

INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS
TU WIEN

DOCUMENTATION

JANUARY 1 – DECEMBER 31, 2022



INHALT / CONTENTS

	Seite / Page
Leitbild / Mission Statement	3
Kontaktpersonen / Contacts	4
Mitarbeiter des Instituts / Staff Members	6
Sponsoren und Projektpartner / Sponsors and Cooperation Partners	10
Aktuelle Forschungsgebiete: Übersicht / Current Research Areas: Synopsis	12
Ernennungen und Preise / Nominations and Awards	21
Veranstaltungen / Events	21
Gastvorträge von Institutsmitgliedern / Guest Talks by Members of the Institute	21
Sonstige Vorträge / Other Lectures	21
Lehrveranstaltungen / Course Program	22
Forschungsprojekte / Research Projects	25
Dissertationen / Doctoral Dissertations	27
Diplom- und Masterarbeiten / Diploma and Master Theses	27
Zeitschriftenartikel / Publications in Scientific Journals	28
Patente/Patents	28
Vorträge und Posterpräsentationen (ohne Tagungsband-Eintrag) / Lectures and Poster presentations (Without Conference Proceedings Entry)	29
Vorträge und Posterpräsentationen (mit Tagungsband-Eintrag) / Lectures and Poster Presentations (With Conference Proceedings Entry)	29

TU Wien

Institute of Telecommunications

Gußhausstraße 25/E389

1040 Wien, Austria

Tel.: +43 1 58801 – 38901

Email: E389.office@tuwien.ac.at

<https://www.tuwien.at/etit/tc/>

Über uns/About Us

Mit mehr als 60 wissenschaftlichen Mitarbeitern ist das Institut für Telekommunikation (ITC) eines der größten der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Wien. Die Ursprünge des Instituts wurden 1928 gegründet. Das Institut kann auf eine lange Reihe von Spitzenleistungen in Forschung und Lehre zurückblicken. In seiner Geschichte hat das Institut eine Reihe von organisatorischen Änderungen durchlaufen, die letzte im Jahr 2011, als das ehemalige Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik (INTHFT) und das ehemalige Institut für Breitbandkommunikation (IBK) zum neuen Institut für Telekommunikation (ITC) fusionierten.

Das Institut trägt zur Lehre in der Elektrotechnik und Informatik bei, indem es ein breites Spektrum an Lehrveranstaltungen in den Bereichen Signale und Systeme, Kommunikation, Hochfrequenztechnik und Kommunikationsnetze anbietet. Das Institut forscht auf praxisrelevanten Gebieten wie Kommunikationsnetze, mobile Kommunikation, drahtlose Systeme, Multimediasysteme, Signalverarbeitung, Kommunikationstheorie und Hochfrequenz-technik. Die Projekte reichen von der Grundlagenforschung bis zum Hardware-Design und werden vielfach in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern und/oder im Rahmen internationaler Projekte und Programme durchgeführt.

Das Christian-Doppler-Labor für verlässliche drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung ist am Institut angesiedelt.

With more than 60 scientific staff, the Institute of Telecommunications (ITC) is one of the largest in the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology at TU Wien (Vienna University of Technology). With the core of the institute founded in 1928, it has a long tradition of excellence in teaching and research. In its history, the institute went through a number of organisational changes, with the most recent one in 2011, when the former Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering (INTHFT) and the former Institute of Broadband Communications (IBK) merged to form the new Institute of Telecommunications (TC).

The institute contributes to teaching in Electrical Engineering and Computer Science through courses covering a wide range of subjects in signals and systems, communications, radio-frequency engineering, and communication networks. The institute's research is in fields of practical relevance, including communication networks, mobile communications, wireless systems, multimedia systems, signal processing, communication theory, and radio frequency engineering. Projects range from fundamental research to hardware design and many of them are carried out in close cooperation with industrial partners and/or in the framework of international projects and programs.

The Christian Doppler Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for a Society in Motion is hosted by the institute.

KONTAKTPERSONEN / CONTACTS

Nebenstelle / Extension

Vorstand/Head

Christoph Mecklenbräuker Univ. Prof. Ing. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. 38980

Sekretariat / Secretariat

Andrea Engelmaier 38901

Sladjana Virag 38954

Buchhaltung / Accounting

Brigitte Halzl 38915

Eva Schwab 38937

IT-Services

Asmus Martin 389503

Breitenfellner Claudia, Dipl.-Ing. Dr.techn. 389504

Walter Schüttengruber, Ing. 38964

Bernhard Wistawel, Ing. 38924

Embedded Systems Support

W. Gartner, Ing. MSc 38905

Hausangelegenheiten, Brandschutz & Arbeitssicherheit/Safety on Work

W. Schüttengruber, Ing. 38964

Ansprechperson Datenschutz / Data Protection

Brigitte Halzl 38915

Ansprechperson Informationssicherheit / Information Security

Bernhard Wistawel, Ing. 38924

○ Mobilkommunikation / Mobile Communications

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

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

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

○ Multimedia-Systeme / Multimedia Systems

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

○ Flexible Funksysteme / Flexible Wireless Systems

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

○ Communication Networks.

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

○ Signalverarbeitung / Signal Processing

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

○ Theorie der Telekommunikation / Communication Theory

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

NETWORKS

SIGNAL PROCESSING

WIRELESS COMMUNICATIONS



ZSEBY



MATZ



GÖRTZ



HLAWATSCH



SCHWARZ



RUPP



MECKLENBRÄUKER



GOISER

MITARBEITER DES INSTITUTS / STAFF MEMBERS

Stand: 31.03.2023

Professor_innen:

Görtz Norbert Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Hlawatsch Franz Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Matz Gerald Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Mecklenbräuker Christoph Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Rupp Markus Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Schwarz Stefan Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Zseby Tanja Univ.Prof.in Dipl.-Ing. Dr.in-Ing.in

Mitarbeiter des wissenschaftlichen Dienstes:

Senior Scientists:

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

Universitätsassistent_innen:

Ashury Mehdi Dipl.-Ing. BSc
Brenner Bernhard MSc BSc
Bucco Thomas John Dipl.-Ing.
Fastenbauer Agnes Dipl.-Ing. BSc
Geiginger Lisa Marie Dipl.-Ing. BSc
Mussbah Mariam Dipl.-Ing. BSc
Pasic Faruk Dipl.-Ing. BSc.
Pichler Georg Dipl.-Ing. Dr.techn.
Prüller Richard Dipl.-Ing. BSc
Radovic Danilo Dipl.-Ing. BSc
Tripkovic Sonja Dipl.-Ing. BSc
Dittrich Thomas Dipl.-Ing. BSc

Projektassistent_innen:

Dorazil Jan Dipl.-Ing.
Eller Lukas Dipl.-Ing. BSc
Groll Herbert Dipl.-Ing. BSc
Hao Le MSc

Hartl Alexander Dipl.-Ing. BSc
Zeyu Huang MSc
Kolisnik Maryna PhD
Lerch Martin Dipl.-Ing.
Mendoza F. Charmae MSc
Salihu Artan MSc
Tahir Bashar Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc
Tauböck Georg Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc
Zhao Shengya MSc

Studentische Mitarbeiter_innen:

Ban Pascal Frederic
Deno Jakob
Kekez Franko
Meiseneder Michael
Rössler Dominik
Ptacek Martin
Reingruber Philipp BSc
Schartmüller Fabio
Schmid Daniel
Schwarzinger Philipp
Seidel Tom
Stadlmann David

Projektmitarbeiter_innen:

Blagojevic Adam BSc
Dordevic Aleksandra BSc
Girsch Michael BSc
Krainz Gerfried BSc
Kiss Florian Alexander BSc
Maierhofer Daniel Amadeus
Nausner Jan Matthias BSc
Nabavi Armand BSc
Zane Mislav BSc

Bedienstete des nichtwissenschaftlichen Dienstes:

Asmus Martin
Breitenfellner Claudia Dipl.-Ing. Dr.techn.
Engelmaier Andrea
Gartner Wolfgang Ing. MSc

Halzl Brigitte
Schwab Eva ARätin.
Schüttengruber Walter ARat. Ing.
Virag Sladjana
Wistawel Bernhard Amtsdir. Ing.

