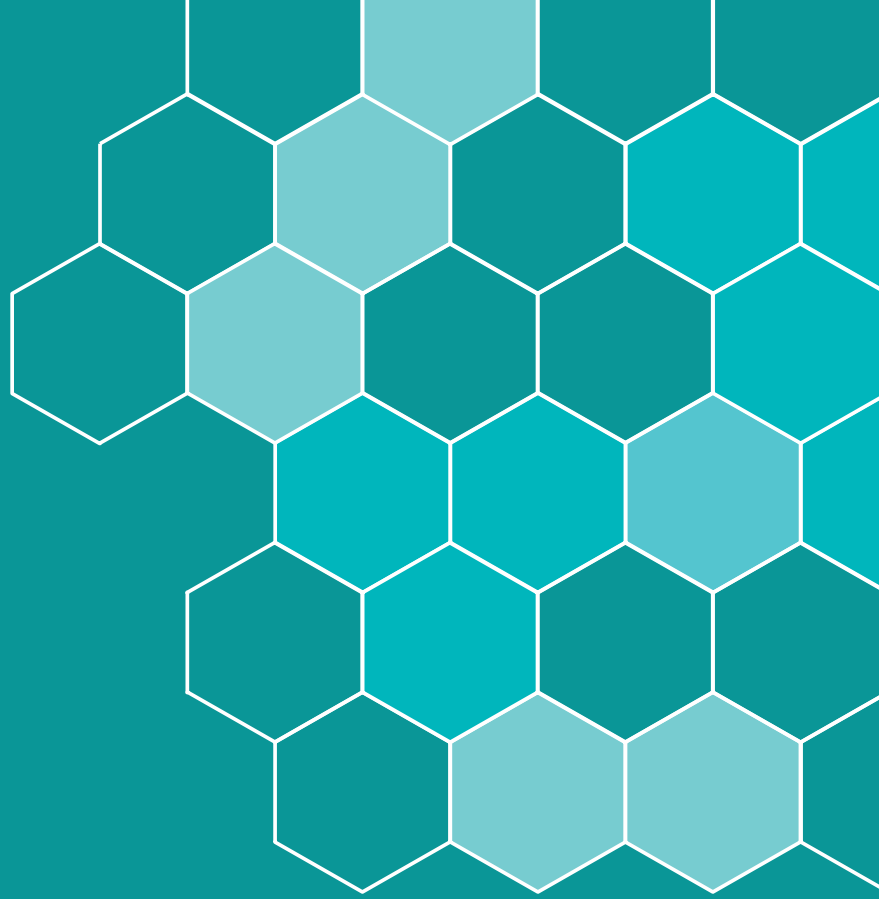




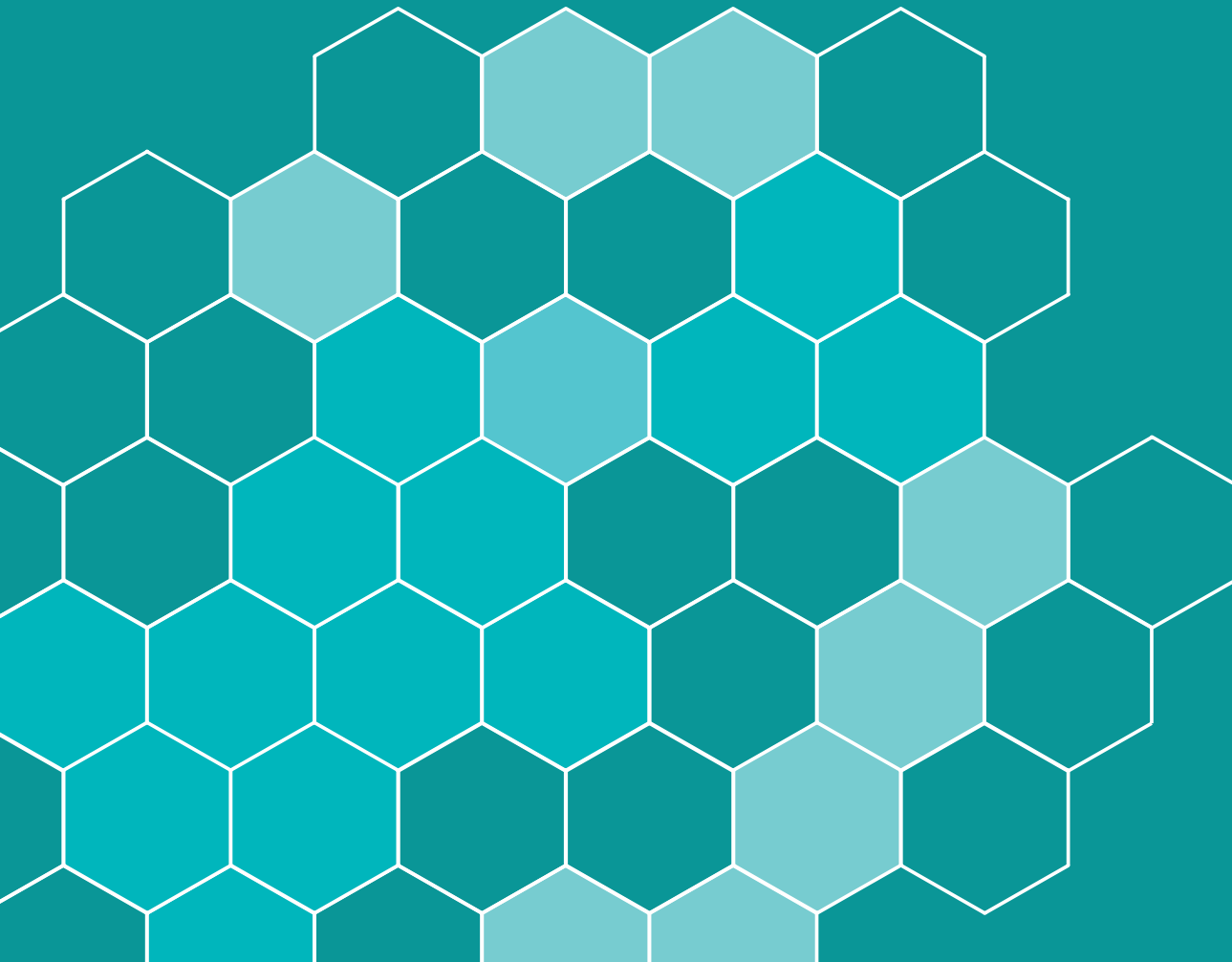
5G.NRW

Competence Center



5G IN DER INDUSTRIE:

ANWENDUNGEN IN UNTERSCHIEDLICHEN BRANCHEN



IMPRESSUM

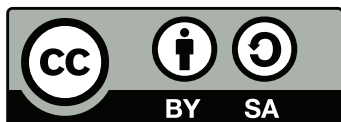
Autoren:

Murtaza Abbas · FIR e. V. an der RWTH Aachen
Christ Mbaya · FIR e. V. an der RWTH Aachen
Stefan Böcker · Technische Universität Dortmund
Karsten Heimann · Technische Universität Dortmund
Hendrik Schippers · Technische Universität Dortmund
David Schuster · Universität Duisburg-Essen

Bildnachweise:

S. 8: © MangKangMangMee – stock.adobe.com; S. 10, S. 46: © j-mel – stock.adobe.com; S. 11: © Monopoly919 – stock.adobe.com; S. 12, S. 15: © Gorodenkoff – stock.adobe.com; S. 16: © ipopba – stock.adobe.com; S. 19: © greenbutterfly – stock.adobe.com; S. 20: © Poobest – stock.adobe.com; S. 22: © kumashacho – stock.adobe.com; S. 23: © Dlgilife – stock.adobe.com; S. 24, S. 27, S. 36: © metamorworks – stock.adobe.com; S. 28, S. 35: © Tierney – stock.adobe.com; S. 31: © denisismagilov – stock.adobe.com; S. 32: © Hanoi Photography – stock.adobe.com; S. 39: © Evgeniy & Karina Gerasimovi – stock.adobe.com; S. 40: © Olivier Le Moal – stock.adobe.com; S. 42: © fotohansel – stock.adobe.com; S. 43: © Jovana V female – stock.adobe.com; S. 44: © TippaPatt – stock.adobe.com; S. 47: © Alexander Limbach – stock.adobe.com; Grafiken: © FIR e. V. an der RWTH Aachen

LIZENZBESTIMMUNGEN/COPYRIGHT



Open Access: Dieses Whitepaper wird unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht (creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de).

© 2023

FIR e. V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55
52074 Aachen
Tel.: +49 241 47705-0
E-Mail: info@fir.rwth-aachen.de
www.fir.rwth-aachen.de

Bitte die Publikation folgendermaßen zitieren:

Abbas, M.; Mbaya, C.; Böcker, S.; Heimann, K.; Schippers, H.; Schuster, D.:
[Monitoring-Bericht] 5G in der Industrie: Anwendungen in unterschiedlichen
Branchen. FIR e. V. an der RWTH Aachen, Aachen 2023.



INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT.....	4
1 EINLEITUNG	5
1.1 Was ist 5G?.....	5
2 AKTUELLE BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHE UMSETZUNG VON 5G-ANWENDUNGSFÄLLEN.....	6
3 5G-ANWENDUNGEN	7
3.1 Smart Farming	9
3.2 Condition-Monitoring.....	13
3.3 Tracking & Tracing	17
3.4 Extended Reality (XR)	21
3.5 Teleoperation.....	25
3.6 Temporäre Campusnetze.....	29
3.7 Smart City.....	33
3.8 Smart Logistics	37
3.9 Predictive Maintenance	41
3.10 E-Health.....	45
4 ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK	48
5 LITERATURVERZEICHNIS	49

ANSPRECHPARTNER AM FIR



Murtaza Abbas, M.Sc.
FIR e. V. an der RWTH Aachen
Bereich Informationsmanagement
Tel.: + 49 241 47705-519
E-Mail: Murtaza.Abbas@fir.rwth-aachen.de

VORWORT

Nicht nur als Schlüsseltechnologie digitaler Unternehmenstransformation, sondern auch als Enabler kontinuierlich vernetzter Gesellschaften ist die fünfte Mobilfunkgeneration vermehrt Gegenstand aktueller Berichterstattungen. Mit dem Start erster Frequenzversteigerungen im Jahr 2019 ermöglichte die *Bundesnetzagentur* erstmals das Beantragen von Frequenzbändern für die Industrie, was zuvor nur Mobilfunkunternehmen vorbehalten war. Die dadurch generierten industriellen Chancen sowie Potenziale erstrecken sich über den privaten Endverbraucher hinaus.

Ausgelöst durch die Erwerbsfreigabe von 5G-Lizenzen, initiierten vor allem Forschungsinstitutionen Projekte, um das Potenzial der neuen Übertragungstechnologie zu demonstrieren. Errichtete Campusnetze fungieren inzwischen als Test- und Demozentren für 5G-verknüpfte Themenbereiche, die besonders im industriellen Kontext Produkte und Dienstleistungen wertschöpfend transformieren. Dies geschieht nicht zuletzt durch Führungen innerhalb der jeweiligen Test- und Demozentren, sondern gleichermaßen durch initiierte Veranstaltungen, in denen akquirierte Informationen vermittelt werden.

Aber welches Potenzial steckt noch hinter dem Begriff 5G? Welche konkreten Anwendungsfälle ergeben sich durch den Einsatz von 5G? Und wo bzw. wie wird die fünfte Mobilfunkgeneration bereits heute erfolgreich eingesetzt?

Diese und weitere 5G-bezogene Fragen sind Gegenstand der vorliegenden Publikation und werden in Anlehnung an bereits bestehende sowie akut entstehende 5G-Anwendungsfälle untersucht. Umfassend wird sowohl ein Überblick über den Verbreitungsgrad der Technologie als auch eine Darstellung ihrer Relevanz vermittelt.

Hierzu sind ausgewählte Anwendungsfälle mit großem Zukunftspotenzial tiefergehend analysiert und umfassend betrachtet worden. In den nachfolgenden Kapiteln werden diese sukzessive aufgearbeitet. Dafür werden die einzelnen Anwendungsfälle zunächst vorgestellt und hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Vorteile und Risiken analysiert. Gleichzeitig werden aktuelle Entwicklungsrichtungen aufgezeigt und die zukünftige Relevanz der unterschiedlichen Anwendungsszenarien untersucht.

Mit dem Ziel, die Relevanz der fünften Mobilfunkgeneration in industriellen wie auch gesellschaftlichen Anwendungsszenarien zu verdeutlichen, entstand dieses Whitepaper im Rahmen des Forschungsprojekts ‚Competence Center 5G.NRW‘ in Zusammenarbeit mit der *Technischen Universität Dortmund*, der *Universität Duisburg-Essen*, der *Bergischen Universität Wuppertal* und dem *FIR an der RWTH Aachen* als verantwortliche Forschungseinrichtungen.



1 EINLEITUNG

1.1 WAS IST 5G?

5G bezeichnet die fünfte Mobilfunkgeneration und damit die logische Fortführung vorangegangener (mobiler) Kommunikationssysteme, wie LTE-A (4G) oder auch UMTS (3G). Als 2019 eingeführte Technologie hat sich 5G durch das Versprechen zuverlässiger Übertragungsgeschwindigkeiten bei gleichzeitig geringen Latenzzeiten und einer deutlich zuverlässigeren Drahtlosverbindung als Enabler digitaler Anwendungen positioniert. Mit exklusiv für die Industrie vorgesehenen Frequenzen zwischen 3,7 bis 3,8 Gigahertz bietet 5G demzufolge ausreichendes Potenzial zur Umsetzung datenbasierter Prozesse und Entscheidungen. Umgesetzte Anwendungsszenarien profitieren von der Echtzeit-Datennutzung, sodass infolgedessen das Potenzial zur Optimierung von sowohl Ressourcen als auch Prozessen besteht.

Im industriellen Kontext beweist sich das 5G-Potenzial als besonders erfolgskritisch, da sich neue Standards hinsichtlich Menschen und Maschinen sowohl inter- als auch intraspezifisch etablieren lassen. Unternehmen, welche diese Vorzüge in die eigene Infrastruktur implementieren wollen, können dies über private 5G-Campusnetze oder die Nutzung des öffentlichen 5G-Netzes realisieren. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Entscheidung für die richtige 5G-Architektur sowohl in Bezug auf technische Möglichkeiten und Anwendungen als auch den Aufwand und die Kosten zu treffen gilt.

