



5G und dann?

Das Rennen um 6G hat bereits begonnen

Blogbeitrag Ausgabe 11/20

Autor



Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
Communication Networks Institute
Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld

Kontakt



Lehrstuhl für Kommunikationsnetze

Technische Universität Dortmund

Otto-Hahn-Straße 6

44227 Dortmund

E-Mail: stefan.boecker@5g.nrw

Telefon: +49 231 755 - 7004

Fax: +49 231 755 - 6136

Gefördert durch

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



5G und dann? Das Rennen um 6G hat bereits begonnen

Vom 26.10. bis zum 30.10.2020 fand zum ersten Mal die 5G.NRW Week statt, bei der Experten in spannenden täglichen 5G-Sessions diskutiert haben, wo NRW in Sachen 5G aktuell steht, was besser werden sollte und was getan werden kann, um 5G als Innovation für Nordrhein-Westfalen nachhaltig zu sichern. Ein Überblick über die diskutierten Themenkomplexe und ein Video zur Rocket Session, dem Highlight der 5G.NRW Week, eröffnet durch Minister Prof. Dr. Andreas Pinkwart, findet sich auf der Konferenzseite: <https://5g.nrw/5g-nrweek/>.

Gleichzeitig diskutieren aber bereits weltweit ForscherInnen und EntwicklerInnen sowohl nächste Standardisierungsschritte innerhalb zukünftiger 3GPP 5G-Releases, als auch bereits mögliche Evolutionsschritte, die über aktuelle 5G Planungen hinausgehen. Während die 3GPP (3rd Generation Partnership Project) als weltweit agierende und für die 5G-Mobilfunktechnologie verantwortliche Standardisierungsorganisation, einen klaren Entwicklungsplan präsentiert, ist die Ausdifferenzierung weiterführender Entwicklungen noch weitestgehend offen. 5G+/++, 5G and beyond oder 6G – unter unterschiedlichsten Labels proklamieren weltweit Entwicklungs-, Forschungs- und andere Förderorganisationen die über den aktuellen 5G-Standard hinausgehende Mobilfunkevolution. Hierbei ist die technologisch, aber auch politisch und gesellschaftlich getriebene Diskussion bisher uneinig über die klare Zuordnung bzw. Abgrenzung neuer Funktionen zur bestehenden 5G- oder zukünftigen 6G-Mobilfunktechnologie, die für 2030 prognostiziert wird.

Unabhängig von dieser Diskussion verfolgt das Competence Center 5G.NRW neben der Kernaufgabe, einen stetigen Innovationstransfer zwischen Forschung und Industrie für aktuelle 5G Themen zu begleiten, ebenfalls das Ziel, frühzeitig eine NRW-Perspektive für die Nachfolgertechnologie von 5G zu erarbeiten. Das Rennen um 6G hat bereits begonnen.

Vor diesem Hintergrund hat das Competence Center, repräsentiert durch die Projektpartner der TU Dortmund, erfolgreich an verschiedensten internationalen Konferenzen mit Fokus auf der Weiterentwicklung von Wissenschaft, Technologie und Anwendungen von Kommunikationsnetzen und verwandten Disziplinen teilgenommen und aktuelle Trends beobachtet und analysiert. Zudem hat sich das Competence Center im ersten Halbjahr erfolgreich einer weltweiten 6G-Expertengruppe angeschlossen. Insgesamt haben sich 250 Experten aus mehr als 100 Organisationen und 30 Ländern zusammengetan, um unter der Koordination des 6G Flagship Programms in insgesamt 12 Schwerpunktthemen mögliche Ausprägungen der zukünftigen 6G-Technologie auszuarbeiten. Das Competence Center 5G.NRW hat sich dabei als einer der verantwortli-

chen Autoren intensiv in das Kernthema **Critical and Massive Machine Type Communication towards 6G**¹ eingebracht und zusätzlich zum Schwerpunkt **Machine Learning in Wireless Communication**² beigetragen. Ein Überblick über die 12 Schwerpunktthemen, sowie ein kostenfreier Download aller Beiträge ist hier verfügbar: <https://www.6gchannel.com/6g-white-papers/>

Was ist das 6G Flagship Programm?

