5G-Projekt bereitet den Weg für flexible Produktion

Besonders kleine und mittlere Unternehmen stehen vor großen Herausforderungen im Zuge von Industrie 4.0. Das vom BMWK geförderte Projekt „5G++ FlexiCell“ möchte den Mobilfunkstandard 5G als nomadisches Campus-Netz in der Fertigung einsetzen, um Produktionskosten zu reduzieren. Das Ziel ist, Rüstzeiten in „High-Mix Low-Volume“-Fertigungen durch Vernetzungs- und Ortungstechnik zu verkürzen.

Um Kosten zu senken und damit Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern, investieren viele produzierende Unternehmen in die Digitalisierung ihrer Fertigung. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen dabei vor der Herausforderung, ihre Produktion bei oft kleinen Stückzahlen und großer Produktvielfalt (High-Mix Low-Volume, HMLV) schnell, flexibel und automatisiert umzugestalten. Eine Voraussetzung dafür ist eine effiziente und flexible Vernetzung. Große Wellen schlägt dabei aktuell die Mobilfunktechnologie 5G, weil sich damit erstmals zuverlässig und reaktionsschnell Steuerbefehle über Funk übertragen und gleichzeitig Gegenstände lokalisieren lassen. Beides ist notwendig für eine flexible Fertigung inklusive Qualitätssicherung sowie eine weitere Verbesserung der fertigungsinternen Logistik.

Seit Anfang 2020 können Firmen örtlich an ihr Betriebsgelände gebunden eine exklusive Spektrumslizenz für 100 MHz Bandbreite beantragen, um dort ein eigenes 5G-Netzwerk zu betreiben. Allerdings ist 5G-Infrastruktur aktuell noch vergleichsweise teuer, sodass sich eine Investition in ein flächendeckendes Campusnetz oft nicht lohnt. Im Projekt „Offene und flexible Industrie-Vernetzung mit 5G-Small-Cell-Zentrale: Adaptive Produktion und Intra-Logistik in KMU (5G++ FlexiCell)“ soll der Einsatz kleiner, mobiler Funkzellen (sogenannter Small-Cells) als nomadisches Inselnetz erforscht werden. Inselnetze sind Campusnetze, die autark und ohne eine Internetverbindung zu Mobilfunkanbietern funktionieren können. Nomadisch

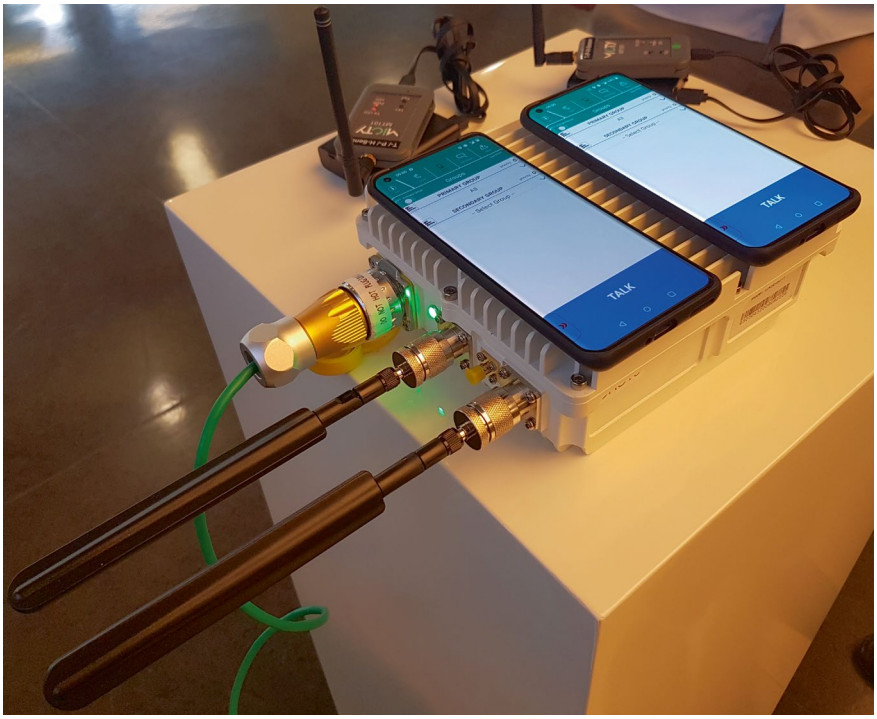

Bild 1 > Prototyp einer 5G-FlexiCell bestehend aus 5G-Mobilfunkzelle mit integriertem 5G-Kernnetz (Hersteller: Blackned); darauf zwei verbundene 5G-Mobiltelefone (© Stephan Ludwig | Hochschule Aalen)