Darüber hinaus bietet 5G, durch die bis zu 100 Mal schnellere Verbindung als dessen Vorgänger 4G, erstmals die erforderliche Qualität, Geschwindigkeit und Kapazität für eine zuverlässige Übertragung großer Datenmengen, wie sie in einem digitalen Ökosystem benötigt wird. Anwendungsmöglichkeiten, welche mit konventionellen drahtlosen Übertragungstechnologien nicht oder nur eingeschränkt realisierbar waren, können nun mithilfe von 5G ihr volles Potenzial ausschöpfen.

Die Hauptleistungsparameter von 5G lassen sich in drei grobe Kategorien unterteilen: Die Anwendungskategorie *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) ermöglicht Datenraten von 10 bis zu 20 Gigabits pro Sekunde, während die Kategorie des *Profils Ultra Reliable and Low Latency* (uRLLC) geringe Latenzzeiten von einer bis fünf Millisekunden sicherstellt. Die dritte Anwendungskategorie des *Massive Machine Type Communications* (mMTC) beinhaltet die mögliche Endgerätedichte von bis zu einer Million Endgeräte pro Quadratkilometer.

5G als Enabler sowohl vernetzter Industrien als auch Gesellschaften setzt nicht zuletzt durch die leistungsstarken technischen Eigenschaften ein Fundament für zukünftige Innovationen.

2 AKTUELLE BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHE UMSETZUNG VON 5G-ANWENDUNGSFÄLLEN

Seit dem Öffnen der Frequenzbänder für private Campusnetze 2019 wurden 293 (Stand: 15.01.2023) Zuteilungen von privaten Frequenzen durch die Bundesnetzagentur erteilt. Hierbei sind in Nordrhein-Westfalen mit über 30 Prozent der bundesweiten Zuteilungen die meisten Lizenzen vergeben worden. Neben großen Konzernen der deutschen Industrie wurden die Lizenzen insbesondere an Forschungseinrichtungen und Beratungsunternehmen vergeben, die damit in der Regel Test- sowie Demozentren aufbauen und damit einen aktiven Beitrag zur Verbreitung von 5G leisten.

In Aachen ist auf dem *RWTH Aachen Campus* mit dem *5G-Industry Campus Europe (5G-ICE)* das erste 5G-Campusnetz in Europa in Betrieb genommen worden. Hier werden sowohl ein 1 Quadratkilometer großes Outdoor-Netz als auch unterschiedliche Indoor-Produktionsflächen mit einer Gesamtgröße von 7000 Quadratmetern abgedeckt, sodass unter realen Bedingungen auf dem 3,7-bis-3,8-Gigahertz-Frequenzband Anwendungen im Produktionsumfeld erforscht und getestet werden können.¹

Mit der *Demonstrationsfabrik (DFA)* in Aachen wird auf dem Campus Melaten noch ein zweites separates 5G-Indoor-Netz betrieben. Hier werden verschiedene Anwendungen aus den Bereich *Warehouse*, *Intralogistik* oder *Assembly* demonstriert, bei denen die Leistungsfähigkeit von 5G direkt derer von WLAN und LTE gegenübergestellt wird.²

Ein weiteres Demonstrationsangebot bietet die *TU Dortmund* mit ihrem mobilen 5G-Labor. Das mobile 5G-Labor bringt eine Ende-zu-Ende-Mobilfunklösung zu Unternehmen, sodass vor Ort ein lokales 5G-Campusnetz zur Erprobung und Demonstration von 5G-Anwendungen genutzt werden kann.³

Neben den Demonstrationsumgebungen haben auch einige Industrieparks wie beispielsweise der *Industriepark Troisdorf* ein privates 5G-Netz aufgebaut. Hier profitieren insbesondere die privaten Unternehmen wie die *Maschinenbau Kitz GmbH* vom bereits verfügbaren 5G-Campusnetz. Die Firma nutzt das 5G-Campusnetz aktuell beispielsweise für die Vernetzung mehrerer fahrerloser Transportsysteme und die Echtzeitberechnung für deren optimale Routen.⁴

Neben den Forschungsaktivitäten und den industriellen Anwendungen wurden auch verschiedene Messegelände, wie zum Beispiel das der *Koelnmesse*, mit einem 5G-Netz ausgerüstet.⁵ Dabei dienen Messegelände als Paradebeispiel für die Demonstration des Potenzials eines 5G-Netzes. Insbesondere bei hohen Besucherzahlen hatten in der Vergangenheit sowohl Aussteller als auch Besucher große Probleme, sowohl bei der Nutzung des öffentlichen WLAN-Netzes als auch des Mobilfunknetzes (4G oder vorherige Generation). Beide Netze waren aufgrund der großen Besucherzahlen häufig so überlastet, dass eine sinnhafte Nutzung jener nicht möglich war. Aussteller, die ihre Produktinnovationen (die oftmals hohe Datenraten oder besonders geringe Latenzen erfordern) demonstrieren wollten, mussten zwingend auf eine Kabellösung zurückgreifen oder eine Demonstrationsversion ohne Echtzeitvernetzung vorstellen. Gleichzeitig war das Mobilfunknetz teilweise so stark ausgelastet, dass sowohl Besucher als auch Aussteller ihre privaten Endgeräte nicht mehr zum Versenden von Nachrichten nutzen konnten. Genau diesen Herausforderungen soll das neue 5G-Netz auf der *Koelnmesse* entgegenwirken, sodass beim nächsten Messebesuch die hier dargestellten Herausforderungen überwunden werden können.

¹ s. <https://5g-industry-campus.com/>

² DEMONSTRATIONSFABRIK AACHEN 2022

³ s. WIETELD 2022

⁴ s. DEEK 2022

⁵ s. BLACH 2019



3 5G-ANWENDUNGEN

In den nachfolgenden Abschnitten werden insgesamt zehn unterschiedliche Anwendungen aus unterschiedlichen Branchen vorgestellt und näher erläutert. Dabei wird zwecks Sicherstellung der Vergleichbarkeit stets ein einheitlicher Steckbrief für alle Anwendungsfälle genutzt (s. Bild 1). Hierbei wird der jeweilige Anwendungsfall zunächst einmal kurz im Abschnitt „in a Nutshell“ vorgestellt und

zusammengefasst. Anschließend wird unter „Warum 5G?“ die Relevanz der Technologie anhand des Anwendungsfalls erörtert, bevor „Chancen/Potenziale“ bzw. „Herausforderungen/Risiken“ in den nächsten beiden Kategorien analysiert werden. Abgeschlossen wird der Anwendungsfall mit der Kategorie „Aktuelle Entwicklungsrichtungen und zukünftige Relevanz“.

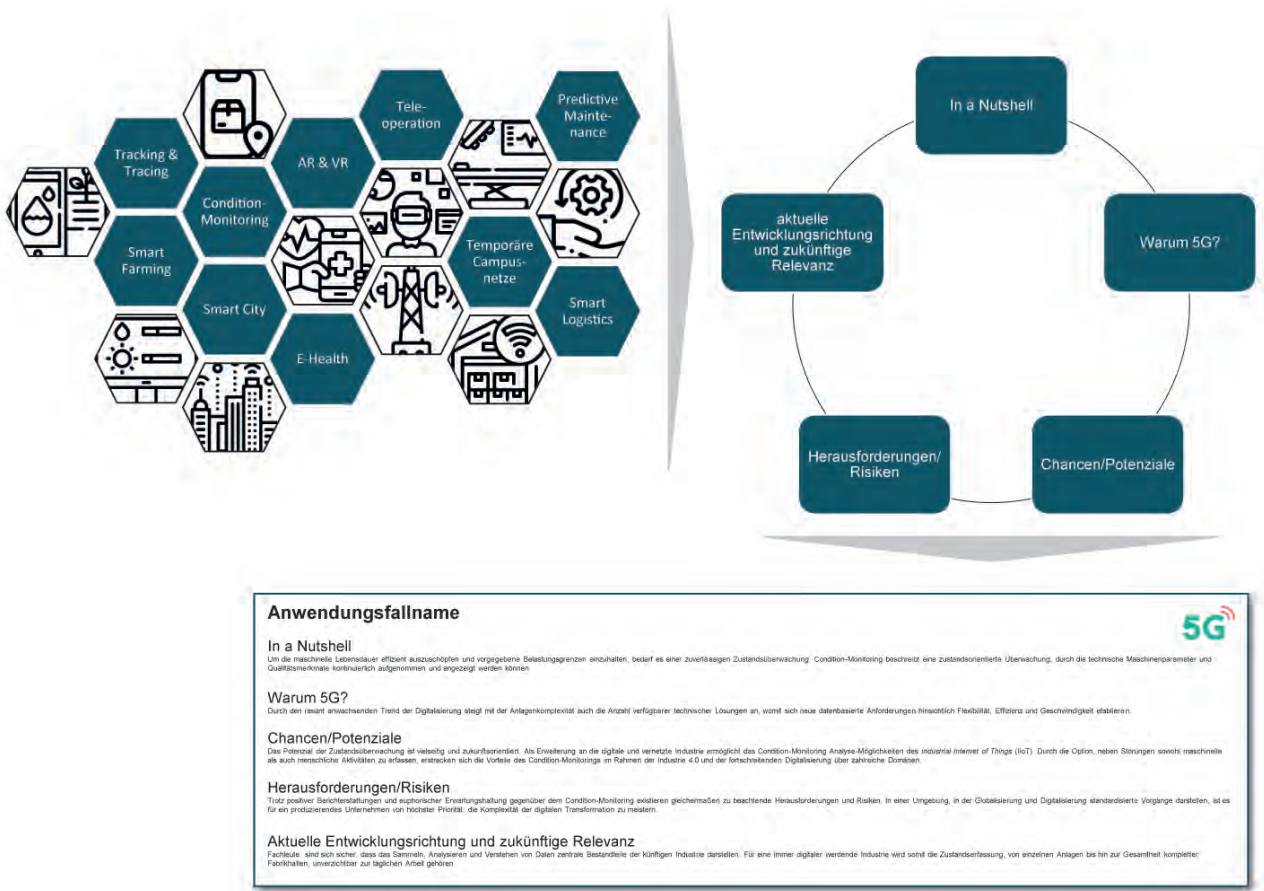
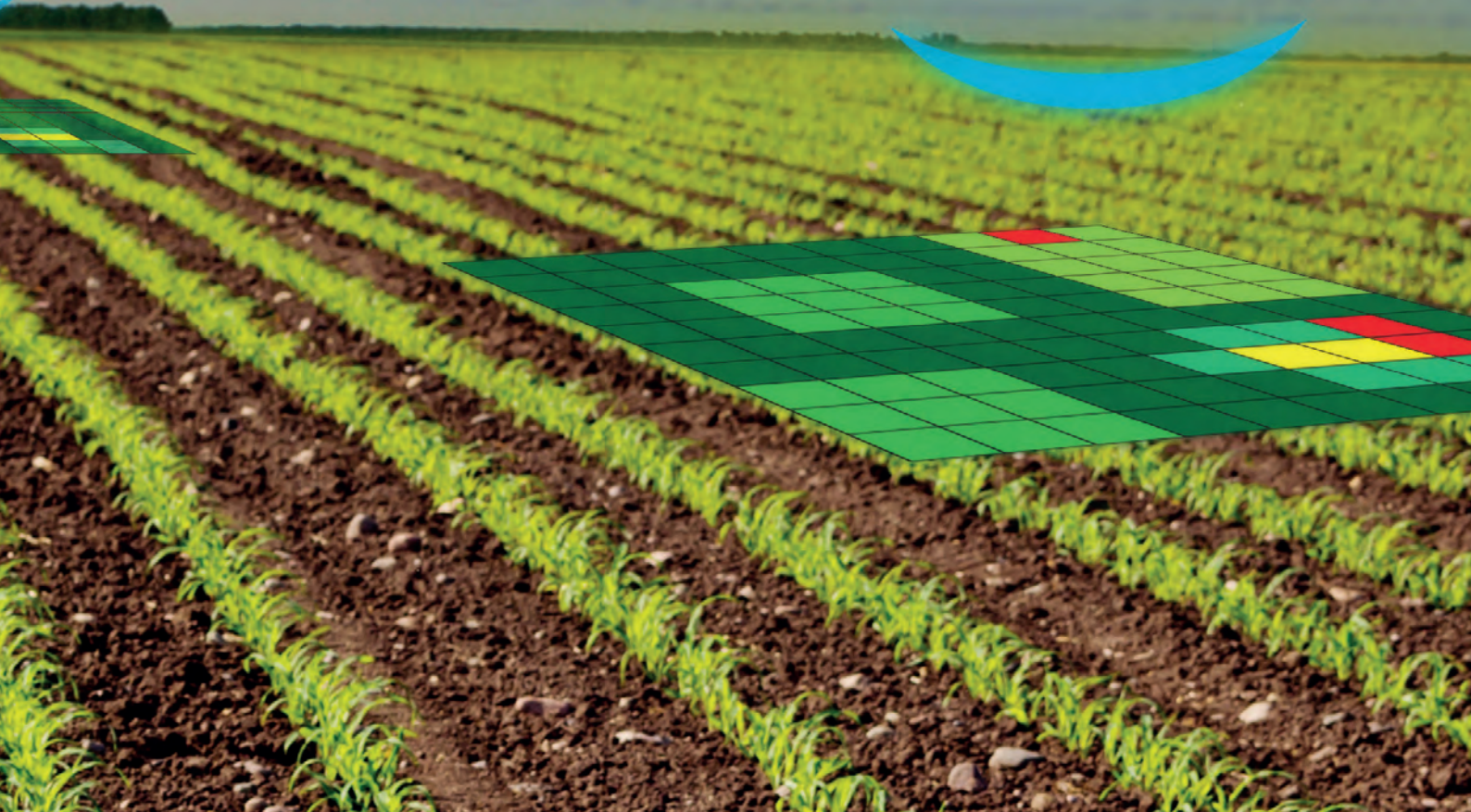


Bild 1: Exemplarischer Steckbrief zur Einordnung der Anwendungsfälle (FIR)

Smart Farming





3.1 ANWENDUNGSFALL 1: SMART FARMING

IN A NUTSHELL

Um eine in der Zukunft sowohl effiziente als auch nachhaltige Landwirtschaft etablieren zu können, bedarf es neben schonenden Ressourceneinsatzes auch der effektiven Nutzung sensorbasierter Technologien. Nicht zuletzt aufgrund der aktuellen Klimasituation erweist sich 5G in der Landwirtschaft als digitale Lösung zum Etablieren einer sowohl zielgerichteten als auch differenzierten Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen. So kann eine über 5G vernetzte Drohne mit integrierter Kamera die landwirtschaftlichen Felder aus der Luft filmen und die Bilddaten analysieren, sodass ein ressourcenschonender Einsatz von Wasser, Düngemitteln, Pestiziden und Erntemaschinen ermöglicht wird. Auch über 5G angebundene Landmaschinen können demzufolge nicht nur autonom auf optimalen Routen agieren, sondern gleichermaßen Kollisionspfade frühzeitig ermitteln und vermeiden. Die aus den Live-Videofeeds akquirierten Daten setzen dabei durch 5G-Anbindung die notwendige Grundlage für Echtzeit betriebener Condition-Monitoring-Systeme. Zusammenfassend wird mithilfe von Smart Farming sowohl ökonomische Effizienz und ökologische Nachhaltigkeit als auch die Resilienz landwirtschaftlicher Produktionsprozesse gesteigert.

