

## BMBF-FORSCHUNGSINITIATIVEN 5G INDUSTRIELLE KOMMUNIKATION DER ZUKUNFT

11.-13. SEPTEMBER 2018 | BERLIN







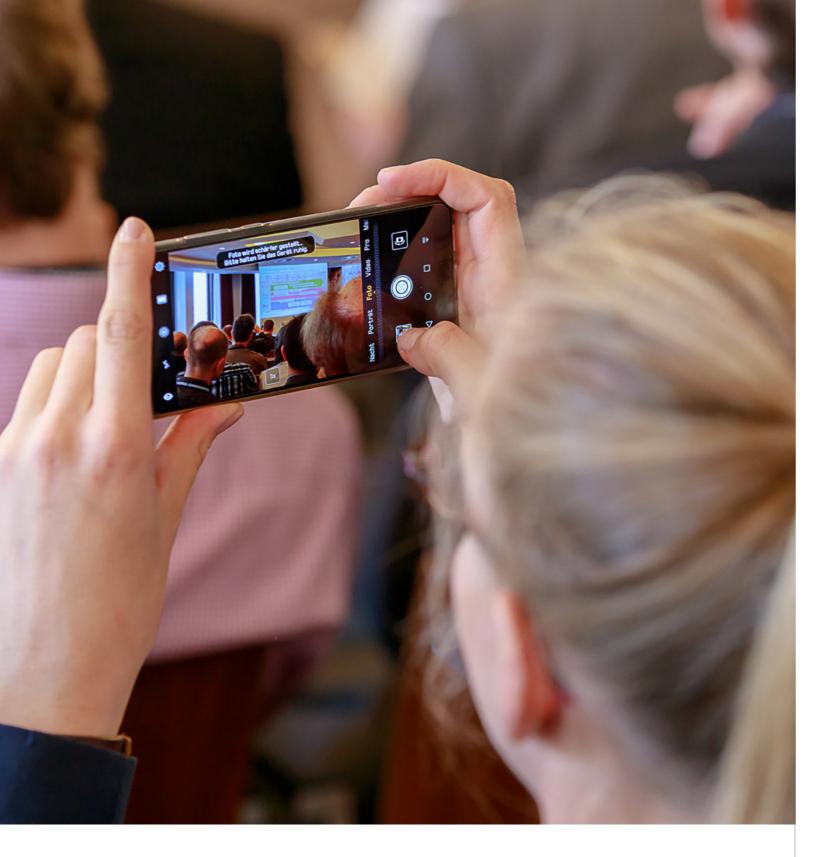






## BMBF-FORSCHUNGSINITIATIVEN 5G INDUSTRIELLE KOMMUNIKATION DER ZUKUNFT

11.-13. SEPTEMBER 2018 | BERLIN



## Inhalt

| Vo              | orwort                                     |    |
|-----------------|--|----|
| Dr              | rei Tage 5G Fachtagung                     |    |
| "F              | Future Industrial Communication" in Berlin | 6  |
| •               | Eröffnung                                  |    |
| •               | Tag 1 Was wir gestalten                    |    |
| •               | Interviews                                 | 13 |
| •               | Tag 1 Hin zur Anwendung                    | 15 |
| •               | Begleitende Messe                          | 18 |
| •               | 5G in der Königsklasse                     | 19 |
| •               | Tag 2 State of Groundbreaking Technologies | 23 |
| •               | Tag 2 Seamless Communication Systems       | 25 |
| •               | Tag 2 Industrial Applications and 5G       | 27 |
| •               | Tag 3 Projekte im Dialog                   | 32 |
| •               | Tag 3 Impulse aus den Projekten            | 33 |
| •               | Tag 3 Workshops                            | 37 |
| lm              | npressionen                                | 41 |
| Ansprechpartner |  | 45 |
| lm              | npressum                                   | 46 |

### Vorwort

Wir befinden uns mitten in einer technischen Revolution. Die Digitalisierung ist in ihren Auswirkungen vergleichbar mit der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert und verändert unsere Gesellschaft. Sie verändert, wie wir arbeiten, wie wir kommunizieren, wie wir von A nach B kommen – und vieles mehr. Mit 5G erreicht die Revolution ein neues Level. Dies gilt insbesondere für die Industrie.

In der Industrie 4.0 werden zukünftig alle beteiligten Instanzen der Wertschöpfungskette miteinander vernetzt sein. Hierfür benötigen wir leistungsfähige Kommunikationssysteme, die alle Informationen schnell, zuverlässig und sicher transportieren. Die 5G Forschung kann hier viel leisten: Sie entwickelt Hightech-Lösungen für die intelligente Vernetzung.

Dr. Heike Prasse eröffnet die Jahrestagung der BMBF-Forschungsinitiativen 5G





Blick in das Auditorium der Jahrestagung

Mit der 2013 gestarteten 5G Forschungsinitiative "Industrielle Kommunikation der Zukunft" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ist Deutschland international Vorreiter.

Zur Initiative gehören 19 Verbundprojekte, 25 Großunternehmen, 33 kleinere und mittlere Unternehmen, 15 Universitäten und 9 universitäre Forschungseinrichtungen. Das gemeinsame Ziel: Deutschland zum Leitmarkt für 5G zu entwickeln.

Hierfür arbeiten Forschung und Industrie zusammen, um die industrielle Kommunikation der Zukunft zu gestalten. Sie entwickeln anhand konkreter Anwendungsszenarien wegweisende Lösungen. Es entstehen wichtige Erkenntnisse, die auch den Prozess hin zu einem internationalen 5G Standard unterstützen.

Sie halten den Tagungsband des 2. nationalen 5G Symposiums im Rahmen der Forschungsinitiative in den Händen. Er zeigt, mit welchen beeindruckenden Ergebnissen zu 5G die Forscherinnen und Forscher dazu beitragen, dass Deutschland für die neuen komplexen Netzanforderungen künftiger industrieller Kommunikation gut aufgestellt ist.

#### Dr. Heike Prasse

Bundesministerium für Bildung und Forschung

#### ÜBER 5G

Die Abkürzung "5G" ist dem gleichnamigen neuen Funkstandard entlehnt. Sie steht im Kontext einer zukünftigen industriellen Kommunikation für eine aus Zugangs- und Weitverkehrsnetzen bestehende durchgängige Netzwerkinfrastruktur. Ziel ist es, jederzeit und an jedem Ort bedarfsgerecht und flexibel Kommunikationsleistungen wirtschaftlich zur Verfügung stellen zu können. Der neue Funkstandard 5G spielt bei der Ausgestaltung einer solchen Netzinfrastruktur sowie bei der Erreichung der hohen Leistungswerte und Flexibilität des Netzes eine zentrale Rolle. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus den sehr vielfältigen industriellen Anwendungen und den damit verbundenen Anforderungen an die Systeme entlang des lokalen oder (über-)regionalen Kommunikationsweges. Die **Entwicklung der erforderlichen Techno**logien und Rahmenbedingungen ist u.a. Ziel der 5G Strategie in Deutschland.