nennt man diese, wenn sie mobil sind, das heißt, heute hier, morgen dort eingesetzt werden können. Weil für verschiedene Anwendungen aber auch verschiedene Kommunikations- und Ortungstechnologien für Gegenstände und Güter eingesetzt werden, soll die FlexiCell genannte Small-Cell auch diese integrieren.
Das Projektkonsortium bilden die Firmen Awesome Technologie Innovationslabor, Blackned, Carl Zeiss Automated Inspection, Joyson Safety Systems PlasTec und Varta Microbattery sowie die TU Ilmenau und die Hochschule Aalen.

Projektziele

Die FlexiCell soll im Paket mit Automatisierungslösungen entwickelt werden, die

- neueste Entwicklungen auf der Komponentenseite (Kommunikation, Lokalisierung und Automatisierungstechnik/Robotik),
- flexible Geschäftsmodelle wie Robotics as a Service und
- eine Kombination von 5G mit anderen drahtlosen und drahtgebundenen Kommunikationstechnologien unter Einbindung von Lokalisationslösungen integrieren.

Es ist vorgesehen, dass sich mehrere Small-Cells auch automatisiert miteinander vernetzen (föderieren) können, um einen größeren Verbund zu bilden oder eine längere Produktionslinie abzudecken. FlexiCells sollen sich nahtlos in die Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0) integrieren [1] und zusammen mit einer Supervisory-Control [2] in eine Informations- und Kommunikationslösung für die Fertigung konvergieren. Das heißt, die Lösung soll einfach und ohne tiefes Spezialwissen zu bedienen sein. Der Mensch soll als Nutzer der Technik im Mittelpunkt stehen, von einer Arbeitsentlastung profitieren und gleichzeitig den Überblick über die sich selbst konfigurierenden Systeme behalten.

Nomadisches 5G-Inselnetz

Die Idee von 5G++ FlexiCell ist es, ein räumlich kleines 5G-Netz nur dort zu betreiben, wo dieses mit Return-on-Invest eingesetzt werden kann. Oft genügt dazu eine einzelne Basisstation. Neben der Funkzugangstechnik der Basisstation wird bei Mobilfunk ein Kernnetz (Core) benötigt, das unter anderem die SIM-Karten- und Zugangsverwaltung (etwa: Wer darf telefonieren?) sowie Dienstgüte-Überwachung bereitstellt. Jeder Mobilfunkbetreiber betreibt ein solches üblicherweise nur einmal für ganz Deutschland. Es ist in der Regel für Millionen von Endgeräten ausgelegt, was für den Bedarf fertigender KMU nicht nur von den Kosten her überdimensioniert ist. In der 5G++ FlexiCell ist dieses Kernnetz verschlankt und an der Basisstation