Bei dem 6G Flagship Programm (<https://www.6gchannel.com/>) handelt es sich um eine durch die Universität Oulu in Finnland gegründete, internationale Initiative, deren Ambition es ist, die Mobilfunkforschung über 5G hinaus voranzutreiben. Mit einer Vision bis zum Jahr 2030 wird dabei die Zielsetzung verfolgt, die Industrie bei der Finalisierung der 5G-Technologie zu unterstützen, die notwendigen Grundlagen für zukünftige 6G-Standardisierung rechtzeitig zu erarbeiten und technologieunabhängig vertikale Anwendungen und Dienste gemeinsam mit der Industrie umzusetzen.

Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass 5G eine Vielzahl von Innovationen als Evolution aus den aktuell weitverbreiteten und auch erfolgreich betriebenen LTE-Netzen beinhaltet. Es zeichnen sich aber bereits heute Innovationen ab, die deutlich über 5G hinausführen und einen disruptiven Charakter haben, wie z.B. die Verwendung neuer Frequenzbereiche im THz-Spektrum oder der Einsatz elektronisch konfigurierbarer Meta-Oberflächen, die die Wechselwirkung der Kommunikationssysteme mit ihrer Umgebung revolutionieren werden. Hier bietet sich eine große Chance durch exzellente, industriennahe Entwicklung und Forschung in NRW die Wertschöpfung zu steigern und eine nachhaltige 6G-Perspektive für NRW zu erarbeiten.

Zielsetzung NRW Perspektive 6G

Angesichts der essentiellen Bedeutung der Kommunikationstechnik und -netze für den Industriestandort NRW ist es geboten, den Bereich beginnend mit Investitionen in Entwicklung und industriennahe Forschung zu stärken, sodass der in NRW erbrachte Wertschöpfungsanteil im nationalen und internationalen weiter gesteigert werden kann. Das Potential zeigt sich dabei weniger in der Herstellung von Hardwarekomponenten, sondern vor allem auch im Systemdesign von Komponenten auf der Basis neuartiger Prozessorarchitekturen sowie dem Entwurf von offenen, softwarebasierten Lösungen. Als aktuelles Beispiel sei hier die OpenRAN-Initiative (<https://www.o-ran.org/>) genannt, die es ermöglicht, über offene Schnittstellen zukünftige Radiozugangsnetze wesentlich fle-

¹ White Paper on Critical and Massive Machine Type Communication Towards 6G [White paper], 6G Research Visions, No. 11, Juni 2020. Online verfügbar: <https://www.6gchannel.com/items/6g-white-paper-critical-massive-type-communication/>

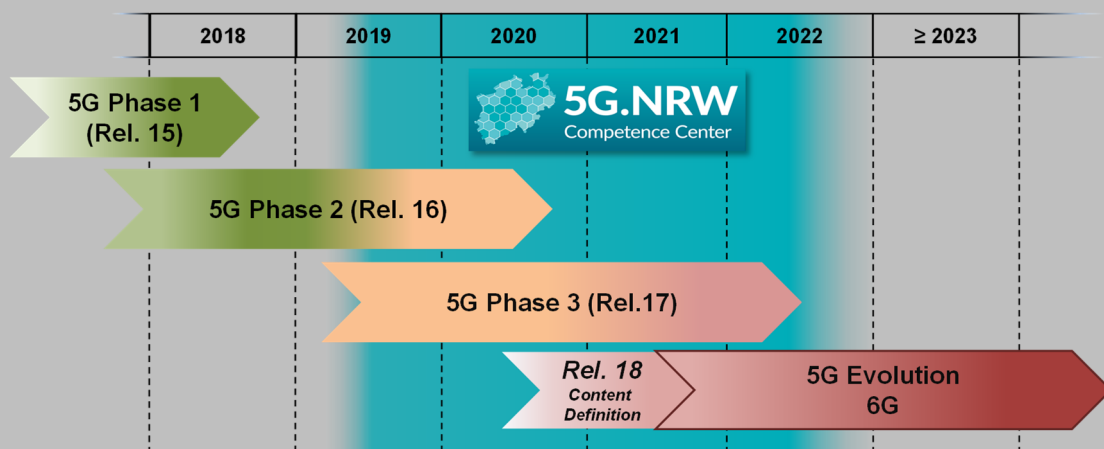
² White Paper on Machine Learning in 6G Wireless Communication Networks [White paper], 6G Research Visions, No. 7, Juni 2020. Online verfügbar: <https://www.6gchannel.com/items/6g-white-paper-machine-learning/>