Weitere Informationen unter www.ip45g.de



# Drei Tage 5G Fachtagung "Future Industrial Communication" in Berlin

Führende Forschungsinstitutionen und Industrieunternehmen im Bereich 5G trafen sich vom 11. bis 13. September 2018 zum interdisziplinären Informationsaustausch in Berlin.

Die Gastgeber der Jahrestagung von der Begleitforschung "Innovationsplattform für 5G: Industrielles Internet – IP45G" Dr. Gunnar Schomaker (vom Konsortialführer SICP – Software Innovation Campus Paderborn an der Universität Paderborn) und Dr. Lutz Stobbe (vom Fraunhofer IZM) hatten die Jahrestagung unter das Motto "Industrie & Kommunikation – was wir gestalten" gestellt.

Nach 19 Fachvorträgen in Verbindung mit einer begleitenden Messe mit Ergebnissen aus 15 Forschungsprojekten ziehen die 170 Teilnehmenden aus Forschung und Wirtschaft der Fachtagung "Future Industrial Communication" ein positives Fazit: Deutschland bewegt sich mit der Fokussierung der 5G Forschung und Entwicklung auf die industrielle Anwendung in der "Königsklasse", wenn es um die Umsetzung von 5G geht. Hoch spezialisierte Technologien, individuelle Lösungen, basierend auf Anwenderwissen sowie Qualität und Zuverlässigkeit, werden den 5G Markt in Deutschland voranbringen.

#### **PROGRAMM**

Tag 1: 5G Nationales Symposium
Unter dem Motto "Industrie &
Kommunikation – was wir gestalten"
zeigen führende Experten auf, wie
5G in verschiedenen Industrien zum
Einsatz kommen soll und welche
Herausforderungen sich diesbezüglich
im unternehmerischen Kontext ergehen

Tag 2: 5G Research Perspectives
Auf diesem internationalen Symposium präsentieren führende Wissenschaftler den Stand in Wissenschaft und Technik. Sie verweisen auf neue bzw. noch offene Themen im Bereich 5G und definieren den anstehenden Forschungsbedarf.

Tag 3: 5G Projekte im Dialog
Die Projekte der Forschungsinitiative
"5G Industrielles Internet" stellen
erste Ergebnisse vor.

## Eröffnung



Prof. Dr. Johannes Blömer, SICP-Mitglied und Vizepräsident für Foschung und wissenschaftlichen Nachwuchs, Kompetenzbereich Digital Security

Prof. Johannes Blömer, Vizepräsident für Technologie der Universität Paderborn und Repräsentant der Begleitforschung IP45G, ließ in seiner Begrüßung der Gäste aus Forschung, Wirtschaft und Politik keinen Zweifel an der strategischen Bedeutung neuer Kommunikationstechnologien für die digitale Transformation der Wirtschaft in Deutschland.

Wichtig sei jedoch, dass Forschung und Technologieentwicklung wie in der 5G Forschungsinitiative zielgerichtet und anwendungsbezogen betrieben werden.
Technologisch ist vieles möglich, aber "was bringt mir
ein Auto, das 500 km/h fährt, wenn es dafür keine
Straßen gibt?", so Blömer. Vor diesem Hintergrund ist
eben auch die Industrie in der Breite gefordert, sich mit
dem 5G Thema auseinanderzusetzen, um früh ihre
Bedürfnisse und Anforderungen mit einzubringen. Dazu
ist es aber notwendig, dass den Unternehmen klar ist,
welche Möglichkeiten sich mit den neuen Technologien
hinsichtlich der Optimierung von Prozessen, der Erschließung neuer Geschäftsfelder oder der Entwicklung
neuer Geschäftsmodelle ergeben können.

Dass ein solch konzertiertes Vorgehen möglich ist und Früchte tragen kann, zeigt nicht nur die BMBF-Forschungsinitiative, sondern beispielsweise auch die Arbeit des Clusters "Intelligente technische Systeme – it's owl". Dennoch gibt es nach wie vor große Herausforderungen zu bewältigen, u. a. wie die große industrielle Anwendungsvielfalt technisch und wirtschaftlich effizient abgedeckt oder wie eine hoch vernetzte industrielle Kommunikation gegen Missbrauch und Angriffe effektiv geschützt werden kann. Fragen, auf die nicht nur die Vorträge und Demonstratoren auf dieser Konferenz erste Antworten liefern, sondern sicherlich auch der ein oder die andere Teilnehmerin.



Prof. Dr. Johannes Blömer, Ina Karabasz, Dr. Heike Prasse, Dr. Gunnar Schomaker und Dr. Lutz Stobbe

#### Die Begleitforschung betont:

#### 5G Forschung für technologische Souveränität

Dr. Gunnar Schomaker, Leiter des Begleitforschungsprojektes IP45G / SICP, äußerte sich zur Notwendigkeit weiterer intensiver Forschungsaktivitäten. Es entstehe heute teilweise der Eindruck, dass mit dem bevorstehenden Ende der Standardisierung keine substantielle Forschung für 5G benötigt werde. Dieser Ansicht muss klar widersprochen werden. Die vielschichtigen Implementierungsanforderungen von 5G im industriellen Kontext erfordern zwingend eine wissenschaftliche Unterstützung. Hierfür sind übrigens auch Testbeds erforderlich, welche die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Branchen abbilden können.

Dr. Lutz Stobbe, IP45G / Fraunhofer IZM, ergänzte die Aussage. Aktuell entsteht Unsicherheit bei den Akteuren durch viele offene Fragen beispielsweise im Kontext der anstehenden Frequenzauktion. Hinzu kommen die wachsenden internationalen Handelsstreitigkeiten und die berechtigte Frage, ob wesentliche Komponenten und Anlagen am Markt verfügbar sind und insbesondere den Sicherheitsanforderungen der deutschen Industrie genügen. Die 5G Forschung in Deutschland leistet einen wichtigen Betrag zum Erhalt der technologischen Souveränität unserer Industrieunternehmen und des Mittelstandes. Diese muss in Zukunft noch weiter gestärkt werden.