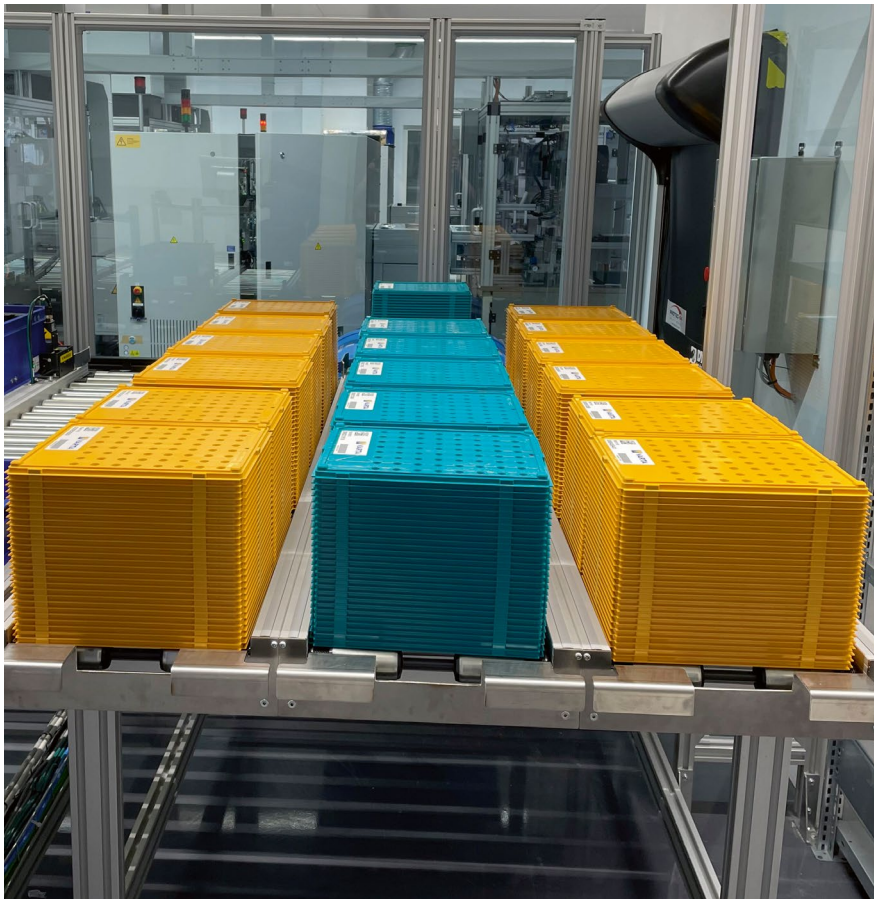

Bild 2 > Fieldlab „Optimierung der Intralogistik“: Anlieferung per FTS zur Mikrozellenwaschung in einer Batteriefertigung (© Varta)

Bild 3 > Flexible Qualitätsmesszelle mit über 5G angebundenem 3-D-Qualitätsmesssensor (© Zeiss Gruppe)