Zugeteilt dem Institut:

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

Lehrbeauftragte:

Cecil Stefan Univ.Lektor Dipl.-Ing.
Ehrlich-Schupita Walter OR i.R. Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn.
Lamedschwandner Kurt Univ.Lektor Dipl.-Ing.
Neubauer Georg Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn.
Wess Bernhard Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn.

Gastforscher_innen:

Fleury Bernard Prof. Dr.
Nossek Josef Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. (ruhend gestellt)

Gastprofessor_innen:

Guan Ke Prof. PhD

Weitere Mitarbeiter_innen:

Doblinger Gerhard Ass.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Im letzten Jahr sind folgende Mitarbeiter_innen ausgeschieden:

Bokor Alexander BSc

Eliasch Christian BSc

Goiser Alois Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Hermanek Angelika Dipl.-Ing.

Lipovec Thomas BSc

Meghdouri Fares Dipl.-Ing.

Kropfreiter Thomas Dipl.-Ing. BSc

Odeh Khairallah Areen Shiyahin BSc

Pratschner Stefan Dipl.-Ing. BSc

Stoeva Diana Doz.Dr.

Schützenhöfer Daniel BSc

Weixelbaumer Roman

Wiedner Wilfried BSc

SPONSOREN UND PROJEKTPARTNER / SPONSORS AND COOPERATION PARTNERS

Acoustics Research Institute, Austrian Academy of Sciences
AIT Austria Institute of Technology GmbH
ANDATA Artificial Intelligence Labs
Austrian Science Fund (FWF)
A1 Telekom Austria AG, Austria
Brno University of Technology, Czech Republic
Bundesministerium für Inneres
Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus: Oberste Fernmeldebehörde
Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
CentraleSupélec, Frankreich
Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE), La Spezia, Italy
Centre national de la recherche scientifique CNRS (CNRS), PARIS 75794, France
Christian Doppler Forschungsgesellschaft
COMLAB AG Ey 13 | CH-3063 Ittigen
Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT), Parma 43124, Italy,
COST-Action CA15104 IRACON
Deutsche Bahn AG
Department of Electrical and Computer Engineering, Stony Brook University / NY, USA
Diamond Aircraft Industries GmbH
Disaster Competence Network Austria
EMS Solutions GmbH, Wien, Austria
e-vo Mobility GmbH, Wien
Fakultät für Informatik, TU Wien
FFG – Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft GmbH
FH Salzburg
GREENERWAVE (Greenerwave SAS), VALBONNE 06560, France
Ikarus Security Software GmbH
Ilwerke vkw AG
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe (TU Wien)
Jinan University, Guangzhou, China
Johannes Kepler University, Linz, Austria
Komobile W7
Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm, Sweden
Kuratorium für Verkehrssicherheit
National Center for Scientific Research "DEMOKRITOS" (NCSR), Agia Paraskevi 15341, Greece
Nec Laboratories Europe GmbH (NEC), Heidelberg 69115, Germany

Nokia Solutions and Networks, Ulm, Deutschland
Nokia Solutions and Networks OY (Nokia Bell), Espoo 02610, Finland
Numerical Harmonic Analysis Group (NuHAG), Universität Wien
NXP Semiconductors Austria GmbH & Co
OeAD, Agentur für Bildung und Internationalisierung
Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)
Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG (ORS)
Österreichischer Versuchssenderverband - Dachverband
Österreichs Energie (OE), Wien
PDTS - Ges. f. ind. Datenverarbeitung GmbH
Propagation Ideas and Solutions GmbH (PIDSO)
Radio-Amateur-Klub der Technischen Universität Wien
School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xian, China
Siemens AG Österreich
Silicon Austria Labs
Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia
SWARCO Futurit Ges.m.b.H
Technische Universität Graz (TU Graz)
Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau)
Technische Universität München, Deutschland
Technologieplattform Smart Grids Austria
Telefonica Investigacion y Desarrollo Sa (TID), MADRID , Spain
T-Mobile Austria GmbH
TÜV Austria
TU Wien Institut für Mechanik und Mechatronik
Universidad Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, Spain
University of California San Diego (UCSD), San Diego, USA
University of Edinburgh, Großbritannien
University of Southern California (USC), Los Angeles, USA
Universität Wien, Institut für Europarecht, Internationales Recht und Rechtsvergleichung
Wave Up S.r.l. (WAVE UP SRL), SIENA, Italy
Wien Leuchtet (MA33)
Wiener Netze GmbH
Wiener Stadtwerke Holding AG
Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF)
Wirtschaftsagentur Wien

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 Schwerpunkte behandelt: Messung und Simulation von Funkübertragungstrecken 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 mit verteilten Antennen und sogenannten elektromagnetisch rekonfigurierbaren intelligenten Oberflächen; Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens zur Drahtlosen Lokalisierung, Kanalmodellierung und Netzoptimierung; Analyse und Modellierung des paket-vermittelten 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, Nokia Solutions and Networks und ÖBB Infrastruktur AG, haben wir es uns in diesem CD-Labor zum Ziel gesetzt einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von 5G und 6G Mobilfunktechnologien 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 drei 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 massive Mehrfachantennensysteme und elektromagnetisch rekonfigurierbaren intelligenten Oberflächen. 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 nicht orthogonalen Mehrbenutzerkommunikation. 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. Die nicht orthogonale Kommunikation mit mehreren Benutzern bietet im Vergleich zur orthogonalen Kommunikation speziell im Hinblick auf Verkürzung der Latenzzeiten, sowie Erhöhung der Anzahl der gleichzeitig bedienbaren Benutzer Vorteile. Allerdings verlangt sie auch nach verbesserten Signalverarbeitungsmethoden an den Sendern und Empfängern, um die überlagerten Benutzer voneinander trennen zu können. 3) In Modul 3 entwickeln wir gemeinsam mit ÖBB Infrastruktur AG Lokalisierungsmethoden auf Basis drahtloser Kommunikationstechnologien unter Einsatz von klassischen Signalverarbeitungsmethoden sowie Methoden des maschinellen Lernens. Die entwickelten Techniken und Algorithmen 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, zur Umsetzung der Forschungsergebnisse, umfasst die Implementierung und Erweiterung unserer 5G Link- und System- Level Simulatoren, den Vienna Cellular Communication Simulators (VCCS). Diese Simulatoren stehen frei zur akademischen Nutzung auf der Instituts-Webseite zum Download bereit und zählen zu den erfolgreichsten Simulatoren dieser Art weltweit. Die Simulatoren werden auch auf kommerzieller Basis vertrieben und von zahlreichen 3GPP Firmen eingesetzt. Beide Simulatoren werden laufend um zusätzliche Funktionalitäten erweitert, um mit den Entwicklungen in der Forschung und Standardisierung Schritt zu halten.