WARUM 5G?

Die Verwendung von 5G als Übertragungstechnologie entwickelt sich besonders für landwirtschaftliche Betriebe, die sowohl zukunftsicher als auch profitabel agieren wollen, als erfolgskritischer Faktor. Nicht zuletzt wegen der im Zuge der landwirtschaftlichen Digitalisierung anfallenden großen Mengen an Messdaten oder in hohen Stückzahlen betriebener Sensorik, die in Echtzeit über große Distanzen übertragen werden müssen, bietet 5G dank minimaler Latenz und sehr schnellen Übertragungsraten Abhilfe. Aus der Ferne gesteuerte Landmaschinen können somit ihre Positions- und Sensordaten sowie Kamerabilder in Echtzeit übertragen, sodass sicherheitskritische Bereiche nicht mehr direkt durch den Menschen gesteuert werden müssen. Die große Zuverlässigkeit von 5G ermöglicht eine Fernsteuerung ohne direkten Sichtkontakt und ebenso ohne die sonst zwingend erforderliche Anwesenheit in unmittelbarer Nähe. Auf diese

Weise werden grundlegende Maßnahmen für Flexibilität und Arbeitsschutz geschaffen. Auch in Bezug auf die hohe eingesetzte Gerätedichte erweist sich die fünfte Mobilfunkgeneration als unerlässlich. Infolgedessen können Maschinenschwärme Daten aus einer gemeinsamen Cloud entnehmen und diese in Echtzeit nutzen. Demzufolge muss nicht mehr jede einzelne landwirtschaftliche Maschine die Daten eigenständig vor Ort verarbeiten, da sämtliche Arbeitsanweisungen von einer zentralen Verarbeitungsstelle kommuniziert werden können.

CHANCEN/POTENZIALE

Neben der Steigerung von Ressourceneffizienz und Resilienz birgt die Nutzung Intelligenter Maschinen in der Landwirtschaft weitere Vorteile hinsichtlich Nachhaltigkeit und Flexibilität. Mithilfe 5G-verbundener Maschinenschwärme kann nicht nur die physische Entlastung des Landwirts, sondern auch dessen Ertragssteigerung gesichert werden, da durch Echtzeitübertragung ortsunabhängig mehrere Felder gleichzeitig kontrolliert werden können. Aber nicht nur auf dem Boden können mit Kameras und weiteren Sensoren ausgestattete landwirtschaftliche Maschinen mit 5G wertschöpfend eingesetzt werden. Auch Drohnen können für die Überwachung von Feldern in Betracht bezogen werden, in dem sie aktuelle Zustände durch Kameras aufnehmen. Die Analyse dieser Daten kann zu einem reduzierten Einsatz von Wasser, Pestiziden und Düngemitteln führen. Insbesondere steile Bergpassagen oder vergleichbar schwer zugängliche Anbauflächen können demgemäß effektiver landwirtschaftlich genutzt werden. Gleichermaßen effektiv sind auch stationär installierte Sensoren, die unterirdische Daten messen und darstellen. Somit lässt sich akut auf Zustände reagieren und Ressourcenverschwendung nachhaltig verhindern.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Trotz positiver Berichterstattungen und viel Verbesserungspotenzial im ländlichen Raum existieren gleichermaßen zu beachtende Herausforderungen und Risiken. So wird aktuell noch ein beachtlicher Teil der Landwirtschaft ohne jegliche Netzabbindung betrieben. Grund hierfür ist das bislang ungelöste Problem der „weißen Flecken“⁶ in ländlichen Räumen. Darüber hinaus fokussierten genehmigte

⁶ s. Landtag von Baden-Württemberg 2018

5G-Ausbauaktivitäten wie vorherige Mobilfunkgenerationen hauptsächlich stärker besiedelte Ballungsräume. Infolgedessen erweist sich lediglich die Investition in eine eigene 5G-Infrastruktur über ein 5G-Campusnetz als Lösung zur Digitalisierung landwirtschaftlicher Betriebe. Investitionshemmungen sorgen hier jedoch für eine aktuell stagnierende Entwicklung. Gefördert wird insbesondere die Investitionshemmung nicht nur durch vorherrschende Unsicherheiten hinsichtlich der Technologie, sondern gleichermaßen aufgrund ihres noch frühen Forschungsstadiums. Somit beeinflusst die bestehende Unsicherheit Infrastrukturanbieter dahingehend, die Investition in den Ausbau von 5G-Infrastrukturen einerseits skeptischer zu hinterfragen oder andererseits komplett abzulehnen.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

In der aktuellen Gesellschaft, in der Themengebiete wie die Nachhaltigkeit immer stärker in den Mittelpunkt geraten, steht die Landwirtschaft zusätzlich vor der Herausforderung, die Hauptnahrungsquelle einer stetig anwachsenden Weltbevölkerung zu sein. Entgegen dem aktuellen Trend „Weniger Betriebe, mehr Fläche“ kann mithilfe autonomer landwirtschaftlicher Maschinen selbst eine kleinere Fläche oder ein kleinerer Betrieb profitabel bewirtschaftet werden. Die landwirtschaftliche Produktivität, gemessen am Ertrag pro eingesetzte Ressource, kann somit gesteigert werden. Angelehnt daran ermöglicht Smart Farming damit eine Basis für sowohl qualitativ als auch quantitativ hochwertigere Ernteerträge, die gleichermaßen nachhaltig und effizient sind. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass durch 5G gestützte Landwirtschaft das Potenzial besitzt, diese zu revolutionieren.







Condition-Monitoring



3.2 ANWENDUNGSFALL 2: CONDITION-MONITORING

IN A NUTSHELL

Um die maschinelle Lebensdauer effizient auszuschöpfen und vorgegebene Belastungsgrenzen einzuhalten, bedarf es einer zuverlässigen Zustandsüberwachung. Condition-Monitoring beschreibt eine zustandsorientierte Überwachung, durch die technische Maschinenparameter und Qualitätsmerkmale kontinuierlich aufgenommen und angezeigt werden können. Produzierende Unternehmen erhalten somit auf Grundlage generierter Daten wertschöpfende Einblicke in ihre Prozesse. Diese steigern ihr Prozessverständnis und schaffen infolgedessen eine Grundlage für weiterführende Präventivmaßnahmen (siehe Anwendungsfall 9: Predictive Maintenance). Somit errichtet die Transparenz großer Datenmengen das notwendige Fundament für weiterführende Analyse-Methoden, wie es etwa im Falle der Anomalieerkennung notwendig ist. Das Condition-Monitoring verfolgt dabei zwei wesentliche Ziele: zum einen die Optimierung der Gesamtanlagen-Effizienz, sodass fortschreitende Abnutzungserscheinungen einzelner Komponenten schneller bemerkt und Maschinenwartungen effektiver koordiniert werden können, und zum anderen die Steigerung der Sicherheit für den Menschen, da durch die Fehlerfrüherkennung integrierte Alarmsysteme frühzeitig eingeschaltet werden können.

WARUM 5G?

Durch den rasant anwachsenden Trend der Digitalisierung steigt mit der Anlagenkomplexität auch die Anzahl verfügbarer technischer Lösungen an, womit sich neue datenbasierte Anforderungen hinsichtlich Flexibilität, Effizienz und Geschwindigkeit etablieren. 5G als Übertragungstechnologie ergänzt dabei Vorteile drahtloser Netzwerktechnologien mit noch geringerer Latenz, höherer Datenrate und größerer Bandbreite. Infolgedessen ermöglicht die hohe Gerätedichte von 5G Anwendungsfälle des Condition-Monitorings, in denen viel Sensorik zur Zustandserfassung benötigt wird. Auch für konventionelle Kommunikationstechnologien sonst schwierig zu transferierende Bilddaten können durch die von 5G standardisierte hohe Datenrate zuverlässig übertragen werden. Durch die fünfte Mobilfunkgeneration und deren noch nicht ausgeschöpftes Potenzial hinsichtlich der Datensicher-

heit profitiert das Condition-Monitoring von einer verbesserten IT-Sicherheit. Sowohl Datenschutz als auch Datenqualität beim Transfer können aufgrund hoher Datenraten und Bandbreiten verlustfrei gewährleistet werden. Da die datentechnische Anbindung aller Betriebsmittel einen datenintensiven Prozess darstellt, verlieren viele produzierende Unternehmen durch verkabelte und stationäre Systeme an Flexibilität. 5G ermöglicht es, kabellose und damit nicht stationäre Systeme sicher umzusetzen. Die Relevanz der fünften Mobilfunkgeneration für das Condition-Monitoring erstreckt sich ebenfalls auf die Produktion der Zukunft. So können in der Industrie im Rahmen von Flexibilitätssteigerungen deutlich mehr Intelligente Endgeräte betrieben werden. 5G stellt demnach im Sinne fortschreitender Digitalisierung die Grundlage für Architekturen, die gleichzeitig stabil und zuverlässig bei erhöhter Gerätedichte agieren müssen.

CHANCEN/POTENZIALE

Das Potenzial der Zustandsüberwachung ist vielseitig und zukunftsorientiert. Als Erweiterung an die digitale und vernetzte Industrie ermöglicht das Condition-Monitoring Analyse-Möglichkeiten des *Industrial Internet of Things (IIoT)*. Durch die Option, neben Störungen sowohl maschinelle als auch menschliche Aktivitäten zu erfassen, erstrecken sich die Vorteile des Condition-Monitorings im Rahmen der Industrie 4.0 und der fortschreitenden Digitalisierung über zahlreiche Domänen. Im Sinne präventiver Instandhaltung kann beispielsweise in der Fertigung eine präzise Fehleridentifikation frühzeitig erkannt und somit die Wahrscheinlichkeit möglicher Folgeschäden minimiert werden. In einer Umgebung, in der nicht nur akute Zustände, sondern sämtlich durchgeführte Arbeitsschritte dokumentiert werden, wie der Montage, bietet das Condition-Monitoring eine Plattform zur gesamtheitlichen Zustandsüberwachung. Darüber hinaus lassen sich auf Basis datenbasierter Zustandserfassungen Produktionsprozesse optimieren. Erhöhte Maschineneffizienzen können damit, besonders in automatisierten Fertigungsstraßen, verkürzte Time-to-Market-Zeiten bewirken. Ein Condition-Monitoring-System umfasst darüber hinaus die ganzheitliche Kommunikationsstruktur von der Datenmessung bis hin zur Dashboard-Visualisierung, wodurch keine Medienbrüche und damit Datenverluste in der Informationsverarbeitung eines Unternehmens zu befürchten sind. Erfolgreich etabliertes Condition-Monitoring befähigt produzierende

Unternehmen außerdem dazu, ein durch akquirierte Daten tiefgründiges Maschinenverständnis aufzubauen, das zur Sensorikplatzierung oder Lebensdauerprognose benötigt wird. Produzierende Unternehmen sind infolgedessen in der Lage, Zustände rotierender Anlagen, Prozesstechniken und komplexer Bauteilgruppen (beispielsweise Motoren) effizient zu erfassen. Mithilfe der kabellosen Kommunikation kann das Condition-Monitoring schnell in bestehende Systeme eingeführt werden und beseitigt demzufolge lange Installations- bzw. Montagezeiten.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Trotz positiver Berichterstattungen und euphorischer Erwartungshaltung gegenüber dem Condition-Monitoring existieren gleichermaßen zu beachtende Herausforderungen und Risiken. In einer Umgebung, in der Globalisierung und Digitalisierung standardisierte Vorgänge darstellen, ist es für ein produzierendes Unternehmen von höchster Priorität, die Komplexität der digitalen Transformation zu meistern. Datenabhängige Technologien wie das Condition-Monitoring akquirieren kontinuierlich große, schnelllebige und komplexe Daten, deren Verwaltung Unternehmen schnell zu Herausforderungen bringt. Unspezifische Rohdaten müssen durch Experten-Know-how von relevanten Messdaten getrennt werden. Details wie die Lage der Sensorik sind dabei entscheidend für die Qualität der erhobenen Daten und der daran angeschlossenen Datenverarbeitung. Im Falle ineffizient platzierter Sensorik können eventuelle durch Bauteilbruch hervorgerufene Maschinenausfälle nicht erfasst und somit nicht eingesehen werden. Obwohl die Implementierung keine Expertise verlangt, erfordert die technisch sinnvolle Selektion prozessrelevanter Messparameter ausgeprägtes Domänenwissen. Ganzheitliches cybergeschütztes Monitoring ist aufwendig und kostenintensiv. Es erfordert große Speicherkapazitäten und ist besonders hinsichtlich sensibler Daten ein mögliches Risiko.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Experten sind sich sicher, dass das Sammeln, Analysieren und Verstehen von Daten zentrale Bestandteile der künftigen Industrie darstellen. Für eine immer digitaler werdende Industrie wird somit die Zustandserfassung, von einzelnen Anlagen bis hin zur Gesamtheit kompletter Fabrikhallen, unverzichtbar zur täglichen Arbeit gehören. Als produzierendes Unternehmen erhält man durch erhobene Daten die Möglichkeit, Produkte und Dienstleistungen effektiver an die Kundenbedürfnisse anzupassen. Subscription-Business-Modelle profitieren in diesem Fall besonders vom Condition-Monitoring, was bereits an den steigenden Nutzerzahlen zu vermerken ist. Das Condition-Monitoring, gepaart mit 5G, stellt eine neue Technologie dar, welche die Möglichkeit zur Optimierung und Effizienzsteigerung bereitstellt. Schon die Erweiterung der Flexibilität aufgrund der drahtlosen Übertragungstechnologie ebnet den Weg für mehr Datentransport, mehr Sensorik und mehr Umsetzungsmöglichkeiten. Mit steigendem Automatisierungsgrad werden die Potenziale des 5G-Condition-Monitorings immer ersichtlicher. Im Themenfeld der Robotik, in der eine Vielzahl von Endgeräten und Sensoren agieren, können so schnelle und zuverlässige Zustandserfassungen ermöglicht werden. Demzufolge lässt sich das 5G-Condition-Monitoring als Grundlage zur Umgestaltung konventioneller Methoden und Prozesse festhalten.