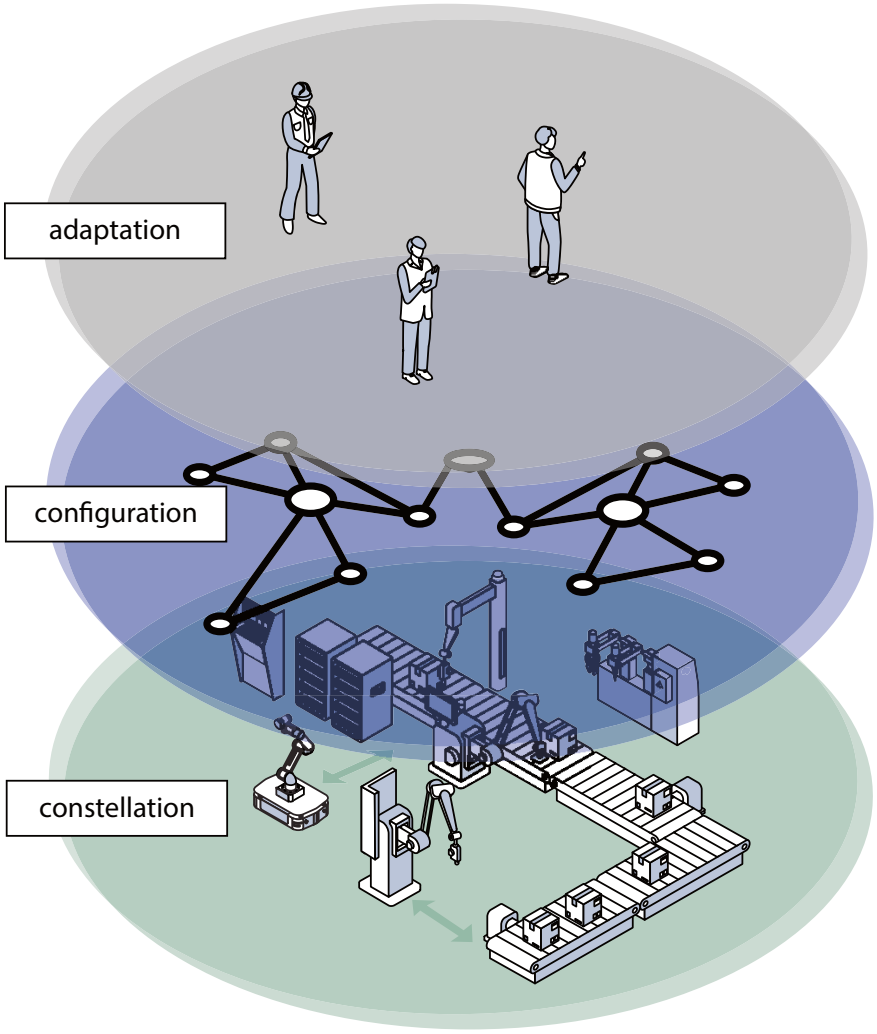

Bild 4 > Verschiedene Ebenen der FlexiCell-Architektur (© Doris Aschenbrenner | Hochschule Aalen)

latenzarm integriert, sodass ein gesamtes 5G-Netz in den Formfaktor eines 19-Zoll-Racks mit 8 Höheneinheiten passt; prototypisch sogar in Handtaschengröße, *Bild 1*, die lediglich einen Anschluss besitzt, nämlich Ethernet für Netzwerkverbindung und Energieversorgung (Power over Ethernet). Die FlexiCell unterstützt jede IP-basierte Art der Datenübertragung und Dienste wie Messaging und Telefonieren (Voice-over-IP).

Besonders dabei ist, dass mehrere FlexiCells sich untereinander automatisiert Internet-artig in Form eines Mesh-Netzwerks föderieren können, wobei zum Beispiel in Mobilitätsszenarien Verbindungen ohne Unterbrechung von einer Zelle zur nächsten übergeben werden können (Handover), sodass immer über die Zelle mit der besten Verbindungsqualität kommuniziert wird. Dies wäre mit einem klassischen 5G-Kernnetz nicht möglich, weil es in einem 5G-Netz nur genau einen Kern geben darf.

Die FlexiCell greift dabei auf das System von Blackned [3] zurück, das mit seiner Mesh-Flow-Technologie eine Art verteilt laufenden 5G-Core anbietet, der gleichzeitig auf allen FlexiCells synchronisiert läuft, sodass beispielsweise jedes Endgerät lediglich eine identische IP-Adresse (Anker) in allen Kernen besitzt. Ein Ausfall oder die Entnahme einer FlexiCell wird deshalb toleriert, indem die Netzwerkrouten aktualisiert werden. Die Handover-Zeiten zwischen Kernnetzen sind dabei aufgrund des durchlaufenden IP-Adressen-Kontexts so kurz, dass höhere Netzwerkschichten wie TCP oder UDP den Wechsel der Basisstation prinzipbedingt nicht bemerken.

Das Grundsystem selbst ist ein Linux-basierter Rack-Server mit virtuellen Maschinen (VM), die über ein Software-Defined-Network (SDN) miteinander vernetzt sind, in das sich auch Mesh-Flow integriert. Alle IP-basierten Technologien, die sich an den Server anbinden lassen, lassen sich auch in das Netz einbinden. Für kabelbasiertes Ethernet, WLAN/WiFi, Bluetooth Low-Energy und LoRaWAN ist dies bereits verfügbar, weitere Technologien wie der Low-Power-Wide-Area-Network-(LPWAN-)Standard mioty, I/O-Link Wireless und Industrial-Ethernet wie Profinet/Profisafe sollen folgen. Natürlich lassen sich über weitere VM Edge-Computing-Funktionalitäten realisieren.

Anwendungen in drei Fieldlabs

5G++ FlexiCell betrachtet Anwendungen in drei Fieldlabs, um den praktischen Nutzen des Ansatzes zu demonstrieren. Motiviert aus akuten Bedürfnissen der beteiligten Partner, wurde sich bewusst auf drei Fälle technischer Upgrades für HMLV-Produktionen fokussiert. Sie lassen sich leicht auf ähnliche Anwendungsfälle bei KMU übertragen, was im erweiterten Netzwerk der assoziierten Projektpartner gezeigt werden soll. In allen Fieldlabs wird ein explorativer Ansatz verfolgt, der verschiedene Kommunikationsmethoden alternativ gegeneinander vergleicht.

