Projekt SEMONE werden die Performancedaten von verteilten Messungen ausgewertet und zusammengeführt mit netzinternen Datenquellen. Das aktuelle Forschungsthema orientiert sich an der Frage wie man ein reaktives Netzwerk mit nicht intrusiven Methoden zuverlässig vermessen kann. Dies ist eine große Herausforderung da Messungen auf unabhängigen und nicht überwachten Endgeräten stattfinden sollen. Das Ziel ist es, basierend auf diesen Informationen Modelle zu erstellen, um das Netz und die Daten detailgetreu zu simulieren und analytisch in Echtzeit zu optimieren. Dieses Konzept wird nun auch in Android Performance Tools auf verteilte Systeme in der ganzen EU ausgerollt.

Die Omnipräsenz von Internetdiensten spiegelt sich auch in der neuen Mobilität der Benutzer. In diesem Kontext hat es auch weiterhin eine Zusammenarbeit mit der ÖBB TS gegeben, mit dem Ziel noch mehr Kunden ein perfektes mobiles Serviceerlebnis in Zügen zukommen zu lassen. In einer Erweiterung dieser Aktivitäten wurden nun auch Optimierungen an der Mobilfunk relevanten Infrastruktur entlang Bahnstrecken und in Tunnels mit der ÖBB Infra vorgenommen.

Im Zuge der Entwicklung von immer neuen Diensten haben sich die Anforderungen an die Qualität von Netzwerken geändert. Im diesem Jahr konnte die bestehende Kooperation mit A1 weitergeführt werden und um neue Themen erweitert werden. Ziel der Forschungstätigkeiten ist es, die Leistungsfähigkeit von Internetzugängen im Allgemeinen in einem globalen operatorweiten Kontext erfassbar zu machen. Das spezielle Augenmerk liegt hierbei auf mobilen Zugängen der Technologien LTE, 5G, sowie stationären Zugängen in der Technologie ADSL. Die Herausforderung ist die aktuelle gesellschaftliche Entwicklung welche zu einem verstärkten Einsatz von mobilen Technologien als Internetanschluss führt. Diese Änderung im Benutzerverhalten macht es dem Operator unmöglich bestehende Lösungen zur Sicherung der Servicequalität weiter zu verwenden. Mit Hilfe der in der Forschungsgruppe aufgebauten Kompetenzen sollen Lösungen gefunden werden, den Verkehr auch in Zukunft zuverlässig optimieren zu können.

Die Spezialausbildung in der Mobilkommunikation, zu der verschiedene Bereiche des Instituts beitragen, zieht Studenten der ganzen Welt an. Internationale Kontakte werden schon während des Master Studiums geknüpft: in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der TU München bieten wir ein gemeinsames internationales Mobilfunkseminar an und in Zusammenarbeit mit den Technischen Universitäten Bratislava und Brno halten wir ein Seminar in Bratislava, Brno und Wien gemeinsam ab.

## **Mobile Communications**

In the broad field of mobile communications our group focuses on four major topics within the scope of next generation mobile cellular networks: link layer measurements and simulations of fourth/fifth generation (4G/5G) and beyond mobile communications, simulation and optimization of heterogeneous cellular networks, traffic analysis and simulation at the IP layer and cross layer optimizations. A significant part of our research in the field of mobile communications is financed by the Christian Doppler (CD-)Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion. Together with our corporate partners A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG, Nokia Solutions and Networks and since 2019 ÖBB Infrastruktur AG, we set our objective within this CD-Lab on significantly contributing to the development of fifth generation and beyond mobile communications technologies, with focus on scenarios with (potentially fast) moving (human and machine-type) users (cars, trains, but also pedestrians and cyclists). Our work

is partitioned into the following four research modules: 1) In research module 1, we investigate together with Nokia Solutions and Networks, a world market leader for communication networks, possible strategies for enhancing the physical layer of mobile network technologies, especially for high-mobility users. Core topics of this research module are novel multicarrier modulation schemes and massive multiple-input multiple-output technologies. We are targeting an enhancement of the resource efficiency as well as the robustness of such technologies for high-mobility scenarios. 2) In research module 2 we examine together with our partners from A1 Telekom Austria AG, the leading Austrian mobile network operator, innovative technologies that have the potential to substantially advance mobile communications. Specifically, our focus is on wireless communications in the millimeter wave domain (approximately 30 to 300 GHz) and on the extension of cellular mobile networks by autonomous or network controlled ad-hoc communication between devices. Mobile communications in the millimeter wave domain faces countless challenges, but it also has significant potential since a vast amount of untapped spectrum is available in that regime, promising corresponding enhancements in mobile network capacities. Our interest is initially focusing on the measurement based evaluation of wireless communications at 60 GHz and, based on these results, on developing efficient transceiver architectures and algorithms. Wireless ad-hoc communications is for us of special interest in the context of vehicular communications and wireless communications in public transport. In these areas, wireless communication is for instance required for intelligent transport systems and road safety applications, but also for providing online multimedia applications in cars, trains, trams and metros. A smart combination of cellular mobile communications and ad-hoc networks promises significant dependability and efficiency gains of such wireless connections. 3) In research module 3, we investigate together with Kathrein Werke KG, a global market leader for communication technologies, the subject area of network densification through heterogeneous network architectures and distributed antenna systems. Such network densification is generally considered as central enabler for providing the network capacities required in future mobile networks. With an increasing number of base stations in mobile networks (small cells) as well as distributed antenna systems, a coordinated operation of different network nodes becomes increasingly important, to control and mitigate the interference between such nodes. An important aspect to enable efficient and realistic mathematical representation of dense heterogeneous networks, is accurate modeling of interference amongst network nodes, for which we utilize so called stochastic geometry methods. 4) In research module 4, we develop together with ÖBB Infrastruktur AG localization techniques based on wireless communication technologies, utilizing novel machine learning concepts such as deep neural network learning. These methods facilitate large scale analysis of person flows in public transportations and support a dynamic self-optimization of the mobile network based on spatiotemporal demand predictions. To enable computer based investigation of dense heterogeneous cellular networks and to facilitate the evaluation of coordination methods developed for such networks, we rely on our existing up- and downlink link- and system-level standard-compliant LTE/LTE-A simulators. These simulators are publicly available for academic users to download on our webpage. The free simulators are highly popular within the scientific community (>50.000 downloads) and are also commercially available. The latter are in usage by a large number of 3GPP companies. We are currently also developing and implementing link- and system-level simulators for 5G networks, which build the basis for the research work conducted in all three research modules. New releases of these simulators are continuously made available to our partners, following newest developments within mobile network standardizations.

In an FFG funded research cooperation with our industry partner A1 Telekom Austria AG we are developing and refining analytical methods and models for traffic flows in 5G networks. In this BRIDGE project SEMONE performance benchmarks will be migrated from central coordinated measurements to crowdsourced distributed events at the end terminal of the users. The current research challenge is the integration of non-intrusive benchmark measurements for reactive networks. The ultimate goal is a distributed setup to analyze, measure and simulate operational mobile networks.

The concept of minimal intrusive probing to characterize mobile networks has been put to an European level by contributing measurement methodologies to various performance measurement

tools. In this workstream we will deploy the algorithms resulting from our previous research into mobile nodes all over Europe.

Internet usage for nomadic customers is becoming a central element for planning in mobile networks. In this context, we continued the cooperation with the Austrian Federal Railways (OEBB-TS). We currently work towards identifying room for improvements for mobile coverage in high-speed trains. In this context we are also further developing our performance measurement algorithms towards ultra-fast probing to allow tests in motion. In a recent extension of this work we are optimizing the mobile coverage provided by infrastructure along the rails for service on trains together with the ÖBB-Infra.

The development of new services has changed the requirements for the quality monitoring of networks. In this year, we continued our cooperation action with A1 in this area. The aim of the research is to focus the development of Internet access in an operator-wide context. The focus is given to mobile access technologies, LTE and 5G, and the first time in this cooperation the ADSL technology. The challenge is the current social development, which leads to an increased use of mobile networks as the last mile. This strong increase in volume generated at the customer side is a challenge for the quality of service system of existing solutions. With the help of this research we develop method to measure and characterize the traffic flows as well as optimizing their resource consumptions.

The dedicated course plan in mobile communications attracts students from all over the world. International socializing is an activity already in the master program: together with ETH Zurich and TU Munich we offer an International Seminar on Mobile Communications. Furthermore, in cooperation with the Technical Universities of Bratislava and Brno, we conduct a seminar series in Bratislava, Brno, and Vienna, as part of the Mobile Communications Seminar lecture.

### **Christian Doppler Labor „Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung“**

Das Christian Doppler Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung beschäftigt sich mit grundlegenden Forschungsfragen der drahtlosen Kommunikation, die speziell im Bereich großer Nutzerdichten mit sowohl statischen als auch bewegten Benutzern (wie zum Beispiel im städtischen Bereich) auftreten. Ziel des Labors ist es, die Netzkapazität und den Datendurchsatz speziell für solche Szenarien signifikant zu verbessern und gleichzeitig auch eine zuverlässige Kommunikation selbst bei hoher Mobilität zu gewährleisten. Dementsprechend liegt das Hauptaugenmerk des Labors auf Fragen der Verfügbarkeit, Latenzzeit, Ausfallsicherheit und Effizienz der drahtlosen Kommunikation. Mobilfunktechnologien der fünften Generation bilden dabei die Grundlage des Forschungslabors. Um die Vision des Labors zu realisieren, bedarf es neuartiger Funktechnologien sowohl auf Link- als auch auf System-Ebene. Auf Link-Ebene versprechen neue Mehrträger-Modulationsverfahren verbesserte Anpassungsfähigkeit der Übertragung an die Eigenschaften des Übertragungskanal und die Erfordernisse der Benutzer. Des Weiteren versprechen Trägerfrequenzen im Millimeter-Wellen Bereich (mmWave) und der Einsatz großer Antennen-Arrays eine signifikante Erhöhung der Netzkapazität. Ziel des Labors ist es diese Versprechen zu realisieren, in dem einerseits Messkampagnen durchgeführt werden, um den Übertragungskanal grundlegend zu charakterisieren, und andererseits, basierend auf diesen Ergebnissen, Sende-Empfangsmethoden zu entwickeln, um eine effiziente und zuverlässige Datenübertragung zu gewährleisten. Auf System-Ebene liegt der Fokus des Labors auf der Verdichtung heterogener Netzstrukturen und der Kombination von Mobilfunk mit Ad-Hoc Funktechnologien, um durch dynamische und adaptive Koordination der Medium Access Control (MAC) Schicht und der Netzsicht die Verfügbarkeit und Effizienz des Mobilfunknetzes zu maximieren.