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 Performance-daten 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. Im Jahr 2021 wurden beim Projektpartner kostspielige drive-tests schrittweise durch crowd-source Messungen ersetzt.

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 PV vorgenommen. Im Anschluss an diese Aktivitäten konnten wir in diesem Jahr auch für weitere internationale Firmen im Bahnsektor aktiv werden. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn AG und MM-1 haben wir Messmethodiken entwickelt, um die Mobilfunkqualität entlang von Zugstrecken zu evaluieren.

Im Zuge der Entwicklung von immer neuen Diensten haben sich die Anforderungen an die Qualität von Netzwerken geändert. In diesem Jahr konnte die bestehende direkte Kooperation mit A1 Telekom Austria AG 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 in hybrider Kombination. Die Herausforderung ist die aktuelle gesellschaftliche Entwicklung Richtung Home-Office welche zu einem verstärkten Einsatz von mobilen Technologien als Internetanschluss führt. Mit Hilfe der in der Forschungsgruppe aufgebauten Kompetenzen werden Optimierungen gefunden, den Verkehr auch in Zukunft zuverlässig anbieten zu können.

Im Bereich der Validierung von Mobilfunk Abdeckung im Feld in 3D haben wir in den letzten Jahren aktiv an der Entwicklung von autonomen Testverfahren gearbeitet. Im Zuge dieser Aktivitäten wurde ein Prototyp für modifizierte autonomen Flugdrohnen mit einer entsprechenden Software zur Optimierten Planung der Missionen entworfen. Aktuell erweitern wir das autonomen Messverfahrens mittels künstlicher Intelligenz zur optimierten Erfassung von Wegpunkten und an den Messmitteln zum Aufzeichnen der Signalstärken im 4G Netz.

Die Spezialausbildung in der Mobilkommunikation, zu dem verschiedenen Bereich des Instituts beitragen, zieht Studenten der ganzen Welt an. Internationale Kontakte werden schon während des Master Studiums geknüpft: in Zusammenarbeit mit den technischen Universitäten Bratislava und Brünn bieten wir ein gemeinsames internationales Mobilfunkseminar an, welches trotz Covid-19 in geringerem Umfang online stattfinden konnte. Das Seminar in Zusammenarbeit mit den Technischen Universitäten München und der ETH Zürich konnte 2022 stattfinden.

Mobile Communications

In the broad field of mobile communications, our group focuses on major topics within the scope of next-generation mobile cellular networks: link layer measurements and simulations of fifth generation (5G) and beyond mobile communications; simulation and optimization of heterogeneous cellular networks with distributed antennas and reconfigurable intelligent surfaces; utilization of machine learning techniques for wireless localization, channel modeling and network optimization; 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, Nokia Solutions and Networks and ÖBB Infrastruktur AG, we set our objective within this CD-Lab on significantly contributing to the development of 5G and beyond mobile communications technologies, with a 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 three 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. The core topics of this research module are massive multiple-input multiple-output technologies and reconfigurable intelligent surfaces. We are targeting an enhancement of the resource efficiency and 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 band (approximately 30 to 300 GHz) and on non-orthogonal multiple access schemes. Mobile communication in the millimeter-wave band face 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. Non-orthogonal multiple access, as compared to orthogonal multiple access, has the advantages of potentially providing a lower access latency, as well as, supporting a larger number of simultaneous connections. However, these advantages can only be realized with more sophisticated and complicated signal processing at the transmitters and receivers. 3) In research module 3, we develop together with ÖBB Infrastruktur AG, responsible for Austria's railroad infrastructure, localization techniques based on wireless communication technologies, utilizing classical signal processing techniques (based on signals times and/or angles of arrival) but also 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 learning-based self-optimization of the mobile network utilizing spatiotemporal demand variations and predictions.

To enable computer-based investigation of dense heterogeneous cellular networks and facilitate the evaluation of coordination methods developed for such networks, we rely on our Vienna Cellular Communications Simulators (VCCS), a suite of in-house developed Matlab-based mobile communication simulators, publicly available for academic users to download on our webpage. The free simulators are highly popular within the scientific community and a commercial version is in usage by a number of 3GPP companies. In 2021 our main focus was on extending the capabilities of our system-level simulator for 5G networks, building the basis for the research work conducted in our industrial cooperation. Both simulators are continuously enhanced with additional functionalities to keep pace with developments in research and standardization.

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 transform from centrally 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 goal is a distributed setup to analyze, measure and simulate operational mobile networks. In the past year crowdsourcing was finally used to replace parts of common drive-testing.

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. Since 2020 we optimize the mobile coverage provided by infrastructure along the rails for service on trains together with the ÖBB-PV. Following these activities, we started cooperation with other international companies in the rail sector. With the Deutsche Bahn AG, and MM-1 we did carry out the development of a measurement methodology for service quality onboard high speed trains in 2022.

The demand for new mobile communication services has changed the requirements for the quality monitoring of 5G based networks. In this year, we continued our cooperation action with A1 in this area. The focus is on mobile access technologies, LTE and 5G, and the hybrid combination. The challenge is the current social development towards nomadic home-office usage, which leads to 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 a method to measure and characterize the traffic flows and optimize their resource consumptions.

Measuring the performance of mobile communications in 3D is a new research challenge we picked up in recent years. We focus on the development of fully autonomous test vehicles collecting measurement data along the optimized path. In 2021, we extended the modified aerial drones with a software module for optimized mission planning. The drone is currently in 2022 largely autonomous, measuring using artificial intelligence. The current research focus is on the data recording part with SDR based signal scanners.

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 the technical universities in Bratislava and Brno, we offered an International Seminar on Mobile Communications this year due to Covid-19 online and in reduced form. The cooperation with the Technical Universities of Munich and ETH Zurich we conduct as part of the Mobile Communications Seminar lecture will hopefully restart with in person meetings in 2023.

Christian Doppler Labor für „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 von Mobilfunknetzen speziell für solche Szenarien signifikant zu verbessern und gleichzeitig auch eine zuverlässige Kommunikation selbst bei hoher Mobilität zu gewährleisten. Dementsprechend liegt das Hauptaugenmerk der Forschungsarbeiten der Mitarbeiter des Labors auf Fragen der Verfügbarkeit, Latenzzeit, Ausfallsicherheit und Effizienz der drahtlosen Kommunikation.

Das CD-Labor hat seine Arbeit im Jänner 2016 mit den drei Unternehmenspartnern A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke-KG und Nokia Solutions and Networks aufgenommen. Im Jahr 2019 wurde das Labor um einen vierten Unternehmenspartner, ÖBB Infrastruktur AG, erweitert. Im Hauptfokus des CD-Labors liegen Mobilfunktechnologien der fünften Generation. Seit 2020 beschäftigen wir uns auch vermehrt mit vielversprechenden Nachfolgetechnologien für Mobilfunknetze der sechsten Generation. Die Forschungstätigkeiten des CD-Labors erstrecken sich von messtechnischen Charakterisierungen des drahtlosen Übertragungskanal, speziell bei höheren Frequenzen, über Optimierungen der Sende-/Empfangssignalverarbeitung auf Link-Ebene, bis hin zu großräumigen Netzanalysen auf System-Ebene. Das CD-Labor beschäftigt derzeit sechs Doktoranden und Doktorandinnen, die von acht Master-Studierenden tatkräftig unterstützt werden. Wir kooperieren in unseren Forschungsarbeiten mit zahlreichen Außer- und Inner-Europäischen Universitäten und Forschungseinrichtungen und organisieren regelmäßig wissenschaftliche Events, um unsere Ergebnisse zu teilen und zu promoten. Nach erfolgreicher 5-Jahresevaluierung im Oktober 2020, befindet sich das CD-Labor bereits in der Auslaufphase bis Mitte 2023.