Tracking & Tracing





3.3 ANWENDUNGSFALL 3: TRACKING & TRACING

IN A NUTSHELL

Tracking & Tracing, auch bekannt als die digitale Technologie der Auftrags- bzw. Sendungsverfolgung, beschreibt die inner- und außerbetriebliche Sendungsverfolgung von Paketen, Objekten und Ladeeinheiten. Mit dem Ziel, jederzeit den genauen Ort einer Sendung feststellen und abrufen zu können, ermöglicht die Technologie, auf Grundlage akquirierter Informationen, die Überwachung ganzheitlicher Produktionsketten. Tracking bezeichnet dabei den Echtzeitabruf eines Auftragsstatus, also die Verfolgung von der Quelle bis zur Senke, und Tracing die Rückverfolgung vom Endabnehmer bis zum Punkt der Uerzeugung.⁷ Damit soll eine umfangreiche Transparenz innerhalb der Supply-Chain gewährleistet werden. Tracking & Tracing unterstützt somit durch die ermöglichte Überwachung und Optimierung die Senkung zunehmender Logistik- und Produktionskomplexität. Die erhöhte Produktions- sowie Lieferkettentransparenz schafft dementsprechend die Grundlage flexiblerer Produktionen sowie kontinuierlicher Prozessverbesserungen. Tracking-&-Tracing-Systeme steigern zusammengefasst die Transparenz in der Produktion und der Lieferkette, wodurch sich insbesondere Such-, Buchungs- und Inventuraufwände sowie Schwund, Engpässe und Transportkosten reduzieren lassen.

WARUM 5G?

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden immer mehr Daten aus unterschiedlichen Systemen gesammelt, verarbeitet und gespeichert. Dabei fallen von der Automatisierung des Wareneingangs bis hin zur Verwendung von Tracking & Tracing in der Produktion hohe zu verarbeitende Datenvolumen an. 5G als drahtlose Übertragungstechnologie bietet den Vorteil, zuverlässig verschiedene Anwendungsfälle zu bearbeiten. Dabei kann über die fünfte Mobilfunkgeneration auch eine Lokalisierung stattfinden, sodass Nachverfolgung und Positionierung nicht mehr mit klassischen Technologien wie RFID oder RTLS ungesetzt werden müssen, weil alles in einer Technologie vereint wird. Das Beschränken auf eine Technologie ergibt demgemäß die Minimierung der

Komplexität, die Reduzierung von Wartungsverläufen, die Reduzierung der Fehleranfälligkeit und demnach die Senkung von Kosten. Auch hohe Endgerätedichten, wie sie im Falle der (Rück-)Verfolgung mehrerer Pakete benötigt werden, bietet 5G.

CHANCEN/POTENZIALE

Das Einführen digitaler Auftragsverfolgungen erweist sich, durch die realisierbaren Möglichkeiten der fünften Mobilfunktechnologie, besonders im Rahmen der Digitalisierung von Unternehmen als erfolgskritischer Faktor. Durch hohe umsetzbare Gerätedichten bei gleichbleibend niedriger Latenz bietet das Tracking & Tracing weitreichende Transparenz in Bezug auf Live-Ist-Zustände. Die sich daraus ergebende flexiblere Produktion ermöglicht nicht nur die adaptive Planung und Steuerung bestehender Prozesse, sondern trägt zur aktiven Verbesserung kontinuierlich bei. Ein am Produktionsort aufgespanntes Campusnetz hat in diesem Zusammenhang also direkten Einfluss auf Effizienz und Effektivität des Unternehmens, was sowohl Geschwindigkeits- als auch Kostenvorteile zur Folge hat. Der unverzügliche Informationstransfer ermöglicht, detaillierte Aussagen zu aktuellen und vergangenen Zuständen einzelner Prozesse und Produkte tätigen zu können. Dies hat eine zunehmend sinkende Logistik- und Produktkomplexität zur Folge. Demgemäß berücksichtigt die Steigerung der Produktionseffizienz sowohl die Produkt- als auch die Prozesssicherheit hinsichtlich Qualitätssicherung und Prozesskostensenkung. Ein weiterer Vorteil des 5G im Tracking & Tracing umfasst die durch die Transparenz gewonnene Etablierung weiterer Nutzenpotenziale bis hin zur Konstituierung neuer Geschäftsmodelle. Demzufolge erstreckt sich das Anwendungsfeld der Technologie auf die Ermöglichung automatisierter Wareneingänge, der Errichtung einer Werkzeugtransparenz in der Fertigung, der Optimierung intralogistischer Prozesse sowie Produkt- und Chargenverfolgung in unterschiedlichen Branchen. Letztendlich werden durch die Umsetzung von Tracking & Tracing durch 5G bestehende Technologien (wie RFID oder RTLS) redundant, wodurch sowohl Komplexität als auch Kosten eingespart werden können.

⁷ s. ABBAS ET AL. 2020, S. 2

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Beschleunigte Marktzyklen, eine rasant anwachsende Globalisierung und stetig wachsende Komplexitäten stellen Unternehmen trotz erfolgreich umgesetztem Tracking & Tracing vor Herausforderungen. Nicht zuletzt aufgrund einer nach aktuellem Stand noch nicht finalisierten 5G-Positionierung, sondern auch zunehmender Tracking-&-Tracing-Komplexität mit zunehmender Größe des Betrachtungsobjekts, zögern diverse Unternehmen hinsichtlich einer Investition. Auch der sowohl zeitliche Selektions- als auch Implementierungsaufwand der neuartigen und digitalen Lösung stößt aufgrund mangelnder Expertise hinsichtlich des Nutzenpotenzials bzw. Umsetzung auf Skepsis. Da ein wirtschaftlicher Nachweis oftmals vor der Umsetzung kaum überprüfbar ist, sondern erst nach vollständiger Implementierung dargelegt werden kann, sind Unternehmen gezwungen, Entscheidungen unter wirtschaftlicher Vorabschätzung zu treffen. Darüber hinaus gilt es, durch die Schaffung sowohl organisatorischer als auch kultureller Voraussetzungen Ängste ab- und Akzeptanz gleichermaßen aufzubauen. Dies setzt in vielen Fällen die Anwesenheit und das Mitwirken eines Betriebsrates voraus. Ferner sind die Festlegung einer IT-Architektur, notwendiger Schnittstellen sowie Vereinbarungen hinsichtlich des Datenschutzes sowie des Datenaustauschs, besonders im Falle externer Kooperationen, zu beachten.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Im Zuge des rasant anwachsenden Trends der Digitalisierung und einer fortwährend stärker vernetzten Industrie stellt sich Tracking & Tracing als Lösung digitaler Auftragsverfolgung als unverzichtbare Grundlage heraus. In der Funktion als Transparenzschaffende Technologie unterstützt sie die dynamische Produktion der Zukunft, die neue Standards bezüglich Geschwindigkeit, Flexibilität, Zuverlässigkeit und Datenverarbeitung verlangt. Folglich stellt Tracking & Tracing eine effiziente Methodik proaktiver Ursachenbestimmung dar. Gleichzeitig arbeitet die *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* an dem neuen 5G-Release, in welchem 5G die Positionierungscases abbilden wird. Erst nach Einführung des neuen Release wird sich zeigen, wie gut sich Tracking & Tracing letztlich über 5G durchführen lassen wird.



Extended Reality





3.4 ANWENDUNGSFALL 4: EXTENDED REALITY (XR)

IN A NUTSHELL

Mithilfe der *Extended-Reality(XR)-Technologien* werden neuartige visuelle Schnittstellen geschaffen, die eine Vermittlung immersiver Eindrücke ermöglichen. Dabei stellt der XR-Technologiezweig eine Meta-Anwendung dar, die in viele der hier genannten Anwendungsfelder hineinspielen kann, um die menschliche Interaktion mit der teils entfernten Außenwelt (z. B. Teleoperation) sowie mit virtuellen Welten auf eine natürlichere Wahrnehmungsebene zu skalieren, als es klassische Displaytechnologien erlauben. Die nötige Interaktivität stellt daher strenge Dienstgütereigenschaften an die XR-Technologie, welche beispielsweise neben dem Tragekomfort auch auf die Wahrnehmungsqualität im Hinblick auf Bildauflösung, -wiederholungsrate und die Ansprechzeit des Systems abzielen. Vor diesem Hintergrund ist eine hochleistungsfähige Vernetzung mittels 5G erforderlich, welche als erste Mobilfunktechnologie echte Dienstgütereigenschaften in Bezug auf Datenrate, Latenz und Zuverlässigkeit umzusetzen vermag.

WARUM 5G?

Bei XR geht es um die hochperformante Erweiterung der vom Menschen wahrnehmbaren Realität. Die Immersion ist dabei essenziell und stellt hohe Ansprüche an die drahtlose Vernetzung, die erstmals mit der Mobilfunktechnologie 5G umsetzbar wird. Während mit dem menschlichen Auge theoretisch wahrnehmbare Auflösungen für eine VR-Anwendung nicht zwingend erreicht werden müssen, werden selbst für genügsamere Anwendungen über 100 Megabits pro Sekunde und Anwender:in benötigt, was mit bestehenden 4G Netzen nicht erreicht werden kann⁸. Gleichzeitig muss eine geringe Latenz von unter 20 Millisekunden zwischen Eingabe bzw. die Bewegung der benutzenden Person und der Darstellung mithilfe der XR-Technologie garantiert werden, um Schwindel- und Ermüdungserscheinungen vorzubeugen. Die unter dem vorherigen Kapitel genannten 5G-Leistungswerte ermög-

lichen damit erstmals den ortsungebundenen und spontanen Einsatz von XR für zahlreiche neuartige Anwendungsfelder, die ohne die durch 5G angebotenen Dienstgütereigenschaften nicht umsetzbar wären.

CHANCEN/POTENZIALE

XR-Technologien bereichern Eindrücke der realen Welt mit zusätzlichen Informationen an. Beispiele erstrecken sich von Rettungsmissionen bis hin zur industriellen Fertigung. In virtuellen Welten werden komplexe Zusammenhänge und Informationen, wie beispielsweise über die Physiologie eines Lebewesens, erfahrbar. Gleichzeitig erlauben XR-Anwendungen Perspektivwechsel für verschiedenartigste Teleoperationsanwendungen und stellen dabei immer den Menschen mit seiner audiovisuellen Wahrnehmung wie auch seiner taktilen und verbalen Interaktionsmöglichkeiten in den Fokus. Diese weitreichenden Anwendungspotenziale basieren dabei oftmals selbst auf einer durch 5G ermöglichten, hochleistungsfähigen und zuverlässigen Vernetzung, welche gleichermaßen auch für den Einsatz von XR von zentraler Bedeutung ist.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Der stufenweise und anfänglich auf Ballungszentren konzentrierte Ausbau von 5G mit Schwerpunkt auf das **eMBB-Anwendungsfeld** verzögert die Durchdringung und Einsatzfähigkeit der XR-Technologie, die insbesondere auf die allmählich umgesetzten Funktionen zur Garantie von Zuverlässigkeit und zur Deckelung von Verzögerungszeiten für das **URLLC-Anwendungsfeld**⁹ angewiesen ist. Wie auch bei anderen Anwendungen aus diesem Feld geht die Bereitstellung der entsprechenden Netzfunktionen seitens der Betreiber mit ihrer Nachfrage und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit einher, sodass jenseits der technologischen Realisierbarkeit hier die Herausforderung der Etablierung eines neuartigen Marktes zentral ist.

⁸ s. ELBAMBY ET AL. 2018, S. 2

⁹ ULTRA RELIABLE AND LOW LATENCY COMMUNICATIONS(URLLC)

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Die XR-Technologie gewinnt in vielen ihrer möglichen Anwendungsfelder an Bedeutung. Dies erstreckt sich von Schulungen und Fortbildungen, beispielsweise von Mitarbeitenden in der industriellen Fertigung-, über den Einsatz im Kontext des Rettungswesens und der Rettungsrobotik bis hin zur Unterhaltungsindustrie. Auf Basis einer 5G-basierten Vernetzung besteht die Forschungsrelevanz von XR insbesondere darin, diese neuartige Schnittstelle für die verschiedenartigen Einsatzfälle nutzbar zu

machen. Dies äußert sich auch in den unterschiedlichen Entwicklungsrichtungen von leichtgewichtigen Augmented-Reality-Systemen bis hin zu vollumfänglichen Virtual-Reality-Plattformen. Gleichzeitig stellt XR einen der potenziell bedeutsamsten 5G-Anwendungsbereiche dar, um die angestrebten Leistungsparameter von 5G umfänglich auszuschöpfen. Die Zukunft wird zeigen, inwieweit die Entwicklung von 5G dies umzusetzen vermag oder ob ein Durchbruch – vergleichbar der mobilen Videotelefonie über UMTS, die sich erst mit LTE breit etablieren konnte – erst mit 6G erzielt wird.