Das Christian Doppler Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung hat seine Arbeit im Jänner 2016 mit drei Forschungsmodulen aufgenommen. Jedes dieser Forschungsmodule ist mit einem der drei Unternehmenspartner assoziiert. In Modul 1 werden gemeinsam mit Nokia Solutions and Networks neue Mehrträger-Modulationsverfahren entwickelt und der Einsatz von großen Antennen-Arrays in Mobilfunknetzen untersucht. In Modul

2 liegt der Forschungsschwerpunkt der gemeinsamen Entwicklungen mit A1 Telekom Austria AG sowohl auf der Ausnützung der großen verfügbaren Bandbreite im Millimeter-Wellen Bereich, als auch auf der Kombination von Mobilfunk mit Ad-Hoc Funktechnologien, speziell im Kontext der sogenannten Vehicular Communications. In Forschungsmodul 3 werden mit dem Unternehmenspartner Kathrein Werke-KG Funktechnologien auf System-Ebene untersucht, sowohl im Hinblick auf Verdichtung heterogener Netzstrukturen durch Einsatz verteilter Antennensysteme und sog. small cell Basis-Stationen, als auch durch Verwendung von großen Antennen-Arrays auf Makro Basis-Stationen um Benutzer im städtischen Bereich innerhalb und außerhalb von Gebäuden effizient und zuverlässig zu versorgen. Im Jänner 2019 wurde das Labor um ein viertes Forschungsmodul gemeinsam mit ÖBB Infrastruktur AG erweitert. In diesem Modul 4 liegt der Fokus auf Lokalisierungstechnologien auf Basis drahtloser Kommunikationssysteme und auf der Analyse großräumiger Personenströme im öffentlichen Verkehr. Diese Datenanalyse wird im weiteren Zuge ausgenutzt um die drahtlose Netzarchitektur selbstständig und dynamisch zu optimieren.

### **Christian Doppler Lab „Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion“**

The Christian Doppler Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion addresses fundamental research questions arising from large numbers of static and mobile wireless users especially within urban agglomerations. The research focus is not only on enhancing mobile network capacity and best-effort high data rate services, but equally on dependable (reliability- and delay-critical) data transmissions. Under these circumstances we focus on questions relating to efficiency, reliability, latency and availability of wireless communications. The scope of the laboratory is on enhancing candidate 5G link and system level technologies to realize our vision of a connected Society in Motion through combined heterogeneous cellular and ad-hoc wireless networks, employing novel PHY waveforms, carrier frequencies in the millimeter wave (mmWave) band and full-dimension multiple input multiple output (FD-MIMO) multi-antenna concepts, as well as dynamic coordination of the medium access control (MAC) and the network layer. Our research work involves basic measurement-based wireless channel characterization in the mmWave band to acquire an understanding of channel fading behavior.

The Christian Doppler Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion started its work in January 2016 with three work modules. Each of the modules is associated to one of the three industrial partners Nokia Solutions and Networks (Module 1), A1 Telekom Austria AG (Module 2) and Kathrein-Werke KG (Module 3). The focus of Research Module 1 is on PHY enhancements, specifically on novel multicarrier modulation schemes that support flexible partitioning and allocation of the available time-frequency resources, and on FD-MIMO/massive MIMO systems that utilize large-scale two-dimensional antenna arrays for three-dimensional beamforming. The focus of Research Module 2 is on wireless communication technologies that are new to cellular mobile networks and that potentially require rethinking of network deployment and network access management. Specifically, we consider wireless transmission in the mmWave band, which is per se not particularly well-suited to mobile communications in terms of propagation characteristics, as well as, cellular assisted vehicular communications. In Research Module 3, the focus of our research work is on system level based evaluation of urban heterogeneous networks (HetNets) containing indoor and outdoor small cells, as well as FD-MIMO based macro base stations to serve users inside and outside buildings. In January 2019 the Lab was extended by a fourth research module with the industrial partner ÖBB Infrastruktur AG. In this Research Module 4 the focus is on localization techniques, utilizing wireless communication technologies. Such localization techniques enable the analysis of large scale person flows and thereby enable a dynamic self-optimization of the wireless network architecture itself, by exploiting location awareness and spatiotemporal demand variations of users.

## Multimedia Systems

Research in this field is about **multimedia signal processing for big data** and **coding for multimedia transmission**. On the signal-processing side, the work particularly involves advanced methods for big data such as compressed sensing, iterative recovery algorithms and sparse model selection -- a variety of machine learning -- with applications, e.g., in image processing and communications. For multimedia transmission, topics include multiuser information theory and flexible and powerful channel codes that can be decoded efficiently.

### Compressed Sensing (CS):

Compressed sensing is about (re-)sampling (digital) signals at a sampling rate far below the classical sampling theorem; perfect (or at least very high quality) recovery is still possible, with suitable structure (such as „sparsity“) in the signal. In practical applications (such as MRI scanners) the vector dimension of the signals can be very large (100000 and more), so extremely efficient recovery algorithms are crucial as well as good dictionaries to perform the sampling process, which is in fact a multiplication with a measurement matrix (the dictionary). Work items include fast recovery of very high-dimensional signals with different types of „structure“ (including „sparsity“ and „density“) by iterative algorithms, in particular the application of approximate message passing (AMP) to problems in image processing but also in communications. An example is the detection of radio-frequency identification tags: the classical problem of „collisions“ is re-interpreted as a compressed sensing measurement, and the application of AMP allows to detect a sparse selection of RFID tags from a huge list that in fact forms the compressed sensing measurement matrix.

### Machine Learning:

Estimation of Information Measures:

While information theoretic quantities such as entropy and mutual information are extensively used in the training and evaluation of machine learning systems, this usage is profoundly different from their applications in coding theorems. In the context of machine learning, these quantities need to be estimated. We investigate fundamental limits of this estimation problem.

Domain Adaptation for Semantic Segmentation:

Domain adaptation approaches in deep learning problems are investigated with a focus on semantic segmentation tasks in the medical imaging domain. While the literature is dominated by the adversarial learning paradigm, the resulting algorithms tend to be hard to train and need heavy tuning. We are investigating alternatives, with a focus on medical imaging applications.

### Coding:

Error-correction channel coding has a key role in digital communication systems. Due to delay constraints of the applications, codes with small-to-medium block size are of particular interest. A special problem, which is very important in practice, is the realization of a flexible “adjustable” code rate, as time-variant fading channels necessarily require adaptive modulation and coding. We investigate Low-Density Parity-Check (LDPC) codes specifically constructed for those situations. A key problem of code design is to avoid short cycles in the code graph in order to allow for better decoding results. On the one hand we investigate code designs that avoid short cycles by construction, on the other hand we have introduced a transformation-based representation of quasi-cyclic LDPC codes that allows for a simple cycle analysis that can be used in numerical code design. We also consider extensions of those techniques to design codes with adjustable code rate.

Beyond the conceptual side of research in algorithms, we also work on implementing channel encoders and decoder by programmable hardware (FPGA, Field-Programmable Gate Arrays). The goal is a highly efficient realization of practically relevant LDPC channel encoders and decoders in order to investigate their performance at very low bit-error rates and to compare measurements with analytical results.

## Flexible Funksysteme

Die heutigen 4G Funktechnologien sind kommerziell verfügbar und erlauben eine effiziente Verbreitung digitaler Inhalte: Das Internet ist mobil und erlaubt die Generierung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und Manipulation von Information. Die aktuelle technische Herausforderung besteht in der Erweiterung des (mobilen) Internets zur *Produktion*, zum *Transport*, zur *Verteilung*, *Lagerung* und *Manipulation* von materiellen Objekten („Internet der Dinge“). Funktechnologien müssen hierzu *verlässlich* („dependable“) funktionieren. Dies erfordert wesentliche Verbesserungen der Verfügbarkeit und Übertragungslatenz, garantierten Datendurchsatz, sowie Energieeffizienz und Kosten. Wir befassen uns daher mit 5G Funktechnologien, insbesondere im Zentimeter- und Millimeterwellenbereich, sowie verlässlichen Übertragungsverfahren für hochmobile Teilnehmer, deren Verhalten bei hoher Netzlast, sowie energieeffizienter Nachrichtenübertragung.

Die Verwendung von MIMO Übertragungsverfahren mittels Antennengruppen ist der kommerzielle Stand der Technik im Mobilfunk. Deutliche Verbesserungen gegenüber 3G wurden bereits in 4G erreicht hinsichtlich spektraler Effizienz durch dynamische Ressourcenallokation unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslast, MIMO Verfahren mit Vorkodierung und Antennenmultiplex. Strahlformung und *massive* MIMO Übertragungsverfahren sind die Basis für 5G-Technologien.

Im Zusammenhang mit dem jüngsten Aufschwung an peer-to-peer und ad-hoc Netzen erlebt auch die direkte Funkkommunikation zwischen mobilen Teilnehmern eine Renaissance, insbesondere hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Kommunikation von Fahrzeugen untereinander (mittels ETSI ITS G5 und IEEE 802.11p) für zukünftige aktive Sicherheitssysteme. Kooperative Systeme sind im Straßenverkehr ein wichtiges Forschungsfeld geworden. Darüber hinaus eröffnet die funkbasierte Vernetzung von Sensoren und Messgeräten eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder im Telematikbereich: *Intelligent Transport*, *Smart Metering*, *Intelligent Production*, u.v.m.

Hauptaugenmerk intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Verkehrstelematik liegt momentan bei Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Effizienz. Aufgrund des limitierten Frequenzspektrums ist es notwendig, dass lizenzierte Frequenzbänder spektral effizienter genutzt werden, um bei gleichbleibender Dienstgüte das gesamte Spektrum möglichst gut auszuschöpfen. Wesentliche Effizienzsteigerungen erwarten wir uns durch den Einsatz dynamischer Ressourcen-Zuteilungsverfahren, die die aktuelle Lastsituation, Kanalprädiktion sowie Übertragungsverzögerungen berücksichtigen. Hier sehen wir einen nahtlosen Übergang von 3GPP Long Term Evolution Advanced (LTE-A) zu heterogenen 5G Funknetzen mit Hilfe von software-defined radio (SDR) Konzepten.

Großes Potential an Einsparung von Ressourcen, die ein Kommunikationssystem in Anspruch nimmt, wird durch den Einsatz nichtlinearer Detektionsverfahren erreicht. Die Nichtlinearität wird an die Störzusammensetzung angepasst, so dass die Störung diskriminiert und die Information weitgehend unberührt gelassen wird. Solche Kommunikationssysteme werden als störungstolerante Kommunikationssysteme bezeichnet.

Eine Familie von Funksystemen zeichnet sich durch extreme Breitbandigkeit bei gleichzeitig niedriger spektraler Leistungsdichte aus. Diese ultrabreitbandigen Übertragungsverfahren ermöglichen eine energieeffiziente Kommunikation zwischen elektronischen Sensoren und Aktuatoren über kurze Reichweiten in Gebäuden und stören existierende schmalbandige Systeme nur wenig. Hier steht weniger die spektrale Effizienz, als vielmehr die Leistungseffizienz der Übertragungsverfahren im Vordergrund und sie ermöglichen drahtlose Sensorik und robuste eingebettete Systeme, die weder eine Batterie noch eine externe Antenne erfordern. Wir erforschen pulsbasierte UWB-Übertragung für leistungseffiziente Funkschnittstellen im Nahbereich mittels integrierter Antennen am integrierten Schaltkreis zur Lokalisierung und Datenübertragung. Dies ermöglicht eine verlässliche Assoziation von Daten mit materiellen Objekten: Ein Schlüssel für das Internet der Dinge.