xibler zu realisieren. Weitere aktuelle Beispiele sind 5G-Campusnetze und IoT-spezifische Netze, welche die Anzahl potenzieller, lokaler Netzbetreiber explodieren lässt und damit bereits jetzt die Chance für neue Produkte und Dienstleistungen mit hohem Wertschöpfungsanteil in NRW bieten. Die Voraussetzung für die Etablierung einer nachhaltigen lokalen Wertschöpfung im Bereich Telekommunikation ist jedoch eine fortdauernde, exzellente, sowie industriennahe Entwicklung und Forschung am Standort, die die oben angesprochenen disruptiven 5G Weiterentwicklungen rechtzeitig aufgreift und eine Basis für spätere wirtschaftliche Verwertungen „Made in NRW“ liefert.

Das Competence Center 5G.NRW hat hier bereits den Grundstein gelegt und über das bereits angesprochene, umfangreiche Technologiemonitoring erste 6G-Schlüsselrends identifiziert, die ausgehend von folgenden Inhalten zum Ende des Projektes in einem finalen Ergebnispapier mit dem Titel **NRW Perspektive 6G** veröffentlicht werden.

Ein Blick auf die Standardisierung - 3GPP Releases im Überblick

Mit dem **3GPP Rel. 15** wurde die grundlegende Spezifikation der 5G-Mobilfunktechnologie festgelegt. Hierbei hat das *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) auf Grundlage besonders hoher Bandbreiten und die damit erreichbaren hohen Übertragungsraten die Größte Sichtbarkeit erreicht. Die Einbettung in existierende 4G Infrastruktur mittels EN-DC hat maßgeblich zu diesem Effekt beigetragen.



In **Rel. 16** greift die 3GPP die Erfahrungen und entstandene Anforderungen erster Systeme für Erweiterungen und Optimierungen auf. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der skalierbaren Ausweitung der *Ultra Reliable Low Latency* (URLLC) Kommunikation mit einer Zuverlässigkeit von 99,9999% um industrielle Anwendungsfälle zur unterstützen³, z.B. im Bereich des Time Sensitive Networking (TSN). Fahrzeugkommunikation (C-V2X) und funkbasierte Positionierung sind weitere Schwerpunkte dieses Releases.

³ 3GPP RP-191584, „Physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency communication (URLLC)“

Für das kommende **Rel. 17** laufen aktuell zum Teilaspekt des *enhanced Industrial IoT* mehrere Untersuchungen⁴, z.B. zum kontrollierten Einsatz in lizenzfreien Bändern, der Steigerung der spektralen Effizienz und Skalierbarkeit durch genauere Anpassung an die Kanaleigenschaften oder einer genaueren Synchronisation durch Korrektur der Ausbreitungsverzögerung.

Trotz noch laufenden Studien für Rel. 17 hat bereits die Arbeit an **Rel. 18** in Form erster Machbarkeitsstudien zur Identifikation und Festlegung der Inhalte begonnen⁵. Dabei dominieren insbesondere Themen, die sich unter den Begriffen *Mission Critical* and *Resilient Communication* zusammenfassen lassen. Dazu gehören z.B. *Smart Energy* and *Infrastructure*, *Timing Resiliency*, sowie das Erreichen einer robusteren Netzverfügbarkeit durch Relays auf Fahrzeugen und Gateway UEs.

Allgemeine Schlüsselrends für 6G

THz Kommunikation

Während die 5G-Technologie mit den mmWave-Frequenzbereichen (Frequency Range 2, FR2) bereits Spektrum größer 24 GHz einsetzt, um auf Basis der hier verfügbaren größeren Bandbreite höhere Datenraten im Gbit/s-Bereich zu realisieren, soll die 6G-Technologie noch weitergehen und Sub-THz und THz-Frequenzbereiche (100 GHz bis 3THz) erschließen. Im Sub-THz-Bereich von etwa 100 GHz bis 250 GHz stehen beispielsweise große, zusammenhängende Frequenzbereiche mit insgesamt 21,2 GHz Bandbreite zur lizenzfreien Nutzung zur Verfügung, die es theoretisch ermöglichen, deutlich gesteigerte Datenraten mehrerer Hundert Gigabit/s bis gar in den Terabit/s-Bereich zu erreichen⁶.