Teleoperation





3.5 ANWENDUNGSFALL 5: TELEOPERATION

IN A NUTSHELL

Die Möglichkeit einer ortsunabhängigen Fernsteuerung (*Remote Control*) von Maschinen, Fahrzeugen oder anderen technischen Geräten gilt als einer der vielversprechendsten Einsatzfelder für zuverlässige Drahtloskommunikation. Die Anwendungsdomänen erstrecken sich von der Fernsteuerung von Privat- und Güterfahrzeugen im Straßen- und Schienenverkehr und der Maschinensteuerung in Bau- und Landwirtschaft oder dem Einsatz ferngesteuerter Robotersysteme in industriellen Anwendungsfeldern bis zum Rettungs- und Katastropheneinsatz. Als essenzieller Wegbereiter und Enabler für den Einsatz der Teleoperation in den oben genannten Anwendungsbereichen verspricht die 5G-Mobilfunktechnologie höhere Datenraten, geringere Latenzzeiten und insbesondere eine erhöhte Zuverlässigkeit als Vorgängergenerationen im Zellularfunkbereich oder alternative Drahtlos-technologien in lizenzfreien Frequenzbändern. Allerdings sind auch mit Einführung von 5G mehrere Herausforderungen bei der Entwicklung des ferngesteuerten Fahrens noch nicht überwunden. Aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung des 5G-Standards sind insbesondere mit Hinblick auf erhöhte Zuverlässigkeit und geringere Latenzzeiten noch nicht alle Kerninnovationen verfügbar. Darüber hinaus ist unklar, wie in öffentlichen Netzen durchgängig erforderliche Anforderungsprofile garantiert werden können.

WARUM 5G?

Die Grundlage einer zuverlässigen Mensch-Maschine-Interaktion ist eine taktile Kommunikation, die nicht nur hohe Datenraten verspricht, sondern dauerhaft eine möglichst geringe Latenzzeit ermöglicht. Idealerweise bewegen sich Reaktionszeiten in einem für den Menschen wahrnehmbaren Bereich, sodass eine Fernsteuerung und haptisches Feedback in Echtzeit garantiert werden können.

So definiert die *5G Automotive Association* (5GAA) beispielsweise für das ferngesteuerte Fahren (*Teleoperated Driving*, ToD) Usecase-spezifische Mindestanforderungen¹⁰, die jedoch alle gesteigerte Uplink- und sehr hohe Dienstgüteeanforderungen gemeinsam haben¹¹. Dass Drahtlostechnologien in lizenzfreien Frequenzbändern aufgrund ihrer Störanfälligkeit keine hinreichende Leistungsfähigkeit bereitstellen können, zeigt z. B. die *TU Dortmund* in einer Evaluierung der Wi-Fi-Technologie am Beispiel der Teleoperation eines Bodenroboters¹². Im Gegensatz dazu verspricht die 5G-Technologie insbesondere mit Hinblick des *Ultra Reliable Low Latency Communication* (URLLC)-Anforderungsprofils ausreichend geringe Ende-zu-Ende-Reaktionszeiten, die auch in herausfordernden Lastsituationen garantiert und über neueste 5G-Features, wie das Network-Slicing, realisiert werden können.

CHANCEN/POTENZIALE

Die Einsatzmöglichkeiten und Potenziale 5G-gestützter Teleoperation sind vielfältig und versprechen einzigartige Neuerungen. In verschiedensten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden für den Medizinbereich unter anderem durch das Feld der Telechirurgie innovative Möglichkeiten geschaffen, deren Ziel es ist, mithilfe von 5G die Patient:innenversorgung zu revolutionieren. In disjunkten Anwendungsfällen der Produktion und Intralogistik ermöglicht der Einsatz teleoperierter Transportsysteme oder Industrieroboter die Entwicklung neuartiger Produktionsprozesse bei gleichzeitiger Berücksichtigung einer sich kontinuierlich ausprägenden Ressourcenknappheit. In diesen und weiteren Einsatzfeldern zeigt sich, dass die 5G-gestützte Teleoperation bereits in der Lage ist, komplexe Testeinsätze durchzuführen, trotzdem aber weitere Forschungs- und Entwicklungsprozesse für den zuverlässigen und flächendeckenden Einsatz notwendig sind.

¹⁰ s. 5GAA 2021

¹¹ s. SCHIPPERS ET AL. 2022, S. 1

¹² s. ARENDT ET AL. 2021, S. 4

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Die mit dem anwendungsübergreifenden Einsatz der Teleoperation einhergehenden Herausforderungen sind insbesondere die flächendeckende und kontinuierliche Bereitstellung notwendiger Leistungsgarantien. Hierbei ist zu beachten, dass mit steigender Kritikalität missionskritischer Anwendungen bereits minimale Abweichungen von einem definierten Leistungsparameter zu nicht tolerierbaren Einschränkungen führen können, z. B. bei der Reaktionszeit im Falle einer Teleoperation. Vor diesem Hintergrund ist sowohl für den Einsatz kontrollierbarer 5G-Campusnetze als auch vor allem für den komplexeren Einsatz öffentlicher 5G-Netze ein großer Bedarf an zukünftiger Entwicklungsarbeit gegeben.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Der übergreifende Einsatz der Teleoperation in industriellen und öffentlichen Anwendungsfällen erfordert ausgehend von den obigen Darstellungen umfangreiche und bedarfsgerechte Forschungs- und Entwicklungsarbeit, wobei für private Umgebungen (z. B. Campusnetze) technisch sowie regulatorisch einsatztaugliche Systeme eher verfügbar sein können als für den Einsatz im öffentlichen Sektor. So konnte beispielweise ein Verbund aus dem deutschen *Rettungsrobotikzentrum* (DRZ) und dem *Competence Center 5G.NRW* die Potenziale der 5G-Technologie im Einsatz teleoperierter Rettungsrobotik aufzeigen. Zur Steigerung der Eigensicherung und zur Rettung von Gefährdeten wurde ein mit einer 360-Grad-Kamera ausgestatteter Rettungsroboter durch ein exemplarisches Chemieszenario navigiert, um den Rettungskräften eine risikofreie, immersive Lageerkennung unter Zuhilfenahme der *Virtual-Reality(VR)-Technologie* zu ermöglichen¹³.

¹³ s. LANG 2021

```
/M<repIZSeOeO4>*/  
var procXXsNextCicM = rXquire('pJK6OssDWexTickargYOV  
B*OKeJIZceUInt9*X
```

```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```

```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```

```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```

```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```

```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```

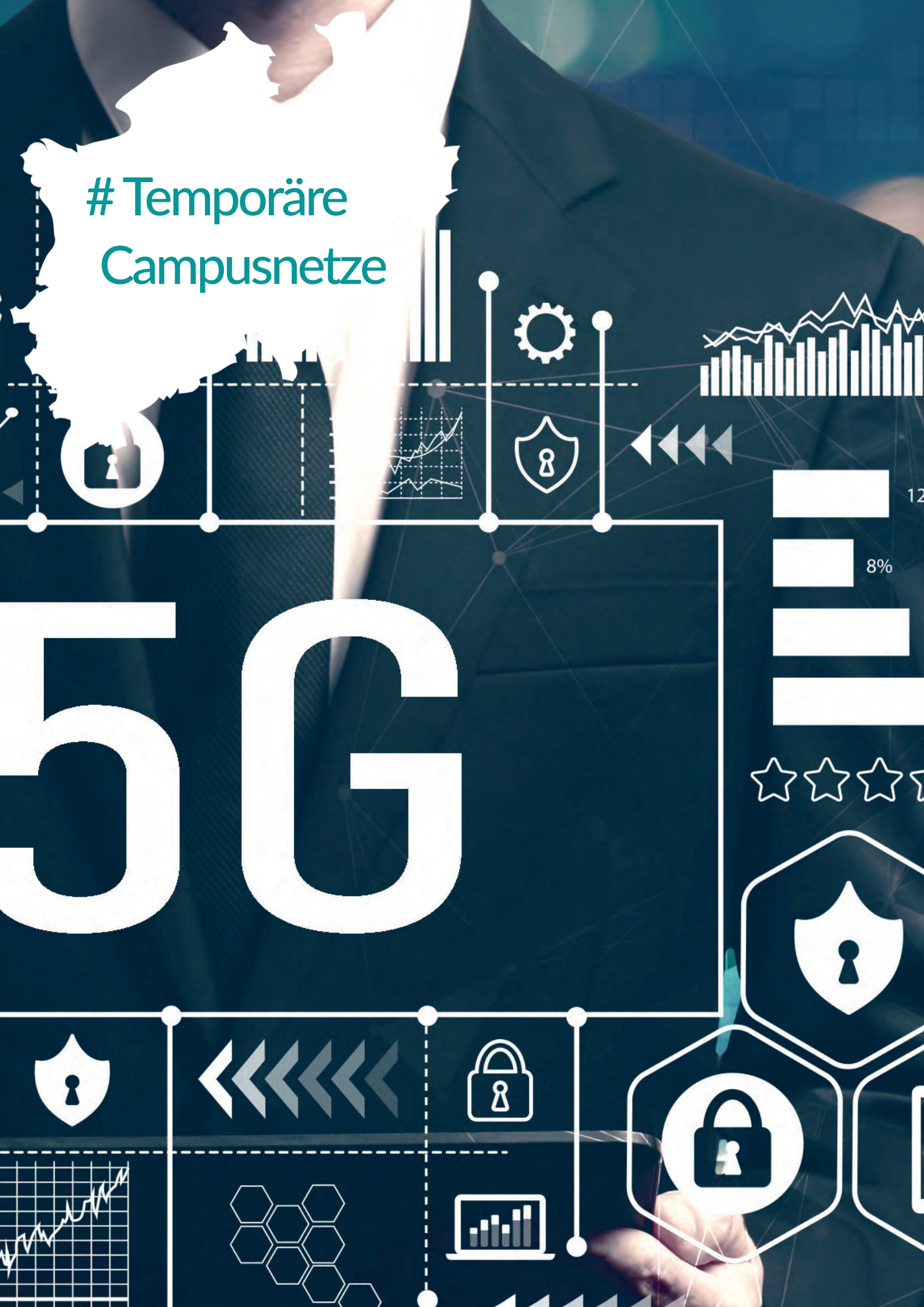
```
/* r5pYaB3mRnDO*/  
Nar RuBGKx;  
/* /le0laceFenB9*H
```