#### **BEGLEITFORSCHUNG IP45G**

Das Projekt IP45G (Informationsplattform für 5G) des Forschungsschwerpunktes "5G Industrielles Internet" hat die Aufgabe, technische und ökonomische Trends im Kontext der 5G Technologieentwicklung zu analysieren und zu vermitteln. Hierbei gilt es, die Komplexität und Abhängigkeiten von Netzwerktechnologien, industriellen Rahmenbedingungen und speziellen funktionalen Anforderungen zu berücksichtigen. Dazu werden technologische Trends, der Stand der Standardisierung, regulatorische Aktivitäten wie die Frequenzauktion und kommerzielle Entwicklungen beobachtet und ausgewertet. Zu wichtigen Technologie- und Praxisthemen werden erläuternde White Paper erstellt. So soll ein Wissenspool zum Themenkomplex 5G und industrielle Kommunikation generiert werden, der insbesondere den Anwenderunternehmen einen strukturierten Zugang ermöglicht.

www.ip45g.de

#### **INDUSTRIE & KOMMUNIKATION**

## Tag 1 Was wir gestalten

#### **SESSION 1.1**

10:30 Uhr 5G for the Factories of the Future
Dr. Andreas Müller, Bosch

11:00 Uhr Gamechanger 5G – Wie die aufkommende Mobilfunktechnologie

Industriezweige verändert Dr. Michael Meyer, Ericsson

11:30 Uhr Cyber Security und iIoT als Enabler

für 5G

Peter Rost, Rohde & Schwarz

Cybersecurity

12:00 Uhr Wo 5G konkreten Nutzen stiftet –

Anwendungsszenarien und Anforderungen aus Sicht von Automation und Produktion

Daniel Behnke, Weidmüller

Interviews: www.ip45g.de/interviews

Am ersten Tag der 2. Jahrestagung der BMBF-Forschungsinitiativen zu 5G aus dem BMBF-Programm "IKT 2020 Forschung für Innovation" illustrierten Service Provider, Systemausrüster und Anwender aus der Industrie das Gestaltungspotenzial von 5G für die industrielle Kommunikation in ihren Branchen.

#### Forschung in die Anwendung tragen

Die Forschungsinitiative "Industrielle Kommunikation der Zukunft" ist mit 19 Verbundprojekten, 25 Großunternehmen, 33 kleineren und mittleren Unternehmen, 15 Universitäten und 9 universitären Forschungseinrichtungen ein Flaggschiff des Bundesforschungsministeriums.

In ihrer Begrüßungsrede richtete Dr. Heike Prasse, Ministerialrätin für Kommunikationssysteme und IT-Sicherheit im Bundesministerium für Bildung und Forschung, einen klaren Appell an die Experten aus Industrie und Forschung: "Forschung muss in der Praxis ankommen – und dafür brauchen wir Sie. Bringen Sie Ihre Forschungsergebnisse schnell in die Anwendung."

Diesen Aspekt griff **Dr. Andreas Müller**, Head of Communication and Network Technology bei der Robert Bosch GmbH, auf. Er verwies auf die "5G Alliance for Connected Industries and Automation" (5G ACIA), die im April 2018 vom Zentralverband der Elektronikindustrie (ZVEI) gegründet wurde und dessen Vorsitzender er ist.











Dr. Michael Meyer, Ericsson (oben) und Daniel Behnke, Weidmüller (unten)

Die neue Arbeitsgemeinschaft hat sich zum Ziel gesetzt, 5G erfolgreich in der industriellen Produktion zu etablieren und von vornherein industriefähig zu gestalten. "In der 5G ACIA bringen wir erstmalig alle wichtigen Akteure weltweit zusammen. Dadurch sind wir in der Lage, konzertiert und zielgerichtet daran zu arbeiten, dass die Belange der Industrie entsprechend berücksichtigt werden."

Daniel Behnke, Smart Factory Digitalization Engineer der Weidmüller Gruppe und 5G ACIA Mitglied, unterstrich die Notwendigkeit einer engen Kopplung an die Forschung. Weidmüller engagiert sich daher auf internationaler und nationaler Ebene in anwendungsgetriebenen Forschungsinitiativen wie z. B. im Rahmen des it's OWL Clusters. "Die Fertigung muss in Zukunft deutlich agiler werden, um schneller auf Marktveränderungen reagieren zu können. 5G Technologien spielen bei der Realisierung dieser Dynamik und der ständigen Optimierung der Prozesse eine zentrale Rolle", so Behnke.



#### **INDUSTRIE & KOMMUNIKATION**

## Tag 1 Was wir gestalten

Dabei hat Weidmüller klare Anforderungen an 5G in Bezug auf zuverlässige Echtzeitinteraktion vieler Maschinen, die Bereitstellung hoher und zugleich mobiler Bandbreiten oder die automatische Rekonfiguration der notwendigen Kommunikationsnetze. Wichtig sind jetzt, die Verfügbarkeit von sicherer 5G Hardware sowie die Klärung verlässlicher Rahmenbedingungen wie z. B. der Frequenzen voranzutreiben.

Dr. Peter Rost, Director Business Development and Strategy bei Rohde & Schwarz Cybersecurity bestätigte diese Forderung und betonte, dass mit der Mobilfunktechnik 5G ein Paradigmenwechsel stattfindet – in den vier Generationen zuvor suchte die Technologie die Applikation. "5G ist mit Eigenschaften wie z.B. URLLC die erste wirklich anwendungs- und Use Case-getriebene Mobilfunktechnologie." Allerdings werden Datenschutz und -sicherheit ein neues komplexes Zusammenspiel vieler Stakeholder erfordern. Eine große Herausforderung stellt dabei die Vielfalt der industriellen Anwendungsfälle sowie der damit verbundenen Endgeräte dar. "Es ist absehbar, dass im stark wachsenden IIoT-Markt neben dem "Security by Design"-Ansatz neue Verfahren zum Testen und zur Einhaltung der Sicherheitsanforderungen benötigt werden", so Rost.

Dr. Michael Meyer, Head of Radio Network Reserach Germany in der Firma Ericsson, ergänzte, Bezug nehmend auf die bekannte Umfrage seines Unternehmens zum wirtschaftlichen und gestalterischen Potenzial der 5G Technologie: "In den Bereichen Datensicherheit, Connectivity und Prozessautomatisierung wird 5G zu deutlichen Fortschritten in vielen Branchen führen."

Um geeignete Lösungen zu erarbeiten, ist eine Zusammenarbeit über Industriegrenzen hinweg notwendig. Die Potenziale in der Wertschöpfung müssen der Haupttreiber von 5G Technologien sein. Aus seiner Sicht hat die digitale Transformation der Industrie erst begonnen. Es bestehen noch vielfältige Forschungsbedarfe, um das volle 5G Potenzial erschließen zu können. Dafür ist es u.a. notwendig, dass Forschungsergebnisse sichtbar gemacht werden und durch Testumgebungen Unternehmen in die Lage versetzt werden, Erfahrungen zu sammeln und eigene Anwendungsszenarien in einen 5G Kontext zu bringen.