Intralogistik

Bei Varta Microbattery soll eine „Last-Meter"-Intralogistiklösung mithilfe von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) implementiert werden. Während die einzelnen Produktionshallen an ein übergreifendes Intralogistiksystem angeschlossen sind, werden Vorprodukte für den Arbeitsschritt „Mikrozellen-Waschung" aktuell händisch zwischen Intralogistik-Hub und Anlage getragen, *Bild 2*. Dies soll durch den Einsatz von FTS-Lösungen automatisiert werden. Mit zwei Produktströmen (Waschmagazine zur Anlage und Zellen-Tray zurück zum Intralogistiksystem) bei 18 Anlagen muss eine effiziente Lösung gefunden werden – unterstützt durch die FlexiCell: Bietet 5G unter den gegebenen Rahmenbedingungen einen Vorteil? Wie lässt sich dieser quantifizieren? Wenn möglich soll im weiteren Verlauf auch die Föderation zweier FlexiCells und deren Handover erprobt werden.

Matrixorganisation für Ersatzteile

In der Anwendung, die bei Joyson Plastec behandelt wird, werden Ersatzteile mit langer Verfügbarkeit für große Spritzgussteile der Automobilindustrie gefertigt. Die nach Auslaufen des Produkts meist bereits in die Jahre gekommenen Produktionslinien haben einen hohen Wartungsaufwand und Platzbedarf. Hier soll für mehrere ähnliche Produkte eine

rekonfigurierbare Produktionszelle für Schweißen und Montage der Ersatzteile entwickelt und mit einer Matrixorganisation gekoppelt werden. Dabei werden voraussichtlich einzelne Arbeitsschritte auch von Menschen erledigt. Wenn sich der Ansatz realisieren lässt, können die einzelnen Maschinen aus der Information über das zu produzierende Produkt und ihre aktuelle Position ihre Aufgabe in der Fertigungszelle bestimmen, um ein möglichst reibungsloses, automatisiertes Umrüsten zwischen verschiedenen Produkten zu ermöglichen. Dies wird mit einer FlexiCell realisiert, da dort Datenkommunikationsdienste und Lokalisierungsinformationen gemeinsam angeboten werden. Jedes der verschiedenen Produkte benötigt eine spezifische, physische Anordnung der Maschinen. Ähnlich wird produktspezifisch die Softwarekonfiguration geändert und ein anderes Verhalten der Mensch-Roboter-Koproduktion vorgegeben, zum Beispiel Safety-Prozeduren.

Kabellose Robotersensorik

Das dritte Fieldlab wird von der Firma Zeiss betrieben, die eine flexible Qualitätsmesszelle mit integrierter 5G-Basisstation und Edge-Computing-Funktion plant, *Bild 3*. Die Kabelführung zu einem Sensor am Endeffektor von Industrierobotern ist fehleranfällig sowie wartungsintensiv und schränkt die Bewegungsfreiheit der Industrieroboter ein, weil manche Trajektorien damit unmöglich sind. Zeiss hat aufwendige 3-D-Punktwolken-Messsensorik für die Automobilproduktion auf Roboter-Endeffektoren entwickelt, mit der die Produktionsqualität im Fertigungsprozess gemessen wird. Diese sind aktuell mit einem derartigen Kabelstrang angebunden. Mithilfe von 5G soll ein kabelloser Prototyp für den Sensor entwickelt werden, der zwischen den Messschritten induktiv geladen wird. Die Punktwolke wird auf der Edge-Funktion der Basisstation bewertet, um eventuell eine weitere Messung anzustoßen. Durch die geringe Latenz und den hohen Datendurchsatz bietet sich hier ein überzeugender Anwendungsfall für die 5G-Technologie, wenn im Projekt ein erfolgreicher Demonstrator erprobt werden kann.

Architektur

Um die oben skizzierten Fieldlab-Anwendungen realisieren zu können, soll eine gemeinsame Architektur entwickelt werden, die eine flexible Produktionsrekonfiguration ermöglicht. In *Bild 4* wird das Konzept mit drei Ebenen dargestellt:

1. Physische Konstellation, das heißt Art und Anzahl der Komponenten sowie deren relative Position zueinander
2. Konfiguration, das heißt Softwareprogramm und Parameter für die einzelnen Komponenten
3. Adaption, das heißt das Anpassungsverhalten, das insbesondere für eine Mensch-Maschine-Kommunikation nötig ist.