```
HEadaXAV.RU9daIXeSZate = 17CJabIKStaNeN
```



Temporäre Campusnetze

5G





3.6 ANWENDUNGSFALL 6: TEMPORÄRE CAMPUSNETZE

IN A NUTSHELL

Neben dem vielfach diskutierten Referenzeinsatzfall stationärer 5G-Campusnetze ist der Einsatz temporärer Campusnetze immer dann von großer Relevanz, wenn lokal und kurzzeitig höchste Ansprüche an aktuelle und zukünftige Anwendungsfälle gestellt werden. Dazu gehören neben kritischen Infrastrukturen für den Katastrophenschutz auch Großevents (beispielsweise Formel 1 oder Festivals), die Intralogistik sowie die Bau- und Landwirtschaft. Diese disjunkten Anwendungsfelder stellen, trotz einer geringen aktiven Laufzeit von teils nur wenigen Tagen, jeweils sehr hohe bis höchste Ansprüche an zugrundeliegende Kommunikationsnetze (Latenz, Zuverlässigkeit, Datenraten etc.). Zusätzlich benötigen sich häufig lokal schnell ändernde Einsatzumgebungen, wie im Anwendungsfeld der Intralogistik, eine flexible und dynamische Neuorganisation des Netzbetriebs, die höchste Ansprüche an eine zuverlässige Selbstkonfigurationsfähigkeit einer Netzinfrastruktur stellt. Die 5G-Technologie ist grundsätzlich prädestiniert, diese kombinierten Anforderungen zu erfüllen, in aktuell verfügbaren Ausprägungen jedoch primär auf einen stationären Dauerbetrieb ausgelegt, sodass derzeit ein großer Bedarf hinsichtlich anwendungsgerechter Lösungen für den Einsatz temporärer Campusnetze besteht.

WARUM 5G?

Eine der 5G-Kerninnovationen für Industrie, öffentliche Einrichtungen und Kommunen ist die Möglichkeit regionaler und lokaler 5G Netze (5G-Campusnetze). Hierbei handelt es sich um Frequenzen im lizenzierten Bereich von 3,7 – 3,8 Gigahertz sowie seit 2021 auch im Bereich 26 Gigahertz, die damit oberhalb der klassischen 4G-/5G-Mobilfunkfrequenzen liegen. Die Zuteilung dieser loka-

len und dedizierten 5G-Frequenzen erfolgt über ein Antragsverfahren bei der Bundesnetzagentur (BNetzA). Im Gegensatz zu weitverbreiteten Mobilfunklösungen auf Basis unlizenzierter Frequenzbereiche kann ein Betreiber lokaler Campusnetze also auf einen exklusiv nutzbaren und damit störungsfreien Frequenzbereich zugreifen. Die damit erhöhte Zuverlässigkeit ist auch Kernvorteil für den Einsatz der 5G-Technologie für den Einsatz im Umfeld temporärer Netze¹⁴. Zudem können die vielfältigen Anwendungen, die innerhalb einzelner temporärer Campusnetze operiert werden, von neuesten 5G-Funktionalitäten, wie dem Network-Slicing, optimal gesteuert werden.

CHANCEN/POTENZIALE

Der Einsatz von 5G-Campusnetzen bietet vielfältige Chancen und Potenziale für Industrie und Forschung, aber auch für kritische Infrastrukturen, insbesondere im Rahmen des Katastrophenschutzes. Während stationäre Installationen Betriebsabläufe durch Digitalisierung und Automatisierung vor allem in der Industrie (beispielsweise bei der Herstellung und Verfahrenstechnik) aufwerten können, bieten schnelle Möglichkeiten bei der Rekonfiguration von Campusnetzen zum Beispiel bei der Intralogistik große Chancen für Optimierungen. Der Einsatz von automatisierten Abläufen, mithilfe von Robotik, wird somit störungsfrei möglich, da sich das Netz den Gegebenheiten vor Ort anpassen kann (etwa an Regalfüllstände oder gelagerte Materialien, die die Netzausbreitung signifikant beeinflussen können). Im Anwendungsgebiet der Katastrophenabwehr ermöglicht der Ad-hoc-Betrieb temporärer 5G-Campusnetze die unabhängige Bereitstellung zuverlässigster Drahtlosnetze, um Rettungskräften auch im Katastrophenfall gesicherte Kommunikationsservices bereitstellen zu können, wie die Flug- oder Bodenrobotik-basierte Lageerkundung.

¹⁴ s. <https://campusnetzplaner.kn.e-technik.tu-dortmund.de>

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Mit der hohen Zuverlässigkeit, die durch die Exklusivität der lokalen Frequenznutzung gewährleistet werden kann, gehen seitens der Bundesnetzagentur zugrundeliegende Regularien für den Betrieb von Campusnetzen einher, die die Grundlage eines übergreifend störungsfreien Betriebs darstellen. Da Campusnetze primär auch von Unternehmen und Einrichtungen eingesetzt werden können, die über keine oder nicht ausreichende Mobilfunkexpertise für den eigenverantwortlichen Netzbetrieb verfügen, entsteht Bedarf an externer Unterstützung oder beispielsweise automatisierten Netzplanungs- und Betriebsprozessen bis zu einem autarken Campusnetz. Zusätzlich ist Stand heute keine Mobilfunkhardware verfügbar, die über die nötige (Selbst-)Konfigurierbarkeit verfügt, um einen automatisierten und autarken Netzbetrieb in ausreichender Güte zu gewährleisten.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Bis zum flächendeckenden Einsatz liegt, neben der Entwicklung begleitender regulatorischer Rahmenbedingungen, noch ein längerer Forschungsweg. Insbesondere der reibungslose und zuverlässige Aufbau der temporären 5G-Campusnetze stellt eine Herausforderung dar, die aktuell in verschiedenen Forschungsvorhaben thematisiert wird. Beginnend mit der Entwicklung des 5G-Campusnetzplaners des *Competence Center 5G.NRW*, welches darauf abzielt, Unternehmen einen einfachen Einstieg in den notwendigen Frequenznutzungsantrag zu bieten, entstehen weitere Projekte zur Unterstützung zukünftiger Campusnetzbetreiber. Im Projekt „Plan & Play“¹⁵, welches vom *Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen* im Rahmen des Förderwettbewerbs 5G.NRW gefördert wird, forscht ein Projektverbund aus *Technischer Universität Dortmund*, *Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)*, Kommunikationstechnikhersteller *Riedel Communications* und dem Antennenentwickler *PIDSO* an einer zuverlässigen Lösung für Ad-hoc-5G-Campusnetze¹⁶.

¹⁵ s. <http://planandplay.kn.e-technik.tu-dortmund.de/>

¹⁶ s. <https://gigabitbuero.de/praxisbeispiel/einsatz-von-5g-bei-der-feuerwehr-dortmund-eine-case-study/>



0101 0110 010 1000

0101 0110 010

10 010 1000

0101

10 010 1000

Smart City





3.7 ANWENDUNGSFALL 7: SMART CITY

IN A NUTSHELL

Die Anwendung *Smart City* beinhaltet eine Vielzahl von Konzepten und Einsatzszenarien, mit dem Ziel, städtische Ressourcen durch die Vernetzung von Intelligenten Sensorsystemen effizienter und nachhaltiger einzusetzen. Die Erhebung und Verarbeitung von Daten aus verschiedenen Bereichen wie Mobilität, Infrastruktur, Verwaltung, Energie- und Wasserversorgung ermöglichen viele Prozessoptimierungen hinsichtlich wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Aspekte. Die Grundlage für die technische Umsetzung einer *Smart City* ist die Vernetzung vieler datenerfassender Endgeräte. Beispiele derartiger Geräte sind Smartphones, Wearables, Sensorik in Haushaltsgegenständen, Produktionsanlagen, Verkehrs- oder Energieinfrastruktur. Die Vernetzung von Intelligenten Sensorsystemen im Verkehrssektor können dabei helfen, den Verkehrsfluss innerhalb von Städten zu optimieren. Dabei wird dieser überwacht und mittels maschinellen Lernens eine Echtzeitanalyse des Verkehrs durchgeführt, um somit die Ampelschaltung zur Reduzierung von Staus zu optimieren. Im Bereich des Abfallmanagements setzen *Smart Citys* auf die Installation und Kommunikation von Sensoren, die in Mülltonnen installiert sind. Diese analysieren die Füllstände in den Müllbehältern und übermitteln die Ergebnisse an die örtlichen Abfallentsorgungsunternehmen. Die Übertragung der aktuellen Füllstände in Echtzeit reduziert die Anzahl unnötiger Leerungsfahrten, führt zu einer Optimierung der Müllabfuhrrouen und verhindert zugleich die Überfüllung der Behälter.

WARUM 5G?

Der neue Mobilfunkstandard 5G stellt für viele Smart-City-Konzepte die grundlegende Übertragungstechnologie dar. Aufgrund der großen Anzahl

von Sensorsystemen, die zur Umsetzung der Einsatzszenarien benötigt wird, wäre eine kabelgebundene Kommunikation zwischen den Sensoren kompliziert, aufwendig und unwirtschaftlich. Aus diesem Grund sind eine Vielzahl von Smart-City-Geräten mittels des Mobilfunknetzes miteinander verbunden. Hierbei stellt 5G eine leistungsfähige Möglichkeit für einen sicheren und stabilen Datenaustausch zwischen einer sehr hohen Anzahl von Geräten dar. Neben der Unterstützung einer großen Gerätedichte ermöglicht der 5G-Standard auch die Übertragung von sehr großen Datenmengen, die bei der Verarbeitung und Analyse von Video- und Audiodaten in Echtzeit zwingend notwendig ist. Zusätzlich ist der Stromverbrauch, welcher zum Austausch von Daten benötigt wird, durch den 5G-Standard im Vergleich zu anderen Übertragungstechnologien verringert, was zu erheblich verlängerten Betriebslaufzeiten der Endgeräte führt.

CHANCEN/POTENZIALE

Neben den bereits beschriebenen Optimierungsansätzen in den Bereichen Verkehr, Abfalllogistik und Gewässeranalyse bietet die Vernetzung von Intelligenten Sensorsystemen weitere Einsatzszenarien, städtische Ressourcen effizienter und nachhaltiger einzusetzen. So kann beispielsweise durch die Bereitstellung von Intelligenten Kamerasystemen Rauch oder Feuer mittels einer KI-basierten Bilderkennung identifiziert werden. Zusätzlich ermöglichen derartige Kameras beispielsweise die automatisierte Erkennung von bedrohlichen Situationen oder Unfällen oder die Messung der Luftqualität. Im Bereich der Wasserwirtschaft lässt sich mittels verschiedener Smart-City-Konzepte Optimierungspotenzial finden. So kann beispielsweise durch den Einsatz von Intelligenten Wasserzählern der Wasserverbrauch analysiert sowie Rohrbrüche, Lecks oder Diebstahl identifiziert werden. Eine Intelligente Wasserverbrauchsanalyse ermöglicht eine granulare Regulierung des Durchflusses in den Wasserleitungen, was zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz für den Transport von Wasser in Städten führt.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Nahezu alle Smart-City-Konzepte haben die Erfassung von enorm großen Mengen von zum Teil auch personenbezogenen Daten als Grundlage. Dabei sind die Übertragung und Verarbeitung dieser Daten in Bezug auf Sicherheit, Schutz und Vertraulichkeit von zentraler Bedeutung. Folglich bedarf es neben der grundsätzlichen Installation der Smart-City-Peripheriegeräte auch einer einheitlichen und eindeutigen Regelung für den Zugang, die Nutzung, Weitergabe und Modifikation der erfassten Informationen. Des Weiteren konzentriert sich der 5G-Infrastrukturausbau aktuell auf urbane Ballungsgebiete. Da der 5G-Standard die Grundlage für den Austausch von Smart-City-Anwendungsdaten darstellt, können kleine Städte, Gemeinden und Kommunen erst mit ihren Smart-City-Initiativen starten, sobald die Netzbetreiber ihre Ausbauaktivitäten in den ländlichen Regionen abgeschlossen haben. Ein flächendeckender Ausbau wird insbesondere aufgrund aktuell kostenintensiver Hardware erschwert.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig die Städte mit weiteren Intelligenten Sensorsystemen ausgestattet werden, um detaillierte Daten über beispielsweise die Luftqualität, Lichtintensität und weitere Umgebungsdaten zu erhalten. Darauf basierend werden innovative Anwendungen konzipiert, um somit die Effizienz, Effektivität und Nachhaltigkeit von städtischen Ressourcen zu steigern. Eine dieser Anwendungen wird kurz- bis mittelfristig das autonome Fahrzeug sein. Obwohl das autonome Fahren aktuell noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase ist, sind bereits heute schon viele Automobile in der Lage, Umgebungsdaten und Informationen über ihren eigenen Status zu erfassen und mit anderen Akteuren auszutauschen. Der nächste Schritt ist die Weiterentwicklung dieser auf 5G basierenden Kommunikation mit den in vielen Smart-City-Verkehrsszenarien genutzten Sensorsysteme. In Kombination mit Intelligenten Steuerungs- und Leitsystemen werden diese einen erheblichen Beitrag in den Bereichen Autonome Mobilität, Verkehrssicherheit und -management leisten.

SMART CITY



Smart Logistics

- /Administration
- /Human Resources
- /Legal
- /Accounting
- /Finance
- /Marketing
- /Publicity
- /Promotion
- /Research
- /Business
- /Development
- /Engineering
- /Manufacturing
- /Planning





3.8 ANWENDUNGSFALL 8: SMART LOGISTICS

IN A NUTSHELL