In einem IEEE Access Beitrag⁶ von *Theodore S. Rappaport et al. (NYU WIRELESS)* mit dem Titel „*Wireless Communication and Applications Above 100GHz*“ werden viele der technischen Herausforderungen und Möglichkeiten für drahtlose Kommunikations- und Sensoranwendungen oberhalb von 100 GHz beschrieben und eine Reihe vielversprechender Entdeckungen, neuartiger Ansätze und aktueller Ergebnisse vorgestellt, die bei der Entwicklung und Implementierung der sechsten Generation (6G) drahtloser Netzwerke und darüber hinaus helfen werden.

⁴ 3GPP RP-201310, „Enhanced Industrial Internet of Things (IoT) and ultra-reliable and low latency communication (URLLC) support for NR“

⁵ 3GPP Work Programme: <https://www.3gpp.org/DynaReport/GanttChart-Level-2.htm>

⁶ T. S. Rappaport et al., "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78729-78757, 2019. [[Video](#)]

Die Herausforderung der durch die hohen Trägerfrequenzen bedingten, außerordentlich hohen Freiraumdämpfung zeigt sich bereits im 5G-mmWave-Frequenzbereich und verschärft sich entsprechend bei Einsatz noch höherer Trägerfrequenzen im Sub-THz- und THz-Bereich. Eine der damit einhergehenden, größten Hürden ist die Entwicklung entsprechender Antennensysteme, die ähnlich zu 5G eine sehr stark gerichtete Antennencharakteristik ausformen, um Funkspektren jenseits herkömmlicher Mobilfunkfrequenzen nutzbar zu machen und gleichzeitig eine dynamische Nachführbarkeit⁷ der Antennencharakteristik zu unterstützen, um eine stabile Hochleistungskommunikationsverbindung für mobile Netzteilnehmer zu realisieren. Neben dem Einsatz moderner Antennentechnik zur Steigerung der Verbindungszuverlässigkeit im THz-Bereich, wird der intelligente Einsatz integrierter Antennensysteme ebenfalls zur Steigerung der spektralen Effizienz eingesetzt und erlaubt bereits heute zweistellige Gbit/s Übertragungen über kurze Distanzen von 1-2m⁸.

Trotz dieser großen technischen Herausforderungen verspricht der Einsatz der THz-Technologie aber nicht nur deutlich gesteigerte Datenraten mehrerer Hundert Gigabit/s, sondern vor allem sehr große Anwendungspotentiale für unter anderem funkbasierte Erkennung (Sensing), z.B. in der Werkstoffprüfung, Oberflächenuntersuchungen nach Defekten und Einschlüssen oder Feuchte- und Materialverbundidentifikation. Bereits jetzt diskutieren Studien den Einfluss unterschiedlicher Materialien mit jeweils spezifischer Oberflächencharakteristik auf die Funkausbreitungseigenschaften im THz-Bereich⁹. Ein anderes Anwendungsbeispiel sind hochgenaue Positionierungsverfahren. Auf Basis von Lokalisierungsverfahren in 5G-mmWave-Frequenzbereichen können bereits experimentell Positionierungsgenauigkeiten im einstelligen Zentimeterbereich^{6,10} erreicht werden, welche in zukünftigen 6G-Netzen weiter reduziert, aber vor allem im dreidimensionalen Raum auch unter Non-Line-Of-Sight (NLOS) Bedingungen erzielt werden sollen. Letzteres wird insbesondere durch den Einsatz von Systemkonzepten zur intelligenten Ausnutzung von Reflexionseigenschaften möglich (siehe *Reconfigurable Intelligent Surfaces*, RIS).

⁷ K. Heimann, P. Gorczak, C. Bektas, F. Girke, C. Wietfeld, "Software-Defined End-to-End Evaluation Platform for Quality of Service in Non-Standalone 5G Systems", In 2019 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Orlando, Florida, USA, April 2019. [\[PDF\]](#)

⁸ P. Rodriguez-Vazquez, J. Grzyb, B. Heinemann and U. R. Pfeiffer, "A QPSK 110-Gb/s Polarization-Diversity MIMO Wireless Link With a 220–255 GHz Tunable LO in a SiGe HBT Technology," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 68, no. 9, pp. 3834–3851, Sept. 2020.

⁹ M. Alissa, B. Friederich, F. Sheikh, A. Czylik and T. Kaiser, "Experimental Investigation of Terahertz Scattering: A Study of Non-Gaussianity and Lateral Roughness Influence," in IEEE Access, vol. 8, pp. 170672–170680, 2020.