Tag 1 der Jahrestagung der BMBF-Forschungsinitiativen 5G



## Future Industrial Communication

### Interviews

https://www.ip45g.de/interviews



#### **AUS DEN FORSCHUNGSPROJEKTEN**

## Tag 1 Hin zur Anwendung

#### **SESSION 1.2**

13:45 Uhr Von ZDKI zu 5G: Vernetzung als Schlüsseltechnologie der Digitalisierung in der Industrie Prof. Hans Dieter Schotten, DFKI

14:15 Uhr Alte und neue Welt in Safetykritischen Szenarien: IP vs. ICN Prof. Matthias Wählisch, FU Berlin

14:45 Uhr Auf der digitalen Überholspur mit 5G – die nächste industrielle Revolution für Deutschland Dr. Volker Ziegler, Nokia Mobile Networks

15:15 Uhr Querschnittsthemen: 5G im
Kontext industrieller und taktiler
Kommunikation

Dr. Simon Oberthür, Begleitforschung IP45G

Interviews: www.ip45g.de/interviews

Am Nachmittag standen Anwendungsbeispiele und Use Cases aus den Projekten im Mittelpunkt der Diskussion. Themen waren funktionale und nicht-funktionale Anforderungen, Standardisierung und Regulierung sowie 5G Roadmaps und Testbeds. In der konferenzbegleitenden, permanenten Ausstellung wurden Ergebnisse und Demonstratoren aus den Projekten präsentiert.

Welche neuen Möglichkeiten erwarten uns mit 5G? Ein intensiver interdisziplinärer Austausch zwischen Forschung und Industrie wird entscheidend für eine erfolgreiche Implementierung von 5G Technologien in innovativen industriellen Anwendungen sein. Deutschland ist derzeit stark in den Bereichen Automatisierung und Automotive, genießt international höchstes Ansehen in Technologiefragen und muss dieses Vertrauen als Chance nutzen – Deutschland kann so mittelfristig für industrielle Lösungen Vorreiter in der industriegerechten 5G Nutzung sein. Bei dieser Potenzialbewertung waren sich die Anwesenden einig, als die Moderatorin Ina Karabasz (Handelsblatt) eine spontane Umfrage im Plenum startete. Für eine erfolgreiche Implementierung von 5G im Umfeld Industrie 4.0 werden die Themen "Testing" und "Security" eine zentrale Rolle einnehmen. Ein Wunsch, der sich auch in den Projekten widerspiegelt - mehr Risikobereitschaft ohne Risiken.

Ein Einblick in das Interview mit **Prof. Dr. Hans Dieter Schotten**: Er betonte, wie entscheidend Ultra Reliable
Low Latency Communication für die Industrie 4.0 sein
wird. "URLLC wird erlauben, Controller an einer anderen
Stelle zu verorten als die beweglichen Teile der Maschi-



Session 1.2: Moderatorin Ina Karabasz mit den Vertretern der 5G Forschungsinitiativen Prof. Hans Dieter Schotten (DFKI), Dr. Volker Ziegler (Nokia Mobile Networks), Prof. Matthias Wählisch (FU Berlin) und Dr. Simon Oberthür (Begleitforschung IP45G)

nen. Eine Eigenschaft, die ein sehr hohes und umfassendes Potenzial für Innovationen erzeugt." Zudem betonte er, dass Anwender erleben müssen, wie 5G in ihrem Kontext funktioniert. "Und ich bin mir sicher, dass wir noch eine Menge neue Anwendungen sehen werden, an die wir jetzt noch gar nicht denken."

Professor Wählisch stellte die informationszentrische Sicht des Projektes 13 vor. Ein Paradigmenwechsel von aktueller Ende-zu-Ende Kommunikation zwischen Endgeräten hin zu datengetriebener Kommunikation mit dem Ziel, die Daten dort verfügbar zu machen, wo sie notwendig sind. Wenn Daten für sicherheitskritische Entscheidungen notwendig sind, kann ein informationszentrisches Netzwerk seine Vorteile ausspielen. "Durch redundante Speicherung von Daten im Netz müssen im Fehlerfall die Daten nicht vom ursprünglichen Lieferanten der Daten erneut abgeholt werden."

Die hochverfügbare Kommunikation mit extrem geringer Latenz, die mit 5G ermöglicht wird, stand im Fokus des Vortrags von **Dr. Volker Ziegler** von Nokia Mobile Networks. "5G mit seinem Architektur- und Technologiewandel ermöglicht besonders für die Industrie in Deutschland ganz neue Möglichkeiten." Er hob hervor, dass Technologien mit den neuen Leistungsmerkmale (z. B. hoher Datendurchsatz, Echtzeitverhalten und die Verfügbarkeit) in den Forschungsprojekten entwickelt und implementiert und schnell in Produkte überführt werden. Er plädierte auch für offene Standards und Software, um 5G Anwendungen schnell auf einer verteilten Cloud Architektur umsetzen und adaptieren zu können.

Im Redebeitrag der Begleitforschung IP45G analysierte **Dr. Simon Oberthür** das noch bestehende Spannungsfeld zwischen den Erwartungen und den Herausforderungen bei der Umsetzung von 5G im industriellen Umfeld. Es besteht viel Unklarheit bei den Verticals und ein hoher Bedarf danach, sowohl 5G Technologien als auch nicht-funktionale Aspekte von 5G für spezifische industrielle Anwendungen zu testen. Dr. Oberthür präsentierte erste Ergebnisse einer gemeinsamen Initiative mit 5GPPP, bei der existierende Testbeds in Deutschland und Europa in strukturierter Weise durch die Begleitforschung digital erfasst wurden. Diese Testbed-Map wurde auch auf der Messe präsentiert und ist unter ip45g.de einzusehen.

Demonstrator "Taktile Teleoperation" des Forschungsprojektes TacNet im Einsatz

#### INDUSTRIELLE KOMMUNIKATION DER ZUKUNFT

## Begleitende Messe

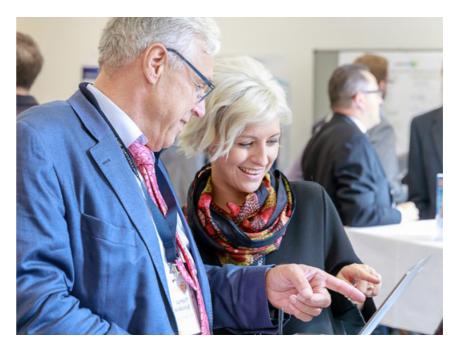
Insgesamt 15 Forschungsprojekte präsentierten an ihren Ständen ihre Arbeiten und Ergebnisse für 5G Lösungen im Kontext konkreter Anwendungsszenarien. Sie boten parallel zur Konferenz Raum für Erfahrungsaustausch und fachliche Diskussionen rund um die Entwicklung und Anwendung von 5G Technologien.