## Flexible Wireless Systems

Present 4G wireless systems are commercially available and enable efficient transmission and distribution of digital content: The Internet has arrived in the mobile domain and allows the generation, transmission, distribution, storage, and manipulation of information. The next technical challenge is the extension of the mobile Internet to production, transportation, distribution, storage, and manipulation of objects (“internet of things”). Wireless technologies need to become dependable. This requires major improvements in availability (coverage) and transmission latency, packet delivery guarantees, guaranteed data rates, as well as energy efficiency and cost structure. Therefore, we investigate 5G transmission techniques, notably in the centimeter and millimeter wave bands, dependable connectivity for highly mobile users, their behavior at high network load, as well as energy efficient data transmission.

The use of MIMO transmission using antenna array technology has become the commercial state of the art in mobile communications. Major improvements compared to 3G have been achieved in 4G networks in terms of spectral efficiency by dynamic resource allocation which takes into account the current system load, advanced precoding techniques, and spatial multiplexing. Beamforming and massive MIMO-transmission will be the core of 5G technologies.

Direct radio communication between mobile entities enjoys a renaissance in connection with the recent interest in peer-to-peer and ad-hoc networks. This is especially true for safety-related vehicle-to-vehicle communication (ETSI ITS G5 and IEEE 802.11p) to enable advanced active safety. Traffic telematics applications are currently under intense research and development for making transportation safer, more efficient, and cleaner. Co-operative systems have become an important field of research in the area of telematics. Wireless networking of sensors and instrumentation enables new application fields: Intelligent Transport, Smart Metering, Intelligent Production, etc. We investigate dynamic resource allocation schemes which employ channel prediction, take into account the current system load, as well as transmission latency. Here, we see a seamless transition from 3GPP Long Term Evolution Advanced (LTE-A) towards 5G heterogeneous wireless networks based on software-defined radio (SDR) concepts.

Nonlinear detection techniques offer resource efficient solutions in communication systems. The nonlinearity is adapted to the interference scenario, such that the interference is discriminated whereas the information of interest is detected largely unperturbed. Such communication systems are interference resilient.

One family of wireless systems features extreme bandwidths and low power spectral densities. These ultra-wideband (UWB) transmission techniques enable energy efficient communication among electronic sensors and actuators over short ranges in buildings. They cause little interference to existing small bandwidth systems. Here, the spectral efficiency is of less importance than the power efficiency of the transmission scheme in short-range links. Key applications will be low-power sensor networks and robust embedded systems which require neither batteries, nor external antennas. We are exploring UWB impulse-radio techniques experimentally with integrated on-chip antennas for power-efficient short-range wireless communication, sensing, and localization. Thus, UWB technology provides a dependable association of data with objects: A key to the Internet of Things.

## Communication Networks

The main research areas of the communication networks (CN) group at the Institute of Telecommunications (TC) are network security and secure communication in Cyber-Physical Systems (CPSs). The group is especially active in the field of reactive security measures, with focus on network supervision and anomaly detection methods. For Cyber-Physical Systems protection the group works on secure communication solutions for smart grid environments and Cyber-Physical production systems.

### Network Security

The protection of communication networks against new and unexpected attacks remains a

challenging task. Attacks become more sophisticated. New vulnerabilities emerge every day. Proactive solutions often fail if new attack strategies are used or undetected vulnerabilities are exploited. Therefore, network supervision methods are essential to establish situational awareness in communication networks. They help to detect anomalies in communication patterns and provide the first step for the detection of new attack types.

The communication networks group works on network supervision and network protection methods, anomaly detection techniques and mitigation strategies.

#### Secure Communication in Cyber-Physical Systems

Cyber-physical systems (CPS) interconnect real world physical systems with computational components in cyberspace. Cyber-physical systems provide the basis for many critical infrastructures (such as smart power grids) and are therefore tempting targets for all kinds of attackers. As a consequence, communication networks for cyber-physical systems have high security demands. Interfering with supervision and control functions in cyberspace can influence real world physical systems, which can lead to the damage of physical devices, malfunction of critical processes and endangerment of human lives.

The Communication Networks group works on methods to protect and supervise communication networks for Cyber-Physical Systems. The group focuses on secure communication methods for smart grid environments and Cyber-Physical production systems. The group works on IPv4 and IPv6 based communication in smart grids for smart metering and wide area monitoring systems (WAMS).

### **Signalverarbeitung**

Die statistische Signalverarbeitung in drahtlosen Sensornetzen bildet einen wesentlichen Schwerpunkt unserer Arbeit. Ein Beispiel ist die Detektion von Fahrzeugen und die Schätzung ihrer zeitabhängigen Positionen aufgrund von Daten, die z.B. von Radar-, Sonar- oder bildgebenden Sensoren geliefert werden. Wir bevorzugen einen verteilten (dezentralen, kooperativen) Ansatz, der ohne eine zentrale Verarbeitungseinheit oder Kommunikation zwischen weit entfernten Sensoreinheiten auskommt. Aktuelle Forschungsergebnisse sind verteilte und zentralisierte Algorithmen zur Lokalisierung und Verfolgung einer unbekannten Anzahl von mobilen Objekten mit unbekannter Zuordnung zu den Messdaten.

Ein wesentliches Ergebnis unserer Arbeit war die Einführung von Faktorgraphen und des “belief propagation”-Algorithmus im Bereich der multiplen Objektverfolgung. Die auf diesem Ansatz beruhenden Methoden zeichnen sich durch hohe Effizienz, Skalierbarkeit und Vielseitigkeit aus, und sie sind in der Lage, die Messdaten mehrerer Sensoren zu kombinieren und sich adaptiv auf zeitvariante Systembedingungen anzupassen. Wir entwickelten ferner Algorithmen zur multiplen Objektverfolgung, bei denen die Objektzustände und die Messdaten durch endliche Zufallsmengen modelliert werden, sowie eine verteilte Methode zur Verfolgung eines Objekts, das im Beobachtungsgebiet wiederholt erscheinen und verschwinden kann.

Eine zweite aktuelle Forschungsrichtung ist die medizinische Signalverarbeitung. Motiviert durch die Tatsache, dass die Analyse der Bewegung von Arterien Rückschlüsse auf eine Arterienverkalkung ermöglicht, entwickelten wir ein Zustandsraummodell und eine Methode zur Schätzung der Bewegung der Halsschlagader basierend auf einer Ultraschall-Videosequenz. Unsere Methode kombiniert einen “optical flow“-Algorithmus mit einem erweiterten Kalman-Filter und ist robust gegenüber Fehlern in den Ultraschallbildern.

Methoden der Signalverarbeitung sind eine wesentliche Komponente mehrerer weiterer Forschungsgebiete. Ergänzende Beschreibungen von Forschungsaktivitäten im Bereich der Signalverarbeitung finden sich in den Abschnitten Mobilkommunikation, Theorie der Telekommunikation, Flexible Funksysteme und Multimediasysteme.

## Signal Processing

A major focus of our work is statistical signal processing in wireless sensor networks. An example is the task of detecting vehicles and estimating their time-varying positions based on data provided by sensing devices such as radar, sonar, or cameras. We emphasize a distributed (decentralized, cooperative) approach that does not require a central processing unit or communication between distant sensor units. Our recent results include distributed and centralized algorithms for tracking multiple mobile objects in the challenging case where the number of objects and the association between measurements and objects are unknown.

A notable outcome of our research has been the introduction of factor graphs and the belief propagation algorithm to the field of multi-object tracking. The belief propagation approach is advantageous because of its superior efficiency, scalability, and versatility. Our belief propagation-based multi-object tracking algorithms are able to fuse the measurements of multiple sensors, and to continually adapt to time-varying system parameters. We also devised multi-object tracking algorithms in which the object states and the measurements are modeled by finite point processes. In particular, the use of marked finite point processes enables the estimation of entire object trajectories with consistent identification of the objects. Finally, we developed a distributed tracking method for a single object that may randomly appear and disappear in the surveillance area.

Another line of our research is medical signal processing. Motivated by the fact that an analysis of the movement of arteries yields effective indicators for atherosclerosis, we developed a state-space model and a method for tracking the movement of the carotid artery based on an ultrasound video sequence. Our method achieves superior robustness to artifacts specific to the ultrasound modality by using a joint fusion-and-tracking approach that combines an optical flow algorithm with an unscented Kalman filter.

Signal processing methods are an essential part of several other research areas. For complementary signal processing research, see the sections Mobile Communications, Communication Theory, Flexible Wireless Systems, and Multimedia Systems.

## Theorie der Telekommunikation

Schwerpunkt unserer Arbeiten sind Methoden der Signalverarbeitung für Big Data und drahtlose Kommunikations- und Sensornetze.

Das junge Gebiet der Graphsignalverarbeitung wird erfolgreich zur Analyse von Datensätzen aus sozialen Netzwerken, Kommunikationsnetzen, Infrastrukturnetzen, biologischen Netzen, sowie von Multimediadaten eingesetzt. Hier haben wir Verfahren entwickelt, die es erlauben, fehlende Datenpunkte in abgetasteten Graphsignalen zu rekonstruieren. Als Gütekriterium für die Glattheit des Signals verwendeten wir dabei die durch den zugrundeliegenden Graphen induzierte Totalvariation. Dies führte zu nichtdifferenzierbaren Minimierungsproblemen, welche wir mittels moderner Methoden der konvexen Optimierung lösten. Die resultierenden Algorithmen zeichnen sich durch hohe Recheneffizienz und die Eignung zur verteilten Implementierung aus, was die praktische Anwendung auf Big-Data-Datensätze ermöglicht. Anhand eines Datensatzes mit Amazon-Produkten und deren Bewertungen konnten wir die hervorragende Leistungsfähigkeit unserer Methode demonstrieren.

Weiters beschäftigten wir uns mit dem Problem des Lernens der Struktur eines Graphen anhand großer, möglicherweise unvollständiger und fehlerbehafteter Datensätze. Wir formulierten diese Aufgabe als quadratisches Optimierungsproblem und lösten dieses mit einer effizienten Implementierung des ADMM-Algorithmus, die linear mit der Anzahl an Datenpunkten skaliert und daher auch für große Datensätze geeignet ist. Die Leistungsfähigkeit unserer Methoden stellten wir anhand echter Daten unter Beweis. Dabei gelang es uns unter anderem, aus anonymen Abstimmungsergebnissen des Österreichischen Nationalrats die Fraktionszugehörigkeit der Abgeordneten zu bestimmen.

Als dritten Schwerpunkt im Bereich Graphsignalverarbeitung setzten wir uns mit dem „Clustering“-Problem auseinander, d.h. mit der Gruppierung von Datenpunkten so dass die Gruppen möglichst homogen sind (Punkte innerhalb der Gruppe möglichst ähnlich) während

verschiedene Gruppen möglichst gut separiert sind (Punkte in verschiedenen Gruppen möglichst unähnlich). Dazu entwickelten wir Verfahren, die auf vorzeichenbehafteten Graphen basieren und entweder mittels des Graphspektrums oder durch Minimierung der Totalvariation die Datencluster bestimmen. Bei Letzterem konnten wir beweisen, dass die Ergebnisse im Großteil der Fälle mit dem optimalen aber numerisch aufwändigen Kantenschnitt übereinstimmen.