Christian Doppler Laboratory for „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 CD-lab started its work in January 2016 with three work modules. Each of the modules is associated to one of our three industrial partners Nokia Solutions and Networks (Module 1), A1 Telekom Austria AG (Module 2) and Kathrein-Werke KG (Module 3). In January 2019 the Lab was extended by a fourth research module with the industrial partner ÖBB Infrastruktur AG. The main scope of the laboratory is on 5G mobile communication technologies. Since 2020, our research

additionally focuses on the most promising 6G candidate technologies. Our research work within the CD-lab encompasses measurement-based wireless channel characterizations, especially at higher carrier frequencies, optimization of transmitter and receiver signal processing on link level, as well as, large-scale network analyses on a system level. The CD-lab currently finances six doctoral students and eight Master-level students. In addition, we cooperate with many Universities and research institutions within and outside of Europe. We also regularly organize scientific events to share our results with other researchers and to promote our work. After a successful scientific 5-years evaluation in October of 2020, the CD-lab is now in its phase-out period until mid 2023.

Flexible Funksysteme

Inzwischen ist 5G Technologie allgemein verfügbar und auch der Netzausbau schreitet voran. Das Internet ist mobil und erlaubt die Übertragung, Verteilung, Speicherung und Manipulation von Information. Die aktuellen Herausforderungen in der *Digitalisierung* betreffen die 5G Anwendungen in der *Produktion*, zum *Transport*, zur *Verteilung*, *Lagerung* und *Manipulation* von materiellen Objekten („Internet der Dinge“). Funktechnologien müssen zunehmend *verlässlich* („dependable“) funktionieren. Dies erfordert wesentliche Verbesserungen der Verfügbarkeit und Übertragungslatenz, garantierten Datendurchsatz, sowie Energieeffizienz und Kosten. Wir befassen uns daher mit 5G/6G 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. *Massive* MIMO Übertragungsverfahren und Rekonfigurierbare Intelligente Strukturen (RIS) werden Basistechnologien für 5G und 6G Netze. Im Bereich der Zentimeter- und Millimeterwellen erlauben RIS, die Realisierung von Funkkanälen mit LOS-ähnlichen Eigenschaften an Orten, die sonst abgeschattet wären. In diesem Bereich bauen wir eine Infrastruktur zur messtechnischen Charakterisierung von prototypischen RIS über die Funkschnittstelle.

Auch die direkte Funkkommunikation zwischen mobilen Teilnehmern erlebt eine Renaissance, insbesondere für den kooperativen Straßenverkehr (C-V2X) und aktive Sicherheitssysteme. Das Institut leitet das Projektkonsortium „Intelligent InterSection“. Dieses Projekt richtet ein Kreuzungsverkehrssystem ein, um die Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz für alle Verkehrsteilnehmer zu verbessern. Durch einen breiten, integrativen, interdisziplinären, auf den Menschen ausgerichteten Designansatz werden die Bedürfnisse, Ziele und Einschränkungen aller Beteiligten erfasst und in quantitative Schlüsselleistungsindikatoren und eine technische Problembeschreibung gegossen. Neuartige Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Kalibrierung, Simulation, Schätzung, Vorhersage und Steuerung des heterogenen Kreuzungsverkehrs sowie neuartige Mittel und Anwendungsfälle der 5G-Kommunikation werden kombiniert, um die Verkehrssituationen in Echtzeit zu optimieren. Die daraus resultierenden Vorteile der intelligenten Kreuzung werden durch detaillierte Co-Simulationen, Validierung und Demonstrationstests untersucht und mit allen Beteiligten bewertet. Damit bietet das Projekt eine solide Grundlage für eine spätere Umsetzung in städtischen Verkehrssystemen, die die Verkehrssicherheit und -effizienz für alle Nutzer gleichermaßen verbessert. 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.*

Flexible Wireless Systems

In the meantime, 5G technology is generally available and network expansion is also progressing. The Internet has become mobile and allows the transmission, distribution, storage, and manipulation of information. The next challenges for “digitalization” concern 5G applications for 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/6G 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. *Massive* MIMO transmission techniques and Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) will become enabling technologies for 5G and 6G networks. In the centimeter and millimeter wave domain, RIS, allow the realization of radio channels with LOS-like characteristics in locations that would otherwise be shadowed. In this area, we are building an infrastructure for the characterization of prototype RIS by over-the-air (OTA) measurements.

Direct radio communication between mobile participants is also experiencing a renaissance, especially for cooperative road traffic (C-V2X) and active safety systems. The institute leads the project consortium “Intelligent InterSection”. This project establishes an intersection traffic system to improve road safety and traffic efficiency for all road users. Through a broad, inclusive, interdisciplinary human-centered design approach, all stakeholders’ needs, goals, and limitations are captured and cast into quantitative key performance indicators and a technical problem description. Novel methods and tools to model, calibrate, simulate, estimate, predict and control heterogenous intersection traffic, as well as novel means and use cases of 5G communication will be combined to optimize the traffic situations in real time. The resulting real-world benefits of the intelligent intersection will be studied via detailed co-simulations, real-world validation and demonstration tests, and re-assessed with all stakeholders. Hence, the project provides a sound basis for later realization in urban traffic systems that improves road safety and efficiency alike, for all users. 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.

Communication Networks

The main research areas of the communication networks (CN) group at the Institute of Telecommunications (IT) 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. Special research topics in the group are methods for the analysis of encrypted network traffic, the detection of anomalies in streaming data and the use of supervised and unsupervised machine learning in adversarial environments.

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. This includes research on IPv4 and IPv6 based communication in smart grids for smart metering and wide area monitoring systems (WAMS).

A special focus of the group is the detection of malware communication in critical infrastructures. In this area the group evaluates and develops novel methods that support the analysis and detection of, as well as the defense against network steganography methods (covert and subliminal channels) in high security environments. Specific applications in the domain of smart grids include, but are not limited to security analyses and -enhancements for eCharging and smart metering infrastructures. In the domain of smart production networks, the combination and inter-dependence of security and safety features poses unique challenges, which are addressed by recent CN research group activities.

Signalverarbeitung

Die Entwicklung statistischer Signalverarbeitungsmethoden zur Verfolgung multipler Objekte in zentralisierten und dezentralen Szenarien stellt einen Schwerpunkt unserer Arbeit dar. 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. Verteilte Algorithmen für dezentrale Sensornetze haben den Vorteil, ohne eine zentrale Verarbeitungseinheit oder Kommunikation zwischen weit entfernten Sensoren auszukommen. Unser besonderes Interesse gilt der Lokalisierung und Verfolgung einer unbekannt 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. Unsere aktuellen Forschungsergebnisse in diesem Bereich betreffen die Integration kontextueller Information sowie die probabilistische Objektzuordnung zwischen mehreren Sensoren.

Wir entwickelten weitere Algorithmen zur multiplen Objektverfolgung, bei denen die Objektzustände und die Messdaten durch endliche Punktprozesse modelliert werden. Die Verwendung markierter endlicher Punktprozesse erlaubte die Schätzung gesamter Objekttrajektorien mit konsistenter Identifikation der Objekte. Ein besonders attraktiver Kompromiss zwischen hoher Schätzgenauigkeit und geringer Komplexität konnte durch die Kombination von markierten und unmarkierten endlichen Punktprozessen erzielt werden.