Alle drei Forschungsschwerpunkte der Forschungsinitiative "Zukunft der industriellen Kommunikation" waren mit Demonstratoren vertreten. Der Forschungsschwerpunkt "Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie" wurde neben der Begleitforschung durch die Projekte Hiflecs (Hochperformante, sichere Funktechnologien und deren Systemintegration in industrielle Closed-Loop-Automatisierungslösungen), ProWiLan (Zuverlässige niederlatente Kommunikation und Lokalisierung für industrielle Anwendungen der Mensch-Maschine-Kommunikation; hochpräzise

Lokalisierung im 60 GHz-Band) sowie **SBDist** (Ultra-Low-Latency mmWave und Low-Latency Frontend) vertreten.

Die Projekte der beiden Forschungsschwerpunkte "5G Industrielles Internet" und "5G – Taktiles Internet" stellten ihre Zwischenergebnisse vor. Darüber hinaus konnten die Projekte I3 (Nahtlose Mobilität im informationszentrischen industriellen Internet), FIND (TSN als Brücke zwischen industriellen Kommunikationstechnologien), IP45G (5G Testinfrastrukturen in Deutschland und Europa), TacNet 4.0 (Taktile Teleoperation, siehe Bild rechts) und AMMCOA (mmWave Frontend Modul) auch bereits erste Demonstratoren präsentieren.

Abgerundet wurde die Ausstellung durch Demonstratoren der Firmen Keysight Technologies Deutschland GmbH (Böblingen) und Schildknecht AG (Murr).



Thomas Schildknecht und Elena Eberhardt von der Schildknecht AG

## Future Industrial Communication

## 5G in der Königsklasse



#### Industrielles Internet

### **5G: Industrielles Internet**



## Tag 2 State of Groundbreaking Technologies

#### **SESSION 2.1**

09:10 A 5G Review and Outlook of Open Challenges for 6G Prof. Gerhard Fettweis, Technische Universität Dresden

09:40 5GNR and Future Fronthaul
Dr. Francisco J. Garcia, Keysight UK
Limited, Edinburgh

10:10 Hardware Design Challenges and Novel Concepts for 5G mm Wave Systems Dr. Ivan Ndip, Fraunhofer IZM, Berlin

Interviews: www.ip45g.de/interviews

#### Antworten zu technischen Herausforderungen – Ausprobieren und Lernen!

Am zweiten Tag lud die Begleitforschung IP45G unter dem Titel "5G Research Perspectives" zu einem eintägigen internationalen Symposium ein. Wissenschaftler aus dem In- und Ausland präsentierten den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung. Sie legten den Fokus auf noch bestehende technische Herausforderungen und gaben Einblicke in aktuelle Lösungsansätze.

In seiner Keynote vermittelte **Prof. Fettweis**, Inhaber des Vodafone Stiftungslehrstuhls Mobile Nachrichtensysteme an der TU Dresden, einen tiefgründigen Überblick über den Stand der Technik. Dabei ging er auf Themen wie Transceiver-Design, Zuverlässigkeit, Resillienz und Sicherheit im Kontext von Latenz ein. Prof. Fettweis betrachtet 5G als "Lernobjekt für 6G". 5G ist der Start in das Taktile Internet, in eine Infrastruktur, mit der sicher ferngesteuert werden kann. Um die anstehenden Probleme zu lösen, müsse man einfach Dinge ausprobieren und dabei lernen.

Im zweiten Beitrag ging **Dr. Garcia** (Keysight Laboratories) auf physikalische Grundlagen und die neuen Technologien im Bereich 5G New Radio sowie auf das Thema breitbandiger Fronthaul ein. Dr. Garcia beleuchtete hierbei u.a. wesentliche Merkmale einer flexiblen Numerologie, welche die Voraussetzungen für hohe Ressourceneffizienz bilden. Abschließend lieferte er einen fundierten Überblick über Messsysteme zum funktionalen Testen von 5G Zugangsnetzen.



Session 2.1: Session Chair Dr. Lutz Stobbe (Begleitforschung, Fraunhofer IZM); mit Prof. Gerhard Fettweis (TU Dresden), Dr. Francisco Garcia (Keysight UK), Dr. Ivan Ndip (Fraunhofer IZM) und Falko Dressler (Uni Paderborn, SICP), v.l.n.r.

**Dr. Ndip** vom Fraunhofer IZM präsentierte neue Technologie- und Designlösungen für Massive MIMO Antennenmodule. Die Probleme bei der Miniaturisierung und energieeffizienten Gestaltung der Antennen sind vielfältig.

Es muss besonders auf Signalintegrität und das thermische Management geachtet werden. Dr. Ndip zeigte beispielhaft, wie mittels neuer Schaltungsdesigns, Komponenten, Materialien sowie technologisch fortgeschrittener Aufbau- und Verbindungstechnik gute Lösungen erzielt werden können.

## Tag 2 Seamless Communication Systems

#### **SESSION 2.2**

11:30 Open Baton & Open5GCore Enabling Instant Customized Industry Network Provision

Prof. Thomas Magedanz, Fraunhofer FOKUS, Berlin

12:00 5G Tactile Internet in Automotive Environments

Prof. Falko Dressler, University of Paderborn

12:30 Enhancing 5G Radio Access Technologies with Machine Learning

Prof. Slawomir Stanczak, Fraunhofer HHI, Berlin

Interviews: www.ip45g.de/interviews

#### 5G macht vieles möglich – Testbeds gefordert!

In seinem Redebeitrag betonte **Prof. Magedanz** vom Fraunhofer FOKUS ausdrücklich den hohen Stellenwert von Testbeds. Testbeds sind wichtig, um die Nutzbarkeit und die Einsatzfähigkeit neuester Technologien praktisch zu erproben. Wenn man bedenkt, dass in Zukunft Unternehmen aus unterschiedlichen Industriebereichen selbst als kleine Netzbereiber fungieren werden, können Testbeds wertvolle Instrumente zum Lernen und Optimieren darstellen. Daher sollten Testbeds nicht nur Infrastrukturen zur Verfügung stellen, sondern auch mit Prozess-Know-how wissenschaftlich begleitet werden.

Prof. Dressler, Direktor der Cyber Physical Systems am Software Innovation Campus Paderborn, zeigte in seinem Vortrag die Möglichkeiten von 5G für das Autonome Fahren auf. Er demonstrierte das erhebliche Potential dieser Technologie am Beispiel von Straßenkreuzungen ohne Ampeln, an denen der Verkehr mittels 5G-basierter Netze und Edge Cloud sicher und flüssig abgewickelt werden soll. Des Weiteren beschrieb er technische Ansätze, die die Rechenleistung der Fahrzeuge als Edge Cloud Ressource nutzbar machen.