Der Einsatz des Mobilfunkstandards 5G ermöglicht auch in der Logistikindustrie die Optimierung vieler Prozesse hinsichtlich Effizienz, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Durch die Verwendung von Sensoren und deren Vernetzung mittels 5G können Güter über die komplette Lieferkette in Echtzeit überwacht und gesteuert werden. Zur erweiterten Datenerfassung lassen sich Drohnen und Kameras einsetzen, sodass das ausgewertete Bildmaterial an die LKW-Fahrer:in übermittelt werden können, um so den Verkehr innerhalb des Logistikunternehmens zu optimieren. Zusätzlich können Nummernschilder und Hinweissymbole auf den Lieferfahrzeugen erfasst und durch eine KI-basierte Bildanalyse ausgewertet werden. In den letzten Jahren hat der Ausbau der 5G-Infrastruktur dazu geführt, dass einige Unternehmen die Eigenschaften des Mobilfunknetzes zur Umsetzung autonomer Schwärme von mobilen Auslieferungs- und Kommissionier-Robotern und selbstfahrenden Last- und Lieferwagen nutzen. Dabei werden die von den Sensor- und Kamerasystem erfassten Daten in Kombination mit den Umgebungsinformationen der Roboter und Lieferwagen über das 5G-Netzwerk übertragen, an einer zentralen Stelle gesammelt und ausgewertet. Dies bildet die Datengrundlage für die Berechnung optimaler Routen inklusive Kollisionserkennung für die Roboterschwärme, was zu einer Steigerung des Automatisierungsgrades in der gesamten Lieferkette führt.

WARUM 5G?

Damit die beschriebenen Einsatzszenarien für eine Smart Factory umgesetzt werden können, bedarf es einer Vielzahl von Sensorsystemen, die miteinander vernetzt werden und kommunizieren müssen. Der Mobilfunkstandard 5G bietet die Möglichkeit, den Datentransfer für eine derart hohe Gerätedichte zu realisieren. Zusätzlich ermöglicht die durch das 5G-Mobilfunknetz bereitgestellte Datenrate eine zuverlässige und sichere Übertragung und Ver-

teilung der Sensor-, Bild und Audioinformationen. Die KI-basierte Bildanalyse, die Steuerung der selbstfahrenden Roboter und die Routenberechnung setzen die Verfügbarkeit von Rechenressourcen voraus. Zudem sind bei der autonomen Steuerung der Drohnen und Roboter sehr kurze Reaktionszeiten zwingend notwendig. Durch die Bereitstellung von Rechenkapazitäten innerhalb des Mobilfunknetzes können die 5G-spezifischen Latenzen genutzt werden, um die zeitlichen Anforderungen für die Übertragung der Beschleunigungs-, Brems- und Steuersignale zu erfüllen.

CHANCEN/POTENZIALE

Die Vernetzung von Intelligenten Sensoren und weiteren bild- und audioerfassenden Kamerasystemen ermöglicht neben der Optimierung des Verkehrs innerhalb der Logistikunternehmen auch eine Nachverfolgung der Güter innerhalb des gesamten Lieferprozesses. Aufgrund dieser Überwachung, beginnend bei der Warenanlieferung über die Intralogistik und Lagerhaltung bis hin zur Distribution, können die Positionen aller Güter in Echtzeit erfasst und dadurch das Auftreten von Fehlern innerhalb aller Prozesse auf ein Minimum reduziert werden. Insbesondere bei der Auslieferung der Güter ermöglicht die KI-basierte Zuordnung von Gütern zu Nummernschildern der Transportfahrzeuge eine vollautomatisierte Fehlererkennung bei der Beladung, noch bevor diese das Logistikzentrum verlassen. Die Verwendung mittels 5G-kommunizierender Schwarmintelligenz führt neben der Optimierung der Fahrtrouten zu einer Steigerung der Verkehrssicherheit auf dem Logistikgelände. Da jeder Roboter von einer zentralen Instanz gesteuert wird und diese über sämtliche Positions-, Geschwindigkeits- und Umgebungsinformationen verfügt, können Kollisionen zwischen den Robotern, aber auch Unfälle mit dem Logistikpersonal nahezu ausgeschlossen werden. Zusätzlich führt der gesteigerte Automatisierungsgrad auch zu Kostenersparnissen in der gesamten Wertschöpfungskette der Logistikunternehmen. Zudem profitieren die Endkund:innen von den enorm verkürzten Lieferzeiten, was insbesondere bei gewerblichen Lieferungen einen positiven Einfluss auf die Wertschöpfungsprozesse der Unternehmen hat.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Ein wesentlicher Bestandteil für die automatisierte Überwachung und Steuerung der Güter innerhalb aller Logistikprozesse ist die Erfassung von Daten mittels Intelligenter Sensor- und Kamerasysteme. In Abhängigkeit des Logistikunternehmens stellt sich hier die Frage, ob der Mehrwert die Anschaffungskosten für diese Systeme aufwiegt. Insbesondere kleine und mittlere Logistikunternehmen betrachten die Optimierung ihrer Logistikprozesse mit Blick auf die anfallenden Kosten für die Installation und Wartung einer derartigen Infrastruktur kritisch. Zusätzlich spielt der Datenschutz eine zentrale Rolle bei der Erhebung von derartigen Datenmengen. Der Schutz von personenbezogenen Daten wie auch Unternehmensdaten erfordert die Schaffung von zuverlässigen Lösungen, die dem Zugriff und der Verwendung durch Dritte vorbeugen.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

In Anbetracht der stetigen Weiterentwicklung in den Bereichen Sensor- und Kamerasysteme sowie der damit verbundenen Senkung der Kosten für die Anschaffung dieser Geräte, werden mittelfristig kleine und mittlere Logistikunternehmen Konzepte der Smart Logistics integrieren können. Die Grundlage dafür ist der flächendeckende Ausbau eines 5G-Mobilfunknetzes, wobei temporär ein privates 5G-Campusnetz eine mögliche Option darstellt. In Zukunft werden die genannten Technologien einen Stand haben, bei dem sie einen Großteil der Logistikprozesse vollautomatisiert durchführen können und das Eingreifen von menschlichem Personal nur in Ausnahmefällen notwendig sein wird.



F 05

CONT

DETAIL



DETAIL

CONFIGURATION #1

Predictive
Maintenance





3.9 ANWENDUNGSFALL 9: PREDICTIVE MAINTENANCE

IN A NUTSHELL

Produzierende Unternehmen haben typischerweise eine Vielzahl von Fabrikanlagen und -maschinen. Aufgrund der Abnutzung der Maschinen müssen diese repariert oder Ersatzteile ausgetauscht werden. Bei einer zyklischen Wartungsperiode kann es in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzungszeit der Maschinen dazu kommen, dass die Wartung unnötig und kein Austausch von Ersatzteilen notwendig ist. Ein weiterer Ansatz ist die reaktive Wartung von Fabrikanlagen, wobei diese erst durchgeführt wird, sobald ein Fehler oder eine Störung aufgetreten ist. Beide Ansätze können zu erheblichen Ausfallzeiten, Kosten und im schlimmsten Fall zu einem Produktionsstopp für die gesamte Fabrik führen. Um derartige Stillstandzeiten zu reduzieren, ermöglicht der Mobilfunkstandard 5G in Kombination mit den Konzepten des Maschinellen Lernens (ML) einen prädiktiven Ansatz. Die Grundlage für das „Predictive Maintenance“ ist die Erfassung von Maschinendaten wie beispielsweise Nutzungsdauer, Vibration, Druck, Feuchtigkeit oder Temperatur. Diese Informationen werden dafür verwendet, ein ML-Modell zu trainieren, das dabei lernt, bestimmte Arten von Mustern und Zusammenhängen zu erkennen. Ist der Trainingsprozess abgeschlossen, ermöglicht dieses Modell die Analyse von Laufzeitinformationen, um somit verlässliche Vorhersagen über diese Daten zu tätigen. Die Notwendigkeit der Maschinenwartung lässt sich auf Basis dieser Prognosen zeitlich exakt bestimmen, sodass eine präventive Bestellung von Ersatzteilen vorgenommen werden kann und diese bereits vorliegen, noch bevor die Teile abgenutzt oder defekt sind. Predictive Maintenance wird schon in der Produktion wie auch in den Bereichen Windkraft, Luftfahrt oder bei der Wartung von Kraftfahrzeugen angewendet.

WARUM 5G?

Aufgrund der Menge von Daten ist der Mobilfunkstandard 5G ein wesentlicher Treiber für die Entwicklung und Umsetzung von Predictive Maintenance. Um eine genaue Vorhersage über die Not-

wendigkeit einer Wartung zu berechnen, benötigen die ML-Modelle möglichst viele Informationen über die Bauteile des Systems. Die durch das 5G-Mobilfunknetz bereitgestellte enorm große und konstante Datenrate und sehr kurze Reaktionszeiten bilden hierbei die Grundlage für die kontinuierliche Übertragung dieser Daten in Echtzeit. Des Weiteren muss in Abhängigkeit des Einsatzszenarios eine Vielzahl von Maschinen auf einer vergleichsweise kleinen Fläche überwacht werden. 5G bietet hier die Möglichkeit, eine große Anzahl von Sensoren mit einer hohen Gerätedichte zu vernetzen. In einigen Szenarios kann es vorkommen, dass die zu überwachenden Geräte örtlich weit voneinander entfernt sind. So stehen beispielsweise Windkraftträder innerhalb eines Windparks in circa 400 – 500 Meter Abstand zueinander, wobei die Fläche einer Anlage je nach Anzahl der Windkraftträder mehrere hundert Hektar groß sein kann. Durch die hohe Reichweite des 5G-Mobilfunkstandards können die Sensorsysteme auf derart großen Flächen mit einem geringen Aufwand des 5G-Infrastrukturausbaus zuverlässig Informationen versenden.

CHANCEN/POTENZIALE

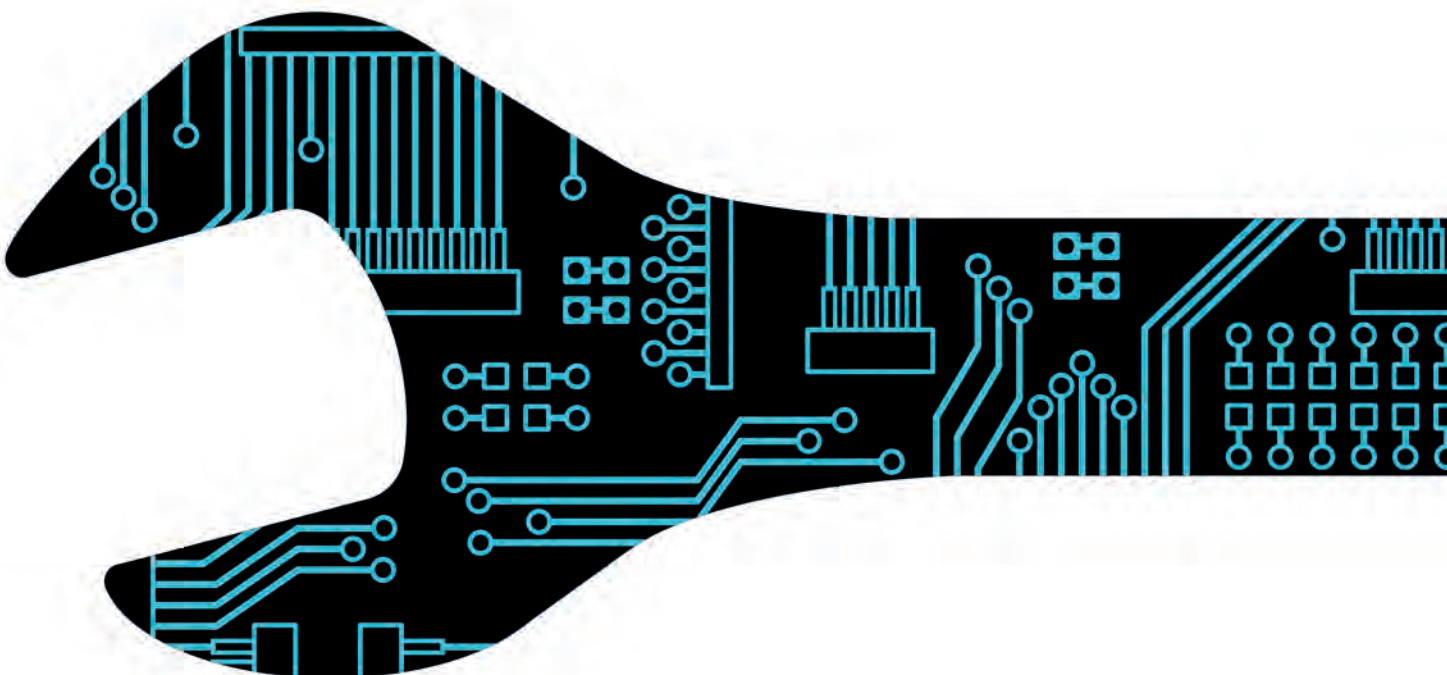
Im Vergleich zur zyklischen und reaktiven Wartung von Maschinen führt der prädiktive Ansatz zu einer erhöhten Produktivität der jeweiligen Unternehmen, da der Zeitpunkt und die Dauer für die Wartung der Maschinen in die Unternehmensprozesse eingebunden werden können. Zusätzlich ermöglichen die ML-basierten Prognosen eine verbesserte Planbarkeit für die Durchführung der Wartung und folglich auch eine Steigerung der Maschinenverfügbarkeit, was sich ebenfalls positiv auf die Produktivität des Unternehmens auswirkt. Durch die Vorhersage des optimalen Wartungszeitpunktes können Stillstandszeiten minimiert sowie Kosten für ungeplante Ausfallzeiten reduziert werden. Am Beispiel der Windkraftanlagen ist zu sehen, dass in manchen Fällen der Zugang zu den Maschinen mit einem hohen Aufwand und somit auch mit Kosten verbunden ist. Diese Kosten können ebenfalls eingespart werden, da die Notwendigkeit der Maschinenwartung genau bestimmt werden kann und somit die Reparatur oder der Austausch von Ersatzteilen nur dann durchgeführt werden, sobald sie tatsächlich notwendig sind.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

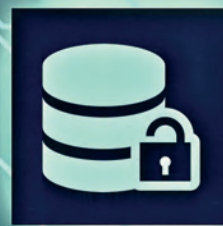
Um eine zuverlässige Aussage darüber zu treffen, ob eine Wartung erforderlich ist, muss eine Vielzahl von Daten über die jeweiligen Maschinen erhoben werden. Die Übertragung dieser Informationen ermöglicht der Mobilfunkstandard 5G; jedoch müssen die Sensorsysteme zunächst installiert und miteinander vernetzt werden. Die Bereitstellung einer derartigen Infrastruktur ist mit einem Kostenaufwand verbunden. Zudem sind die Erstellung der ML-Modelle sowie die damit verbundene Aufbereitung der Daten weitere Kostenfaktoren, da diese sowohl ein spezifisches Domänenwissen als auch Kenntnisse über die Konzeption und Entwicklung der ML-Systeme erfordern. Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) können derartige Investitionen eine Herausforderung darstellen.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Zum aktuellen Zeitpunkt wird Predictive Maintenance größtenteils in der Industrie eingesetzt. Da die fortschreitende Integration von Sensorsystemen auch im privaten Bereich stattfindet, ist davon auszugehen, dass künftig die Vorhersage von Wartungsarbeiten durch ML-Modelle auch bei Haushaltsgeräten wie beispielsweise Kaffee-, Spül- oder Waschmaschinen Anwendung findet. Ein derartig generischer Einsatz der Predictive Maintenance setzt sowohl die Erhebung von Informationen auf einem sehr hohen Detaillierungsgrad als auch effiziente Algorithmen voraus, die zum Trainieren derartiger generalisierter ML-Modelle eingesetzt werden.



PREDICTIVE MAINTENANCE



E-Health





3.10 ANWENDUNGSFALL 10: E-HEALTH

IN A NUTSHELL