¹⁰ K. Heimann, J. Tiemann, S. Böcker, C. Wietfeld, "[Cross-Bearing based Positioning as a Feature of 5G Millimeter Wave Beam Alignment](#)", In IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC-Spring), Antwerp, Belgium, May 2020. [\[PDF\]](#)[\[Video\]](#)

Reconfigurable Intelligent Surfaces

Mit dem Schlagwort *Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS)* werden neuartige Systemkonzepte beschrieben, die auf sogenannten Meta-Oberflächen aufbauen, deren Reflektionseigenschaften elektronisch beeinflusst und so gesteuert werden können, dass die Ausbreitung der Funkwellen positiv beeinflusst werden. Man spricht hierbei auch von *Intelligent Reflective Surfaces (IRS)* oder *Real-time software-controlled metasurfaces*. Über die aktive Steuerung der Oberflächeneigenschaften können einerseits störende Überlagerungen durch Mehrwegeausbreitung verhindert und andererseits auch Abschattungssituationen überbrückt werden. Zukünftig könnten Gebäude also nicht nur negative Einflüsse auf das Funkfeld ausüben, sondern mit entsprechend gestalteten Oberflächen das Funkfeld günstig beeinflussen. In seinem Beitrag arbeitet *Prof. Emil Björnson (Linköping Universität, Schweden)*, "*Reconfigurable intelligent surfaces: Myths and realities*"¹¹ die technischen Grundlagen auf und beleuchtet die Vor- und auch Nachteile der daraus abgeleiteten Systemkonzepte. So müssen sich RIS von bekannten Konzepten wie beispielsweise dem sog. *Relay*-Ansatz abgrenzen, mit denen ebenfalls das Funksignal aufgegriffen und weitergegeben wird. In seinem Vortrag wurde deutlich, dass RIS eine Schlüsselkomponente im Kontext des Designs zukünftiger Funkssysteme sein können, aber gleichzeitig auch kein Allheilmittel, welches bekannten Konzepten in jedem Fall überlegen ist. Bis zu einer möglichen industriellen Einsatztauglichkeit besteht allerdings noch viel Forschungsbedarf¹².

Machine Learning in Kommunikationsnetzen

Die Bereiche „Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen“ und „Kommunikationstechnik und -netze“ verhalten sich zukünftig untrennbar und symbiotisch zueinander: Nur durch eine leistungsfähige Kommunikationstechnik können die für das maschinelle Lernen notwendigen Datenmengen transportiert werden. Und je mehr sich maschinelles Lernen vom Offline-Lernen zum Online-Lernen entwickelt, steigen die Anforderungen an die Netze. Für den noch weiter zu umfassenden Bereich der künstlichen Intelligenz, der neben der Datenanalyse auch die Steuerung von teilweise sicherheitskritischen Prozessen (z.B. in der Robotik und der Medizintechnik) beinhaltet, sind die Aspekte der Echtzeitfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Kommunikationswege von essentieller Bedeutung. Zusätzlich bietet der Einsatz von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz die Basis für revolutionäre Entwicklungen im Bereich der Kommunikationstechnik, die bisher nur in Ansätzen ausgelotet wurden, wie z.B. in der Realisierung von Kommunikationsstrecken, die anstatt etablierter Kodierungsverfahren mit einer erlernten Kodierung arbeiten. Auch wenn die Leistungsfähigkeit aktuell noch

¹¹ B. Björnson, "Reconfigurable intelligent surfaces: Myths and Realities", In *2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, Levi, Finland, March 2020. [\[Video\]](#)

¹² M.D. Renzo, M. Debbah, DT. Phan-Huy, et al., "Smart radio environments empowered by reconfigurable AI metasurfaces: an idea whose time has come", In *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2019, 2019. [\[PDF\]](#)

nicht vollumfänglich industriell verwertbar scheint, liegt in mittels KI definierter Datenübertragung ein großes Potential. Erste entsprechende Methodiken sind bereits vor allem in abgeschlossenen Modulen der Netzinfrastruktur Bestandteil von 5G. Im Unterschied dazu soll hingegen die native, vollständig systemdurchdringende Integration von Mechanismen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens ein Schlüsselement von 6G-Netzen werden, welches sämtliche agierenden Entitäten des Netzes und alle logischen Kommunikationsebenen betrifft. Die Technologie hat damit das Potential, die digitale Kommunikation in zukünftigen Kommunikationsnetzen auf eine ganz neue Basis zu stellen².