Session 2.2: Session Chair Dr. Simon Oberthür (5G Begleitforschung, SICP) mit den Referenten Prof. Thomas Magedanz (Fraunhofer Fokus), Prof. Falko Dressler (Universität Paderborn) und Prof. Slawomir Stanczak (Fraunhofer HHI)



Nikolai Hoffmann (RWTH Aachen WZL, 5Gang) Nina Schwenninger (Universität Paderborn, SICP)

5G Netze werden im Vergleich zu 4G Netzen deutlich komplexer sein. Mit dieser Feststellung stieg **Prof. Stanczak** vom Fraunhofer HHI in das Thema "Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen als essentielle Werkzeuge zur Gestaltung von 5G Zugangsnetzen" ein. Diese Methoden werden dringend benötigt, um die Ressourcen bzw. das vorhandene Spektrum effizient auszulasten. Hierbei besteht allerdings noch großer Forschungsbedarf und man steht in vielerlei Hinsicht erst am Anfang der Entwicklung.



## Tag 2 Industrial Applications and 5G

#### **SESSION 2.3**

14:30 Molecular Communications for Industrial Applications
Prof. Robert Schober,
Universität Erlangen/Nürnberg

15:00 On the Way to Knowledge Defined Networks

Dr. Heiko Lehmann, T-Labs, Berlin

15:30 General Classification of 5G Use Cases for Production and Logistics
Anne Bernardy,
FIR e.V. an der RWTH Aachen

16:00 "Concepts and Challenges for Resilient Systems in Industrial Automation":

How can a system autonomously and intelligently work and decide

Prof. Rolf Kraemer, IHP GmbH

Interviews: www.ip45g.de/interviews

Zu Beginn der dritten Session widmete sich **Prof. Schober** von der Universität Erlangen-Nürnberg dem futuristischen Thema "molekulare Kommunikation".

Die molekulare Kommunikation ermöglicht einen Austausch zwischen Knoten mit sehr kleinen Abmessungen, also im Mikrometer- und Nanometerbereich. Dies erlaubt die Übertragung von Daten innerhalb von Flüssigkeiten, beispielsweise im menschlichen Körper. Für diese Anwendungen ist die herkömmliche Kommunikation, basierend auf elektromagnetischen Wellen, nicht geeignet. Das Thema der molekularen Kommunikation befindet sich zwar immer noch im Bereich der Grundlagenforschung, aber die Nachfrage nach industriellen Anwendungen steigt.

**Dr. Lehmann** (T-Labs) holte das Publikum aus der fernen Zukunft zurück in unsere derzeitige Marktwirtschaft, indem er seinen Vortrag damit einleitete, dass 5G Netze einen hohen Stromverbrauch haben, der die Unternehmen viel Geld kostet.

Mit (künstlicher) Intelligenz müssen sehr agile Netzsysteme realisiert werden, die äußerst wirtschaftlich mit den Ressourcen umgehen und sie flexibel ein- und ausschalten. In seinem Beitrag zeigte er die technischen Hebel auf, mit denen sich diese Flexibilität und damit Stromeinsparungen realisieren lassen.



Session 2.3: Prof. Kraemer (IHP GmbH), Prof. Robert Schober (Universität Erlangen-Nürnberg), Anne Bernardy (FIR e.V. and der RWTH Aachen), Dr. Heiko Lehmann (T-Labs), Session Chair Dr. Lutz Stobbe (Begleitforschung, Fraunhofer IZM)

Anne Bernardy (FIR e.V. an der RWTH Aachen) präsentierte die Ergebnisse des Projektes 5Gang. Sie hob den erhöhten Bedarf an flexiblen Kommunikationslösungen in der Industrie hervor. Dabei werden sehr heterogene Anforderungen durch die Anwender in Produktion, Logistik, Gesundheitswesen oder Städten formuliert. Nicht immer geht es nur um Latenz oder Bandbreite. Bernardy stellte in diesem Zusammenhang eine Use Case Klassifikation vor. Schlussendlich benötigen die unterschiedlichen Anwender schnellstmöglich eine sichere Implementierung neuer Netze.

Prof. Krämer (IHP GmbH) schloss den Tag mit einem Vortrag zum Thema Resilienz ab, worauf Prof. Fettweis bereits in der Keynote eingegangen war. Er stellte fest, dass Resilienz deutlich mehr umfässt als nur Zuverlässigkeit oder Verfügbarkeit. Resilienz ist ein sehr flexibles Konzept, welches gewährleisten soll, dass autonome Systeme unter allen Umständen ihre Mission erfüllen. Dabei wird nicht mit fest geplanten, sondern agilen Anforderungen und Zeithorizonten operiert. So können dynamisch auf Störungen reagiert und ein minimales Set an Funktionalität zur Erfüllung einer Aufgabe erhalten werden.

#### Taktiles Internet

### **5G: Taktiles Internet**



Henning Buhr (Ericsson) stellt die Workshopergebnisse der Gruppe Architektur vor

## Tag 3 Projekte im Dialog

Der dritte Tag der Jahrestagung stand ganz im Zeichen der laufenden Forschungsprojekte der Förderinitiative aus den zwei Forschungsschwerpunkten "5G: Industrielles Internet" und "5G: Taktiles Internet". Als Basis für den internen Austausch stellten die Projekte in kurzen Impulsvorträgen Ergebnisse und Schwerpunkte ihrer bisherigen Forschungsarbeit vor und zur Diskussion. Am Nachmittag wurden die wichtigen Querschnittsthemen "Industrielle Anwendung", "Sicherheit" und "Architektur" in Workshops bearbeitet. Hierbei ging es insbesondere um die Identifizierung gemeinsamer Herausforderungen und Lösungsansätze.

Bei der Zusammenführung im Plenum wurde deutlich, dass die Projekte für teils gleiche Fragestellungen, die sich jedoch auf unterschiedliche Ausgangssituationen und Schwerpunktsetzungen bezogen, verschiedene Lösungsansätze z.B. im Bereich der Sicherheit oder auch der Architektur gefunden haben. Es ist daher wichtig, dass diese mannigfaltigen Ansätze und zukünftigen Lösungen allen Projekten zur Verfügung stehen. So können insbesondere die leistungsfähigsten Lösungsansätze für einzelne Anwendungsszenarien identifiziert und ggf. gemeinsam weiter verfolgt werden.