Eine zweite aktuelle Forschungsrichtung ist die Schätzung des Optischen Flusses, eine grundlegende Aufgabe der Bildverarbeitung mit Anwendungen z.B. in der Videokompression, in der autonomen Navigation und in der medizinischen Diagnostik. Wir entwickelten eine vereinheitlichte statistische Methodik für die Schätzung des Optischen Flusses, die auf einer variationellen Schranke beruht. Diese Methodik ist insbesondere für ultraschallspezifische statistische Modelle geeignet und erlaubt somit Anwendungen in der ultraschallbasierten Bildgebung.

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 und Flexible Funksysteme.

Signal Processing

The development of statistical signal processing methods for multi-object tracking in centralized and decentralized scenarios is a major focus of our work. 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. Distributed algorithms for decentralized sensor networks have the advantage of not requiring a central processing unit or communication between distant sensors. We are mainly interested 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. Our most recent results in this direction include methods for integration of contextual information and for probabilistic object association between sensors.

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. We were able to achieve a superior performance–complexity compromise through a judicious combination of marked and non-marked finite point processes.

Another line of our research is the estimation of the optical flow, which is an important problem in image processing with a wide range of applications including video compression, autonomous navigation, and medical diagnosis. We proposed a unified statistical methodology for optical flow estimation that is based on a variational bound. Our approach is well suited to ultrasonic imaging as it supports ultrasound-specific statistical models.

Signal processing methods are an essential part of several other research areas. For complementary signal processing research, see the sections Mobile Communications, Communication Theory and Flexible Wireless 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. 20mm².

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 20mm² chip area.

ERNENNUNGEN UND PREISE / NOMINATIONS AND AWARDS

Agnes Fastenbauer, Bashar Tahir, Stefan Schwarz, Markus Rupp, "*Validation of NOMA System-Level Abstraction and Network Performance Evaluation*" Proc. of WiMob, Thessaloniki, Greece, Oct. 2022. {Best paper award}

Christoph Mecklenbräuker, "*appointment as member of the Telekom-Control Commission by the Federal Government*", term of office Nov. 5, 2022 to Nov. 4, 2027. Link https://www.rtr.at/TKP/wer_wir_sind/tkk/TKK.de.html

VERANSTALTUNGEN / EVENTS

Invited Talk "*5G+1=6G?*" at international Seminar, Munich, 24. June 2022.
Organizers: Markus Rupp

Informationstechnisches Kolloquium: 5G als Basis der Digitalisierung. Anwendungen, Chancen und Ausblick auf 6G, Organizers: Christoph Mecklenbräuker, Thomas Zemen, Cornelia Schaupp, Christian Gasser, Veranstalter: OVE, TU Wien, AIT.

5G Internet of Things, Workshop of the Joint Doctoral School at TU Graz JKU Linz, and TU Wien, May 19-20, 2022 at SAL-Forum, Linz Campus JKU (hybrid event).

GASTVORTRÄGE VON INSTITUTSMITGLIEDERN / GUEST TALKS BY MEMBERS OF THE INSTITUTE

J. I. Alvarez-Hamelin, A. Morton, J. Fabini, C. Pignataro, & R. Geib, RFC 9198: "Advanced Unidirectional Route Assessment (AURA)". (2022) The Internet Engineering Task Force (IETF) RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/RFC9198>

J. Fabini, "Verdeckte Kommunikation in Kritischen Infrastrukturen", eingeladener Vortrag, 11. Austrian Trust Circle Jahrestreffen, Loipersdorf, 28.04.2022.

C. Mecklenbräuker, P. Gerstoft, E. Ollila: "DOA M-Estimation using Sparse Bayesian Learning"; Vortrag: Marine Physics Lab Seminar, University of California San Diego, University of California San Diego, La Jolla (CA), USA (Conference Presentation); 01.03.2022.

SONSTIGE VORTRÄGE / OTHER LECTURES

Em. O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harmen R. van As, "*SDN-Twin: Software-defined-networking with digital twins*", 31. Mai 2022 – 17.15, TU Wien Gußhausstraße 27, 1040 Wien Hörsaal EI 7

Em. O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harmen R. van As, „*Software definierte Vernetzung und das Wunder der digitalen Zwillinge in jedem System*“ 29. November 2022, 18.15 - 20:00h, TU Wien, EI 7 Gußhausstraße 25-27, 1040 Wien

Ernst Bonek, "*Sind Handys gefährlich?*", Volkshochschule Burgenland, Eltendorf, 6.12.2022

Ernst Bonek, "*Sind Handys gefährlich?*", Volkshochschule Urania, Wien, 13.12.2022

Patente/Patents

A. F. Molisch, T. M. Pohl, C. F. Mecklenbräuker, H. Hammoud, Y. Zhang: "*Spinning Directional Antenna in Centimeter and Millimeter Wave Bands*", PCT Application No. PCT/US2022/012559 filed on Jan. 14, 2022.

LEHRVERANSTALTUNGEN / COURSE PROGRAM

Im Studienjahr 2022

1. PFLICHTLEHRVERANSTALTUNGEN / MANDATORY COURSES

			WS	SS
Görtz., Pichler	Signals and Systems 2	VU	----	3.0
Goiser, Schwarz, Salihu, Mendoza	Telekommunikation	VU	----	3.5
ProfessorInnen und AssistentInnen	Data Communications	VO	----	2.0
Görtz	Wireless Communications 2	VO	----	2.0
Mecklenbräuker, Rupp, Radovic, Mussbah	Wireless Communications 1	VU	----	4.0
Hlawatsch, Bucco	Digital Communications 1	VU	----	3.0
Fabini, Hartl	Communication Networks 2	VU	----	3.0
Goiser, Radovic	Lab Wireless Communications	LU	----	2.0
Mecklenbräuker, Pasic	Wave propagation	VU	3.0	----
Zseby	Communication Networks 1	VU	3.0	----
Hlawatsch, Bucco	Digital Communications 2	VU	3.0	----
Rupp, Fastenbauer Tripkovic	Signal Processing 1	VU	3.0	----
Matz, Tauböck	Signal Processing 2	VU	3.0	----

2. WAHLLLEHRVERANSTALTUNGEN / OPTIONAL COURSES

			WS	SS
Ehrlich-Schupita	Messgeräte der Hochfrequenztechnik A	KO	----	1,5
Hlawatsch, Rupp, Matz	Research Projects in Advanced Signal Processing	SE	3.0	3.0
ProfessorInnen und AssistentInnen	Computer oriented projects	AG	4.0	4.0

Matz	Signal Detection	VO	----	2.0
Langwieser	Practical Implementation of Radio Frequency Circuits	PR	----	3.0
Mecklenbräuker, Langwieser, Ehrlich-Schupita	Antenna Design and Realization	PR	----	2.0
Matz	Graphical models in signal processing and communication	VO	----	2.0
Hlawatsch	Parameter Estimations Methods	VO	----	2.0
Matz, Mecklenbräuker	Convex Optimization for Signal Processing and Communication	VO	----	2.0
ProfessorInnen	Bachelor Thesis and Seminar	PR	10.0	10.0
Görtz	Practical Courses (Transitional Rules B.-Thesis)	PA	2.0	2.0
Mecklenbräuker, Rupp, Fastenbauer	Special Topic Telecommunication	VU	----	4.0
Ehrlich-Schupita, Neubauer, Lamedschwandner, Cecil	Selected Topics in Electromagnetic Fields and Waves	VU	----	4.0
Goiser	Einführung in die Telekommunikation	VU	----	3.0
Zseby, Iglesias, Meghdouri	Network Security	VU	----	2.0
Zseby	Communication Networks Seminar	SE	----	2.0
Rupp, Mecklenbräuker, Svoboda	Seminar Wireless Communication	SE	----	3.0
Hlawatsch,	Signal Processing Seminar	SE	----	3.0
Gartner	Lab FPGA Programming Fundamentals using VHDL	LU	----	2.0
Mecklenbräuker, Langwieser, Pratschner	Centimeter and Milimeter Waves	PR	----	2.0
Ullrich	Radar- und Lidartechnik	VO	----	2.0
Schwarz	Mobile digitale Kommunikation	VO	----	2.0
ProfessorInnen und AssistenInnen	Computer oriented Projects	AG	4.0	----