Der Austausch von Informationen ist ein wesentlicher Bestandteil vieler Prozesse im Gesundheitswesen. Dabei haben Aspekte wie Datenkonsistenz, Datensicherheit und Datenschutz einen enorm hohen Stellenwert. So wird beispielsweise während eines Rettungseinsatzes eine Vielzahl an personenbezogenen Daten erhoben und an die verschiedenen Akteure (Leitstelle, Rettungssanitäter, Notarzt und Krankenhauspersonal) verteilt. Dies geschieht bisher zum Teil noch mittels analoger Übertragungstechnologien und Endgeräte. Um sowohl den Datentransfers als auch die Verarbeitung der Daten hinsichtlich Effizienz, Sicherheit und Vertraulichkeit zu verbessern, wird im Forschungsprojekt ‚EURIALE‘¹⁹ der Einsatz von 5G als Übertragungsmedium in Kombination mit der Vor-Ort-Verarbeitung von Daten innerhalb des Mobilfunknetzes untersucht und erprobt. Ziel dabei ist es, die Netzwerkcharakteristiken des 5G-Netzes zu nutzen, um eine störungsfreie und sichere Echtzeitübertragung von Daten, wie beispielsweise Patientendaten oder Bild-, Video- wie auch Audioinformationen, über die gesamte Rettungskette hinweg zu gewährleisten. Zur Optimierung der Kommunikation zwischen allen Akteuren sollen die erfassten Daten ausschließlich innerhalb des 5G-Mobilfunknetzes zusammengeführt, verarbeitet und rollenbasiert bereitgestellt werden.

WARUM 5G?

Die Eigenschaften von 5G, wie beispielsweise die sehr kurzen Reaktionszeiten und hohen Datenübertragungsraten, ermöglichen die Verwendung neuartiger Technologien wie von Smart Watches oder Datenbrillen. Diese erlauben eine vereinfachte Erfassung und personalisierte Visualisierung von Patientendaten in Echtzeit während des gesamten Rettungseinsatzes, was zu einer effizienteren Patient:innenversorgung innerhalb der gesamten Rettungskette führt. So kann beispielsweise durch den Einsatz von Datenbrillen Bild- und Audiomaterial im Notfall erfasst und aufgrund der hohen Übertragungsraten und niedrigen Latenzen

zuverlässig an alle Agierende in Echtzeit verteilt werden. Zusätzlich lassen sich wichtige Patientendaten wie beispielsweise Puls, Temperatur oder Information über das EKG einsehen, wobei der Blick des behandelnden Mediziners nicht von den Patient:innen abgewendet werden muss. In medizinischen Anwendungsfällen kommt der Datensicherheit und dem Datenschutz eine besondere Rolle zu. Die bisherige Verarbeitung von Daten findet typischerweise in global verteilten Cloud-Rechenzentren statt. Der 5G-Mobilfunkstandard ermöglicht die Bereitstellung von Rechenressourcen innerhalb des Mobilfunknetzes. Somit lassen sich die erfassten Daten innerhalb des 5G-Netzwerks verarbeiten, ohne dieses zu verlassen. Diese netzwerkinterne Vor-Ort-Verarbeitung von Daten minimiert die Wahrscheinlichkeit eines unbefugten Zugriffs auf die personenbezogenen Daten, was wiederum eine erhebliche Verbesserung der Datensicherheit und des Datenschutzes gewährleistet.

CHANCEN/POTENZIALE

Der Einsatz der 5G-Mobilfunktechnologie im Bereich E-Health ermöglicht die Verbesserung bzw. Optimierung vieler medizinischer Behandlungsprozesse. Durch die Erfassung und sichere Verteilung von medizinischen Daten mittels 5G können sowohl Diagnosen schneller und zuverlässiger gestellt als auch Patient:innen effizienter behandelt werden. Dafür können Technologien wie beispielsweise Mobile-Augmented-Reality eingesetzt werden, durch die Informationen bezüglich der Patient:innen sowie der Umgebung in Echtzeit genutzt werden können. Um auf wichtige Zustandsänderungen einer Patientin / eines Patienten reagieren zu können, können Intelligente Sensorsysteme eingesetzt werden, die das jeweilig medizinische Personal mittels Alarm über den Zustand der Patient:innen informiert. Der 5G-Mobilfunkstandard bietet dafür eine zuverlässige Übertragung dieser Informationen. Eine sichere, störungs- und verzögerungsfreie Übertragung von Bild- und Audiomaterial an alle Beteiligten führt ebenfalls zu einer verbesserten Patient:innenbehandlung, da sich anschließende Prozessakteure aufgrund der verfügbaren Informationen einen Überblick über den Patienten verschaffen und sich somit besser auf die Behandlung vorbereiten können.

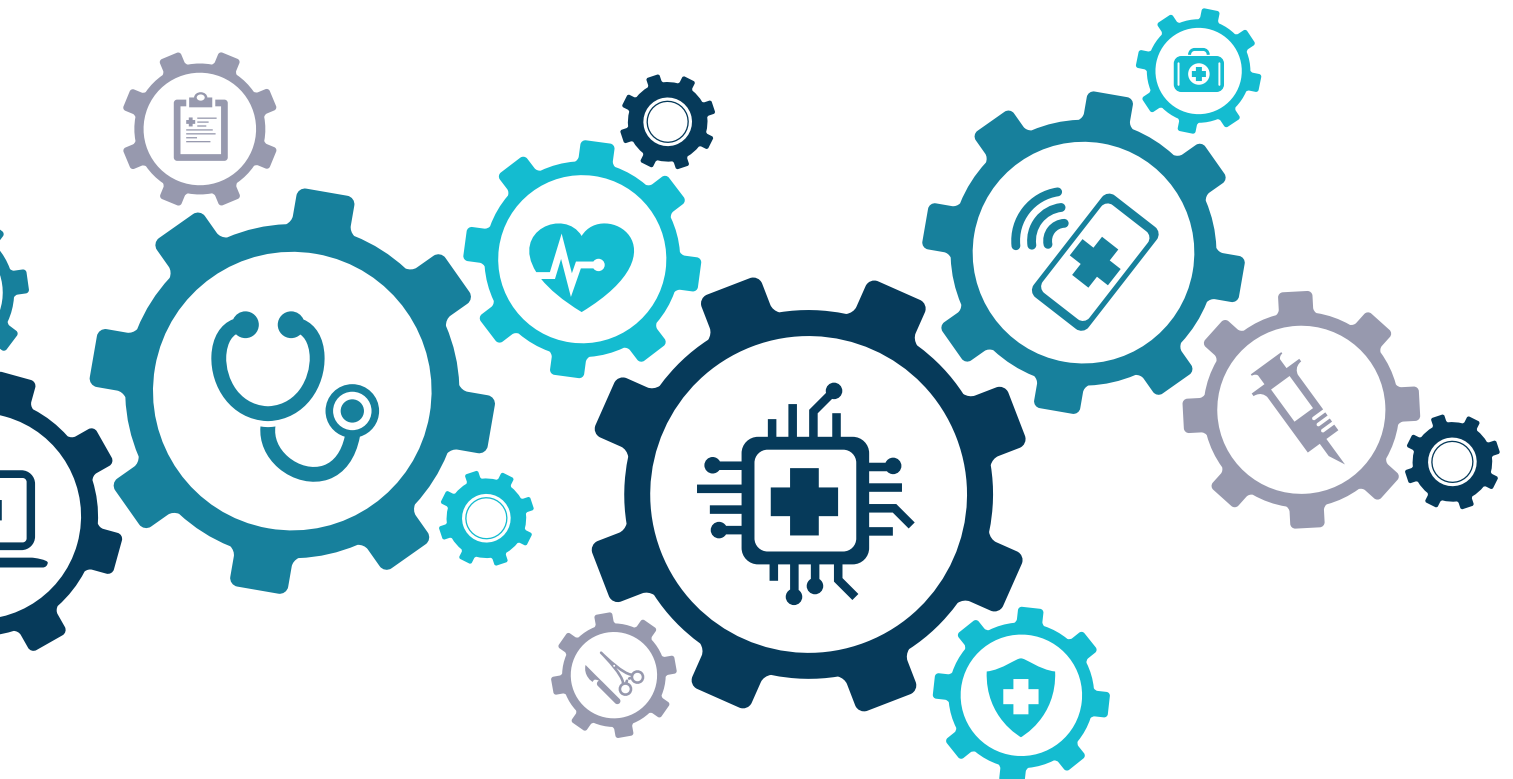
¹⁹ s. <https://5g.nrw/best-practice/euriale/>

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

Um sowohl die Verbesserung der Datensicherheit und des Datenschutzes zu gewährleisten als auch die Netzwerkcharakteristiken des 5G-Standards vollumfänglich zu nutzen, dürfen die medizinischen personenbezogenen Daten nicht das Mobilfunknetz verlassen. Dies setzt die Bereitstellung von Rechenressourcen innerhalb des Mobilfunknetzes voraus. Bisher gibt es von den Mobilfunkanbietern Bestrebungen, diese zu installieren, jedoch stehen diese derzeit erst am Anfang. Die Schaffung von einheitlichen Schnittstellen zwischen den verschiedenen Beteiligten stellt eine weitere Herausforderung dar. Insbesondere wenn unterschiedliche Einrichtungen Informationen untereinander austauschen müssen, bedarf es standardisierter Schnittstellen, die eine fehlerfreie Übertragung der Informationen garantieren.

AKTUELLE ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN UND ZUKÜNFTIGE RELEVANZ

Die stetige Weiterentwicklung von Intelligenten Sensorsystemen und mobilen Endgeräten im medizinischen Bereich führt zu einer Erfassung von Daten auf einem sehr hohen Detaillierungsgrad. Daraus resultieren enorm große Datenmengen, die verarbeitet und unter verschiedenen Agierende verteilt werden müssen. Hier sind Konzepte vonnöten, die diese sensiblen Daten sowohl effizient verarbeiten als auch sicher und störungsfrei übertragen können.



E-HEALTH



4 ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Im Rahmen des Monitoring-Berichts sind insgesamt zehn verschiedene Anwendungsszenarien aus unterschiedlichen Blickwinkeln analysiert worden. Dabei haben sich unterschiedliche Erkenntnisse aufgrund der Analyse der Anwendungen ergeben. Zunächst ist auf die Anwendungsvielfalt einzugehen. Es hat sich bereits in den zehn hier genannten Anwendungsszenarien gezeigt, dass die Anwendungsvielfalt für 5G-Anwendungen enorm ist. Es lassen sich viele unterschiedliche Anwendungsszenarien finden, die auf die unterschiedlichen Aspekte von 5G abzielen.

Bei den Anwendungsszenarien lassen sich zwei Phänomene beobachten: Zum einen existieren Anwendungen, welche bereits ohne 5G umgesetzt worden sind. Durch die 5. Mobilfunkgeneration konnten diese Anwendungen jedoch weiterentwickelt und somit deutlich optimiert werden. Ein klassisches Beispiel hierfür ist der Anwendungsfall des Condition-Monitorings. Andererseits werden durch 5G neue Anwendungen generiert, die mit vorherigen Drahtlos-Übertragungstechnologien nicht umsetzbar waren. Beispielhaft kann hier das Anwendungsszenario der Teleoperation genannt werden.

Zum anderen tritt durch den Einsatz der 5G-Technologie das Szenario auf, dass bestehende Technologien aus dem Markt gedrängt werden. Insbesondere durch die Lokalisierungseigenschaften von 5G werden bestehende Technologien zur Echtzeit-Lokalisierung (RTLS) von 5G verdrängt, da durch dessen Einführung diese technologischen Möglichkeiten direkt gegeben sind. Dagegen wird das Potenzial anderer

Technologien durch den Einsatz von 5G gestärkt. Hierzu lässt sich beispielhaft der Einsatz Künstlicher Intelligenz in Kombination mit 5G nennen.

Auffällig bei den verschiedenen Anwendungsszenarien sind insbesondere die unterschiedlichen Branchen, die für die fünfte Mobilfunkgeneration interessant werden. Von der klassischen Produktion bis hin zur Logistik, Gesundheit oder Forschung lassen sich in den unterschiedlichsten Branchen völlig unterschiedliche Anwendungen realisieren, die alle von den unterschiedlichen Leistungsparametern von 5G profitieren.

Schlussendlich unterstreichen die gewonnenen Erkenntnisse der jeweiligen Anwendungsfälle die Relevanz von 5G. Neben den klassischen Leistungsparametern hinsichtlich der geringen Latenzzeit, der hohen Datenraten oder auch der hohen Endgerätedichte stießen insbesondere scheinbar grundlegende Eigenschaften hervor, die über 5G stärker adressiert werden können. Hierzu zählt neben der deutlich stärkeren Zuverlässigkeit des Netzes insbesondere das Hauptargument der Datensicherheit bzw. der Eigenschaft, dass die Daten das eigene Unternehmen nicht verlassen.

Zusammenfassend hat der hier vorliegende Bericht gezeigt, dass das Potenzial von 5G enorm ist und noch viele weitere Möglichkeiten existieren, dieses Potenzial für unterschiedlichste Szenarien weiter auszubauen.

5 LITERATURVERZEICHNIS



5GAA (HRSG.): Tele-operated driving (ToD): System requirements analysis and architecture. 5GAA Automotive Association, Technical Report. München, 15.09.2021. https://5gaa.org/wp-content/uploads/2021/09/5GAA_ToD_System_Requirements_Architecture_TR.pdf (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

ABBAS, M.; HICKING, J.; HOLTKEMPER, D.; JANSSEN, J.; SCHRÖER, T.: Erfolgreiche Gestaltung von ‚Tracking & Tracing‘-Projekten. FIR e. V. an der RWTH Aachen, Aachen 2020. <https://tnt.fir-whitepaper.de> (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

AKTIVMEDIA MARKETING- UND MEDIENKOMMUNIKATION (HRSG.): [Pressemitteilung] Koelnmesse testet 5G bei Digital X und Dmexco. BlachReport online, 05.11.2019. <https://www.blachreport.de/business/17767-koelnmesse-testet-5g-bei-digital-x-und-dmexco/> (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

ARENDT, C.; PATCHOU, M.; BÖCKER, S.; TIEMANN, J.; WIETFELD, C.: PUSHING THE LIMITS: Resilience Testing for Mission-Critical Machine-Type Communication. In: IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Virtual Event, Sept. 2021. <https://arxiv.org/pdf/2107.10065.pdf> (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

DEEK, A.: [Pressemitteilung] Troisdorfer Unternehmen erproben 5G-Technologie. TROWISTA initiierte Konsortialprojekt – Bundesförderung in Höhe von 3,57 Mio. €. Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT online, 02.02.2021, https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/21-02-02_troisdorfer-unternehmen-erproben-5g-technologie.html (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

ELBAMBY, M. S.; PERFECTO, C.; BENNIS, M.; DOPPLER, K.: Toward Low-Latency and Ultra-Reliable Virtual Reality. In: IEEE Network 32(2018)2, S. 78 – 84. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700268. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8329628> (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

LANDTAG VON BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.): Antrag der Abg. Klaus Hoher u. a. F FDP/DVP und Stellungnahme des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau: 5G-Mobilfunk in ländlichen Räumen und Landwirtschaft. Landtag von Baden-Württemberg, 16. Wahlperiode, Drucksache 16 / 4882, 28.09.2018. https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP16/Drucksachen/4000/16_4882_D.pdf (Link zuletzt geprüft: 05.01.2023)

LANG, J.: [Video] Feuerwehreinsatz: Wie 5G-Technologie zukünftig unterstützen soll. Aus der Reihe „Quarks“ des WDR Köln; hochgeladen bei Youtube am 08.06.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ng1zslrlagw> (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

RIEMER, M.; ABBAS, M.: [Pressemitteilung] Chancen für Wirtschaftsstandort NRW nutzen: Minister Pinkwart besucht Competence Center 5G.NRW am FIR an der RWTH Aachen. FIR an der RWTH Aachen, 25.08.2022. <https://www.fir.rwth-aachen.de/newsroom/aktuelles/detail/news/minister-pinkwart-besucht-competence-center-5gnrw-am-fir-an-der-rwth-aachen/> (Link zuletzt geprüft: 04.01.2023)

SCHIPPERS, H.; SCHÜLER, C.; SLIWA, B.; WIETFELD, C.: System Modeling and Performance Evaluation of Predictive QoS for Future Tele-Operated Driving. In: 2022 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, Canada, April 2022. https://cni.etit.tu-dortmund.de/storages/cni-etit/r/Research/Publications/2022/Schippers_2022_SysCon/Authors-Version.pdf (Link zuletzt geprüft: 12.01.2023)

WIETFELD, C.: [Pressemitteilung] Erfolgreich weitere Projekte der Landesregierung eingeworben: TU Dortmund baut 5G-Forschung weiter aus. TU Dortmund, 13.07.2020. <https://www.tu-dortmund.de/nachrichtendetail/detail/tu-dortmund-baut-5g-forschung-weiter-aus-3467/> (Link zuletzt geprüft: 04.01.2023)



Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



FIR e. V.
an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55
52074 Aachen

Tel.: +49 241 47705-0
E-Mail: publikationen@fir.rwth-aachen.de
www.fir.rwth-aachen.de