In einer zentralen Datenhaltung werden die entsprechenden Informationen für die drei Ebenen gehalten. Sie liegen nicht nur als Information, sondern auch als flexibel ladbare Programme in einer zentralen Struktur der FlexiCell vor. Die Komponenten sind mit dieser verbunden und melden Events zurück, zum Beispiel dass die Position oder physische Konfiguration verändert wurde. Weitere Details zu dem skizzierten Architekturvorschlag finden sich auch in [4].

Ausblick

Das Projekt 5G++ FlexiCell hat zur Zeit der Drucklegung etwa ein halbes Jahr Projektlaufzeit hinter sich und läuft bis März 2025. Durch die Small-Cell-Architektur erhoffen sich die Projektpartner einen Innovationsvorteil für ihren Produktionsalltag. Neben den oben genannten Fieldlabs hofft das Projekt FlexiCell, auch eine Vielzahl assoziierter Partner und im Ökosystem der IHK Ostalb beteiligter Firmen voranzubringen. Ein speziell auf KMU ausgerichtetes Geschäfts- und Betreibermodell wird ein weiteres wichtiges Ergebnis der Arbeiten sein. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Fieldlabs und Ökosystem-Erkundung mit dem Leitprojekt „CampusOS“ rückgekoppelt. //

Literaturhinweise

[1] Karrenbauer, M.; Ludwig, S.; Buhr, H.; Klessig, H.; Bernardy, A.; Wu, H.; Pallasch, C.; Fellan, A.; Hoffmann, N.; Seelmann, V.; Taghouti, M.; Wunderlich, S.; Tercero Lozano, P.; Hoell, A.; Stimming, C.; Patel, D.; Seetaraman, S.; Bender, S.; Eberhardt, E.; Schildknecht, T.; Herfs, W.; Storms, S.; Stich, V.; Niebert, N.; Schotten, H. D.; Fitzek, F. H. P: Future industrial networking: from use cases to wireless technologies to a flexible system architecture. In: Automatisierungstechnik 67 (2019), Nr. 7, S. 526-544. DOI: https://doi.org/10.1515/auto-2018-0141

[2] Sheridan, T. B.: Toward a General Model of Supervisory Control. In: Sheridan, T. B.; Johannsen, G. (Hrsg.), Monitoring Behavior and Supervisory Control, NATO Conference Series, Boston, MA, 1976, S. 271–281. DOI: 10.1007/978-1-4684-2523-9_22

[3] Blackned GmbH Ridux: https://blackned.de/ridux/, aufgerufen am 19.9.2022

[4] Aschenbrenner, D.; Scharle, M.; Ludwig, S.: FlexiCell: 5G location-based context-aware agile manufacturing. In: Procedia CIRP, Leading manufacturing systems transformation – Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2022. Bd. 107 (2022), S. 1455–1460

Danksagung

Das Projekt „5G++ FlexiCell“ wird mit einem Gesamtvolumen von 6 Mio. Euro durch über 4 Mio. Fördermittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im Programm „5G-Campusnetze“ unterstützt. Das Technologieprogramm „5G-Campusnetze“ besteht aus dem Leitprojekt „CampusOS“ zur Entwicklung eines Technologiebaukastens sowie sechs Satellitenprojekten zur Erprobung und Umsetzung von Campusnetzen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern, zum Beispiel intelligente Klinik, Feuerwehr, Schiffbau und Industrie 4.0.

Autoren | Kontakt

Prof. Dr. Doris Aschenbrenner,
Carl-Zeiss-Stiftungs-Professorin für „Digitale Methoden in der Produktion“, Hochschule Aalen, Doris.Aschenbrenner@hs-aalen.de

Prof. Dr.-Ing. Stephan Ludwig,
Professor für digitale Technologien an der Fakultät Elektronik und Informatik, Hochschule Aalen, Stephan.Ludwig@hs-aalen.de

Hochschule Aalen – Technik und Wirtschaft (Aalen University)
Beethovenstraße 1
73430 Aalen
www.hs-aalen.de

Springer Professional

5G

Christoph Mecklenbräuker: 5G als Basis der Digitalisierung. Anwendungen, Chancen und Ausblick auf 6G. www.springerprofessional.de/link/23613378