Michael Kemkes von der Begleitforschung fasst die Ergebnisse des Workshops zusammen

## Tag 3 Impulse aus den Projekten

#### Session 3.1

09:00 Begrüßung

Dr. Simon Oberthür, Michael Kemkes, IP45G Begleitforschung

09:15 Li-Fi und Wi-Fi in der Industrieproduktion – Erkenntnisse aus dem SESAM-Projekt

Thomas Menzel, SESAM

09:30 TSN über Mobilfunk, Edge Computing für den Shop Floor, spezielle Probleme und Herausforderungen bei der Architekturintegration
Peter Rost, TacNet 4.0

10:00 Sicherheitskonzepte: Authentifizierung und Überprüfung von Geräten Florian Patzer, FlexSi-Pro

Das Projekt Sesam präsentierte latenzarme und hoch zuverlässige Funkdatenübertragung zur Absicherung der Kontrolldaten beim Wechsel zwischen optischen Übertragungszellen. Der Vortrag konzentrierte sich auf den lokalen Netzzugang von der Fertigungszelle in die Fertigungshalle. Li-Fi & Wi-Fi wurden hier mittels Handover kombiniert, mit dem Ziel, eine redundante, hochverfügbare Kommunikation zu gewährleisten.

Das Projekt TacNet 4.0 stellte seine Ergebnisse zur effizienten Integration von 5G im industriellen Kontext vor. Erörtert wurden die Herausforderungen und Lösungen für eine Multi-Path Kommunikation. Des Weiteren wurden die Vorteile beim Einsatz der Edge Cloud vorgestellt. Hierzu zählen: effizientere Nutzung von Compute-Ressourcen, Vermeidung von Engpässen, Energieeinsparung, Ermöglichen der Cloudnutzung für Low-Latency Anwendungen.

Das Projekt Flexi-Pro beschäftigte sich dagegen mit der Flexibilität und Sicherheit in der Produktionsanlage der Zukunft. In dieser Session wurde ein stufenbasiertes Sicherheitskonzept präsentiert, mit dessen Hilfe IoT Endgeräte einen Vertrauensnachweis erbringen können, damit sie schnell in das Netz integriert werden.



Session 3.1: Dr. Simon Oberthür (Session Chair, SICP), Florian Patzer (FlexSi-Pro), Peter Rost (TacNet 4.0), Dr. Thomas Menzel (SESAM)



## Tag 3 Impulse aus den Projekten

#### Session 3.2

10:45 Communication Abstraction Supports
Network Resource Virtualisation in
Automation
Santiago Soler Perez Olaya, FIND

11:00 SDN und TSN als Enabler für das industrielle Internet der Zukunft Marco Ehrlich, FIND

11:15 Sichere Netze für selbstorganisierende Wartungssysteme Ronald Steinke, SINSeWa

11:30 Flexible Verfahren für Low Latency –
Datenübertragung und Embedded
Security in verschiedenen Szenarien
aus Industrie und Handel
Dr. Khoi Le, SEKOM

11:45 Plug-and-Manufacture mit SDN,
OPC UA und TSN
Florian Patzer, FlexSi-Pro

Das Projekt FIND demonstrierte zum einen sein Abstraktionsmodell, das die Virtualisierungsmöglichkeiten in verschiedenen modernen Kommunikationsnetzen abbildet. Zum anderen wurde die Bedeutung von SDN für die Realisierung verschiedener industrieller Anforderungen erörtert. Hierfür wurden existierende SDN-Switches und -Controller vergleichend analysiert. Darüber hinaus wurden die Vorteile der Kombination von SDN und TSN dargestellt.

Das Projekt SiNSeWa stellte ein Anwendungsszenario aus dem Bereich der Bahntechnik vor. Der Fokus lag auf den Anforderungen an eine sichere Datenübertragung (Gateway) zwischen dem internen Netzwerk des Zuges und dem externen Netz auf den Bahnhöfen. Die definierte Netzwerkarchitektur basiert auf 5G sowie auf den M2M Standards MQTT und oneM2M.

Das Projekt SEKOM zeigte seine Anwendunsszenarien "Smart Factory" und "Smart Shopping". Anschließend wurden die entwickelten Verfahren vorgestellt, um eine Low Latency Datenübertragung inklusive eingebetteter Sicherheitsmechanismen zu realisieren. Die Lösungen bauen auf existierenden Standards wie OPC UA auf.

FlexiSi-Pro steuerte einen weiteren Beitrag mit seinem Plug-and-Manufacture-Ansatz bei, der eine Orchestrierung, sichere und automatische Registrierung sowie Mechanismen zur Selbstauskunft der Komponenten liefert. Dieses Adressiert die Verwaltungsschale im Kontext der Plattform I4.0 und ermöglicht eine semantische, beschreibendende, maschinenlesbare Selbstauskunft zum Auslesen von Geräteeigenschaften.



Session 3.2: Dr. Simon Oberthür (Moderator), Florian Petzer, Marco Ehrlich, Santiago Soler Perez Olaya, Michael Kemkes (Moderator), Roland Steinke, Dr. Khoi Le

## Tag 3 Workshops

#### **Session 3.3**

13:00 Projekte im Dialog
Workshoparbeit im World-Café Stil
zu den Themen "Industrielle

Anwendung", "Sicherheit" und "Architektur"

14:30 Zusammenführung der Ergebnisse Vorstellung der Arbeiten des World-Cafés

15:00 Zusammenfassung und Ausblick

#### Workshop industrielle Anwendungen

Bei dem Querschnittsthema "Industrielle Anwendung" stand die technische und wirtschaftliche Beherrschung der Vielfalt industrieller Anwendungsfälle im Fokus. In Ermangelung weniger wirtschaftlich potenter "Killer-Anwendungen" ergibt sich für die technische und wirtschaftliche Ausgestaltung der Netze und der 5G Technologien ein Zielkonflikt. Dieser ist vornehmlich über maximale Flexibilität und Interoperabilität auf der Technologie- und Produktebene auflösbar. Auf der Basis können sich für die extrem fragmentierten Märkte in den Anwenderindustrien wirtschaftlich tragfähige Ökosysteme nachhaltig ausbilden.

Auf Seiten der Anwender wird der Punkt "Verstehen der Möglichkeiten und Mehrwerte" von 5G bzw. zukünftiger industrieller Kommunikation insbesondere in Abgrenzung zu bestehenden Technologien und deren Weiterentwicklung hinsichtlich der Parameter Latenz, Bandbreite und Skalierbarkeit als relevant betrachtet. Dabei wird den Aspekten Schaffung eines gemeinsamen Sprachraums, Einrichtung und Zugang zu 5G Testumgebungen, Transparenz im 5G Ökosystem sowie modellhaft erprobte Migrationspfade für Unternehmen unterschiedlicher Wertschöpfungsketten eine besondere Bedeutung beigemessen. Als weitere zentrale Einflussgröße für einen schnellen und breiten Einsatz neuer Kommunikationstechnologien wird die "Investitionssicherheit" gesehen. Moderne Kommunikationssysteme bieten eine universelle Architektur, die Funktionalitäten größtenteils in Software abbildet. Sie ermöglicht den Anwenderunternehmen damit eine hohe technische und anwendungsorientierte Flexibilität in Bezug auf sich verändernde Anforderungen, ohne neu investieren zu müssen.