Dies betrifft zum Beispiel prädiktive Verfahren zur Ressourcenzuweisung unter Nutzung von Methoden zur Erkennung von Verkehrsmustern im Kommunikationsverhalten der Teilnehmer, welche von dynamischen Network Slicing-Verfahren verwendet werden¹³. Opportunistische Methoden zum Datentransfer nutzen *Hotspots* der Kanalqualität zur ressourceneffizienten Übertragung und tragen somit implizit endgeräteseitig zur Optimierung der Netzkapazität bei¹⁴.

Zur Ermöglichung dieser Prädiktions- und Optimierungsverfahren muss der Einfluss des zusätzlichen Rechenaufwands auf die Dienstgüte minimiert werden. Dies kann z.B. durch ressourceneffiziente und verteilte Lernverfahren erzielt werden. In diesem Kontext besteht zudem eine enge Verknüpfung von Edge Computing-Konzepten, welche die effiziente lokale Verarbeitung rechenintensiver Lern- und Inferenzprozesse ermöglichen. Das auf der IEEE International Conference on Communications 2020 mit dem Best Paper Award ausgezeichnete und frei verfügbare LIMITS¹⁵ (Lightweight Machine Learning for IoT Systems) Framework leistet einen Beitrag zur Schließung der großen methodischen Lücke für die Einführungsphase von trainierten maschinellen Lernmodellen auf Plattformen mit beschränkten Ressourcen, wie z.B. Mikrocontroller-Einheiten (MCUs).

Auf der physikalischen Ebene lernt das *Artificially Intelligent Air Interface (AI-AI)*¹⁶ eigenständig das Ende-zu-Ende-Verhalten des Sende- und Empfangsprozesses und ermöglicht umgebungs- und verkehrsabhängige Optimierungen. Zudem werden Kanaleigenschaften mittels Ray Tracing auf einem „digitalen Zwilling“ der Umgebung bestimmt und die Mobilität der Teilnehmer mit Prädiktionsverfahren vorhergesagt.

¹³ Y. Abiko, T. Saito, D. Ikeda, K. Ohta, T. Mizuno and H. Mineno, "Flexible Resource Block Allocation to Multiple Slices for Radio Access Network Slicing Using Deep Reinforcement Learning," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 68183-68198, 2020.

¹⁴ B. Sliwa, R. Adam, C. Wietfeld, "[Acting Selfish for the Good of All: Contextual Bandits for Resource-Efficient Transmission of Vehicular Sensor Data](#)", In *Proceedings of the ACM MobiHoc Workshop on Cooperative Data Dissemination in Future Vehicular Networks (D2VNet)*, ACM, Online, October 2020. [[PDF](#)][[Video](#)]

¹⁵ B. Sliwa, N. Piatkowski, C. Wietfeld, "[LIMITS: Lightweight machine learning for IoT systems with resource limitations](#)", In *2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Dublin, Ireland, June 2020. (**Best Paper Award**). [[PDF](#)][[Video](#)]

¹⁶ S. Han et al., "Artificial-Intelligence-Enabled Air Interface for 6G: Solutions, Challenges, and Standardization Impacts," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 10, pp. 73-79, October 2020.

Multi-Connectivity (Multi-X)

Bereits die Anforderungsprofile heutiger 5G-Anwendungen befinden sich in einem stetigen Wandel. Während die klassische Netzwerkdimensionierung weitestgehend auf stochastischem, menschlichem Verhalten und entsprechend korreliertem Verkehrsaufkommen basiert, wird der Anteil ereignisgesteuerter Maschinenkommunikation drastisch zunehmen. Dabei ist die größte Herausforderung die Realisierung einer zuverlässigen Kommunikation kritischer Alarmkommunikation mit praktisch unvorhersehbarem Verhalten.

Dieser Wandel macht eine Definition und Einführung neuer Leistungsparameter wie z.B. die Prädizierbarkeit des Verkehrsaufkommens unerlässlich¹. Ausgehend von diesen neuen Serviceklassen müssen zukünftige 6G-Netze Ressourcen in einem mehrdimensionalen Multi-Connectivity Lösungsraum (Multi-X) bereitstellen, wobei sich der Lösungsraum z.B. aus unterschiedlichen Zugangstechnologien (Multi-Radio Access Technologies, RAT) wie 4G/5G und Wi-Fi 6¹⁷, verschiedenen Frequenzbändern (Multi-Band) oder auch Netzbetreibern¹⁴ (Multi-Vendor) zusammensetzen kann.