Gemeinsam mit der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL, Schweiz) erforschten wir effiziente Methoden zur Dekodierung von *low-density parity check* (LDPC) Codes. Dabei entwickelten wir quantisierte *message-passing* Algorithmen, welche den Informationsfluss im Code-Graphen maximieren und sich besonders gut in Hardware realisieren lassen. Eine Hardware-Synthese eines Decoders für 10GigabitEthernet in 28nm CMOS-Technologie führte zum weltweit schnellsten Durchsatz von mehr als 500 Gigabit pro Sekunde bei einer Chipfläche von ca. 20mm<sup>2</sup>.

Moderne Übertragungssysteme (z.B. der Mobilfunkstandard *LTE Advanced*) verwenden immer häufiger Rückkanäle zur Verbesserung der Verbindungsqualität. Für derartige Kommunikationssysteme mit Feedback untersuchten wir die maximal erzielbaren Übertragungsraten für komprimierte Feedbacksignale (wie es in der Praxis immer der Fall ist). Es gelang uns zu zeigen, dass lineare Codierung hier im Gegensatz zu verdrahtetem Feedback nichtverschwindende Übertragungsraten erzielt. Eine Erweiterung dieser Ergebnisse auf Mehrbenutzersysteme führte zur Entwicklung von Superposition-Codes, welche eine Adaption an die Qualität der Feedbacksignale ermöglichen und dadurch die Übertragungsrate maximieren. Das dabei auftretende Problem der besten Ressourcenverteilung lösten wir mithilfe von Algorithmen zur konvex-konkaven Optimierung.

## Communication Theory

The focus of our research is on wireless communication and sensor networks and on signal processing for Big Data.

The young field of graph signal processing is being successfully applied for the analysis of datasets from social networks, communication networks, infrastructure networks, biological networks, and multimedia. In this area, we developed methods for the reconstruction of missing data points in sampled graphed signals. As a metric for the smoothness of the graph signal we used the total variation induced by the underlying graph. This led to non-smooth minimization problems, which we solved using modern methods of convex optimization. The resulting algorithms are computationally efficient and suited for distributed implementation, which enables the practical applications to massive datasets. We could verify the excellent performance of our scheme using a real-world dataset of Amazon products and ratings.

We furthermore considered the problem of learning the structure of a graph from huge but possibly incomplete and noisy data sets distributed implementations. We formulated this problem as a quadratic optimization problem and we proposed to solve this problem using an efficient implementation of the ADMM algorithm that scales linearly with the number of data points and thus is well-suited for large-scale data. Numerical experiments with real-world data confirmed the excellent performance of our method. Among other things we managed to determine the party affiliation of Austrian Members of Parliament from anonymous voting results in the Austrian National Council.

Another key focus of our work in the area of graph signal processing was the problem of clustering, i.e., grouping data points such that groups are maximally homogeneous (points within a group are similar) whereas distinct groups are as much separated as possible (points in distinct groups are maximally dissimilar). For this purpose, we developed methods that build on signed graphs and use either the graph spectrum or total variation minimization to determine the data clusters. For the latter we were able to prove that in the majority of cases the clustering results coincide with the optimal but numerically intractable graph cut.

In cooperation with *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL, Switzerland) we explored efficient decoder architectures for low-density parity check (LDPC) codes. More specifically, we devised quantized message passing algorithms that maximize the information flow in the code graph and

particularly well suited for hardware realization. The synthesis of a decoder for 10GigabitEthernet in 28nm CMOS technology lead to a record-breaking throughput of more than 500 Gigabit per second at  $20\text{mm}^2$  chip area.

Modern communication systems (e.g., the mobile radio standard *LTE Advanced*) more and more rely on feedback channels to improve link quality. For this type of transmission with feedback we analyzed the maximum achievable information rates for the case where the feedback is quantized (as is always the case in practice due to rate limitations). We managed to show that contrary to noisy feedback linear encoding achieves non-vanishing rates. An extension of these results to multi-user systems led to the development of superposition codes, which enable an adaptation to the quality of the feedback signal and thereby maximize the transmission rate. We could solve the associated problem of determining the best resource allocation via algorithms for convex-concave optimization.

## **ERNENNUNGEN UND PREISE / NOMINATIONS AND AWARDS**

Christoph Mecklenbräuker: chairs the IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Technical Committee during 01.01.2019 – 31.12.2020.

Gerald Matz: served as the General Chair of the 53rd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (Nov. 2019).

## **VERANSTALTUNGEN / EVENTS**

Informationstechnisches Kolloquium: Intelligente Roboter in Interaktion mit Menschen, 14. Mai 2019, Organizers: Christoph Mecklenbräuker, Helmut Malleck, Thomas Zemen, Veranstalter: OVE, TU Wien, AIT.

23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), 24.04. - 26.04.2019, Organizers: Stefan Schwarz, Philipp Svoboda, Robert Langwieser

## **VORTRÄGE VON GÄSTEN / LECTURES BY GUESTS**

Jian Song, CNRS, France: „A Stochastic Geometry Approach to the Analysis and Optimization of Cellular Networks”, 14.11.2019

Dagmar Bosanska, <http://www.alistiq.com/>: 1) “Automated Transport Systems and their requirements for a communication network - a challenge or not?”

2) “Data-driven city: The future of urban planning in the era of big data and mobile IoT networks”, 03.06.2019

Prof. Reiner Thomä, TU Ilmenau, Germany: „Cooperative Passive Coherent Location: A Promising 5G Service to Support Road Safety”, 2019

Prof. Peter Gerstoft, University of California San Diego, USA: “Machine learning in Physical Sciences“, 03.2019.

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Kühn, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, Universität Rostock, Germany: "Alternating Information Bottleneck Method for Distributed Quantization", 22.08.2019

Prof. Dr.-Ing. habil. Robert F.H. Fischer, Institute of Communications Engineering, Universität Ulm, Germany: "Expectation-Consistent Approximate Inference with Vector-Valued Diagonalization --- An Unbiasing Interpretation", 17.10.2019

Dr. Alfonso Farina, Consultant: "Radar Adaptivity: Antenna Based Signal Processing", 27.05.2019

# LEHRVERANSTALTUNGEN / COURSE PROGRAM

Im Studienjahr 2019

## 1. PFLICHTLEHRVERANSTALTUNGEN / MANDATORY COURSES

|                                                                         |                             |    | WS   | SS   |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|------|------|
| Zseby                                                                   | Communication Networks 1    | VO | 3.0  | ---- |
| Fabini, Vormayer,<br>Hartl                                              | Communications Networks 2   | VU | ---- | 3.0  |
| Görtz, Goiser,<br>Hlawatsch, Mecklenbräuker, Matz, Rupp, Zseby, Svoboda | Datenkommunikation          | VO | ---- | 2.0  |
| Hlawatsch, Repp                                                         | Digital Communications 1    | VU | ---- | 3.0  |
| Hlawatsch, Repp                                                         | Digital Communications 2    | VU | 3.0  | ---- |
| Goiser, Blazek                                                          | Lab Wireless Communications | LU | ---- | 2.0  |
| Görtz,<br>Birgmeier                                                     | Signale und Systeme 2       | VU | ---- | 3.0  |
| Rupp, Prüller,<br>Tahir                                                 | Signal Processing 1         | VU | 3.0  | ---- |
| Matz, Dittrich                                                          | Signal Processing 2         | VU | 3.0  | ---- |
| Goiser, Schwarz                                                         | Telekommunikation           | VU | ---- | 3.5  |
| Mecklenbräuker,<br>Groll                                                | Wellenausbreitung           | VU | 3.0  | ---- |
| Mecklenbräuker,<br>Rupp, Blazek, Zöchmann                               | Wireless Communications 1   | VU | ---- | 4.0  |
| Görtz                                                                   | Wireless Communications 2   | VO | ---- | 2.0  |

## 2. WAHLEHRVERANSTALTUNGEN / OPTIONAL COURSES

|                                                                            |                                                                             |    | WS   | SS   |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|------|------|
| Rupp, Schwarz                                                              | 5 <sup>th</sup> Generation Wireless Technologies                            | VO | ---- | 2.0  |
| Rupp, Svoboda                                                              | Advanced Wireless Communications 1                                          | VO | 2.0  | ---- |
| Goiser                                                                     | Advanced Wireless Communications 2                                          | VO | 2.0  | ---- |
| Mecklenbräuker,<br>Zemen                                                   | Advanced Wireless Communications 3                                          | VO | 2.0  | ---- |
| Mecklenbräuker<br>Langwieser, Ehrlich-Schupita, Scholtz                    | Antennenentwurf und -aufbau                                                 | PR | ---- | 2.0  |
| Matz                                                                       | Ausgewählte Kapitel der Übertragungstechnik<br>und Informationsverarbeitung | SE | 1.5  | 1.5  |
| Görtz, Rupp,<br>Goiser, Hlawatsch,<br>Mecklenbräuker, Scholtz, Matz, Zseby | Bachelorarbeit mit Seminar                                                  | PR | 10.0 | 10.0 |
| Langwieser                                                                 | Baugruppen von Funkgeräten                                                  | SE | ---- | 3.0  |
| Zseby                                                                      | Communication Networks Seminar                                              | SE | ---- | 2.0  |
| Langwieser,<br>Pichler                                                     | Computer Aided RF Circuit Design                                            | PR | 3.0  | ---- |
| Rupp                                                                       | DSP Seminar                                                                 | SE | 1.0  | ---- |
| Görtz, Matz                                                                | Digital Communications Seminar                                              | SE | 3.0  | ---- |
| Matz                                                                       | Drahtlose Mehrträgersysteme                                                 | VO | 2.0  | ---- |
| ProfessorInnen<br>und AssistentInnen                                       | EDV-Orientierte Projektarbeit                                               | AG | 4.0  | 4.0  |
| Goiser                                                                     | Einführung in die Telekommunikation                                         | VU | ---- | 3.0  |
| Garn,<br>Ehrlich-Schupita,<br>Lamedschwandner,<br>Neubauer                 | Fachvertiefung - Elektromagnetische<br>Felder und Wellen                    | VU | ---- | 4.0  |



|                               |                                                                           |    |      |      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----|------|------|
| Wess                          | Fachvertiefung – Signale und Systeme                                      | VU | 4.0  | ---- |
| Görtz,<br>Mecklenbräuker      | Fachvertiefung – Telekommunikation                                        | VU | ---- | 4.0  |
| Mecklenbräuker,<br>Botezan    | Funkweitverkehrstechnik                                                   | VO | 1.5  | ---- |
| Matz                          | Graphische Modelle in der<br>Signalverarbeitung und Übertragungstechnik   | VO | ---- | 2.0  |
| Hlawatsch                     | Information theory for communications<br>engineers                        | VO | 2.0  | ---- |
| Rupp, Schwarz,<br>Görtz       | Internationales Seminar<br>Mobile Kommunikation                           | SE | ---- | 3.0  |
| Rupp, Pikrakis                | Introduction to Machine Learning with<br>Applications                     | VU | 3.0  | ---- |
| Matz,<br>Mecklenbräuker       | Konvexe Optimierung für die<br>Signalverarbeitung und Übertragungstechnik | VO | ---- | 2.0  |
| Gartner                       | Labor Grundlagen der FPGA<br>Programmierung mit VHDL                      | LU | ---- | 2.0  |
| Matz,<br>Mecklenbräuker       | MIMO Communications                                                       | VO | 2.0  | ---- |
| Zseby, Iglesias,<br>Bachl     | Network Security                                                          | VO | ---- | 2.0  |
| Zseby, Iglesias,<br>Meghdouri | Network Security – Advanced Topics                                        | VU | 2.0  | ---- |
| Hlawatsch                     | Parameter Estimation Methods                                              | VO | ---- | 2.0  |
| Langwieser                    | Praktische Realisierung von<br>Hochfrequenzschaltungen                    | PR | ---- | 3.0  |
| Görtz                         | Projektarbeit (Übergangsregelung B.-Arbeit)                               | PA | 2.0  | 2.0  |
| Görtz                         | Quellencodierung (Source Coding)                                          | VO | 2.0  | ---- |

|                                  |                                                    |    |      |      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|----|------|------|
| Hlawatsch, Rupp,<br>Matz         | Research Projects in Advanced Signal<br>Processing | SE | 3.0  | 3.0  |
| Goiser                           | Robuste und verlässliche<br>Kommunikationssysteme  | VU | 2.0  | ---  |
| Mecklenbräuker,<br>Rupp, Svoboda | Seminar Wireless Communications                    | SE |      | 3.0, |
| Matz                             | Signal Detection                                   | VO | ---- | 2.0  |
| Hlawatsch,                       | Signal Processing Seminar                          | SE | ---- | 3.0  |
| Görtz, Birgmeier                 | Signal Processing for Big Data                     | SE | ---- | 2.0  |
| Mecklenbräuker<br>Langwieser     | Zentimeter und Millimeterwellen                    | PR | ---- | 2.0  |