Dr. Henning Trsek (rt-solutions) präsentiert die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Sicherheit

#### **Workshop Sicherheit**

Die wichtigste Kernaussage des Workshops bestand darin, dass die neuen 5G Systeme inhärente Sicherheitsfunktionen ausweisen müssen. Somit kommt der funktionalen Sicherheit eine besondere Bedeutung zu. Ferner müssen die Systeme so konzipiert werden, dass sie stets, d. h. auch im Fehlerfall in einem sicheren Zustand verweilen. Dabei muss selbstständig erkannt werden, wenn dieser verlassen wird, um entsprechende Schutzmechanismen zu aktivieren bzw. übergeordnete Instanzen des Systems zu informieren. Somit ist die Fehlerbehandlung ein essentieller Bestandteil des Sicherheitskonzeptes für 5G Systeme.

Die Systeme müssen so ausgelegt werden, dass sie zu keinem Zeitpunkt Leib und Leben der Benutzer gefährden. Um das zu gewährleisten, ist eine Analyse der möglichen Schadenspotentiale im Vorfeld des Betriebes unumgänglich.

Die Herausforderung besteht darin, dass das gewählte Sicherheitskonzept auf der einen Seite alle Safety- und Security-Aspekte beinhalten muss und auf der anderen Seite die Anwendbarkeit und die Benutzerfreundlichkeit nicht einschränken darf. In diesem Kontext sind beispielsweise das Management von Updates und deren sichere Gestaltung durch Zertifikate hervorzuheben. Ihre Anwendung muss vom Benutzer akzeptiert werden und darf den täglichen Umgang mit den Systemen nicht behindern.

#### **Workshop Architektur**

Dieser Workshop beleuchtete die spezifischen Anforderungen industrieller Nutzer (Verticals) an die Netzarchitektur. Es wurde festgestellt, dass sehr vielfältige Optionen bei der Umsetzung möglich sind, die von der 5G Standardisierung unterstützt werden und dabei in komplexer Weise auf neue Technologien aufbauen. Gleichzeitig benötigen die industriellen Anwender meist nur in einem sehr begrenzten Maße den vollen Umfang des technisch Möglichen. Automatische Orchestrierung soll hierbei die Komplexität beherrschbar machen.

Entsprechend vielfältig gestaltete sich dann auch zunächst die Diskussion bezüglich der funktionalen Anforderungen und Leistungsmerkmale einer effektiven Netzarchitektur. Mehrfach wurde darauf aufmerksam gemacht, dass es vielfältige Zielkonflikte besonders im industriellen Einsatz gibt, wenn es darum geht, einfache, angemessene und kostengünstige Lösungen zu finden. Bei den Anforderungen stehen höchste Zuverlässigkeit und Sicherheit im Vordergrund. Leistungsdaten sind zwar nicht zweitrangig, aber haben auch nicht die höchste Priorität.

Im Weiteren wurde über die Schnittstellen und Interoperabilität mit existierenden Systemen diskutiert. Die Architektur sollte ein langfristig praktikables und transparentes Netzmanagement ermöglichen. Die Integration neuer Elemente im laufenden Betrieb ist wichtig. Das Domänenwissen der Anwender sowie ein solides Verständnis der technologischen Grundlagen von 5G Mobilfunk bilden die Basis für eine effektive Gestaltung der Netzarchitektur.

#### INDUSTRIAL RADIO.DE

## Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie







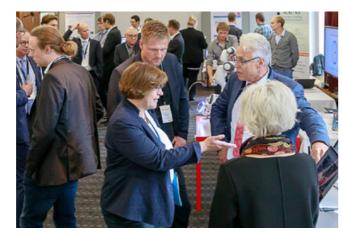
































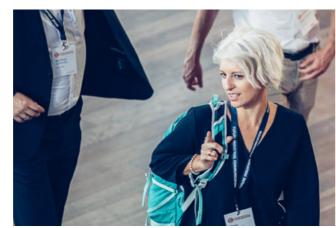






























#### **ANSPRECHPARTNER**

#### 5Gang

Ericsson GmbH Henning Buhr Ericsson-Allee 1 52134 Herzogenrath 5gang@ip45g.de

#### **FIND**

DFKI GmbH
Prof. Dr. Hans Dieter Schotten
Trippstadter Straße 122
67663 Kaiserslautern
schotten@eit.uni-kl.de

#### FlexSi-Pro

Fraunhofer IOSB
Dr. Christian Haas
Fraunhoferstraße 1
76131 Karlsruhe
christian.haas@iosb.fraunhofer.de

#### !3

Freie Universität Berlin Prof. Dr. Matthias Wählisch Takustraße 9 14195 Berlin i3@ip45g.de

#### **SEKOM**

Diebold Nixdorf Dr. Dinh Khoi Le Heinz-Nixdorf-Ring 1 33106 Paderborn sekom@ip45g.de

#### **SESAM**

Fraunhofer HHI
Dr. Volker Jungnickel
Einsteinufer 37
10587 Berlin
volker.jungnickel@hhi.fraunhofer.de

#### **SINSEWA**

OPENLIMIT SignCubes GmbH Dr. Stephan Lachmann Saarbrücker Straße 38 a 10405 Berlin sinsewa@ip45g.de

#### IP45G

Paderborn University, SICP Dr. Gunnar Schomaker Zukunftsmeile 1 33102 Paderborn schomaker@sicp.de

#### 5G NetMobil

Robert Bosch GmbH Dr. Frank Hofmann Robert-Bosch-Straße 200 31139 Hildesheim Frank.Hofmann2@de.bosch.com

#### **AMMCOA**

Infineon Technologies AG
Christian Meyne
Am Campeon 1-12
85579 Neubiberg
Christian.Meyne@infineon.com

#### **TACNET 4.0**

DFKI GmbH Prof. Dr. Hans D. Schotten Trippstadter Straße 122 67663 Kaiserslautern schotten@eit.uni-kl.de

#### **IMPRESSUM**

#### Herausgeber

Dr. Gunnar Schomaker
SICP – Software Innovation Campus Paderborn
Universität Paderborn
Zukunftsmeile 1, 33102 Paderborn
+49 (0)5251 5465 228
info@ip45g.de
www.ip45g.de

#### Gestaltung

mcc Agentur für Kommunikation GmbH Bülowstraße 66, 10783 Berlin +49 30 61 28 86 11 info@mcc-events.de www.mcc-events.de

#### Verfasser

Michael Kemkes, InnoZent OWL e. V.
Thomas Mager, Fraunhofer IEM
Dr. Simon Oberthür, Uni Paderborn / SICP
Dr. Gunnar Schomaker, Uni Paderborn / SICP
Dr. Lutz Stobbe, Fraunhofer IZM

#### Bildnachweis

mika-fotografie Berlin

Stand November 2018