Damit auch für nicht oder kaum prädizierbare Anwendungsklassen eine garantierte Dienstgüte unter Einsatz eines angemessenen Ressourcenaufwandes erzielt werden kann, müssen verfügbare Ressourcen dynamisch und in Abhängigkeit definierter Kosten (Frequenznutzung, Verzögerungszeiten, Energieverbrauch, etc.) zugewiesen werden. Der Einsatz datengetriebener Analyseverfahren ist in diesem Zusammenhang für die Identifikation des realen Verhaltens einzelner Netzwerke, Teilnehmer und Umgebungen zwingend erforderlich, um eine bedarfsgerechte Vermittlung notwendiger Ressourcen zu gewährleisten¹⁸.

6G Security

Mit der zunehmenden Verbreitung und Verdichtung von Mobilfunknetzen und der stetigen Aufnahme neuer Anwendungsfälle steigen gleichzeitig auch die Anforderungen hinsichtlich Privatsphäre, Sicherheit und Vertrauen¹⁹. Aufgrund der Systemkomplexität und dem heterogenen Systemcharakter, die sich aus dem Zusammenspiel verschiedener (verteilter) Systeme ableiten, ergeben sich hier besondere Herausforderungen.

¹⁷ J. Güldenring, P. Gorczak, M. Patchou, C. Arendt, J. Tiemann, C. Wietfeld, "[SKATES: Interoperable Multi-Connectivity Communication Module for Reliable Search and Rescue Robot Operation](#)", In *2020 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Thessaloniki, Greece, October 2020. [[PDF](#)][[Video](#)]

¹⁸ Y. Abiko, T. Saito, D. Ikeda, K. Ohta, T. Mizuno and H. Mineno, "Flexible Resource Block Allocation to Multiple Slices for Radio Access Network Slicing Using Deep Reinforcement Learning," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 68183-68198, 2020.

¹⁹ M. Ylianttila et al., "6G White paper: Research challenges for Trust, Security and Privacy", <https://www.6gchannel.com/items/6g-white-paper-trust-security-privacy/>

Beispielsweise listet die 3GPP hierzu in umfangreichen Katalogen²⁰ Anforderungen und Testfälle zur Überprüfung grundlegender Sicherheitsfunktionen der zum Großteil virtualisierten Netzwerkfunktionen im 5G-Kernnetz. Die zunehmende Verbreitung von günstigen Software-Defined Radios (SDRs) und Open-Source-Protokollstapeln ermöglichen es zudem, einen tiefgehenden Einblick in die Netzwerkaktivitäten auf der Luftschnittstelle zu erhalten sowie auch aktiv in die Geschehnisse einzugreifen.

Dies fördert im signifikanten Maße die Erforschung und Entwicklung von Netzwerktechnologien und verbietet gleichzeitig den fadenscheinigen Schutz durch *Security Through Obscurity*, sodass zuverlässige Schutzmechanismen eingefordert werden.

Für 6G wird dabei die Umsetzung des *Secure-by-Design*-Prinzips eine essenzielle Rolle spielen. Denn fehlerhafte Implementierungen oder unbeabsichtigte Fehlkonfigurationen können in Anbetracht der überwältigenden Flexibilität und der damit verbundenen Komplexität für lange Zeit unentdeckt in den Netzen verweilen und damit langfristig die Sicherheit und die Zuverlässigkeit für Netznutzer und -betreiber kompromittieren.

Kürzlich vorgestellte Attacken wie ReVoLTE²¹ haben öffentlichkeitswirksam gezeigt, wie durch die fehlerhafte Nutzung vorhandener Sicherheitsmechanismen VoLTE-Anrufe mitgehört werden können, und damit weltweit die Privatsphäre der Netznutzer signifikant beeinträchtigt wird.

Ein weiterer und häufig unterschätzter Sicherheitsaspekt ist die Möglichkeit zur Extraktion von Kommunikationsmetadaten. Beispielsweise werden sowohl in 4G als auch in 5G zahlreiche Kontrollinformationen, die den Nachrichtenaustausch zwischen Basisstation und Endgerät koordinieren, aus Effizienzgründen unverschlüsselt ausgetauscht.