## GASTVORTRÄGE VON INSTITUTSMITGLIEDERN / GUEST TALKS BY MEMBERS OF THE INSTITUTE

Ernst Bonek: “Wie wird mein Handy in 5G funktionieren?“, Vortrag: Wiener Urania, 15.05.2019.

Norbert Görtz & Stefan Birgmeier: „Compressed-Sensing Recovery with Super-Sparse Measurement Matrices“, Joint Workshop on Communications and Coding (JWCC), Kühtai, Austria, 03.2019.

Norbert Görtz & Stefan Birgmeier: “Compressed Sensing with Lifted Measurement Matrices“, ITG-Fachgruppe “Signalverarbeitung und maschinelles Lernen” HEAD Acoustics, Herzogenrath, Germany, 29.03.2019

Norbert Görtz & Stefan Birgmeier: "Bayesian Approximate Message Passing for Signal Recovery in Compressed Sensing with Lifted Measurement Matrices", International Seminar on Signal Processing 2019, Technische Universität München, Germany, 10.2019

Christoph Mecklenbräuker: „Maximum-likelihood DOA estimation at low SNR in Laplace-like noise“, Vortrag: ETH Zürich, Switzerland, 07. Juni.2019

Georg Pichler: “Blind Output Matching for Domain Adaptation in Segmentation Network“, Vortrag: Institut für Schallforschung (ARI), Wien, Österreich, 23.10.2019

Markus Rupp: „Wireless Communications of the Future“, eingeladener Seminarvortrag, Sofia, Bulgarien, 09.2019.

Stefan Schwarz: “Dependable Wireless Connectivity“, Vorlesungsreihe, Beijing Jiaotong University, China, 09.09. – 13.09.2019

T. Zseby: "(Un-)Reproducible Research: Experiences from Network Traffic Analysis", Vortrag: Networking of Women in Computing, Darmstadt (invited); 06-27-2019.

T. Zseby: "Malware Communication: Hiding Techniques and Detection Methods", Vortrag: Ruzena Bajcsy Lectures on Communications, Darmstadt (invited); 06-27-2019.

## FORSCHUNGSPROJEKTE / RESEARCH PROJECTS

### SIGNALVERARBEITUNG / SIGNAL PROCESSING

Agent Localization and Inference of Dynamic Environments (FWF Grant P 32055-N31)

*Contact:* F. Hlawatsch

*Duration:* 02.2019 — 07.2022

Random Finite Set Methods for Network-Based Bayesian Estimation (FWF Grant P 27370-N30)

*Contact:* F. Hlawatsch

*Duration:* 01.2015 – 06.2019

Sequential Bayesian Estimation of Arterial Wall Motion (GACR Grant 17-19638S)

*Contact:* F. Hlawatsch

*Partner:* Brno University of Technology

*Duration:* 01.2017 – 12.2019

## MOBILKOMMUNIKATION / MOBILE COMMUNICATIONS

COST – Aktion IC15104 „Inclusive Radio Communication Networks for 5 G and beyond (IRACON), Im Rahmen des Forschungsprogramms “Horizons 2020“

Contact: C. Mecklenbräuker

Duration: 2016 – 12.2019

MAR2019-FDD

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2018 – 12.2019

MAR2019-INF

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 10.2018 – 12.2019

MAR2020\_LEIST

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2019 – 12.2020

CD-Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung

Contact: S. Schwarz

Partners: A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG,  
Nokia Solutions and Networks

Duration: 01.2016 – 12.2020

5G Broadcasting über LTE PMCH

Contact: S. Schwarz

Partner: ORS

Duration: 07.2019 - 12.2021

A1 Performance Prediction for Hybrid Internet Users

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 09.2019 – 02.2020

A1 Performance in Future Networks: WLAN Home Networks 2020

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 02.2020 – 10.2020

A1 Analysis of Hybride Experience of User

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2018 – 5.2019

A1 Hybrid Internet Access Implementation Analysis and Experimental Measurement

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2018 – 6.2019

Messung der Wagenkastendämpfung für ÖBB Doppelstock Wagen

Contact: P. Svoboda

Partner: ÖBB Personenverkehr AG

Duration: 08.2019 – 12.2019

Dynamic Analysis of Repeater Deployments in Trains

Contact: P. Svoboda

Partner: ÖBB Technische  
Services GmbH

Duration: 03.2019 – 12.2019

Optimization of Wireless Remote Repeater Distribution Systems in Tunnels for Trains

Contact: P. Svoboda

Partner: ÖBB-Infrastruktur AG

Duration: 10.2019 – 04.2020

SEMONE: High Precision Service Performance Maps for Adaptive Mobile Network Optimization (FFG Bridge)

Contact: P. Svoboda

Partner: FFG,  
A1 Telekom Austria AG

Duration: 03.2019 – 08.2021

## THEORIE DER TELEKOMMUNIKATION / COMMUNICATION THEORY

Co3-iGraB - Communication and Complexity Constrained Inference over Graphs for Big Data (WWTF Grant ICT15-119)

*Contact:* G. Matz

*Partners:* Technion, Israel; University of Edinburgh, UK

*Duration:* 12.2015 – 11.2019

## FLEXIBLE FUNKSYSTEME / FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS

Arbeitsgemeinschaft Hochfrequenztechnik

*Contact:* Robert Langwieser, C. Mecklenbräuker

*Duration:* 2013 – 2019

Copper Optical Network Evolution (CONE)

*Contact:* C. Mecklenbräuker *Partners:* A1 Telekom Austria AG, Nokia Solutions and Networks Österreich GmbH, FFG Förderprogramm: BRIDGE

*Duration:* 09.2016 – 08.2019

Datenfusion von K/X-Band Radar mit visuellen Sensoren für luftgestützte Plattformen (DARVIS), TAKE OFF Project No. 867400,

*Contact:* C. Mecklenbräuker *Partners:* AIT Austrian Institute of Technology GmbH, PIDSO - Propagation Ideas and Solutions GmbH, Diamond Aircraft Industries GmbH.

*Duration:* 04.2019 - 03.2021.

Fixed Access Research 2018 (FAR2018)

*Contact:* C. Mecklenbräuker *Partner:* A1 Telekom Austria AG *Duration:* 01.2018 – 12.2019

## COMMUNICATIONS NETWORKS

BigDAMA - Big Data Analytics for Network Traffic Monitoring and Analysis (WWTF Project ICT15-129)

*Contact:* T. Zseby

*Partners:* AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Politecnico di Torino

*Duration:* 03.2016 – 02.2019

synERGY – Security for Cyber-Physical Value Networks Exploiting Smart Grid Systems (FFG IKT der Zukunft)

*Contact:* T. Zseby

*Partners:* AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Huemer IT Solutions, Universität Klagenfurt – Forschungsgr. Systemsicherheit, MOOSMOAR Energies OG, Energie AG Oberösterreich Telekom GmbH, LINZ STROM GmbH, Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport.

*Duration:* 01.2017 – 06.2019

FUSE - Future Self-Organizing Energy Networks (TU Wien)

*Contact:* T. Zseby

*Partner:* Institute of Energy Systems and Electrical Drives (TU Wien)

*Duration:* 12.2015 – 11.2019

## DISSERTATIONEN / DOCTORAL DISSERTATIONS: (eigene und begutachtete)

- F. Ademaj "Spatial Consistency of 3D Channel Models"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): M. Rupp, B. Fleury, K. Guan; E389, 2019; Rigorosum: 16.09.2019.
- R. Annessi "Securing Group Communication in Critical Infrastructures"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): T. Zseby, A. Perrig, E. Weippl; E389, 2019; Rigorosum: 28.03.2019.
- T. Berisha "Operational mobile service quality in trains and road vehicles"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): C. Mecklenbräuker, L. Castedo, A. Springer; E389, 2019; Rigorosum: 27.05.2019.
- S. C. Birgmeier: "Message Passing For Multidimensional Inverse Problems"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): N. Görtz, G. Matz, R. Fischer; E389, 2019; Rigorosum: 17.10.2019.
- T. Blazek "Capturing the Essential Aspects of Reliable Vehicular Communications"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): C. Mecklenbräuker, E. G. Ström, U. Fiebig; E389, 2019; Rigorosum: 22.11.2019.
- S. Farthofer "Multiuser Communication with Quantized Feedback"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): G. Matz, N. Görtz, M. Wigger; E389, 2019; Rigorosum: 26.02.2019.
- F. Galler "Localization of Passive UHF RHD Tags"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): H. Arthaber, K. Witrisal, C. Mecklenbräuker; E389, 2019; Rigorosum: 24.09.2019.
- M. Hofer "Real-Time Geometry Based Channel Emulation and Estimation"; Betreuer/in(nen): T. Zemen, F. Kaltenberger, F. Tufvesson; E389, 2019; Abschlussprüfung: 12.11.2019.
- C. Krieg "Pattern-Based Hardware Trojan Characterization for Design Security Assessment"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): T. Zseby, G. Pravadelli, A. Steininger; E389, 2019; Rigorosum: 22.01.2019.
- M. Lindorfer "A Microscopic Framework for Modeling and Simulating Human and Automated Driving"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): C. Mecklenbräuker, C. Olaverri Monreal, A. Springer; E389, 2019; Rigorosum: 18.09.2019.
- O. Musa "Signal Recovery for Quantized Compressed Sensing"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): N. Görtz, V. Kühn, G. Matz; E389, 2019; Rigorosum: 21.08.2019.
- E. Zöchmann "On the Occurrence of Two-Wave with Diffuse Power Fading in Millimeter Wave Communications"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): M. Rupp, R. Thomä, R. W. Heath; E389, 2019; Rigorosum: 22.03.2019.