Mecklenbräuker, Kolisnyk	Telekommunikationsforum 5G Internet der Dinge	KO	2.0	----
Mecklenbräuker,	Shortwave Radio Communication	VO	1.5	----
Langwieser, Soklic	Computer Aided RF Circuit Design	PR	3.0	----
Rupp	DSP Seminar	SE	1.0	----
Matz, Mecklenbräuker	MIMO Communications	VO	2.0	----
Matz	Wireless OFDM Systems	VO	2.0	----
ProfessorInnen	Bachelor Thesis and Seminar Distance Learning	VO	10.0	----
Görtz	Practical Course (Transitional Rules B.-Thesis)	PA	2,0	----
Wess	Selected Topics in Signals and Systems	VU	4.0	----
Zseby, Iglesias	Network Security – Advanced Topics	VU	2.0	----
Görtz	Source Coding	VO	2.0	----
Rupp, Svoboda	Advanced Wireless Communications 1	VO	2.0	----
Görtz, Matz	Digital Communications Seminar	SE	3.0	----
Mecklenbräuker, Zemen	Advanced Wireless Communications 3	VO	2.0	----
Rupp, Eller	Machine Learning Algorithms	VU	4.0	----
Hlawatsch	Bayesian Machine Learning	VO	2.0	----
Van As	SDN-Twin: Software-defined-networking with digital twins	VO	2.0	----
Van As	SDN-Twin optimization based on mathematics and metaheuristics	VO	2.0	----
Van As	Digital-twin applications and services in all business sectors	VO	2.0	----
Van As	SDN-Twin CPU/GPU/DPU processing with memory hierarchy and transmission technologies	VO	2.0	----

FORSCHUNGSPROJEKTE / RESEARCH PROJECTS

SIGNALVERARBEITUNG / SIGNAL PROCESSING

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

Contact: F. Hlawatsch Partner: FWF Duration: 07.2019 - 01.2024

Frames, Reconstruction, and Applications (WTZ project HR 03/2020 between Austria and Croatia)

Contact: Diana. T. Stoeva, Partner: OeAD Duration: 01.01.2020 - 31.12.2022

MOBILKOMMUNIKATION / MOBILE COMMUNICATIONS

MAR22TDD Massive MIMO: TDD vs FDD Performance

Contact: M. Rupp Partner: A1 Telekom Austria AG Duration: 11.2021 - 12.2022

MAR2023_16GHZ Mobile Access Research 2023 26 GHz Indoor

Contact: M. Rupp Partner: A1 Telekom Austria AG Duration: 11.2022 – 12.2023

MAR22CHT Channel High Tower

Contact: M. Rupp Partner: A1 Telekom Austria Duration: 02.2022 – 12.2022

MetaWireless Research Funding

Contact: M. Rupp Partner: European Commission Duration: 02.2021 – 11.2024

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

Contact: S. Schwarz Partners: A1 Telekom Austria AG, Nokia Solutions and Networks
ÖBB Infrastruktur AG Duration: 01.2016 - 12.2022

DB21_AddOn DB Messfahrt Hamburg Frankfurt

Contact: P. Svoboda Partner: DB Fernverkehr AG Duration: 05.2022 – 06.2022

21DBStudie Studie zur Evaluierung von Messpositionen in einem ICE BR 412

Contact: P. Svoboda Partner: Drillisch Netz AG Duration: 10.2021 -03.2022

LowSin LTE Low SINR Performance Evaluation

Contact: P. Svoboda Partner: A1 Telekom Austria AG Duration: 08.2021 – 02.2022

A1 Stratified Sampling 5G TDD

Contact: P. Svoboda Partner: A1 Telekom Austria AG Duration: 10.2021 – 04.2022

FLEXIBLE FUNKSYSTEME / FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS

Doktoratskolleg 5G Internet of Things

Contact: C. Mecklenbräuker & M. Rupp,
Partner: TU Graz und JKU Linz. Duration: 01.2019 - 03.2023

HJF22RIS Vermessungsplattform für Intelligente Reflektierende Oberflächen für Mobilfunk der 6ten Generation

Contact: C. Mecklenbräuker Partner: Hochschuljubiläumsfonds der Stadt Wien
Duration: 11.2022 – 10.2023

Intelligent InterSection (IntIntSec), FFG, IKT der Zukunft, 8. Ausschreibung, Project No. 880830,

Contact: C. Mecklenbräuker, Partners: TU Wien Institut für Mechanik und Mechatronik, SWARCO
Futurit GmbH, komobile W7 GmbH, ANDATA
Entwicklungstechnologie GmbH & Co KG, Kuratorium für
Verkehrssicherheit, Wien Leuchtet (MA33).

Duration: 15.10.2020 - 14.10.2023

COMMUNICATIONS NETWORKS

TÜV AUSTRIA Research Lab for Safety and Security in Industry (#SafeSecLab)

Contact: T. Zseby *Partner:* TÜV AUSTRIA, TU Wien *Duration:* 01.2020 - 12.2023

MALORI - MALware cOmmunication in cRitical Infrastructures (FFG KIRAS Programm, Fördernummer 873511)

Contact: Joachim Fabini *Partners:* AIT Austrian Institute of Technology, IKARUS Security Software GmbH, illwerke vkw AG, Wiener Netze GmbH, Universität Wien, Institut für Europarecht, Internationales Recht und Rechtsvergleichung, Bundesministerium für Inneres.
Duration: 1.1.2020 – 30.06.2022

Doctoral College on Secure and Intelligent Human-Centric Digital Technologies (SecInt)

Contact: T. Zseby, *Partners:* Faculty of Informatics (TU Wien), Faculty of Mathematics and Geoinformation (TU Wien)
Duration: 12.2020 – 01.2024

Sicherheitsstudie Ladeinfrastruktur, Steuerung von Ladeinfrastruktur durch CPOs und Aggregatoren.