Mit dem SDR-basierten Open-Source Werkzeug FALCON²² können diese Ressourcenzuweisungen einer LTE Zelle in Echtzeit und mit einer zeitlichen Auflösung von 1ms extrahiert und visualisiert werden.

Obwohl die Identität und die ausgetauschten Nutzdaten kryptographisch geschützt sind und somit nicht ohne die Kenntnis der geheimen Schlüssel dechiffriert werden können, kann ein externer Beobachter anhand der Verbindungsdaten dennoch Rückschlüsse auf die übertragene Datenmenge ziehen. In Kombination mit der zeitlichen Charakteristik

²⁰ 3GPP TS 33.117, "Catalogue of general security assurance requirements", https://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/33_series/33.117

²¹ D. Rupprecht et al., „Call Me Maybe: Eavesdropping Encrypted LTE Calls With ReVoLTE“ in USENIX Security Symposium (SSYM), Aug. 2020, <https://revolte-attack.net>

²² R. Falkenberg, C. Wietfeld, "FALCON: An Accurate Real-time Monitor for Client-based Mobile Network Data Analytics", in GLOBECOM 2019 - 2019 IEEE Global Communications Conference, 2019, <https://github.com/falkenber9/falcon>

des Nachrichtenaustauschs kann mithilfe von maschinellem Lernen auf den dahinterliegenden Dienst²³ rückgeschlossen werden oder sogar in aggregierter Form zur Identifikation oder Wiedererkennung einzelner Individuen angewandt werden²⁴.

Um den Risiken des Abhörens (Eavesdropping) und der äußeren Störung (Jamming) zu begegnen, müssen die Schutzmechanismen in 6G bereits an der untersten physikalischen Schicht Einzug nehmen. Denn diese Netzwerke werden in Zukunft zunehmend höchst sensitive Informationen transportieren, wie z.B. die Daten von medizinischen Monitoringsystemen, Body-Area Networks und Bio-Cyber Interfaces¹⁹.

Aber auch in Bereichen ohne direkten Personenbezug, wie intelligente Verkehrssysteme und Energiesysteme muss die Zuverlässigkeit und die Robustheit gegen äußere Störeinflüsse sichergestellt sein¹⁹. Eine Lösungsmöglichkeit, um das Security-Level in zukünftigen 6G Netzen zu steigern, ist der Einsatz des Funkkanals mit der Zielsetzung hochzuverlässiger kryptografischer Verschlüsselung. Dazu werden bereits Ansätze diskutiert, die durch ergänzenden Einsatz von **Reconfigurable Intelligent Surfaces** eine hochzuverlässige Sicherheit bereitstellen und insbesondere im maschinellen Umfeld als attraktive Alternative zu Public-Key-Techniken angesehen werden²⁵.

Ausblick

Weitere bereits aktuell diskutierte 6G-Schlüsseltrends sind z.B. **Quantenkommunikation, echtzeitfähige digitale Zwillinge, Visible Light Communication²⁶ oder Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)**. Die Identifikation der hier präsentierten ersten Schlüsseltrends dient als Entwurf des zum Projektende geplanten Ergebnisrapport „NRW Perspektive 6G“ und wird in der zweiten Projekthälfte stetig ausgeweitet und zum Projektende mit relevantem Stand der Technik, Stakeholdern, sowie einem Maßnahmenkatalog (Handlungsempfehlungen) zur Sicherung und Stärkung der 6G-Position des Landes NRW im internationalen Vergleich veröffentlicht.

²³ H. Trinh et al., "Mobile Traffic Classification through Physical Control Channel Fingerprinting: a Deep Learning Approach", IEEE Transactions on Network and Service Management, 2020

²⁴ F. Meneghello et al., „Smartphone Identification via Passive Traffic Fingerprinting: A Sequence-to-Sequence Learning Approach“, IEEE Network, 2020

²⁵ P. Staat, H. Elders-Boll, M. Heinrichs, R. Kronberger, C. Zenger, & C. Paar, "Intelligent Reflecting Surface-Assisted Wireless Key Generation for Low-Entropy Environments", arXiv preprint arXiv:2010.06613, 2020. [[Online](#)]

²⁶ A. Memedi and F. Dressler, "Vehicular Visible Light Communications: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020.