## DIPLOM- und MASTER-ARBEITEN / DIPLOMA and MASTER THESES (eigene und betreute):

|                 |                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M. Crnjanski    | " <i>Classifying Encrypted Network Traffic based on Deep Learning</i> ";<br>Betreuer/in(nen): T. Zseby, M. Bachl; E389, 2019;<br>Abschlussprüfung: 21.11.2019.                                                                          |
| D. Frkat        | " <i>Subliminal Channels in Blockchain Applications for Hidden Botnet Communication</i> "; Betreuer/in(nen): T. Zseby, R. Annessi; E389, 2019; Abschlussprüfung: 07.06.2019.                                                            |
| A. Jafari       | " <i>Messung des Gewinns und der Gruppenlaufzeit für Mehrträgerübertragung</i> "; Betreuer/in(nen): C. Mecklenbräuker; E389, 2019; Abschlussprüfung: 29.11.2019.                                                                        |
| R. Klus         | " <i>Big Data Analytics In The Context Of Mobile Network Performance Optimization</i> "; Betreuer/in(nen): M. Slanina, P. Svoboda;<br>Fakulta Elektrotechniky A Komunikacnich Technologil, 2019;<br>Abschlussprüfung: 15.05.2019.       |
| S. Lendl        | " <i>Optimized Active Redundancy with Just-in-Time Duplication for Safety Critical Mobile Video Streaming</i> "; Betreuer/in(nen): T. Zseby, J. Fabini; E389, 2019; Abschlussprüfung: 07.06.2019.                                       |
| M. Leopoldseder | " <i>Data Driven Prediction of Crowd Mobility in Small Cell Environments</i> ";<br>Betreuer/in(nen): M. Rupp, P. Svoboda; E389, 2019;<br>Abschlussprüfung: 05.06.2019.                                                                  |
| V. Milenkovic   | " <i>Network Attack Classification Using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning</i> "; Betreuer/in(nen): T. Zseby, J. Milosevic; E389, 2019; Abschlussprüfung: 21.11.2019.                                                 |
| D. Ojdanic      | " <i>MDCStream: A Stream Dataset Generator for Testing and Evaluating Stream Data Analysis Algorithms</i> "; Betreuer/in(nen): T. Zseby, F. Iglesias Vazquez; E389, 2019; Abschlussprüfung: 21.11.2019.                                 |
| R. Prüller      | " <i>Summen-Produkt-Netze für effiziente probabilistische Inferenz</i> ";<br>Betreuer/in(nen): F. Hlawatsch, R. Repp; E389, 2019;<br>Abschlussprüfung: 25.01.2019.                                                                      |
| D. Radovic      | " <i>Ressourcenzuteilung für dynamische TDD Systeme</i> "; Betreuer/in(nen): C. Mecklenbräuker; E389, 2019; Abschlussprüfung: 16.07.2019.                                                                                               |
| J. Steinbach    | " <i>Kanalmodellierung für die optische Freiraumübertragung von Satellitendaten</i> "; Betreuer/in(nen): N. Görtz, G. Schitter; E389, 2019; Abschlussprüfung: 21.11.2019.                                                               |
| L. Urbanová     | " <i>Location Aware Analytics In The Context Of Mobile Network Performance Optimization</i> "; Betreuer/in(nen): M. Slanina, P. Svoboda;<br>Fakulta Elektrotechniky A Komunikacnich Technologil, 2019;<br>Abschlussprüfung: 15.05.2019. |

# BÜCHER UND BUCHBEITRÄGE / BOOKS AND BOOK CHAPTERS

K. Ehrmann, H.R.M. Khosravi, G. Artner, P. Hans, H. Krebs, A. Shahabian, D. Wipp (Hrg.): *"Proceedings VSS 2019 - Vienna young Scientists Symposium"*; Book of Abstracts, Dipl.Ing. Heinz A. Krebs, 2352 Gumpoldskirchen, 2019, ISBN: 978-3-9504017-9-0; 222 S.

# ZEITSCHRIFTENARTIKEL / PUBLICATIONS IN SCIENTIFIC JOURNALS

F. Ademaj, S. Schwarz, T. Berisha, M. Rupp: *"A Spatial Consistency Model for Geometry-based Stochastic Channels"*; IEEE Access, **7** (2019), S. 183414 - 183427.

G. Artner, W. Kottermann, G. Del Galdo, M. Hein: *"Automotive Antenna Roof for Cooperative Connected Driving"*; IEEE Access, **7** (2019), 1; S. 20083 - 20090.

T. Berisha, C. Mecklenbräuker: *"Operational Service Quality Assessment on-board Railway Vehicles"*; IEEE Access, **7** (2019), S. 89637 - 89648.

T. Blazek, G. Ghiaasi, C. Backfrieder, G. Ostermayer, C. Mecklenbräuker: *"Performance Modeling and Analysis for Vehicle-to-Anything Connectivity in Representative High-Interference Channels"*; IET Microwaves, Antennas & Propagation, **13** (2019), S. 2216 - 2223.

T. Blazek, C. Mecklenbräuker: *"Measurement-Based Burst-Error Performance Modeling for Cooperative Intelligent Transport Systems"*; IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, **20** (2019), 1; S. 162 - 171.

S. Caban, M. Lerch, S. Pratschner, E. Zöchmann, P. Svoboda, M. Rupp: *"Design of Experiments to Compare Base Station Antenna Configurations"*; IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, **68** (2019), 10; S. 3484 - 3493.

A. Chandra, A. U. Rahman, U. Ghosh, J. A. García Naya, A. Prokes, J. Blumenstein, C. Mecklenbräuker: *"60-GHz Millimeter-Wave Propagation inside Bus: Measurement, Modelling, Simulation and Performance Analysis"*; IEEE Access, **7** (2019), S. 97815 - 97826.

C. Coronel, C. Wiesmeyr, H. Garn, B. Kohn, M. Wimmer, M. Mandl, M. Glos, T. Penzel, G. Klösch, A. Stefanic-Kejik, M. Böck, E. Kaniusas, S. Seidel: *"Measurement of respiratory effort in sleep by 3D camera and respiratory inductance plethysmography"*; Somnologie - Somnology - Current Sleep Research and Concepts, **7 May** (2019), S. 1 - 7.

C. Coronel, C. Wiesmeyr, H. Garn, B. Kohn, M. Wimmer, M. Mandl, M. Glos, T. Penzel, G. Klösch, A. Stefanic-Kejik, M. Böck, E. Kaniusas, S. Seidel: *"Using respiratory effort and SPO2 to detect respiratory events"*; Sleep Medicine, **64** (2019), S. S126 - S127.

P. Gerstoft, S. Nannuru, C. Mecklenbräuker, G. Leus: *"DOA Estimation in Heteroscedastic Noise"*; Signal Processing, **161** (2019), S. 63 - 73.

F. Iglesias Vazquez, T. Zseby: *"Pattern Discovery in Internet Background Radiation"*; IEEE Transactions on Big Data, **5** (2019), 4; S. 467 - 480.

F. Iglesias Vazquez, T. Zseby, D. Ferreira, A. Zimek: *"MDCGen: Multidimensional Dataset Generator for Clustering"*; Journal of Classification, (2019), 20 S.

F. Iglesias Vazquez, T. Zseby, A. Zimek: *"Absolute Cluster Validity"*; IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **0** (2019), 0; 16 S.

E. Leitinger, F. Meyer, F. Hlawatsch, K. Witrisal, F. Tufvesson, M.Z. Win: *"A belief propagation algorithm for multipath-based SLAM"*; IEEE Transactions on Wireless Communications, **18** (2019), 12; S. 5613 - 5629.



- M. Lerch, S. Caban, E. Zöchmann, P. Svoboda, M. Rupp: "*Scaled-Time OFDM Experiments for Channels Exceeding the Cyclic Prefix*"; Electronics Letters, **55** (2019), 25; S. 1370 - 1373.
- T. Li, F. Hlawatsch, P. Djuric: "*Cardinality-consensus-based PHD filtering for distributed multitarget tracking*"; IEEE Signal Processing Letters, **26** (2019), 1; S. 49 - 53.
- J. Milos, J. Blumenstein, A. Prokes, T. Mikulasek, C. Mecklenbräuker: "*Improved RMS Delay Spread Estimation for mmWave Channels Using Savitzky-Golay Filters*"; Electronics, **8** (2019), 12.
- J. Milosevic, M. Malek, A. Ferrante: "*Time, accuracy and power consumption tradeoff in mobile malware detection systems*"; Computers & Security, **82** (2019).
- S. Nannuru, K. Gemba, P. Gerstoft, W. Hodgkiss, C. Mecklenbräuker: "*Sparse Bayesian learning with multiple dictionaries*"; Signal Processing, **159** (2019), S. 159 - 170.
- G. Papa, R. Repp, F. Meyer, P. Braca, F. Hlawatsch: "*Distributed Bernoulli filtering using likelihood consensus*"; IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks, **5** (2019), 2; S. 218 - 233.
- S. Pratschner, T. Blazek, E. Zöchmann, F. Ademaj, S. Caban, S. Schwarz, M. Rupp: "*A Spatially Consistent MIMO Channel Model With Adjustable K Factor*"; IEEE Access, **7** (2019), S. 110174 - 110186.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Lerch, M. Rupp: "*Crowdsensed Performance Benchmarking of Mobile Networks*"; IEEE Access, **7** (2019), S. 154899 - 154911.
- L. Ribeiro, S. Schwarz, A. Almeida: "*Double-sided massive MIMO transceivers for mmWave communications*"; IEEE Access, **7** (2019), S. 157667 - 157679.
- S. Schwarz, M. Rupp, S. Wesemann: "*Grassmannian Product Codebooks for Limited Feedback Massive MIMO with Two-Tier Precoding*"; IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, **13** (2019), 5; S. 1119 - 1135.
- G. Soldi, F. Meyer, P. Braca, F. Hlawatsch: "*Self-tuning algorithms for multisensor-multitarget tracking using belief propagation*"; IEEE Transactions on Signal Processing, **67** (2019), 15; S. 3922 - 3937.
- B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: "*Constructing Grassmannian Frames by an Iterative Collision-Based Packing*"; IEEE Signal Processing Letters, **26** (2019), 7; S. 1056 - 1060.
- E. Zöchmann: "*A Framework for Active Learning of Beam Alignment in Vehicular Millimetre Wave Communications by Onboard Sensors*"; ZTE Communications, **2** (2019).
- E. Zöchmann, S. Caban, C. Mecklenbräuker, S. Pratschner, M. Lerch, S. Schwarz, M. Rupp: "*Better than Rician: modelling millimetre wave channels as two-wave with diffuse power*"; EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, **2019** (2019), 21; S. 1 - 17.
- E. Zöchmann, M. Hofer, M. Lerch, S. Pratschner, L. Bernadó, J. Blumenstein, S. Caban, S. Sangodoyin, H. Groll, T. Zemen, A. Prokes, M. Rupp, A. Molisch, C. Mecklenbräuker: "*Position-Specific Statistics of 60 GHz Vehicular Channels During Overtaking*"; IEEE Access, **2019** (2019), 7; S. 14216 - 14232.