Contact: J. Fabini *Partner:* Österreichs Energie *Duration:* 10.2022 – 04.2023

THEORIE DER TELEKOMMUNIKATION/COMMUNICATIONS THEORY

Infinite Dimensional Signal Processing Techniques for Acoustic Applications

Contact: Georg Tauböck *Partner:* WWTF *Duration:* July 2022 – June 2023

DISSERTATIONEN / DOCTORAL DISSERTATIONS: (eigene und begutachtete)

- Sarah Anne Wassermann „*Machine Learning for Network Traffic Monitoring and Analysis*“, Betreuer/in(nen): T. Zseby, P. Casas, E389, 2022; Rigorosum: 06.04.2022
- Bashar Tahir "*Towards Massive Connectivity via Uplink Code-Domain NOMA*"; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): S. Schwarz, M. Rupp, D.B. da Costa, Y. Liu; E389, 2022; Rigorosum: 12.04.2022.
- Thomas Kropfreiter "*Labeled Multi-Bernoulli Filtering Methods for Efficient Multi-object Tracking*", Betreuer/in(nen): F. Hlawatsch, E389, 2022, Rigorosum: 14.06.2022
- Stefan Zelenbaba "*Digital Twin for Reliable Wireless Communications*", Betreuer/in(nen): T. Zemen, F. Tufvesson, K. Haneda, E389, 2022; Rigorosum: 06.2022

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

- Martin Pichler "*Study of 2D Representations of Encrypted Network Traffic for Attack Detection with Deep Learning*", Betreuer/in(nen): T. Zseby, F. Iglesias, E389, 2022; Abschlussprüfung: 14.05.2022
- Jonas Ferdigg "*Self-supervised Pre-training on LSLTM and Transformer Models for Network Intrusion Detection*", Betreuer/in(nen): T. Zseby, A. Hartl, E389, 2022, Abschlussprüfung: 31.05.2022
- Daniel Schützenhöfer "*Influence of Fast Movement on DOA Algorithms for mmWave Channels*", Betreuer/in(nen): M. Rupp, S. Pratschner, E389, 2022; Abschlussprüfung: 05.2022
- Marek Honek "*SDR OFDM Frame Generation according to IEEE 802.22*", Betreuer/in(nen): C. Mecklenbräuker, B. Isemann, E389, 2022; Abschlussprüfung: 11.08.2022
- Alexander Bokor "*System Level Simulation and Optimization of Multi-User MIMO Transmissions*", Betreuer/in(nen): S. Schwarz, M. Rupp, E389, 2022; Abschlussprüfung: 09.2022
- Areen Shiyahin "*Quality of Service Aware Scheduling in Mixed Traffic Wireless Networks*", Betreuer/in(nen): S. Schwarz, M. Rupp; E389, 2022, Abschlussprüfung: 09.2022
- Patrick Himler „*Federated learning for log-based anomaly detection*“, Betreuer/in(nen): T. Zseby, F. Skopik, M. Landauer, M. Wurzenberger; E389, 2022; Abschlussprüfung: 31.10.2022
- Navid Arshadi "*Graph Drawing via Distortion Minimization*", Betreuer/in(nen): G. Matz, T. Dittrich, E389, 2022; Abschlussprüfung: 19.12.2022

ZEITSCHRIFTENARTIKEL / PUBLICATIONS IN SCIENTIFIC JOURNALS

- L. Arambasic, D. Stoeva: "*Dual frames compensating for erasures -- non-canonical case*"; Arxiv, 1 (2022), 22 S. (Preprint)
- Brandmayr, G., Hartmann, M., Fürbass, F., Matz, G., Samwald, M., Kluge, T., & Dorffner, G.: „*Relational local electroencephalography representations for sleep scoring*” (2022). *Neural Networks*, 154, 310–322.
- L. Eller, V. Raida, P. Svoboda, & M. Rupp: „*Localizing Basestations From End-User Timing Advance Measurements*”. (2022) *IEEE Access*, 10, 5533–5544.
- L. Eller, P. Svoboda, & M. Rupp: „*A Deep Learning Network Planner: Propagation Modeling Using Real-World Measurements and a 3D City Model*”. (2022) *IEEE Access*, 10, 122182–122196.
- D. Gaglione, P. Braca, G. Soldi, F. Meyer, F. Hlawatsch, & M. Win: „*Fusion of Sensor Measurements and Target-Provided Information in Multitarget Tracking*”. (2022) *IEEE Transactions on Signal Processing*, 70, 322–336. <https://doi.org/10.34726/3510>
- H. Groll, P. Gerstoft, M. Hofer, J. Blumenstein, T. Zemen, & C. Mecklenbräuker, „*Scatterer Identification by Atomic Norm Minimization in Vehicular mm-Wave Propagation Channels*”. (2022) *IEEE Access*, 10, 102334–102354.
- P. Gerstoft, M. Hahmann, W. Jenkins, Z.-H. Michalopoulou, E. Fernandez Grande, & C. Mecklenbräuker: „*Direction of arrival estimation using Gaussian process interpolation*”. (2022) *The Journal of the Acoustical Society of America*, 152(4), Article A142.
- F. Iglesias Vazquez, F. Meghdouri, R. Annessi, T. Zseby: "*CCgen: Injecting Covert Channels into Network Traffic*". (2022) *Security and Communication Networks*, S. 1 - 11.
- G. Koliander, Y. El-Laham, P. M. Djuric, & F. Hlawatsch: „*Fusion of Probability Density Functions*”. (2022) *Proceedings of the IEEE*, 110 (4), 404–453.
- T. Kropfreiter, F. Meyer, & F. Hlawatsch: „*An Efficient Labeled/Unlabeled Random Finite Set Algorithm for Multiobject Tracking*”. (2022) *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 58(6), 5256–5275.
- C. Mecklenbräuker: “*5G als Basis der Digitalisierung. Anwendungen, Chancen und Ausblick auf 6G*“, *Elektrotechnik und Informationstechnik : e & i*, (2022) 139, pages 587–588
- L. Polak, J. Milos, R. Zedka, J. Blumenstein, & C. Mecklenbräuker, „*BER and throughput performances of IEEE 802.11ay SC-PHY over measured 60 GHz indoor channels*”. *Telecommunication Systems*, (2022) 80 (4), 573–587.
- S. Schwarz, T. Tsiftsis: "*Codebook Training for Trellis-Based Hierarchical Grassmannian Classification*"; (2022), *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(3); S. 636-640.

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

A. Hartl, J. Fabini, C. Roschger, P. Eder-Neuhauser, M. Petrovic, R. Tobler, & T. Zseby: “*Subverting Counter Mode Encryption for Hidden Communication in High-Security Infrastructures*”. IETF 113 Meeting - IRTF CFRG, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.34726/3644> (Conference Presentation) 24. March 2022.

J. Fabini: „*Verdeckte Kommunikation in Kritischen Infrastrukturen. 11. Austrian Trust Circle Jahrestreffen*” Congress & Sonnreich Loipersdorf, Austria. <http://hdl.handle.net/20.500.12708/153395> (Conference Presentation), 28. April 2022.

T. Zseby: “*Machine Learning for Network Security*” AI in Networking Summer School 2022, University of Ulm, Germany. (Presentation). 2022, February 22).

T. Zseby: “*Malware Communication in Critical Infrastructures*” Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2022), Athens, Greece, (Keynote Presentation), 9. December 2022.

T. Zseby: „*Schutz kritischer Infrastruktur: Herausforderungen in Krisenzeiten*“. Podiumsdiskussion: Technologie und Energieversorgung im Spannungsfeld zwischen Ukraine-Konflikt und Pandemie, (Presentation) Wien, Austria. 28. June 2022.