## EDITORIALS IN WISS. ZEITSCHRIFTEN / EDITORIALS IN SCIENTIFIC JOURNALS

- H. Malleck, C. Mecklenbräuker: "*Intelligente Roboter in Interaktion mit Menschen*"; E&I Elektrotechnik und Informationstechnik, **136** (2019), 7; S. 291 - 292.
- C. Mecklenbräuker: "*Workshop zur Weltfunkkonferenz 2019 (WRC-19)*"; QSP Amateurfunkjournal des Österreichischen Versuchssenderverbandes, **44** (2019), 5; S. 4 - 5.

## VORTRÄGE UND POSTERPRÄSENTATIONEN (OHNE TAGUNGSBAND-EINTRAG) / LECTURES AND POSTER PRESENTATIONS (WITHOUT CONFERENCE PROCEEDINGS ENTRY)

G. Matz: "*Data Science by TV on the Graph*"; Vortrag: Workshop on Mathematical Data Science, Dürnstein (eingeladen); 13.10.2019 - 15.10.2019.

C. Mecklenbräuker, R. Langwieser, P. Svoboda, O. Trindade, G. Artner: "*Assessment of RF Exposure for Base Stations with Massive MIMO Antennas*"; Hauptvortrag: 7th Workshop of the Radio Frequency Engineering Working Group of the Austrian Research Association, Graz (eingeladen); 09.09.2019 - 10.09.2019.

S. Schwarz: "*Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion*"; Hauptvortrag: 3rd Wireless Silk Road International Lecture Series on Wireless Communications, Peking (eingeladen); 09.09.2019 - 12.09.2019.

T. Zseby: "*(Un-)Reproducible Research: Experiences from Network Traffic Analysis*"; Vortrag: Networking of Women in Computing, Darmstadt (eingeladen); 27.06.2019.

T. Zseby:  
"*Malware Communication: Hiding Techniques and Detection Methods*";  
Vortrag: Ruzena Bajcsy Lectures on Communications, Darmstadt (eingeladen); 27.06.2019.

## VORTRÄGE UND POSTERPRÄSENTATIONEN (MIT TAGUNGSBAND-EINTRAG) / LECTURES AND POSTER PRESENTATIONS (WITH CONFERENCE PROCEEDINGS ENTRY)

F. Ademaj, S. Schwarz: "*Spatial Consistency of Multipath Components in a Typical Urban Scenario*"; Poster: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019, Krakau, Polen; 31.03.2019 - 05.04.2019; in: "*Proceedings of the 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*", (2019), S. 1 - 5.

G. Artner: "*Channel Static Antennas*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting, Oulu, Finnland; 27.05.2019 - 29.05.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting*", (2019), S. 1 - 7.

G. Artner: "*Channel Static Antennas for Compensating the Movements of a Partner Antenna*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting, Oulu, Finnland; 27.05.2019 - 29.05.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting*", (2019), S. 1 - 5.

G. Artner: "*Channel Static Antennas for Mobile Devices*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting, Oulu, Finnland; 27.05.2019 - 29.05.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 10th MC meeting and 10th technical meeting*", (2019), S. 1 - 5.

G. Artner, J. Kowalewski, J. Atuegwu, C. Mecklenbräuker, T. Zwick: "*Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Flush-Mounted for Automotive LTE*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 9th MC meeting and 9th technical meeting, Dublin, Irland; 16.01.2019 - 18.01.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 8th MC meeting and 8th technical meeting*", (2019), S. 1 - 6.

- G. Artner, J. Kowalewski, J. Atuegwu, C. Mecklenbräuker, T. Zwick: "*Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Flush-Mounted for Automotive LTE*"; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019, Krakau, Polen; 31.03.2019 - 05.04.2019; in: "*Proceedings of the 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*", (2019), S. 1 - 5.
- M. Bachl, J. Fabini, T. Zseby: "*Cocoa: Congestion Control Aware Queuing*"; Vortrag: Workshop on Buffer Sizing, Palo Alto, CA, USA; 02.12.2019 - 03.12.2019; in: "*Workshop on Buffer Sizing*", ACM, (2019), ISBN: 978-1-4503-7745-4; S. 1 - 6.
- M. Bachl, A. Hartl, J. Fabini, T. Zseby: "*Walling up Backdoors in Intrusion Detection Systems*"; Vortrag: Big-DAMA '19, Orlando, FL, USA; 09.12.2019; in: "*Proceedings of the 3rd ACM CoNEXT Workshop on Big Data, Machine Learning and Artificial Intelligence for Data Communication Networks*", ACM, (2019), ISBN: 978-1-4503-6999-2; S. 8 - 13.
- M. Bachl, T. Zseby, J. Fabini: "*Rax: Deep Reinforcement Learning for Congestion Control*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2019), Shanghai, China; 20.05.2019 - 24.05.2019; in: "*2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*", IEEE, (2019), ISBN: 978-1-5386-8088-9; S. 1 - 6.
- P. Berger, T. Dittrich, G. Hannak, G. Matz: "*Semi-Supervised Multiclass Clustering Based on Signed Total Variation*"; Vortrag: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019), Brighton, UK; 12.05.2019 - 17.05.2019; in: "*Proceedings of the 44th IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*", IEEE, (2019), ISBN: 978-1-4799-8131-1; 5 S.
- P. Berger, T. Dittrich, G. Matz: "*Clustering on Dynamic Graphs based on Total Variation*"; als Vortrag angenommen für: 2019 International Conference on Sampling Theory and Applications (SampTA), Bordeaux (eingeladen); 08.07.2019 - 12.07.2019; in: "*Proceedings of the 13th International Conference on Sampling Theory and Applications*", IEEE, (2019), 4 S.
- T. Berisha, C. Mecklenbräuker: "*Smartphone-based Measurements on-board FSS-aided Railway Vehicles*"; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019, Krakau, Polen; 31.03.2019 - 05.04.2019; in: "*Proceedings of the 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*", IEEE Xplore, (2019), S. 1 - 5.
- S. C. Birgmeier, N. Görtz: "*Approximate Message Passing for Joint Activity Detection and Decoding in Non-orthogonal CDMA*"; Vortrag: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proceedings International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", VDE Verlag, (2019), S. 53 - 57.
- S. C. Birgmeier, N. Görtz: "*Exploiting General Multi-Dimensional Priors in Compressed-Sensing Reconstruction*"; Vortrag: International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC 2019), Rostock, Germany; 12.02.2019 - 14.02.2019; in: "*Proceedings International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC 2019)*", VDE-Verlag, (2019), ISBN: 9783800748624; S. 113 - 118.
- S. C. Birgmeier, N. Görtz: "*Robust Approximate Message Passing for Nonzero-mean Sensing Matrices*"; Vortrag: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019), Brighton, UK; 12.05.2019 - 17.05.2019; in: "*Proceedings ICASSP 2019*", IEEE (Hrg.); (2019), ISSN: 2379-190x; S. 4898 - 4902.
- T. Blazek, T. Berisha, E. Gashi, B. Krasniqi, C. Mecklenbräuker: "*A Stochastic Performance Model For Dense Vehicular Ad-Hoc Networks*"; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019, Krakau, Polen; 31.03.2019 - 05.04.2019; in: "*Proceedings of EuCAP 2019*", (2019), S. 1 - 5.
- T. Blazek, H. Groll, S. Pratschner, E. Zöchmann: "*Vehicular Channel Characterization in Orthogonal Time-Frequency Space*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2019), Shanghai, China; 20.05.2019 - 24.05.2019; in: "*Proceedings of the IEEE ICC 2019*", IEEE (Hrg.); (2019), 5 S.

- J. Blumenstein, A. Prokes, J. Vychodil, T. Mikulasek, E. Zöchmann, H. Groll, C. Mecklenbräuker, M. Hofer, T. Zemen, S. Sangodoyin, A. F. Molisch: "*Vehicle-to-Vehicle Millimeter-Wave Channel Measurements at 56-64 GHz*"; Vortrag: IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), Honolulu, USA; 22.09.2019 - 25.09.2019; in: "*Proceedings of the 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*", IEEE (Hrg.); IEEE, (2019), ISBN: 978-1-7281-1220-6; 5 S.
- J. Dorazil, R. Repp, T. Kropfreiter, R. Prüller, K. Riha, F. Hlawatsch: "*A Multitarget Tracking Method for Estimating Carotid Artery Wall Motion from Ultrasound Sequences*"; Vortrag: 27th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2019, A Coruna; 02.09.2019 - 06.09.2019; in: "*European Signal Processing Conference*", IEEE, A Coruna (2019), ISBN: 978-9-0827-9703-9; S. 1 -5.
- N. Dreyer, G. Artner, F. Backwinkel, M. Hein, T. Kürner: "*Evaluating Vehicular Antennas for Cellular Radio Communications*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 9th MC meeting and 9th technical meeting, Dublin, Irland; 16.01.2019 - 18.01.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 9th MC meeting and 9th technical meeting*", (2019), S. 1 - 6.
- N. Dreyer, G. Artner, M. Hein, F. Backwinkel, T. Kürner: "*Evaluating Automotive Antennas for Cellular Radio Communications*"; Vortrag: ICCVE - International Conference on Connected Vehicles & Expo, Graz; 04.11.2019 - 08.11.2019; in: "*IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*", (2019), S. 1 - 5.
- A. Fastenbauer, M. K. Müller, M. Rupp: "*Investigation of Wraparound Techniques for the Simulation of Wireless Cellular Networks*"; Poster: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", VDE, Wien (2019), ISBN: 978-3-8007-4939-3; S. 115 - 120.
- D. Ferreira, F. Iglesias Vazquez, T. Zseby: "*Extreme Dimensionality Reduction for Network Attack Visualization with Autoencoders*"; Vortrag: International Joint Conference on Neural Networks IJCNN, Budapest; 14.07.2019 - 19.07.2019; in: "*Proceedings of the 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*", (2019), ISSN: 2161-4393; S. 1 - 10.
- H. Groll, E. Zöchmann, S. Pratschner, R. Langwieser, T. Pohl, A. F. Molisch, C. Mecklenbräuker: "*Scanning Aperture Antennas with Spherical Shells*"; Vortrag: 2019 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), Granada, Spain; 09.09.2019 - 13.09.2019; in: "*Proceedings of the 2019 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*", IEEE (Hrg.); IEEE, (2019), ISBN: 978-1-7281-0563-5; 4 S.
- H. Groll, E. Zöchmann, S. Pratschner, M. Lerch, D. Schützenhöfer, M. Hofer, J. Blumenstein, S. Sangodoyin, T. Zemen, A. Prokes, A. Molisch, S. Caban: "*Sparsity in the Delay-Doppler Domain for Measured 60 GHz Vehicle-to-Infrastructure Communication Channels*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2019), Shanghai, China; 20.05.2019 - 24.05.2019; in: "*Proceedings of the IEEE ICC 2019*", IEEE (Hrg.); (2019), 6 S.
- A. Hartl, T. Zseby, J. Fabini: "*BeaconBlocks: Augmenting Proof-of-Stake with On-Chain Time Synchronization*"; Vortrag: The 2nd IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain-2019), Atlanta, USA; 14.07.2019 - 17.07.2019; in: "*Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Blockchain*", IEEE, (2019), ISBN: 978-1-7281-4693-5; S. 353 - 360.
- F. Iglesias Vazquez, A. Hartl, T. Zseby, A. Zimek: "*Are Network Attacks Outliers? A Study of Space Representations and Unsupervised Algorithms*"; Vortrag: MLCS Workshop on Machine Learning for CyberSecurity, ECMLPKDD, Würzburg, Germany; 16.09.2019 - 20.09.2019; in: "*MLCS Workshop on Machine Learning for CyberSecurity*", (2019), S. 1 - 16.
- K. Kirev, S. Schwarz: "*Assessment and comparison of multicarrier waveforms under nonlinear conditions*"; Poster: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", (2019), S. 1 - 5.
- M. Leopoldseder, P. Svoboda, L. Eller, M. Rupp: "*Benchmarking Lightweight User Mobility Predictors on Operational WLAN Data*"; Vortrag: IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), Honolulu, USA; 22.09.2019 - 25.09.2019; in: "*IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*", IEEE (Hrg.); (2019), ISBN: 978-1-7281-1220-6; 5 S.