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

Balazs, P., Tauböck, G., Rajbamshi, S., & Holighaus, N. (2022). “*Audio Inpainting*” In Proceedings of 24th International Congress on Acoustics - ICA 2022 (pp. 258–261). (repositUM)

G. Del Grosso, H. Jalalzai, G. Pichler, C. Palamidessi, & P. Piantanida: “*Leveraging Adversarial Examples To Quantify Membership Information Leakage*”. (2022) In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2022) (pp. 10399–10409). Computer Vision Foundation. <https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01015>

T. Dittrich, & G. Matz: “*A Linearly Constrained Power Iteration for Spectral Semi-Supervised Classification on Signed Graphs*”. In 2022 IEEE Data Science and Learning Workshop (DSLW) (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/DSLW53931.2022.9820404>

L. Eller, P. Svoboda, & M. Rupp: “*Unveiling Cellular Antenna Orientations from Large Crowdsourced Datasets: A Deep Learning Approach*”. (2022) In Proceedings 18th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2022) (pp. 229–234). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WiMob55322.2022.9941528>

L. Hao, A. Fastenbauer, S. Schwarz, & M. Rupp: “*Towards System Level Simulation of Reconfigurable Intelligent Surfaces*” (2022) In Proceedings of ELMAR-2022 (pp. 81–84). <https://doi.org/10.1109/ELMAR55880.2022.9899799>

A. Hartl, J. Fabini, & T. Zseby: “*Separating Flows in Encrypted Tunnel Traffic*”. In 2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA) (pp. 609–616). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMLA55696.2022.00094>

M. Honek, B. Isemann, & C. Mecklenbrauker: „*OFDMA communication scheme for sub GHz band*”. (2022) In 24th International Microwave and Radar Conference (MIKON). 24th International Microwave and Radar Conference (MIKON), Gdansk, Poland.
<https://doi.org/10.23919/MIKON54314.2022.9924639>

Z. Huang, S. Schwarz, B. Tahir and M. Rupp, "*Identification of RIS-Assisted Paths for Wireless Integrated Sensing and Communication*," 2022 IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Kyoto, Japan, 2022, pp. 1-7.doi: 10.1109/PIMRC54779.2022.9977621

A.L. Gratzner, A. Schirrer, E. Thonhofer, F. Pasic, S. Jakubek, C. Mecklenbräuker: "*Short-Term Collision Estimation by Stochastic Predictions in Multi-Agent Intersection Traffic*"; "Proc. of the International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET 2022)", herausgegeben von: IEEE; IEEE Xplore, Prague, 2022, S. 1 - 6.

F. D'Apollito, C. Eliasch, C. Sulzbachner, C. Mecklenbräuker: "*A Joint Multiple Hypothesis Tracking and Particle Filter Approach for Aerial Data Fusion*"; "Proc. 25th International Conference on Information Fusion (FUSION 2022)", 2022, Paper-Nr. 0471.

R. Langwieser, H. Bühler, & C. F. Mecklenbräuker: "*Bi-static Radar Cross Section Simulation for a Wind Farm at Short-Wave Frequencies*". In 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI) (pp. 1954–1955). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9887087>

R. Langwieser, E. Jirousek, L.-M. Tauber, C. Mehofer, M. Paul, & M. Wellenzohn: "*Silver Ink Printed Logarithmic Spiral Antenna*". (2022) In IEEE (Ed.), 2022 45th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE) (pp. 1–7). <https://doi.org/10.1109/ISSE54558.2022.9812823>

C. Mecklenbräuker, P. Gerstoft, E. Ollila: "*DOA M-Estimation Using Sparse Bayesian Learning*"; Poster: 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Singapore; 22.05.2022 - 27.05.2022; in: "Proceedings 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)", IEEE, (2022), ISBN: 978-1-5090-6631-5; Paper-Nr. 1243, 5 S.

C. F. Mendoza, S. Schwarz, & M. Rupp: „*Deep Reinforcement Learning for Spatial User Density-based AP Clustering*”. In 2022 IEEE 23rd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communication (SPAWC). 2022 IEEE 23rd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communication (SPAWC), Finland. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/SPAWC51304.2022.9833939>

Mussbah, M., Schwarz, S., & Rupp, M. (2022). Access Point Clustering-based Pilot Assignment for Cell-free Massive MIMO. In 2022 56th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (pp. 722–726). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF56349.2022.10052089>

F. Pasic, S. Pratschner, R. Langwieser, & C. F. Mecklenbrauker: (2022) „*High-Mobility Wireless Channel Measurements at 5.9 GHz in an Urban Environment*”. In Proceedings 2022 International Balkan Conference on Communications and Networking (BalkanCom) (pp. 100–104).
<https://doi.org/10.1109/BalkanCom55633.2022.9900633>

F. Pasic, D. Schützenhöfer, E. Jirousek, R. Langwieser, H. Groll, S. Pratschner, S. Caban, S. Schwarz, M. Rupp: "*Comparison of Sub 6 GHz and mmWave Wireless Channel Measurements at High Speeds*" angenommen für: "Proceedings of the 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2022)", IEEE, 2022, ISBN: 978-88-31299-04-6, S. 1 - 5.

- Pasic, F., Pratschner, S., Rupp, M., & Mecklenbräuker, C. (2022). Pilot-Aided Channel Estimation Scheme for NR- V2X Speed Emulation Technique. In 2022 56th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (pp. 1202–1207). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEECONF56349.2022.10052068>
- Pichler, G., Colombo, P. J. A., Boudiaf, M., Koliander, G., & Piantanida, P. (2022). “*A Differential Entropy Estimator for Training Neural Networks*” In K. Chaudhuri, S. Jegelka, L. Song, C. Szepesvari, G. Niu, & S. Sabato (Eds.), Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning (pp. 17691–17715). PMLR.
- R. Prüller, S. Pratschner, R. Langwieser, & M. Rupp: „*Propagation Graphs for UWB MIMO Channels: Modeling and Experimental Validation*”. In 2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) (pp. 1–5). <https://doi.org/10.23919/EuCAP53622.2022.9769406>
- Radovic, D., Groll, H., & Mecklenbräuker, C. F. (2022). “*Evaluation of stationarity regions in measured non-WSSUS 60 GHz mmWave V2V channels*” In 2022 56th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (pp. 1212–1216). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEECONF56349.2022.10052082>
- P. Reingruber, R. Langwieser, T. Berisha, C. Mecklenbräuker: “*Measured Radiation Behaviour of a UAV-attached LTE Antenna*”; “16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)”, IEEE (Hrg.); 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Madrid, 2022, S. 1 - 5.
- Salihu, A., Schwarz, S., & Rupp, M. (2022). „*Learning-based Remote Radio Head Selection and Localization in Distributed Antenna System*” In 2022 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit) (pp. 65–70). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/EuCNC/6GSummit54941.2022.9815773>
- A. Salihu, S. Schwarz, & M. Rupp: „*Attention Aided CSI Wireless Localization*”. In 2022 IEEE 23rd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communication (SPAWC) (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.34726/3508>
- A. Shiyahin, S. Schwarz, & M. Rupp: “*Quality of Service Aware Scheduling in Mixed Traffic Wireless Networks*”. In 2022 IEEE 27th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) (pp. 159–165).
<https://doi.org/10.1109/CAMAD55695.2022.9966904>
- B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: “*Impact of Channel Correlation on Subspace-Based Activity Detection in Grant-Free NOMA*”; Vortrag: 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Spring), Helsinki (hybrid); 19.06.2022 - 22.06.2022; in: “*Proceedings of the 95th IEEE Vehicular Technology Conference*”, (2022), ISBN: 978-1-6654-8243-1.
- Tauböck, G., Rajbanshi, S., & Balazs, P. (2022). “*Random Time-varying Filtering with Subsampling*”. In Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics - ICA 2022 (pp. 274–279). (repositUM)
- S. Tripkovic, P. Svoboda, & M. Rupp: “*Benchmarking of Mobile Communications in High-Speed Scenarios: Active vs. Passive Modifications in High-Speed Trains*”. In Proceedings 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860953>