- M. Lerch, P. Svoboda, D. Maierhofer, J. Resch, A. Brantner, V. Raida, M. Rupp: "*Measurement Based Modelling of In-Train Repeater Deployments*"; Vortrag: IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia; 28.04.2019 - 01.05.2019; in: "*IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*", (2019), ISBN: 978-1-7281-1217-6.
- M. Lerch, P. Svoboda, V. Platzgummer, M. Rupp: "*Analysis of LTE in Two-Path Vehicular Repeater Channels*"; Vortrag: IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), Honolulu, USA; 22.09.2019 - 25.09.2019; in: "*IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*", (2019), ISBN: 978-1-7281-1220-6.
- M. Lerch, P. Svoboda, O. Trindade, J. Resch, V. Raida, M. Rupp: "*Identifying Multipath Propagation in Vehicular Repeater Deployments by LTE Measurements*"; Vortrag: IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia; 28.04.2019 - 01.05.2019; in: "*IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*", (2019), ISBN: 978-1-7281-1217-6.
- W. Liu, S. Schwarz, M. Rupp: "*On Delay Diversity in OQAM/FBMC Based Transmission Schemes*"; Poster: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", (2019), S. 1 - 5.
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp: "*A Novel Optimization Method for Resource Allocation based on Mixed Numerology*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2019), Shanghai, China; 20.05.2019 - 24.05.2019; in: "*ICC 2019*", L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp (Hrg.); IEEE, (2019).
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp: "*Multi-user Resource Allocation for Low Latency Communications based on Mixed Numerology*"; Vortrag: VTC Fall 2019, Honolulu, Hawaii; 22.09.2019 - 25.09.2019; in: "*VTC Fall*", IEEE, (2019).
- C. Mecklenbräuer: "*Das Potential von 5G*"; Hauptvortrag: Businessstreff "5G", Wien (eingeladen); 16.10.2019; in: "*Chancen und Perspektiven von 5G*", Wirtschaftsagentur Wien, (2019), 24 S.
- C. Mecklenbräuer, P. Gerstoft: "*Maximum-likelihood DOA estimation at low SNR in Laplace-like noise*"; Vortrag: 27th European Signal Processing Conference 2019, A Coruna; 02.09.2019 - 06.09.2019; in: "*Proc. 27th Eurooean Signal Processing Conference 2019*", (2019), Paper-Nr. 1570531351, 5 S.
- M. K. Müller, T. Domínguez-Bolaño, J. A. García Naya, L. Castedo, M. Rupp: "*Integration of High Speed Train Channel Measurements in System Level Simulations*"; Vortrag: 27th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2019, A Coruña, Spain; 02.09.2019 - 06.09.2019; in: "*EUSIPCO 2019*", (2019), ISBN: 978-9-0827-9703-9.
- M. Mussbah, S. Pratschner, S. Schwarz, M. Rupp: "*Computationally Efficient Limited Feedback for Codebook-Based FD-MIMO Precoding*"; Poster: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", (2019), ISBN: 978-3-8007-4939-3; S. 1 - 5.
- R. Negrinho, D. Patil, N. Le, D. Ferreira, M. Gormley, G. Gordon: "*Towards modular and programmable architecture search*"; Vortrag: 33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019), Vancouver, Canada, Vancouver, Canada; 08.12.2019 - 14.12.2019; in: "*33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019), Vancouver, Canada*", (2019).
- V. Platzgummer, V. Raida, G. Krainz, P. Svoboda, M. Lerch, M. Rupp: "*UAV-Based Coverage Measurement Method for 5G*"; Vortrag: IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), Honolulu, USA; 22.09.2019 - 25.09.2019; in: "*IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*", IEEE (Hrg.); (2019), ISBN: 978-1-7281-1220-6; 6 S.
- S. Pratschner, D. Löschenbrand, S. Schwarz, T. Zemen, M. Rupp: "*Large Aperture Antenna Array Design for Cellular LOS Massive MIMO*"; Vortrag: Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers 2019, Pacific Grove, CA (eingeladen); 03.11.2019 - 06.11.2019; in: "*Proceedings of the Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*", IEEE (Hrg.); IEEE, (2019), S. 1 - 5.

- S. Pratschner, M. K. Müller, F. Ademaj, A. Nabavi, B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: "*Verification of the Vienna 5G Link and System Level Simulators and Their Interaction*"; Vortrag: 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA; 11.01.2019 - 14.01.2019; in: "*Proceedings of the 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*", IEEE (Hrg.); IEEE, Piscataway, NJ, USA (2019), ISBN: 978-1-5386-4070-8.
- S. Pratschner, E. Zöchmann, H. Groll, S. Caban, S. Schwarz, M. Rupp: "*Does a Large Array Aperture Pay Off in Line-Of-Sight Massive MIMO?*"; Poster: 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Cannes, France; 02.07.2019 - 05.07.2019; in: "*Proceedings of the 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*", IEEE, CFP19AWC-USB (2019), ISBN: 978-1-5386-6527-5.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Kruschke, M. Rupp: "*Constant Rate Ultra Short Probing (CRUSP): Measurements in Live LTE Networks*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2019), Shanghai, China; 20.05.2019 - 24.05.2019; in: "*IEEE International Conference on Communications (ICC 2019)*", IEEE (Hrg.); (2019), 6 S.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Lerch, M. Rupp: "*Repeatability for Spatiotemporal Throughput Measurements in LTE*"; Vortrag: IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia; 28.04.2019 - 01.05.2019; in: "*IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*", IEEE (Hrg.); (2019), 5 S.
- B. Ramos Elbal, S. Schwarz, M. Rupp: "*Coverage Analysis of Relay Assisted V2I Communication in Microcellular Urban Networks*"; Vortrag: 27th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2019, A Coruña; 02.09.2019 - 06.09.2019; in: "*2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*", VDE Verlag, A Coruña, Spain (2019), ISBN: 978-9-0827-9703-9; 5 S.
- M. Rupp, S. Schwarz: "*A LS Localisation Method For Massive MIMO Transmission Systems*"; Vortrag: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019), Brighton, UK; 12.05.2019 - 17.05.2019; in: "*2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*", (2019), S. 4375 - 4379.
- D. Schützenhöfer, E. Zöchmann, M. Lerch, S. Pratschner, H. Groll, S. Caban, M. Rupp: "*Experimental Evaluation of the Influence of Fast Movement on Virtual Antenna Arrays*"; Vortrag: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", (2019).
- S. Schwarz, S. Pratschner: "*Dynamic Distributed Antenna Systems with Wireless mmWave Fronthaul*"; Vortrag: Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers 2019, Pacific Grove, CA (eingeladen); 03.11.2019 - 06.11.2019; in: "*Proceedings of the Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*", IEEE, (2019).
- S. Schwarz, E. Zöchmann: "*Robust Beam-Alignment for TWDP Fading Millimeter Wave Channels*"; Poster: 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Cannes, France (eingeladen); 02.07.2019 - 05.07.2019; in: "*Proceedings of the 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*", IEEE, CFP19AWC-USB (2019), ISBN: 978-1-5386-6527-5; S. 1 - 5.
- G. Soldi, D. Gaglione, F. Meyer, F. Hlawatsch, P. Braca, A. Farina, M.Z. Win: "*Heterogeneous information fusion for multitarget tracking using the sum-product algorithm*"; Poster: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019), Brighton, UK; 12.05.2019 - 17.05.2019; in: "*2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*", (2019), S. 5471 - 5475.
- B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: "*Joint Codebook Design for Multi-Cell NOMA*"; Poster: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019), Brighton, UK; 12.05.2019 - 17.05.2019; in: "*Proceedings of the 44th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019)*", IEEE Xplore, (2019), ISBN: 978-1-4799-8131-1; S. 4814 - 4818.

M. Torkudzor, S. Schwarz, M. Rupp: "*Energy Efficiency Analysis of Scheduling in M2M Communication Over Rayleigh Fading Channels*"; Poster: 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019), Wien; 24.04.2019 - 26.04.2019; in: "*Proc. of 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2019)*", (2019), S. 1 - 6.

M Trullenque Ortiz, H. Groll, E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker: "*Vehicle tracking through vision-millimeter wave Doppler shift fusion*"; Vortrag: 2019 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), Granada, Spain; 09.09.2019 - 13.09.2019; in: "*Proceedings of the 2019 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)*", IEEE (Hrg.); IEEE, (2019), ISBN: 978-1-7281-0563-5; 4 S.

M. Wahab, J. Milosevic, F. Regazzoni, A. Ferrante: "*Power & performance optimized hardware classifiers for efficient on-device malware detection*"; Vortrag: Sixth Workshop on Cryptography and Security in Computing Systems, Valencia, Spain; 21.01.2019; in: "*Proceedings of the Sixth Workshop on Cryptography and Security in Computing Systems*", ACM, New York (2019), ISBN: 978-1-4503-6182-8; S. 23 - 26.

E. Zöchmann, J. Blumenstein, R. Marsalek, M. Rupp, K. Guan: "*Parsimonious Channel Models for Millimeter Wave Railway Communications*"; Vortrag: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2019, Marokko; 15.04.2019 - 19.04.2019; in: "*IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*", (2019), S. 1 - 6.

E. Zöchmann, H. Groll, S. Pratschner: "*A Small-Scale Fading Model for Overtaking Vehicles in a Millimeter Wave Communication Link*"; Poster: 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Cannes, France; 02.07.2019 - 05.07.2019; in: "*Proceedings of the 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*", IEEE, CFP19AWC-USB (2019), ISBN: 978-1-5386-6527-5; S. 1 - 5.

E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker, M. Lerch, S. Pratschner, M. Hofer, D. Löschnerbrand, J. Blumenstein, S. Sangodoyin, G. Artner, S. Caban, T. Zemen, A. Prokes, M. Rupp, A. Molisch: "*Measured Delay and Doppler Profiles of Overtaking Vehicles at 60 GHz*"; Vortrag: COST CA15104 IRACON 9th MC meeting and 9th technical meeting, Dublin, Irland; 16.01.2019 - 18.01.2019; in: "*COST CA15104 IRACON 9th MC meeting and 9th technical meeting*", (2019), S. 1 - 6.

## WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE / SCIENTIFIC REPORTS

A. Vlahov, S. Schwarz: "*V2I traffic modeling*"; Bericht für Vladimir Poulkov (TU Sofia); 2019; 60 S.